

Universidad Nacional de Ingeniería

Facultad de Ingeniería Ambiental



TESIS

**Análisis comparativo de las obstrucciones de aceites y grasas
entre las tuberías de PPR y PVC durante el transporte de aguas
residuales grasos**

Para obtener el título profesional de Ingeniero Sanitario.

Elaborado por

Niels Henrik Cano Felix

 [0009-0009-3611-9138](https://orcid.org/0009-0009-3611-9138)

Asesor

Ing. Roger Edmundo Salazar Gavelan

 [0009-0002-4663-4888](https://orcid.org/0009-0002-4663-4888)

LIMA – PERÚ

2025

Citar/How to cite	Cano Felix [1]
Referencia/Reference	[1] N. Cano Felix, "Análisis comparativo de las obstrucciones de aceites y grasas entre las tuberías de PPR y PVC durante el transporte de aguas residuales grasos" [Tesis de pregrado]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2025.
Estilo/Style: IEEE (2020)	

Citar/How to cite	(Cano, 2025)
Referencia/Reference	Cano, N. (2025). <i>Análisis comparativo de las obstrucciones de aceites y grasas entre las tuberías de PPR y PVC durante el transporte de aguas residuales grasos</i> . [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

Dedicatoria

A Dios, por su infinita gracia en Cristo Jesús

Agradecimientos

Es imposible abarcar a todas las personas que, de una u otra forma, ayudaron en cualquiera de los procesos involucrados en el presente trabajo. Sin embargo, asumiendo el riesgo de caer en injusticia quiero agradecer primeramente al ingeniero Roger Salazar por toda la guía brindada, a mi familia por todo su apoyo, a Tatiana de la Oficina de Infraestructura por el espacio brindado para la ejecución del módulo, a Alys Soto del comedor Universitario por la recolección de muestra y disponibilidad de la trampa de grasa del comedor universitario, a Soledad y Lily de laboratorio 21 FIQT. Asimismo no puedo evitar agradecer a Marlene Montes, Alonso Tinoco, Jimmy Pacotaype, Luis Apaza, Henry Campbell, Alonso Diaz, y David Quispe por haber contribuido en una fracción en la presente tesis.

Resumen

En la presente tesis de investigación se han propuesto la evaluación técnica económica de dos alternativas de tuberías que posteriormente se extendieron a cuatro (PVC, PPR, Cobre y HDPE). Se evaluó la obstrucción que estas sufren al transportar aguas residuales grasos siendo la hipótesis principal que la tubería de PPR, relativamente nuevo en el mercado de la ingeniería, es la que menor obstrucción sufre en el transporte de aguas residuales graso. Para la evaluación se han realizado 100 simulaciones en tuberías de 3 metros de cada material para luego medir en laboratorio la concentración de aceites y grasas del efluente al final de cada 20 simulaciones para así sacar una curva que describa el decrecimiento de la concentración de aceites y grasas a través de la longitud de tubería por donde se transporta el agua residual siendo la longitud máxima de transporte de 300 metros. Los resultados técnicos en base a los análisis de laboratorio fueron que la tubería con menor obstrucción de grasa fue la tubería de polipropileno PPR y la que sufrió una mayor obstrucción es la de cobre. En cuanto a economicidad la tubería de PVC se sigue posicionando como la N°1 mientras que la más desventajosa es la de cobre por ser la más costosa.

Palabras clave — Aceites y grasa, simulación, agua residual graso, obstrucción

Abstract

In this research thesis, the technical-economic evaluation of two pipe alternatives has been proposed, which were later extended to four (PVC, PPR, Copper and HDPE). The obstruction that these suffer when transporting greasy wastewater was evaluated, the main hypothesis being that the PPR pipe, relatively new in the engineering market, is the one that suffers the least obstruction in the transport of greasy wastewater. For the evaluation, 100 simulations have been carried out in 3-meter pipes of each material to then measure in the laboratory the concentration of oils and fats in the effluent at the end of each 20 simulations in order to obtain a curve that describes the decrease in the concentration of oils and fats through the length of the pipe through which the waste water is transported, the maximum transport length being 300 meters. The technical results based on the laboratory analyses were that the pipe with the least grease obstruction was the polypropylene PPR pipe and the one that suffered the greatest obstruction was the copper one. In terms of cost-effectiveness, PVC pipe continues to rank as number 1, while copper pipe is the most disadvantaged because it is the most expensive.

Keyword — Oils and grease, simulation, greasy wastewater, obstruction.

Tabla de Contenido

	Pág.
Resumen	v
Abstract.....	vi
Introducción	xvi
Capítulo I. Parte introductoria del trabajo	1
1.1 Generalidades	1
1.2 Descripción del problema de investigación	2
1.2.1 Problemática	2
1.2.2 Justificación e importancia	3
1.2.3 Costos ocasionados	4
1.3 Objetivos del estudio	6
1.3.1 Objetivo general	6
1.3.2. Objetivos específicos.....	6
1.4 Antecedentes investigativos.....	6
Capítulo II. Marcos teórico y conceptual.....	8
2.1 Marco teórico.....	8
2.1.1 Desagüe graso	8
2.1.2. Agentes tensoactivos.....	15
2.2 Marco conceptual	16
2.2.1 Tuberías utilizadas en el transporte de aguas residuales grasos	16
2.2.2 Ecuaciones en la hidráulica de tuberías.....	21
2.3 Marco legal.....	22
Capítulo III Desarrollo del trabajo de investigación	24
3.1 Visita Técnica	24
3.2 Selección del ambiente de trabajo	24
3.2.1 Procedimiento preliminar.....	24
3.3 Diseño del sistema de tuberías	27

3.4	Simulación hidráulica	34
3.4.1	Verificación de caudales	34
3.5	Verificación matemática	38
3.5.1	Pendientes reales.....	38
3.6	Vertimiento a punto de acopio.....	38
3.6.1	Excedente de agua	38
3.6.2	Grasa y aceite	38
3.7	Análisis de laboratorio	39
3.7.1	Fuente de obtención de los aceites y grasas para la investigación	39
3.7.2	Metodologías de laboratorio.....	40
3.8	Simulaciones de flujo de agua residual graso a lo largo de las tuberías.....	46
3.8.1	Temperatura del agua residual graso a lo largo de las simulaciones	47
3.9	Cálculos y/o aplicaciones y obtención de resultados	52
3.9.1	Cálculos.....	52
3.9.2	Resultados de laboratorio	53
Capítulo IV. Análisis y discusión de resultados		110
4.1	Cuadro de resultados	110
4.2	Figuras de resultados.....	111
4.2.1	Concentración de A&G del agua residual graso en las tuberías.....	111
4.2.2	Función polinomial del decrecimiento de aceites y grasas.....	114
4.2.3	Decrecimiento de la concentración de A&G en la longitud recorrida	119
4.3	Grasa almacenada en las paredes de las tuberías.....	127
4.3.1	Reducción de la concentración de aceites y grasas en la tubería	127
4.4	Análisis comparativo técnico-económico	132
4.4.1	Costos de mercado	132
4.4.2	Tiempo de operación para cada tubería antes de la obstrucción.....	133
Conclusiones		146
Recomendaciones.....		147

Referencias bibliográficas.....	148
Anexos.....	150

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1: Costos de mantenimiento para colectores y sistema de desagüe SJL	4
Tabla 2: Diámetros comerciales para tuberías de PPR.....	19
Tabla 3: Longitudes de las distintas alternativas de tuberías	25
Tabla 4: Cuadro comparativo entre diámetros de tuberías	28
Tabla 5: Niveles de altura en los tres puntos de apoyo de las tuberías	36
Tabla 6: Volumen de agua recolectado considerando el nivel de agua variable.....	36
Tabla 7: Volumen de agua recolectada manteniendo un nivel constante de agua	37
Tabla 8: Caudal en cada intervalo a un nivel de agua constante en la fuente principal....	37
Tabla 9: Relación de pendientes reales calculados en el sistema de tuberías	38
Tabla 10: Temperaturas del agua residual graso en la tubería de HDPE	47
Tabla 11: Temperatura del agua residual graso en la tubería de cobre.....	48
Tabla 12: Temperatura del agua residual graso en la tubería de PVC	49
Tabla 13: Temperatura del agua residual graso en la tubería de PPR	50
Tabla 14: Pendientes de cada una de las tuberías del sistema diseñado.....	52
Tabla 15: Simulación N°0 tubería HDPE. Concentración de aceites y grasas.....	56
Tabla 16: Simulación N°40 tubería HDPE. Concentración de aceites y grasas.....	57
Tabla 17: Simulación N°60 tubería HDPE. Concentración de aceites y grasas.....	59
Tabla 18: Simulación N°72 tubería HDPE. Concentración de aceites y grasas.....	61
Tabla 19: Simulación N°100 tubería HDPE. Concentración de aceites y grasas.....	64
Tabla 20: Resumen de resultados. Concentración de A&G de la tubería de HDPE	65
Tabla 21: Tabla de densidades de las muestras tomadas de la tubería de HDPE	65
Tabla 22: Simulación N°0 tubería de cobre. Concentración de aceites y grasas.....	66
Tabla 23: Simulación N°20 tubería de cobre. Concentración de aceites y grasas.....	68
Tabla 24: Simulación N°40 tubería de cobre. Concentración de aceites y grasas.....	70
Tabla 25: Simulación N°57 tubería de cobre. Concentración de aceites y grasas.....	72

Tabla 26: Simulación N°63 tubería de cobre. Concentración de aceites y grasas	74
Tabla 27: Simulación N°63 tubería de cobre. Concentración de aceites y grasas	75
Tabla 28: Simulación N°100 tubería de cobre. Concentración de aceites y grasas	76
Tabla 29: Resumen de resultados. Concentración de A&G de la tubería de cobre	79
Tabla 30: Tabla de densidades del efluente de la tubería de cobre	79
Tabla 31: Simulación N°0 tubería de PVC. Concentración de aceites y grasas	80
Tabla 32: Simulación N°0 tubería de PVC. Concentración de aceites y grasas	82
Tabla 33: Simulación N°20 tubería de PVC. Concentración de aceites y grasas	83
Tabla 34: Simulación N°40 tubería de PVC. Concentración de aceites y grasas	85
Tabla 35: Simulación N°60 tubería de PVC. Concentración de aceites y grasas	87
Tabla 36: Simulación N°80 tubería de PVC. Concentración de aceites y grasas	89
Tabla 37: Simulación N°100 tubería de PVC. Concentración de aceites y grasas	92
Tabla 38: Resumen de resultados. Concentración de A&G de la tubería de PVC.....	94
Tabla 39: Tabla de densidades de las muestras tomadas de la tubería de PVC	94
Tabla 40: Simulación N°0 tubería de PPR. Concentración de aceites y grasas	96
Tabla 41: Simulación N°20 tubería de PPR. Concentración de aceites y grasas	98
Tabla 42: Simulación N°40 tubería de PPR. Concentración de aceites y grasas	100
Tabla 43: Simulación N°60 tubería de PPR. Concentración de aceites y grasas	101
Tabla 44: Simulación N°80 tubería de PPR. Concentración de aceites y grasas	103
Tabla 45: Simulación N°100 tubería de PPR. Concentración de aceites y grasas	105
Tabla 46: Resumen de resultados. Concentración de A&G de la tubería de PPR.....	106
Tabla 47: Tabla de densidades de las muestras tomadas de la tubería de PPR.....	106
Tabla 48: Cuadro comparativo de concentración de A&G en 100 simulaciones.....	110
Tabla 49: Densidades promedios del agua residual graso en las tuberías	110
Tabla 50: Tubería de HDPE. Cuadro comparativo	115
Tabla 51: Tubería de cobre. Cuadro comparativo	116
Tabla 52: Tubería de PVC. Cuadro comparativo	118
Tabla 53: Tubería de PPR. Cuadro comparativo	119

Tabla 54: Decrecimiento de la concentración de A&G del agua residual graso.....	120
Tabla 55: Tabla comparativa de la reducción de A&G del agua residual graso	123
Tabla 56: Tabla de la reducción de A&G del agua residual graso en las tuberías	124
Tabla 57: Tuberías de PPR, PVC, HDPE y cobre obstruidas por la grasas.....	125
Tabla 58: Diferencia de la concentración de A&G entre afluente y efluente	128
Tabla 59: Relación de costos por cada alternativa de tubería.....	133
Tabla 60: Tiempo de obstrucción en una tubería de HDPE	134
Tabla 61: Margen de error del tiempo de obstrucción en tubería de HDPE.....	135
Tabla 62: Tiempo de obstrucción en una tubería de cobre	137
Tabla 63: Margen de error del tiempo de obstrucción en tubería de cobre	138
Tabla 64: Tiempo de obstrucción en una tubería de PVC.....	140
Tabla 65: Margen de error del tiempo de obstrucción en una tubería de PVC	141
Tabla 66: Margen de error del tiempo de obstrucción en una tubería de PPR	143
Tabla 67: Margen de error del tiempo obstrucción en una tubería de PPR	143

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 01: Acumulación de grasas y restos de comida en las tuberías	2
Figura 02: Estándares de calidad ambiental para aguas superficiales.....	10
Figura 03: Estándares de calidad para aguas superficiales destinadas para recreación ..	11
Figura 04: Estándares de calidad ambiental para actividades marino-costeras.....	12
Figura 05: Estándares de calidad ambiental para riego de vegetales.....	13
Figura 06: Estándares de calidad ambiental para la conservación del medio acuático ...	14
Figura 07: Límites máximos permisibles para efluentes industriales	14
Figura 08: Diámetros comerciales de PVC para alcantarillado y drenaje	17
Figura 09: Diámetros y espesores de tuberías de PPR	19
Figura 10: Diámetro exterior medio para tuberías de PPR	20
Figura 11: Utilización de guincha para la medición de las longitudes de las tuberías	25
Figura 12: Utilización de taladro para las salidas de 2” a la batea	29
Figura 13: Batea azul de capacidad aproximada de 110 litros.....	29
Figura 14: Formador de empaquetadura alrededor de las bridas.....	30
Figura 15: Formador de empaquetadura	30
Figura 16: Cinta teflón en niple tipo rosca macho.....	31
Figura 17: Soldadura de tubería de cobre a adaptador de cobre	32
Figura 18: Tuberías instaladas a las válvulas de PVC por medio de adaptadores.....	32
Figura 19: Uso de material termoaislante (Tecnopor).....	33
Figura 20: Válvula de purga para uso de limpieza en la batea	33
Figura 21: Alturas de los tres puntos de apoyo de las tuberías	35
Figura 22: Muestra de agua residual del comedor universitario UNI.....	39
Figura 23: Métodos de laboratorio para análisis de agua	40
Figura 24: Extracto original en inglés del procedimiento de extracción de AG.....	42
Figura 25: Doble muestreo de ARG en simultáneo.....	45

Figura 26: Insumos preservantes para la conservación de muestra.....	46
Figura 27: Temperatura tomada con termómetro electrónico al agua residual.....	46
Figura 28: Simulaciones en la tubería de polietileno HDPE	47
Figura 29: Llenado de aceites y grasas en la batea matriz.....	52
Figura 30: Muestra recolectada en pera de decantación.....	54
Figura 31: Alícuota de 5 ml perteneciente a la muestra original	55
Figura 32: 600 ml de agua para la formación de una nueva muestra.....	56
Figura 33: Extracción de aceites y grasas.....	57
Figura 34: Flujo de agua residual graso en la tubería de cobre	66
Figura 35: Balde con 16 litros de agua residual graso.....	79
Figura 36: Flujo de agua residual graso saliendo de la tubería de PVC	80
Figura 37: Flujo de agua residual graso vertiendo de la tubería de PPR	95
Figura 38: Muestras de A&G tomadas durante la semana de APEC.....	96
Figura 39: Sistema de tuberías en la finalización de la tesis	107
Figura 40: Tubería de HDPE luego de la finalización de la tesis	107
Figura 41: Tubería de cobre luego de la finalización de la tesis	108
Figura 42: Tubería de PVC luego de la finalización de la tesis	108
Figura 43: Tubería de PPR luego de la finalización de la tesis	109
Figura 44: Tuberías inclinadas paralelamente. Finalización de la tesis de investigación ..	109
Figura 45: Concentración de A&G en la tubería de HDPE.....	111
Figura 46: Concentración de A&G en la tubería de cobre.....	112
Figura 47: Concentración de A&G en la tubería de PVC.....	112
Figura 48: Concentración de A&G en la tubería de PPR.....	113
Figura 49: Decrecimiento de la concentración de A&G en la tubería de HDPE.....	114
Figura 50: Decrecimiento de la concentración de A&G en la tubería de cobre.....	115
Figura 51: Decrecimiento de la concentración de A&G en la tubería de PVC.....	117
Figura 52: Decrecimiento de la concentración de A&G en la tubería de PPR.....	118

Figura 53: Porcentaje de la reducción de A&G del agua residual graso.....	120
Figura 54: Reducción de la concentración de A&G del agua residual graso.....	122
Figura 55: Reducción de la concentración de A&G en 80 simulaciones.....	122
Figura 56: Relación de la reducción de A&G en las tuberías.....	124
Figura 57: Relación de la reducción de A&G y la temperatura del ARG.....	125
Figura 58: Tuberías al final de la tesis.....	126

Introducción

Las obstrucciones de las tuberías o colectores por acumulación de grasa en las paredes es un problema habitual que se ve mayoritariamente en lugares donde se trabajan diariamente con aceites como por ejemplo restaurantes, comedores populares o centros de comida rápida en donde, si no cuentan con una trampa de grasa como pretratamiento, vierten el aceite quemado al desagadero generando así no solo un problema medio ambiental sino una afectación a los colectores que transportaran esas grasas. Autores como Guerrero Erazo (ingeniero sanitario) y Pineda Rodríguez (ingeniero ambiental) ya habían identificado la problemática que causan las grasas en la reducción del diámetro eficaz en las tuberías de alcantarillado aumentando de esta manera los costos de mantenimiento de las mismas como en las plantas de tratamiento, asimismo Sedapal reportó 157000 emergencias en la red de alcantarillado entre los años 2015 a 2018, todas ellas debido al mal uso del alcantarillado como vertimiento de aceites y grasas, que luego ha sido compartido por el medio de comunicación del diario La República.

Es menester el uso de buenas prácticas por parte de la población así como la instalación de una trampa de grasa en los lugares que vierten una gran cantidad de grasa y aceite quemado, pero ante todo ello surge la pregunta ante esta problemática. *¿Qué alternativa de tubería sufre menos obstrucción de grasa en sus paredes? ¿Se puede reemplazar una tubería tradicional como el PVC por otro tipo de tubería que por el tipo de material podamos reducir el costo de mantenimiento en el sistema sanitario?* Es por ello por lo que la presente tesis tiene un enfoque económico-técnico en cuanto a la afectación que tienen las grasas y los aceites quemados hacia las tuberías de desagüe.

Capítulo I. Parte introductoria del trabajo

“Análisis comparativo de las obstrucciones de aceites y grasas entre las tuberías de PPR y PVC durante el transporte de aguas residuales grasos”.

1.1 Generalidades

Para la comprensión de la presente tesis en la cual se busca la mejor alternativa de tubería en el transporte de agua residual graso vale definir primeramente que es agua residual graso. El agua residual graso es toda aquella agua residual que tiene grasa dentro su composición, esta puede ser grasa animal o vegetal; estas son vertidas en grandes cantidades como comedores populares o centros de comida rápida.

Según el DS N°003-2010 MINAM el Límite Máximo Permissible para los aceites y grasas de un efluente de PTAR que será vertida a un cuerpo de agua es de 20 mg/L, sin embargo las concentraciones de aceites y grasas producidos por las industrias alimentarias varían entre los 800000 y 900000 mg/L según lo determinado en la presente tesis de investigación, por lo que es de suma importancia el pre tratamiento de las aguas residuales grasos antes de la conducción de la misma hacia la PTAR dado que concentraciones de esta índole es imposible que sea tratado por tratamiento biológico.

La determinación de la concentración de aceites y grasas en el laboratorio se realiza mediante la separación de fases por el método gravimétrico, en la cual se utiliza un solvente apolar para la separación de la grasa con carga apolar de las moléculas de agua que tiene carga apolar. Las sustancias recomendadas para este procedimiento de laboratorio es el hexano puro (C₆H₁₄), sin embargo, también se suelen utilizar otros compuestos como la bencina, la cual es una mezcla de hidrocarburos como el hexano, heptano y octano; sin embargo, al no ser un compuesto puro su eficiencia no es la misma que la del hexano puro.

El proceso de separación de fases agua-aceite es detallada en la metodología 5520B para la determinación de aceites y grasas.

1.2 Descripción del problema de investigación

1.2.1 Problemática

La acumulación de grasas en las tuberías genera atoro en las mismas generando una reducción gradual del diámetro eficaz y gastos económicos en el mantenimiento del sistema.

Figura 1

Acumulación de grasas y restos de comida en las tuberías



“Hoy día, la mayor parte del aceite de cocina es usado y vertido en el sistema de alcantarillado de las ciudades, este procedimiento trae consigo diferentes aspectos negativos, entre ellos se observan como los aceites y las grasas pueden causar la obstrucción de las tuberías por la formación de una película en las paredes internas, lo cual contribuye a la reducción del diámetro eficaz de la tubería del alcantarillado...” (Pineda Rodriguez & Guerrero Erazo, 2011)

Los aceites y grasas en aguas residuales, también por siglas en inglés FOG (Fats, oils and grease) provienen del enjuague de utensilios de cocina, las grasas al bajar su temperatura en el sistema de desagüe adhiriéndose a las paredes de las tuberías generando así una acumulación de grasa disminuyendo de esta manera el diámetro eficaz de la tubería.

Asimismo, al ser descargados a algún cuerpo de agua, estas pueden ser contaminados por la grasa si no hay un tratamiento previo. La contaminación por aceites y grasas es de tal manera que un litro contamina hasta 40'000 litros de agua, equivalente al consumo anual de una persona en su domicilio. (González Canal & González Ubierna).

1.2.2 Justificación e importancia

En el año 2019 el Consorcio Saneamiento Lima Norte Lote 3 hizo la recomendación a la comunidad peruana de no verter residuos grasos a la tubería debido a las obstrucciones de las tuberías generando atoros y reducciones de diámetros en las mismas.

“Las grasas que son arrojadas a las redes de alcantarillado se acumulan en las paredes internas de la tubería, con otros restos de residuos sólidos, produciendo de forma progresiva la reducción del diámetro y grosor de las tuberías” (La República, 2019)⁶

Asimismo, también el exceso de aceites y grasas en las redes de desagüe genera atoros y recubrimientos en las válvulas que se encuentran en la línea de desagüe, generando de esta manera que:

- En sistemas de bombeo, las bombas deberán impulsar con mayor fuerza las aguas residuales.
- Mayores costos de mantenimiento en las tuberías y/o válvulas desgastadas.

Los problemas que se originan en el vertimiento de residuos grasos en sistema de desagüe son:

- Reducción del diámetro de tubería
- Deterioro de los colectores
- Atoros
- Aniegos

He ahí la importancia de conocer un material de tubería en donde la grasa quede atrapada en las paredes de las tuberías

Según SEDAPAL, entre los años 2016 y 2019 se ha registrado 157 mil emergencias en su amplia red de alcantarillado, 3 mil de ellas en el primer trimestre del 2018. Los distritos más recurrentes son el Rímac, La Victoria, El Agustino, Breña y Villa María del Triunfo”. (La República, 2019).

