



ING. AUTOMOTRIZ

Trabajo de Integración Curricular

Artículo de Investigación para la obtención del título de Ingeniería en Mecánica Automotriz

AUTOR:

Esteban Josué Levoyer Pinto

TUTOR:

Msc. Gorky Reyes

Diseño y construcción de un laboratorio de Reynolds para evaluar regímenes de flujo

CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA

Yo, **Esteban Josué Levoyer Pinto**, declaro bajo juramento, que el trabajo aquí descrito es mi nuestra autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada.

Cedo los derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, para que sea publicado y divulgado en internet, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, su reglamento y demás disposiciones legales.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Esteban J. Levoyer Pinto', with a large, stylized flourish extending from the end of the name.

Esteban J. Levoyer Pinto

APROBACIÓN DEL TUTOR

Yo, **Reyes Campaña Guillermo Gorky**, certifico que conozco al autor del presente trabajo, siendo el responsable exclusivo tanto de su originalidad y autenticidad, como de su contenido.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Reyes Campaña', written over a horizontal line.

Reyes Campaña Guillermo Gorky

DEDICATORIA

Dedico este proyecto, en primer lugar, a Dios, por ser mi guía y fortaleza a lo largo de toda mi vida universitaria, por darme la sabiduría, la paciencia y por poner en mi camino a personas que me ayudaron a llegar hasta aquí.

A mi madre, a mi hermana y a mi abuelita, por su amor incondicional, por creer en mí incluso en los momentos más difíciles, y por ser mi mayor inspiración. Su apoyo ha sido el motor que me ha impulsado a seguir adelante.

A mi padre, que, si bien ya no está conmigo sus enseñanzas y valores vivirán en mí para siempre y me acompañarán en cada etapa de mi vida, procurando mantener su memoria siempre en alto con cada una de mis acciones.

Y a toda mi familia, que, con sus consejos, su compañía y su apoyo económico me han permitido crecer, superarme y seguir construyendo mi sueño de ser un profesional. Este logro es también de ustedes.

Esteban

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por haberme acompañado en cada etapa de mi vida, dándome fortaleza, sabiduría y esperanza para alcanzar mis metas.

A mi familia, porque sin su amor, apoyo incondicional y confianza en mí, este logro no habría sido posible. Son mi mayor motivación y el pilar fundamental de mi crecimiento personal y académico.

Agradezco profundamente al MSc. Gorky G. Reyes, tutor de este proyecto, por su paciencia, compromiso y dedicación durante cada etapa del proceso. Su guía fue clave para culminar con éxito este trabajo.

A la Universidad Internacional del Ecuador, gracias por brindarme la oportunidad de formarme como profesional, con bases sólidas y competitivas para enfrentar los desafíos del mundo laboral.

Y a mis amigos, gracias por acompañarme, animarme y compartir conmigo esta etapa universitaria que recordaré siempre con gratitud y cariño. ¡Gracias a todos!

Esteban

INDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA	i
APROBACIÓN DEL TUTOR	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
INDICE DE CONTENIDO	v
INDICE DE TABLAS	vii
INDICE DE FIGURAS	viii
RESUMEN	1
ABSTRACT	1
INTRODUCCIÓN	2
MARCO TEÓRICO	4
Fluido	4
Viscosidad	5
Densidad	5
Flujo	5
Presión	6
Caudal	6
Velocidad Crítica	7
Principio de Bernoulli	7
Perdidas de energías mayores y menores (factor de fricción de Darcy-Weisbach)	7
Factor f para fluido laminar	8
Factor f para fluido de transición	8
Factor f para fluido turbulento	8
Cálculo de pérdidas menores	9
Número de Reynolds	9
MATERIALES Y MÉTODOS	9
Método	9
Materiales	10
Fluido	10
Caudal	11
Tubería	12
Método de cálculo	13
Equipos de medición	13
Software	14

Software de diseño CAD	15
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	15
Verificación de datos obtenidos.....	15
Resultados	17
Fluido 1 (Agua)	19
Fluido 2 (Refrigerante verde 50/50).....	22
Fluido 3 (Lubricante)	25
Discusión	27
CONCLUSIONES.....	29
BIBLIOGRAFÍA	31
ANEXOS.....	34
ANEXOS INTRODUCCIÓN	34
ANEXO MARCO TEÓRICO	45
ANEXOS MATERIALES Y MÉTODOS	50
ANEXOS RESULTADOS	88

INDICE DE TABLAS

Tabla 1	<i>Propiedades fisicoquímicas de los fluidos utilizados</i>	11
Tabla 2	<i>Propiedades del agua. Unidades SI</i>	11
Tabla 3	<i>Propiedades de las bombas del mercado</i>	12
Tabla 4	<i>Propiedades de la tubería</i>	12
Tabla 5	<i>Rango de velocidades de medición</i>	15
Tabla 6	<i>Análisis de tiempo</i>	16
Tabla 7	<i>Datos de entrada de cada fluido</i>	17
Tabla 8	<i>Velocidades de análisis</i>	17
Tabla 9	<i>Resultados de pérdida de energía localizada</i>	19
Tabla 10	<i>Datos obtenidos con el agua a 20°C</i>	20
Tabla 11	<i>Datos obtenidos con el Refrigerante</i>	22
Tabla 12	<i>Datos obtenidos con el lubricante</i>	25
Tabla 13	<i>Comparación de los fluidos con la misma velocidad de análisis</i>	27

INDICE DE FIGURAS

Figura 1	<i>Diagrama de Moody</i>	8
Figura 2	<i>Bomba de agua, con sus características técnicas</i>	11
Figura 3	<i>Sensor FS300A G3/4</i>	13
Figura 4	<i>Pantalla LCD 1602A con interfaz I2C</i>	13
Figura 5	<i>Joystick analógico QYF-860</i>	14
Figura 6	<i>Arduino Uno R3</i>	14
Figura 7	<i>Código de programación utilizado</i>	15
Figura 8	<i>Comparativa de velocidades.</i>	16
Figura 9	<i>Las pérdidas de energía localizada.</i>	18
Figura 10	<i>Pérdidas localizadas</i>	18
Figura 11	<i>Número de Reynolds en función de la velocidad del agua</i>	20
Figura 12	<i>Datos de entrada ecuación de Darcy-Weisbach (hf) para el agua</i>	21
Figura 13	<i>Ecuación de Darcy-Weisbach (hf) para el agua</i>	21
Figura 14	<i>Pérdidas por fricción del agua</i>	21
Figura 15	<i>Regímenes de flujo alcanzados por el agua</i>	22
Figura 16	<i>Número de Reynolds en función de la velocidad del refrigerante</i>	23
Figura 17	<i>Datos de entrada ecuación de Darcy-Weisbach (hf) para el Refrigerante...</i>	23
Figura 18	<i>Resultados ecuación de Darcy-Weisbach (hf) para el Refrigerante.</i>	24
Figura 19	<i>Pérdidas por fricción del refrigerante</i>	24
Figura 20	<i>Regímenes de flujo alcanzados por el refrigerante</i>	24
Figura 21	<i>Numero de Reynolds en función de la velocidad del lubricante.</i>	25
Figura 22	<i>Datos de entrada ecuación de Darcy-Weisbach (hf) para el lubricante</i>	26
Figura 23	<i>Resultados de las perdidas menores del lubricante</i>	26
Figura 24	<i>Pérdidas por fricción del lubricante</i>	26
Figura 25	<i>Regímenes de flujo alcanzados por el lubricante</i>	27

Figura 26 <i>Gráfica de comparación de fluidos</i>	28
Figura 27 <i>Comparación de velocidades críticas</i>	29

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Dinámica de fluidos Viscosos (Jimenez, Carreño, Ayala, & Chaves, 2022) Obtenido de: https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/10194/Dinámica%20de%20fluidos%20viscosos.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=Diversos%20experimentos%20han%20demostrado%20que,de%20un%20tipo%20a%20otro.	34
Anexo 2 “DISEÑO DE UNA RED NEURONAL PARA LA PREDICCIÓN DE VALORES DEL DIAGRAMA DE MOODY” (Moreno Moreno, 2017). Obtenido de: https://dspace.unl.edu.ec/items/089c684c-a59e-489a-a38d-77d60f6ad2e9	45
Anexo 3 Válvula de Bola.....	50
Anexo 4 Laboratorio de Reynolds.....	51
Anexo 5 Diseño computarizado en 2D	52
Anexo 6 Régimen medio de medición	53
Anexo 7 Rango bajo de medición.....	54
Anexo 8 Factor de fricción para tuberías de PVC (Ortiz Calle, Chile Asimbaya, & Ortiz Arévalo, 2022) Obtenido de:	55
Anexo 9 Ficha técnica Freezone refrigerante. (Freezoneglobal, 2024) Obtenido de: https://freezoneglobal.com/wp-content/uploads/2025/01/FREEZONE-SDS-5050-LD-VERDE-ESP-2024.pdf	67
Anexo 10 Ficha técnica Refrigerante Texaco (TEXACO, 2023) Obtenido de: https://cglapps.chevron.com/msdspds/PDSDetailPage.aspx?docDataId=507973&docFormat=PDF	74
Anexo 11 Tablas de resultados	88
Anexo 12 Resultados de pérdidas.....	91
Anexo 13 Cálculo del caudal volumétrico	93
Anexo 14 Código Fuente Arduino.....	94

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN LABORATORIO DE REYNOLDS PARA EVALUAR REGÍMENES DE FLUJO

Ing. Gorky G. Reyes. MSc¹, Esteban Josué Levoyer P.²

¹Maestría Especialidad - Universidad, Título Obtenido, gureyesca@internacional.edu.ec, Quito-Ecuador

²ingeniería Automotriz Universidad Internacional del Ecuador, eslevoyerpi@internacional.edu.ec, Quito
– Ecuador

RESUMEN

Se diseñó un laboratorio de Reynolds que permite medir el régimen de flujo de un fluido bajo condiciones controladas de velocidad a través de la aplicación de principios de la mecánica de fluidos proporcionando una herramienta didáctica para el análisis del comportamiento de un fluido, por medio de una metodología inductiva en el análisis de los datos obtenidos y deductiva a partir de principios teóricos consultados, como resultado, el agua alcanza los tres regímenes de flujo laminar, de transición y turbulento con un número de Reynolds de 366, 6963 y 10924 respectivamente, a velocidades relativamente bajas mientras que un refrigerante al tener casi el doble de viscosidad en las mismas condiciones de análisis alcanzó dos regímenes de flujo y por último el lubricante en las pruebas realizadas mantuvo en su régimen laminar con un valor máximo calculado de 390 del número de Reynolds teniendo que alcanzar mayor velocidad para cambiar de régimen. En función de estos datos obtenidos la velocidad crítica de los fluidos es directamente proporcional a la viscosidad del fluido, la velocidad crítica del agua fue de 0,0961 m/s, del refrigerante 0,2195 m/s y del lubricante fue de 2,69 m/s, así como también se generan mayores pérdidas de energías por fricción en el agua el valor máximo calculado fue de 0,012 m, en el refrigerante 0,0198 m y en el lubricante 0,0855 m. Por lo que el número de Reynolds proporciona gran cantidad de información esencial para el diseño y construcción de un sistema hidráulico.

Palabras clave: Fluido, viscosidad, velocidad crítica, caudal, flujo, número de Reynolds

ABSTRACT

A Reynolds laboratory was designed that allows measuring the flow regime of a fluid under controlled speed conditions through the application of principles of fluid mechanics providing a teaching tool for the analysis of the behavior of a fluid, through an inductive methodology in the analysis of the data obtained and deductive from theoretical principles consulted, as a result, water reaches the three flow regimes laminar, transition and turbulent with a Reynolds number of 366, 6963 and 10924 respectively, at relatively low speeds while a coolant having almost twice the viscosity under the same analysis conditions reached two flow regimes and finally the lubricant in the tests carried out maintained in its laminar regime with a maximum calculated value of 390 of the Reynolds number having to reach a higher speed to change regime. Based on these data obtained, the critical velocity of fluids is directly proportional to the viscosity of the fluid, the critical velocity of water was 0.0961 m/s, of the refrigerant 0.2195 m/s and of the lubricant it was 2.69 m/s, as well as greater energy losses are generated by friction in water the maximum value calculated was 0.012 m, in the refrigerant 0.0198 m and in the lubricant 0.0855 m. Therefore, the Reynolds number provides a large amount of essential information for the design and construction of a hydraulic system.

Keywords: Fluid, viscosity, critical velocity, flow rate, flow, Reynolds number

INTRODUCCIÓN

En los sistemas donde circulan fluidos, como los de refrigeración, lubricación o alimentación, es fundamental controlar variables como la presión y la selección correcta del fluido para evitar fallos en su funcionamiento, el número de Reynolds es un parámetro clave para determinar el régimen de flujo ya sea laminar, turbulento o de transición y comprender la manera en que factores como la viscosidad, la velocidad y el diámetro de la tubería afectan su comportamiento dinámico. Sin un equipo de medición experimental, resulta difícil evaluar el impacto de estas variables físicas en la eficiencia y seguridad de un sistema hidráulico por ende la construcción de un laboratorio experimental permite visualizar y analizar los distintos tipos de flujo en un entorno controlado, facilitando la investigación de los principios fundamentales de la dinámica de fluidos y su aplicación en ingeniería siendo una herramienta practica la enseñanza y el aprendizaje del número de Reynolds. G. Peretti, N. Bouscharain, N. Dörr, F. Ville, R.S. Dwyer-Joyce en el 2024 expresan que el valor de la viscosidad varia por condiciones de temperatura, presión y velocidad de corte, así como el diámetro por donde va a circular el fluido. (Peretti, Bouscharain, Dörr, Ville, & Dwyer-Joyce, 2024). Por lo tanto, es esencial realizar un cálculo previo para obtener valores acertados de diseño consiguiendo velocidades críticas de diseño para que el fluido se encuentre en condiciones laminares y evitar que fenómenos como la cavitación interna alteren la fiabilidad del diseño inicial, mediante el diseño de un elemento experimental que determine el número de Reynolds de líquidos que se puedan poner a prueba.

En la primera etapa del proyecto se construyó criterios de diseño teniendo en cuenta la teoría necesaria y la aplicación de conceptos y modelos matemáticos sobre el comportamiento dinámico de un fluido que llegan a tener los fluidos tanto en condiciones laminares como turbulentas. La segunda etapa abarcó un ensayo experimental donde se toma en cuenta variables dependientes como la viscosidad constante del fluido y valores constantes como la temperatura ambiente y el diámetro de la tubería para determinar la velocidad critica del diseño. Finalmente, en la última etapa se tabuló los valores para conocer en que número de Reynolds se mantiene el fluido en función de la viscosidad y la velocidad y cómo influye estos factores en las pérdidas de energías mayores y menores

En un proyecto de titulación del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, Sergio Vásquez en el 2017 dice que los fluidos ejercen fuerzas sobre las paredes de los recipientes generando presión y haciendo que puedan moverse, (Vazquez Coutiño, 2017) en otro estudio de la Universidad Cooperativa de Colombia, Calderón, Vargas y Morales en el 2017, expresan que la viscosidad causa esfuerzos cortantes en los fluidos cuando están en movimiento. (Calderón , Vargas, & Morales, 2017). Un informe de la UAEH, Domínguez, Avilés, Gómez, Mejía, Muñoz, y Pacheco en el 2024 determinaron que el comportamiento del fluido dentro de una tubería depende de la velocidad, el diámetro de la tubería y las propiedades físicas del fluido. (Ortiz Dominguez, y otros, 2024). Lo que significa que, para el diseño del modelo experimental, el tipo de tubería por la que va a circular el fluido es esencial, así como el tipo de fluido que va a circular por el modelo experimental teniendo en cuenta sus magnitudes físicas de la sustancia y el caudal que proporcionara la bomba.

Según Olivero y Aguirre en un artículo de la Universidad de Zulia dicen que es importante la distribución del esfuerzo cortante para abordar problemas de resistencia o de cavitación. (Aguirre & Olivero, 2005). Es importante conocer este valor para comprender como se comporta un fluido y determinar la velocidad crítica que puede llegar a tener el fluido dentro del diseño dentro de un sistema para evitar consecuencias ajenas a un concepto inicial. Es común que muchas personas por desconocimiento no respetan el grado de viscosidad del aceite del motor de sus vehículos lo que genera que se dañe mucho prematuramente el motor. Esto ocurre porque no se respetan las condiciones de diseño, teniendo en cuenta que la viscosidad es una magnitud física que cumple un rol importante en sistemas presurizados que cumplen una función específica como la de lubricación.

Según Cáceres en un estudio de la Universidad de Pamplona 2021 dice que la viscosidad puede determinar la velocidad de deformación del fluido al aplicar un esfuerzo cortante. (Caceres Andrade, 2021) En un estudio sobre el valor del esfuerzo cortante en las paredes de un recipiente en el 2018 Barrera, Aguirre, Vargas, Martínez expresan que el coeficiente de fricción de las paredes donde transmitan los fluidos influye en su esfuerzo cortante sobre las mismas. (Barrera, Aguirre, Vargas, & Martínez, 2018). Por lo que para realizar el modelo experimental se tiene que tomar en cuenta el material de la tubería donde va a circular el fluido.

MARCO TEÓRICO

Los **fluidos** son sustancias que tienden a deformarse por sus características físicas como la **densidad** que depende de la **temperatura** de la sustancia misma y del ambiente para tener un cambio significativo así como de la **viscosidad** que influye en el elemento por donde circula el fluido, para comprender su comportamiento es importante que el **flujo** de la sustancia a través de la superficie alcance **velocidades críticas** de diseño con el **caudal** adecuado, teniendo en cuenta el **principio de Bernoulli** o las **pérdidas de energía** por el tipo de superficie o por la distancia para evitar que se genere sobre presiones o cavitación internamente provocando fallas dentro del sistema. El **número de Reynolds** en función de las variables físicas del elemento donde circula un fluido y de la sustancia a examinar ayuda a comprender como circula el fluido ya sea de manera **laminar, turbulenta** o incluso en una etapa intermedia llamada **etapa de transición**, factores que son indispensables en el diseño de cualquier sistema por donde circula un fluido.

La utilización de polietileno de alta densidad para la distribución de agua potable con tuberías de este material, donde por el tipo de material, García y Saldarriaga en un artículo del 2022 dicen que El polietileno posee varias ventajas entre estas principalmente que, posterior a su utilización puede ser reciclado y tener otros usos, además, gracias a la flexibilidad de este puede adaptarse a diferentes terrenos. (García & Saldarriaga, 2022). Por lo tanto, es muy importante para un diseño de un sistema hidráulico el tipo de material de la tubería, así como su diámetro y tener en cuenta el tipo de fluido que va a circular por el sistema.

Fluido

Es una sustancia que tiene la capacidad de deformarse y a la vez moverse continuamente esta característica le da la facultad de fluir en un lugar determinado este puede estar en un estado líquido o gaseoso, un grupo de investigación de la UNAM en 2018 dice que un fluido es una sustancia que puede deformarse continuamente bajo la aplicación de una fuerza de cizallamiento, esto quiere decir que para que un fluido pueda moverse se aplica una fuerza paralela a la superficie de contacto. La deformación es el cambio de volumen que experimenta una sustancia cuando se le aplica un cambio

de presión (Zacarías, González, Granados, & Mota, 2017), el tipo de fluido corresponde a magnitudes físicas como la viscosidad y la densidad de la sustancia.

Viscosidad

Es la oposición al movimiento del fluido en un área determinada, según Ortiz y Cruz en la viscosidad de un fluido dicen que el valor de viscosidad se usa como punto de referencia en la formulación de nuevos productos, facilitando la reproducción de la consistencia de un lote a otro. (Ortiz & Cruz, 2022),

$$v = \frac{\mu}{p} \quad [\text{Ec. 1}]$$

Donde:

v = viscosidad cinemática

μ = viscosidad dinámica

p = densidad

Densidad

Es una relación entre la masa y el volumen de la sustancia, se aplica, o está involucrada, en muchos otros fenómenos como: identificación de sustancias, estados de agregación de la materia, separación de sistemas materiales, flotación. (Raviolo, Carabelli, & Ekkert, 2022). Su fórmula es:

$$\delta = \frac{m}{V} \quad [\text{Ec. 2}]$$

Donde:

δ = densidad

m = masa

V = volumen

Flujo

Es el movimiento de las sustancias ya sean líquidas o gaseosas, y dependiendo de su comportamiento estas pueden ser laminares o turbulentas, que son las formas en que un fluido puede llegar a moverse por una superficie. Según Coronel en su tesis de Sistema para medir velocidad en Flujo de fluidos en tres dimensiones dice que “Algunas de las variables importantes a medir pueden ser la velocidad, presión y temperatura”. (Coronel, 2011).

Presión

En un estudio a cerca del efecto fluido dinámico de hidrocarburos en el 2022 dice que la presión hidrostática de un pozo se define como la fuerza por unidad de área que ejerce la columna de lodo sobre sus paredes. (Jimenez, Carreño, Ayala, & Chaves, 2022), lo que quiere decir que la presión que es la fuerza de un elemento sobre un área determinada, la presión en un punto está definida de la compresión normal dividida entre el área sobre la cual actúa (Peñaranda, 2024, pág. 29), este valor se puede calcular:

$$P = \frac{F}{A} \quad [\text{Ec. 3}]$$

Donde:

P= presión

F=fuerza

A=área

Caudal

Según Corapi caudal se define como el volumen de agua que atraviesa una superficie en un tiempo determinado (l/s). (Corapi, Acaro Chacón, Gaibor Nieto, & Villavicencio , 2021), por lo tanto, el caudal que es el volumen de sustancia que circula dentro de un sistema en un determinado tiempo. Para la determinar el caudal existen varios métodos: ecuación de la continuidad, ecuación de Chezy, ecuación de Bazin, ecuación de Manning, ecuación de Kutter y ecuación de Venturi (Manzano , 2015), para este estudio se va a considerar la ecuación de la continuidad que se expresa de la siguiente manera:

$$Q = V \times A \quad [\text{Ec. 4}]$$

Donde:

Q= Caudal

V= velocidad

A= área

$$Q = \frac{Vol}{t} \quad [\text{Ec. 5}]$$

Donde:

Q= Caudal

Vol= Volumen

t= Tiempo

Velocidad Crítica

La velocidad crítica de un fluido en una tubería es “la velocidad media del fluido a la cual el flujo deja de ser laminar y comienza a volverse turbulento” (Jiménez Carballo, s.f., pág. 13) Lo que significa que por debajo de esta velocidad crítica el fluido se encuentra en su régimen laminar donde su placa móvil se desplaza de manera lineal mientras que si supera su velocidad crítica esta placa móvil empieza a tener fluctuaciones de movimiento por lo que empieza su etapa turbulenta.

Principio de Bernoulli

Según Sanchez, Mora y Barbosa en el artículo Tratado epistemológico del principio de Bernoulli para estudiantes de ingeniería dice que El Principio de Bernoulli, trata en su enunciado del equilibrio y la conservación de la energía en la dinámica clásica de los fluidos. La energía total de un sistema de fluidos permanece constante a lo largo de la trayectoria de su flujo. Las tres cantidades de energía mecánica que aparecen en la formulación del principio son las siguientes:

Energía potencial gravitacional: Esta es la energía que posee cierta sección del fluido debido a su altura con respecto a un nivel de referencia específico.

Energía cinética: Energía que lleva cierta porción o elemento de fluido debido a su velocidad

Energía de flujo: Esta energía es la que tiene cierto elemento del fluido debido a su presión local. (Sánchez, Mora, Barbosa, & Ensástiga-Alfaro, 2013).

$$\frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g h_1 + P_1 = \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g h_2 + P_2 \quad [\text{Ec. 6}]$$

Donde:

ρ = densidad

v = velocidad

g = gravedad

P = presión

Perdidas de energías mayores y menores (factor de fricción de Darcy-Weisbach)

Las pérdidas mayores ocurren por la fricción del fluido con las paredes de la tubería su recorrido que se representa con la ecuación de Darcy-Weisbach (h_f), que

depende del factor de fricción f que se obtiene por el número de Reynolds y la rugosidad de la tubería. Las pérdidas menores ocurren por perturbaciones en el flujo del fluido por la presencia de válvulas y codos dentro del sistema se representa con la ecuación de la pérdida de energía localizada.

$$hf = f \times \frac{V^2 \times L}{2g \times D} \quad [\text{Ec. 7}]$$

Donde:

hf =pérdida de energía por carga

f =factor f

V =velocidad

L =longitud

g =gravedad

D =diámetro

Factor f para fluido laminar

$$f = \frac{64}{Re} \quad [\text{Ec. 8}]$$

Donde:

f =factor f

Re = número de Reynolds

Factor f para fluido de transición

$$f = \frac{0,316}{Re^{0,25}} \quad [\text{Ec. 9}]$$

Donde:

f =factor f

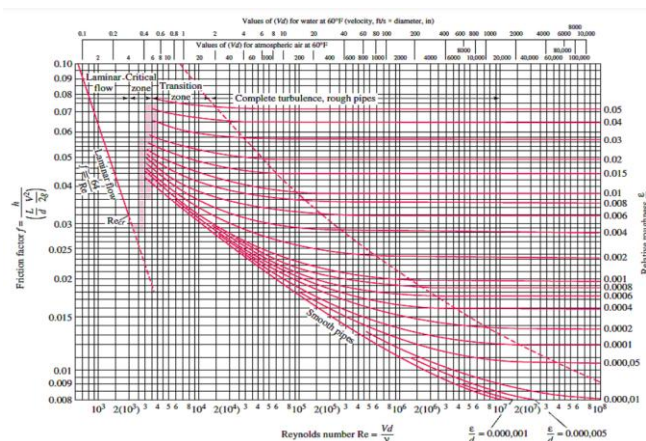
Re = número de Reynolds

Factor f para fluido turbulento

El factor f de un fluido turbulento se lo calcula mediante el diagrama de Moody.

Figura 1

Diagrama de Moody



Fuente: (Moreno Moreno, 2017, pág. 20)

Cálculo de pérdidas menores

$$h_l = K \times \frac{V^2}{2g} \quad [\text{Ec. 10}]$$

Donde:

h_l = la pérdida de energía localizada

K = factor *K*

V = velocidad

g = gravedad

Número de Reynolds

Es un valor adimensional que permite conocer el comportamiento del fluido en una tubería, el tipo de flujo es determinado por el ensayo del número de Reynolds de allí su importancia para identificar fácilmente las características de los tipos de flujo. (Jaramillo & Cardenas , 2015), teniendo tres valores diferentes que son flujo laminar es el movimiento del fluido en una sola dirección en capas paralelas (el número de Reynolds deberá ser igual o menor a 2100). Otro comportamiento del fluido es el flujo turbulento que es cuando el fluido no se transporta de una forma ordenada mezclándose y formando remolinos. (el número de Reynolds será igual o mayor a 10000). El flujo de transición que es cuando está en una etapa entre fluido laminar y turbulento (el número de Reynolds será mayor a 2100 y menor a 10000). Se expresa en la siguiente formula:

$$Re = \frac{V \times D}{\gamma} \quad [\text{Ec. 11}]$$

Donde:

Re = Numero de Reynolds

V = velocidad

D = diámetro

γ = viscosidad cinemática

MATERIALES Y MÉTODOS

Método

En el presente proyecto se aplicaron los métodos deductivo e inductivo como enfoques generales de investigación. El **método deductivo** se utilizó a partir de principios teóricos establecidos, como la fórmula del número de Reynolds y el comportamiento del flujo en diferentes regímenes, para el desarrollo del laboratorio experimental. Según Alcívar en el 2023 “el método deductivo que partió de lo general a lo particular”. (Alcívar Espinoza, 2023). A partir de estas leyes, se definieron condiciones iniciales, se plantearon hipótesis y se estructuró el sistema físico que

permitiera comprobar dichas teorías en la práctica. De forma complementaria, se aplicó el **método inductivo**, especialmente durante el análisis de resultados. A través de la observación de los datos de salida en los ensayos experimentales generalizaron comportamientos del flujo y se identificaron los rangos de la velocidad crítica permitiendo ajustar las condiciones del diseño para lograr flujos lo más laminares. Se utilizó también el **método bibliográfico** para recopilar información teórica sobre dinámica de fluidos, regímenes de flujo y modelos matemáticos aplicados. Mediante el **método experimental** se realizaron pruebas con diferentes fluidos a distintas viscosidades controlando parámetros como la velocidad de flujo y el diámetro de la tubería, posteriormente con un **método estadístico** se tabularon los datos recolectados, lo que permitió determinar con mayor precisión las velocidades críticas y establecer patrones de comportamiento en función de la viscosidad de los fluidos.