1.2.3 Costos ocasionados

1.2.3.1 Costos de proyectos de mantenimiento.

Tabla 1

Costos de mantenimiento para colectores y sistema de desagüe SJL

Proyecto	Presupuesto	Distrito	Fecha
REPARACIÓN DE COLECTOR PRIMARIO; EN EL(LA) COLECTOR CANTO GRANDE Y COLECTOR LA HUAYRONA UBICADO EN LAS ESTACIONES SANTA ROSA, BAYOVAR Y CAJA DE AGUA DEL DISTRITO DE SAN JUAN DE LURIGANCHO, PROVINCIA LIMA	S/ 33,833,025.10	San Juan de Lurigancho	04 de julio 2019

MEJORAMIENTO DE LOS COLECTORES DE LOS SECTORES 411, 413 Y 416 DISTRITO DE SAN JUAN DE LURIGANCHO - PROVINCIA DE LIMA - DEPARTAMENTO DE LIMA	S/ 3,210,931.26	San Juan de Lurigancho	01 octubre 2021
RENOVACIÓN DE COLECTOR SECUNDARIO Y CONEXIONES DOMICILIARIAS PARA ALCANTARILLADO; EN EL (LA) URBANIZACIÓN CAJA DE AGUA, DISTRITO DE SAN JUAN DE LURIGANCHO, PROVINCIA LIMA, DEPARTAMENTO LIMA	S/ 862,317.00	San Juan de Lurigancho	Enero 2022
CAMBIO DE REDES DE ALCANTARILLADO URB SALAMANCA (ATE)	S/ 6,738,500.00	Ate	Agosto 2016

Nota: Fuente de información. SEDAPAL

En las instalaciones sanitarias de edificaciones, así como en industrias alimentarias se utiliza como tuberías de descarga materiales de PVC y/o PPR por lo que en la presente investigación se realizará una comparación en la reducción de diámetros de cada una de las tuberías mientras se hace pasar desagüe graso a través de ellas.

1.3 Objetivos del estudio

1.3.1 Objetivo general

Identificar la alternativa de tubería con mayor acumulación de grasas en las paredes de esta.

1.3.2. Objetivos específicos

- Conocer las ventajas o desventajas de una alternativa de tubería sobre otra.
- Comparar los gastos económicos correctivos que conllevaría el uso de alternativas de tuberías en la industria alimentaria en donde se lleva a cabo las descargas de efluentes grasos.
- Conocer los efectos particulares que tienen las grasas en cada una de las alternativas de tuberías.
- Cuantificar el peso de la grasa acumulada en las paredes de las tuberías con la diferencia entre la concentración de grasa del afluente y efluente.

1.4 Antecedentes investigativos

- (Mattsson, Hedstrom, Viklander, & Blecken, 2014)¹, realizaron un estudio exhaustivo hacia las problemáticas de la acumulación de aceites y grasas en los sistemas de alcantarillado de los municipios escandinavos (Noruega y Suecia) realizando para este estudio una encuesta dirigida a los ingenieros hidráulicos de estos países en donde más del 80% contestaron que las obstrucciones de las tuberías de alcantarillado se deben a la presencia de grasas (FOG) en los sistemas de alcantarillado.
- (Ho Yuek Ming & Nur Azura Berahim, 2013)², mencionan que la obstrucción de grasas en las tuberías genera un alto costo de mantenimiento en las tuberías de edificaciones. Se realizó una encuesta entre los hogares residenciales suburbano de Bandar Baru Bangi (Malasia) dando como resultados que en la eliminación de desecho de cocina (FOG) son la principal causa de acumulación de grasa (FOG) en tuberías y alcantarillado llegando a la conclusión que

prácticas preventivas en la gestión de residuos grasos en los residuos domésticos de cocina deben ser la primera línea de mitigación en del FOG.

- (Office of Environment, Health and Safety, 2023)³ publicó una revista científica en donde se asegura que la causa de los atoros de tuberías con desagüe graso se debe al enfriamiento de los residuos que se descargan en los lavaderos de cocina.
- (Otsuka, Yamazaki, Ankyu, Ahamed, & Anda, 2020)⁴ simularon condiciones reales de cocinas e industrial alimentarias reproduciendo obstrucciones en tuberías de PVC con una pendiente de 1% simulando las mismas condiciones de temperatura, concentración y características que tiene un agua residual graso. Las conclusiones fueron que la obstrucción de las tuberías por ácidos grasos (FOG) requiere coexistencia de ácidos grasos y SS.

Capítulo II. Marcos teórico y conceptual

2.1 Marco teórico

2.1.1 Desagüe graso

Son aquellos desagües que son producto de las cocinas o industrias alimentarias. Su principal sustancia contaminante son los aceites y grasas.

2.1.1.1 Aceites usados en cocina. Los aceites vegetales están compuestos mayoritariamente por triglicéridos, colorantes, fosfátidos, esteroides, colorantes y agua. Las plantas y los animales pueden generar ácidos grasos, que suelen estar compuestos por cadenas de seis a dieciocho carbonos cada una; los tipos más frecuentes son los ácidos oleico, esteárico, palmítico y linoleico. (Villabona et al., 2017 Liu et al., 2010).

El componente principal de los aceites biológicos, los triglicéridos, se eliminan del aceite, lo que aumenta su densidad y viscosidad, y en su lugar se transforman en ésteres alquílicos mediante reacciones químicas para mejorar sus características de fluidez del combustible. (Villabona Ortiz, Iriarte Pico, & Tejada Tovar, 2017).

“Durante la fritura de aceites estos cambian sus propiedades por medio de alteraciones químicas que son derivados de un aumento de temperatura lo cual hace necesario su reemplazo cuando no se cumplen los estándares de calidad ambiental”. (González Canal & González Ubierna).

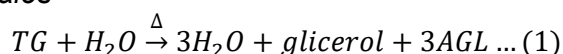
Podemos subdividir la composición de las grasas en ácidos grasos totales y ácidos grasos libres.

2.1.1.2 Ácidos grasos totales. Algunos ejemplos de ácidos grasos totales que se pueden encontrar en aguas residuales grasos de cocinas son: oleico, palmítico, linoleico, esteárico, palmitoleico, entre otros (Franco, et.).

2.1.1.2.1 Ácidos grasos libres. Son producidos en los procesos industriales comestibles y similares (Mateo, et.). Se forma a partir de una hidrólisis de las grasas con el agua generando glicerol y ácidos grasos libres. A continuación, se presenta la ecuación de la hidrólisis de grasas totales.

Ecuación 1

Hidrólisis de grasas totales



Donde: AGL: Ácidos grasos libres

2.1.1.2.2 Sólidos sedimentables. Son los sólidos que pueden eliminarse de un residuo líquido en un tiempo determinado solo con ayuda de la gravedad. (DS N°28-60-S.A.P.L. Art. 218°).

2.1.1.3 Impacto de los aceites y grasas. Productos efluentes de restaurantes y comedores por donde se utilizan cantidades exorbitantes de aceites en las producciones culinarias. En algunos casos las grasas son llevadas vertidas en los lavaderos yendo al sistema de desagües sin previo tratamiento.

“Los aceites utilizados para freír alimentos en los siguientes ámbitos: doméstico, centros e instituciones, hostelería, restaurantes, etc., sufren cambios por durante su uso por lo que su propietario debe descartarlos. Si son vertidos a los fregaderos, inodoros u otros elementos de la red sanitaria, generan fuente de contaminación del agua de los ríos, lagos, etc., causando problemas en la red sanitaria, por lo que en esa circunstancia se debe evitar esa costumbre utilizando una buena gestión.” (Mesinas, Chávez, Pintor, & Becerra, 2018).

Asimismo, los aceites y grasas en unión con los detergentes de uso doméstico llegan a formar las conocidas en Europa como las “bolas de grasa” que son las principales

causales de atascos en colectores con poca pendiente. (González Canal & González Ubierna).

2.1.1.4 Normas reguladoras.

2.1.1.4.1 Estándares de calidad ambiental. Las correspondientes para los aceites y grasas lo podemos encontrar en el DS N°004-2017-MINAM son los siguientes:

Figura 2

Estándares de Calidad ambiental para aguas superficiales

Categoría 1: Poblacional y Recreacional				
Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable				
Parámetros	Unidad de medida	A1	A2	A3
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado
FÍSICOS- QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	0,5	1,7	1,7
Cianuro Total	mg/L	0,07	**	**
Cianuro Libre	mg/L	**	0,2	0,2
Cloruros	mg/L	250	250	250
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	15	100 (a)	**
Conductividad	(μ S/cm)	1 500	1 600	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	3	5	10
Dureza	mg/L	500	**	**
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	10	20	30
Fenoles	mg/L	0,003	**	**
Fluoruros	mg/L	1,5	**	**
Fósforo Total	mg/L	0,1	0,15	0,15
Materiales Flotantes de Origen Antropogénico		Ausencia de material flotante de origen antrópico	Ausencia de material flotante de origen antrópico	Ausencia de material flotante de origen antrópico
Nitratos (NO ₃ ⁻) (c)	mg/L	50	50	50
Nitritos (NO ₂ ⁻) (d)	mg/L	3	3	**
Amoniacó- N	mg/L	1,5	1,5	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 6	≥ 5	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5	5,5 – 9,0	5,5 - 9,0
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	1 000	1 000	1 500
Sulfatos	mg/L	250	500	**
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	**
Turbiedad	UNT	5	100	**
INORGÁNICOS				
Aluminio	mg/L	0,9	5	5
Antimonio	mg/L	0,02	0,02	**
Arsénico	mg/L	0,01	0,01	0,15
Bario	mg/L	0,7	1	**
Berilio	mg/L	0,012	0,04	0,1
Boro	mg/L	2,4	2,4	2,4
Cadmio	mg/L	0,003	0,005	0,01
Cobre	mg/L	2	2	2
Cromo Total	mg/L	0,05	0,05	0,05
Hierro	mg/L	0,3	1	5
Manganeso	mg/L	0,4	0,4	0,5
Mercurio	mg/L	0,001	0,002	0,002
Molibdeno	mg/L	0,07	**	**

Nota. Fuente de información: Decreto Supremo N°004-2017-MINAM

Figura 3

Estándares de calidad para aguas superficiales destinadas para recreación

Subcategoría B: Aguas superficiales destinadas para recreación

Parámetros	Unidad de medida	B1	B2
		Contacto primario	Contacto secundario
FÍSICOS- QUÍMICOS			
Aceites y Grasas	mg/L	Ausencia de película visible	**
Cianuro Libre	mg/L	0,022	0,022
Cianuro Wad	mg/L	0,08	**
Color	Color verdadero Escala Pt/Co	Sin cambio normal	Sin cambio normal
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	5	10
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	30	50
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,5	Ausencia de espuma persistente
Materiales Flotantes de Origen Antropogénico		Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante
Nitratos (NO ₃ -N)	mg/L	10	**
Nitritos (NO ₂ -N)	mg/L	1	**
Olor	Factor de dilución a 25° C	Aceptable	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 5	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,0 a 9,0	**
Sulfuros	mg/L	0,05	**
Turbiedad	UNT	100	**
INORGÁNICOS			
Aluminio	mg/L	0,2	**
Antimonio	mg/L	0,006	**
Arsénico	mg/L	0,01	**
Bario	mg/L	0,7	**

Nota: fuente "Decreto Supremo N°004-2017-MINAM"

Figura 4

Estándares de calidad ambiental para actividades marino-costeras

Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales

Parámetros	Unidad de medida	C1	C2	C3	C4
		Extracción y cultivo de moluscos, equinodermos y tunicados en aguas marino costeras	Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas en aguas marino costeras	Actividades marino portuarias, industriales o de saneamiento en aguas marino costeras	Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos o lagunas
FÍSICOS- QUÍMICOS					
Aceites y Grasas	mg/L	1,0	1,0	2,0	1,0
Cianuro Wad	mg/L	0,004	0,004	**	0,0052
Color (después de filtración simple) (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	100 (a)	100 (a)	**	100 (a)
Materiales Flotantes de Origen Antropogénico		Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	**	10	10	10
Fósforo Total	mg/L	0,062	0,062	**	0,025
Nitratos (NO ₃ ⁻) (c)	mg/L	16	16	**	13
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 4	≥ 3	≥ 2,5	≥ 5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	7 – 8,5	6,8 – 8,5	6,8 – 8,5	6,0-9,0
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	80	60	70	**
Sulfuros	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	Δ 3	Δ 3
INORGÁNICOS					
Amoniaco Total (NH ₃)	mg/L	**	**	**	(1)
Antimonio	mg/L	0,64	0,64	0,64	**
Arsénico	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,1
Boro	mg/L	5	5	**	0,75
Cadmio	mg/L	0,01	0,01	**	0,01
Cobre	mg/L	0,0031	0,05	0,05	0,2
Cromo VI	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,10
Mercurio	mg/L	0,00094	0,0001	0,0018	0,00077
Níquel	mg/L	0,0082	0,1	0,074	0,052
Plomo	mg/L	0,0081	0,0081	0,03	0,0025
Selenio	mg/L	0,071	0,071	**	0,005
Talio	mg/L	**	**	**	0,0008
Zinc	mg/L	0,081	0,081	0,12	1,0

Nota: fuente “Decreto Supremo N°004-2017-MINAM”

Figura 5

Estándares de calidad ambiental para riego de vegetales

Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
FÍSICOS- QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	5		10
Bicarbonatos	mg/L	518		**
Cianuro Wad	mg/L	0,1		0,1
Cloruros	mg/L	500		**
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	100 (a)		100 (a)
Conductividad	(μ S/cm)	2 500		5 000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	15		15
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	40		40
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,2		0,5
Fenoles	mg/L	0,002		0,01
Fluoruros	mg/L	1		**
Nitratos (NO ₃ -N) + Nitritos (NO ₂ -N)	mg/L	100		100
Nitritos (NO ₂ -N)	mg/L	10		10
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 4		≥ 5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5		6,5 – 8,4
Sulfatos	mg/L	1 000		1 000
Temperatura	°C	Δ 3		Δ 3
INORGÁNICOS				
Aluminio	mg/L	5		5

Nota: fuente “Decreto Supremo N°004-2017-MINAM”

Figura 6

Estándares de calidad ambiental para la conservación del medio acuático

Categoría 4: Conservación del ambiente acuático

Parámetros	Unidad de medida	E1: Lagunas y lagos	E2: Ríos		E3: Ecosistemas costeros y marinos	
			Costa y sierra	Selva	Estuarios	Marinos
FÍSICOS- QUÍMICOS						
Aceites y Grasas (MEH)	mg/L	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Cianuro Libre	mg/L	0,0052	0,0052	0,0052	0,001	0,001
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	20 (a)	20 (a)	20 (a)	**	**
Clorofila A	mg/L	0,008	**	**	**	**
Conductividad	(μ S/cm)	1 000	1 000	1 000	**	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	5	10	10	15	10
Fenoles	mg/L	2,56	2,56	2,56	5,8	5,8
Fósforo total	mg/L	0,035	0,05	0,05	0,124	0,062
Nitratos (NO ₃ ⁻) (c)	mg/L	13	13	13	200	200
Amoníaco Total (NH ₃)	mg/L	(1)	(1)	(1)	(2)	(2)
Nitrógeno Total	mg/L	0,315	**	**	**	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 5	≥ 5	≥ 5	≥ 4	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,8 – 8,5	6,8 – 8,5
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	≤ 25	≤ 100	≤ 400	≤ 100	≤ 30
Sulfuros	mg/L	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	Δ 3	Δ 2	Δ 2
INORGÁNICOS						
Antimonio	mg/L	0,64	0,64	0,64	**	**
Arsénico	mg/L	0,15	0,15	0,15	0,036	0,036
Bario	mg/L	0,7	0,7	1	1	**
Cadmio Disuelto	mg/L	0,00025	0,00025	0,00025	0,0088	0,0088
Cobre	mg/L	0,1	0,1	0,1	0,05	0,05
Cromo VI	mg/L	0,011	0,011	0,011	0,05	0,05
Mercurio	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Niquel	mg/L	0,052	0,052	0,052	0,0082	0,0082
Plomo	mg/L	0,0025	0,0025	0,0025	0,0081	0,0081
Selenio	mg/L	0,005	0,005	0,005	0,071	0,071
Talio	mg/L	0,0008	0,0008	0,0008	**	**
Zinc	mg/L	0,12	0,12	0,12	0,081	0,081

Nota: fuente “Decreto Supremo N°004-2017-MINAM”

2.1.1.4.2 Decreto Supremo N°2009-MINAM.

Figura 7

Límites máximos permisibles para efluentes industriales

Parámetro	Unidad	LMP
pH		6 - 9
Incremento de Temperatura	°C	≤3
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	50
Aceites y Grasas	mg/L	10
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	250
Coniformes	MNP/ 100 ml	400
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	50

Nota. Fuente de información: Decreto supremo N°009-MINAM

2.1.2 Agentes tensoactivos

Son llamados también tensoactivos o surfactantes, siendo sustancias químicas capaces de reducir la tensión superficial de un líquido, mejorando su capacidad de extenderse por una superficie mayor. (Parada, 2021).

Gracias a los tensoactivos algunos líquidos pueden homogenizarse con otros inmiscibles gracias a la reducción de la tensión superficial que hay entre ellas, siendo una de las casuísticas el agua con el aceite, por lo cual también son llamadas emulsionantes.

Una característica peculiar de los tensoactivos es que están formadas por anfifílicas (cabeza polar), lo cual significa que es en parte hidrofílica e hidrofóbica (cola apolar).

Las moléculas de tensoactivos se encuentran en las interfases aceite-líquido y aire-agua (Stoyanov et al. 2003).

La mínima concentración en la que los tensoactivos alcanzan la tensión superficial mínima se llama concentración crítica de micelas (CMC).

2.1.2.1 Síntesis de los tensoactivos.

2.1.2.1.1 Producción química. Los tensoactivos son formados industrialmente a partir de la sulfonación de alcoholes, heterociclos o alquilbencenos. (Lana, 2018).

Los tensoactivos químicos, según su estructura pueden ser iónicos o no iónicos (Jiménez Islas, Medina Moreno, & Gracida Rodríguez, 2008) pudiendo aglomerarse a cierto grado de temperatura que se le llama punto de nube (PN).

2.1.2.1.2 Producción biológica. Debido a la toxicidad que puede generar los tensoactivos químicos actualmente se está viendo la opción de utilizar tensoactivos de origen biológico (biotensoactivos) las cuales son secretadas por distintos tipos de microorganismos como *Rhodococcus ruber*, *R. erythropolis*, *Pseudomonas aeruginosa*, etc. (Jiménez Islas, Medina Moreno, & Gracida Rodríguez, 2008).

Los biotensoactivos pueden ser péptidos, glicolípidos, glicopéptidos, ácidos grasos y fosfolípidos.

Usos industriales de los tensoactivos

Al aumentar la solubilidad de los hidrocarburos inmiscibles en fases acuosas, los tensoactivos son ampliamente usados en las siguientes industrias:

- Limpieza de grasa en industrias alimentarias
- Limpieza de tanques de almacenamiento de petróleo

2.2 Marco conceptual

2.2.1 Tuberías utilizadas en el transporte de aguas residuales grasos

2.2.1.1 Tubería de PVC. Tubería de policloruro de vinilo utilizada ampliamente para líneas y montantes de desagüe, entre las que se destacan en usos para cocina, baños, lavanderías, etc. También es usado en algunos sectores para el abastecimiento de agua potable y línea de impulsión, aunque en algunas empresas contratistas recomiendan para este uso el de Polipropileno a presión.

A continuación, se exhiben algunas de sus ventajas y desventajas:

Ventajas:

- Tiene una fabricación lisa garantizando así por parte del proveedor una ausencia de incrustaciones manteniendo teóricamente su sección hidráulica en el momento de su uso. Para la presente tesis de investigación se planea poner a prueba esta característica mediante el transporte de aguas residuales grasos para evaluar el decrecimiento del diámetro útil en comparación con otros tipos de tuberías.
- Las tuberías de PVC pueden ser enterradas en el suelo sin ningún problema manteniendo su naturaleza libre de la oxidación por parte de los materiales componentes del suelo húmedo o seco.
- A diferencia de otras tuberías como el cobre, las tuberías de PVC no requieren capacitación técnica debido a su fácil manejo y no necesitando materiales pesados para su instalación o empalmes entre tuberías.
- Buen aislante térmico. (Hernández)

Desventajas:

- No tiene resistencia ante agentes externos como la radiación o el calor excesivo generando una degradación que aumenta con respecto al tiempo de uso. Asimismo el oxígeno también es un agente que produce envejecimiento en las tuberías de PVC por lo que los fabricantes no recomiendan la instalación de tuberías de PVC expuestas al ambiente libre.
- Al envejecimiento de la tubería de PVC esta sufre agrietamientos provocando goteos o pérdidas de agua a lo largo del tiempo. Asimismo la humedad generada por el agua filtrada es corrosiva y daña las paredes donde son instaladas las tuberías.
- Elevado coeficiente de dilatación térmica (Hernández)⁷.

Diámetros Comerciales PVC:

Figura 8

Diámetros comerciales de PVC para alcantarillado y drenaje

(mm)	Total (m)	Útil(m) aprox	Cmax (m)	e (mm)	Peso (kg/tubo)	e (mm)	Peso (kg/tubo)	e (mm)	Peso (kg/tubo)
110	6.0	5.85	75	--	--	(*)3.2	10.42	(*)3.2	10.42
160	6.0	5.83	90	(*)3.2	15.31	(*)4.0	19.04	(*)4.7	22.27
200	6.0	5.82	100	(*)3.9	23.33	(*)4.9	29.17	(*)5.9	34.94
250	6.0	5.79	115	(*)4.9	36.63	(*)6.2	46.11	(*)7.3	54.04
315	6.0	5.75	135	(*)6.2	58.45	(*)7.7	72.23	(*)9.2	85.88
355	6.0	5.74	150	(*)7.0	74.37	(*)8.7	91.98	(*)10.4	109.41
400	6.0	5.71	155	(*)7.9	94.63	(*)9.8	116.82	(*)11.7	138.79
450	6.0	5.70	170	(*)8.8	118.61	(*)11.0	147.53	(*)13.2	176.15
500	6.0	5.69	190	(*)9.8	146.88	(*)12.3	183.42	(*)14.6	216.69
630	6.0	5.62	220	(*)12.3	232.30	(*)15.4	289.39	(*)18.4	344.08

Nota. Fuente de información: Ficha Técnica PVC Pavco Wavin

Espesor de pared de tubería:

Según la norma ISO 4435-2005 tenemos los siguientes espesores para las tuberías de PVC.

2.2.1.1.1 Método de unión entre tuberías de PVC. La unión entre dos tuberías de PVC se diferencia dependiendo si son desmontables o no desmontables. Los no desmontables se unen por medio de una junta encolada mientras que en las juntas desmontables se unen por medio de bridas o roscas.

Para el uso de unión encolada se recomienda diámetros inferiores a 200 mm (Hernández). En caso de que los extremos de las tuberías sean lisos se requiere un manguito o más corrientemente que uno de los extremos sea tipo copa o abocardado, realizándose de esa manera la unión (enchufe de copa y espiga) introduciéndose el extremo liso en el abocardado del otro tubo (manguito) a empalmar.

La estanqueidad de esta unión se logra aplicando a las juntas tetrahidrofurano (THF) o disolución de PVC. (Hernández).

2.2.1.2 Tubería de polipropileno PPR. Tienen características semejantes a la del PVC pero son algo más ligeros. La gama de presiones es parecida a las PVC y aguantan temperaturas de trabajo de 90°C a 100°C. (Hernández, pág. 91).

2.2.1.2.1 Método de unión entre tuberías de PPR. Las tuberías de PPR son unidad por termofusión con uso de una maquina termo fusionadora lo cual es de alto costo y requiere manejo especializado.

2.2.1.3 Tubería de polietileno de alta densidad HDPE. El polietileno es un material que está hecho a base de monómero del etileno al que se le adicionan algunos materiales antioxidantes. Comparte algunas propiedades con el policloruro de vinilo (PVC).

Existen tres clases de tuberías de polietileno:

- De densidad baja (LDPE): Se obtiene en un proceso de presión alta.
- De densidad alta (HDPE): Se obtiene en un proceso de presión baja.
- De densidad media (MDPE): Se obtiene en un proceso de presión baja.

Asimismo, también se pueden clasificar según su presión interna de trabajo:

- De presión: Resistente a una presión hidráulica interna superior a 100 Kpa
- Sin presión: No están sometidos a carga interna (pág. 108 de libro de tuberías).

Principales aplicaciones:

- Conducción de líquidos alimenticios, sin riesgo de contaminación. (Hernández, pág. 91).
- Evacuaciones de aguas residuales con ácidos orgánicos, inorgánicos, y trazas de disolventes, incluso calientes. (Hernández, pág. 91).
- Transporte de líquidos corrosivos, a temperaturas ambiente y más elevadas. (Hernández, pág. 91)
- Distribución de agua en viviendas y calefacción. (Hernández, pág. 91).

Diámetros Comerciales:

Tabla 2

Diámetros comerciales para tuberías de PPR

DESCRIPCIÓN	
DIAMETRO	LONGITUD
40 mm (1.1/2")	5 metros
50 mm (2")	5 metros
75 mm (3")	5 metros
110 mm (4")	5 metros
125 mm (5")	5 metros
160 mm (6")	5 metros

Nota: Fuente "Ficha técnica proveedor tuberías de PPR"

Espesor de pared de tuberías:

Figura 9

Diámetros y espesores de tuberías de PPR

Equival pulg	Øe (mm)	Øi (mm)	espesor (mm)	Long Total (m)	Long. Util (m)	Peso (kg)
1 1/2	40	36.4	1.8	5	5	0.97
2	50	46.4	1.8	5	5	1.225
3	75	71.2	1.9	5	5	1.865
4	110	104.6	2.7	5	5	4.095
5	125	118.8	3.1	5	5	-
6	160	152.2	3.9	5	5	-

Nota: Fuente "Norma Técnica ISO 7671 DIN 8077"

Figura 10

Diámetro exterior medio para tuberías de PPR

Table 1 — Mean outside diameters
(metric series)

Dimensions in millimetres

Nominal size DN/OD	Nominal outside diameter d_n	Mean outside diameter	
		min. d_{em}	max.
32	32	32,0	32,3
40	40	40,0	40,3
50	50	50,0	50,3
63	63	63,0	63,3
75	75	75,0	75,4
80	80	80,0	80,4
90	90	90,0	90,4
100	100	100,0	100,4
110	110	110,0	110,4
125	125	125,0	125,4
160	160	160,0	160,5
200	200	200,0	200,6

Nota. Fuente de información: Norma Técnica ISO 7671-2003 para tuberías de PPR

2.2.1.3.1 Método de unión entre tuberías de polietileno HDPE. Las tuberías de polietileno HDPE son unidas por medio de adaptadores de polietileno.

2.2.1.4 Tubería de cobre. El cobre es uno de los materiales más resistentes en el mercado de las tuberías. Ampliamente utilizados en hospitales, industrias, estaciones, etc. Actualmente las estaciones de la Línea 2 Metro de Lima han incluido en su expediente técnico tuberías de cobre para las líneas empotradas de agua potable que suministran de líquido elemento a los baños de las estaciones del metro.

El cobre es ampliamente utilizado en hospitales e industrias médicas no solo por su gran resistencia al impacto hidráulico sino también por su efecto oligodinámico, lo cual al ser el cobre un metal pesado inhibe el crecimiento o aparición de bacterias y microorganismos en el agua que transporta por lo que lo convierte en un aliado de la bactericida.

Existen dos tipos de cobre:

Tipo L: Para instalaciones eléctricas

Tipo M: Para instalaciones sanitarias

2.2.1.4.1 Método de unión entre tuberías de cobre. Las tuberías de cobre son unidas mediante soldadura de cobre con uso de una máquina soldadora y una pieza de zinc y/o estaño lo cual al fundirse con la soldadura y estar en contacto con ambas piezas de cobre une mediante temperatura ambos metales.

2.2.2 Ecuaciones en la hidráulica de tuberías

2.2.2.1 Ecuación de Hazen & William. Ecuación explícita empírica para el cálculo de velocidad del flujo en tuberías.

Ecuación 2

Fórmula de Hazen y William

$$h_f = 10.674 \times \frac{Q^{1.852} \times L}{C^{1.852} \times D^{4.871}} \dots (2)$$

2.2.2.2 Ecuación de Darcy-Weisbach. Ecuación matemática aplicada para todo tipo de fluido.

Ecuación 3

Fórmula de Darcy Weisbach

$$h_f = \frac{f \times L \times \left(\frac{Q}{A}\right)}{D \times 2g} \dots (3)$$

2.2.2.3 Ecuación de Manning.

Ecuación 4

Fórmula de Manning

$$S = 10.3 \times n^2 \times \frac{Q^2}{D^{16/3}} \dots (4)$$

2.2.2.4 Ecuación de Nikuradse.

Ecuación 5

Fórmula de Nikuradse

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \times \log \frac{3.71 \times D}{k} \dots (5)$$

2.2.2.5 Ecuación volumétrica del caudal.

Ecuación 6

Fórmula para la determinación de caudal por el método volumétrico

$$Q = \frac{Vol}{t} \dots (6)$$

2.2.2.6 Ecuación general de orificio.

Ecuación 7

Fórmula general para determinar el caudal en un orificio

$$Q = C_d \times A \times \sqrt{2 \times g \times H} \dots (7)$$

2.2.2.7 Fórmula de Bernoulli.

Ecuación 8

Ecuación de Bernoulli

$$P_1 + \rho \times g \times h_1 + \frac{1}{2} \times \rho \times v_1^2 = P_2 + \rho \times g \times h_2 + \frac{1}{2} \times \rho \times v_2^2 \dots (8)$$

2.3 Marco legal

- Según el Decreto Supremo N°2003-2010-MINAM en la cual se aprueban los LMP para los efluentes de PTAR se establece que el LMP para los aceites y grasas es de 20 mg/L.
- Según RNE IS010 inciso 6.1 “Disposiciones generales de desagüe y ventilación” el sistema integral de desagüe deberá ser diseñado tal que las aguas servidas sean

evacuadas rápidamente desde el aparato sanitario, evitando obstrucciones y depósitos de materiales.

- De acuerdo con el RNE IS010 inciso 6.2c “Red de colección” la pendiente de los colectores y de los ramales de desagüe interiores será uniforme y no menor de 1% para diámetros de 4” y mayores.
- De acuerdo con el RNE IS010 inciso 6.2L “Red de colección” Cuando las aguas residuales contengan grasa, aceite, material inflamable, arena, tierra, yeso u otros sólidos o líquidos objetables que pudieran afectar el buen funcionamiento del sistema de evacuación del edificio u otro sistema público, será necesario la instalación de interceptores o separadores u otro sistema de tratamiento.
- De acuerdo con el RNE IS010 inciso 6.2n “Red de colección” Se *instalarán separadores de grasa* en los conductos de desagüe de lavaderos, lavaplatos u otros aparatos sanitarios instalados en restaurantes, cocinas de hoteles, hospitales y similares, donde exista el peligro de introducir en el sistema de desagüe, grasa en cantidad suficiente para afectar el buen funcionamiento de éste.
- Según la NTP ISO 4435-2005 el espesor mínimo de la pared del cuerpo o la espiga de una conexión será el especificado en la tabla 4 de la mencionada norma, permitiéndose solo una reducción del 5%.

Capítulo III Desarrollo del trabajo de investigación

Por recomendación del ingeniero asesor se ha ampliado el panorama de investigación utilizando además de las tuberías de PVC y PPR dos tuberías adicionales que son la tubería de polietileno de alta densidad (HDPE) y la tubería de cobre (CU).

La metodología se dividió en cuatro partes: Visita Técnica, diseño de sistemas, Simulación hidráulico y Análisis de laboratorio.

3.1 Visita Técnica

Se ha solicitado al departamento de Bienestar Universitario siendo el director el economista Santiago Manuel Kerrigan León el permiso para la visita y posterior toma de muestras de grasas al comedor universitario UNI siendo estas muestras de grasa las que serán transportadas por medio de las tuberías en cuestión de estudio en el presente proyecto de investigación.

El día 29 de mayo se ha realizado la primera inspección de aguas residuales grasos en el comedor universitario para la verificación de muestras. La trabajadora encargada de atender la solicitud aprobada y enviada desde Bienestar Universitario UNI fue Alyssa Milagros Soto Calderón.

Las grasas mayoritariamente desechadas del comedor universitario son las del horneado de carnes, que el personal almacena la grasa usada en una olla para luego verterlas a la trampa de grasa ubicada en la parte occidente de las afueras del comedor universitario.

3.2 Selección del ambiente de trabajo

3.2.1 Procedimiento preliminar

Se ha solicitado ambiente a la oficina de infraestructura de la facultad de ingeniería ambiental de la UNI quien ha otorgado el espacio de la azotea para la instalación del sistema de tuberías.

3.2.1.1 Longitud de las tuberías a utilizar en la investigación. Las longitudes de

las tuberías son las siguientes:

Tabla 3

Longitudes de las distintas alternativas de tuberías

Tubería	Longitud	Unidad
PVC	3.00	M
PPR	3.01	M
Polietileno	3.01	M
Cobre	3.01	M

Figura 11

Utilización de guincha para la medición de las longitudes de las tuberías



3.2.1.2 Ecuaciones matemáticas para la simulación hidráulica. Para garantizar

las mismas condiciones de caudal se intentará demostrar matemáticamente con la ecuación de Darcy (ecuación 3) la relación de pendientes que tiene que haber entre las tuberías de PVC, PPR, Cobre y HDPE que garanticen el mismo caudal de operación a condiciones iguales (altura dinámica, sección de tubería, presión barométrica, etc.).

$$h_{f1} = h_{f2} = \frac{f_1 \times L_1 \times \left(\frac{Q}{A}\right)^2}{D \times 2g} = \frac{f_2 \times L_2 \times \left(\frac{Q}{A}\right)^2}{D \times 2g} \dots \text{ecuación (3)}$$

Donde:

Hf: constante

L: Constante

A: constante

g: 9.81 m/s²

Para calcular cada uno de los coeficientes de Darcy se hallará en base a la ecuación experimental de Nikuradse (ecuación 5) la cual está en base al diámetro de la tubería y el coeficiente de rugosidad absoluta.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \times \log \frac{3.71 \times D}{k} \dots (\text{ecuación 5})$$

La determinación de caudal de operación se calculará por el método volumétrico (ecuación 6) midiendo con un temporizador el tiempo que demora llenar los baldes de 20 litros y dividiendo el mismo volumen entre el tiempo medido.

$$Q = \frac{Vol}{t} \dots (\text{ecuación 6})$$

Donde:

t: tiempo en segundos

Vol: Volumen

El caudal en cada uno de los puntos de salida que abastece cada una de las tuberías es calculada mediante la ecuación general de orificio que está determinada por la ecuación número 7

$$Q = C_d \times A \times \sqrt{2 \times g \times H} \dots (\text{ecuación 7})$$

Donde:

C_d: Coeficiente de descarga (0.602)

A: Área de orificio

g: Gravedad

H: Carga en el centro geométrico del orificio

Para nuestro presente proyecto para medir la carga H se ha utilizado la guincha lineal y se ha medido la altura desde el centro geométrico del orificio hasta el nivel superficial del agua. El coeficiente de descarga o de ajuste se ha determinado con la diferencia geométrica del caudal real con el caudal teórico.

Ecuación 9

Determinación del coeficiente de descarga

$$C_d = \frac{Q_{real}}{Q_{teórico}} \dots (8)$$

Para la igualación de energías en la superficie del agua con el punto de salida en el orificio se realizará mediante la ecuación de Bernoulli determinado por la ecuación 8.

$$P_1 + \rho \times g \times h_1 + \frac{1}{2} \times \rho \times v_1^2 = P_2 + \rho \times g \times h_2 + \frac{1}{2} \times \rho \times v_2^2 \dots (ecuación 8)$$

3.3 Diseño del sistema de tuberías

Originalmente se ha pensado estudiar en el presente proyecto la relación entre las tuberías de PVC y PPR, sin embargo debido a las propiedades rugosas similares entre estas dos alternativas se ha propuesto con el docente asesor ampliar la investigación de dos a cuatro alternativas de tuberías con diferentes materiales entre sí: "Policloruro de vinilo (PVC), Polipropileno (PPR), Polietileno de alta densidad (HDPE) y Cobre (Cu), las cuales son utilizados como tuberías de drenaje en los diferentes establecimientos de nuestro país como hospitales, industrias, etc.

Asimismo, las fichas técnicas de cada una de las tuberías se encuentran en los anexos correspondientes. (Ver Anexos)

Los diámetros de las tuberías fueron sacadas de las fichas técnicas y comparadas en campo con un vernier digital.

Tabla 4

Cuadro comparativo entre diámetros de tuberías

	De (Ficha T.)	e (Ficha T.)	De* (Medición)	e* (Medición)	Di (De-2e)
PVC	60.00	1.80	59.89	1.60	56.40
PPR	63.00	-	63.92	7.46	42.00
HDPE	63.00	-	62.21	5.60	51.80
COBRE	53.97	-	53.97	2.39	49.19

Nota. Las fichas técnicas fueron obtenidas de los proveedores

Donde:

De, Di: Diámetro externo en mm

E: espesor en mm

*: Medición en campo con uso de vernier digital

La caja de almacenamiento será una batea azul que a su vez simulará como fuente de inicial de flujo será de material de plástico de aproximadamente 110 litros de capacidad.

Con un taladro se ha realizado a la batea cuatro salidas de 2" cada uno al mismo nivel horizontal una de otra por lo donde se introducirán las tuberías que nos servirán de estudio en el presente proyecto.

Figura 12

Utilización de taladro para las salidas de 2" a la batea



Para el sellado hidráulico se ha usado cuatro bridas de plástico color negro con empaquetadura que servirá de sello al momento de hacer pasar el fluido por cada una de las tuberías. Asimismo, debido a la concavidad de las paredes de la batea se ha utilizado formador de empaquetadura para tapar todos los agujeros que se tienen entre la pared cóncava de la batea y la superficie plana del empaque de plástico.

Figura 13

Batea azul de capacidad aproximada de 110 litros



Figura 14

Formador de empaquetadura alrededor de las bridas



Figura 15

Formador de empaquetadura



Inmediatamente después de las bridas de plástico se han instalado accesorios de PVC como campanas y uniones de PVC que será instalado a lado de una unión universal para la desinstalación de las válvulas en caso se requiera algún cambio o mantenimiento. La unión universal es de tipo rosca hembra y fue instalado entre dos uniones rosca macho para luego instalar válvulas de PVC que servirán para la regulación de caudal a lo largo de las tuberías. En la instalación de cada material de PVC tipo rosca se ha utilizado cinta teflón de fontanería para evitar la filtración de agua.

Figura 16

Cinta teflón en niple tipo rosca macho



Entre las válvulas de PVC y las tuberías de cada material, a diferencia de la de PVC, se han instalado adaptadores.

- En el caso de la tubería de polietileno y polipropileno se han utilizado adaptadores de polietileno para conectar las tuberías de PPR y PE a la válvula de PVC
- En el caso de la tubería de cobre se ha instalado un adaptador de cobre para conectar la tubería de cobre a la válvula de PVC

La instalación de la tubería de cobre al adaptador se realizó mediante soldadura usando soplete con chispero como fuente de calor así como pasta y alambre de estaño.

Para una soldadura efectiva se ha contratado el servicio de un técnico soldador competente Rolando Campomanes Ponte identificado con DNI 25773230. El SCTR del soldador se encuentran anexadas en los anexos.

Figura 17

Soldadura de tubería de cobre a adaptador de cobre



Figura 18

Tuberías instaladas a las válvulas de PVC por medio de adaptadores



Un factor desfavorable en nuestra investigación ha sido el aumento de temperatura en horas de la tarde dado que al estar en un país tropical con capital desértico el calor del medio día aumenta la temperatura media de las tuberías pudiendo afectar los resultados que se desea obtener. Para solucionar tal problema se han tapado las tuberías con un material plastificante y encima de ella láminas de Tecnopor en las partes en que las tuberías están más expuestas al sol.

Figura 19

Uso de material termoaislante (Tecnopor)



Con fines de limpieza de la batea se ha instalado un grifo de ½” a la pared adyacente a la que tiene las salidas de agua para que sirva como válvula de purga y limpieza.

Figura 20

Válvula de purga para uso de limpieza en la batea



3.4 Simulación hidráulica

3.4.1 Verificación de caudales

Para la verificación de condiciones homogéneas en todas las tuberías se ha realizado una corroboración de caudales con uso de agua limpia recolectada de los baños de la FIA UNI.

Primeramente, se ha jugado con los niveles de altura en las que estará apoyado cada material de tubería de tal manera los caudales o volúmenes recolectado por unidad de tiempo sean lo más semejante entre los cuatro tipos de tuberías para garantizar las mismas condiciones en todo el sistema.

La verificación hidráulica se subdividió en dos etapas, uno con caudal variable y otro con caudal constante.

3.4.1.1 Nivelación de tuberías. Para verificar que todas las tuberías tengan la misma caída de presión al momento de abrir las válvulas se ha procedido a hacer un primer análisis con caudal variable. Se ha llenado la batea azul con 110 litros de agua (completamente llena) para luego abrir la válvula de cobre durante 1 segundo y medir el volumen de agua recolectado al final de la tubería. El agua es recolectada en una segunda batea color rojo de 110 litros de capacidad para luego medir el volumen con baldes de 10 y 20 litros. El mismo procedimiento se ha repetido para las tuberías de HDPE, PVC y PPR en diferentes intervalos de tiempo. La primera hipótesis de este procedimiento era demostrar que cada una de las tuberías al tener el mismo nivel de inicio de tubería (1.15 m), el mismo diámetro, misma pendiente y nivel inicial de agua debería tener la misma caída de presión y por ende la misma variación de caudal. El agua ha sido obtenida de los baños de la FIA-UNI y el tiempo ha sido medido con un temporizador en segundos con un celular.

Los resultados de los primeros análisis que se ha obtenido fueron que los volúmenes de agua recolectados en cada tubería eran muy variados una de otra en el mismo intervalo de tiempo, aun manteniendo el mismo caudal asegurando el mismo nivel

de agua en la batea principal; por lo que para garantizar las mismas condiciones hidráulicas se ha procedido a jugar con las pendientes de las tuberías hasta tener la misma velocidad de flujo en todas las tuberías.

Se ha realizado unos cuatro ensayos para cada tubería en un tiempo determinado, de los cuales se ha tomado para cada tiempo la media o el común representativo de los cuatro ensayos.

Una vez obtenida el mismo volumen recolectado por unidad de tiempo para cada material de tubería se ha medido la altura de nivel con la ayuda de una guincha. Los distintos puntos de nivelación para cada una de las tuberías son las siguientes:

Figura 21

Alturas de los tres puntos de apoyo de las tuberías



Y1: Altura desde el suelo hasta el punto de salida de tubería

Y2: Altura desde el suelo hasta primer punto de apoyo de la tubería (1°baranda metálica)

Y3: Altura desde el suelo hasta segundo punto de apoyo de la tubería (2°baranda metálica).

Tabla 5*Niveles de altura en los tres puntos de apoyo de las tuberías*

	Y1	Y2	Y3
Cobre (Cu)	1.15	1.13	1.12
Polietileno de alta densidad (HDPE)	1.15	1.12	1.08
ta	1.15	1.04	1.04
Policloruro de vinilo (PVC)	1.15	1.06	1.06

Nota. Las longitudes de los niveles están en unidades de metros lineales

La altura Y0 se encuentra en el punto de salida de agua, la altura Y1 (primer punto de apoyo) se encuentra a 1.0 metro del punto de salida inicial.

3.4.1.2 Volumen de agua recolectada con un caudal variable. Para este análisis se ha calculado el volumen recolectado por cada material de tubería en distintos intervalos de tiempo desde t=1 hasta t=7 segundos con la finalidad de verificar que el volumen recolectado en cada segundo tiene un valor cercano uno del otro.

Tabla 6*Volumen de agua recolectado considerando el nivel de agua variable*

	Cobre	HDPE	PPR	PVC
T=1	5.60	5.90	5.50	5.20
T=2	8.00	8.10	7.50	7.50
T=3	10.50	10.00	10.50	10.60
T=4	13.90	13.00	13.00	13.00
T=5	14.90	15.10	15.00	15.00
T=6	18.50	17.60	16.60	17.80
T=7	20.80	20.00	20.10	20.00

Nota. Las unidades de t están en segundos y los valores de volumen en litros

3.4.1.3 Volumen de agua recolectada con un caudal constante. Para este procedimiento se ha requerido la ayuda de un auxiliar que en este caso fue un alumno de tercer ciclo llamado Isaac. Para mantener el caudal constante se ha buscado mantener el nivel de agua constante para cada prueba hidráulica. El nivel de agua constante fue el nivel de rebose de la batea azul lo cual mientras cada válvula sea abierta el auxiliar deberá mantener la batea totalmente llena manteniendo el mismo nivel de agua todo el tiempo en que cada válvula permanezca abierta mientras se mide el volumen recolectado por cada intervalo de tiempo.

Los resultados de esta comparativa son los siguientes:

Tabla 7

Volumen de agua recolectada manteniendo un nivel constante de agua

	Cobre	HDPE	PPR	PVC
T=1	4.20	3.00	3.90	4.00
T=2	7.50	6.20	7.80	6.80
T=3	10.00	9.10	9.80	9.00
T=4	12.10	13.00	12.10	12.00

Nota. Las unidades de t están en segundos y los valores de volumen en litros

El caudal por cada tipo de material está definido por unidad de volumen sobre unidad de tiempo y para el presente proyecto se ha calculado el caudal en cada material de tubería a un nivel de agua constante y es la que se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 8

Caudal en cada intervalo a un nivel de agua constante en la fuente principal

	Cobre	HDPE	PPR	PVC
T=1	4.20	3.00	3.90	3.40
T=2	3.75	3.10	3.40	3.00
T=3	3.33	3.03	3.26	3.00
T=4	3.02	3.25	3.02	3.00

Nota. Las unidades de "t" están en segundos y los valores de caudal en lps.