Materiales

Fluido

Se utilizaron tres diferentes fluidos con viscosidades diferentes para entender cómo se comporta el fluido para determinar las velocidades críticas en función del número de Reynolds y analizar el régimen de flujo ya sea laminar, turbulento o de transición, con esos datos obtener el punto crítico de diseño. El **agua** como fluido base para el diseño experimental donde utilizamos el valor de viscosidad del agua a temperatura entre los 15°C y 20 °C para tener una temperatura constante el valor que se va a tomar es de 20°C que es la temperatura de referencia (Phillips, Shakarji, Balsamo, Krystek, & Morse, 2016). El **agua con sacarosa** al 55% a 20°C de temperatura tiene una viscosidad cinemática de 28.02 cSt (Swindells, Hardy, Snyder, & Golden, 1958, pág. 5). Esta viscosidad es similar a la de un aceite hidráulico ATF Según Mobil, su aceite ATF 8LV tiene una viscosidad cinemática a 40°C ASTM D445 es de 30 cSt. (Exxon Mobil, 2022) por lo que se lo consideró como un **lubricante** a esta solución para este proyecto. El **Lubristone™ Verde 50/50** compuesto en un 50% de etilenglicol, usado para evaluar cambios de viscosidad respecto al agua. Su viscosidad cinemática es 14,10 mm²/s a 100 °C (212 °F) (mínimo), 2.3 mm²/s a 20 °C (68°F). (TEXACO, 2023).

Tabla 1*Propiedades fisicoquímicas de los fluidos utilizados*

PROPIEDAD	Agua (20°C)	Lubristone™ Verde 50/50	Lubricante
Viscosidad cinemática (mm ² /s) cSt	1.007	2.3	28.02
Viscosidad dinámica mPa s	1.002	2.012	41.2
Densidad kg/L	0.997	0.875	1.26321
pH	6.5	8.6	7

Fuente: Autor. Tomado de: (Swindells, Hardy, Snyder, & Golden, 1958) & (Facultad de Ingeniería-Universidad Nacional de Cuyo, 2012, pág. 10) & (TEXACO, 2023).

Tabla 2*Propiedades del agua. Unidades SI*

Unidades SI						
Temperatura (°C)	Densidad ρ (kg/m ³)	Viscosidad μ (N · s/m ²)	Viscosidad cinemática ν (m ² /s)	Tensión superficial σ (N/m)	Presión de vapor (kPa)	Módulo de volumen B (Pa)
0	999.9	1.792 x 10 ⁻³	1.792 x 10 ⁻⁶	0.0762	0.610	204 x 10 ⁷
5	1000.0	1.519	1.519	0.0754	0.872	206
10	999.7	1.308	1.308	0.0748	1.13	211
15	999.1	1.140	1.141	0.0741	1.60	214
20	998.2	1.005	1.007	0.0736	2.34	220
30	995.7	0.801	0.804	0.0718	4.24	223
40	992.2	0.656	0.661	0.0701	3.38	227
50	988.1	0.549	0.556	0.0682	12.3	230
60	983.2	0.469	0.477	0.0668	19.9	228
70	977.8	0.406	0.415	0.0650	31.2	225
80	971.8	0.357	0.367	0.0630	47.3	221
90	965.3	0.317	0.328	0.0612	70.1	216

Fuente: (Facultad de Ingeniería-Universidad Nacional de Cuyo, 2012, pág. 10)

Caudal

Se utilizó una bomba de 1000L/H de caudal, y una potencia de 25W, la temperatura máxima de trabajo es de 35°C para mantener el suministro del fluido constante para mantener la variable de entrada que es la velocidad controlada y analizar como en función de la velocidad el régimen de flujo varia.

Figura 2*Bomba de agua, con sus características técnicas*

Fuente: Autor

Tabla 3*Propiedades de las bombas del mercado*

Bomba	Caudal (L/H)	Potencia (W)	Temperatura (°C)
Bomba de agua 110 V	1000	25	35
Bomba de Agua 6-12V	240	4	No especifica
R385	180	3	No especifica

Fuente: Autor Tomado de: Ficha técnica Bomba 2000 & (NOVAtronic, 2020) & (Innovatech, s.f.)

Tubería

Para el material de la tubería del laboratorio se utilizó manguera flexible transparente-cristal de una pulgada de material PVC con coeficiente de rugosidad absoluta (ϵ) 0.0146 (Ortiz, Chile, & Ortiz, 2022, pág. 6) de un diámetro interno de una pulgada y la longitud total del laboratorio es de 90 cm y la distancia entre el la válvula de bola y el caudalímetro es de 35 cm. La altura máxima de la caída es de 50 cm.

Rugosidad absoluta (ϵ) 0.0146 (Ortiz, Chile, & Ortiz, 2022, pág. 6) de un diámetro interno de una pulgada y la rugosidad relativa (ϵ/D).

$$\frac{0.0146}{25.4} = 5.75 \times 10^{-4} \quad [\text{Ec. 12}]$$

La rugosidad relativa (ϵ/D) confirma que el sistema se comporta como un conducto hidráulicamente liso en la mayoría de las condiciones de flujo. El accesorio de conexión que se utilizó es una válvula de bola de material PVC para controlar el caudal.

Tabla 4*Propiedades de la tubería*

Material	Rugosidad absoluta (ϵ)	Rugosidad relativa (ϵ/D).	Longitud total (cm)	Altura máxima (cm)	Diámetro (Pulg)
PVC	0.0146	5.75×10^{-4}	90	50	1

Fuente: Autor Tomado de: (Ortiz Calle, Chile Asimbaya, & Ortiz Arévalo, 2022)

Método de cálculo

Para evaluar las pérdidas de energía en el sistema se utilizaron dos fórmulas, la ecuación de la pérdida de energía localizada (h_l), Ecuación 6 analizada en la válvula de bola donde depende de la apertura de esta para que el factor K varíe, cuando está abierta completamente el valor de 0,05, cuando está 1/3 abierta la válvula el valor del factor K es de 5,5 y cuando está abierta 2/3 el valor incrementa a 200 (The Engineering ToolBox, 2004) y la ecuación de Darcy-Weisbach (h_f), Ecuación 9.

Equipos de medición

Sensor de caudal FS300A G3/4: Sensor de efecto Hall para medir el caudal del fluido, cuya salida digital permite calcular la velocidad del fluido en la tubería con un rango de medición de 60 L/min. y una presión máxima de trabajo de 1.20 Mpa. El factor de conversión de los pulsos por minuto es de 5.5 (Naylamp Mechatronics, 2023). El rango máximo de medición de caudal es de 60 L/min por lo que la velocidad máxima de medición en función del caudal y el diámetro de la tubería es de 2.92 m/s.

Figura 3

Sensor FS300A G3/4

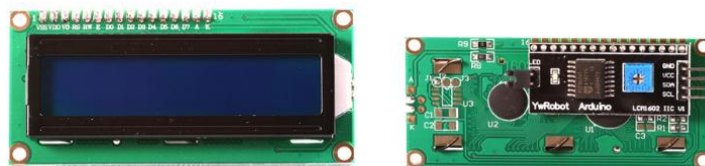


Fuente: (Innovatech, s.f.)

Pantalla LCD 1602A con interfaz I2C: Utilizada para mostrar en tiempo real la velocidad del flujo y el número de Reynolds,

Figura 4

Pantalla LCD 1602A con interfaz I2C



Fuente: (Caribe, s.f.)

Joystick analógico QYF-860: Dispositivo de entrada para ajustar parámetros de viscosidad del fluido en el sistema de control.

Figura 5
Joystick analógico QYF-860



Fuente: (Ferro, 2020)

Microcontrolador Arduino Uno R3: Se empleó para la adquisición de datos de los sensores y el control general del sistema de monitoreo del laboratorio.

Figura 6
Arduino Uno R3



Fuente: (VelascoStore, 2022)

Software

La Plataforma Arduino IDE fue utilizada para programar el microcontrolador para obtener señales de los sensores y mostrar los resultados en la pantalla LCD. Para la tabulación de los datos obtenidos y el análisis estadístico de los resultados fue el programa Excel.

Figura 7

Código de programación utilizado

```
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);

// Pines
const int sensorPin = 2;
const int ledPin = 3;
const int joystickX = A0;
const int joystickY = A1;
const int joystickBtn = 4;

// Constantes físicas
const float diametroTubo_cm = 2.6;
const float longitudTubo_cm = 35;
volatile int pulsos = 0;
unsigned long ultimaMedicion = 0;
unsigned long botonPresionadoDesde = 0;

// Viscosidad
char viscosidadStr[] = "01.007";
int digitoActual = 0;
bool editando = true;
bool confirmado = false;
```

Fuente: Autor

Software de diseño CAD

Para la realización del diseño computarizado en 2D del elemento experimental se utilizó el programa AutoCAD, mediante la toma de medidas se realiza la acotación del diseño computarizado como se lo indica en el anexo

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Verificación de datos obtenidos

Mediante la apertura de la válvula de bola su puede determinar el rango de medición de la velocidad del fluido base que es el agua.

Tabla 5

Rango de velocidades de medición

Velocidad	Máxima	Mínima
(m/s)	0,5	0,01

Fuente: Autor

Donde la velocidad mínima que el sensor de caudal va a marcar es de 0,01 m/s, velocidades más bajas no mueve la turbina del sensor por lo que el valor es igual a 0, mientras que la velocidad máxima es de 0,5 m/s ya que la velocidad se regula por medio de la válvula de bola y la aceleración del fluido ocurre por acción de la gravedad. Es importante conocer el rango de velocidades de trabajo del laboratorio de Reynolds para la medición de los tres diferentes flujos con la viscosidad del agua.

Para validar los datos obtenidos y verificar la correcta programación del sistema, se realizó una prueba de caudal utilizando la Ecuación 5, del volumen desplazado (1 litro) y el tiempo de llenado. La prueba se efectuó en tres etapas: con una apertura baja de la válvula (mínima medición del sensor), una apertura intermedia (rango medio) y finalmente con la válvula completamente abierta (rango máximo) con el fin de evaluar la precisión del sensor de caudal en diferentes condiciones de funcionamiento. Adicionalmente, se verificaron los límites de velocidad que el sistema puede registrar con el fluido base (agua). La tabla 6 describe los tiempos obtenidos en cada una de las pruebas y en la figura 8 se compara la velocidad calculada por medio del caudal volumétrico y la velocidad que indica el laboratorio de Reynolds.

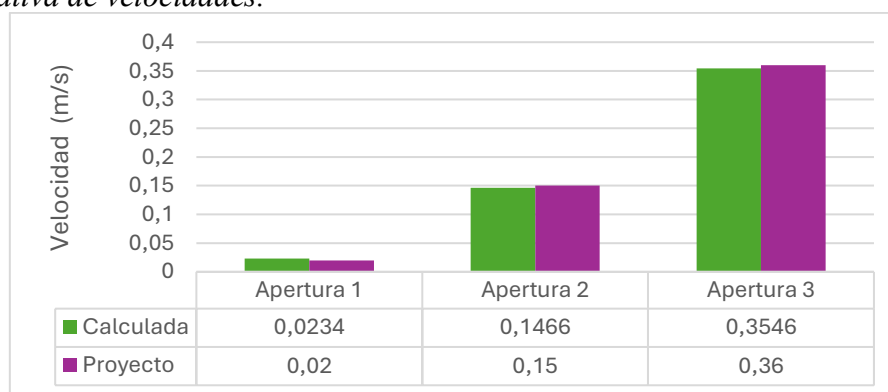
Tabla 6
Análisis de tiempo

Tiempo	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
Segundo	97,05	15,5	6,45

Fuente: Autor

En las tres pruebas con una apertura diferente de la válvula de bola, donde en la primera prueba de apertura 1/3 de la válvula el tiempo en que se demoró en pasar un litro de agua por la tubería fue de 97.05, en la segunda prueba que se abrió la mitad de la válvula el tiempo fue de 15.5 y en la tercera prueba de apertura completa el tiempo fue de 6.45 segundos.

Figura 8
Comparativa de velocidades.



Fuente: Autor

Mediante la prueba de caudal por volumen se comparó las velocidades obtenidas en el rango más bajo de medición tiene una diferencia porcentual del 14 %, en el segundo rango de medición su diferencia es del 2 % y en el último rango de medición la

diferencia es de tan solo 1%. Lo que quiere decir que a medida que va aumentando la velocidad la diferencia porcentual va disminuyendo entre ambos datos obtenidos.

Resultados

La prueba se realizó utilizando tres fluidos: agua a 20 °C aplicando al ISO 1, una mezcla refrigerante 50/50 de color verde y un lubricante. Estos tres fluidos presentan diferentes valores de viscosidad que es la variable de entrada del experimento. El laboratorio de Reynolds construido cuenta con una altura de 90 cm, lo que permite el aprovechamiento de la aceleración gravitacional y emplea una tubería con un diámetro interno de 2.20 cm. La velocidad del flujo se mantiene constante mediante una bomba de 1000 L/min y es regulada de forma progresiva con una válvula de bola donde a medida que se apertura se observa la variación de velocidad en la pantalla, así como el número de Reynolds en tiempo real en función de la viscosidad del fluido. Para el cálculo del número de Reynolds se empleó la Ecuación 11, la cual utiliza los datos de entrada registrados.

Tabla 7

Datos de entrada de cada fluido

Variable	Agua	Refrigerante	Lubricante
Viscosidad cinemática (cSt)	1,007	2,30	28,02

Fuente: Autor

Se compara las viscosidades utilizadas para cada una de las pruebas con los tres fluidos el agua, el refrigerante y el lubricante.

Tabla 8

Velocidades de análisis

	Velocidad 1	Velocidad 2	Velocidad 3
Velocidad (m/s)	0,02	0,3	0,5

Fuente: Autor

Con el laboratorio de Reynolds se compararon los regímenes de flujo a tres velocidades diferentes como se indica en la Tabla 6. Esto se realizó mediante el análisis del comportamiento de fluidos con distintas viscosidades bajo condiciones controladas, aplicando fórmulas y modelos matemáticos de la mecánica de fluidos para determinar la velocidad crítica de diseño de los fluidos estudiados.

Además, con estas tres velocidades se calcularon las pérdidas de energía localizada que están relacionadas con los rangos de velocidad del sistema y el coeficiente de pérdida local. Para determinar el factor de pérdida local (k), se consideraron el valor de la gravedad (g) y las velocidades correspondientes, identificadas como v_0 , v_1 , v_2 y v_3 .

Figura 9

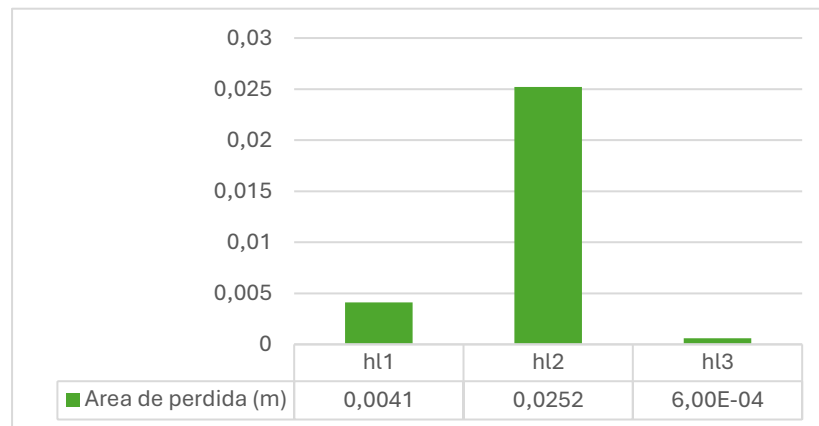
Las pérdidas de energía localizada.

Factor K		
$K1 := 200$	$K2 := 5,5$	$K3 := 0,05$
$\frac{2}{3} \cdot \text{cerrado}$	$\frac{1}{3} \cdot \text{abierto}$	Abierto
$h_{l1} := K1 \cdot \frac{v1^2}{2 \cdot g} = 0,0041 \text{ m}$		
$h_{l2} := K2 \cdot \frac{v2^2}{2 \cdot g} = 0,0252 \text{ m}$		
$h_{l3} := K3 \cdot \frac{v3^2}{2 \cdot g} = 0,0006 \text{ m}$		

Fuente: Autor

Figura 10

Pérdidas localizadas



Fuente: Autor

El Factor K en las pérdidas de energía localizada en la válvula de bola disminuye en función de la apertura de la válvula, ya que en apertura completa la pérdida de energía es casi nula con un valor de 0,0006 m, mientras que 1/3 de apertura de la válvula el valor es el más alto a 0,0252 m dependiendo de la velocidad del fluido donde se encuentra en una etapa de transición.

Tabla 9*Resultados de pérdida de energía localizada*

Apertura de la válvula	Velocidad (m/s)	Factor K	Pérdida localizada hl (m)
Completamente abierta	0,5	0,05	0,0006
1/3 cerrada	0,3	5,5	0,0252
2/3 cerrada	0,02	200	0,0041

Fuente: Autor

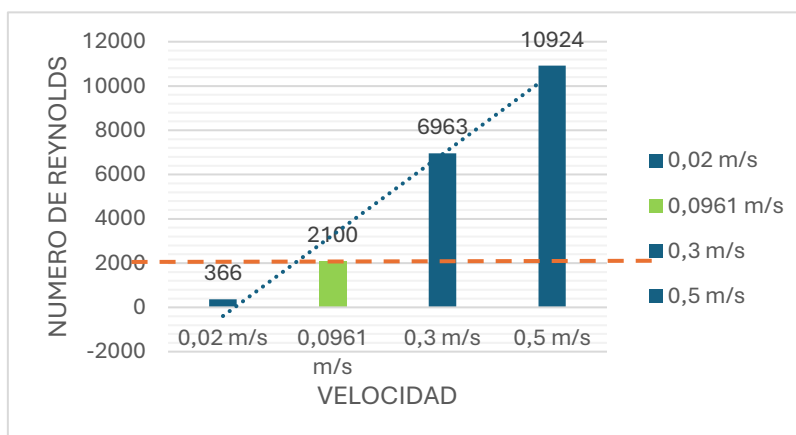
Se observó que el valor del factor de pérdida K varía en función del grado de apertura de la válvula que repercute directamente en la pérdida de energía localizada. Cuando la válvula se encontraba completamente abierta el flujo con mínima interferencia en su trayectoria. En esta condición, con una velocidad de 0.5 m/s la pérdida localizada alcanzó un valor despreciable de 0.0006 m. Al situar la válvula en una posición 2/3 cerrada, se generó una obstrucción moderada que provocó turbulencias y alteraciones en la velocidad del fluido donde se obtuvo un factor $K = 200$, y con una velocidad de 0.02 m/s, la pérdida localizada fue de 0.0041 m. Finalmente, con una apertura de solo 1/3 de la válvula, se registró la mayor obstrucción parcial en condiciones reales de operación. En este caso, con una velocidad de 0.3 m/s y un factor $K = 5.5$, la pérdida localizada se elevó a 0.0252 m, evidenciando un incremento significativo en la resistencia al paso del fluido. Por lo tanto, la apertura de la válvula tiene una influencia directa sobre las pérdidas de carga localizada, siendo mínima en condiciones de flujo libre y mayor cuando se impone una restricción. Esta relación debe ser considerada en el diseño de sistemas hidráulicos para evitar pérdidas innecesarias de presión.

Fluido 1 (Agua)

En esta gráfica se representa el número de Reynolds en función de la velocidad. En una primera etapa el análisis se realizó utilizando un fluido newtoniano que es el agua a 20 °C con una viscosidad cinemática de 1.007 cSt. Dado que el agua se considera un fluido netamente newtoniano se procedió a analizar los puntos correspondientes a las velocidades críticas fundamentales para el diseño con el fin de comprender el comportamiento del fluido en distintas condiciones de flujo.

Tabla 10*Datos obtenidos con el agua a 20°C*

Fluido	0,02 m/s	0,0961 m/s	0,3 m/s	0,5 m/s
Agua	366	2100	6963	10924

Fuente: Autor**Figura 11***Número de Reynolds en función de la velocidad del agua***Fuente:** Autor

Se establecieron tres velocidades de flujo con las que se evidenciaron los tres regímenes: laminar, de transición y turbulento. Esto permitió determinar en función del diámetro de la tubería la velocidad crítica de diseño que debe mantenerse en condiciones laminares para evitar efectos indeseados como la turbulencia y la cavitación. En el laboratorio de Reynolds utilizando agua a 20 °C con una viscosidad cinemática de 1.007 cSt se determinó que la velocidad crítica de diseño es de 0.0961 m/s correspondiente a un número de Reynolds igual a 2100 punto donde inicia el régimen de transición. La tendencia en la gráfica es lineal ya que el incremento del número de Reynolds es directamente proporcional en función del aumento de la velocidad.

Dado que el agua a bajas velocidades permite observar con claridad los cambios en el comportamiento del flujo es fundamental mantener las condiciones de operación dentro del régimen laminar. Esto implica que para un diseño eficiente el ingeniero debe considerar parámetros como la viscosidad del fluido, el diámetro de la tubería y la velocidad, depara evitar la aparición de turbulencia, la cavitación o pérdidas de energía asociadas a flujos no controlados.

Figura 12

Datos de entrada ecuación de Darcy-Weisbach (hf) para el agua

$$\begin{aligned}
 D &:= 2,2 \text{ cm} = 0,022 \text{ m} & g &:= 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \\
 \nu &:= 0,01007 \text{ St} = 1,007 \frac{\text{mm}^2}{\text{s}} \\
 Re1 &:= 366 & \text{LAMINAR} & & v1 &:= 0,02 \frac{\text{m}}{\text{s}} \\
 Re2 &:= 6963 & \text{TRANSICION} & & v2 &:= 0,30 \frac{\text{m}}{\text{s}} \\
 Re3 &:= 10924 & \text{TURBULENTO} & & v3 &:= 0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}
 \end{aligned}$$

Fuente: Autor

Figura 13

Ecuación de Darcy-Weisbach (hf) para el agua

f Laminar	f Transicion	f Trubulento
$fL := \frac{64}{406,6667} = 0,1574$	$fTr := \frac{0,316}{Re2^{0,25}} = 0,0346$	$fTu := 0,023$

$$hf1 := fL \cdot \left(\frac{v1^2 \cdot L}{2 \cdot g \cdot D} \right) = 0,0001 \text{ m}$$

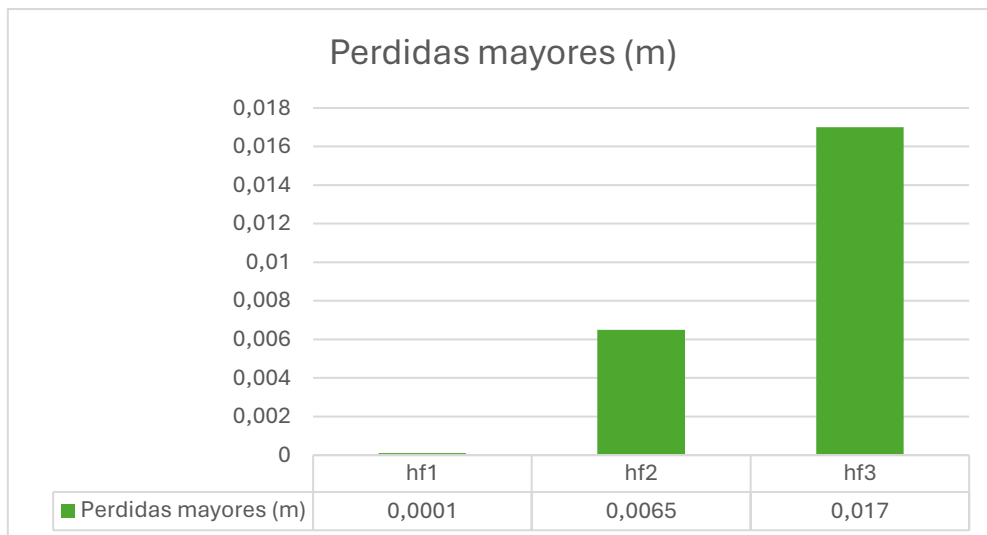
$$hf2 := fTr \cdot \left(\frac{v2^2 \cdot L}{2 \cdot g \cdot D} \right) = 0,0065 \text{ m}$$

$$hf3 := fTu \cdot \left(\frac{v3^2 \cdot L}{2 \cdot g \cdot D} \right) = 0,012 \text{ m}$$

Fuente: Autor

Figura 14

Pérdidas por fricción del agua



Fuente: Autor

Los valores de las pérdidas mayores con el agua tienen un valor mínimo de 0,001 m en condiciones laminares y de 0,012 m en condiciones turbulentas. Por lo que a medida que aumenta la velocidad también la pérdida de energía por fricción implicando que existan más pérdidas de energía en régimen turbulento.

Figura 15

Regímenes de flujo alcanzados por el agua



Fuente: Autor

En la figura 15 se diferencia visualmente el cambio de los regímenes de flujo del agua en función de la velocidad del fluido, donde este fluido alcanza régimen laminar, de transición y turbulento en la prueba realizada.

Fluido 2 (Refrigerante verde 50/50)

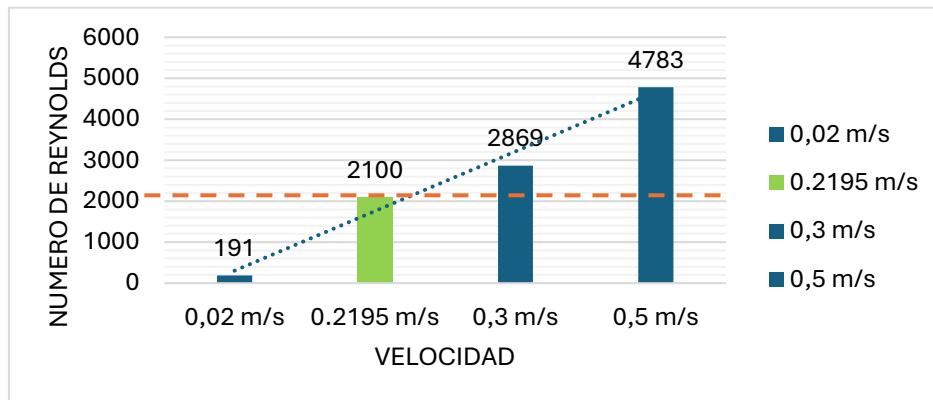
En la siguiente gráfica se representa el número de Reynolds en función de la velocidad. En esta segunda etapa el análisis se realizó con un fluido newtoniano con una viscosidad cinemática de 2.3 cSt a una temperatura de 20 °C. En este caso, el refrigerante 50/50 de color verde se considera también un fluido netamente newtoniano, por lo que se analizaron los puntos correspondientes a la velocidad crítica con el fin de comprender su comportamiento dentro del sistema.

Tabla 11

Datos obtenidos con el Refrigerante

Fluido	0,02 m/s	0.2195 m/s	0,3 m/s	0,5 m/s
Refrigerante	191	2100	2869	4783

Fuente: Autor

Figura 16*Número de Reynolds en función de la velocidad del refrigerante***Fuente:** Autor

La velocidad crítica de diseño para el fluido 2 (refrigerante 50/50) es de 0.2195 m/s punto en el cual inicia el régimen de transición. En las tres pruebas realizadas se observaron los diferentes tipos de flujo: a una velocidad de 0.02 m/s el número de Reynolds fue 191 (régimen laminar), a 0.3 m/s alcanzó un Reynolds de 2869 y a 0,5 m/s se obtuvo un valor de 19130 (régimen turbulento). Por lo que dicho fluido no alcanza sus tres regímenes de flujo, su régimen mayor fue de transición teniendo en cuenta que la variable de la viscosidad cambio con respecto al primer fluido.

Debido a su baja viscosidad cinemática de 2.3 cSt, este fluido alcanza su velocidad crítica a velocidades relativamente bajas. Esto evidencia que, en un sistema de refrigeración es fundamental conocer el número de Reynolds en función de la velocidad de operación ya que permite identificar el régimen de flujo del refrigerante y prevenir efectos indeseables como la cavitación o la turbulencia excesiva.