A su vez es notorio que hay un margen de error en cada uno de los caudales calculados y esto debido al factor humano en cuanto al vertimiento de agua en la batea

azul, la acción abrir/cerrar válvula y la cronometría del tiempo, sin embargo el caudal resultado común tiende a un valor constante de 3.00 lps.

3.5 Verificación matemática

3.5.1 Pendientes reales

Las pendientes reales fueron medidas dividiendo la diferencia de las alturas desde el punto inicial al punto final entre la longitud total de cada una de las tuberías que es de 3.00 metros.

Tabla 9

Relación de pendientes reales calculados en el sistema de tuberías

Material	Y1	Y3	Y1-Y3	L	S
PVC	1.15	1.06	0.09	3	0.030
PPR	1.15	1.04	0.11	3	0.036
HDPE	1.15	1.08	0.07	3	0.024
Cobre	1.15	1.12	0.03	3	0.010

3.6 Vertimiento a punto de acopio

3.6.1 Excedente de agua

Luego de las pruebas hidráulicas el agua es vertida a un punto de salida de ventilación de 2" como alternativa para la evacuación dado que las salidas de ventilación de la azotea están conectadas con las líneas de desagüe de los baños

3.6.2 Grasa y aceite

Las grasas residuales posterior a las simulaciones en cada una de las tuberías han sido vertidas en la trampa de grasa del comedor universitario UNI que luego posterior a su tratamiento pasaran a ser expulsadas por el colector de desagüe principal del comedor y las grasas extraídas por medio de una bomba sumergible que es utilizada por la unidad ejecutora de limpieza del comedor.

3.7 Análisis de laboratorio

Las muestras de grasas fueron una recolección de distintas fuentes a lo largo de todo el muestreo y procedimiento de la tesis de investigación.

3.7.1 Fuente de obtención de los aceites y grasas para la investigación

La fuente de aceites y grasas por donde se adquirió para la muestra matriz (batea azul) se obtuvieron de varios puntos de acogida los cuales se muestra a continuación. Asimismo, se complementó con un poco de agua para simular una agua residual graso (agua+ aceite/grasa)

- Comedor universitario UNI (14 litros)
- Comedor SUTUNI (5 litros)
- Iglesia Bautista Misión Palabra de Vida (4 litros)
- Restaurante D"Ruth (22 litros)
- Agua (32 litros)

El agua residual del comedor universitario fue en esencia el aceite obtenido de los cárnicos en la etapa de horneado, mientras que los aceites de los demás ambientes fueron en esencia aceite cocinado de frituras. El agua de grifo adicional fue de importancia para simular un lavado natural de aceite además para obtener un volumen que sea suficiente para hacerlas recorrer por las 04 tuberías.

Figura 22

Muestra de agua residual del comedor universitario UNI



3.7.2 Metodologías de laboratorio

Para el laboratorio se trabajó en base a la metodología 5520B para el análisis de aceites y grasas en una muestra, la cual es una metodología aprobada y certificada por INACAL.

Figura 23

Métodos de laboratorio para análisis de agua

PARÁMETRO	MÉTODO	TÍTULO
Aceites y grasas	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5520 B, 23 rd Ed. 2017	Oil and Grease. Liquid-Liquid, Partition – Gravimetric Method
Coliformes Termotolerantes	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 F.2, 23 rd Ed. 2017	Multiple – Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Escherichia coli Procedure Using Fluorogenic Substrate. Simultaneous Determination of Termotolerant Coliforms and E. coli.
DBO₅	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23 rd Ed. 2017	Biochemical Oxygen Demand (BOD), 5 – Day BOD Test
DQO	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23rd Ed. 2017	Chemical Oxygen Demand, Closed Reflux, Colorimetric Method
Sólidos suspendidos totales	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 23 rd Ed. 2017	Solids. Total Suspended Solids Dried at 103 – 105 °C

Nota: Tomada de Analytical Laboratoty (44)

Nota: Fuente Repositorio de la Universidad Continental “Diseño experimental del tratamiento secundario con tecnología MBBR para aguas residuales provenientes del camal municipal de Cotahuasi-La Unión-Arequipa 2022”

La metodología 5520B se muestra a continuación:

- Marcar en el frasco con un plumón o corrector el menisco de agua o pesar el frasco para determinar posteriormente el volumen de la muestra. (Concentración= masa/Volumen de muestra)

- Si la muestra no se acidificó previamente acidificar con HCl o H₂SO₄ 1:1 hasta llegar a un pH igual o inferior a 2.0 (5 ml de ácido es suficiente para 1.0 litro de muestra).
- Transferir las muestras a un embudo de separación (pera de decantación)
- Enjuagar con cuidado el frasco de muestra con 30 ml de disolvente de extracción (solvente hexano) y agregar los lavados de disolventes al embudo de separación.
- Agitar vigorosamente durante 2 minutos.
- Esperar a que las capas se separen (líquido agua- líquido grasa más disolvente).
- Drenar cuidadosamente la capa acuosa y una pequeña cantidad de la capa orgánica en el recipiente de muestra original.
- Drenar la capa de disolvente a través de un embudo que contenga un papel filtro y 10 gr de Na₂SO₄, ambos enjuagados con disolvente, en un matraz de destilación limpio y tarado.
- En caso de tener una emulsión drenar la emulsión y la capa de disolvente en un tubo centrifuga de vidrio y centrifugar durante 5 minutos aproximadamente a 2400 rpm.
- Transferir el material centrifugado a un embudo de separación apropiado y drenar la capa disolvente a través de un embudo con un papel filtro y 10 gr de Na₂SO₄ ambos pre enjuagados en un matraz de destilación limpio.
- Extraer dos veces más con 30 ml de disolvente cada vez enjuagando preliminarmente el recipiente de muestra con cada porción de disolvente.
- Destilar el solvente matraz en un baño de agua a 85°C. Para recuperar el solvente colocar el matraz de destilación.
- Cuando se detenga la condensación del solvente conectar el matraz a una fuente de vacío y aspirar el aire que pueda haber dentro del matraz.
- Retirar el matraz del baño y limpiar para retirar la humedad.
- Enfriar en un desecador hasta tener un peso constante.
- Para determinar el volumen inicial de la muestra llene la botella de muestra hasta la marca con agua y luego vierta agua en un cilindro graduado de 1.0 litro.

- La concentración de aceites y grasas es la diferencia geométrica entre el peso del aceite y el volumen de la muestra.

Figura 24

Extracto original en inglés del procedimiento de extracción de AG

5520 OIL AND GREASE - B. Liquid-Liquid, Partition-Gravimetric Method

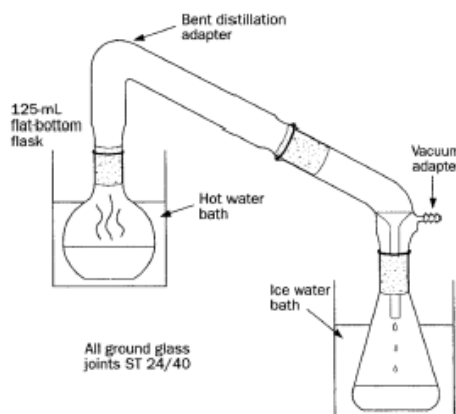


Figure 5520:1. Distillate recovery apparatus.

i. Distilling adapter with drip tip. Setup of distillate recovery apparatus is shown in Figure 5520:1. Alternatively, use commercially available solvent recovery equipment.

j. Ice bath.

k. Waste receptacle, for used solvent.

l. Desiccator.

3. Reagents

a. Hydrochloric or sulfuric acid, 1:1: Mix equal volumes of either acid and reagent water.

b. n-Hexane, 85% minimum purity, 99% minimum saturated C₆ isomers, residue less than 1 mg/L; distill if necessary. Do not use any plastic tubing to transfer solvent between containers.

c. Sodium sulfate (Na₂SO₄), anhydrous crystal. Dry at 200–250 °C for 24 h.

d. Acetone, residue less than 1 mg/L.

e. Hexadecane, 98% minimum purity.

f. Stearic acid, 98% minimum purity.

g. Standard mixture, hexadecane-stearic acid 1:1 w/w, in acetone at 2 mg/mL each. Purchase prepared standard mixture, or prepare as follows.¹

1) Place 200 ± 2 mg stearic acid and 200 ± 2 mg hexadecane in a 100-mL volumetric flask and fill to mark with acetone. Note: The solution may require warming for complete dissolution of stearic acid.

2) After the hexadecane and stearic acid have dissolved, transfer solution to a 100- to 150-mL vial with a PTFE-lined cap. Mark the solution level on the vial and store in a dark at room temperature.

3) Immediately before use, verify the level on the vial and bring to volume with acetone, if required. Warm to redissolve all visible precipitate. Note: If there is doubt of the concentration, remove 10.0 ± 0.1 mL with a volumetric pipet, place in a tared weighing pan, and evaporate to dryness in a fume hood. The weight must be 40 ± 1 mg. If not, prepare a fresh solution.

4. Procedure

When a sample is brought into the laboratory, either mark the sample bottle at the water meniscus or weigh the bottle, for later determination of sample volume. If the sample has not been acidified previously (see 5520 A.3), acidify with either 1:1 HCl or 1:1 H₂SO₄ to pH 2 or lower (generally, 5 mL is sufficient for 1 L sample). Using a liquid funnel, transfer the sample to a separatory funnel. Carefully rinse the sample bottle with 30 mL extracting solvent and add solvent washings to the separatory funnel. Shake vigorously for 2 min. Let layers separate. Drain the aqueous layer and a small amount of organic layer into original sample container. Drain the solvent layer through a funnel containing a filter paper and 10 g Na₂SO₄, both of which have been solvent-rinsed, into a clean, tared distilling flask containing boiling chips. If a clear solvent layer cannot be obtained and an emulsion of more than about 5 mL exists, drain the emulsion and solvent layers into a glass centrifuge tube and centrifuge for 5 min at approximately 2400 rpm. Transfer the centrifuged material to an appropriate separatory funnel and drain the solvent layer through a funnel with a filter paper and 10 g Na₂SO₄, both of which have been prerinsed, into a clean, tared distilling flask. Recombine aqueous layers and any remaining emulsion or solids in the separatory funnel. For samples with <5 mL of emulsion, drain only the clear solvent through a funnel with premoistened filter paper and 10 g Na₂SO₄. Recombine the aqueous layers and any remaining emulsion or solids in the separatory funnel. Extract twice more with 30 mL solvent each time, but first rinse the sample container with each solvent portion. Repeat the centrifugation step if emulsion persists in subsequent extraction steps. Combine the extracts in a tared distilling flask, and include in this flask a final rinsing of the filter and Na₂SO₄ with an additional 10 to 20 mL solvent. Distill the solvent from the flask in a water bath at 85 °C. To maximize solvent recovery, fit the distillation flask with a distillation adapter equipped with a drip tip and collect the solvent in an ice-bath-cooled receiver (Figure 5520:1). When visible solvent condensation stops, replace the bent distillation apparatus with vacuum-air adapter connected to a vacuum source. Immediately draw air through the flask with an applied vacuum for the final 1 min. Remove the flask from the bath and wipe the outside surface to remove moisture. Cool in a desiccator until a constant weight is obtained. To determine initial sample volume, either fill the sample bottle to mark with water and then pour water into a 1-L graduated cylinder, or weigh the empty container and cap and calculate the sample volume by difference from the initial weight (assuming a sample density of 1.00).

5. Calculation

Calculate oil and grease in the sample as follows:

$$\text{oil and grease mg/L} = \frac{W_f}{V_s}$$

where:

W_f = total weight of flask and residue, minus tare weight of flask (mg) and

V_s = initial sample volume (L).

<https://doi.org/10.2105/SMWW.2882.107>

3.7.2.1 Ajustes en la metodología para la presente tesis de investigación. El análisis de laboratorio se ha realizado en el laboratorio N°21 de la facultad de ingeniería química y textil. La razón de la selección de tal laboratorio es debido al espacio, materiales de laboratorio y mayor acceso a insumos fiscalizados.

En un inicio se propuso aplicar la metodología 5520B al pie de la letra, sin embargo debido a unos inconvenientes con los aceites de la fuente matriz y a las limitaciones de algunos insumos de laboratorio que son fiscalizados se ha realizado algunos ajustes a la metodología con el fin de determinar la concentración de aceites y grasas a las muestras cuidando asimismo de no cambiar los procesos ni las finalidades de cada uno de ellos.

- Al tomar las muestras en campo lo acidificamos con 5 ml de H₂SO₄.
- Llevamos las muestras a laboratorio.
- Pipeteamos 10 ml de aceite de la parte superficial de la muestra.
- Agregamos los 10 ml de aceite a un frasco con 600 ml de agua.
- Llevamos el agua con aceite a un embudo de separación y lavamos con el frasco con 10 ml de solvente hexano. (Al ser el hexano un insumo fiscalizado no fue posible utilizar 30 ml de solvente por extracción como lo detalla la metodología 5520B)
- Agitamos el embudo de separación por un periodo de 2 a 3 minutos.
- Esperamos a la división de fases.
- Drenamos la fase acuosa con cuidado hasta quedarnos solo con la fase orgánica.
- Drenamos la fase orgánica a un Erlenmeyer limpio, seco y tarado.
- Debido a la ausencia del sulfato de sodio se decidió reemplazar este paso de deshidratación sustituyéndolo con una calefacción en estufa a 103°C (La evaporación del agua se da a los 100°C)
- Repetimos el proceso con dos extracciones más lavando siempre con solvente el frasco de muestra.

- Una vez terminada las tres extracciones llevamos nuevamente la muestra al embudo de separación y esperamos un día para asegurarnos que no haya fase orgánica que no se haya drenado.
- Una vez nos hayamos asegurado haber extraído toda la fase orgánica llevamos el Erlenmeyer a baño María a una temperatura de 85°C a 90°C.
- Debido a las limitaciones con el sistema de destilación y la bomba al vacío no se pudo recuperar el solvente ni succionar el aire dentro del Erlenmeyer antes de pesarlo sin embargo no fue menester su aplicación para el procedimiento dado que es ínfimo el margen de error
- Una vez que haya evaporado todo el solvente hexano sacamos el Erlenmeyer de baño maría y lo limpiamos con trapo o papel higiénico para eliminar la humedad.
- Llevamos el Erlenmeyer a estufa y lo calentamos a 103°C durante un buen tiempo (7 horas aproximadamente).
- Pesamos el Erlenmeyer y restamos el valor con el peso inicial teniendo así el peso de aceites y grasas.
- Para determinar la concentración dividimos el peso de aceites y grasas entre el volumen de 10 ml inicialmente pipeteado.

3.7.2.2 Metodología para la toma de muestras. Para la toma de muestras se realiza la misma metodología recomendado por INACAL para el muestreo de agua. Con dos frascos de vidrio color ámbar de boca ancha se toman dos muestras de forma horizontal a mitad de boca. La muestra representativa es de 1 litro por muestra. Una vez tomada la muestra se ha preservado la misma con 5 ml de ácido sulfúrico para mantener el $\text{pH} \leq 2.0$ hasta la llegada de las muestras a laboratorio. Es menester que las muestras sean tomadas simultáneamente para mantener la homogeneidad en cada una de las muestras.

Figura 25

Doble muestreo de ARG en simultáneo



Figura 26

Insumos preservantes para la conservación de muestra

PARÁMETROS	TIPO DE RECIPIENTE	CONDICIONES DE PRESERVACIÓN Y ALMACENAMIENTO	TIEMPO MÁXIMO DE ALMACENAMIENTO
Aceites y grasas	Vidrio ámbar	Adición de preservante H ₂ SO ₄	1 mes
Coliformes termotolerantes	Plástico	Dejar un espacio de aire a 1/3 del frasco	24 horas
DBO ₅	Plástico	Llenado de recipiente total sin burbujas	24 horas
DQO	Plástico	Adición de preservante H ₂ SO ₄	6 meses
Sólidos suspendidos totales	Plástico o vidrio	Utilizar ice pack (5°C ± 3°C)	2 días
Ph		Análisis realizado <i>in situ</i>	
Temperatura		Análisis realizado <i>in situ</i>	

Nota. Fuente: Información obtenida del repositorio de la Universidad Continental “Diseño experimental del tratamiento secundario con tecnología MBBR para aguas residuales provenientes del camal municipal de Cotahuasi-La Unión-Arequipa 2022”

3.8 Simulaciones de flujo de agua residual graso a lo largo de las tuberías

Debido a la posibilidad de poca variación de aceites y grasas que puede haber entre el afluente y efluente de la tubería en una sola simulación, se ha proyectado hacer una recirculación de 40 veces de agua residual graso por cada alternativa de tuberías. Se inició la simulación con la tubería de polietileno de alta densidad HDPE.

Figura 27

Temperatura tomada con termómetro electrónico al agua residual



Figura 28

Simulaciones en la tubería de polietileno HDPE



3.8.1 Temperatura del agua residual graso a lo largo de las simulaciones

Las temperaturas fueron medidas con un termómetro digital con unidades en grados Celsius y grados Fahrenheit. Las mediciones se realizaron durante las muestras recolectadas en las simulaciones de la tubería de HDPE y antes de cada simulación (afluente) en las tuberías de cobre, PVC y PPR para conocer la temperatura del agua residual graso que fluye a través de las tuberías.

Los datos se muestran en las siguientes tablas.

3.8.1.1 Tubería de polietileno de alta densidad HDPE. Para la tubería de HDPE solo se tomaron las temperaturas del agua residual graso en las simulaciones en que se tomaron las muestras del efluente luego de la simulación para llevarlos a laboratorio para el análisis de aceites y grasas.

Tabla 10

Temperaturas del agua residual graso en la tubería de HDPE

Simulación	T (°C)	T (°F)
S00	18.3	64.9
S40	17.8	64.0

S60	18.6	65.5
S72	19.0	66.2
S100	18.3	64.9

La temperatura promedio durante las simulaciones agua residual graso en la tubería de PVC fue de 18.4°C equivalente a 65.1°F.

3.8.1.2 Tubería de cobre. Para la tubería de cobre se procedió a realizar las mediciones de temperatura por cada simulación a partir de la simulación N°32 para así tener una mayor precisión de las temperaturas con las que fluye el agua residual graso a través de las tuberías.

Tabla 11

Temperatura del agua residual graso en la tubería de cobre

Simulación	T (°C)	T (°F)	Simulación	T (°C)	T (°F)	Simulación	T (°C)	T (°F)
S01	22.2	72.0	S34	25.0	77.0	S67	22.2	72.0
S02	-	-	S35	25.0	77.0	S68	30.0	86.0
S03	-	-	S36	25.0	77.0	S69	27.2	81
S04	-	-	S37	24.8	76.6	S70	26.7	80.1
S05	-	-	S38	25.0	77.0	S71	25.1	77.2
S06	-	-	S39	25.2	77.4	S72	24.1	75.4
S07	-	-	S40	24.7	76.5	S73	23.3	73.9
S08	-	-	S41	23.9	75.0	S74	22.6	72.7
S09	-	-	S42	22.9	73.2	S75	21.2	70.2
S10	-	-	S43	22.4	72.3	S76	24.3	75.7
S11	-	-	S44	21.8	71.2	S77	25.3	77.5
S12	-	-	S45	21.3	70.3	S78	26.2	79.2
S13	-	-	S46	20.8	69.4	S79	26.8	80.2
S14	-	-	S47	20.3	68.5	S80	27.4	81.3
S15	-	-	S48	19.6	67.3	S81	27.9	82.2
S16	-	-	S49	19.3	66.7	S82	28.2	82.8
S17	-	-	S50	25.7	78.3	S83	29.0	84.2
S18	-	-	S51	22.8	73.0	S84	31.6	88.9
S19	-	-	S52	21.9	71.4	S85	30.6	87.1
S20	22.2	72.0	S53	20.8	69.4	S86	28.6	83.5
S21	-	-	S54	20.1	68.2	S87	27.5	81.5
S22	-	-	S55	19.6	67.3	S88	26.5	79.1
S23	-	-	S56	19.1	66.4	S89	25.8	78.4
S24	-	-	S57	24.9	76.8	S90	24.9	76.8
S25	-	-	S58	23.3	73.9	S91	24.3	75.7

S26	-	-	S59	22.3	72.1	S92	23.6	74.5
S27	-	-	S60	21.7	71.1	S93	23.0	73.4
S28	-	-	S61	21.1	71.1	S94	22.3	72.1
S29	-	-	S62	20.6	69.1	S95	22.1	71.1
S30	-	-	S63	19.9	67.8	S96	21.1	70.0
S31	-	-	S64	26.7	80.1	S97	20.6	69.1
S32	24.8	76.6	S65	23.5	74.3	S98	20.1	68.2
S33	25.1	77.2	S66	22.8	73.0	S99	19.6	67.3

La temperatura promedio durante las simulaciones agua residual graso en la tubería de cobre fue de 23.83°C equivalente a 74.88°F.

3.8.1.3 Tubería de PVC.

Tabla 12

Temperatura del agua residual graso en la tubería de PVC

Simulación	T (°C)	T (°F)	Simulación	T (°C)	T (°F)	Simulación	T (°C)	T (°F)
S01	25.0	77.0	S34	23.2	73.8	S67	20.9	69.6
S02	22.9	76.3	S35	23.6	74.5	S68	20.6	69.1
S03	22.9	73.2	S36	24.0	75.2	S69	22.1	71.8
S04	22.1	71.8	S37	24.2	75.6	S70	21.5	70.7
S05	21.6	70.9	S38	24.4	75.9	S71	20.9	69.6
S06	21.0	69.8	S39	24.9	76.8	S72	20.6	69.1
S07	20.7	69.3	S40	24.8	76.6	S73	20.1	68.2
S08	20.2	68.4	S41	23.8	74.8	S74	19.9	67.8
S09	19.9	67.8	S42	23.3	73.9	S75	19.6	67.3
S10	19.6	67.3	S43	22.9	73.2	S76	19.2	66.6
S11	28.3	82.9	S44	22.4	72.3	S77	19.1	66.4
S12	26.6	79.9	S45	22.1	71.8	S78	18.8	65.8
S13	25.4	77.7	S46	21.6	70.9	S79	28.1	82.6
S14	24.3	75.7	S47	21.2	70.2	S80	26.4	79.5
S15	23.3	73.9	S48	20.9	69.6	S81	25.6	78.1
S16	22.6	72.7	S49	26.2	79.2	S82	24.8	76.6
S17	22.2	72.0	S50	24.7	76.5	S83	23.8	74.8
S18	21.6	70.9	S51	24.2	75.6	S84	23.1	73.6
S19	21.2	70.2	S52	23.2	73.2	S85	22.0	71.6
S20	27.1	80.8	S53	22.8	73.0	S86	21.6	70.9
S21	30.2	86.4	S54	22.1	71.8	S87	29.9	85.8
S22	28.7	83.7	S55	21.2	70.2	S88	30.6	87.1
S23	27.5	81.5	S56	20.8	69.4	S89	31.1	88.0
S24	26.5	79.7	S57	20.4	68.7	S90	31.2	88.2
S25	25.9	78.6	S58	28.8	82.9	S91	31.2	88.2

S26	29.0	84.2	S59	27.4	81.3	S92	31.2	88.2
S27	27.9	82.2	S60	26.2	79.2	S93	31.6	88.9
S28	26.8	80.2	S61	25.1	77.2	S94	31.6	88.9
S29	26.0	78.8	S62	24.3	75.7	S95	31.6	88.9
S30	25.2	77.4	S63	23.2	73.8	S96	32.9	92.2
S31	24.2	75.6	S64	22.5	72.5	S97	32.6	90.7
S32	23.8	74.8	S65	21.8	71.2	S98	31.8	89.2
S33	23.0	73.4	S66	21.3	70.3	S99	31.0	87.8

La temperatura promedio durante las simulaciones agua residual graso en la tubería de PVC fue de 24.5°C equivalente a 76.10°F.