Figura 17*Datos de entrada ecuación de Darcy-Weisbach (hf) para el Refrigerante*

$$\begin{aligned}
 L &:= 90 \text{ cm} = 0,9 \text{ m} & g &:= 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \\
 D &:= 2,2 \text{ cm} = 0,022 \text{ m} \\
 \nu &:= 0,023 \text{ St} = 2,3 \frac{\text{mm}^2}{\text{s}} & v0 &:= 0 \frac{\text{m}}{\text{s}} \\
 Re1 &:= 191 & \text{LAMINAR} & & v1 &:= 0,02 \frac{\text{m}}{\text{s}} \\
 Re2 &:= 2869 & \text{TRANSICION} & & v2 &:= 0,3 \frac{\text{m}}{\text{s}} \\
 Re3 &:= 4783 & \text{TRANSICION} & & v3 &:= 0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}
 \end{aligned}$$

Fuente: Autor

Figura 18
 Resultados ecuación de Darcy-Weisbach (hf) para el Refrigerante.

f Laminar

$$f_L := \frac{64}{Re1} = 0,3351$$

f Transicion

$$f_{Tr1} := \frac{0,316}{Re2^{0,25}} = 0,0432$$

f Transicion

$$f_{Tr2} := \frac{0,316}{Re3^{0,25}} = 0,038$$

Darcy-Weisbach (hf)

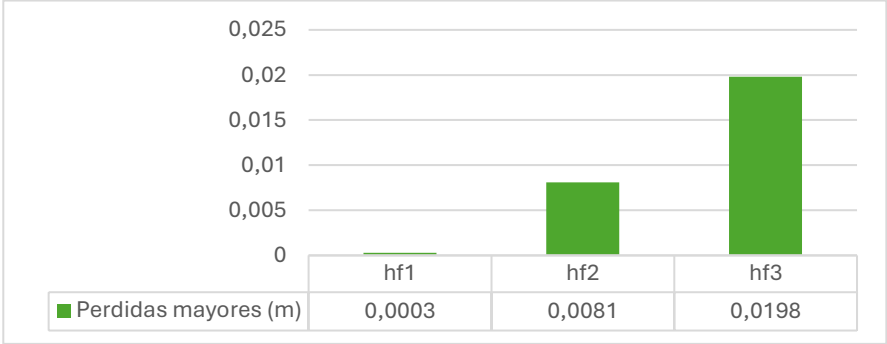
$$hf1 := f_L \cdot \left(\frac{v1^2 \cdot L}{2 \cdot g \cdot D} \right) = 0,0003 \text{ m}$$

$$hf2 := f_{Tr1} \cdot \left(\frac{v2^2 \cdot L}{2 \cdot g \cdot D} \right) = 0,0081 \text{ m}$$

$$hf3 := f_{Tr2} \cdot \left(\frac{v3^2 \cdot L}{2 \cdot g \cdot D} \right) = 0,0198 \text{ m}$$

Fuente: Autor

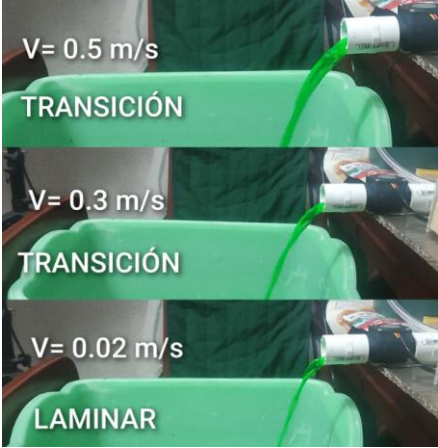
Figura 19
 Pérdidas por fricción del refrigerante



Fuente: Autor

Las pérdidas por fricción con el refrigerante tienen un valor mínimo de 0,003 m en condiciones laminares y de 0,0198 m en condiciones de flujo de transición. Lo que significa que en condiciones laminares las pérdidas por fricción son insignificantes dentro del sistema.

Figura 20
 Regímenes de flujo alcanzados por el refrigerante



Fuente: Autor

En la figura 20 se observó el cambio de régimen de laminar a régimen de transición del refrigerante con el cambio de la velocidad del fluido, con estas velocidades el fluido no alcanzo el régimen turbulento.

Fluido 3 (Lubricante)

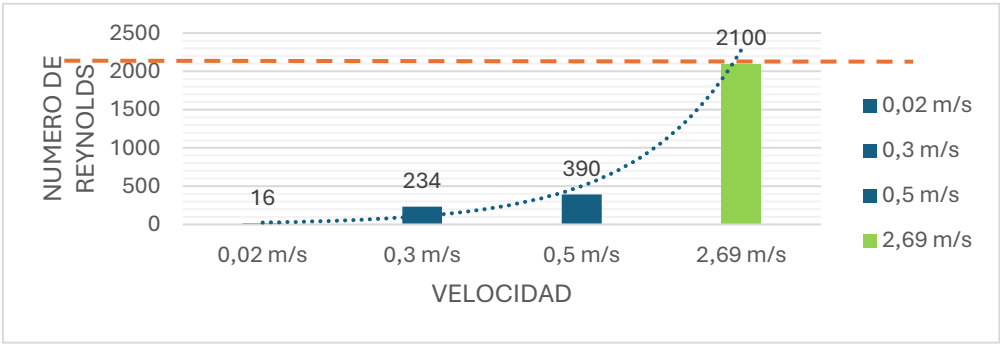
En la última gráfica que representa el número de Reynolds en función de la velocidad se analiza un fluido newtoniano con una viscosidad cinemática de 28.02 cSt a una temperatura de 20 °C. Esta viscosidad es comparable a la de un aceite hidráulico ATF; por ejemplo, el aceite ATF 8LV de Mobil presenta una viscosidad cinemática de 30 cSt a 40 °C, según la norma ASTM D445 (Exxon Mobil, 2022). Lo que permite considerar al lubricante como un fluido netamente newtoniano. En esta etapa se analizaron los puntos correspondientes a la velocidad crítica del sistema con un fluido de características significativamente diferentes, con el fin de comprender su comportamiento bajo condiciones controladas.

Tabla 12
Datos obtenidos con el lubricante

Fluido	0,02 m/s	0,3 m/s	5 m/s	2,69 m/s
Lubricante	16	234	390	2100

Fuente: Autor

Figura 21
Numero de Reynolds en función de la velocidad del lubricante.



Fuente: Autor

Con las velocidades establecidas para este fluido no se supera el régimen laminar. Para alcanzar la velocidad crítica de diseño el fluido requeriría una velocidad de al menos 2.69 m/s. A la velocidad máxima aplicada en la prueba de 0,5 m/s, el número de Reynolds obtenido fue de 390, manteniéndose dentro del flujo laminar. Este comportamiento se debe a la alta viscosidad del fluido, que impide que se alcance el régimen de transición bajo las condiciones controladas del laboratorio de Reynolds. Aunque se aumenta la velocidad el régimen laminar persiste ya que el número de

Reynolds depende directamente de la velocidad del flujo, del diámetro de la tubería y de la viscosidad que varía según el fluido y su temperatura. Por tanto, para alcanzar el punto de transición, sería necesario superar una velocidad de 2.69 m/s. Lo que significa que para un aceite que tiene por su característica viscosa va a necesitar mayores velocidades llegar a la velocidad critica de diseño y velocidades aún mayores para alcanzar su régimen laminar.

Figura 22
Datos de entrada ecuación de Darcy-Weisbach (hf) para el lubricante

$$L := 90 \text{ cm} = 0,9 \text{ m}$$

$$D := 2,2 \text{ cm} = 0,022 \text{ m}$$

$$\nu := 0,282 \text{ St} = 28,2 \frac{\text{mm}^2}{\text{s}}$$

$$g := 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$v0 := 0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$Re1 := 16 \quad \text{LAMINAR} \quad v1 := 0,02 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$Re2 := 234 \quad \text{LAMINAR} \quad v2 := 0,3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$Re3 := 390 \quad \text{LAMINAR} \quad v3 := 0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Fuente: Autor

Figura 23
Resultados de las perdidas menores del lubricante

$$f \text{ Laminar}$$

$$fL1 := \frac{64}{Re1} = 4$$

$$f \text{ Laminar}$$

$$fL2 := \frac{64}{Re2} = 0,2735$$

$$f \text{ Laminar}$$

$$fL3 := \frac{64}{Re3} = 0,1641$$

$$\text{Darcy-Weisbach (hf)}$$

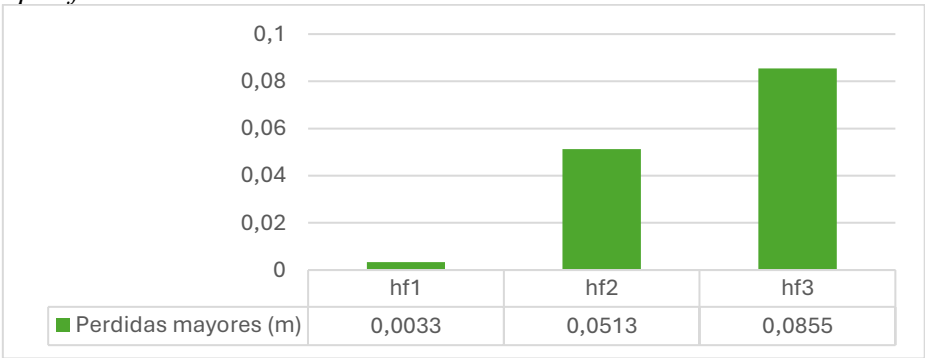
$$hf1 := fL1 \cdot \left(\frac{v1^2 \cdot L}{2 \cdot g \cdot D} \right) = 0,0033 \text{ m}$$

$$hf2 := fL2 \cdot \left(\frac{v2^2 \cdot L}{2 \cdot g \cdot D} \right) = 0,0513 \text{ m}$$

$$hf3 := fL3 \cdot \left(\frac{v3^2 \cdot L}{2 \cdot g \cdot D} \right) = 0,0855 \text{ m}$$

Fuente: Autor

Figura 24
Pérdidas por fricción del lubricante

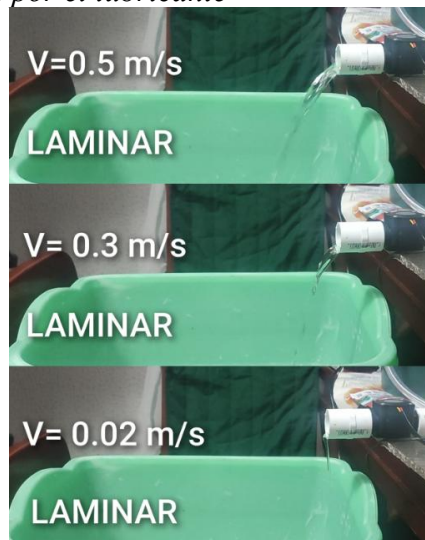


Fuente: Autor

Las pérdidas de energía mayor con el lubricante registraron un valor mínimo de 0,0033 m y un valor máximo de 0,198 m manteniéndose en condiciones netamente laminares. Aunque el fluido no cambia de régimen y permanece por debajo de la velocidad crítica de diseño su alta viscosidad genera pérdidas que aumentan conforme se incrementa la velocidad del flujo.

Figura 25

Regímenes de flujo alcanzados por el lubricante



Fuente: Autor

En la figura 25 se puede observar como en los rangos de velocidades analizados en la prueba, el lubricante no cambia su régimen laminar manteniendo su velocidad crítica de diseño.

Discusión

En esta etapa del análisis, en la gráfica se compara el número de Reynolds en función de la velocidad de cada fluido, donde los tres analizados son fluidos newtonianos con viscosidades diferentes a la misma temperatura de 20°C y se observa como cada uno se comporta diferente a la misma velocidad de análisis.

Tabla 13

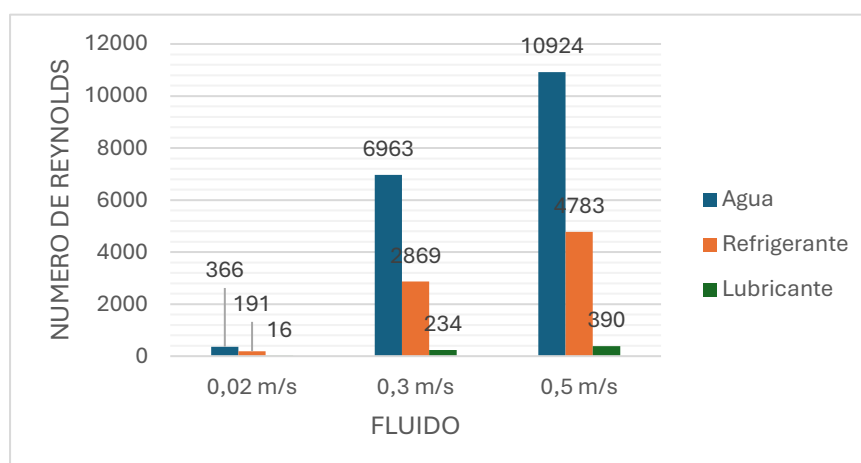
Comparación de los fluidos con la misma velocidad de análisis

Velocidad	0,02 m/s	0,3 m/s	0,5 m/s
Agua	366	6963	10924
Refrigerante	191	2869	4783
Lubricante	16	234	390

Fuente: Autor

Figura 26

Gráfica de comparación de fluidos



Fuente: Autor

Al analizar el comportamiento a una velocidad de 0,02 m/s se observa que el número de Reynolds se encuentra en un régimen completamente laminar en los tres fluidos. En este caso el lubricante presenta un 96 % menos en el valor de Reynolds comparado con el agua, mientras que el refrigerante muestra una diferencia del 48 %. Estas condiciones altamente laminares indican que se requiere un incremento en la velocidad para que el fluido 3 (lubricante) alcance un cambio de régimen.

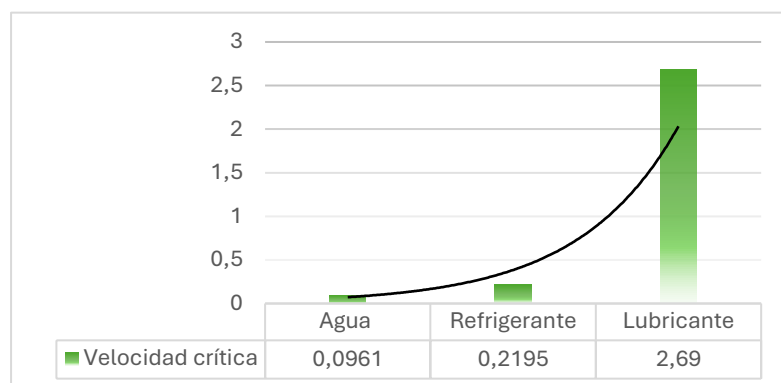
A una velocidad de 0,3 m/s, se produce una variación significativa: el fluido 1 (agua) y el fluido 2 (refrigerante) ingresan en el régimen de transición, mientras que el lubricante aún permanece en régimen laminar con una diferencia del 97 % respecto al número de Reynolds del agua.

Finalmente, a una velocidad de 0,5 m/s, tanto el agua como el refrigerante alcanzan un régimen de flujo turbulento, con una diferencia porcentual del 56 % entre estas dos sustancias mientras que, el lubricante aún se mantiene en condiciones laminares con una diferencia del 96 % en comparación con el agua.

Estos resultados evidencian que la variación en el número de Reynolds está directamente relacionada con la viscosidad del fluido. Por lo tanto, en aplicaciones prácticas como la selección de aceites para motores es fundamental considerar este parámetro para entender el comportamiento del flujo según la viscosidad empleada.

Figura 27

Comparación de velocidades críticas



Fuente: Autor

Como se observa en la gráfica la velocidad crítica es un parámetro fundamental que depende directamente de la viscosidad del fluido analizado. En el caso del fluido 3, se requiere un incremento aproximado del 34 % en la velocidad para alcanzar su valor de velocidad crítica. A medida que se incrementa esta velocidad crítica en función de la viscosidad se requiere una mayor fuerza para desplazar la placa móvil. Esta fuerza proviene de una presión ejercida sobre un área específica (placa móvil) donde la presión está relacionada con el caudal que proporciona la bomba y el diámetro de la tubería. Por lo tanto, para alcanzar la velocidad crítica dependerá de la viscosidad del fluido y de las condiciones del sistema.

Por ejemplo, en un vehículo cuyo motor requiere un aceite 5W-30, si se reemplaza por un aceite 20W-50 que es de mayor viscosidad, la bomba de aceite enfrentará una mayor resistencia al movimiento del fluido. Esto implica que para mantener el mismo desempeño se requeriría rediseñar la bomba con especificaciones que permitan superar esa viscosidad sin generar sobreesfuerzos, asegurando así que el fluido alcance la velocidad crítica necesaria para un flujo eficiente.

CONCLUSIONES

La validez de los datos obtenidos en el laboratorio depende del control de la viscosidad del fluido y de la temperatura durante el análisis donde ambos parámetros influyen directamente en el número de Reynolds por lo que deben ser definidos correctamente antes de iniciar las pruebas experimentales. Los resultados experimentales validan la utilidad del laboratorio de Reynolds como herramienta educativa, permitiendo observar directamente el efecto de la viscosidad y la velocidad en el comportamiento de distintos fluidos y brindando fundamentos para el diseño

eficiente de sistemas hidráulicos. Una adecuada parametrización garantiza que los resultados registrados por el sistema correspondan con los valores teóricos, especialmente dentro del rango operativo del laboratorio, que va desde 0,02 m/s hasta 0,5 m/s.

La velocidad crítica de diseño varía entre fluidos debido a sus diferencias de viscosidad. El agua alcanza esta velocidad a 0,0961 m/s, el refrigerante a 0,2195 m/s, mientras que el lubricante analizado no la alcanzó dentro del rango de estudio, siendo su valor crítico calculado en 2,69 m/s. valor a partir que el flujo comienza su transición desde el régimen laminar, correspondiente a un número de Reynolds de 2100. Esto evidencia que la viscosidad influye directamente en la velocidad crítica de un fluido ya que, a un incremento de viscosidad, mayor debe ser la velocidad para superar su régimen laminar. Este principio es fundamental en el diseño de sistemas hidráulicos donde conocer la velocidad crítica permite evitar fenómenos indeseados como la turbulencia, que puede generar pérdidas de energía y la cavitación lo que generan daños prematuros en el sistema

Los resultados experimentales evidencian que tanto el número de Reynolds como las pérdidas de energía por fricción están directamente influenciados por la viscosidad del fluido. A velocidades bajas a 0,02 m/s todos los fluidos se mantuvieron en régimen laminar siendo el lubricante el que presentó el menor número de Reynolds debido a su alta viscosidad. Incrementando la velocidad a 0,3 m/s, el agua y el refrigerante ingresaron en régimen de transición, mientras que el lubricante permaneció en flujo laminar. Finalmente, a 0,5 m/s, el agua alcanzó un régimen turbulento, el refrigerante permaneció en transición y el lubricante aún no superó el flujo laminar. Paralelamente, se observó un aumento progresivo en las pérdidas de energía por fricción con el incremento de velocidad. En el caso del agua las pérdidas pasaron de 0,0001 m a 0,012 m entre 0,02 m/s y 0,5 m/s. A esta última velocidad, el lubricante a pesar de seguir en régimen laminar presentó la mayor pérdida de energía siendo de 0,0855 m, superando incluso al refrigerante que fue de 0,0198 m, debido a su elevada viscosidad, Lo que significa que un fluido más viscoso genera mayores resistencias internas, incluso por debajo de su velocidad crítica de diseño. Por lo tanto, en el diseño de sistemas hidráulicos, es fundamental considerar la viscosidad del fluido, ya que afecta tanto el régimen de flujo como las pérdidas de energía, influyendo directamente en el

rendimiento del sistema, el esfuerzo de la bomba y la durabilidad de los componentes estructurales.

BIBLIOGRAFÍA

- Ferro, R. (21 de Enero de 2020). *Medium*. Obtenido de Conecta un joystick analógico a Arduino en 3 simples pasos: <https://medium.com/futurelabmx/conecta-un-joystick-analogico-a-arduino-en-3-simples-pasos-a5cd1c6f227e>
- Aguirre, J., & Olivero, M. (2005). *Influence of roughness, aspect ratio and reynolds number on shear stress in channels and non-pressurized closed ducts*. Universidad de los Andes. Mérida: SciELO.
- Alcívar Espinoza, G. S. (2023). *Análisis de la incidencia de Parvovirus Canino en perros*. Babahoyo : (Bachelor's thesis, BABAHOYO: UTB, 2023).
- Barrera, E., Aguirre, F., Vargas, S., & Martínez, E. (2018). *Influencia del Y Plus en el Valor del Esfuerzo Cortante de Pared a través Simulaciones empleando Dinámica Computacional de Fluidos*. Bogota D.C: SciELO.
- Caceres Andrade, C. A. (2021). *Diseño de un perfil aerodinamico para*. Universidad de Pamplona. Norte de Santander: Facultad de Ingenierias y Arquitectura. Obtenido de http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/bitstream/20.500.12744/4149/1/Cáceres_2021_TG.pdf
- Calderón , A., Vargas, G., & Morales, Y. (2017). *NUMERO DE REYNOLDS* . Pasto: UNIVERSIDAD COOPERATIVA DE COLOMBIA .
- Caribe, E. (s.f.). *electronicacaribe*. Obtenido de LCD 16X2 con I2C para Arduino: <https://electronicacaribe.com/product/lcd-16x2-con-i2c-para-arduino/>
- Corapi, P., Acaro Chacón, X. C., Gaibor Nieto, J. A., & Villavicencio , W. B. (2021). *Sistema de monitoreo de caudal y tirante para el LaboratorioPiloto de Hidráulica de la Facultad de Ciencias Matemáticas yFísicas*. Guayaquil: Investigación tecnología e innovación.
- Coronel, A. (2011). *Sistema Para Medir Velocidad en Flujo de Fluidos en 3 Dimensiones*. Centro de investigaciones en Optica.
- Exxon Mobil. (Septiembre de 2022). *MOBIL ATF 8LV*. Obtenido de Mobil: <https://www.mobil.com/en-cn/passenger-vehicle-lube/pds/ap-zh-mobil-atf-8lv#:~:text=Kinematic%20Viscosity%2040%20C%2C%20cSt%2C,ASTM%20D445>

- Facultad de Ingeniería-Universidad Nacional de Cuyo. (2012). Compilado de Tablas . *Mecanica de fluidos*, 47.
- Freezetoneglobal. (01 de febrero de 2024). *FREEZETONE ANTIFREEZE VERDE 50/50 LD*. Obtenido de Hoja de Datos de Seguridad: <https://freezetoneglobal.com/wp-content/uploads/2025/01/FREEZETONE-SDS-5050-LD-VERDE-ESP-2024.pdf>
- García, L., & Saldarriaga, J. (2022). *Flujo turbulento hidráulicamente liso en tuberías de polietileno (PE) en sistemas de*. Bogotá: Universidad de los Andes.
- Innovatech. (s.f.). *Mercadolibre*. Obtenido de Mini Bomba De Agua 12v Arduino Peceras 4l/min: https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-517940287-mini-bomba-de-agua-12v-arduino-peceras-4lmin-innovatech-_JM#polycard_client=recommendations_vip-v2p&reco_backend=ranker_retrieval_system_org&reco_model=rk_ent_v3_retsys_org&reco_client=vip-v2p&reco_item_p
- Innovatech. (s.f.). *Sensor De Caudal Flujo De Agua Fs300a 3/4 Arduino Innovatech*. Obtenido de Mercadolibre.com: https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-517946749-sensor-de-caudal-flujo-de-agua-fs300a-34-arduino-innovatech-_JM#polycard_client=search-nordic&position=2&search_layout=stack&type=item&tracking_id=3e986b36-65ea-4f47-afda-7132c6040eab&wid=MEC517946749&sid
- Jaramillo, J., & Cardenas , H. (2015). *Numero de Reynolds*. Engativá: UNIMINUTO.
- Jiménez Carballo, C. (s.f.). *MECÁNICA DE FLUIDOS: VISCOSIDAD Y TURBULENCIA*. Costa Rica: Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Jimenez, Carreño, Ayala, & Chaves. (2022). *Efecto fluido dinámico de una nueva configuración de*. Santander: Fuentes: El reventon energético.
- Lubristone. (2021). *Lubristone™*. Obtenido de Refrigerante Rojo LUBRISTONE™: https://lubristone.com/sitio/refrigerante-rojo-lubristone/?utm_source
- Manzano , J. (2015). *Design and installation alternatives of Venturi injectors in drip irrigation*. Brazil: Universidade Federal do Ceará.
- Moreno Moreno, J. A. (2017). *“DISEÑO DE UNA RED NEURONAL PARA LA PREDICCIÓN DE VALORES DEL DIAGRAMA DE MOODY”*. Loja: UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA.
- Naylamp Mechatronics. (2023). *Sensor de flujo de agua 3/4" FS300A*. Obtenido de naylampmechatronics: <https://naylampmechatronics.com/sensores-liquido/156-sensor-de-flujo-de-agua-34-fs300a.html>
- NOVAtronic. (2020). *novatronicec*. Obtenido de Bomba de Agua para acuario R385 DC 6-12V: <https://novatronicec.com/index.php/product/bomba-de-agua-para-acuario-r385-dc-6-12v/>

- Ortiz Calle, R., Chile Asimbaya, M., & Ortiz Arévalo, G. (2022). *FACTOR DE FRICCIÓN PARA TUBERÍAS DE PVC Y PE PARA RIEGO*. Quito y Loja: ISSN 2764-1317.
- Ortiz Dominguez, M., Cruz, A., Gomez Vargas, O., Mejia, O., Muñoz, Y., & Pacheco Cedeño, J. S. (2024). *Experimento de Reynolds*. Sahagún: Ingenio y Conciencia.
- Ortiz, M., & Cruz, A. (2022). Viscosidad de un fluido. Sahagún: Ingenio y conciencia.
- Ortiz, R., Chile, M., & Ortiz, G. (2022). *FACTOR DE FRICCIÓN PARA TUBERÍAS DE PVC Y PE PARA RIEGO*. Quito: Journal of Engineering Research ISSN 2764-1317.
- Peñaranda, O. (2024). Mecanica de fluidos. En O. Peñaranda, *Mecanica de Fluido Volumen 2* (pág. 29). Bogotá: ECOE.
- Peretti, G., Bouscharain, N., Dörr, N., Ville, F., & Dwyer-Joyce, R. (2024). *In-situ ultrasonic viscometry of lubricants under temperature and shear*. Sheffield, Villeurbanne, Wiener Neustadt: ELSEVIER.
- Raviolo, A., Carabelli, P., & Ekkert, T. (2022). *Aprendizaje del concepto de densidad: la comprensión de las relaciones entre las variables*. Latin American Physics Education Network.
- Sánchez, R., Mora, C., Barbosa, L. H., & Ensástiga-Alfaro, L. I. (2013). *Tratado epistemológico del Principio de Bernoulli*. Bogotá: EDVCATIO PHYSICORVM.
- Swindells, J. F., Hardy, R. C., Snyder, C. F., & Golden, P. E. (1958). *Viscosities of Sucrose Solutions at Various Temperatures: Tables of Recalculated Values*. Washington DC: National Bureau of Standards Circular.
- TEXACO. (24 de ABRIL de 2023). *Ficha de datos de seguridad*. Obtenido de HAVOLINE:
<https://cglapps.chevron.com/msdspds/PDSDetailPage.aspx?docDataId=507973&docFormat=PDF>
- Vazquez Coutiño, S. (Diciembre de 2017). *INSTRUMENTACION DEL EQUIPO PARA LA DETERMINACIÓN DEL NÚMERO*. CHIAPAS: INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ.
- VelascoStore. (2022). *ARDUINO UNO R3*. Obtenido de velascostore:
<https://velascostore.com/arduino/5423-arduino-uno-r3-desc.html>
- Zacarías, A., González, J., Granados, A., & Mota, A. (2017). *Mecánica de fluidos. Teoría con aplicaciones y modelado*. Patria.

ANEXOS

ANEXOS INTRODUCCIÓN

Anexo 1 Dinámica de fluidos Viscosos (Jimenez, Carreño, Ayala, & Chaves, 2022)

Obtenido de:

<https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/10194/Dinámica%20de%20fluidos%20viscosos.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=Diversos%20experimentos%20han%20demostrado%20que,de%20un%20tipo%20a%20otro>

MECÁNICA DE FLUIDOS: VISCOSIDAD Y TURBULENCIA

Fís. Carlos Adrián Jiménez Carballo
Escuela de Física
Instituto Tecnológico de Costa Rica

TEC | Tecnológico
de Costa Rica

1 / 23

Objetivos

Al finalizar esta sección el estudiante deberá ser capaz de

- Identificar el concepto de viscosidad
- Interpretar el concepto de fluidos laminares
- Interpretar la ecuación de los fluidos viscosos en una tubería cilíndrica
- Interpretar la Ley de Poiseuille
- Aplicar la ley de Stokes
- Interpretar el concepto de velocidad terminal de una esfera en un fluido viscoso.
- Interpretar el número de Reynolds

2 / 23

Conocimientos previos

Para esta sección los estudiantes deben tener conocimientos previos en

- Matemática básica.
- Cálculo diferencial, principalmente los conceptos de derivada e integral
- Física general, principalmente los conceptos de mecánica clásica, como por ejemplo las leyes de newton, los conceptos de posición, distancia, velocidad y aceleración, las definiciones de energía cinética, energía potencial y energía mecánica.