3.8.1.4 Tubería de PPR.

Tabla 13

Temperatura del agua residual graso en la tubería de PPR

Simulación	T (°C)	T (°F)	Simulación	T (°C)	T (°F)	Simulación	T (°C)	T (°F)
S01	29.1	84.4	S34	22.3	72.1	S67	26.0	78.8
S02	29.2	84.6	S35	22.2	72.0	S68	25.8	78.4
S03	28.7	83.7	S36	22.1	71.8	S69	25.3	77.5
S04	26.4	79.5	S37	21.9	71.4	S70	25.0	77.0
S05	26.4	79.5	S38	21.7	71.1	S71	24.8	76.6
S06	25.9	78.6	S39	21.4	70.5	S72	26.9	80.4
S07	25.6	78.1	S40	21.0	69.8	S73	27.8	82.0
S08	24.8	76.6	S41	28.1	82.6	S74	28.9	84.0
S09	24.2	75.6	S42	29.6	85.3	S75	29.9	85.8
S10	24.1	75.4	S43	30.3	86.5	S76	30.4	86.7
S11	23.8	74.8	S44	32.9	91.2	S77	31.6	88.9
S12	23.6	74.5	S45	33.0	91.4	S78	32.1	89.8
S13	23.5	74.3	S46	32.9	91.2	S79	32.6	90.7
S14	23.2	73.8	S47	32.9	91.2	S80	33.1	91.6
S15	23.1	73.6	S48	32.8	91.0	S81	34.7	94.5
S16	23.1	73.6	S49	32.7	90.9	S82	34.9	94.8
S17	22.9	73.2	S50	32.5	90.5	S83	34.9	94.8
S18	22.0	71.6	S51	32.4	90.3	S84	34.6	94.3
S19	22.2	72.0	S52	32.9	91.2	S85	34.6	94.3
S20	24.1	75.4	S53	33.1	91.6	S86	34.3	93.7
S21	25.6	78.1	S54	32.8	91.0	S87	34.1	93.4
S22	25.8	78.4	S55	32.7	90.9	S88	34.0	93.2
S23	26.2	79.2	S56	32.9	91.2	S89	33.8	92.8
S24	26.3	79.3	S57	31.6	88.9	S90	32.2	91.8
S25	26.3	79.3	S58	30.8	87.4	S91	32.1	91.6

S26	26.0	78.8	S59	30.7	87.3	S92	32.8	91.0
S27	25.9	78.6	S60	30.7	87.3	S93	25.0	77.0
S28	24.5	76.1	S61	30.0	86.0	S94	24.0	75.2
S29	23.8	74.8	S62	28.5	83.3	S95	23.1	73.6
S30	23.4	74.1	S63	27.9	82.2	S96	22.6	72.7
S31	23.0	73.4	S64	27.4	81.3	S97	22.2	72.0
S32	22.6	72.7	S65	26.9	80.4	S98	21.9	71.4
S33	22.4	72.3	S66	26.4	79.5	S99	21.6	70.9
						S100	21.3	70.3

La temperatura promedio durante las simulaciones agua residual graso en la tubería de PVC fue de 27.65°C equivalente a 81.80°F.

Las distintas temperaturas promedias del agua residual graso obtenidas se puede explicar con respecto a las estaciones del año en que fueron realizadas las simulaciones. Las pruebas de simulación en las tuberías de HDPE y cobre se realizaron durante los meses de agosto, setiembre y octubre (invierno e inicio de primavera), por lo que las temperaturas del agua residual graso fueron de 18.4°C y 23.83°C respectivamente.

Las pruebas de simulación para las tuberías de PVC y PPR se realizaron durante los meses de octubre, noviembre e inicios de diciembre (primavera con acercamiento hacia el verano), por lo que las temperaturas del agua residual graso fueron de 24.5°C y 27.65°C respectivamente.

Figura 29

Llenado de aceites y grasas en la batea matriz



3.9 Cálculos y/o aplicaciones y obtención de resultados

3.9.1 Cálculos

3.9.1.1 Pendientes. La pendiente se puede considerar como la caída vertical de la tubería por unidad de longitud lineal (hf/L).

Ecuación 10

Pendiente de una tubería

$$S = \frac{hf}{L}$$

A continuación, se presentan las pendientes de las 04 tuberías según el trabajo de campo.

Tabla 14

Pendientes de cada una de las tuberías del sistema diseñado

Material	Cota Inicial	Cota final	Hf (m)	Longitud (m)	Pendiente (m/m)
Cobre	1.15	1.12	0.03	3	0.010
PVC	1.15	1.06	0.09	3	0.030
PPR	1.15	1.04	0.11	3	0.036

3.9.2 Resultados de laboratorio

3.9.2.1 Tubería de polietileno HDPE.

3.9.2.1.1 Concentración inicial de aceites y grasas en el afluente. El análisis de laboratorio se ha realizado en el laboratorio N°21 de la facultad de ingeniería química y textil. La razón de la selección de tal laboratorio es debido al espacio, materiales de laboratorio y mayor acceso a insumos fiscalizados.

Para la simulación N°1 se ha tomado dos muestras representativas de aproximadamente 1 litro cada uno, sin embargo, se ha visto que las muestras recopiladas eran netamente aceite quemado de cocina como se visualiza en la figura 14.

De todas formas, se ha procedido a realizar la prueba para las dos muestras agregando 25 ml de solvente hexano en cada una de ellas, sin embargo luego de la respectiva agitación tal como manda la metodología 5520B no se ha visualizado la separación de fases en una pera, mientras que la otra la fase era casi minúscula no perceptible fácilmente. La hipótesis de tal fenómeno fue que la totalidad de la muestra recolectada era netamente aceite quemado, y esto debido a que al momento en que se monitoreo la muestra ya se había generado la separación agua-aceite en la matriz y lo único que se muestreo fue el aceite cocinado.

Figura 30

Muestra recolectada en pera de decantación.



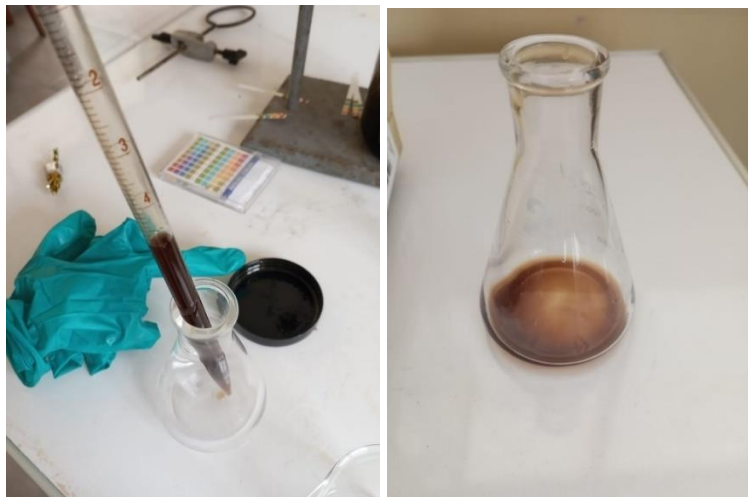
No se puede agitar la matriz en la batea para tomar la muestra dado que se estaría alterando la fuente por lo que se utilizó otro criterio para la determinación de aceites y grasas, y fue seleccionando 10 ml y/o 5 ml de muestra de cada uno de los frascos de muestra y pesarlos en la balanza electrónica. Los 10 ml seleccionados fue pipeteado de la parte superficial de la muestra tomado en campo para garantizar la toma neta de aceite y no agua. Posteriormente se agregan los 10 ml pipeteados en un frasco con 600 ml de agua (H₂O) lo cual pasará a ser nuestra nueva muestra para analizar la concentración de aceites y grasas.

De todas formas, hubo momentos en que se ha pipeteado más agua que aceite dando resultados puntuales poco sincerados por lo que en esos casos se decidió pipetear varias muestras de 5 ml y 10 ml de tal forma de tener una cantidad considerable de resultados por simulación para luego calcular la concentración media de aceites y grasas. El día 14 de octubre se puso a prueba esta alternativa de evaluar la concentración media

dejando como resultados la correcta confirmación de la sinceridad de los resultados en la misma.

Figura 31

Alícuota de 5 ml perteneciente a la muestra original



La metodología 5520B recomienda el uso de 30 ml de solvente hexano por cada extracción de aceites y grasas, sin embargo esto solo es una recomendación más no una exhortación y el producto al ser fiscalizado se tuvo la limitante de uso aún en la facultad de ingeniería química que solo se nos proporcionó 50 ml de hexano por análisis, por lo que ante este inconveniente se ha procedido a utilizar 10 ml de hexano por cada extracción, ósea en tres extracciones en las dos muestras se usó un total de 60 ml de hexano.

Para la eliminación de las moléculas de agua que pudieron quedar en la extracción del solvente se utilizó sulfato de sodio como indica la metodología, sin embargo hubo el inconveniente de la gran saturación que se generaba en este reactivo, por lo que para solucionar este inconveniente se utilizó una estufa a una temperatura de 103°C basándonos como referencia la guía de la calidad del agua de Jairo Alberto Romero Rojas para la eliminación de moléculas de agua, lo cual la misma alternativa lo utilizan los laboratorios certificados a la falta de sulfato de sodio.

Esta primera determinación de aceites y grasas se realizaron el 30 de julio de 2024 y los resultados se muestran detalladamente en la siguiente tabla:

Tabla 15

Simulación N°0 tubería HDPE. Concentración de aceites y grasas

Determinación de A&G de la muestra inicial			
Frasco de Muestreo 1		Frasco de Muestreo 2	
DATOS PRELIMINARES		DATOS PRELIMINARES	
$W_{VP\ vacío}$	31.473 gr	$W_{VP\ vacío}$	29.864 gr
$V_{alícuota}$	10.00 ml	$V_{alícuota}$	10.00 ml
$W_{VP+grasa}$	41.513 gr	$W_{VP+grasa}$	39.715 gr
Δ_{grasa}	10.040 gr	Δ_{grasa}	9.851 gr
$\rho_{alícuota}$	1.0040 gr/ml	$\rho_{alícuota}$	0.9851 gr/ml
EXTRACCIONES DE A&G		EXTRACCIONES DE A&G	
$W_{Erlenmeyer}$	36.503 gr	$W_{Erlenmeyer}$	133.17 gr
$W_{Erlenmeyer+aceite\ extraído}$	46.289 gr	$W_{Erlenmeyer+aceite\ extraído}$	142.845 gr
$W_{aceite\ extraído}$	9.786 gr	$W_{aceite\ extraído}$	9.675 gr
$V_{alícuota}$	10.00 ml	$V_{alícuota}$	10.00 ml
[A&G]	0.9786 gr/ml	[A&G]	0.9675 gr/ml

Los resultados de análisis de aceites y grasas fueron de 0.9786 gr/ml y 0.9675 gr/ml. La media de concentración de aceites y grasas es de 0.9730 gr/ml.

Las densidades son de 1.004 gr/ml y 0.9851 gr/ml para las muestras N°1 y N°2 respectivamente.

Figura 32

600 ml de agua para la formación de una nueva muestra



Figura 33

Extracción de aceites y grasas



3.9.2.1.2 Concentración de aceites y grasas-efluente. De la misma manera se hizo la determinación de aceites y grasas a lo largo de las diferentes simulaciones que se le hizo a la tubería de polietileno teniendo los siguientes resultados.

3.9.2.1.2.1 Simulación N°40. Los laboratorios para el análisis de aceites y grasas para la simulación N°40 se realizaron los días 19.08.2024 y 21.08.2024. Asimismo, el día 25.08.2024 por cuestiones de tiempo se realizó el análisis de aceites y grasas de una alícuota independiente del frasco de muestreo N°1.

Tabla 16

Simulación N°40 tubería HDPE. Concentración de aceites y grasas

Determinación de A&G durante la simulación N°40 (19.08.2024)

Frasco de Muestreo 1		Frasco de Muestreo 2	
DATOS PRELIMINARES		DATOS PRELIMINARES	
$W_{VP\ vacío}$	28.862 gr	$W_{VP\ vacío}$	29.690 gr
$V_{alícuota}$	5.00 ml	$V_{alícuota}$	5.00 ml
$W_{VP+grasa}$	34.322 gr	$W_{VP+grasa}$	34.470 gr
Δ_{grasa}	4.460 gr	Δ_{grasa}	4.780 gr
$\rho_{alícuota}$	0.892 gr/ml	$\rho_{alícuota}$	0.956 gr/ml
EXTRACCIÓN DE A&G		EXTRACCIÓN DE A&G	
$W_{Erlenmeyer}$	36.500 gr	W_{matraz}	64.450 gr
$W_{Erlenmeyer+aceite\ extraído}$	40.850 gr	$W_{matraz+aceite\ extraído}$	69.130 gr
$W_{aceite\ extraído}$	4.350 gr	$W_{aceite\ extraído}$	4.680 gr
$V_{alícuota}$	5.00 ml	$V_{alícuota}$	5.00 ml
[A&G]	0.870 gr/ml	[A&G]	0.936 gr/ml
Determinación de A&G durante la simulación N°40 (21.08.2024)			

Frasco de muestreo N°1		Frasco de muestreo N°2	
DATOS PRELIMINARES		DATOS PRELIMINARES	
$W_{VP\ vacío}$	29.680 gr	$W_{VP\ vacío}$	31.470 gr
$V_{alícuota}$	10.00 ml	$V_{alícuota}$	10.00 ml
$W_{VP+grasa}$	38.820 gr	$W_{VP+grasa}$	41.170 gr
Δ_{grasa}	9.140 gr	Δ_{grasa}	9.70 gr
$\rho_{alícuota}$	0.9140 gr/ml	$\rho_{alícuota}$	0.970 gr/ml
EXTRACCIÓN DE A&G		EXTRACCIÓN DE A&G	
$W_{Erlenmeyer}$	157.03 gr	$W_{Erlenmeyer}$	133.17 gr
$W_{Erlenmeyer+aceite\ extraído}$	165.420 gr	$W_{Erlenmeyer+aceite\ extraído}$	141.870 gr
$W_{aceite\ extraído}$	8.390 gr	$W_{aceite\ extraído}$	8.70 gr
$V_{alícuota}$	10.00 ml	$V_{alícuota}$	10.00 ml
[A&G]	0.8390 gr/ml	[A&G]	0.870 gr/ml
Determinación de A&G durante la simulación N°40 (25.08.2024)			
Frasco de Muestreo 1		-	-
DATOS PRELIMINARES		-	-
$W_{VP\ vacío}$	31.474 gr	-	-
$V_{alícuota}$	10.00 ml	-	-
$W_{VP+grasa}$	40.467 gr	-	-
Δ_{grasa}	8.993 gr	-	-
$\rho_{alícuota}$	0.8993 gr/ml	-	-
EXTRACCIÓN DE A&G		-	-
$W_{Erlenmeyer}$	157.030 gr	-	-
$W_{Erlenmeyer+aceite\ extraído}$	165.986 gr	-	-
$W_{aceite\ extraído}$	8.956 gr	-	-
$V_{alícuota}$	10.00 ml	-	-
[A&G]	0.8956 gr/ml	-	-

Para la simulación N°40 en la tubería de polietileno hemos obtenido para la muestra N°1 y muestra N° concentraciones de aceites y grasas de 0.8545 gr/ml y 0.903 gr/ml respectivamente siendo la diferencia de 0.0485 gr/ml. La concentración de aceites y grasas ponderada es de 0.8821 gr/ml.

El cálculo gravimétrico de la concentración de aceites y grasas correspondiente a la muestra N°1 y muestra N°2 se presentan a continuación:

$$[A\&G]_1 = \frac{(4.350 + 8.390 + 8.956)gr}{(5 + 10 + 10)ml} = 0.8678\ gr/ml$$

$$[A\&G]_2 = \frac{(4.68 + 8.70)gr}{(5 + 10)ml} = 0.892 \text{ gr/ml}$$

La concentración de aceites y grasas media correspondiente a la simulación N°40 es de 0.8799 gr/ml.

La diferencia entre la concentración gravimétrica y la concentración ponderado de aceites y grasas es de 0.0022 gr/ml.

Para la densidad de las muestras tenemos las siguientes ecuaciones:

$$\rho_1 = \frac{(4.460 + 9.140 + 8.993)gr}{(5 + 10 + 10)ml} = 0.9037 \frac{gr}{ml}$$

$$\rho_2 = \frac{(4.780 + 9.70) \frac{gr}{ml}}{(5 + 10)} = 0.9653 \frac{gr}{ml}$$

Las densidades de las muestras N°1 y N°2 son de 0.9037 gr/ml y 0.9653 gr/ml respectivamente.

3.9.2.1.2 Simulación N°60. El laboratorio de análisis de aceites y grasas para la simulación N°60 se realizaron el día 02.09.2024.

Tabla 17

Simulación N°60 tubería HDPE. Concentración de aceites y grasas

Determinación de A&G durante la simulación N°60 (02.09.2024)

Frasco de Muestreo 1		Frasco de Muestreo 2	
DATOS PRELIMINARES		DATOS PRELIMINARES	
$W_{VP \text{ vacío}}$	31.472 gr	$W_{VP \text{ vacío}}$	29.865 gr
$V_{alícuota}$	10.00 ml	$V_{alícuota}$	10.00 ml
$W_{VP+grasa}$	40.681 gr	$W_{VP+grasa}$	39.020 gr
Δ_{grasa}	9.209 gr	Δ_{grasa}	9.155 gr
$\rho_{alícuota}$	0.9209 gr/ml	$\rho_{alícuota}$	0.9155 gr/ml
EXTRACCIÓN DE A&G		EXTRACCIÓN DE A&G	
$W_{Erlenmeyer}$	157.030 gr	W_{matraz}	133.170 gr
$W_{Erlenmeyer+aceite \text{ extraído}}$	166.072 gr	$W_{matraz+aceite \text{ extraído}}$	142.011 gr
$W_{aceite \text{ extraído}}$	9.042 gr	$W_{aceite \text{ extraído}}$	8.841 gr
$V_{alícuota}$	10.00 ml	$V_{alícuota}$	10.00 ml

[A&G]	0.9042 gr/ml	[A&G]	0.8841 gr/ml
Determinación de A&G durante la simulación N°60			
Frasco de Muestreo 1		Frasco de Muestreo 2	
$W_{VP\ vacío}$	29.864 gr	$W_{VP\ vacío}$	31.473 gr
$V_{alícuota}$	10.00 ml	$V_{alícuota}$	10.00 ml
$W_{VP+grasa}$	41.499 gr	$W_{VP+grasa}$	43.2367 gr
Δ_{grasa}	11.635 gr	Δ_{grasa}	11.764 gr
$\rho_{alícuota}$	1.1635 gr/ml	$\rho_{alícuota}$	1.1764 gr/ml
EXTRACCIÓN DE A&G		EXTRACCIÓN DE A&G	
$W_{Erlenmeyer}$	64.456 gr	$W_{Erlenmeyer}$	76.408 gr
$W_{Erlenmeyer+aceite\ extraído}$	72.366 gr	$W_{Erlenmeyer+aceite\ extraído}$	84.451 gr
$W_{aceite\ extraído}$	7.910 gr	$W_{aceite\ extraído}$	8.043 gr
$V_{alícuota}$	10.00 ml	$V_{alícuota}$	10.00 ml
[A&G]	0.7910 gr/ml	[A&G]	0.8043 gr/ml

Para la simulación N°60 en la tubería de polietileno hemos obtenido concentraciones de aceites y grasas para las muestras N°1 y N°2 de 0.8476 gr/ml y 0.8442 gr/ml respectivamente, con una diferencia de concentraciones de 0.0034 gr/ml. La concentración de aceites y grasas ponderada es de 0.8459 gr/ml.

El cálculo gravimétrico de la concentración de aceites y grasas correspondiente a la muestra N°1 y muestra N°2 se presentan a continuación:

$$[A\&G]_1 = \frac{(9.042 + 7.910)gr}{(10 + 10)ml} = 0.8476\ gr/ml$$

$$[A\&G]_2 = \frac{(8.841 + 8.043)gr}{(10 + 10)ml} = 0.8442\ gr/ml$$

La concentración de aceites y grasas media correspondiente a la simulación N°60 es de 0.8459 gr/ml.

La diferencia entre la concentración gravimétrica y la concentración ponderado de aceites y grasas es de 0 gr/ml.

Para la densidad de las muestras tenemos las siguientes ecuaciones:

$$\rho_1 = \frac{(9.209 + 11.635)gr}{(10 + 10)ml} = 1.0422 \frac{gr}{ml}$$

$$\rho_2 = \frac{(9.155 + 11.764)gr}{(10 + 10)ml} = 1.0459 \frac{gr}{ml}$$

Las densidades para las muestras N°1 y N°2 son de 1.0422 gr/ml y 1.0459 gr/ml respectivamente.

3.9.2.1.2.3 Simulación N°72. Para la simulación N°72 se utilizaron alícuotas de 10.00 ml, 8.00 ml y 1.00 ml. Los resultados se muestran a continuación. Los laboratorios se realizaron los días 03.09.2024, 04.09.2024, 05.09.2024, 06.09.2024 y 08.09.2024.