3 / 23

Contenido

Viscosidad

Flujos laminares

Flujo laminar en tubos: Ley de Pouseuilli

Ley de Stokes

Flujos turbulentos y número de Reynolds

4 / 23

Contenido

Viscosidad

Flujos laminares

Flujo laminar en tubos: Ley de Pouseuilli

Ley de Stokes

Flujos turbulentos y número de Reynolds

5 / 23

Viscosidad

La **viscosidad** se refiere a la fricción interna, o resistencia al flujo, de un fluido. Todos los fluidos reales tienen una resistencia interna al flujo la cual puede verse como fricción entre las moléculas del fluido. En el caso de los líquidos, la viscosidad se debe a fuerzas de cohesión de corto alcance y en los gases, se debe a los choques entre las moléculas. La resistencia a la viscosidad tanto de líquidos como de gases depende de su velocidad y podría ser directamente proporcional a ella en algunos casos. Sin embargo, la relación varía dependiendo de las condiciones; por ejemplo, la resistencia es aproximadamente proporcional a v^2 o a v^3 en flujo turbulento. La unidad en el SI de la viscosidad es el Poiseuille ($1 \text{ Pl} = 1 \text{ Pa} \cdot \text{s}$).

6 / 23

Coeficiente de viscosidad η de distintas sustancias

Fluido	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Viscosidad η ($\text{Pa} \cdot \text{s}$)
Agua	0	$1,79 \times 10^{-3}$
Agua	20	$1,00 \times 10^{-3}$
Agua	10	$0,28 \times 10^{-3}$
Aire	-31,6	$1,54 \times 10^{-5}$
Aire	20	$1,83 \times 10^{-5}$
Aire	230	$2,64 \times 10^{-5}$
Alcohol etílico	20	$1,2 \times 10^{-3}$
Glicerina	0	12.11
Glicerina	20	1,49
Helio	20	$1,94 \times 10^{-5}$

7 / 23

Contenido

Viscosidad

Flujos laminares

Flujo laminar en tubos: Ley de Pouseuilli

Ley de Stokes

Flujos turbulentos y número de Reynolds

8 / 23

Flujos laminares

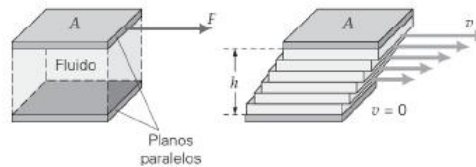
Existen dos tipos de flujos permanentes en el caso de fluidos reales, que es necesario conocer y entender: flujo laminar y el flujo turbulento. Ambos flujos son gobernados por distintas leyes.

La viscosidad hace que las distintas capas de un fluido se muevan con diferente rapidez en respuesta a un esfuerzo cortante. Este movimiento relativo de capas es conocido como **flujo laminar** y es característico del flujo estable de líquidos viscosos a baja velocidad. A velocidades más altas, el flujo se vuelve turbulento.

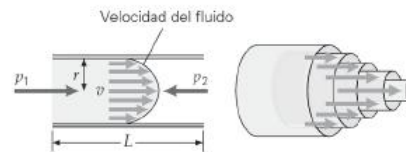
9 / 23

Capas en flujos laminares

Un esfuerzo cortante hace que las capas de un fluido se muevan unas sobre otras en un flujo laminar. La fuerza de corte y la tasa de flujo dependen de la viscosidad del fluido.



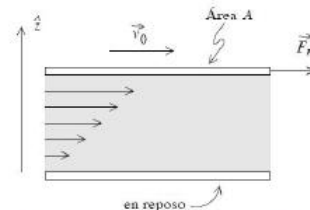
En un flujo laminar por un tubo, la rapidez del fluido es menor cerca de las paredes del tubo que cerca del centro, debido a la fricción entre las paredes y el fluido.



10 / 23

Fluidos newtonianos

Si se consideran dos placas paralelas de área A , separadas por una distancia D por un fluido con viscosidad η entre ellas. Una de las placas se mantiene fija y la otra se mueve (paralelamente) con velocidad v_0 .



Newton experimentalmente encontró que para muchos fluidos la magnitud de la fuerza que se debe aplicar para mantener la placa en movimiento es:

$$F_r = \eta A \frac{v_0}{D}$$

Los fluidos que cumplen con esta relación se llaman **fluidos newtonianos**.

11 / 23

Contenido

Viscosidad

Flujos laminares

Flujo laminar en tubos: Ley de Pouseuilli

Ley de Stokes

Flujos turbulentos y número de Reynolds

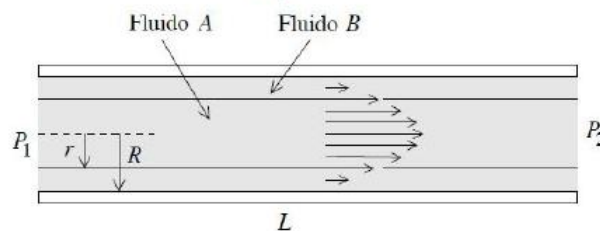
12 / 23

Velocidad de un fluido en un tubo cilíndrico

Cuando un fluido viscoso se mueve en un tubo, su velocidad de flujo es diferente en distintos puntos de una misma sección transversal. La capa más externa del fluido se adhiere a las paredes del tubo, y su velocidad es cero. Para el caso de un flujo laminar la velocidad es máxima en el tubo y disminuye hasta anularse en las paredes.

Analizando las fuerzas que actúan sobre un elemento del fluido se puede mostrar que la velocidad del tubo en función de una distancia radial r es

$$v(r) = \frac{p_1 - p_2}{4\eta L} (R^2 - r^2) .$$



13 / 23

Ley de Pouseuille

A partir de la ecuación de la velocidad de un fluido con viscosidad η en un tubo cilíndrico de radio R y longitud L se puede encontrar una expresión que permite determinar el volumen total por unidad de tiempo, en otras palabras el caudal Q , dicha expresión se conoce como **ley de Pouseuille**

$$\frac{dV}{dt} = \frac{(p_1 - p_2) \pi R^4}{8\eta L} = \frac{1}{2} \pi R^2 v_m,$$

donde $(p_1 - p_2)$ es la diferencia de presiones en los dos extremos del tubo.

14 / 23

Contenido

Viscosidad

Flujos laminares

Flujo laminar en tubos: Ley de Pouseuilli

Ley de Stokes

Flujos turbulentos y número de Reynolds

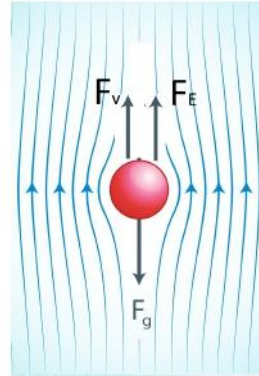
15 / 23

Ley de Stokes

Cuando un fluido laminar se mueve alrededor de una esfera de radio R , o cuando una esfera se mueve por un fluido estacionario con viscosidad η , el fluido ejerce una fuerza viscosa (una fuerza de resistencia) sobre la esfera. La magnitud de dicha fuerza es

$$F_v = 6\pi R\eta v,$$

dicha relación se conoce como **Ley de Stokes**.

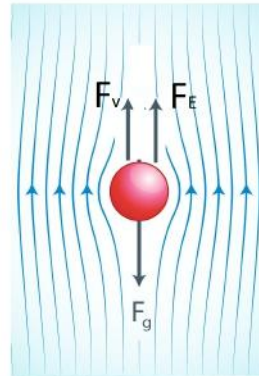


16 / 23

Velocidad terminal

Una esfera que cae en un fluido con viscosidad η alcanza una velocidad terminal o límite v_T para la cual la fuerza viscosa más el empuje es igual al peso de la esfera. Sean ρ_f la densidad del fluido, ρ y R la densidad y el radio de la esfera de tal manera que la masa del fluido es $\frac{4}{3}\pi R^3 \rho$ a partir del análisis de fuerzas que actúan sobre la esfera se obtiene la velocidad terminal v_T de la esfera

$$v_T = \frac{2}{9} \frac{R^2 g}{\eta} (\rho - \rho_f)$$



17 / 23

Contenido

Viscosidad

Flujos laminares

Flujo laminar en tubos: Ley de Pouseuilli

Ley de Stokes

Flujos turbulentos y número de Reynolds

18 / 23

Flujo turbulento

Se conoce como **flujo turbulento o corriente turbulenta** al movimiento de un fluido que se da en forma caótica, o sea aquel flujo el que las partículas del fluido se mueven desordenadamente y las trayectorias de las partículas se encuentran formando pequeños remolinos aperiódicos, (no coordinados) como por ejemplo el agua en un canal de gran pendiente. Debido a esto, la trayectoria de una partícula se puede predecir hasta una cierta escala, a partir de la cual la trayectoria de la misma es impredecible, más precisamente caótica.

19 / 23

Número de Reynolds

El **número de Reynolds** N_R relaciona la densidad, viscosidad, velocidad y dimensión típica de un flujo en una expresión *adimensional*, que interviene en numerosos problemas de dinámica de fluidos. Dicha cantidad sirve para identificar si un flujo es laminar o turbulento.

Para un fluido de viscosidad η que circula por el interior de una tubería circular recta de diámetro D , el número de Reynolds N_R viene dado por:

$$N_R = \frac{\rho v D}{\eta}.$$

Diversos experimentos han demostrado que cuando el número de Reynolds es menor o igual a 2000, el régimen es laminar, mientras que por encima de 3000 el régimen es turbulento. En la zona de transición, entre 2000 y 3000 el régimen es inestable y puede pasar de un tipo a otro.

20 / 23

Fórmulas hidrostática segundo examen parcial

$v = \frac{\Delta p}{4\eta L} (R^2 - r^2)$	$\frac{dV}{dt} = \frac{\pi}{8} \frac{\Delta p}{\eta L} R^4$	$\frac{dV}{dt} = Q = AV = \text{const}$
$F_v = 6\pi R\eta v$	$N_R = \frac{\rho v D}{\eta}$	$F = \rho Vg$

Todas las fórmulas que no aparecen aquí deben ser demostradas en el examen

21 / 23

Bibliografía

- Sears, F.W., Zemansky, M.W., Young, H.D., Freedman, R.A. (2013). *Física Universitaria*. Volumen I. Décimo tercera edición. México: Pearson Education.
- Resnick, R., Halliday, D., Krane, K. (2013). *Física*. Volumen I. 5ta. Edición. México: Grupo Editorial Patria.
- Potter, M. C., & Wiggert, D. C. (2007). *Mecánica de fluidos*, 3ra. Edición, Thomson Learning, México.
- Wilson, J.D., Buffa, A.J. y Lou, B. (2007). *Física*. 6ta Edición. México: Pearson educación.
- SCHAUM, R. V. G., Evett, J. B., & Liu, C. (2005). *Mecánica de los fluidos e Hidráulica*. Editorial McGraw-Hill/Interamericana de España, Madrid.

22 / 23

Créditos

- Vicerrectoría de Docencia
- CEDA - TEC Digital
- Proyecto de Virtualización 2016-2017
- Física General III
- Fís. Carlos Adrián Jiménez Carballo (profesor)
- Ing. Paula Morales Rodríguez (coordinadora de diseño)
- Andrés Salazar Trejos (Asistente)

23 / 23

ANEXO MARCO TEÓRICO

Anexo 2.

Anexo 2 “DISEÑO DE UNA RED NEURONAL PARA LA PREDICCIÓN DE VALORES DEL DIAGRAMA DE MOODY” (Moreno Moreno, 2017). Obtenido de: <https://dspace.unl.edu.ec/items/089c684c-a59e-489a-a38d-77d60f6ad2e9>

define como la razón de la densidad de una sustancia a la densidad de alguna sustancia estándar, a una temperatura especificada (por lo general, agua a 4°C, para la cual $\rho_{H_2O} = 1000 \text{ kg/m}^3$. (Cengel & Cimbala, 2006)

4.2. FLUJO DE FLUIDOS EN TUBERÍAS

El método más universal para transportar fluidos de un lugar a otro es impulsarlo a través de un sistema de tuberías. Las tuberías de sección circular son las más común, ya que esta forma ofrece no sólo mayor resistencia estructural sino también mayor sección transversal para el mismo perímetro exterior que cualquier otra forma.

Según (Giles, 1975) existen dos tipos de flujos permanentes en el caso de fluidos reales. Estos son flujo laminar y flujo turbulento.

4.2.1. Flujo laminar

Las partículas se mueven en direcciones paralelas formando capas o láminas, el fluido es uniforme y regular, es decir, la viscosidad domina el movimiento del fluido.

Se determina que hay flujo laminar cuando el número de Reynolds es menor a 2000.

4.2.2. Flujo crítico

Existe cuando el caudal se incrementa después de estar en flujo laminar hasta que las láminas comienzan a ondularse y romperse en forma brusca y difusa.

Se determina cuando el número de Reynolds tiene valores entre 2000 y 4000.

4.2.3. Flujo turbulento

Existe a velocidades mayores que la crítica, cuando hay un movimiento irregular e indeterminado de las partículas del fluido en direcciones transversales a la dirección principal de flujo.

Es determinado cuando el número de Reynolds tiene valores mayores a 4000.

4.2.4. Número de Reynolds

Según (Mott, 2006) el comportamiento de un fluido, en particular en lo que se refiere a las pérdidas de energía, depende de que el flujo sea laminar o turbulento. Por esta razón, se

necesita un medio para predecir el tipo de flujo sin tener que observarlo en realidad. Más aún, la observación directa es imposible para fluidos que van por tubos opacos. Se demuestra en forma experimental y se verifica de modo analítico, que el carácter del flujo en un tubo redondo depende de cuatro variables: la densidad del fluido ρ , su viscosidad dinámica η , el diámetro del tubo D y la velocidad promedio del flujo v , también, se la puede reducir al equivalente de viscosidad cinemática ν que es igual a viscosidad dinámica sobre densidad. Osborne Reynolds fue el primero en demostrar que es posible pronosticar el flujo laminar o turbulento si se conoce la magnitud de un número adimensional, al que hoy se lo denomina número de Reynolds (N_R). La ecuación siguiente muestra la definición básica del número de Reynolds:

$$N_R = \frac{vD\rho}{\eta} = \frac{vD}{\nu} \quad \text{Ecuación (1)}$$

El número de Reynolds es la relación de la fuerza de inercia sobre un elemento de fluido a la fuerza viscosa.

Los flujos tienen números de Reynolds grandes debido a una velocidad elevada y/o una viscosidad baja y tienden a ser turbulentos. Aquellos fluidos con viscosidad alta y/o que se mueven a velocidades bajas, tendrán números de Reynolds bajos y tenderán a comportarse en forma laminar.

4.2.5. Pérdida de energía por fricción

También es llamada pérdida de carga, y es la energía necesaria para vencer los efectos del rozamiento.

La ecuación de Darcy-Weisbach calcula las pérdidas por fricción, h_L , tanto en régimen laminar como turbulento.

$$h_L = f \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2g} \quad \text{Ecuación (2)}$$

Donde

h_L = Pérdida de energía debido a la fricción (N·m/N, m, lb-pie/lb o pies)

L = Longitud de la corriente del flujo (m o pies)

D = Diámetro de la tubería (m o pies)

v = Velocidad promedio del flujo (m/s o pies/s)

f = Factor de fricción (adimensional)

4.2.6. Coeficiente de fricción

Basados en (Giles, 1975) se explica cómo interactúa el coeficiente de fricción para flujo laminar y turbulento.

- a) Para flujo laminar se puede deducir matemáticamente entre la relación conocida como ecuación de Hagen-Poiseuille que involucra las propiedades del fluido en cuanto a viscosidad y peso específico, las características geométricas de longitud y diámetro de la tubería, y la dinámica del flujo caracterizada por la velocidad promedio.

$$h_L = 64 \times \frac{\mu}{vD} \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2g} = \frac{64}{N_R} \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2g} \quad \text{Ecuación (3)}$$

Por tanto para flujo laminar, el valor de f viene dado por

$$f = \frac{64}{N_R} \quad \text{Ecuación (4)}$$

- b) Para flujo turbulento, existen algunas investigaciones para el cálculo de f pero todas son limitadas para cada caso es por eso que el Instituto Hidráulico de los Estados Unidos consideran para la mayoría de tuberías la ecuación de Colebrook-White como la más aceptable para el cálculo de f . La ecuación es

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left[\frac{\epsilon/D}{3.7} + \frac{2.51}{N_R(f^{0.5})} \right] \quad \text{Ecuación (5)}$$

Aunque la ecuación 5 es de resolución muy engorrosa, se ha creado diagramas que den relaciones existente entre el coeficiente de fricción f , el numero de Reynolds N_R y la rugosidad relativa de la tubería ϵ/D como es el diagrama de Moody.

4.2.7. Diagrama de Moody

Basados en (Mataix, 2004) el diagrama de Moody está construido en papel doblemente logarítmico y es la representación gráfica de dos ecuaciones:

- a) Expresión de la ecuación de Poiseuille (ecuación (4)): esta ecuación en papel logarítmico es una recta. La prolongación dibujada a trazos es la zona crítica.
- b) La ecuación de Colebrook-White (ecuación (5)): esta ecuación es función de dos variables $(f = f(N_R, \varepsilon/D))$. Dicha ecuación se representa en el diagrama de Moody por una familia de curvas, una para cada valor de rugosidad relativa.

En la figura 1 se presenta el diagrama de Moody.

Uso del diagrama de Moody

El diagrama de Moody se utiliza para ayudar a determinar el valor del factor de fricción f para el flujo turbulento. Debe conocerse el valor del número de Reynolds y la rugosidad relativa. (Mott, 2006)

El diagrama de Moody al tratarse de un método gráfico es recomendable seguir la siguiente secuencia de pasos:

1. Calcular el valor del N_R para determinar si el flujo es laminar o turbulento.
2. Calcular la rugosidad relativa.
3. Localizar N_R en el eje de las x.
4. Localizar la rugosidad relativa en el eje vertical.
5. En el caso que no exista una curva del valor de rugosidad relativa calculado se debe trazar una curva simétrica entre las curvas inmediata superior e inmediata inferior considerando el valor de la rugosidad relativa.
6. Extender una línea vertical desde nuestro valor de N_R hasta la curva de rugosidad relativa y una vez intersectada, extender una línea horizontal hacia la izquierda en el eje de "y" para determinar el coeficiente de fricción apropiado.

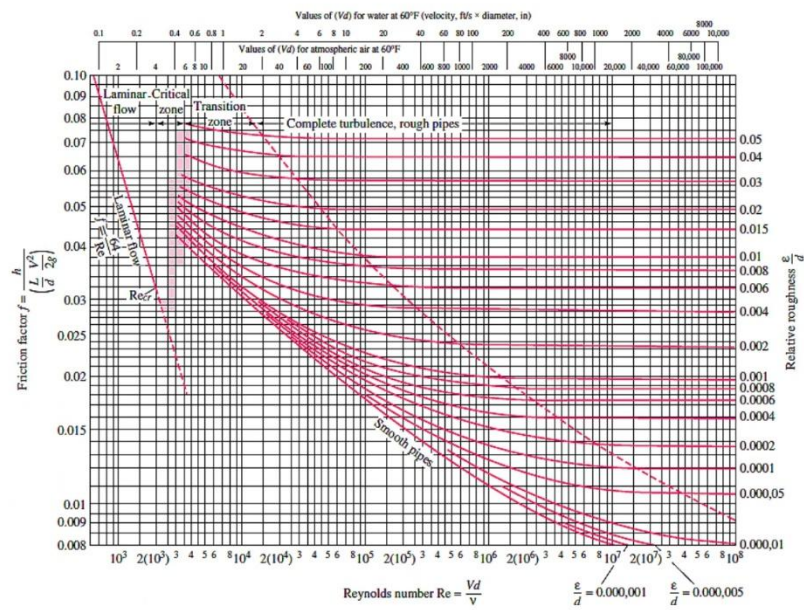


Figura 1. Diagrama de Moody
Fuente: (White, 2013)

12

ANEXOS MATERIALES Y MÉTODOS

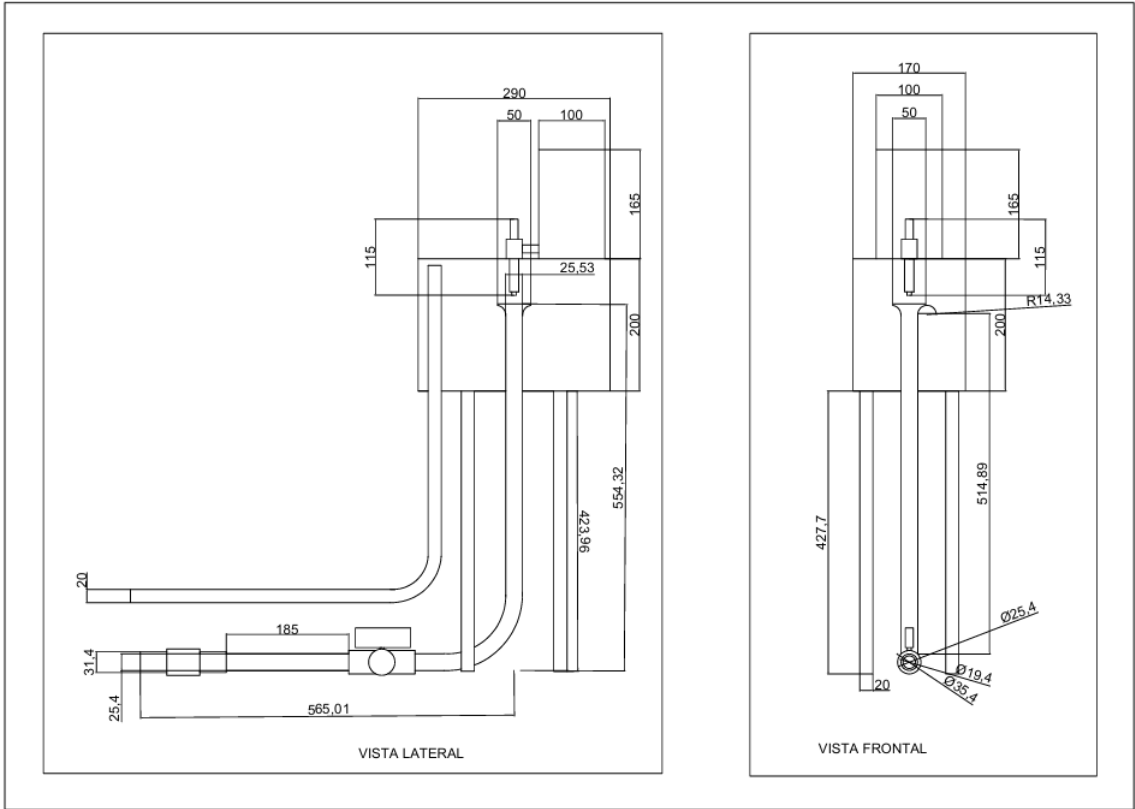
Anexo 3 Válvula de Bola



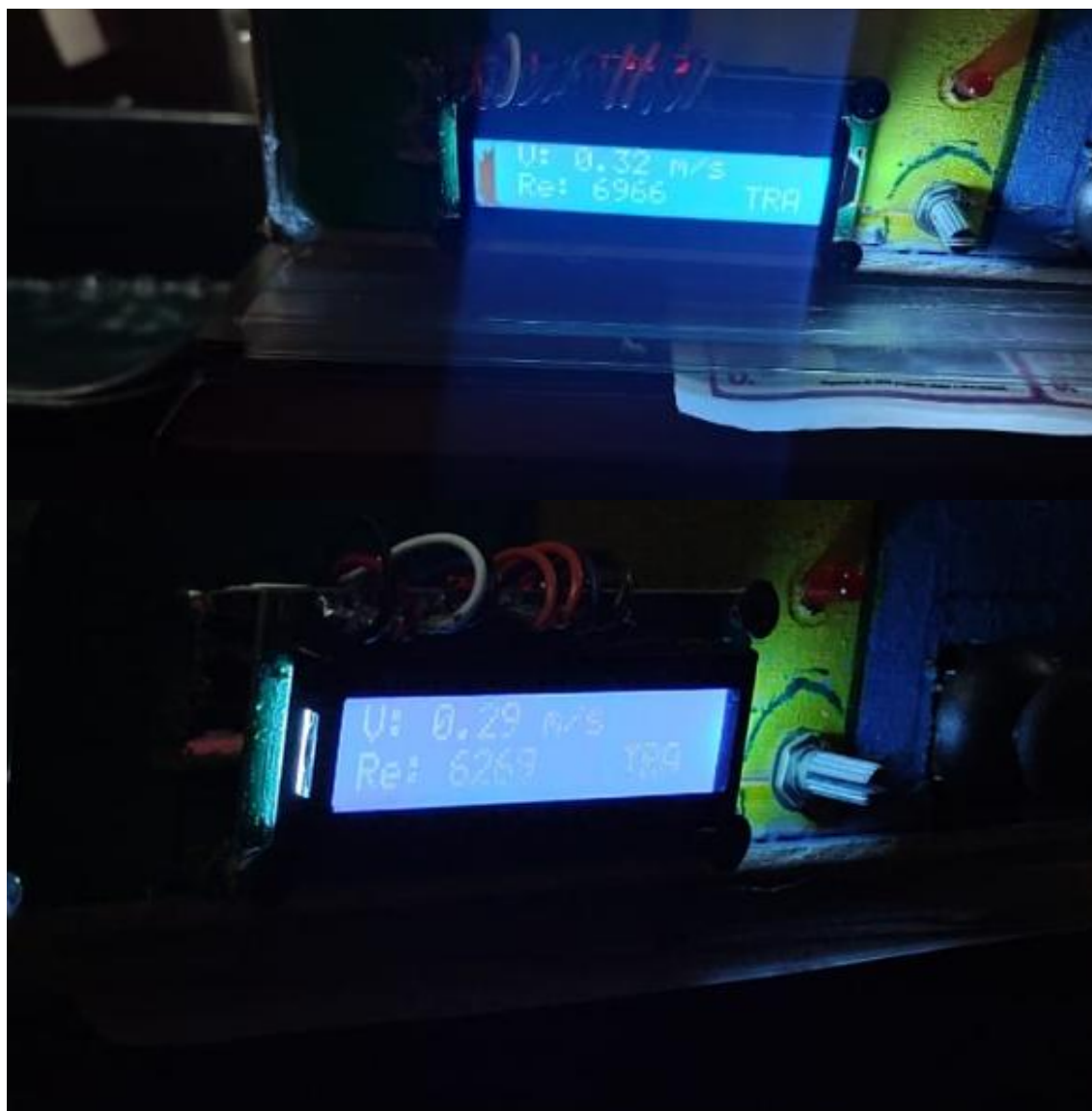
Anexo 4 Laboratorio de Reynolds.



Anexo 5 Diseño computarizado en 2D



Anexo 6 Régimen medio de medición



Anexo 7 Rango bajo de medición



Anexo 8 Factor de fricción para tuberías de PVC (Ortiz Calle, Chile Asimbaya, & Ortiz Arévalo, 2022) Obtenido de:
<https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/717058/1/FactordefriccinparatuberasdePVCyPEpararie.pdf>

v. 2, n. 18, 2022

Journal of Engineering Research

FACTOR DE FRICCIÓN PARA TUBERÍAS DE PVC Y PE PARA RIEGO

Randon Ortiz Calle

Universidad Central del Ecuador. Quito,
Ecuador

Maritza Chile Asimbaya

Universidad Central del Ecuador. Quito,
Ecuador

Gabriel Ortiz Arévalo

Universidad Técnica Particular de Loja. Loja,
Ecuador



All content in this magazine is licensed under a Creative Commons Attribution License. Attribution-Non-Commercial-NoDerivatives 4.0 International (CC BY-NC-ND 4.0).