Tabla 18

Simulación N°72 tubería HDPE. Concentración de aceites y grasas

Determinación de A&G durante la simulación N°72 (04.09.2024)			
Frasco de Muestreo 1		Frasco de Muestreo 2	
EXTRACCIÓN DE A&G		EXTRACCIÓN DE A&G	
$W_{Erlenmeyer}$	64.442 gr	$W_{Erlenmeyer}$	76.391 gr
$W_{Erlenmeyer+aceite\ extraído}$	71.657 gr	$W_{Erlenmeyer+aceite\ extraído}$	77.349 gr
$W_{aceite\ extraído}$	7.215 gr	$W_{aceite\ extraído}$	0.958 gr
$V_{alícuota}$	10.00 ml	$V_{alícuota}$	1.00 ml
[A&G]	0.7215 gr/ml	[A&G]	0.958 gr/ml
Determinación de A&G durante la simulación N°72 (05.09.2024)			
Frasco de Muestreo 1		Frasco de Muestreo 2	
W_{matraz}	156.999 gr	W_{matraz}	133.211 gr
$W_{matraz+aceite\ extraído}$	164.220 gr	$W_{matraz+aceite\ extraído}$	134.246 gr
$W_{aceite\ extraído}$	7.221 gr	$W_{aceite\ extraído}$	1.035 gr
$V_{alícuota}$	8.00 ml	$V_{alícuota}$	1.00 ml
[A&G]	0.903 gr/ml	[A&G]	1.035 gr/ml
Determinación de A&G durante la simulación N°72 (06.09.2024)			
Frasco de Muestreo 1		Frasco de Muestreo 2	
DATOS PRELIMINARES		DATOS PRELIMINARES	
$W_{VP\ vacío}$	30.532 gr	$W_{VP\ vacío}$	29.684 gr
$V_{alícuota}$	10.00 ml	$V_{alícuota}$	10.00 ml
$W_{VP+grasa}$	39.430 gr	$W_{VP+grasa}$	38.501 gr
Δ_{grasa}	8.898 gr	Δ_{grasa}	8.817 gr
$\rho_{alícuota}$	0.8898 gr/ml	$\rho_{alícuota}$	0.8817 gr/ml
EXTRACCIÓN DE A&G		EXTRACCIÓN DE A&G	
		$W_{Erlenmeyer}$	76.398 gr

No se pudo proceder con el análisis debido a que se rompió el matraz de Erlenmeyer perdiéndose así el aceite extraído.	$W_{Erlenmeyer+aceite\ extraído}$	77.328 gr	
	$W_{aceite\ extraído}$	0.93 gr	
	$V_{alícuota}$	10.00 ml	
	$[A\&G]$	0.093 gr/ml	
Determinación de A&G durante la simulación N°72			
-	-	Frasco de Muestreo 2	
-	-	DATOS PRELIMINARES	
-	-	$W_{VP\ vacío}$ 30.532 gr	
-	-	$V_{alícuota}$ 10.00 ml	
-	-	$W_{VP+grasa}$ 39.558 gr	
-	-	Δ_{grasa} 9.026 gr	
-	-	$\rho_{alícuota}$ 0.9026 gr/ml	
-	-	EXTRACCIÓN DE A&G	
-	-	$W_{Erlenmeyer}$ 36.503 gr	
-	-	$W_{Erlenmeyer+aceite\ extraído}$ 44.002 gr	
-	-	$W_{aceite\ extraído}$ 7.499 gr	
-	-	$V_{alícuota}$ 10 ml	
-	-	$[A\&G]$ 0.750 gr/ml	
Determinación de A&G durante la simulación N°72			
Frasco de Muestreo 1		Frasco de Muestreo 2	
DATOS PRELIMINARES		DATOS PRELIMINARES	
$W_{VP\ vacío}$	31.472 gr	$W_{VP\ vacío}$	29.862 gr
$V_{alícuota}$	10.00 ml	$V_{alícuota}$	10.00 ml
$W_{VP+grasa}$	40.688 gr	$W_{VP+grasa}$	38.945 gr
Δ_{grasa}	9.216 gr	Δ_{grasa}	9.083 gr
$\rho_{alícuota}$	0.9216 gr/ml	$\rho_{alícuota}$	0.9083 gr/ml
EXTRACCIÓN DE A&G		EXTRACCIÓN DE A&G	
$W_{Erlenmeyer}$	64.602 gr	$W_{Erlenmeyer}$	76.399 gr
$V_{alícuota}$	10.00 ml	$V_{alícuota}$	10.00 ml
$W_{Erlenmeyer+aceite\ extraído}$	73.558 gr	$W_{VP+grasa}$	85.619 gr
$W_{aceite\ extraído}$	8.956 gr	$W_{aceite\ extraído}$	8.908 gr
$[A\&G]$	0.8956 gr/ml	$[A\&G]$	0.8908 gr/ml

Para la simulación N°72 en la tubería de polietileno hemos obtenido concentraciones de aceites y grasas para las muestras N°1 y N°2 valores de 0.8400 gr/ml y 0.7454 gr/ml respectivamente, con una diferencia de concentraciones de 0.0946 gr/ml. La concentración de aceites y grasas ponderada es de 0.7927 gr/ml.

El cálculo gravimétrico de la concentración de aceites y grasas correspondiente a la muestra N°1 y muestra N°2 se presentan a continuación:

$$[A\&G]_1 = \frac{(7.215 + 7.221 + 8.956)gr}{(10 + 8 + 10)ml} = 0.8354 \text{ gr/ml}$$

$$[A\&G]_2 = \frac{(0.958 + 1.035 + 0.93 + 7.499 + 8.908)gr}{(1 + 1 + 10 + 10 + 10)ml} = 0.6041 \text{ gr/ml}$$

La concentración de aceites y grasas media correspondiente a la simulación N°72 es de 0.7198 gr/ml.

La diferencia entre la concentración gravimétrica y la concentración ponderado de aceites y grasas es de 0.0729 gr/ml.

Como resultado atípico se puede ver que el resultado de la concentración de aceites y grasas mediante el cálculo gravimétrico dista de 0.1413 gr/ml con respecto a la concentración ponderada, sin embargo, la diferencia entre la media de la gravimétrica y la ponderada es mínima con un valor de 0.0729 gr/ml.

Para la densidad de las muestras tenemos las siguientes ecuaciones:

$$\rho_1 = \frac{(8.898 + 9.216)gr}{(10 + 10)ml} = 0.9057 \frac{gr}{ml}$$

$$\rho_2 = \frac{(8.817 + 9.026 + 9.083) \frac{gr}{ml}}{(10 + 10 + 10)} = 0.8975 \frac{gr}{ml}$$

Las densidades de las muestras N°1 y N°2 son de 0.9057 gr/ml y 0.8975 gr/ml respectivamente.

3.9.2.1.2.4 Simulación N°100. El laboratorio para el análisis de aceites y grasas para la simulación N°100 se realizaron los días 11.09.2024 y 13.09.2024 respectivamente. Debido a la dificultad de limpieza del frasco de 1 litro y la dificultad de tomar dos muestras con dos frascos de 1 litro se ha considerado para la simulación N°100 el uso de un solo frasco para la toma de muestra, de la cual se han tomado tres alícuotas para la determinación de A&G.

Tabla 19

Simulación N°100 tubería HDPE. Concentración de aceites y grasas

Determinación de A&G durante la simulación N°100 (11.09.2024)			
Frasco de Muestreo 1		Frasco de Muestreo 1	
DATOS PRELIMINARES		DATOS PRELIMINARES	
$W_{VP\ vacío}$	31.474 gr	$W_{VP\ vacío}$	29.865 gr
$V_{alícuota}$	10.00 ml	$V_{alícuota}$	10.00 ml
$W_{VP+grasa}$	40.668 gr	$W_{VP+grasa}$	38.798 gr
Δ_{grasa}	9.194 gr	Δ_{grasa}	8.933 gr
$\rho_{alícuota}$	0.9194 gr/ml	$\rho_{alícuota}$	0.8933 gr/ml
EXTRACCIÓN DE A&G		EXTRACCIÓN DE A&G	
$W_{Erlenmeyer}$	33.219 gr	W_{matraz}	36.501 gr
$W_{Erlenmeyer+aceite\ extraído}$	41.235 gr	$W_{matraz+aceite\ extraído}$	40.389 gr
$W_{aceite\ extraído}$	8.016 gr	$W_{aceite\ extraído}$	3.888 gr
$V_{alícuota}$	10.00 ml	$V_{alícuota}$	10.00 ml
[A&G]	0.8016 gr/ml	[A&G]	0.3888 gr/ml
Determinación de A&G durante la simulación N°100 (13.03.2024)			
Frasco de Muestreo 1		-	-
DATOS PRELIMINARES		-	-
$W_{VP\ vacío}$	31.476 gr	-	-
$V_{alícuota}$	10.00 ml	-	-
$W_{VP+grasa}$	40.670 gr	-	-
Δ_{grasa}	9.194 gr	-	-
$\rho_{alícuota}$	0.9194 gr/ml	-	-
EXTRACCIÓN DE A&G		-	-
$W_{Erlenmeyer}$	157.00 gr	-	-
$W_{Erlenmeyer+aceite\ extraído}$	165.447 gr	-	-
$W_{aceite\ extraído}$	8.447 gr	-	-
$V_{alícuota}$	10.00 ml	-	-
[A&G]	0.8447 gr/ml	-	-

Para la simulación N°100 en la tubería de polietileno hemos obtenido concentraciones de aceites y grasas de 0.8016 gr/ml, 0.3888 gr/ml y 0.8447 gr/ml respectivamente. La concentración media de aceites y grasas es de 0.6784 gr/ml.

Debido a que las alícuotas tomadas fueron representativas se ha considerado solo tres ensayos de laboratorio.

Para la densidad de la muestra tenemos la siguiente ecuación:

$$\rho_1 = \frac{(9.194 + 8.933 + 9.194) \frac{gr}{ml}}{(10 + 10 + 10)} = 0.9107 \frac{gr}{ml}$$

La densidad de la muestra es de 0.9107 gr/ml.

A continuación, se muestra el cuadro resumen de resultados de laboratorio obtenidos para la tubería de polietileno HDPE en gr/ml y en mg/L (ppm).

3.9.2.1.2.5 Resumen de Resultados.

3.9.2.1.2.5.1 Resultados de aceites y grasas.

Tabla 20

Resumen de resultados. Concentración de A&G de la tubería de HDPE

Simulación	T (°C)	[A&G] _{M1}	[A&G] _{M2}	Diferencia(Δ)	Concentración A&G
0	18.3°C	0.9786 gr/ml	0.9675 gr/ml	0.0111 gr/ml	0.9730 gr/ml
40	17.8°C	0.8678 gr/ml	0.8920 gr/ml	0.0242 gr/ml	0.8799 gr/ml
60	18.6°C	0.8476 gr/ml	0.8442 gr/ml	0.0034 gr/ml	0.8459 gr/ml
72	19.0°C	0.8354 gr/ml	0.6041 gr/ml	0.2313 gr/ml	0.7198 gr/ml
100	18.3°C	0.6784 gr/ml	-	-	0.6784 gr/ml

3.9.2.1.2.5.2 Densidades de las muestras.

Tabla 21

Tabla de densidades de las muestras tomadas de la tubería de HDPE

Simulación	ρ_{M1}	ρ_{M2}	ρ_{media}
0	1.0040 gr/ml	0.9851 gr/ml	0.9946 gr/ml

40	0.9037 gr/ml	0.9453 gr/ml	0.9245 gr/ml
60	1.0422 gr/ml	1.0459 gr/ml	1.0441 gr/ml
72	0.9057 gr/ml	0.8975 gr/ml	0.9016 gr/ml
100	0.9107 gr/ml		0.9107 gr/ml

La densidad promedio para el agua residual graso que circuló por la tubería de HDPE es de 0.9551 gr/ml.

3.9.2.2 Tubería de cobre. Debido a la dificultad de muestrear con grandes frascos de 1.0 litro se decidió cambiar las tomas de muestreo con frascos mucho más reducidos de 120 ml para así poder tomar dos muestreos simultáneos a la vez reducidos espacio y hacemos más practico el muestreo para una batea de solo 100 litros.

Figura 34

Flujo de agua residual graso en la tubería de cobre



3.9.2.2.1 Concentración inicial de aceites y grasas-afluente. El laboratorio para la determinación de aceites y grasas inicial se realizó el día 20.09.2024.

Tabla 22

Simulación N°0 tubería de cobre. Concentración de aceites y grasas

Determinación de A&G de la muestra inicial

Frasco de Muestreo 1		Frasco de Muestreo 2	
DATOS PRELIMINARES		DATOS PRELIMINARES	
$W_{VP\ vacío}$	29.687 gr	$W_{VP\ vacío}$	31.476 gr
$V_{alícuota}$	10.00 ml	$V_{alícuota}$	10.00 ml
$W_{VP+grasa}$	38.822 gr	$W_{VP+grasa}$	40.439 gr
Δ_{grasa}	9.135 gr	Δ_{grasa}	8.963 gr

$\rho_{alicuota}$	0.9135 gr/ml	$\rho_{alicuota}$	0.8963 gr/ml
EXTRACCIÓN DE A&G		EXTRACCIÓN DE A&G	
$W_{Erlenmeyer}$	64.604 gr	$W_{Erlenmeyer}$	76.399 gr
$W_{Erlenmeyer+aceite\ extraído}$	72.867 gr	$W_{Erlenmeyer+aceite\ extraído}$	84.669 gr
$W_{aceite\ extraído}$	8.264 gr	$W_{aceite\ extraído}$	8.270 gr
$V_{alicuota}$	10.00 ml	$V_{alicuota}$	10.00 ml
[A&G]	0.8264 gr/ml	[A&G]	0.8270 gr/ml
Determinación de A&G de la muestra inicial			
Frasco de Muestreo 1		-	-
DATOS PRELIMINARES		-	-
$W_{VP\ vacío}$	30.533 gr	-	-
$V_{alicuota}$	10.00 ml	-	-
$W_{VP+grasa}$	39.597 gr	-	-
Δ_{grasa}	9.064 gr	-	-
$\rho_{alicuota}$	0.9064 gr/ml	-	-
EXTRACCIÓN DE A&G		-	-
$W_{Erlenmeyer}$	33.226 gr	-	-
$W_{Erlenmeyer+aceite\ extraído}$	41.425 gr	-	-
$W_{aceite\ extraído}$	8.20 gr	-	-
$V_{alicuota}$	10.00 ml	-	-
[A&G]	0.820 gr/ml	-	-

En los resultados obtenidos en la simulación N°20 para la muestra N°1 y muestra N°2 es de 0.8232 gr/ml y 0.8270 gr/ml respectivamente. La concentración de aceites y grasas ponderada es de 0.8251 gr/ml.

El cálculo gravimétrico de la concentración de aceites y grasas correspondiente a la muestra N°1 y muestra N°2 se presentan a continuación:

$$[A\&G]_1 = \frac{(8.264 + 8.20)gr}{(10 + 10)ml} = 0.8232\ gr/ml$$

$$[A\&G]_2 = \frac{8.270gr}{10ml} = 0.8270\ gr/ml$$

La concentración de aceites y grasas media correspondiente a la simulación N°20 es de 0.8251 gr/ml.

La diferencia entre la concentración gravimétrica y la concentración ponderado de aceites y grasas es de 0 gr/ml.

Para la densidad de la muestra tenemos las siguientes ecuaciones:

$$\rho_1 = \frac{(9.135 + 9.064)gr}{(10 + 10)ml} = 0.90995 \frac{gr}{ml}$$

$$\rho_2 = \frac{8.963gr}{10ml} = 0.8963 \text{ gr/ml}$$

La densidad de las muestras N°1 y N°2 es de 0.90995 gr/ml y 0.8963 gr/ml.

3.9.2.2.2 Concentración de aceites y grasas a lo largo de las simulaciones-efluente. De la misma manera se determinó la concentración de aceites y grasas del efluente durante las diversas simulaciones realizadas. Se iniciaron las simulaciones con un volumen de aguas residuales grasos de 40 litros aproximadamente.

3.9.2.2.2.1 Simulación N°20. Para la simulación N°20 el laboratorio para la determinación de aceites y grasas se realizó el día 25.09.2024.

Tabla 23

Simulación N°20 tubería de cobre. Concentración de aceites y grasas

Determinación de A&G durante la simulación N°20			
Frasco de Muestreo 1		Frasco de Muestreo 2	
DATOS PRELIMINARES		DATOS PRELIMINARES	
$W_{VP \text{ vacío}}$	30.531 gr	$W_{VP \text{ vacío}}$	31.474 gr
V_{alicuota}	10.00 ml	V_{alicuota}	10.00 ml
$W_{VP+grasa}$	39.923 gr	$W_{VP+grasa}$	39.156 gr
Δ_{grasa}	9.392 gr	Δ_{grasa}	7.682 gr
ρ_{alicuota}	0.9392 gr/ml	ρ_{alicuota}	0.7682 gr/ml
EXTRACCIÓN DE A&G		EXTRACCIÓN DE A&G	
$W_{\text{Erlenmeyer}}$	64.608 gr	W_{matraz}	76.402 gr
$W_{\text{Erlenmeyer+aceite extraído}}$	72.524 gr	$W_{\text{matraz+aceite extraído}}$	83.544 gr
$W_{\text{aceite extraído}}$	7.916 gr	$W_{\text{aceite extraído}}$	7.142 gr
V_{alicuota}	10.00 ml	V_{alicuota}	10 ml
[A&G]	0.7916 gr/ml	[A&G]	0.7142 gr/ml
Determinación de A&G durante la simulación N°20			
Frasco de Muestreo 1		-	-

DATOS PRELIMINARES		-	-
$W_{VP\ vacio}$	29.684 gr	-	-
$V_{aliquota}$	10.00 ml	-	-
$W_{VP+grasa}$	40.796 gr	-	-
Δ_{grasa}	11.112 gr	-	-
$\rho_{aliquota}$	1.1112 gr/ml	-	-
EXTRACCIÓN DE A&G		-	-
$W_{Erlenmeyer}$	36.505 gr	-	-
$W_{Erlenmeyer+aceite\ extraído}$	46.084 gr	-	-
$W_{aceite\ extraído}$	9.579 gr	-	-
$V_{aliquota}$	10.00 ml	-	-
[A&G]	0.9579 gr/ml	-	-
Determinación de A&G durante la simulación N°20			
Frasco de Muestreo 1		-	-
DATOS PRELIMINARES		-	-
$W_{VP\ vacio}$	29.686 gr	-	-
$V_{aliquota}$	10.00 ml	-	-
$W_{VP+grasa}$	41.349 gr	-	-
Δ_{grasa}	11.663 gr	-	-
$\rho_{aliquota}$	1.1663 gr/ml	-	-
EXTRACCIÓN DE A&G		-	-
$W_{Erlenmeyer}$	33.226 gr	-	-
$W_{Erlenmeyer+aceite\ extraído}$	37.765 gr	-	-
$W_{aceite\ extraído}$	4.539 gr	-	-
$V_{aliquota}$	10.00 ml	-	-
[A&G]	0.4539 gr/ml	-	-

En los resultados obtenidos en la simulación N°20 para la muestra N°1 y muestra N°2 es de 0.7345 gr/ml y 0.7142 gr/ml respectivamente. La de concentración de aceites y grasas ponderada es de 0.7244 gr/ml.

El cálculo gravimétrico de la concentración de aceites y grasas correspondiente a la muestra N°1 y muestra N°2 se presentan a continuación:

$$[A\&G]_1 = \frac{(7.916 + 9.579 + 4.539)gr}{(10 + 10 + 10)ml} = 0.7345\ gr/ml$$

$$[A\&G]_2 = \frac{7.142gr}{10ml} = 0.7142\ gr/ml$$

La concentración de aceites y grasas media correspondiente a la simulación N°20 es de 0.7244 gr/ml.

La diferencia entre la concentración gravimétrica y la concentración ponderado de aceites y grasas es de 0 gr/ml.

Para la densidad de la muestra tenemos las siguientes ecuaciones:

$$\rho_1 = \frac{(9.392 + 11.112 + 11.663)gr}{(10 + 10 + 10)ml} = 1.0722 \frac{gr}{ml}$$

$$\rho_2 = \frac{7.682 gr}{10 ml} = 0.7682 gr/ml$$

La densidad de las muestras N°1 y N°2 es de 1.0722 gr/ml y 0.7682 gr/ml.

3.9.2.2.2 Simulación N°40. El análisis de aceites y grasas para la simulación N°40 en la tubería de cobre se desarrolló el día 01 de octubre de 2024.

Tabla 24

Simulación N°40 tubería de cobre. Concentración de aceites y grasas

Determinación de A&G durante la simulación N°40			
Frasco de Muestreo 1		Frasco de Muestreo 2	
DATOS PRELIMINARES		DATOS PRELIMINARES	
$W_{VP\ vacío}$	30.533 gr	$W_{VP\ vacío}$	29.685 gr
$V_{alícuota}$	10.00 ml	$V_{alícuota}$	10.00 ml
$W_{VP+grasa}$	39.906 gr	$W_{VP+grasa}$	38.980 gr
Δ_{grasa}	9.373 gr	Δ_{grasa}	9.295 gr
$\rho_{alícuota}$	0.9373 gr/ml	$\rho_{alícuota}$	0.9295 gr/ml
EXTRACCIÓN DE A&G		EXTRACCIÓN DE A&G	
$W_{Erlenmeyer}$	64.610 gr	$W_{Erlenmeyer}$	76.402 gr
$W_{Erlenmeyer+aceite\ extraído}$	73.445 gr	$W_{matraz+aceite\ extraído}$	83.379 gr
$W_{aceite\ extraído}$	8.835 gr	$W_{aceite\ extraído}$	6.997 gr
$V_{alícuota}$	10.00 ml	$V_{alícuota}$	10.00 ml
[A&G]	0.8835 gr/ml	[A&G]	0.6997 gr/ml
Determinación de A&G durante la simulación N°40			
Frasco de Muestreo 1		Frasco de Muestreo 2	
DATOS PRELIMINARES		DATOS PRELIMINARES	
$W_{VP\ vacío}$	31.477 gr	$W_{VP\ vacío}$	52.886 gr

$V_{alicuota}$	10.00 ml	$V_{alicuota}$	2.00 ml
$W_{VP+grasa}$	40.964 gr	$W_{VP+grasa}$	54.745 gr
Δ_{grasa}	9.487 gr	Δ_{grasa}	1.859 gr
$\rho_{alicuota}$	0.9487 gr/ml	$\rho_{alicuota}$	0.9295 gr/ml
EXTRACCIÓN DE A&G		EXTRACCIÓN DE A&G	
$W_{Erlenmeyer}$	33.227 gr	$W_{Erlenmeyer}$	36.522 gr
$W_{Erlenmeyer+aceite\ extraído}$	42.074 gr	$W_{Erlenmeyer+aceite\ extraído}$	37.867 gr
$W_{aceite\ extraído}$	8.847 gr	$W_{aceite\ extraído}$	1.345 gr
$V_{alicuota}$	10.00 ml	$V_{alicuota}$	2.00 ml
[A&G]	0.8847 gr/ml	[A&G]	0.6725 gr/ml
Determinación de A&G durante la simulación N°40			
Frasco de Muestreo 1		-	-
DATOS PRELIMINARES			
$W_{VP\ vacío}$	52.886 gr	-	-
$V_{alicuota}$	10.00 ml	-	-
$W_{VP+grasa}$	62.478 gr	-	-
Δ_{grasa}	9.592 gr	-	-
$\rho_{alicuota}$	0.9592 gr/ml	-	-
EXTRACCIÓN DE A&G		-	-
$W_{Erlenmeyer}$	157.005 gr	-	-
$W_{Erlenmeyer+aceite\ extraído}$	161.632 gr	-	-
$W_{aceite\ extraído}$	4.627 gr	-	-
$V_{alicuota}$	10.00 ml	-	-
[A&G]	0.4627 gr/ml	-	-

Los resultados obtenidos en la simulación N°40 fueron de 0.7436 gr/ml para la muestra N°1 y 0.6861 gr/ml para la muestra N°2. La de concentración de aceites y grasas ponderada es de 0.7148 gr/ml.