Resumen: El factor de fricción es un parámetro muy importante en la estimación de las pérdidas de carga en tuberías para riego. El objetivo del análisis numérico y estadístico fue desarrollar ecuaciones sencillas para estimar el factor de fricción para tuberías de PVC y PE. Los límites de las ecuaciones desarrolladas son: número de Reynolds entre 2.0×10^3 y 3.6×10^5 , velocidad promedio del agua entre 0.1 y 3.0 m s⁻¹, diámetros de tubería de PVC DN 20 - 630 mm y PE DN 12 - 20 mm. Resultados principales: i) las ecuaciones desarrolladas f_{PVC} y f_{PE} presentaron un coeficiente de determinación de 1.0, coeficiente de concordancia de 1.0 y un error relativo del 0.29 % para PVC y 1.02 % para PE; ii) las ecuaciones explícitas de Avci - Karagoz, Streeter-Wylie-Bedford, Pavlov y Filolenko presentaron una menor precisión que las ecuaciones f_{PVC} y f_{PE} ; iii) Darcy - Weisbach con f_{PVC} y f_{PE} presentó el menor error relativo promedio en pérdidas de carga en contraste con Hazen - Williams y Darcy - Blasius. En conclusión, a pesar de que universalmente las ecuaciones Darcy - Weisbach, Poiseuille y Colebrook - White son recomendadas para determinar las pérdidas de carga, las ecuaciones f_{PVC} y f_{PE} determinadas para estimar el factor de fricción para tuberías de PVC y PE son matemática y estadísticamente robustas.

Palabras clave: Velocidad del agua, número de Reynolds, pérdidas de carga, Darcy - Weisbach, Colebrook - White.

INTRODUCCIÓN

Las redes colectivas de riego presurizado están conformadas por tuberías de PVC y por mangueras de polietileno por su facilidad de transporte, instalación y reparación. Para el dimensionamiento de las redes se usan programas computacionales, los cuales utilizan las ecuaciones de Darcy - Weisbach (DW), Hazen - Williams (HW) o Darcy - Blasius (DB) para determinar los diámetros de los

tramos en base a varios criterios hidráulicos. En campo, la instalación de una red de tuberías está sujeta a cambios en el trazado: por oposición de usuarios, presencia de rocas o áreas restringidas, incorporación de nuevos usuarios, entre otros factores, imprevistos que deben resolverse en el sitio redimensionando los diámetros de uno o varios tramos, siendo las ecuaciones de HW o DB las más utilizadas para determinar las pérdidas de carga por la complejidad del cálculo del factor de fricción para emplear DW, a pesar de las restricciones que presentan, especialmente HW (Allen, 1986).

El factor de fricción varía con la viscosidad cinemática del agua, caudal, diámetro interno y rugosidad (Haddad, 2019). Poiseuille desarrolló su ecuación para determinar el factor de fricción para números de Reynolds menores a 2000 (ecuación 2), flujo clasificado como laminar en donde predominan las fuerzas viscosas del fluido y, Colebrook - White para números de Reynolds mayores a 4000 (ecuación 3), flujo del tipo turbulento con predominio de las fuerzas cinéticas del fluido (Mataix, 1982; Streeter, Wylie & Bedford, 2000). El factor de fricción para las ecuaciones de Poiseuille y Colebrook - White se presentó en el diagrama de Moody en 1944 (Depeweg, 2001; White, 2008), muy usado hasta la década de los 90's, sin embargo, hoy en día este parámetro se estima en forma precisa a través de programas computacionales y de hacerlo en forma manual se requiere de varias iteraciones considerando que es una ecuación implícita (Mataix, 1982; Streeter, Wylie & Bedford, 2000; Praks & Brkic, 2018; Haddad, 2019).

En una red de tuberías para riego, la velocidad mínima del agua es 0.6 m s⁻¹ para garantizar el arrastre de los sólidos en suspensión y el aire que el agua contiene en emulsión y, la velocidad máxima de 1.8 m s⁻¹ para reducir los efectos negativos que produce

la sobrepresión generada por el golpe de ariete, aun cuando, hidráulicamente se puede transportar el agua con velocidades máximas de 3.0 m s^{-1} (Plastro, 1998; Ortiz, 2021), bajo estos criterios de velocidad, el flujo en las redes de tuberías presurizadas para riego es turbulento, por tanto, la ecuación Colebrook - White es la recomendada para estimar el factor de fricción (Praks & Brkic, 2018; Abdulameer et al., 2022).

A nivel de laboratorio, varios experimentos se han realizado en tubería de PVC de hasta DN 110 mm para determinar la validez de las ecuaciones para estimar el factor de fricción; Bagarello et al. (1995) encontraron una alta correlación entre los resultados experimentales del factor de fricción con los determinados a través de las ecuaciones de Poiseuille y Colebrook - White para tuberías de PVC (DN 16, 20 y 25 mm); Diogo & Vilolo (2014) reportaron que los valores de fricción medidos experimentalmente fueron muy bien replicados por dichas ecuaciones; Carvajal et al. (2020) recomiendan el uso de la ecuación de Poiseuille para diámetros pequeños y Colebrook - White para diámetros mayores. A pesar de que las ecuaciones propuestas por Poiseuille y Colebrook - White han sido validadas experimentalmente con equipos de alta precisión, el cálculo del factor f es implícito (iteraciones).

Para simplificar el cálculo del factor de fricción se han propuesto varias aproximaciones explícitas, como: Praks & Brkic (2018) recomiendan el método de Halley, el cual determina f en una interacción con una precisión del 8.29 %, con dos iteraciones 0.69 % y con tres iteraciones 0.0617 %; Samadianfard (2012) reporta que la ecuación de Avci and Karagoz es confiable (ecuación 7) y, Streeter, Wylie & Bedford (2000) proponen su ecuación para estimar el factor de fricción (ecuación 8); Mohsenabadi et al. (2014) compararon 30 ecuaciones explícitas para Colebrook - White,

concluyendo que ellas presentan diferencias significativas en los resultados. Si bien es cierto que estas aproximaciones son complejas, no son específicas para tuberías de PVC y PE para riego (Allen, 1986).

Hidráulicamente existen discrepancias con las pérdidas de carga que proporciona la ecuación de HW cuando es comparada con los resultados proporcionados por DW, debido a que HW presenta un solo coeficiente de rugosidad para todos los diámetros (para PVC, $C=150$), mientras que el factor de fricción varía con las condiciones del flujo: rugosidad, diámetro, caudal y temperatura (Mataix, 1982; Streeter, Wylie & Bedford, 2000; Kay, 2015; Jamil, 2019). Para riego por goteo HW presenta serias limitaciones y estadísticamente un ruido (Allen, 1986). Keller & Bliesner (1990) presentaron dos ecuaciones (15 y 16) para determinar las pérdidas de carga en tuberías para riego por aspersión y goteo, las cuales se derivan de la ecuación general de Darcy - Weisbach y del factor de fricción propuesto por Blasius para flujo turbulento.

Las redes de tuberías presurizadas para riego se han dimensionado con las ecuaciones DW, HW y DB, sin embargo, las diferencias de los resultados entre ellas no son perceptibles considerando que, para el dimensionamiento de una red, los caudales se mayoran entre un 20 y 25 % para cubrir las pérdidas de carga localizadas y la variación de la rugosidad en el tiempo (Granados, 1996; Depeweg, 2001; Kay, 2015; Ortiz, 2021). No obstante, es necesario optimizar el dimensionamiento de los diámetros considerando que los costos de las tuberías de PVC son cada vez más altos. El objetivo de la investigación fue desarrollar ecuaciones sencillas y estadísticamente robustas para determinar el factor de fricción para tuberías de PVC y PE para riego presurizado (aspersión, micro aspersión o goteo).

MATERIALES Y MÉTODOS

MÉTODOS PARA DETERMINAR EL FACTOR DE FRICCIÓN Y PÉRDIDAS DE CARGA

DARCY-WEISBACH

$$H_f = f \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2g} \quad (1)$$

Dónde: H_f es la pérdida de carga (m); f , es el factor de fricción; L , es la longitud de la tubería (m); D , diámetro interno de la tubería (m); V , es la velocidad promedio del agua (m s^{-1}); g , es la gravedad terrestre ($\text{m}^2 \text{s}^{-1}$). Ecuación aceptada universalmente para determinar las pérdidas de carga (Mataix, 1982; Streeter, Wylie & Bedford, 2000; Kay, 2015).

$$H_f = 6.3758 \text{ E}^6 \times f \times L \times \frac{Q^2}{D^5} \quad (2)$$

Dónde: H_f es la pérdida de carga (m); Q , es el caudal ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$); D , diámetro interno de la tubería (mm). Ecuación de Darcy - Weisbach para unidades de caudal y diámetros utilizados en riego presurizado (Ortiz, 2021).

FACTOR DE FRICCIÓN - POISEUILLE

$$f = \frac{64}{\text{Re}} \quad (3)$$

Dónde: f , es el factor de fricción; Re , es el número de Reynolds. Ecuación para calcular el factor de fricción f cuando el número de Reynolds es menor a 2000 (Mataix, 1982; Allen, 1986).

FACTOR DE FRICCIÓN - COLEBROOK

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \times \log \left(\frac{k}{3.71 \times D} + \frac{2.51}{\text{Re} \times \sqrt{f}} \right) \quad (4)$$

Dónde: f , es el factor de fricción de Colebrook - White; k , es la rugosidad de la tubería (m); D , diámetro interno de la tubería

(m). Ecuación para calcular el factor de fricción f cuando el número de Reynolds es mayor a 4000 (Colebrook - White, 1937).

NÚMERO DE REYNOLDS

$$\text{Re} = \frac{V \times D}{\nu} \quad (5)$$

Dónde: Re , es el número de Reynolds; ν , la viscosidad cinemática ($\text{m}^2 \text{s}^{-1}$).

VISCOSIDAD CINEMÁTICA

$$\nu = \frac{0.0000018}{1 + 0.03620862 \times T + 0.00015909 \times T^2} \quad (6)$$

Dónde: ν , es la viscosidad cinemática ($\text{m}^2 \text{s}^{-1}$); T , es la temperatura del agua en grados centígrados (Mataix, 1982).

FACTOR DE FRICCIÓN AVCI - KARAGOZ

$$f_{AK} = 6.4 \times \left\{ \ln(\text{Re}) - \ln \left[1 + 0.01 \frac{k \times \text{Re}}{D} \times \left(1 + 10 \times \sqrt{\frac{k}{D}} \right) \right] \right\}^{-2.4} \quad (7)$$

Dónde: f_{AK} , es el factor de fricción desarrollado por Avci and Karagoz a partir de los datos Princeton-pipe data (Samadianfard, 2012).

FACTOR DE FRICCIÓN STREETER-WYLIE-BEDFORD

$$f_{SWB} = 1.325 \times \left[\ln \left(\frac{k}{3.7 \times D} + \frac{5.74}{\text{Re}^{0.9}} \right) \right]^{-2} \quad (8)$$

Dónde: f_{SWB} , es el factor de fricción, $5 \text{ E}^3 < \text{Re} < 1 \text{ E}^8$, $1 \text{ E}^{-6} < k/D < 1 \text{ E}^{-2}$ (Streeter, Wylie & Bedford, 2000; Pallares, Calderón & Pisca, 2015).

FACTOR DE FRICCIÓN PAVLOV

$$f_{Pav} = \left\{ -2 \times \log \left[\frac{k}{3.7 \times D} + \left(\frac{6.81}{Re} \right)^{0.9} \right] \right\}^{-2} \quad (9)$$

Dónde: f_{Pav} , es el factor de fricción desarrollado por Pavlov, $4 \times 10^3 < Re < 1 \times 10^8$ (Gracia et. al., 2014).

FACTOR DE FRICCIÓN FILOLENKO

$$f_{Filo} = [1.82 \times \log(Re) - 1.64]^{-2} \quad (10)$$

Dónde: f_{Filo} , es el factor de fricción desarrollado por Filolenko para tuberías lisas, $4 \times 10^3 < Re < 1 \times 10^8$ (Gracia et. al., 2014).

FACTOR DE FRICCIÓN PARA TUBERÍAS DE PVC PARA RIEGO

$$f_{PVC} = 6.354 \times [\ln(Re)]^{-2.398} \quad (11)$$

Dónde: f_{PVC} , es el factor de fricción para tuberías de PVC para riego DN 20 a 630 mm de diámetro, velocidad promedio del agua entre 0.1 y 3.0 m s⁻¹.

FACTOR DE FRICCIÓN PARA MANGUERA DE POLIETILENO (PE) PARA RIEGO

$$f_{PE} = 0.2749 \times Re^{-0.2334} \quad (12)$$

Dónde: f_{PE} , es el factor de fricción para manguera de polietileno DN 12 a 20 mm de diámetro y velocidad promedio del agua de 0.1 y 3.0 m s⁻¹. Para diámetros mayores se puede utilizar la ecuación 11.

PÉRDIDA DE CARGA HAZEN - WILLIAMS

$$H_f HW = 1.131 \times 10^9 \times \left(\frac{Q}{C} \right)^{1.852} \times \frac{L}{DI^{4.872}} \quad (13)$$

Dónde: $H_f HW$ es la pérdida de carga (m); L , es la longitud de la tubería (m); Q es el caudal (m³ h⁻¹); DI , diámetro interno de la tubería (mm); C para tuberías de PVC es 150 (Allen, 1986).

PÉRDIDA DE CARGA DARCY - BLASIUS (PVC DN < 110 MM)

$$H_f DB = 7.89 \times 10^5 \times L \times \frac{Q^{1.75}}{DI^{4.75}} \quad (14)$$

Dónde: $H_f DB$ es la pérdida de carga (m); Q , es el caudal (l s⁻¹), para tuberías de PVC de diámetro menor a 110 mm (Keller & Bliesner, 1990).

PÉRDIDA DE CARGA DARCY - BLASIUS (PVC DN > 110 MM)

$$H_f DB = 9.58 \times 10^5 \times L \times \frac{Q^{1.83}}{DI^{4.83}} \quad (15)$$

Dónde: $H_f DB$ es la pérdida de carga (m); Q , es el caudal (l s⁻¹), para tuberías de PVC de diámetro mayor a 110 mm (Keller & Bliesner, 1990).

PÉRDIDA DE CARGA DARCY-WEISBACH - F PVC Y F PE

$$H_f = K_{1,2} \times L \times \frac{Q^2}{DI^5} \quad (16)$$

$$K_1 = 4.05118 \times 10^7 \times \left[\ln \left(3.5128 \times 10^5 \times \frac{Q}{DI} \right) \right]^{-2.398} \quad (17)$$

$$K_2 = 8.89926 \times 10^4 \times \left(\frac{Q}{DI} \right)^{-0.2334} \quad (18)$$

Dónde: H_f , es la pérdida de carga (m); K_1 , para tubería de PVC DN 20-630 mm; K_2 , para manguera de polietileno DN 12-20 mm; L , es la longitud de la tubería (m); Q es el caudal (m³ h⁻¹); DI , diámetro interno de la tubería (mm).

Análisis matemático - estadístico. El

factor de fricción para tuberías de PVC para riego se determinó en base al siguiente procedimiento: i) determinación del factor de fricción Colebrook - White para diámetros internos de las tuberías de PVC DN 20 a 630 mm y polietileno DN 12 a 20 mm, para números de Reynolds mayor a 2000 y velocidades entre 0.1 y 3.0 m s⁻¹; ii) análisis de la ecuación de mejor ajuste para los valores del factor de fricción; iii) contraste de las ecuaciones determinadas con los factores de fricción de Avci-Karagoz, Streeter-Wylie-Bedford, Pavlov y Filolenko; iv) comparación de las pérdidas de carga entre DW con f Colebrook-White, DW con los factores f PVC y f PE, HW y DB para tubería de PVC DN 25, 250 y 630 mm y, polietileno DN 12 y 16 mm. Constantes: la viscosidad cinemática se determinó para 20 grados centígrados (1.0068 E-6 m² s⁻¹), la gravedad terrestre promedio de 9.81 m s⁻², la rugosidad absoluta k para PVC de 0.0015 mm y PE de 0.007 mm. La temperatura de 20 °C se ajusta al promedio de la variación anual de la temperatura del agua en la región del Ecuador.

Se utilizó el software de uso libre Labfit para el análisis estadístico de las ecuaciones. Se desarrolló un módulo en VB6 para el cálculo del factor de fricción y las pérdidas de carga. Se analizó el coeficiente de determinación (R²), el coeficiente de concordancia (D), el error relativo (ER) y un análisis simple de medias con un nivel de significación del 1.0 %.

Coeficiente de determinación (R²): es un índice estadístico utilizado para medir la relación lineal entre dos variables cuantitativas; el valor óptimo debe ser igual a uno y cuando este valor tiende a cero, la correlación entre dos variables es baja (Samuels, 2014).

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (O_i - X)(E_i - E_m)]^2}{(\sum_{i=1}^n O_i^2 - nX^2) \times (\sum_{i=1}^n E_i^2 - nE_m^2)} \quad (19)$$

Dónde: E_i, es el valor proyectado; E_m, el promedio de los valores proyectados; X, el

promedio de los valores observados.

Coeficiente de concordancia (D): determina la precisión de los resultados proporcionados por el modelo utilizado para pronosticar un valor observado, cuando este valor tiende a uno, el modelo presenta una mayor precisión (Willmott et al., 2011).

$$D = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - E_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|O_i - X| + |E_i - X|)^2} \quad (20)$$

Error relativo (ER): determina la desviación del factor de fricción calculado con las ecuaciones desarrolladas y el modelo universal Colebrook - White.

$$ER = \frac{\sum_{i=1}^n \left[1 - \left(\frac{f_i}{f_{m_i}} \right) \right]}{n} \times 100 \quad (21)$$

Dónde: ER, es el error relativo promedio (%); f, factor de fricción de Colebrook-White; f_m, factor de fricción de los diferentes modelos; n, número de datos de la muestra.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el estudio se desarrollaron: i) ecuación 11, para determinar el factor de fricción para tuberías de PVC DN 20 - 630 mm; ii) ecuación 12, para determinar el factor de fricción para mangueras de polietileno DN 12 - 20 mm.

Factor de fricción Colebrook - White. Según el análisis matemático de las ecuaciones de Reynolds, Poiseuille y Colebrook - White para tuberías de PVC y PE para riego, se determinó: i) f disminuye cuando el diámetro es mayor, para DN 20 mm varía entre 0.020 y 0.035 y para DN 630 mm, entre 0.012 y 0.022; para PE DN 12 a 20 mm, f en promedio varía entre 0.025 y 0.042; ii) f es mayor cuando las velocidades son bajas y viceversa, para DN 630 mm y velocidad de 0.6 m s⁻¹, f es 0.0146 y para 3.0 m s⁻¹, 0.0107; iii) para PVC DN 20 mm y velocidad máxima de 3.0 m s⁻¹, el número de Reynolds fue 5.2 E⁴ y para PVC DN 630 mm e igual velocidad, Reynolds de 1.8 E⁶; iv)

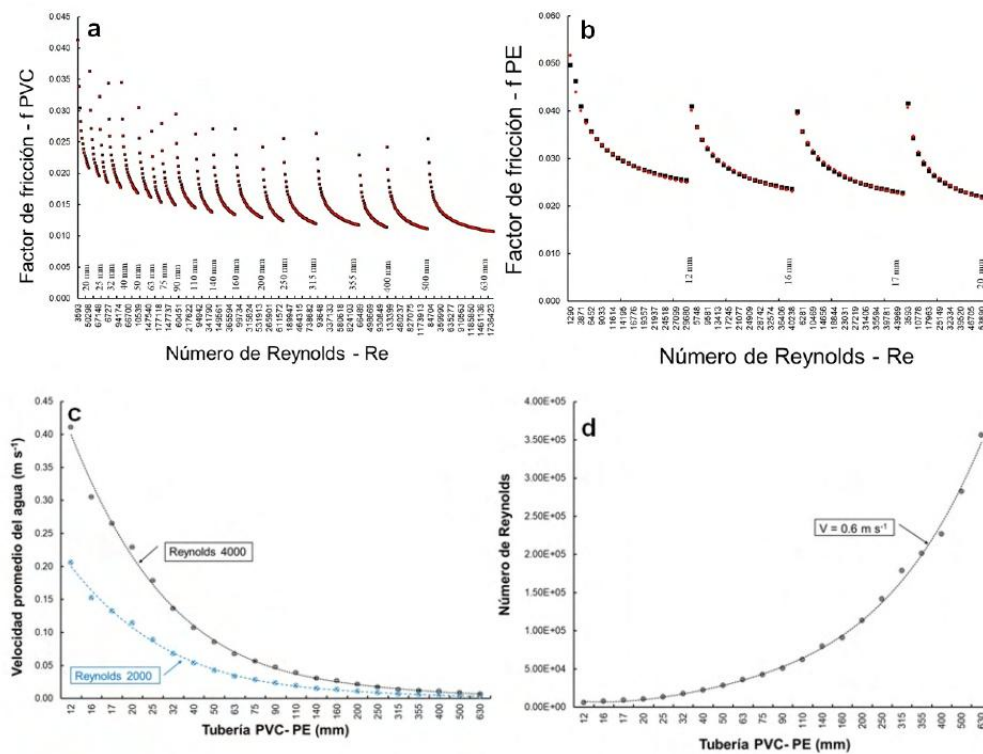


Figura 1. Número de Reynolds y: a) f Colebrook (puntos de color negro) y f PVC (puntos de color rojo), b) f Colebrook y f PE, c) velocidad en función del diámetro para Reynolds 2000 y 4000, d) número de Reynolds en función del diámetro para una velocidad de 0.6 m s⁻¹.

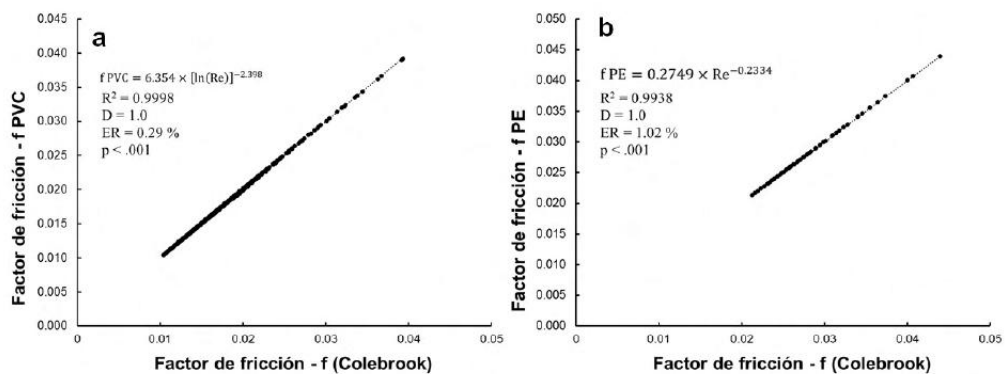


Figura 2. Factor de fricción - f (Colebrook) con: a) f PVC, b) f PE.

para PE DN 16 mm y velocidad de 3.0 m s^{-1} , el número de Reynolds fue 4.0 E^4 (Figuras 1a y 1b); v) para Reynolds = 4000, la velocidad disminuye cuando el diámetro se incrementa; para DN 12 mm, la velocidad fue de 0.41 m s^{-1} y para DN 630 mm, la velocidad de 0.007 m s^{-1} (Figura 1c); vi) para una velocidad de 0.6 m s^{-1} , el número de Reynolds se incrementa cuando el diámetro es mayor; para PE DN 12 mm, el número de Reynolds fue 5.84 E^3 y, para PVC DN 630 mm, 3.56 E^5 (Figura 1d).

En el análisis numérico descrito anteriormente se encontró que el factor de fricción varía con el número de Reynolds y la rugosidad relativa de la tubería, lo cual concuerda con lo expuesto por Mataix (1982), Allen (1986) y Streeter, Wylie & Bedford, (2000), por otro lado, la zona de transición entre el flujo laminar y turbulento se reduce a medida que el diámetro de la tubería se incrementa (Figura 1c).

Factor de fricción f para tubería de PVC. La ecuación 11 presentó los siguientes parámetros inferenciales (Figura 2a): i) coeficiente de determinación (R^2) de 0.9998 (99.98 %); ii) coeficiente de concordancia (D) de 1.0 (100 %); iii) error relativo del 0.29 %; iv) la ecuación es significativa para un nivel de significación del 1.0 %. Matemáticamente, la ecuación reproduce valores similares a los proporcionados por Colebrook – White y estadísticamente es significativa.

Factor de fricción f para PE. La ecuación 12 presentó los siguientes parámetros inferenciales (Figura 2b): i) coeficiente de determinación (R^2) de 0.9938 (99.38 %); ii) coeficiente de concordancia (D) de 1.0 (100 %); iii) error relativo del 1.02 %; iv) la ecuación es significativa para un nivel de significación del 1.0 %. Matemáticamente, la ecuación reproduce valores similares a los proporcionados por Colebrook – White y estadísticamente es significativa.

Contraste entre aproximaciones

explícitas. Con relación al factor de fricción Colebrook – White y, en función de los parámetros inferenciales R^2 , D y ER, se tiene; para PVC, f_{PVC} fue la ecuación de mayor precisión con un error relativo del 0.28 % (ecuación 11, Tabla 1) y, de mayor a menor precisión las ecuaciones fueron: f_{PVC} , f_{AK} , f_{SWB} , f_{Filo} y f_{Pav} ; para PE, la ecuación de mejor ajuste fue f_{SWB} con un error relativo del 0.50 %, seguida de f_{PE} con un error relativo del 1.02 % y, las ecuaciones de mayor a menor precisión fueron: f_{SWB} , f_{PE} , f_{Pav} , f_{AK} y f_{Filo} .

A pesar de que f_{PVC} fue la ecuación de mayor precisión para la tubería de PVC para riego, las diferentes expresiones analizadas presentaron un error relativo menor al 1.0 %. Las pequeñas diferencias entre ellas están asociadas con las condiciones de frontera, como: número de Reynolds, rugosidad relativa, tipo de material y temperatura, por ejemplo, la mayoría de las ecuaciones explícitas se han desarrollado para Reynolds $4.0 \text{ E}^3 < \text{Re} < 1.0 \text{ E}^8$, aun cuando para la máxima velocidad del agua de 3.0 m s^{-1} , el número de Reynolds alcanza un valor máximo de 3.6 E^5 , por tanto, y a pesar de las diferentes condiciones de borde, todas ellas son válidas y pueden utilizarse para determinar el factor de fricción. Para PE, las ecuaciones que pueden utilizarse son f_{SWB} y f_{PE} , cuyos errores relativos son menores o iguales al 1.0 %, de igual manera, las diferencias entre las ecuaciones estudiadas se producen principalmente por la rugosidad del polietileno. Cuando las casas comerciales dedicadas a la producción de tuberías de PVC y PE determinen la rugosidad absoluta de sus materiales, se podrán desarrollar ecuaciones de mayor precisión aún todavía.

Pérdidas de carga. Analizando las pérdidas de carga teniendo como base DW - CW, para PVC se determinó: i) que la ecuación 11 presentó un error relativo (positivo) promedio del 0.24 % y es estable para los diámetros

PVC	R ²	D	ER (%)
f PVC	0.9998	1.0	0.28
f AK	0.9998	1.0	0.36
f SWB	0.9998	1.0	0.41
f Filo	0.9998	1.0	0.75
f Pav	0.9998	1.0	0.77
PE	R ²	D	ER (%)
f SWB	0.9998	1.0	0.50
f PE	0.9938	1.0	1.02
f Pav	0.9391	1.0	2.23
f AK	0.9981	1.0	3.71
f Filo	0.9399	1.0	5.10

Tabla 1. Estadísticos inferenciales para tuberías de PVC y PE

Ecuaciones	12 mm	16 mm	32 mm	250 mm	630 mm
DW - f PE	+1.31	+1.28	-	-	-
DW - f PVC	-	-	+0.25	+0.24	+0.24
DW - f SWB	+3.03	+0.52	-0.47	-0.57	-0.17
HW	-18.81	-14.77	+4.18	+6.44	+9.42
DB	-1.20	-2.77	-1.79	-1.87	-2.86

Tabla 2. Error relativo (%) de las pérdidas de carga en tuberías de PVC y PE

Ecuaciones	Hf (m)	ER (%)
DW - CW	42.15	-
DW - f PVC	42.20	0.12
DW - f SWB	41.93	0.64
HW (C=150)	45.30	8.00
DB	43.11	1.14

Tabla 3. Pérdidas de carga para $Q = 270 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, DN 250 mm y $L = 5\,000 \text{ m}$

evaluados; ii) el factor de fricción f SWB presentó un error relativo (negativo) promedio del 0.40 % y varía en función del diámetro de la tubería; iii) la ecuación HW ($C = 150$) presentó un error relativo (positivo) promedio del 6.68 %; v) la ecuación DB presentó un error relativo (negativo) promedio del 2.56 %; para PE: i) f PE (ecuación 12) presentó un error relativo (positivo) promedio del 1.29 %; ii) f SWB presentó un error relativo (positivo) promedio del 1.77 %; iii) HW ($C = 150$) un error relativo (negativo) promedio del 16.79 % y, iv) DB, un error relativo (negativo) promedio del 1.98 %.

A pesar de que las ecuaciones 15 y 16 fueron desarrolladas para riego por aspersión y goteo, en donde se utilizan tuberías de PVC y mangueras de polietileno (Allen, 1986; Keller & Bliesner, 1990), estas presentaron una precisión menor con relación a las pérdidas de carga determinadas con las ecuaciones 11 (f PVC) y 12 (f PE). La ecuación de Hazen – Williams presenta la menor precisión de las ecuaciones analizadas (Tablas 2 y 3) debido a que utiliza un coeficiente constante para todos los diámetros y caudales (Abdulameer, 2022).

Si la carga hidráulica total es de 83.0 metros y se requiere de una presión de 40 metros al final de la tubería, DN 250 mm sería el diámetro a seleccionarse con DW-CW, DW- f PVC, DW- f SWB y DB, y según el resultado de HW se necesitaría de un tramo inicial de 315 mm, encareciendo los costos innecesariamente.

CONCLUSIONES

Las ecuaciones universales para determinar las pérdidas de carga son Darcy – Weisbach con los factores de fricción de Poiseuille (flujo laminar) y Colebrook – White (flujo turbulento), no obstante lo anterior, con base en los estadísticos inferenciales R^2 , D , y ER , las ecuaciones explícitas 11 y 12 desarrolladas para determinar el factor de fricción f PVC

DN 20-630 mm y f PE DN 12-20 mm, son estadísticamente robustas para rangos de velocidades promedio del agua entre 0.1 y 3.0 $m\ s^{-1}$, así como, son más estables para determinar las pérdidas de carga para cualquier diámetro y desde el punto de vista de cálculo son muy sencillas.

Las ecuaciones explícitas analizadas se han desarrollado para varias condiciones de frontera (número de Reynolds, tipos de tubería, rugosidad relativa y temperatura), aun siendo válidas, son ligeramente menos precisas que las ecuaciones determinadas exclusivamente para PVC y PE para ser utilizadas en el dimensionamiento de sistemas de riego presurizados.

Numéricamente, Darcy – Blasius y Hazen – Williams son menos precisas para determinar las pérdidas de carga debido a que los parámetros de rugosidad que utilizan son constantes, no ajustándose a la variación que presenta el factor de fricción en función del número de Reynolds y de la rugosidad relativa.

REFERENCIAS

- Abdulameer, L., Dzhumagulova, N., Algretawee, H., Zhuravleva, L., Alshammari, M. (2022). Comparison between Hazen-Williams and Darcy-Weisbach equations to calculate head loss through conveyancing treated wastewater in Kerbala city, Iraq. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1(115), 36-43.
- Allen, R. (1996). Relating the Hazen-Williams and Darcy-Weisbach friction loss equations for pressurized irrigation. *Applied Engineering in Agriculture, American Society of Agricultural Engineering*, 12 (6), 685-693.
- Bagarello, V., Ferro, V., Provenzano, G., & Pumo, D. (1995). Experimental study on flow resistance for small-diameter plastic pipes. *Journal of irrigation and drainage engineering*, 121 (5): 313-316.
- Blasius, H. (1913). *Das Ähnlichkeitsgesetz bei Reibungsvorgängen in Flüssigkeiten*. Ver. Dtsch. Ing. Forschungsheft, Vol. 131. Berlin, Germany: VDI-Verlag.
- Brebbia, C., & Popov, V. (2009). *Water resources management*. WIT Press, Southampton, United Kingdom.
- Carvajal, J., Zambrano, W., Gómez, N., & Saldarriaga, J. (2020). Turbulent flow in PVC pipes in water distribution systems. *Journal Taylor & Francis*, 17 (6): 503-511.
- Colebrook, C., & White, C. (1937). *Experiments with fluid friction in roughened pipes*. Imperial College, London, England.
- Depeweg, H. (2001). *Pipe flow. Lecture notes*. Institute for Water Education, IHE, Delft, The Netherlands.
- Diogo, F. & Vilela, F. (2014). Head losses and friction factors of steady turbulent flows in plastic pipes. *Journal Taylor & Francis*, 11 (5): 414-425.
- Gracia, V., Anaya, A., Cauch, G., Funabazama, O. (2014). Evaluación de ecuaciones de factor de fricción explícito para tuberías. *Revista Educación Química*, 25(2): 128-134.
- Granados, A. (1996). *Redes colectivas de riego presurizado*. Apuntes del Máster en Ingeniería de Regadíos, CEDEX, Madrid, España.
- Jamil, R. (2019). Frictional head loss relation between Hazen-Williams and Darcy-Weisbach equations for various water supply materials. *International Journal of Water*, 13(4): 333-347.
- Kay, M. (2015). *Practical hydraulics and water resources engineering*. 3 ed., Taylor and Francis group, London, United Kingdom.
- Keller, B., & Bliesner, R. (1990). *Sprinkler and trickle irrigation*. 3 ed., Springer Science+Business Media, LLC, New York, United States.
- Mataix, C. (1982). *Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas*. 2 ed., Oxford University Press, Londres, Reino Unido.
- Mohsenabadi, S.K., Biglari, M.R. & Moharrampour, M. (2014). Comparison of explicit relations of Darcy friction measurement with Colebrook-White equation. *Applied Mathematics in Engineering, Management and Technology*, 2 (4), 570-578.
- Haddad, A. (2019). Evaluation and correlation of friction head losses in smooth and rough pipes. *The Eurasia Proceedings of Science, Technology, Engineering and Mathematics*, 7: 357-362.
- Ortiz, R. (2021). *Guía metodológica para diseño hidráulico de riego parcelario*. Escuela Nacional de Irrigación Parcelaria. Ministerio de Agricultura y Ganadería, Quito, Ecuador.
- Plastro. (1998). *Pressurized irrigation networks*. Plastro Gvat, Israel.

Praks, P., & Brkic, D. (2018). Advanced iterative procedures for solving the implicit Colebrook equation for fluid flow friction. *Advances in Civil Engineering*, ID 5451034: 1-18.

Rossman, L. A. (2000). *EPANET 2 User's Manual*. USEPA. Available at: <https://www.epanet.es/manuales/epanet-2-manual-de-usuario-espanol/>

Samuels, P. (2014). *Pearson Correlation*. *ResearchGate*, 1-4.

Sentelhas, P., & Folegatti, M. (2003). *Class A pan coefficients (K_p) to estimate daily reference evapotranspiration (ET_o)*. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 7, 111-115.

Streeter, V., Wylie, E., & Bedford, K. (2000). *Mecánica de fluidos*. 9 ed., Mc Graw Hill Companies Inc., Nueva York, Estados Unidos.

Willmott, C., Robeson, S., & Matsuura, K. (2011). *A refined index of model performance*. *International Journal of climatology*, 32: 2088-2094.

White, F. (2008). *Fluid Mechanics*, 6th ed., McGraw-Hill Companies, Inc., New York, United States.

Anexo 9 Ficha técnica Freeztone refrigerante. (Freezetoneglobal, 2024) Obtenido de: <https://freezetoneglobal.com/wp-content/uploads/2025/01/FREEZETONE-SDS-5050-LD-VERDE-ESP-2024.pdf>



Hoja de Datos de Seguridad

FREEZETONE ANTIFREEZE VERDE 50/50 LD

SECCIÓN 1 IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO Y LA COMPAÑÍA

Uso del Producto: Refrigerante de alto rendimiento
Número(s) de Productos: FR9150G-128
Identificación de la compañía

FREEZETONE PRODUCTS USA
7986 NW 14 STEET
MIAMI, FL 33126

Respuesta a emergencia de transportación
CHEMTREC: (800) 424-9300 o (703) 527-3887
México - SETIQ: 01 800 00 214 00 y 55 59 15 88 (D.F.)

Emergencia Médica
Centro de Emergencias e Información de Freeztone: Localizado en los Estados Unidos de América. Se aceptan llamadas internacionales por cobrar. (305) 961-1116

Información sobre el Producto
correo electrónico : info@freezetoneglobal.com
Solicitudes de SDS: 01 (305)961-1116

SECCIÓN 2 IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS

CLASIFICACIÓN: Tóxico para órganos diana (exposición reiterada): Categoría 2. Tóxico agudo por vía oral: Categoría 4.



Palabra señal: Atención

Peligros para la salud: Nocivo en caso de ingestión (H302).

Órganos Blanco: Puede provocar daños en los órganos (RINÓN) tras exposiciones prolongadas o repetidas (H373).

DECLARACIONES DE ADVERTENCIA

Prevención: No respirar polvos / humos / gases / nieblas / vapores / aerosoles (P260). No comer, beber o fumar mientras se manipula este producto (P270). Lavarse cuidadosamente después de la manipulación (P264).

Respuesta: En caso de ingestión, llamar a un centro de toxicología o médico si la persona se encuentra mal (P301+P312). Enjuagarse la boca (P330). Consultar a un médico si la persona se encuentra mal (P314).

Desecho: Eliminar el contenido / recipiente de acuerdo con los reglamentos

Número de Revisión: 1
Fecha de revisión: Feb 01, 2024

1 of 7

municipales/regionales/nacionales/internacionales que correspondan (P501).

SECCIÓN 3 COMPOSICIÓN/ INFORMACIÓN SOBRE LOS INGREDIENTES

COMPONENTES	NÚMERO DEL CAS	CANTIDAD
Etilenglicol	107-21-1	50 % peso
Benzoato de sodio; ácido benzoico, sal sódica	532-32-1	1 - 5 % peso
Filtered/ Dionized water H2O		45% peso

SECCIÓN 4 MEDIDAS DE PRIMEROS AUXILIOS

Ojo: No hacen falta medidas específicas de primeros auxilios. A modo de precaución, quítese los lentes de contacto, si los trae puestos y lávese los ojos con agua.

Piel: No hacen falta medidas específicas de primeros auxilios. A modo de precaución, quítese la ropa y los zapatos si resultan contaminados. Para quitarse la sustancia de la piel, use agua y jabón. Deseche la ropa y los zapatos contaminados o límpielos a cabalidad antes de volverlos a usar.

Ingestión: Si se traga, procure atención médica inmediatamente. No induzca el vómito. Nunca le dé nada por la boca a una persona inconsciente.

Inhalación: No hacen falta medidas específicas de primeros auxilios. Si ha sido expuesta a niveles excesivos de la sustancia en el aire, traslade a la persona expuesta al aire fresco. Procure atención médica si sobreviene tos o molestia al respirar.

SECCIÓN 5 MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS

MEDIOS EXTINTORES: Productos químicos secos, CO2, espuma formadora de película acuosa (AFFF) o espuma resistente al alcohol.

PROTECCIÓN DE LOS BOMBEROS:

Instrucciones para la Extinción de Incendios: Esta sustancia se inflama aunque no prende fuego fácilmente. Busque en la sección 7 el modo adecuado de manejo y almacenamiento. Con respecto a los fuegos que tengan que ver con esta sustancia, no entre a ningún espacio incendiado cerrado o confinado sin haberse puesto los equipos protectores adecuados, incluyendo aparato de respiración autónoma.

Productos de la Combustión: Depende mucho de las condiciones de combustión. Se puede desarrollar una mezcla compleja de sólidos, líquidos y gases aerotransportados, incluyendo monóxido de carbono, dióxido de carbono y compuestos orgánicos no identificados al combustionarse esta sustancia. La combustión puede formar óxidos de: Sodio.

SECCIÓN 6 MEDIDAS EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL

Medidas de Protección: Elimine todas las fuentes de ignición cerca de la sustancia derramada.

Manejo de Derrames: Detenga la fuente de la emisión si lo puede hacer sin correr riesgo. Contenga la emisión para evitar la contaminación adicional de los terrenos, las aguas superficiales y las aguas subterráneas. Limpie el derrame lo más pronto posible, observando las precauciones que aparecen en Controles de Exposición-Protección Personal. Use las técnicas que correspondan tales como aplicar materiales absorbentes no combustibles o bombeo. Cuando sea factible y apropiado, quite y retire la tierra contaminada. Coloque los materiales contaminados en recipientes desechables y deséchelos observando los reglamentos correspondientes.

Reportes: Reporte los derrames a las autoridades locales conforme se le exija o corresponda.

SECCIÓN 7 MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

Información sobre su Manejo en General: No pruebe ni trague el anticongelante ni la solución. Manténgalo fuera del alcance de los niños y de los animales.

Medidas Precautorias: No deje que le caiga en los ojos, en la piel o en la ropa. No lo pruebe ni lo trague. No

respire vapores ni emanaciones. Lávese bien después de manipularlo. Manténgalo fuera del alcance de los niños.

Riesgo Estático: La carga electrostática se puede acumular y crear una condición peligrosa cuando se maneja este material. Para minimizar este peligro, la unión y conexión a tierra puede ser necesaria, pero pueden ser insuficientes por sí solas. Revise todas las operaciones que tengan el potencial de generar y acumular una carga electrostática y/o una atmósfera inflamable (incluyendo las operaciones de llenado del tanque y recipiente, salpicaduras al llenar, limpieza del tanque, muestreos, calibración, cambios de carga, filtrado, mezclado, agitación y camión al vacío) y utilice los procedimientos mitigantes adecuados.

Advertencias Acerca de los Recipientes: El recipiente no está diseñado para contener presión. No use presión para vaciar el recipiente porque éste se puede quebrar o romper con fuerza explosiva. Los recipientes vacíos contienen residuos del producto (sólido, líquido y/o vapor) y pueden ser peligrosos. No presurice, corte, suelde de manera alguna, taladre, esmerile, triture ni exponga a dichos recipientes al calor, llamas, chispas, electricidad estática ni a ninguna otra fuente de ignición. Pueden explotar y causar lesiones o muerte. Los recipientes vacíos se deben vaciar escurriéndolos por completo, taponarlos de manera adecuada y devolverlos prontamente a un reacondicionador de bidones, o desecharlos como es debido.

Información sobre su Almacenamiento en General: No lo guarde en recipientes abiertos o sin rotular.

SECCIÓN 8 CONTROLES DE EXPOSICIÓN/PROTECCIÓN PERSONAL

CONSIDERACIONES GENERALES:

Considere los peligros en potencia de este material (ver Sección 2), límites de exposición aplicables, actividades laborales, y otras sustancias en el centro de trabajo al diseñar controles tecnológicos y seleccionar los equipos protectores personales. Si los controles tecnológicos o las prácticas laborales no son adecuados para impedir la exposición a niveles nocivos de este material, se recomiendan los equipos protectores personales detallados que aparecen a continuación. El usuario debe leer y entender todas las instrucciones y limitaciones que se suministran con los equipos ya que por lo general se provee protección durante un tiempo limitado o bajo ciertas circunstancias.

CONTROLES DE INGENIERÍA:

Use barreras de protección para encerrar el lugar donde se realiza el proceso, ventilación local de extracción y demás controles tecnológicos para mantener los niveles en el aire por debajo de los límites recomendados de exposición. Use en un área bien ventilada.

EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL

Protección de ojos/cara: Normalmente no hace falta protección especial para los ojos. Cuando sea posible que la sustancia salpique, póngase gafas de seguridad con resguardos laterales como una buena práctica de seguridad.

Protección de la Piel: Normalmente no hace falta ropa protectora. Cuando sea posible que la sustancia salpique, seleccione ropas protectoras dependiendo de las operaciones que se vayan a realizar, los requisitos físicos y las demás sustancias. Los materiales que se sugieren para guantes protectores incluyen: Caucho natural, Neopreno, Hule de Nitrilo, Cloruro De Polivinilo (PVC o Vinilo).

Protección Respiratoria: Determine si las concentraciones en el aire están por debajo de los límites de exposición ocupacional recomendados para la jurisdicción donde se use. Si están por encima de éstos, póngase un respirador aprobado que le dé adecuada protección contra esta sustancia, tal como: Respirador con Purificación de Aire para Vapores Orgánicos, polvo y niebla.

Use un respirador de suministro de aire a presión positiva en circunstancias en las que los respiradores de purificación de aire tal vez no provean protección adecuada.

Límites de Exposición Ocupacional:

Componente	País/ Agencia	Forma	TWA	STEL	Límite Máximo	Notación
Etilenglicol	ACGIH	Aerosol inhalable	--	10 mg/m3	--	--
Etilenglicol	ACGIH	Fracción de	25 ppm	50 ppm	--	--

		vapor				
Etilenglicol	ACGIH	--	.01 ppm	--	--	Piel
Etilenglicol	México	Aerosol	--	--	100 mg/m3	--
Etilenglicol	México	--	--	--	100 mg/m3	--

Consulte a las autoridades locales para averiguar cuáles son los valores adecuados.

SECCIÓN 9 PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

Atención: los datos que aparecen a continuación son valores típicos y no constituyen una especificación.

Apariencia

Color: VERDE

Estado físico: Líquido

Olor: No Hay Datos Disponibles

Umbral del olor: No Hay Datos Disponibles

pH: 8.60 (Típico)

Punto de fusión: No Hay Datos Disponibles

Punto de congelación: -34°C (-34°F) (Típico)

Punto de ebullición: 127°C (231.6°F) (Mínimo)

Punto de Inflamación: (Método Pensky-Martens de Copa Cerrada) 122 °C (252 °F) (Estimado)

Inflamabilidad (sólido, gas): No Aplica

Límites de Inflamabilidad (Explosividad) (% por volumen en aire):

Inferior: No Hay Datos Disponibles Superior: No Hay Datos Disponibles

Presión de vapor: No Hay Datos Disponibles

Densidad de vapor (Aire = 1): No Hay Datos Disponibles

Densidad: 1.1260 kg/l @ 15°C (59°F) (Típico)

Gravedad específica: 1.1250 - 1.1290 @ 15.6°C (60°F)

Solubilidad: Soluble en agua.

Coefficiente de partición: n-octanol/agua: No Hay Datos Disponibles

Temperatura de autoignición: No Aplica

Temperatura de descomposición: No Hay Datos Disponibles

Viscosidad: 24.40 mm2/s @ 20°C (68°F) (Mínimo)

Tasa de evaporación: No Hay Datos Disponibles

SECCIÓN 10 ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

Reactividad: Puede reaccionar con los ácidos fuertes o los agentes oxidantes potentes, tales como cloratos, nitratos, peróxidos, etc.

Estabilidad Química: Esta sustancia se considera estable en condiciones de temperatura y presión anticipadas para su almacenaje y manipulación y condiciones normales de ambiente.

Polimerización Peligrosa: No experimentará polimerización peligrosa.

Incompatibilidad con Otros Materiales: No aplica

Productos Peligrosos de la Descomposición: Aldehinos (Temperaturas elevadas), Cetona (Temperaturas elevadas)

SECCIÓN 11 INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

EFFECTOS INMEDIATOS PARA LA SALUD

Ojo: No se anticipa que cause irritación prolongada o significativa a los ojos.

Irritación ocular: El riesgo de irritación ocular corresponde a la evaluación de datos con respecto a componentes de los productos.

Piel: El contacto con la piel no se anticipa que cause irritación significativa o prolongada. No se espera que el contacto con la piel cause una respuesta alérgica en la piel. No se anticipa que sea dañino a los órganos internos si

se absorbe a través de la piel.

Toxicidad Dérmica Aguda: El riesgo de toxicidad cutánea grave corresponde a la evaluación de datos con respecto a componentes de los productos.

Irritación de la Piel: El riesgo de irritación de la piel corresponde a la evaluación de datos con respecto a componentes de los productos.

Sensibilización cutánea: El riesgo de sensibilización de la piel corresponde a la evaluación de datos con respecto a componentes de los productos.

Ingestión: Tóxico; puede ser dañino o fatal si se traga.

Toxicidad Oral Aguda: El riesgo de toxicidad oral grave corresponde a la evaluación de datos con respecto a componentes de los productos.

Inhalación: El respirar esta sustancia a concentraciones por encima del límite de exposición recomendado puede causar efectos en el sistema nervioso central. Entre los efectos sobre el sistema nervioso central se pueden encontrar dolor de cabeza, aturdimiento, náusea, vómitos, debilidad, pérdida de coordinación, visión borrosa, somnolencia, confusión y desorientación. A exposiciones extremas, entre los efectos causados al sistema nervioso central se pueden encontrar depresión respiratoria, temblores y convulsiones, pérdida del conocimiento, coma y muerte.

Toxicidad por Inhalación Aguda: El riesgo de toxicidad grave por inhalación corresponde a la evaluación de datos con respecto a componentes de los productos.

Estimación de toxicidad aguda (oral): 1690 mg/kg

EFFECTOS RETARDADOS SOBRE LA SALUD O DE OTRO TIPO:

Órganos Blanco: Contiene material que puede causar daños al siguiente órgano u órganos por inhalación repetida en concentraciones superiores al límite de exposición recomendado: Riñones Busque más información en la sección 11. El riesgo depende de la duración y nivel de exposición.

INFORMACIÓN ADICIONAL DE TOXICOLOGÍA:

Este producto contiene etilenglicol (EG), conocido también por glicol etilénico. Se anticipa que la toxicidad del EG por inhalación o por contacto con la piel sea ligera a temperatura ambiental. La dosis letal oral estimada es de cerca de 100 cc (3.3 oz.) para un humano adulto. El etilenglicol se oxida convirtiéndose en ácido oxálico, lo cual resulta en la deposición de cristales de oxalato de calcio principalmente en el cerebro y los riñones. Los primeros signos y síntomas del envenenamiento con etilenglicol pueden parecerse a los de la embriaguez con alcohol. Más adelante, la víctima puede experimentar náusea, vómitos, debilidad y dolor abdominal y muscular, dificultad al respirar y disminución de la producción de orina. Cuando el etilenglicol (EG) se calentó por encima del punto de ebullición del agua, se formaron vapores que se reporta causaron pérdida del conocimiento, aumento en el conteo de linfocitos y un movimiento rápido y espasmódico de los ojos en personas expuestas crónicamente. Cuando se administró EG oralmente a ratas y ratonas en estado de gestación, hubo un aumento en las muertes fetales y en los defectos congénitos. Algunos de estos efectos ocurrieron a dosificaciones que no tuvieron efectos tóxicos en las madres. No sabemos de ningún informe que indique que el etilenglicol cause toxicidad reproductiva en los seres humanos.

SECCIÓN 12 INFORMACIÓN ECOLÓGICA

ECOTOXICIDAD

No se anticipa que esta sustancia sea nociva para los organismos acuáticos.

El producto no se ha probado. La declaración se derivó de las propiedades de los componentes individuales.

MOBILIDAD

No Hay Datos Disponibles.

PERSISTENCIA Y DEGRADABILIDAD

Se anticipa que esta sustancia sea fácilmente biodegradable. El producto no se ha probado. La declaración se derivó de las propiedades de los componentes individuales.

POTENCIAL DE BIOACUMULARSE

factor de bioconcentración: No Hay Datos Disponibles.

octanol/agua, coeficiente de partición: No Hay Datos Disponibles

SECCIÓN 13 CONSIDERACIONES ACERCA DE LA ELIMINACIÓN FINAL

Use la sustancia o material para el propósito para el cual estaba destinada o recíclala de ser posible. Este material, si hay que desecharlo, tal vez cumpla los criterios que lo clasifican como un desecho peligroso según la definición de leyes y reglamentos internacionales, nacionales o locales.

SECCIÓN 14 INFORMACIÓN SOBRE EL TRANSPORTE

La descripción que aparece tal vez no sea aplicable a todas las situaciones de los envíos. Consulte el 49CFR, o los correspondientes Reglamentos para Artículos Peligrosos con el fin de buscar requisitos adicionales para la descripción (por ejemplo, el nombre técnico) y requisitos de envío específicos en cuanto a la modalidad o a la cantidad.

Descripción de Embarque del DOT: COMPUESTO ANTICONGELANTE DE FÓRMULA PATENTADA EN EMBALAJE NO A GRANEL; NO REGULADO PARA TRANSPORTE BAJO EL CFR 49; INFORMACIÓN ADICIONAL: Cargamentos a granel que contienen una cantidad registrable (CR, 5000 libras o más) de etilenglicol en un empaquetado simple son transportados como material peligroso. La descripción del cargamento es: UN3082, SUSTANCIA PELIGROSA PARA EL MEDIO AMBIENTE, LÍQUIDO, N.O.S. (ETILENGLICOL CONTIENE BITTERANTE), 9, III, CR (ETILENGLICOL)

Descripción de Envío IMO/IMDG: NO REGULADO COMO PRODUCTOS PELIGROSOS PARA TRANSPORTACIÓN BAJO EL CÓDIGO IMDG

Descripción de embarque ICAO/IATA: NO REGULADO COMO PRODUCTOS PELIGROSOS PARA TRANSPORTACIÓN BAJO ICAO TI/IATA DGR

SECCIÓN 15 INFORMACIÓN REGULATORIA**LISTAS REGULATORIAS BUSCADAS:**

01-1=IARC Grupo 1

01-2A=IARC Grupo 2A

01-2B=IARC Grupo 2B

Ningún componente de esta sustancia se encuentra en las listas reguladoras que se mencionaran anteriormente.

INVENTARIOS QUÍMICOS:

Todos los componentes cumplen con los siguientes requisitos de inventario de productos químicos: AICS (Australia), DSL (Canadá), ENCS (Japón), IECSC (China), KECI (Corea), PICCS (Filipinas), TSCA (Estados Unidos).

SECCIÓN 16 OTRA INFORMACIÓN

DECLARACIÓN DE REVISIÓN: SECCIÓN 01 - Dirección de la compañía en la HDS se modificó información.

SECCIÓN 01 - Emergencia Médica se modificó información.

SECCIÓN 01 - Respuesta a emergencia de transportación se modificó información.

SECCIÓN 02 - Pictograma se modificó información.

SECCIÓN 02 - Palabra señal se modificó información.

SECCIÓN 03 - Composición se modificó información.

Número de Revisión: 1
Fecha de revisión: Feb 01, 2024

6 of 7

SECCIÓN 07 - Medidas Precautorias se modificó información.
 SECCIÓN 08 - MEDIDAS DE CONTROL DE INGENIERÍA se modificó información.
 SECCIÓN 08 - CONSIDERACIONES GENERALES se modificó información.
 SECCIÓN 08 - Tabla de límites de exposición ocupacional se modificó información.
 SECCIÓN 09 - PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS se modificó información.
 SECCIÓN 11 - INFORMACIÓN ADICIONAL DE TOXICOLOGÍA se modificó información.
 SECCIÓN 12 - INFORMACIÓN ECOLÓGICA se modificó información.
 SECCIÓN 13 - CONSIDERACIONES ACERCA DE LA ELIMINACIÓN FINAL se modificó información.
 SECCIÓN 15 - INVENTARIOS QUÍMICOS se modificó información.
Fecha de revisión: Abril 01, 2020

La información se considera correcta, pero no es exhaustiva y se utilizará únicamente como orientación, la cual está basada en el conocimiento actual de la sustancia química o mezcla y es aplicable a las precauciones de seguridad apropiadas para el producto.

ABREVIATURAS QUE PUEDEN HABER SIDO UTILIZADAS EN ESTE DOCUMENTO:

TLV - Valor Límite Umbral	TWA - Tiempo Promedio Ponderado
STEL - Límite de Exposición a Corto Plazo	PEL - Límite Permissible de Exposición
	CAS - Número del Servicio de Abstractos Químicos
ACGIH - American Conference of Governmental Industrial Hygienists	IMO/IMDG - International Maritime Dangerous Goods Code
API - American Petroleum Institute	Hoja de Datos sobre Seguridad de Sustancia (MSDS) - Hoja de Datos de Seguridad de Materiales
FR - Freezetone	NFPA - National Fire Protection Association (USA)
DOT - Department of Transportation (USA)	NTP - National Toxicology Program (USA)
IARC - International Agency for Research on Cancer	OSHA - Occupational Safety and Health Administration

Preparados de acuerdo con el Norma Oficial (NOM-018-STPS-2015) por Freezetone Products USA, 7986 NW 14 Street, Miami, FL 33126

La anterior información se basa en los datos que conocemos y que se cree eran correctos en la fecha de la presente comunicación. Ya que esta información se puede aplicar en condiciones que están fuera de nuestro control y con las cuales talvez no estemos familiarizados y en vista de que los datos que se hayan publicado posteriormente a la fecha de la presente talvez sugieran modificaciones a la información, no asumimos responsabilidad alguna por los resultados de su uso. Esta información se suministra a condición de que la persona que la reciba tome su propia determinación sobre la idoneidad de la sustancia o material para su propósito particular.