El cálculo gravimétrico de la concentración de aceites y grasas correspondiente a la muestra N°1 y muestra N°2 se presentan a continuación:

$$[A\&G]_1 = \frac{(8.835 + 8.847 + 4.627)gr}{(10 + 10 + 10)ml} = 0.7436 \text{ gr/ml}$$

$$[A\&G]_2 = \frac{(6.997 + 1.345)gr}{(10 + 2)ml} = 0.6952 \text{ gr/ml}$$

La concentración de aceites y grasas media correspondiente a la simulación N°40 es de 0.7194 gr/ml.

La diferencia entre la concentración gravimétrica y la concentración ponderado de aceites y grasas es de 0.0046 gr/ml.

Para la densidad de la muestra tenemos las siguientes ecuaciones:

$$\rho_1 = \frac{(9.373 + 9.487 + 9.592)gr}{(10 + 10 + 10)} = 0.9484 \frac{gr}{ml}$$

$$\rho_2 = \frac{(9.295 + 1.859) gr}{(10 + 2)ml} = 0.9295 gr/ml$$

La densidad de las muestras N°1 y N°2 es de 0.9484 gr/ml y 0.9295 gr/ml.

3.9.2.2.3 Simulación N°57. El análisis de aceites y grasas para la simulación N°57 en la tubería de cobre se desarrolló el día 03 de octubre de 2024.

Tabla 25

Simulación N°57 tubería de cobre. Concentración de aceites y grasas

Determinación de A&G durante la simulación N°57			
Frasco de Muestreo 1		Frasco de Muestreo 2	
DATOS PRELIMINARES		DATOS PRELIMINARES	
$W_{VP\ vacío}$	30.534 gr	$W_{VP\ vacío}$	29.685 gr
$V_{alícuota}$	5.00 ml	$V_{alícuota}$	5.00 ml
$W_{VP+grasa}$	35.252 gr	$W_{VP+grasa}$	34.405 gr
Δ_{grasa}	4.718 gr	Δ_{grasa}	4.720 gr
$\rho_{alícuota}$	0.9436 gr/ml	$\rho_{alícuota}$	0.944 gr/ml
EXTRACCIÓN DE A&G		EXTRACCIÓN DE A&G	
$W_{Erlenmeyer}$	64.606 gr	$W_{Erlenmeyer}$	76.400 gr
$W_{Erlenmeyer+aceite\ extraído}$	68.326 gr	$W_{matraz+aceite\ extraído}$	78.094 gr
$W_{aceite\ extraído}$	3.72 gr	$W_{aceite\ extraído}$	1.694 gr
$V_{alícuota}$	5.00 ml	$V_{alícuota}$	5.00 ml
[A&G]	0.744 gr/ml	[A&G]	0.3388 gr/ml
Determinación de A&G durante la simulación N°57			
Frasco de Muestreo 1		Frasco de Muestreo 2	
DATOS PRELIMINARES		DATOS PRELIMINARES	
$W_{VP\ vacío}$	31.481 gr	$W_{VP\ vacío}$	52.876 gr

$V_{alicuota}$	5.00 ml	$V_{alicuota}$	5.00 ml
$W_{VP+grasa}$	36.137 gr	$W_{VP+grasa}$	57.588 gr
Δ_{grasa}	4.656 gr	Δ_{grasa}	4.712 gr
$\rho_{alicuota}$	0.9312 gr/ml	$\rho_{alicuota}$	0.9424 gr/ml
EXTRACCIÓN DE A&G		EXTRACCIÓN DE A&G	
$W_{Erlenmeyer}$	33.222 gr	$W_{Erlenmeyer}$	36.505 gr
$W_{Erlenmeyer+aceite\ extraído}$	37.777 gr	$W_{Erlenmeyer+aceite\ extraído}$	40.844 gr
$W_{aceite\ extraído}$	4.555 gr	$W_{aceite\ extraído}$	4.339 gr
$V_{alicuota}$	5.00 ml	$V_{alicuota}$	5.00 ml
$[A\&G]$	0.911 gr/ml	$[A\&G]$	0.8678 gr/ml

Los resultados obtenidos para la simulación N°57 fueron de 0.8275 gr/ml para la muestra N°1 y 0.6033 gr/ml para la muestra N°2. La de la concentración de aceites y grasas ponderada es de 0.7154 gr/ml.

El cálculo gravimétrico de la concentración de aceites y grasas correspondiente a la muestra N°1 y muestra N°2 se presentan a continuación:

$$[A\&G]_1 = \frac{(3.72 + 4.555)gr}{(5 + 5)ml} = 0.8275 \text{ gr/ml}$$

$$[A\&G]_2 = \frac{(1.694 + 4.339)gr}{(5 + 5)ml} = 0.6033 \text{ gr/ml}$$

La concentración de aceites y grasas media correspondiente a la simulación N°57 es de 0.7154 gr/ml.

La diferencia entre la concentración gravimétrica y la concentración ponderado de aceites y grasas es de 0.

Para la densidad de la muestra tenemos las siguientes ecuaciones:

$$\rho_1 = \frac{(4.718 + 4.656)gr}{(5 + 5)ml} = 0.9374 \frac{gr}{ml}$$

$$\rho_2 = \frac{(4.720 + 4.712)gr}{(5 + 5)ml} = 0.9432 \text{ gr/ml}$$

La densidad de las muestras N°1 y N°2 es de 0.9374 gr/ml y 0.9432 gr/ml.

3.9.2.2.4 Simulación N°63. El análisis de aceites y grasas correspondiente a la simulación N°63 se realizaron en dos etapas. El primero el día 07 de octubre de 2024 y el segundo el día 14 de octubre de 2024. Los resultados de laboratorio correspondiente al 07 de octubre se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 26

Simulación N°63 tubería de cobre. Concentración de aceites y grasas

Determinación de A&G durante la simulación N°63			
Frasco de Muestreo 1		Frasco de Muestreo 2	
DATOS PRELIMINARES		DATOS PRELIMINARES	
$W_{VP\ vacío}$	30.534 gr	$W_{VP\ vacío}$	29.782 gr
$V_{alícuota}$	5.00 ml	$V_{alícuota}$	5.00 ml
$W_{VP+grasa}$	35.377 gr	$W_{VP+grasa}$	34.684 gr
Δ_{grasa}	4.853 gr	Δ_{grasa}	4.902 gr
$\rho_{alícuota}$	0.9706 gr/ml	$\rho_{alícuota}$	0.9804 gr/ml
EXTRACCIÓN DE A&G		EXTRACCIÓN DE A&G	
$W_{Erlenmeyer}$	37.258 gr	$W_{Erlenmeyer}$	38.801 gr
$W_{Erlenmeyer+aceite\ extraído}$	40.142 gr	$W_{matraz+aceite\ extraído}$	40.269 gr
$W_{aceite\ extraído}$	2.883 gr	$W_{aceite\ extraído}$	1.468 gr
$V_{alícuota}$	5.00 ml	$V_{alícuota}$	5.00 ml
[A&G]	0.5766 gr/ml	[A&G]	0.2936 gr/ml
Determinación de A&G durante la simulación N°63			
Frasco de Muestreo 1		Frasco de Muestreo 2	
DATOS PRELIMINARES		DATOS PRELIMINARES	
$W_{VP\ vacío}$	31.485 gr	$W_{VP\ vacío}$	21.512 gr
$V_{alícuota}$	5.00 ml	$V_{alícuota}$	5.00 ml
$W_{VP+grasa}$	36.098 gr	$W_{VP+grasa}$	26.141 gr
Δ_{grasa}	4.613 gr	Δ_{grasa}	4.629 gr
$\rho_{alícuota}$	0.9226 gr/ml	$\rho_{alícuota}$	0.9258 gr/ml
EXTRACCIÓN DE A&G		EXTRACCIÓN DE A&G	
$W_{Erlenmeyer}$	41.042 gr	$W_{Erlenmeyer}$	31.243 gr
$W_{Erlenmeyer+aceite\ extraído}$	45.306 gr	$W_{Erlenmeyer+aceite\ extraído}$	35.060 gr
$W_{aceite\ extraído}$	4.264 gr	$W_{aceite\ extraído}$	3.817 gr
$V_{alícuota}$	5.00 ml	$V_{alícuota}$	5.00 ml
[A&G]	0.8528 gr/ml	[A&G]	0.7634 gr/ml

Los resultados de concentración de aceites y grasas obtenidos en este laboratorio fueron 0.5766 gr/ml, 0.8528 gr/ml para la muestra N°1 y 0.2936 gr/ml, 0.7634 gr/ml para la

muestra N°2 respectivamente. La concentración media de aceites y grasas es de 0.6216 gr/ml.

Debido al paro de transportistas para la derogación de la ley 32108 que modifica la ley de crimen organizado la facultad de ingeniería ambiental de la UNI cerró sus puertas desde el jueves 10 de octubre al 13 de octubre de 2024 por lo que se decidió continuar con los análisis de aceites y grasas el día 14 de octubre de 2024 para completar y validar los datos anteriormente obtenidos.

Los resultados del análisis de aceites y grasas correspondiente a la simulación N°63 realizados el día 14 de octubre de 2024 se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 27

Simulación N°63 tubería de cobre. Concentración de aceites y grasas

Determinación de A&G durante la simulación N°63			
Frasco de Muestreo 1		Frasco de Muestreo 2	
DATOS PRELIMINARES		DATOS PRELIMINARES	
$W_{VP\ vacío}$	30.533 gr	$W_{VP\ vacío}$	29.685 gr
$V_{alícuota}$	10.00 ml	$V_{alícuota}$	10.00 ml
$W_{VP+grasa}$	39.676 gr	$W_{VP+grasa}$	38.706 gr
Δ_{grasa}	9.153 gr	Δ_{grasa}	9.021 gr
$\rho_{alícuota}$	0.9153 gr/ml	$\rho_{alícuota}$	0.9021 gr/ml
EXTRACCIÓN DE A&G		EXTRACCIÓN DE A&G	
$W_{Erlenmeyer}$	33.222 gr	$W_{Erlenmeyer}$	36.503 gr
$W_{Erlenmeyer+aceite\ extraído}$	39.613 gr	$W_{Erlenmeyer+aceite\ extraído}$	42.670 gr
$W_{aceite\ extraído}$	6.391 gr	$W_{aceite\ extraído}$	6.167 gr
$V_{alícuota}$	10.00 ml	$V_{alícuota}$	10.00 ml
[A&G]	0.6391 gr/ml	[A&G]	0.6167 gr/ml

Los resultados de análisis de aceites y grasas fueron de 0.6391 gr/ml y 0.6167 gr/ml respectivamente con una concentración ponderada de 0.6279 gr/ml. La diferencia de concentraciones media de aceites y grasas es de 0.0063 gr/ml, lo cual no solo valida los resultados sino también confirma la sinceridad de resultados al evaluar la concentración media de los mismos en el análisis de resultados. La concentración media de todos los resultados de aceites y grasas es de 0.6237 gr/ml.

El cálculo gravimétrico de la concentración de aceites y grasas correspondiente a la muestra N°1 y muestra N°2 se presentan a continuación:

$$[A\&G]_1 = \frac{(2.883 + 4.264 + 6.391)gr}{(5 + 5 + 10)ml} = 0.6769 \text{ gr/ml}$$

$$[A\&G]_2 = \frac{(1.468 + 3.817 + 6.167)gr}{(5 + 5 + 10)ml} = 0.5726 \text{ gr/ml}$$

La concentración de aceites y grasas media correspondiente a la simulación N°63 es de 0.6248 gr/ml.

La diferencia entre la concentración gravimétrica y la concentración ponderado de aceites y grasas es de 0.0011 gr/ml.

Para la densidad de la muestra tenemos las siguientes ecuaciones:

$$\rho_1 = \frac{(4.853 + 4.613 + 9.153)gr}{(5 + 5 + 10)ml} = 0.9309 \text{ gr/ml}$$

$$\rho_2 = \frac{(4.902 + 4.629 + 9.021)gr}{(5 + 5 + 10)ml} = 0.9276 \text{ gr/ml}$$

La densidad de las muestras N°1 y N°2 es de 0.9309 gr/ml y 0.9276 gr/ml.

3.9.2.2.2.5 Simulación N°100. El análisis de laboratorio de aceites y grasas correspondiente a la simulación N°100 se realizó el día 15 de octubre de 2024 y 16 de octubre de 2024. Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 28

Simulación N°100 tubería de cobre. Concentración de aceites y grasas
Determinación de A&G durante la simulación N°100 (15.10.2024)

Frasco de Muestreo 1		Frasco de Muestreo 2	
DATOS PRELIMINARES		DATOS PRELIMINARES	
$W_{VP \text{ vacío}}$	30.533 gr	$W_{VP \text{ vacío}}$	29.685 gr
$V_{\text{alícuota}}$	10.00 ml	$V_{\text{alícuota}}$	10.00 ml
$W_{VP+grasa}$	39.797 gr	$W_{VP+grasa}$	38.823 gr
Δ_{grasa}	9.464 gr	Δ_{grasa}	9.338 gr

$\rho_{alicuota}$	0.9464 gr/ml	$\rho_{alicuota}$	0.9338 gr/ml
EXTRACCIÓN DE A&G		EXTRACCIÓN DE A&G	
$W_{Erlenmeyer}$	37.258 gr	$W_{Erlenmeyer}$	38.803 gr
$W_{Erlenmeyer+aceite\ extraído}$	43.264 gr	$W_{Erlenmeyer+aceite\ extraído}$	44.298 gr
$W_{aceite\ extraído}$	5.797 gr	$W_{aceite\ extraído}$	5.242 gr
$V_{alicuota}$	10.00 ml	$V_{alicuota}$	10.00 ml
[A&G]	0.5797 gr/ml	[A&G]	0.5242 gr/ml
Determinación de A&G durante la simulación N°100 (15.10.2024)			
Frasco de Muestreo 1		Frasco de Muestreo 2	
DATOS PRELIMINARES		DATOS PRELIMINARES	
$W_{VP\ vacío}$	31.478 gr	$W_{VP\ vacío}$	21.513 gr
$V_{alicuota}$	5.00 ml	$V_{alicuota}$	5.00 ml
$W_{VP+grasa}$	36.174 gr	$W_{VP+grasa}$	26.118 gr
Δ_{grasa}	4.696 gr	Δ_{grasa}	4.605 gr
$\rho_{alicuota}$	0.9392 gr/ml	$\rho_{alicuota}$	0.921 gr/ml
EXTRACCIÓN DE A&G		EXTRACCIÓN DE A&G	
$W_{Erlenmeyer}$	41.043 gr	$W_{Erlenmeyer}$	31.243 gr
$W_{Erlenmeyer+aceite\ extraído}$	44.254 gr	$W_{Erlenmeyer+aceite\ extraído}$	35.274 gr
$W_{aceite\ extraído}$	3.211 gr	$W_{aceite\ extraído}$	4.031 gr
$V_{alicuota}$	5.00 ml	$V_{alicuota}$	5.00 ml
[A&G]	0.6422 gr/ml	[A&G]	0.8062 gr/ml
Determinación de A&G durante la simulación N°100 (15.10.2024)			
Frasco de Muestreo 1		Frasco de Muestreo 2	
DATOS PRELIMINARES		DATOS PRELIMINARES	
$W_{VP\ vacío}$	30.533 gr	$W_{VP\ vacío}$	29.685 gr
$V_{alicuota}$	3.00 ml	$V_{alicuota}$	3.00 ml
$W_{VP+grasa}$	33.359 gr	$W_{VP+grasa}$	32.407 gr
Δ_{grasa}	2.826 gr	Δ_{grasa}	2.722 gr
$\rho_{alicuota}$	0.942 gr/ml	$\rho_{alicuota}$	0.9073 gr/ml
EXTRACCIÓN DE A&G		EXTRACCIÓN DE A&G	
$W_{Erlenmeyer}$	64.608 gr	$W_{Erlenmeyer}$	76.399 gr
$W_{Erlenmeyer+aceite\ extraído}$	66.870 gr	$W_{Erlenmeyer+aceite\ extraído}$	78.590 gr
$W_{aceite\ extraído}$	2.262 gr	$W_{aceite\ extraído}$	2.191 gr
$V_{alicuota}$	3.00 ml	$V_{alicuota}$	3.00 ml
[A&G]	0.754 gr/ml	[A&G]	0.730 gr/ml

Los resultados de análisis de aceites y grasas fueron de 0.6586 gr/ml y 0.6868 gr/ml respectivamente. La media de la concentración de aceites y grasas es de 0.6727 gr/ml.

El cálculo gravimétrico de la concentración de aceites y grasas correspondiente a la muestra N°1 y muestra N°2 se presentan a continuación:

$$[A\&G]_1 = \frac{(5.797 + 3.211 + 2.262)gr}{(10 + 5 + 3)ml} = 0.6261 \text{ gr/ml}$$

$$[A\&G]_2 = \frac{(5.242 + 4.031 + 2.191)gr}{(10 + 5 + 3)ml} = 0.6369 \text{ gr/ml}$$

La concentración de aceites y grasas media correspondiente a la simulación N°100 es de 0.6315 gr/ml.

La diferencia entre la concentración gravimétrica y la concentración ponderado de aceites y grasas es de 0.0412 gr/ml.

Para la densidad de la muestra tenemos las siguientes ecuaciones:

$$\rho_1 = \frac{(9.464 + 4.696 + 2.826)gr}{(10 + 5 + 3)ml} = 0.9437 \text{ gr/ml}$$

$$\rho_2 = \frac{(9.338 + 4.605 + 2.722)gr}{(10 + 5 + 3)ml} = 0.9258 \text{ gr/ml}$$

La densidad de las muestras N°1 y N°2 es de 0.9437 gr/ml y 0.9258 gr/ml.

El volumen de aceites y grasa con que se ha terminado el ensayo de simulaciones fue de 22 litros, por lo que el volumen retenido fue de 18 litros.

Figura 35

Balde con 16 litros de agua residual graso



3.9.2.2.2.6 Resumen de resultados.

3.9.2.2.2.6.1 Resultados de aceites y grasas. A continuación, se muestra el cuadro resumen de resultados de laboratorio obtenidos para la tubería de cobre en gr/ml.

Tabla 29

Resumen de resultados. Concentración de A&G de la tubería de cobre

Simulación	T (°C)	$[A\&G]_{M1}$	$[A\&G]_{M2}$	Diferencia(Δ)	Concentración A&G
0	22.2°C	0.8232 gr/ml	0.8270 gr/ml	0.0038 gr/ml	0.8251 gr/ml
20	22.2°C	0.7345 gr/ml	0.7142 gr/ml	0.0203 gr/ml	0.7244 gr/ml
40	24.7°C	0.7436 gr/ml	0.6952 gr/ml	0.0484 gr/ml	0.7194 gr/ml
57	24.9°C	0.8275 gr/ml	0.6033 gr/ml	0.2242 gr/ml	0.7154 gr/ml
63	19.9°C	0.6769 gr/ml	0.5726 gr/ml	0.1043 gr/ml	0.6248 gr/ml
100	19.6°C	0.6261 gr/ml	0.6369 gr/ml	0.0394 gr/ml	0.6315 gr/ml

3.9.2.2.2.6.2 Densidades de las muestras.

Tabla 30

Tabla de densidades del efluente de la tubería de cobre

Simulación	ρ_{M1}	ρ_{M2}	ρ_{media}
0	0.9099 gr/ml	0.8963 gr/ml	0.9031 gr/ml
20	1.0722 gr/ml	0.7682 gr/ml	0.9202 gr/ml
40	0.9484 gr/ml	0.9295 gr/ml	0.9389 gr/ml
57	0.9374 gr/ml	0.9432 gr/ml	0.9403 gr/ml
63	0.9309 gr/ml	0.9276 gr/ml	0.9293 gr/ml
100	0.9437 gr/ml	0.9258 gr/ml	0.9348 gr/ml

La densidad promedio para el agua residual graso que circuló por la tubería de cobre es de 0.9278 gr/ml. Se puede ver que para este caso las densidades tienen una desviación estándar menor a la registrada en la tubería de cobre.

3.9.2.3 Tubería de PVC.

Figura 36

Flujo de agua residual graso saliendo de la tubería de PVC



3.9.2.3.1 Concentración inicial de aceites y grasas- afluente. Los primeros análisis de aceites y grasas para el afluente se realizaron el día 21, 22 de octubre de 2024 siendo los resultados de laboratorio los siguientes.