SECCIÓN 07 - Medidas Precautorias se modificó información.
 SECCIÓN 08 - MEDIDAS DE CONTROL DE INGENIERÍA se modificó información.
 SECCIÓN 08 - CONSIDERACIONES GENERALES se modificó información.
 SECCIÓN 08 - Tabla de límites de exposición ocupacional se modificó información.
 SECCIÓN 09 - PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS se modificó información.
 SECCIÓN 11 - INFORMACIÓN ADICIONAL DE TOXICOLOGÍA se modificó información.
 SECCIÓN 12 - INFORMACIÓN ECOLÓGICA se modificó información.
 SECCIÓN 13 - CONSIDERACIONES ACERCA DE LA ELIMINACIÓN FINAL se modificó información.
 SECCIÓN 15 - INVENTARIOS QUÍMICOS se modificó información.
Fecha de revisión: Abril 01, 2020

La información se considera correcta, pero no es exhaustiva y se utilizará únicamente como orientación, la cual está basada en el conocimiento actual de la sustancia química o mezcla y es aplicable a las precauciones de seguridad apropiadas para el producto.

ABREVIATURAS QUE PUEDEN HABER SIDO UTILIZADAS EN ESTE DOCUMENTO:

TLV - Valor Límite Umbral	TWA - Tiempo Promedio Ponderado
STEL - Límite de Exposición a Corto Plazo	PEL - Límite Permissible de Exposición
	CAS - Número del Servicio de Abstractos Químicos
ACGIH - American Conference of Governmental Industrial Hygienists	IMO/IMDG - International Maritime Dangerous Goods Code
API - American Petroleum Institute	Hoja de Datos sobre Seguridad de Sustancia (MSDS) - Hoja de Datos de Seguridad de Materiales
FR - Freezeton	NFPA - National Fire Protection Association (USA)
DOT - Department of Transportation (USA)	NTP - National Toxicology Program (USA)
IARC - International Agency for Research on Cancer	OSHA - Occupational Safety and Health Administration

Preparados de acuerdo con el Norma Oficial (NOM-018-STPS-2015) por Freezeton Products USA, 7986 NW 14 Street, Miami, FL 33126

La anterior información se basa en los datos que conocemos y que se cree eran correctos en la fecha de la presente comunicación. Ya que esta información se puede aplicar en condiciones que están fuera de nuestro control y con las cuales talvez no estemos familiarizados y en vista de que los datos que se hayan publicado posteriormente a la fecha de la presente talvez sugieran modificaciones a la información, no asumimos responsabilidad alguna por los resultados de su uso. Esta información se suministra a condición de que la persona que la reciba tome su propia determinación sobre la idoneidad de la sustancia o material para su propósito particular.

Número de Revisión: 1
 Fecha de revisión: Feb 01, 2024

7 of 7

Anexo 10 Ficha técnica Refrigerante Texaco (TEXACO, 2023) Obtenido de:
<https://cglapps.chevron.com/msdspds/PDSDetailPage.aspx?docDataId=507973&docFormat=PDF>

Паспорт безопасности



РАЗДЕЛ 1 НАИМЕНОВАНИЕ ВЕЩЕСТВА/СМЕСИ И СВЕДЕНИЯ ОБ ОРГАНИЗАЦИИ-ПРОИЗВОДИТЕЛЕ ИЛИ ПОСТАВЩИКЕ

1.1 Идентификатор продукта **Delo 400 MGX SAE 15W-40**

Номер(а) продукта: 219728, 804089

1.2 Существенные установленные применения вещества или смеси и нерекомендуемые применения

Установленное применение: Моторное масло для работы в тяжелых условиях

1.3 Сведения о поставщике паспорта безопасности

Chevron Belgium BV
Zuiderpoort Office Park
Gaston Crommenlaan 4
9050 Gent
Belgium
адрес электронной почты : eumsds@chevron.com

1.4 Номер телефона экстренной помощи Ликвидация аварий при транспортировании CHEMTREC: +1 703 527 3887

Экстренная медицинская помощь

Centre Antipoisons: +32022649636

Информационный центр Chevron по экстренным ситуациям: Международные оплаченные вызовы принимаются круглосуточно: +1 510 231 0623

Информация о продукте

Информация о продукте: 0032/(0)9 293 71 11

РАЗДЕЛ 2 ВИДЫ ОПАСНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

2.1 Классификация вещества или смеси

CLP – КЛАССИФИКАЦИЯ, МАРКИРОВКА И УПАКОВКА:

Согласно нормативным указаниям ЕС, не классифицируется как опасное вещество.

2.2 Элементы маркировки

В соответствии с критериями Постановления (ЕС) № 1272/2008 (CLP):

Не классифицирован

2.3 Другие опасности

Этот продукт не может относиться к РВТ (устойчивым биоаккумулируемым токсичным веществам) или vPvB (очень устойчивым интенсивно биоаккумулируемым веществам) и не содержит таких веществ. Этот продукт не является потенциально разрушающим деятельность эндокринной системы или не содержит вещества со свойствами, потенциально разрушающими деятельность

Номер редакции: 4
Дата редакции: Апрель 24, 2023

1 of 13

Delo 400 MGX SAE 15W-40
SDS : 46540

эндокринной системы.

РАЗДЕЛ 3 СОСТАВ МАТЕРИАЛА И СВЕДЕНИЯ О КОМПОНЕНТАХ

3.2 Смеси

Этот материал является смесью.

КОМПОНЕНТЫ	№ CAS	НОМЕР ЕС	РЕГИСТРАЦИОННЫЙ НОМЕР	CLP – КЛАССИФИКАЦИЯ, МАРКИРОВКА И УПАКОВКА	КОЛИЧЕСТВО
Дистилляты, гидроочищенные тяжелые парафиновые	64742-54-7	265-157-1	01-2119484627-25	Нет	70 - 99 % веса
C7-9-разветвленные алкиловые эфиры 3,5-ди-трет-бутил-4-гидроксигидроциннамовой кислоты	125643-61-0	406-040-9	01-000015551-76	Aquatic Chronic 4/H413	1 - 5 % веса
Бис[О-(6-метилгептил)] бис[О-(втор-бутил)] бис(дитиофосфат) цинка	93819-94-4	298-577-9	01-2119543726-33	Aquatic Chronic 2/H411; Eye Dam. 1/H318; Skin Irrit. 2/H315	1 - < 2.5 % веса

Полный текст всех фраз опасности CLP приведен в разделе 16.

В соответствии с Постановлением (ЕС) № 1272/2008, Примечание L, ссылка IP 346/92, «Метод экстракции DMSO», мы определили, что базовые масла, используемые в этом составе, не канцерогенны.

РАЗДЕЛ 4 МЕРЫ ПЕРВОЙ ПОМОЩИ

4.1 Описание мер первой помощи

Глаза: Никакие специальные меры по оказанию первой помощи не требуются. В качестве меры предосторожности, снимите контактные линзы, если вы их носите, и промойте глаза водой.

Кожа: Никакие специальные меры по оказанию первой помощи не требуются. В качестве меры предосторожности снимите одежду и обувь, если они загрязнены. Для удаления материала с кожи смойте его водой и мылом. Выбросьте загрязненную одежду и обувь или тщательно очистите их перед повторным использованием.

Проглатывание: Никакие специальные меры по оказанию первой помощи не требуются. Не индуцируйте рвоту. В качестве меры предосторожности, обратитесь за медицинским советом.

Вдыхание: Никакие специальные меры по оказанию первой помощи не требуются. При воздействии материала, содержащегося в воздухе в чрезмерном количестве, выведите человека на свежий воздух. В случае кашля или дыхательного дискомфорта обратитесь за медицинской помощью. Если при аварии возможно воздействие сероводорода (H₂S), надевайте утвержденный респиратор с принудительной подачей воздуха с наддувом. Вынесите человека, подвергшегося воздействию, на свежий воздух. Если он не дышит, примените искусственное дыхание. При затрудненном дыхании дайте кислород. Немедленно обратитесь за медицинской помощью.

4.2 Наиболее важные симптомы и эффекты, острые и отсроченные

НЕМЕДЛЕННО ПРОЯВЛЯЮЩИЕСЯ СИМПТОМЫ И ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЗДОРОВЬЕ

Глаза: Не предполагается, что может вызывать продолжительное или сильное раздражение глаз

Кожа: Не ожидается, что попадание на кожу может причинить вред.

Проглатывание: Не ожидается, что при проглатывании может причинить вред.

Вдыхание: Не ожидается, что при вдыхании может быть опасен. Содержит минеральное масло на нефтяной основе. После продолжительного или повторяющегося вдыхания масляного тумана при его концентрации в воздухе, превышающей рекомендуемый предел воздействия минерального масляного тумана, может вызывать раздражение дыхательных путей или другие легочные эффекты. Симптомы респираторного раздражения могут включать кашель и затрудненное дыхание. Сероводород имеет сильный запах тухлых яиц. Однако при длительном воздействии и при высоких концентрациях сероводород может притуплять обоняние. Если запах тухлых яиц больше не ощущается, это не всегда означает, что воздействие прекратилось. При низких концентрациях сероводород вызывает раздражение глаз и носоглотки. Средние концентрации могут приводить к головной боли, головокружению, тошноте, рвоте, а также к кашлю и затрудненному дыханию. Более высокие концентрации могут вызывать шок, конвульсии, кому и смерть. При сильном воздействии симптомы обычно возникают немедленно.

ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЗДОРОВЬЕ С ЛАТЕНТНЫМ ПЕРИОДОМ ИЛИ ДРУГИЕ СИМПТОМЫ И ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЗДОРОВЬЕ: Не классифицирован.

4.3 Признаки необходимости каких-либо немедленных медицинских мер или специальном лечении

Примечание для врача: Предпочтительным лечением при отравлении газообразным сероводородом является дыхание 100%-ым кислородом и поддерживающая терапия. Дополнительную информацию по H2S см. Паспорт безопасности, ChevronTexaco MSDS № 301.

РАЗДЕЛ 5 МЕРЫ И СРЕДСТВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

5.1 Средства пожаротушения

Для гашения пламени используйте водный туман, пену, химический порошок или углекислый газ (CO2).

5.2 Особые опасности, связанные с веществом или смесью

Продукты сгорания: Сильно зависит от условий горения. При горении этого материала выделяется сложная смесь взвешенных в воздухе твердых частиц, жидкостей и газов, включая угарный газ, углекислый газ и неуставленные органические соединения. При горении могут образоваться оксиды: Фосфор, Цинк, Сера, Азот .

5.3 Рекомендации пожарным

Этот материал трудновоспламеняем, но горюч. Правила обращения и хранения см. в разд. 7. При пожаре, охватывающем этот материал, не входите в какие-либо замкнутые или ограниченные пространства без соответствующих средств защиты, в том числе автономного дыхательного аппарата.

РАЗДЕЛ 6 МЕРЫ, ПРИНИМАЕМЫЕ ПРИ СЛУЧАЙНЫХ УТЕЧКАХ

6.1 Меры по обеспечению личной безопасности, средства защиты и порядок действий в аварийной ситуации

Удалить все источники воспламенения в зоне пролития или просыпки материала. Дополнительные сведения см. в разделах 5 и 8.

6.2 Меры по защите окружающей среды

Перекрыйте источник выброса, если это можно сделать без риска. Ограничьте выброшенный материал, чтобы предотвратить дальнейшее загрязнение почвы, поверхностных или подземных вод.

6.3 Методы и материалы для ограждения и очистки

Ликвидировать разлив как можно скорее, соблюдая меры предосторожности, указанные в разделе «Правила и меры по обеспечению безопасности персонала». Использовать подходящие методы,

такие как применение негорючих абсорбирующих материалов или откачка. Там, где это осуществимо и уместно, удалить загрязненный грунт и ликвидировать его согласно действующим нормативам. Поместить загрязненный материал в контейнеры одноразового пользования и ликвидировать их согласно действующим нормативам. Сообщайте местным властям о пролитиях в зависимости от обстановки или в соответствии с требованиями.

6.4 Ссылка на другие разделы

См. разделы 8 и 13.

РАЗДЕЛ 7 ПРАВИЛА ОБРАЩЕНИЯ И ХРАНЕНИЯ

7.1 Правила техники безопасности при обращении

Общая информация по обращению: Не допускайте загрязнения почвы или сброса этого материала в канализационные и дренажные системы или водоемы.

Меры предосторожности: Не допускайте попадания в глаза, на кожу или на одежду. Не пробуйте на вкус и не проглатывайте. Не вдыхайте газ. Тщательно вымойтесь после работы. **Специфические опасности при обращении:** В складских резервуарах или крупных транспортных сосудах, содержащих или содержавших этот материал, может присутствовать сероводород (H₂S) в количествах, представляющих токсическую опасность. Лица, открывающие эти емкости или входящие в них, должны сначала определить, не присутствует ли там H₂S. См. раздел 8 «Контроль воздействия и индивидуальная защита». Не пытайтесь оказать помощь лицу, подвергшемуся чрезмерному воздействию H₂S, не надев утвержденного респиратора с принудительной подачей воздуха или автономного дыхательного аппарата. Если существует возможность превышения половины допустимого предела производственного воздействия, необходим мониторинг уровней сероводорода. Поскольку для обнаружения присутствия H₂S полагаться на обоняние нельзя, его концентрацию следует измерять стационарными или портативными приборами.

Статическая опасность: При обращении с этим материалом может накапливаться электростатический заряд, создавая опасную ситуацию. Для сведения этой опасности к минимуму заземление необходимо, но само по себе может оказаться недостаточным. Рассмотрите все операции, которые могут приводить к образованию и накоплению электростатического заряда и (или) огнеопасной атмосферы (включая заполнение баков и контейнеров, разбрызгивание при заливке, очистку баков, отбор проб, переключение нагрузки, фильтрацию, смешивание, встряхивание и вакуумную загрузку), и применяйте соответствующие методы снижения опасности.

Предупреждения, помещаемые на контейнере: Контейнер не рассчитан на высокое давление. Не используйте давление для опорожнения контейнера; он может разорваться. Пустые контейнеры могут представлять опасность, так как в них могут сохраняться остатки продукта (твердые, жидкие и/или парообразные). Не проводите опрессовку, резку, сварку, пайку, сверление или полировку таких контейнеров; не подвергайте их воздействию нагревания, пламени, искр, статического электричества или других источников воспламенения. Они могут взорваться, причинив травму или смерть. Пустые бочки нужно полностью слить, как следует закупорить и незамедлительно вернуть на предприятие по восстановлению бочек или надлежащим образом ликвидировать их.

7.2 Условия безопасного хранения, включая все несовместимости

Не применимо

7.3 Особое применение (применения): Моторное масло для работы в тяжелых условиях

РАЗДЕЛ 8 МЕРЫ ПО ОГРАНИЧЕНИЮ ВОЗДЕЙСТВИЯ И ОБЕСПЕЧЕНИЮ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ

ОБЩИЕ СООБРАЖЕНИЯ:

При проектировании технических средств контроля и выборе средств личной защиты (СИЗ) рассмотрите потенциальные опасности, связанные с этим материалом (см. раздел 2), применимые пределы воздействия, виды работ, а также другие вещества, присутствующие на месте работ.

Номер редакции: 4
Дата редакции: Апрель 24, 2023

4 of 13

Delo 400 MGX SAE 15W-40
SDS : 46540

Если методы инженерного контроля или методы выполнения работ недостаточны для того, чтобы избежать вредных уровней воздействия этого материала, ознакомьтесь с информацией о СИЗ внизу.

Факторы, которые влияют на СИЗ, включают, но не ограничиваются следующими: свойства химического вещества, другие химические вещества, с которыми могут соприкасаться одни и те же СИЗ, физические требования (прилегание и размер, защита от порезов/проколов, физическая ловкость, термозащита и другие) и возможные аллергические реакции на материал СИЗ. Пользователь обязан прочитать и усвоить все инструкции и ограничения, связанные со средствами индивидуальной защиты, поскольку защита обычно обеспечивается в течение ограниченного времени или при определенных обстоятельствах.

8.1 Контролируемые параметры

Пределы производственного воздействия:

Компонент	Страна/Агентство	Форма	TWA (средневзвешенное по времени)	STEL (предел кратковременного воздействия)	Предел	Обозначение
Дистилляты, гидроочищенные тяжелые парафиновые	Бельгия	Туман	5 mg/m ³	10 mg/m ³	--	--

Узнайте соответствующие значения у местных властей.

8.2 Средства защиты от вредных воздействий

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ:

Используйте в хорошо вентилируемых местах.

СРЕДСТВА ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ

Защита глаз и лица: Чтобы не допустить попадания в глаза, пользуйтесь средствами защиты. В зависимости от характера выполняемых работ средства защиты могут представлять собой защитные очки, химические очки, лицевые щитки или их сочетание.

Защита кожи: Носить средства индивидуальной защиты (СИЗ) от химических веществ, чтобы не допустить контакта с кожей. Средства индивидуальной защиты от химических веществ должен выбирать специалист по промышленной гигиене или профессионал по технике безопасности; выбор должен быть основан на надлежащих стандартах (ASTM F739 или EN 374). Конкретный набор СИЗ для защиты от химических веществ зависит от выполняемых работ и может включать химические перчатки, ботинки, фартук для работы с химикатами, защитный костюм и полнолицевые маски или щитки. Для получения конкретной информации о времени разрыва и для определения продолжительности срока службы СИЗ перед их заменой обращайтесь к изготовителям СИЗ. Если у конкретного изготовителя перчаток не указано иное, то информация, представленная в таблице внизу, основана на имеющихся в наличии типовых производственных характеристиках, используемых при выборе перчаток. Данные этой таблицы следует рассматривать только как ориентировочные.

Материал химических перчаток	Толщина (mm)	Типовое время разрыва (минуты)
Бутил	0.7	120
Нитриловый	0.8	240
Витон Бутил	0.3	240

Защита органов дыхания: Обычно специальные средства для защиты органов дыхания не требуются. Если материал нагрет и выделяет сероводород, определите, не превышает ли концентрация сероводорода в воздухе предела производственного воздействия. Если этот предел достигнут, наденьте утвержденный респиратор с принудительной подачей воздуха с надувом.

Дополнительную информацию по сероводороду см. Паспорт безопасности материала ChevronTexaco SDS № 301. Если производственный процесс приводит к выделению масляного тумана, определите, не превышает ли его концентрация в воздухе предела производственного воздействия для масляного тумана. Если этот предел достигнут, наденьте утвержденный респиратор, обеспечивающий достаточную защиту от измеренных концентраций этого материала. Для воздухоочищающего респиратора воспользуйтесь картриджем с фильтром частиц.

СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ:

См. соответствующее региональное законодательство по охране окружающей среды или Приложение, в зависимости от обстоятельств.

РАЗДЕЛ 9 ФИЗИЧЕСКИЕ И ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Внимание: приводимые ниже данные типичны, но не являются спецификацией.

9.1 Информация об основных физических и химических свойствах

Внешний вид

Цвет: От коричневого до Желтый

Физическое состояние: Жидкость

Запах: Нефтяной запах

Порог восприятия запаха: Данные отсутствуют

pH: Не применимо

Температура плавления: Данные отсутствуют

Температура замерзания: Не применимо

Начальная точка кипения: Данные отсутствуют

Температура вспышки: (Прибор открытого типа для определения температуры вспышки (Кливленд)) 215 °C (419 °F) (Минимум)

Интенсивность испарения: Данные отсутствуют

Воспламеняемость (Твердое вещество, Газ): Не применимо

Пределы воспламеняемости (взрываемости) (% объема в воздухе):

Нижний: Не применимо Верхний: Не применимо

Давление пара: Данные отсутствуют

Плотность пара (воздух = 1): Данные отсутствуют

Плотность: 0.8759 kg/l @ 15°C (59°F) (Типичное значение)

Растворимость: Растворим в углеводородах; нерастворим в воде.

Коэффициент распределения н-октанол-вода: Данные отсутствуют

Температура самовозгорания: Данные отсутствуют

Температура разложения: Данные отсутствуют

Вязкость: 14.10 mm²/s @ 100°C (212°F) (Минимум)

Характеристики взрывоопасности: Данные отсутствуют

Окислительные свойства: Данные отсутствуют

9.2 Дополнительная информация: Данные отсутствуют

РАЗДЕЛ 10 СТАБИЛЬНОСТЬ И ХИМИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ

10.1 Реакционная способность: Может реагировать с сильными кислотами или окислителями, такими как хлораты, нитраты, перекиси и т. д.

10.2 Химическая стабильность: При нормальных внешних условиях и предполагаемых значениях температуры и давления при хранении и обращении материал считается стабильным.

10.3 Возможность опасных реакций: Опасная полимеризация не происходит.

10.4 Условия, которых следует избегать: Не применимо

10.5 Несовместимые материалы, которых следует избегать: Не применимо

10.6 Опасные продукты разложения: Сероводород (Повышенные температуры), Меркаптоалкилы (Повышенные температуры)

РАЗДЕЛ 11 ТОКСИКОЛОГИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

11.1 Информация о классах опасности согласно Регламенту (ЕС) № 1272/2008

Информация о продукте:

Серьезное повреждение или раздражение глаз: Материал не считается раздражителем глаз. Продукт не был испытан. Формулировка основана на оценке данных по аналогичным материалам или по компонентам продукта.

Разъедание или раздражение кожи: Материал не считается раздражителем кожи. Продукт не был испытан. Формулировка основана на оценке данных по аналогичным материалам или по компонентам продукта.

Сенсибилизация кожного покрова.: Материал не считается кожным сенсибилизатором. Продукт не был испытан. Формулировка основана на оценке данных по аналогичным материалам или по компонентам продукта.

Острая дермальная токсичность: Материал не считается токсичным при воздействии на кожу. Продукт не был испытан. Формулировка основана на оценке данных по аналогичным материалам или по компонентам продукта.

Оценка острой токсичности (кожная): Не применимо

Острая оральная токсичность: Материал не считается токсичным при пероральном приеме. Продукт не был испытан. Формулировка основана на оценке данных по аналогичным материалам или по компонентам продукта.

Оценка острой токсичности (оральный): Не применимо

Острая ингаляционная токсичность: Материал не считается токсичным при вдыхании. Продукт не был испытан. Формулировка основана на оценке данных по аналогичным материалам или по компонентам продукта.

Оценка острой токсичности (вдыхание): Не применимо

Мутагенность зародышевых клеток: Материал не считается мутаген. Продукт не был испытан. Формулировка основана на оценке данных по аналогичным материалам или по компонентам продукта.

Канцерогенность: Материал не считается канцерогеном. Продукт не был испытан. Формулировка основана на оценке данных по аналогичным материалам или по компонентам продукта.

Репродуктивная токсичность: Материал не считается токсичным для функции воспроизведения. Продукт не был испытан. Формулировка основана на оценке данных по аналогичным материалам или по компонентам продукта.

Специфическая токсичность для органа-мишени: однократное воздействие: Материал не считается токсичным для органа-мишени (однократное воздействие) Продукт не был испытан. Формулировка основана на оценке данных по аналогичным материалам или по компонентам продукта.

Специфическая токсичность для органа-мишени: многократное воздействие: Материал не считается токсичным для органа-мишени (повторяющееся воздействие) Продукт не был испытан. Формулировка основана на оценке данных по аналогичным материалам или по компонентам продукта.

Аспирационная опасность: Материал не считается представляющим опасность аспирации.

Информация о компонентах:

Номер редакции: 4
Дата редакции: Апрель 24, 2023

7 of 13

Delo 400 MGX SAE 15W-40
SDS : 46540

Серьезное повреждение или раздражение глаз:	
Дистилляты, гидроочищенные тяжелые парафиновые	На основе имеющихся данных критерии классификации не удовлетворены
C7-9-разветвленные алкиловые эфиры 3,5-ди-трет-бутил-4-гидроксигидроциннамовой кислоты	На основе имеющихся данных критерии классификации не удовлетворены
Бис[О-(6-метилгептил)] бис[О-(втор-бутил)] бис(дитиофосфат) цинка	Результат теста: Вызывает серьезные повреждения глаз * перекрестная ссылка для аналогичного материала

Разъедание или раздражение кожи:	
Дистилляты, гидроочищенные тяжелые парафиновые	На основе имеющихся данных критерии классификации не удовлетворены
C7-9-разветвленные алкиловые эфиры 3,5-ди-трет-бутил-4-гидроксигидроциннамовой кислоты	На основе имеющихся данных критерии классификации не удовлетворены
Бис[О-(6-метилгептил)] бис[О-(втор-бутил)] бис(дитиофосфат) цинка	Результат теста: Вызывает раздражение кожи * перекрестная ссылка для аналогичного материала

Сенсибилизация кожного покрова:	
Дистилляты, гидроочищенные тяжелые парафиновые	На основе имеющихся данных критерии классификации не удовлетворены
C7-9-разветвленные алкиловые эфиры 3,5-ди-трет-бутил-4-гидроксигидроциннамовой кислоты	На основе имеющихся данных критерии классификации не удовлетворены
Бис[О-(6-метилгептил)] бис[О-(втор-бутил)] бис(дитиофосфат) цинка	На основе имеющихся данных критерии классификации не удовлетворены

Острая дермальная токсичность:	
Дистилляты, гидроочищенные тяжелые парафиновые	На основе имеющихся данных критерии классификации не удовлетворены
C7-9-разветвленные алкиловые эфиры 3,5-ди-трет-бутил-4-гидроксигидроциннамовой кислоты	На основе имеющихся данных критерии классификации не удовлетворены
Бис[О-(6-метилгептил)] бис[О-(втор-бутил)] бис(дитиофосфат) цинка	На основе имеющихся данных критерии классификации не удовлетворены

Острая оральная токсичность:	
Дистилляты, гидроочищенные тяжелые парафиновые	На основе имеющихся данных критерии классификации не удовлетворены
C7-9-разветвленные алкиловые эфиры 3,5-ди-трет-бутил-4-гидроксигидроциннамовой кислоты	На основе имеющихся данных критерии классификации не удовлетворены
Бис[О-(6-метилгептил)] бис[О-(втор-бутил)] бис(дитиофосфат) цинка	На основе имеющихся данных критерии классификации не удовлетворены

Острая ингаляционная токсичность:	
Дистилляты, гидроочищенные тяжелые парафиновые	На основе имеющихся данных критерии классификации не удовлетворены
C7-9-разветвленные алкиловые эфиры 3,5-ди-трет-бутил-4-гидроксигидроциннамовой кислоты	На основе имеющихся данных критерии классификации не удовлетворены
Бис[О-(6-метилгептил)] бис[О-(втор-бутил)] бис(дитиофосфат) цинка	На основе имеющихся данных критерии классификации не удовлетворены

Мутагенность зародышевых клеток:	
Дистилляты, гидроочищенные тяжелые	На основе имеющихся данных критерии классификации не удовлетворены

парафиновые	
C7-9-разветвленные алкиловые эфиры 3,5-ди-трет-бутил-4-гидроксигидроциннамовой кислоты	На основе имеющихся данных критерии классификации не удовлетворены
Бис[О-(6-метилгептил)] бис[О-(втор-бутил)] бис(дитиофосфат) цинка	На основе имеющихся данных критерии классификации не удовлетворены

Канцерогенность:

Дистилляты, гидроочищенные тяжелые парафиновые	На основе имеющихся данных критерии классификации не удовлетворены
C7-9-разветвленные алкиловые эфиры 3,5-ди-трет-бутил-4-гидроксигидроциннамовой кислоты	На основе имеющихся данных критерии классификации не удовлетворены
Бис[О-(6-метилгептил)] бис[О-(втор-бутил)] бис(дитиофосфат) цинка	На основе имеющихся данных критерии классификации не удовлетворены

Репродуктивная токсичность:

Дистилляты, гидроочищенные тяжелые парафиновые	На основе имеющихся данных критерии классификации не удовлетворены
C7-9-разветвленные алкиловые эфиры 3,5-ди-трет-бутил-4-гидроксигидроциннамовой кислоты	На основе имеющихся данных критерии классификации не удовлетворены
Бис[О-(6-метилгептил)] бис[О-(втор-бутил)] бис(дитиофосфат) цинка	На основе имеющихся данных критерии классификации не удовлетворены

Специфическая токсичность для органа-мишени: однократное воздействие:

Дистилляты, гидроочищенные тяжелые парафиновые	На основе имеющихся данных критерии классификации не удовлетворены
C7-9-разветвленные алкиловые эфиры 3,5-ди-трет-бутил-4-гидроксигидроциннамовой кислоты	На основе имеющихся данных критерии классификации не удовлетворены
Бис[О-(6-метилгептил)] бис[О-(втор-бутил)] бис(дитиофосфат) цинка	На основе имеющихся данных критерии классификации не удовлетворены

Специфическая токсичность для органа-мишени: многократное воздействие:

Дистилляты, гидроочищенные тяжелые парафиновые	На основе имеющихся данных критерии классификации не удовлетворены
C7-9-разветвленные алкиловые эфиры 3,5-ди-трет-бутил-4-гидроксигидроциннамовой кислоты	На основе имеющихся данных критерии классификации не удовлетворены
Бис[О-(6-метилгептил)] бис[О-(втор-бутил)] бис(дитиофосфат) цинка	На основе имеющихся данных критерии классификации не удовлетворены

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ТОКСИКОЛОГИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ:

При использовании в двигателях происходит загрязнение масла небольшими количествами канцерогенных продуктов сгорания. Показано, что при повторяющемся и непрерывном воздействии отработавшие моторные масла вызывают у мышей рак кожи. Не ожидается, что кратковременное или периодическое соприкосновение отработавшего моторного масла с кожей может иметь серьезные последствия для человека, если масло тщательно удаляется мытьем водой с мылом.

11.2 Информация о прочих видах опасности

Прочие опасности не определены.

РАЗДЕЛ 12 ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Номер редакции: 4
Дата редакции: Апрель 24, 2023

9 of 13

Delo 400 MGX SAE 15W-40
SDS : 46540

Информация о продукте:**12.1 токсичность**

Этот материал не предполагается вредным для организмов, обитающих в воде. Этот продукт не подвергался испытаниям. Данная оценка получена исходя из свойств отдельных компонентов.

12.2 Устойчивость и разлагаемость

Не предполагается, что этот материал легко биodeградирует. Этот продукт не подвергался испытаниям. Данная оценка получена исходя из свойств отдельных компонентов.

12.3 Способность к биоаккумуляции

Коэффициент биоконцентрации: Данные отсутствуют
Коэффициент разделения октанола и воды: Данные отсутствуют

12.4 Подвижность в почве

Данные отсутствуют.

12.5 Результаты оценки РВТ (устойчивых биоаккумулируемых токсичных веществ) и vPvB (очень устойчивых интенсивно биоаккумулируемых веществ)

Этот продукт не может относиться к РВТ (устойчивым биоаккумулируемым токсичным веществам) или vPvB (очень устойчивым интенсивно биоаккумулируемым веществам) и не содержит таких веществ.

12.6 Свойства, обуславливающие нарушение функционирования эндокринной системы

Эта смесь не содержит никаких веществ, свойства которых квалифицируются как разрушающие деятельность эндокринной системы.

12.7 Другие неблагоприятные эффекты

Других неблагоприятных эффектов не обнаружено.

Информация о компонентах:**Острая токсичность:**

Дистилляты, гидроочищенные тяжелые парафиновые	На основе имеющихся данных критерии классификации не удовлетворены
C7-9-разветвленные алкиловые эфиры	Данные по тестам отсутствуют
3,5-ди-трет-бутил-4-гидроксигидроциннамовой кислоты	
Бис[О-(6-метилгептил)] бис[О-(втор-бутил)] бис(дитиофосфат) цинка	Конфиденциальные данные по испытаниям

Долгосрочная токсичность:

Дистилляты, гидроочищенные тяжелые парафиновые	На основе имеющихся данных критерии классификации не удовлетворены
C7-9-разветвленные алкиловые эфиры	Данные по тестам отсутствуют
3,5-ди-трет-бутил-4-гидроксигидроциннамовой кислоты	
Бис[О-(6-метилгептил)] бис[О-(втор-бутил)] бис(дитиофосфат) цинка	Данные по тестам отсутствуют

Биodeградация:

Дистилляты, гидроочищенные тяжелые парафиновые	На основе имеющихся данных критерии классификации не удовлетворены
C7-9-разветвленные алкиловые эфиры	Результат теста: Не является легко биodeградирующим веществом
3,5-ди-трет-бутил-4-гидроксигидроциннамовой кислоты	
Бис[О-(6-метилгептил)] бис[О-(втор-бутил)] бис(дитиофосфат) цинка	Не применимо

Номер редакции: 4
Дата редакции: Апрель 24, 2023

10 of 13

Delo 400 MGX SAE 15W-40
SDS : 46540

Способность К Биоаккумуляции:	
Дистилляты, гидроочищенные тяжелые парафиновые	На основе имеющихся данных критерии классификации не удовлетворены
C7-9-разветвленные алкиловые эфиры 3,5-ди-трет-бутил-4- гидроксигидроциннамовой кислоты	Данные по тестам отсутствуют
Бис[О-(6-метилгептил)] бис[О-(втор- бутил)] бис(дитиофосфат) цинка	Данные по тестам отсутствуют

РАЗДЕЛ 13 ТРЕБОВАНИЯ ПО УДАЛЕНИЮ ОТХОДОВ

13.1 Методы обработки отходов

Используйте материал по предполагаемому назначению или, если возможно, утилизируйте его. Имеются службы, выполняющие переработку или ликвидацию отработанных масел. Поместите загрязненные материалы в контейнеры и ликвидируйте их способом, предусмотренным соответствующими нормативами. С утвержденными способами ликвидации или переработки вы можете ознакомиться у своего торгового представителя или в местных природоохранных органах и органах здравоохранения. В соответствии с Европейским каталогом отходов (E.W.C.), установлен следующий код: 13 02 05

РАЗДЕЛ 14 ТРЕБОВАНИЯ ПО БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ТРАНСПОРТИРОВКЕ

Приведенное описание может подходить не для всех условий отгрузки. Дополнительные требования к описанию (например, техническое наименование) и требования к отгрузке, зависящие от вида и количества, см. в соответствующих нормативах, относящихся к опасным продуктам.

ADR/RID

НЕ РЕГЛАМЕНТИРУЕТСЯ КАК ОПАСНЫЙ ГРУЗ ПРИ ТРАНСПОРТИРОВКЕ

14.1 Номер UN (ООН) или идентификационный номер: Не применимо

14.2 Правильное наименование ООН для перевозки: Не применимо

14.3 Класс(ы) опасности для перевозки: Не применимо

14.4 Группа упаковки: Не применимо

14.5 Опасности для окружающей среды: Не применимо

14.6 Особые меры предосторожности для пользователя: Не применимо

ICAO / IATA

НЕ РЕГЛАМЕНТИРУЕТСЯ КАК ОПАСНЫЙ ГРУЗ ПРИ ТРАНСПОРТИРОВКЕ

14.1 Номер UN (ООН) или идентификационный номер: Не применимо

14.2 Правильное наименование ООН для перевозки: Не применимо

14.3 Класс(ы) опасности для перевозки: Не применимо

14.4 Группа упаковки: Не применимо

14.5 Опасности для окружающей среды: Не применимо

14.6 Особые меры предосторожности для пользователя: Не применимо

IMO / IMDG

НЕ РЕГЛАМЕНТИРУЕТСЯ КАК ОПАСНЫЙ ГРУЗ ПРИ ТРАНСПОРТИРОВКЕ

14.1 Номер UN (ООН) или идентификационный номер: Не применимо

14.2 Правильное наименование ООН для перевозки: Не применимо

14.3 Класс(ы) опасности для перевозки: Не применимо

14.4 Группа упаковки: Не применимо

14.5 Опасности для окружающей среды: Не применимо

Номер редакции: 4
Дата редакции: Апрель 24, 2023

11 of 13

Delo 400 MGX SAE 15W-40
SDS : 46540

14.6 Особые меры предосторожности для пользователя: Не применимо

14.7 Бестарная перевозка морским транспортом согласно нормативным документам IMO: Не применимо

РАЗДЕЛ 15 НОРМАТИВНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

15.1 Нормативы/законодательные акты по технике безопасности, охране труда и охране окружающей среды, имеющие отношение к данному веществу или смеси
ПРОВЕРЕННЫЕ СПИСКИ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ:

01=ЕС Директива 76/769/ЕЕС: Ограничения на сбыт и использование некоторых опасных веществ.

02=Директива ЕС 90/394/ЕЕС: Канцерогены в рабочих условиях.

03=Директива ЕС 92/85/ЕЕС: Беременные и кормящие грудью работницы.

04=Директива ЕС 2012/18/ЕС: Seveso III

05=Директива ЕС 98/24/ЕС Химические агенты в рабочих условиях.

06=Директива ЕС 2004/37/ЕС: «О защите трудящихся».

07=Регламент ЕС (ЕС) № 689/2008: Приложение 1, Часть 1.

08=Регламент ЕС (ЕС) № 689/2008: Приложение 1, Часть 2.

09=Регламент ЕС (ЕС) № 689/2008: Приложение 1, Часть 3.

10=Регламент ЕС (ЕС) № 850/2004: «Запрет и ограничение стойких органических загрязнителей».

11=Технический регламент ЕС «Порядок государственной регистрации, экспертизы и лицензирования химических веществ» (Регламент REACH), Приложение XVII: Ограничение производства, оборота и использования определенных опасных веществ, смесей и продуктов.

12=Регламент ЕС (REACH), Приложение XIV: Список веществ, подлежащих авторизации, или список веществ-кандидатов для включения в категорию особо опасных веществ (SVHC).

В указанных нормативных списках имеются следующие компоненты этого материала.

Дистилляты, гидроочищенные тяжелые 02, 03, 05, 06, 11
парафиновые

C7-9-разветвленные алкиловые эфиры 3,5-ди- 05

трет-бутил-4-гидроксигидроциннамовой кислоты

РЕЕСТРЫ ХИМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ:

Все компоненты соответствуют следующим требованиям реестров химических материалов: AIIIC (Австралия), DSL (Канада), ENCS (Япония), KECI (Корея), NZIoC (Новая Зеландия), PICCS (Филиппины), TCSI (Тайвань), TSCA (Соединенные Штаты Америки).

Один или более компонентов входят в список ELINCS (Европейский Союз). Все другие компоненты перечислены или исключены из списков EINECS.

Один или более компонентов не соответствует следующим требованиям реестров химических материалов: IECSC (Китай).

15.2 Оценка химической безопасности

Оценка химической безопасности отсутствует.

РАЗДЕЛ 16 ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

СООБЩЕНИЕ ОБ ИЗМЕНЕНИИ: РАЗДЕЛ 01 - Идентификация компании информация была добавлена.

РАЗДЕЛ 01 – Адрес компании, составителя ПБ информация была изменена.

РАЗДЕЛ 01 - Экстренная медицинская помощь информация была изменена.

РАЗДЕЛ 01 - Ликвидация аварий при транспортировании информация была изменена.

РАЗДЕЛ 02 - Справочная информация об опасности (ЕС) информация была изменена.

РАЗДЕЛ 02.2 - Перечень идентификации опасных компонентов информация была удалена.

РАЗДЕЛ 03 - Состав информация была изменена.

РАЗДЕЛ 08 - Защита глаз и лица информация была изменена.

РАЗДЕЛ 08 - ОБЩИЕ СООБРАЖЕНИЯ информация была изменена.

Номер редакции: 4
Дата редакции: Апрель 24, 2023

12 of 13

Delo 400 MGX SAE 15W-40
SDS : 46540

РАЗДЕЛ 08 - Таблица пределов воздействия на производстве информация была изменена.
 РАЗДЕЛ 08 – Перечень индивидуального защитного снаряжения информация была удалена.
 РАЗДЕЛ 08 - СРЕДСТВА ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ информация была добавлена.
 РАЗДЕЛ 08 - Защита органов дыхания информация была изменена.
 РАЗДЕЛ 08 - Защита кожи информация была изменена.
 РАЗДЕЛ 11 - ТОКСИКОЛОГИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ информация была изменена.
 РАЗДЕЛ 11.2 – ПРОЧИЕ ОПАСНОСТИ информация была добавлена.
 РАЗДЕЛ 12 - ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ информация была изменена.
 РАЗДЕЛ 12.6 - Свойства, обуславливающие нарушение функционирования эндокринной системы информация была добавлена.
 РАЗДЕЛ 15 - РЕЕСТРЫ ХИМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ информация была изменена.
 РАЗДЕЛ 15 - НОРМАТИВНАЯ ИНФОРМАЦИЯ информация была изменена.
 РАЗДЕЛ 16 - Полный текст фраз опасности информация была изменена.

Дата редакции: Апрель 24, 2023

Полный текст фраз опасности CLP:

Aquatic Chronic 2/H411; токсично для водных организмов с долгосрочными последствиями Aquatic Chronic 3/H412; Вредно для водных организмов с долгосрочными последствиями Aquatic Chronic 4/H413; Может вызывать долгосрочные вредные последствия для водных организмов. Eye Dam. 1/H318; вызывает серьезные повреждения глаз Skin Sens. 1/H317; может вызвать кожную аллергическую реакцию
 Skin Irrit. 2/H315; вызывает раздражение кожи

СОКРАЩЕНИЯ, КОТОРЫЕ МОГЛИ ИСПОЛЬЗОВАТЬСЯ В ДАННОМ ДОКУМЕНТЕ:

TLV - Граничное пороговое значение	TWA (средневзвешенное по времени) - Средневзвешенное по времени
STEL (предел кратковременного воздействия) - Предел кратковременного воздействия	PEL - Допустимый предел воздействия
CVX - Chevron	CAS - Регистрационный номер химического соединения в Chemical Abstracts
NO – Не определяется количественно	

Подготовлено в соответствии с Регламентом Европейского союза 1907/2006 (с поправками) Техническим центром Chevron, 6001 Bollinger Canyon Road, San Ramon, CA 94583, USA (США)

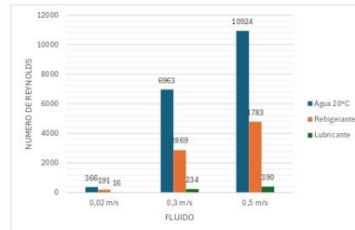
Приведенная выше информация основана на данных, которые нам известны и на сегодня считаются точными. Поскольку эта информация может быть применена в условиях, которые находятся вне нашего контроля и с которыми мы можем быть незнакомы, и поскольку данные, которые станут доступными впоследствии, могут потребовать изменения этой информации, мы не принимаем на себя никакой ответственности за результаты ее использования. Эта информация предоставляется на том условии, что лицо, получившее ее, самостоятельно принимает решение в отношении ее пригодности для его конкретных целей.

Нет приложения

ANEXOS RESULTADOS

Anexo 11 Tablas de resultados

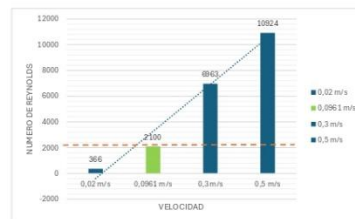
Reynolds	Agua 20°C	Refrigerante	Lubricante
0,02 m/s	366	191	16
0,3 m/s	6963	2869	234
0,5 m/s	10924	4783	390



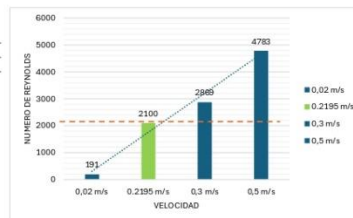
Fluido	Agua 20°C	Refrigerante	Lubricante
Velocidad crítica	0,0961	0,2195	2,69



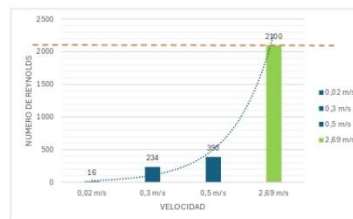
FLUIDO	0,02 m/s	0,0961 m/s	0,3 m/s	0,5 m/s
AGUA	366	2100	6963	10924



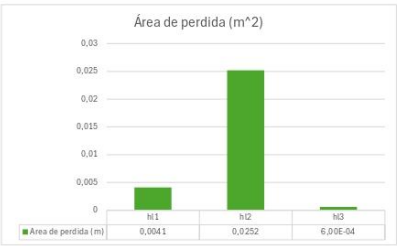
FLUIDO	0,02 m/s	0,2195 m/s	0,3 m/s	0,5 m/s
REFRIGERANTE	191	2100	2869	4783



FLUIDO	0,02 m/s	0,3 m/s	0,5 m/s	2,69 m/s
LUBRICANTE	16	234	390	2100



Pérdidas localizadas	hf1	hf2	hf3
Area de perdida (m)	0,0041	0,0252	6,00E-04



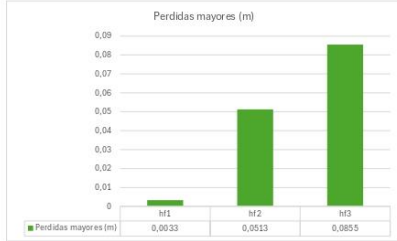
Agua	hf1	hf2	hf3
Pérdidas mayores (m)	0,0001	0,0065	0,012



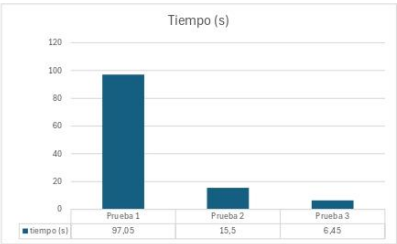
Refrigerante	hf1	hf2	hf3
Pérdidas mayores (m)	0,0003	0,0081	0,0198



Lubricante	hf1	hf2	hf3
Pérdidas mayores (m)	0,0033	0,0513	0,0855



	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
tiempo(s)	97,05	15,5	6,45



Velocidad (m/s)	Apertura 1	Apertura 2	Apertura 3
Calculada	0,0234	0,1466	0,3546
Proyecto	0,02	0,15	0,36

Velocidad	Máxima	Minima
(m/s)	0,5	0,01



Anexo 12 Resultados de perdidas

$$L := 90 \text{ cm} = 0,9 \text{ m}$$

$$D := 2,2 \text{ cm} = 0,022 \text{ m}$$

$$g := 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Agua a 20°C

$$\nu := 0,01007 \text{ St} = 1,007 \frac{\text{mm}^2}{\text{s}}$$

$$Re1 := 366 \quad \text{LAMINAR} \quad v1 := 0,02 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$v0 := 0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$Re2 := 6963 \quad \text{TRANSICION} \quad v2 := 0,3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$Re3 := 10924 \quad \text{TURBULENTO} \quad v3 := 0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$Re4 := \left(\frac{0,5 \cdot D}{\nu} \right) = 10923,5353 \frac{\text{s}}{\text{m}}$$

$$Re := 2100 \quad \text{Velocidad critica} \quad vc := \left(\frac{2100 \cdot \nu}{D} \right) = 0,0961 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

f Laminar

$$fL := \frac{64}{406,6667} = 0,1574$$

f Transicion

$$fTr := \frac{0,316}{Re2^{0,25}} = 0,0346$$

f Trubulento

$$fTu := 0,034$$

Darcy-Weisbach (hf)

$$hf1 := fL \cdot \left(\frac{v1^2 \cdot L}{2 \cdot g \cdot D} \right) = 0,0001 \text{ m}$$

$$hf2 := fTr \cdot \left(\frac{v2^2 \cdot L}{2 \cdot g \cdot D} \right) = 0,0065 \text{ m}$$

$$hf3 := fTu \cdot \left(\frac{v3^2 \cdot L}{2 \cdot g \cdot D} \right) = 0,0177 \text{ m}$$

Perdida de energía localizada en la valvula de bola

Factor K

$$K1 := 200$$

$$K2 := 5,5$$

$$K3 := 0,05$$

$$\frac{2}{3} \cdot \text{cerrado}$$

$$\frac{1}{3} \cdot \text{cerrado}$$

Abierto

$$h11 := K1 \cdot \frac{v1^2}{2 \cdot g} = 0,0041 \text{ m}$$

$$h12 := K2 \cdot \frac{v2^2}{2 \cdot g} = 0,0252 \text{ m}$$

$$h13 := K3 \cdot \frac{v3^2}{2 \cdot g} = 0,0006 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 L &:= 90 \text{ cm} = 0,9 \text{ m} & g &:= 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} & v0 &:= 0 \frac{\text{m}}{\text{s}} \\
 D &:= 2,2 \text{ cm} = 0,022 \text{ m} \\
 v &:= 0,282 \text{ St} = 28,2 \frac{\text{mm}^2}{\text{s}} \\
 \text{Re1} &:= 16 & \text{LAMINAR} & & v1 &:= 0,02 \frac{\text{m}}{\text{s}} \\
 \text{Re2} &:= 234 & \text{LAMINAR} & & v2 &:= 0,3 \frac{\text{m}}{\text{s}} \\
 \text{Re3} &:= 390 & \text{LAMINAR} & & v3 &:= 0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}} \\
 \text{Re4} &:= \left(\frac{v3 \cdot D}{v} \right) = 390,0709 \\
 f_{L1} &:= \frac{64}{\text{Re1}} = 4 & f_{L2} &:= \frac{64}{\text{Re2}} = 0,2735 & f_{L3} &:= \frac{64}{\text{Re3}} = 0,1641
 \end{aligned}$$

Lubricante

Darcy-Weisbach (hf)

$$\begin{aligned}
 hf1 &:= f_{L1} \cdot \left(\frac{v1^2 \cdot L}{2 \cdot g \cdot D} \right) = 0,0033 \text{ m} \\
 hf2 &:= f_{L2} \cdot \left(\frac{v2^2 \cdot L}{2 \cdot g \cdot D} \right) = 0,0513 \text{ m} \\
 hf3 &:= f_{L3} \cdot \left(\frac{v3^2 \cdot L}{2 \cdot g \cdot D} \right) = 0,0855 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L &:= 90 \text{ cm} = 0,9 \text{ m} & g &:= 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \\
 D &:= 2,2 \text{ cm} = 0,022 \text{ m} \\
 v &:= 0,023 \text{ St} = 2,3 \frac{\text{mm}^2}{\text{s}} & v0 &:= 0 \frac{\text{m}}{\text{s}} \\
 \text{Re1} &:= 191 & \text{LAMINAR} & & v1 &:= 0,02 \frac{\text{m}}{\text{s}} \\
 \text{Re2} &:= 2869 & \text{TRANSICION} & & v2 &:= 0,3 \frac{\text{m}}{\text{s}} \\
 \text{Re3} &:= 4783 & \text{TRANSICION} & & v3 &:= 0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}} \\
 \text{Re} &:= 2100 & \text{Velocidad critica} & & v_c &:= \left(\frac{2100 \cdot v}{D} \right) = 0,2195 \frac{\text{m}}{\text{s}} \\
 \text{Re4} &:= \left(\frac{0,5 \cdot D}{v} \right) = 4782,6087 \frac{\text{s}}{\text{m}} \\
 f_L &:= \frac{64}{\text{Re1}} = 0,3351 & f_{Tr1} &:= \frac{0,316}{\text{Re2}^{0,25}} = 0,0432 & f_{Tr2} &:= \frac{0,316}{\text{Re3}^{0,25}} = 0,038
 \end{aligned}$$

Refrigerante $\frac{50}{50} \cdot \text{verde}$

Darcy-Weisbach (hf)

$$\begin{aligned}
 hf1 &:= f_L \cdot \left(\frac{v1^2 \cdot L}{2 \cdot g \cdot D} \right) = 0,0003 \text{ m} \\
 hf2 &:= f_{Tr1} \cdot \left(\frac{v2^2 \cdot L}{2 \cdot g \cdot D} \right) = 0,0081 \text{ m} \\
 hf3 &:= f_{Tr2} \cdot \left(\frac{v3^2 \cdot L}{2 \cdot g \cdot D} \right) = 0,0198 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Anexo 13 Cálculo del caudal volumétrico

14 may. 2025 20:27:28 - CALCULO CAUDAL MATEMATICO.sm
Created using a free version of SMATH Studio

$$Vol := 1 \text{ L} = 0,001 \text{ m}^3 \quad a := 0,00044 \text{ m}^2$$
$$t1 := 6,41 \text{ s}$$
$$Q1 := \frac{Vol}{t1} = 0,0002 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$
$$v1 := \frac{Q1}{a} = 0,3546 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$
$$t2 := 15,5 \text{ s}$$
$$Q2 := \frac{Vol}{t2} = 6,4516 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$
$$v2 := \frac{Q2}{a} = 0,1466 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$
$$t3 := 97,05$$
$$Q3 := \frac{Vol}{t3} = 1,0304 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$
$$v3 := \frac{Q3}{a} = 0,0234 \text{ m}$$

Anexo 14 Código Fuente Arduino

```
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);

// Pines
const int sensorPin = 2;
const int ledPin = 3;
const int joystickX = A0;
const int joystickY = A1;
const int joystickBtn = 4;

// Constantes físicas
const float diametroTubo_cm = 2.2;
const float longitudTubo_cm = 90.0;

volatile int pulsos = 0;
unsigned long ultimaMedicion = 0;

// Viscosidad
char viscosidadStr[] = "01.007";
int digitoActual = 0;
bool editando = true;
bool confirmado = false;

// Flujo
float caudal_L_min = 0;
float velocidad = 0;
```

```

float viscosidad = 1.007;

float reynolds = 0;

void contarPulsos() {
    pulsos++;
}

void setup() {
    pinMode(sensorPin, INPUT_PULLUP);
    pinMode(ledPin, OUTPUT);
    pinMode(joystickBtn, INPUT_PULLUP);
    attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(sensorPin), contarPulsos, RISING);

    lcd.init();
    lcd.backlight();

    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print(" CARGANDO");
    for (int i = 0; i < 3; i++) {
        delay(1000);
        lcd.print(".");
    }

    mostrarPantallaEdicion();
}

void loop() {
    // Verifica si se mantiene presionado el botón del joystick
    static unsigned long tiempoPresionado = 0;
    if (digitalRead(joystickBtn) == LOW) {

```

```

    if (tiempoPresionado == 0) tiempoPresionado = millis();
    if (millis() - tiempoPresionado >= 2000) {
        reiniciarSistema();
    }
} else {
    tiempoPresionado = 0;
}

if (editando) {
    editarViscosidad();
} else if (confirmado) {
    medirYMostrarFlujo();
}
}

```

// FUNCIONES DE EDICIÓN

```

void mostrarPantallaEdicion() {
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("INGRESE VISCOSIDAD");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print(viscosidadStr);
    lcd.print(" mm^2/s");
    marcarDigito();
}

void marcarDigito() {
    int pos = digitoActual;
    if (pos > 1) pos++; // Saltar el punto decimal

```

```

    lcd.setCursor(pos, 1);
    lcd.blink();
}

void editarViscosidad() {
    int x = analogRead(joystickX);
    int y = analogRead(joystickY);

    if (x < 300 && digitoActual > 0) {
        digitoActual--;
        delay(300);
        mostrarPantallaEdicion();
    } else if (x > 700 && digitoActual < 5) {
        digitoActual++;
        delay(300);
        mostrarPantallaEdicion();
    }

    if (y < 300 || y > 700) {
        char& c = viscosidadStr[digitoActual];
        if (c >= '0' && c <= '9') {
            int valor = c - '0';
            valor += (y < 300) ? 1 : -1;
            if (valor > 9) valor = 0;
            if (valor < 0) valor = 9;
            c = valor + '0';
            mostrarPantallaEdicion();
            delay(300);
        }
    }
}

```

```

if (digitalRead(joystickBtn) == LOW) {
    viscosidad = atof(viscosidadStr);
    editando = false;
    confirmado = true;
    lcd.noBlink();
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("V:   m/s");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Re:   ");
    delay(1000);
}
}

// =====
// MEDICIÓN Y CÁLCULOS
// =====

void medirYMostrarFlujo() {
    unsigned long tiempoAhora = millis();
    if (tiempoAhora - ultimaMedicion >= 1000) {
        detachInterrupt(digitalPinToInterrupt(sensorPin));

        caudal_L_min = (pulsos / 5.5);
        float caudal_m3_s = (caudal_L_min / 1000.0) / 60.0;
        float radio_m = (diametroTubo_cm / 100.0) / 2.0;
        float area_m2 = 3.1416 * radio_m * radio_m;
        velocidad = caudal_m3_s / area_m2;
    }
}

```

```

reynolds = (velocidad * (diametroTubo_cm / 100.0)) / (viscosidad * 1e-6);

lcd.setCursor(3, 0);
lcd.print(velocidad, 2);
lcd.print(" m/s");

lcd.setCursor(4, 1);
lcd.print((int)reynolds);
lcd.print(" ");

// Tipo de flujo
if (reynolds < 2100) {
    lcd.setCursor(12, 1);
    lcd.print("LAM");
    digitalWrite(ledPin, LOW);
} else if (reynolds < 10000) {
    lcd.setCursor(12, 1);
    lcd.print("TRA");
    digitalWrite(ledPin, LOW);
} else {
    lcd.setCursor(12, 1);
    lcd.print("TUR");
    digitalWrite(ledPin, HIGH);
}

pulsos = 0;
ultimaMedicion = tiempoAhora;
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(sensorPin), contarPulsos, RISING);
}
}

```

```
// =====  
// REINICIO DE SISTEMA  
// =====
```

```
void reiniciarSistema() {  
    lcd.clear();  
    lcd.noBacklight();  
    delay(1000);  
    asm volatile ("jmp 0");  
}
```