Tabla 31

Simulación N°0 tubería de PVC. Concentración de aceites y grasas
Determinación de A&G del afluente (21.10.2024)

MUESTRA 1		MUESTRA 2	
DATOS PRELIMINARES		DATOS PRELIMINARES	
$W_{VP\ vacío}$	30.534 gr	$W_{VP\ vacío}$	29.682 gr
$V_{alícuota}$	20.00 ml	$V_{alícuota}$	20.00 ml
$W_{VP+grasa}$	48.662 gr	$W_{VP+grasa}$	47.370 gr
Δ_{grasa}	18.131 gr	Δ_{grasa}	17.688 gr
$\rho_{alícuota}$	0.9065 gr/ml	$\rho_{alícuota}$	0.8844 gr/ml
EXTRACCIÓN DE A&G		EXTRACCIÓN DE A&G	
$W_{Erlenmeyer}$	157.011 gr	$W_{Erlenmeyer}$	133.146 gr
$W_{Erlenmeyer+aceite\ extraído}$	166.026 gr	$W_{Erlenmeyer+aceite\ extraído}$	139.913 gr
$W_{aceite\ extraído}$	9.015 gr	$W_{aceite\ extraído}$	6.767 gr
$V_{alícuota}$	20.00 ml	$V_{alícuota}$	20.00 ml
[A&G]	0.4507 gr/ml	[A&G]	0.3383 gr/ml

MUESTRA 1		MUESTRA 2	
DATOS PRELIMINARES		DATOS PRELIMINARES	
$W_{VP\text{ vacío}}$	31.476 gr	$W_{VP\text{ vacío}}$	21.512 gr
$V_{alicuota}$	10.00 ml	$V_{alicuota}$	10.00 ml
$W_{VP+grasa}$	41.358 gr	$W_{VP+grasa}$	31.951 gr
Δ_{grasa}	9.882 gr	Δ_{grasa}	10.439 gr
$\rho_{alicuota}$	0.9882 gr/ml	$\rho_{alicuota}$	1.044 gr/ml
EXTRACCIÓN DE A&G		EXTRACCIÓN DE A&G	
$W_{Erlenmeyer}$	33.223 gr	$W_{Erlenmeyer}$	36.503 gr
$W_{Erlenmeyer+aceite\ extraído}$	42.977 gr	$W_{Erlenmeyer+aceite\ extraído}$	46.689 gr
$W_{aceite\ extraído}$	9.754 gr	$W_{aceite\ extraído}$	10.186 gr
$V_{alicuota}$	10.00 ml	$V_{alicuota}$	10.00 ml
[A&G]	0.9754 gr/ml	[A&G]	1.0186 gr/ml
Determinación de A&G del afluente (22.10.2024)			
MUESTRA 1		MUESTRA 2	
DATOS PRELIMINARES		DATOS PRELIMINARES	
$W_{VP\text{ vacío}}$	30.535 gr	$W_{VP\text{ vacío}}$	29.686 gr
$V_{alicuota}$	30.00 ml	$V_{alicuota}$	30.00 ml
$W_{VP+grasa}$	59.345 gr	$W_{VP+grasa}$	63.611 gr
Δ_{grasa}	28.810 gr	Δ_{grasa}	33.925 gr
$\rho_{alicuota}$	0.9603 gr/ml	$\rho_{alicuota}$	1.1308 gr/ml
EXTRACCIÓN DE A&G		EXTRACCIÓN DE A&G	
$W_{Erlenmeyer}$	37.265 gr	$W_{Erlenmeyer}$	38.811 gr
$W_{Erlenmeyer+aceite\ extraído}$	65.887 gr	$W_{Erlenmeyer+aceite\ extraído}$	72.492 gr
$W_{aceite\ extraído}$	28.622 gr	$W_{aceite\ extraído}$	33.681 gr
$V_{alicuota}$	30.00 ml	$V_{alicuota}$	30.00 ml
[A&G]	0.9541 gr/ml	[A&G]	1.1227 gr/ml
MUESTRA 1		MUESTRA 2	
DATOS PRELIMINARES		DATOS PRELIMINARES	
$W_{VP\text{ vacío}}$	31.478 gr	$W_{VP\text{ vacío}}$	21.512 gr
$V_{alicuota}$	5.00 ml	$V_{alicuota}$	5.00 ml
$W_{VP+grasa}$	36.201 gr	$W_{VP+grasa}$	27.156 gr
Δ_{grasa}	4.723 gr	Δ_{grasa}	5.644 gr
$\rho_{alicuota}$	0.9446 gr/ml	$\rho_{alicuota}$	1.1288 gr/ml
EXTRACCIÓN DE A&G		EXTRACCIÓN DE A&G	
$W_{Erlenmeyer}$	41.045 gr	$W_{Erlenmeyer}$	31.249 gr
$W_{Erlenmeyer+aceite\ extraído}$	45.722 gr	$W_{Erlenmeyer+aceite\ extraído}$	36.265 gr
$W_{aceite\ extraído}$	4.677 gr	$W_{aceite\ extraído}$	5.016 gr
$V_{alicuota}$	5.00 ml	$V_{alicuota}$	5.00 ml
[A&G]	0.9354 gr/ml	[A&G]	1.0032 gr/ml

El día 23.10.2024 se realizó otro paro de transportistas por lo que ese día solo se pudo acudir a laboratorio algunas horas donde solo se llevó a cabo dos análisis de aceites y grasas correspondientes al afluyente (Simulación 0 para PVC).

Tabla 32

Simulación N°0 tubería de PVC. Concentración de aceites y grasas
Determinación de A&G del afluyente (23.10.2024)

MUESTRA 1		MUESTRA 2	
DATOS PRELIMINARES		DATOS PRELIMINARES	
$W_{VP\ vacío}$	30.535 gr	$W_{VP\ vacío}$	29.686 gr
$V_{alícuota}$	10.00 ml	$V_{alícuota}$	35.00 ml
$W_{VP+grasa}$	40.840 gr	$W_{VP+grasa}$	72.663 gr
Δ_{grasa}	10.305 gr	Δ_{grasa}	42.977 gr
$\rho_{alícuota}$	1.0305 gr/ml	$\rho_{alícuota}$	1.2279 gr/ml
EXTRACCIÓN DE A&G		EXTRACCIÓN DE A&G	
$W_{Erlenmeyer}$	64.608 gr	$W_{Erlenmeyer}$	76.403 gr
$W_{Erlenmeyer+aceite\ extraído}$	74.538 gr	$W_{Erlenmeyer+aceite\ extraído}$	119.290 gr
$W_{aceite\ extraído}$	9.930 gr	$W_{aceite\ extraído}$	42.887 gr
$V_{alícuota}$	10.00 ml	$V_{alícuota}$	35.00 ml
[A&G]	0.9930 gr/ml	[A&G]	1.2253 gr/ml

El promedio de la concentración de aceites y grasas para las muestras 1 y 2 es de 0.8617 gr/ml y 0.9416 gr/ml respectivamente con una diferencia de 0.0799 gr/ml entre ambas muestras tomadas. El ponderado de la concentración de aceites y grasas correspondiente al afluyente (Simulación 0) es de 0.9017 gr/ml.

El cálculo gravimétrico de la concentración de aceites y grasas correspondiente a la muestra N°1 y muestra N°2 se presentan a continuación:

$$[A\&G]_1 = \frac{(9.015 + 9.754 + 28.622 + 4.677 + 9.930)gr}{(20 + 10 + 30 + 5 + 10)ml} = 0.8266\ gr/ml$$

$$[A\&G]_2 = \frac{(6.767 + 10.186 + 33.681 + 5.016 + 42.887)gr}{(20 + 10 + 30 + 5 + 35)ml} = 0.9854\ gr/ml$$

La concentración de aceites y grasas media correspondiente al afluyente (simulación 0) es de 0.906 gr/ml.

La diferencia entre las concentraciones media ponderada y gravimétrica es de 0.0043 gr/ml.

Para la densidad de la muestra tenemos las siguientes ecuaciones:

$$\rho_1 = \frac{(18.131 + 9.882 + 28.81 + 4.723 + 10.305)gr}{(20 + 10 + 30 + 5 + 10)ml} = 0.9580 \text{ gr/ml}$$

$$\rho_2 = \frac{(17.688 + 10.439 + 33.925 + 5.644 + 42.977)gr}{(20 + 10 + 30 + 5 + 35)ml} = 1.1067 \text{ gr/ml}$$

La densidad de las muestras N°1 y N°2 es de 0.9580 gr/ml y 1.1067 gr/ml.

3.9.2.3.2 Concentración de aceites y grasas a lo largo de las simulaciones-Efluente.

3.9.2.3.2.1 Simulación N°20. El análisis de aceites y grasas realizado para simulación N°20 en la tubería de PVC se llevó a cabo el jueves 24.10.2024 y 28.10.2024 Se ha visto propicio para una mayor precisión y rapidez en los laboratorios utilizar mayor volumen de alícuotas en los análisis como a continuación se detallan en el cuadro de resultados.

Tabla 33

Simulación N°20 tubería de PVC. Concentración de aceites y grasas

Determinación de A&G durante la simulación N°20 (24.10.2024)			
MUESTRA 1		MUESTRA 2	
DATOS PRELIMINARES		DATOS PRELIMINARES	
$W_{VP \text{ vacío}}$	30.535 gr	$W_{VP \text{ vacío}}$	29.686 gr
$V_{\text{alícuota}}$	40.00 ml	$V_{\text{alícuota}}$	40.00 ml
$W_{VP+grasa}$	77.734 gr	$W_{VP+grasa}$	76.784 gr
Δ_{grasa}	47.199 gr	Δ_{grasa}	47.098 gr
$\rho_{\text{alícuota}}$	1.1800 gr/ml	$\rho_{\text{alícuota}}$	1.1774 gr/ml
EXTRACCIÓN DE A&G		EXTRACCIÓN DE A&G	
$W_{\text{Erlenmeyer}}$	157.019 gr	$W_{\text{Erlenmeyer}}$	133.146 gr
$W_{\text{Erlenmeyer+aceite extraído}}$	204.217 gr	$W_{\text{Erlenmeyer+aceite extraído}}$	180.159 gr
$W_{\text{aceite extraído}}$	47.198 gr	$W_{\text{aceite extraído}}$	47.013 gr
$V_{\text{alícuota}}$	40.00 ml	$V_{\text{alícuota}}$	40.00 ml
[A&G]	1.1799 gr/ml	[A&G]	1.1753 gr/ml

MUESTRA 1		MUESTRA 2	
DATOS PRELIMINARES		DATOS PRELIMINARES	
$W_{VP\text{ vacío}}$	31.477 gr	$W_{VP\text{ vacío}}$	21.515 gr
$V_{\text{alícuota}}$	10.00 ml	$V_{\text{alícuota}}$	10.00 ml
$W_{VP+grasa}$	40.714 gr	$W_{VP+grasa}$	31.829 gr
Δ_{grasa}	9.237 gr	Δ_{grasa}	10.314 gr
$\rho_{\text{alícuota}}$	0.9237 gr/ml	$\rho_{\text{alícuota}}$	1.0314 gr/ml
EXTRACCIÓN DE A&G		EXTRACCIÓN DE A&G	
-	-	$W_{\text{Erlenmeyer}}$	36.506 gr
-	-	$W_{\text{Erlenmeyer+aceite extraído}}$	46.592 gr
-	-	$W_{\text{aceite extraído}}$	10.086 gr
-	-	$V_{\text{alícuota}}$	10.00 ml
-	-	[A&G]	1.008 gr/ml
Determinación de A&G durante la simulación N°20 (28.10.2024)			
MUESTRA 1		MUESTRA 2	
DATOS PRELIMINARES		DATOS PRELIMINARES	
$W_{VP\text{ vacío}}$	31.476 gr	$W_{VP\text{ vacío}}$	21.513 gr
$V_{\text{alícuota}}$	30.00 ml	$V_{\text{alícuota}}$	16.00 ml
$W_{VP+grasa}$	63.298 gr	$W_{VP+grasa}$	39.840 gr
Δ_{grasa}	31.822 gr	Δ_{grasa}	18.327 gr
$\rho_{\text{alícuota}}$	1.0607 gr/ml	$\rho_{\text{alícuota}}$	1.1454 gr/ml
EXTRACCIÓN DE A&G		EXTRACCIÓN DE A&G	
$W_{\text{Erlenmeyer}}$	41.043 gr	$W_{\text{Erlenmeyer}}$	37.259 gr
$W_{\text{Erlenmeyer+aceite extraído}}$	52.105 gr	$W_{\text{Erlenmeyer+aceite extraído}}$	44.792 gr
$W_{\text{aceite extraído}}$	11.062 gr	$W_{\text{aceite extraído}}$	7.533 gr
$V_{\text{alícuota}}$	30.00 ml	$V_{\text{alícuota}}$	16.00 ml
[A&G]	0.3680 gr/ml	[A&G]	0.4708 gr/ml

La alícuota de 10.00 ml de la muestra N°1 pipeteado el día 24.10.2024 se perdió al ser derramado dentro del baño maría dado que el nivel del agua de este produjo una flotabilidad inestable en comparación con el peso del Erlenmeyer con la muestra dentro. Sin embargo, haciendo una extrapolación en base a los resultados de la muestra N°2 siendo este valor de 1.0617 gr/ml aproximadamente.

En base a este valor aproximado la concentración de aceites y grasas de la muestra N°1 y muestra N°2 es de 0.8610 gr/ml y 0.8847 gr/ml respectivamente, con una diferencia de 0.0148 gr/ml entre ambas muestras. La concentración media de aceites y grasas correspondiente a la simulación N°20 es de 0.8773 gr/ml. Debido a que se perdió una

alícuota no fue posible realizar el cálculo gravimétrico de la concentración de aceites y grasas por lo que para el análisis de resultados se utilizó como valor referencial la media o ponderado de la concentración de aceites y grasas.

$$[A\&G]_1 = \frac{(47.198 + 10.617 + 11.062)gr}{(40 + 10 + 30)ml} = 0.8610 \text{ gr/ml}$$

$$[A\&G]_2 = \frac{(47.013 + 10.086 + 7.533)gr}{(40 + 10 + 16)ml} = 0.9793 \text{ gr/ml}$$

Para la densidad de la muestra tenemos las siguientes ecuaciones:

$$\rho_1 = \frac{(47.199 + 9.237 + 31.822)gr}{(40 + 10 + 30)ml} = 1.1032 \text{ gr/ml}$$

$$\rho_2 = \frac{(47.098 + 10.314 + 18.327)gr}{(40 + 10 + 16)ml} = 1.1476 \text{ gr/ml}$$

La densidad de las muestras N°1 y N°2 es de 1.1032 gr/ml y 1.1476 gr/ml.

3.9.2.3.2 Simulación N°40. El laboratorio para el análisis de aceites y grasas correspondiente a la simulación N°20 en la tubería de PVC se realizaron los días 28.10.2024, 29.10.2024 y 30.10.2024. Los resultados se muestran a continuación.

Tabla 34

Simulación N°40 tubería de PVC. Concentración de aceites y grasas

Determinación de A&G durante la simulación N°40 (29.10.2024)			
MUESTRA 1		MUESTRA 2	
DATOS PRELIMINARES		DATOS PRELIMINARES	
$W_{VP \text{ vacío}}$	30.535 gr	$W_{VP \text{ vacío}}$	29.685 gr
$V_{alícuota}$	40.00 ml	$V_{alícuota}$	40.00 ml
$W_{VP+grasa}$	67.360 gr	$W_{VP+grasa}$	69.883 gr
Δ_{grasa}	36.825 gr	Δ_{grasa}	40.198 gr
$\rho_{alícuota}$	0.9206 gr/ml	$\rho_{alícuota}$	1.0049 gr/ml
EXTRACCIÓN DE A&G		EXTRACCIÓN DE A&G	
$W_{Erlenmeyer}$	64.613 gr	$W_{Erlenmeyer}$	76.410 gr
$W_{Erlenmeyer+aceite \text{ extraído}}$	101.402 gr	$W_{Erlenmeyer+aceite \text{ extraído}}$	115.667 gr
$W_{aceite \text{ extraído}}$	36.789 gr	$W_{aceite \text{ extraído}}$	39.257 gr
$V_{alícuota}$	40.00 ml	$V_{alícuota}$	40.00 ml

[A&G]	0.9197 gr/ml	[A&G]	0.9814 gr/ml
Determinación de A&G durante la simulación N°40 (29.10.2024)			
MUESTRA 1		MUESTRA 2	
DATOS PRELIMINARES		DATOS PRELIMINARES	
$W_{VP\ vacío}$	30.534 gr	$W_{VP\ vacío}$	29.686 gr
$V_{alícuota}$	30.00 ml	$V_{alícuota}$	30.00 ml
$W_{VP+grasa}$	58.109 gr	$W_{VP+grasa}$	59.839 gr
Δ_{grasa}	27.575 gr	Δ_{grasa}	30.153 gr
$\rho_{alícuota}$	0.9192 gr/ml	$\rho_{alícuota}$	1.0051 gr/ml
EXTRACCIÓN DE A&G		EXTRACCIÓN DE A&G	
$W_{Erlenmeyer}$	33.240 gr	$W_{Erlenmeyer}$	38.805 gr
$W_{Erlenmeyer+aceite\ extraído}$	60.517 gr	$W_{Erlenmeyer+aceite\ extraído}$	68.713 gr
$W_{aceite\ extraído}$	27.277 gr	$W_{aceite\ extraído}$	29.908 gr
$V_{alícuota}$	30.00 ml	$V_{alícuota}$	30.00 ml
[A&G]	0.9092 gr/ml	[A&G]	0.9969 gr/ml
Determinación de A&G durante la simulación N°40 (30.10.2024)			
MUESTRA 1		MUESTRA 2	
DATOS PRELIMINARES		DATOS PRELIMINARES	
$W_{VP\ vacío}$	31.478 gr	$W_{VP\ vacío}$	29.987 gr
$V_{alícuota}$	40.00 ml	$V_{alícuota}$	40.00 ml
$W_{VP+grasa}$	69.732 gr	$W_{VP+grasa}$	66.366 gr
Δ_{grasa}	38.254 gr	Δ_{grasa}	36.379 gr
$\rho_{alícuota}$	0.9564 gr/ml	$\rho_{alícuota}$	0.9095 gr/ml
EXTRACCIÓN DE A&G		EXTRACCIÓN DE A&G	
$W_{Erlenmeyer}$	31.248 gr	$W_{Erlenmeyer}$	36.509 gr
$W_{Erlenmeyer+aceite\ extraído}$	51.606 gr	$W_{Erlenmeyer+aceite\ extraído}$	59.808 gr
$W_{aceite\ extraído}$	20.358 gr	$W_{aceite\ extraído}$	23.299 gr
$V_{alícuota}$	40.00 ml	$V_{alícuota}$	40.00 ml
[A&G]	0.5089 gr/ml	[A&G]	0.5825 gr/ml

El promedio de aceites y grasas correspondientes a la muestra N°1 y muestra N°2 es de 0.7793 gr/ml y 0.8536 gr/ml respectivamente, con un ponderado de 0.8165 gr/ml.

El cálculo gravimétrico de la concentración de aceites y grasas correspondiente a la muestra N°1 y muestra N°2 se presentan a continuación:

$$[A\&G]_1 = \frac{(36.789 + 27.277 + 20.358)gr}{(40 + 30 + 40)ml} = 0.7675\ gr/ml$$

$$[A\&G]_2 = \frac{(39.257 + 29.908 + 23.299)gr}{(40 + 30 + 40)ml} = 0.8406\ gr/ml$$

La concentración de aceites y grasas media correspondiente a la simulación N°40 es de 0.8041 gr/ml.

La diferencia entre la concentración gravimétrica y la concentración ponderado de aceites y grasas es de 0.0124 gr/ml.

Para la densidad de la muestra tenemos las siguientes ecuaciones:

$$\rho_1 = \frac{(36.825 + 27.575 + 38.254)gr}{(40 + 30 + 40)ml} = 0.9332 \text{ gr/ml}$$

$$\rho_2 = \frac{(40.198 + 30.153 + 36.379)gr}{(40 + 30 + 40)ml} = 0.9703 \text{ gr/ml}$$

La densidad de las muestras N°1 y N°2 es de 0.9332 gr/ml y 0.9703 gr/ml.

3.9.2.3.2.3 Simulación N°60. Los análisis de aceites y grasas correspondientes a la simulación N°60 en la tubería de PVC se realizaron los días 30, 31 de octubre y 04 de noviembre del presente año 2024. Los resultados se muestran en las siguientes tablas:

Tabla 35

Simulación N°60 tubería de PVC. Concentración de aceites y grasas

Determinación de A&G durante la simulación N°60 (30.10.2024)			
MUESTRA 1		MUESTRA 2	
DATOS PRELIMINARES		DATOS PRELIMINARES	
$W_{VP \text{ vacío}}$	30.535 gr	$W_{VP \text{ vacío}}$	29.687 gr
$V_{alícuota}$	20.00 ml	$V_{alícuota}$	20.00 ml
$W_{VP+grasa}$	49.472 gr	$W_{VP+grasa}$	47.461 gr
Δ_{grasa}	18.937 gr	Δ_{grasa}	17.774 gr
$\rho_{alícuota}$	0.9468 gr/ml	$\rho_{alícuota}$	0.8887 gr/ml
EXTRACCIÓN DE A&G		EXTRACCIÓN DE A&G	
$W_{Erlenmeyer}$	157.010 gr	$W_{Erlenmeyer}$	133.143 gr
$W_{Erlenmeyer+aceite \text{ extraído}}$	175.320 gr	$W_{Erlenmeyer+aceite \text{ extraído}}$	151.134 gr
$W_{aceite \text{ extraído}}$	18.310 gr	$W_{aceite \text{ extraído}}$	17.991 gr
$V_{alícuota}$	20.00 ml	$V_{alícuota}$	20.00 ml
[A&G]	0.9155 gr/ml	[A&G]	0.8996 gr/ml
Determinación de A&G durante la simulación N°60 (31.10.2024)			
MUESTRA 1		MUESTRA 2	
DATOS PRELIMINARES		DATOS PRELIMINARES	

$W_{VP\ vacio}$	30.535 gr	$W_{VP\ vacio}$	29.688 gr
$V_{aliquota}$	10.00 ml	$V_{aliquota}$	10.00 ml
$W_{VP+grasa}$	40.497 gr	$W_{VP+grasa}$	39.037 gr
Δ_{grasa}	9.962 gr	Δ_{grasa}	9.349 gr
$\rho_{aliquota}$	0.9962 gr/ml	$\rho_{aliquota}$	0.9349 gr/ml
EXTRACCIÓN DE A&G		EXTRACCIÓN DE A&G	
$W_{Erlenmeyer}$	41.048 gr	$W_{Erlenmeyer}$	44.729 gr
$W_{Erlenmeyer+aceite\ extraído}$	50.589 gr	$W_{Erlenmeyer+aceite\ extraído}$	44.179 gr
$W_{aceite\ extraído}$	9.541 gr	$W_{aceite\ extraído}$	6.870 gr
$V_{aliquota}$	10.00 ml	$V_{aliquota}$	10.00 ml
[A&G]	0.9541 gr/ml	[A&G]	0.6870 gr/ml
Determinación de A&G durante la simulación N°60 (04.11.2024)			
MUESTRA 1		MUESTRA 2	
DATOS PRELIMINARES		DATOS PRELIMINARES	
$W_{VP\ vacio}$	30.535 gr	$W_{VP\ vacio}$	29.688 gr
$V_{aliquota}$	20.00 ml	$V_{aliquota}$	20.00 ml
$W_{VP+grasa}$	50.142 gr	$W_{VP+grasa}$	48.546 gr
Δ_{grasa}	19.607 gr	Δ_{grasa}	18.858 gr
$\rho_{aliquota}$	0.9803 gr/ml	$\rho_{aliquota}$	0.9429 gr/ml
EXTRACCIÓN DE A&G		EXTRACCIÓN DE A&G	
$W_{Erlenmeyer}$	33.225 gr	$W_{Erlenmeyer}$	38.806 gr
$W_{Erlenmeyer+aceite\ extraído}$	39.511 gr	$W_{Erlenmeyer+aceite\ extraído}$	50.993 gr
$W_{aceite\ extraído}$	6.286 gr	$W_{aceite\ extraído}$	12.187 gr
$V_{aliquota}$	20.00 ml	$V_{aliquota}$	20.00 ml
[A&G]	0.3143 gr/ml	[A&G]	0.6094 gr/ml

El promedio aritmético de concentración de aceites y grasas correspondientes a la muestra N°1 y muestra N°2 es de 0.7280 gr/ml y 0.7320 gr/ml respectivamente, con un ponderado de 0.7300 gr/ml.

El cálculo gravimétrico de la concentración de aceites y grasas correspondiente a la muestra N°1 y muestra N°2 se presentan a continuación:

$$[A\&G]_1 = \frac{(18.310 + 9.541 + 6.286)gr}{(20 + 10 + 20)ml} = 0.6827\ gr/ml$$

$$[A\&G]_2 = \frac{(17.991 + 6.870 + 12.187)gr}{(20 + 10 + 20)ml} = 0.7410\ gr/ml$$

La concentración de aceites y grasas media correspondiente a la simulación N°60 es de 0.7118 gr/ml.

La diferencia entre la concentración gravimétrica y la concentración ponderado de aceites y grasas es de 0.0182 gr/ml.

Para la densidad de la muestra tenemos las siguientes ecuaciones:

$$\rho_1 = \frac{(18.937 + 9.962 + 19.607)gr}{(20 + 10 + 20)ml} = 0.9701 \text{ gr/ml}$$

$$\rho_2 = \frac{(17.774 + 9.349 + 18.858)gr}{(20 + 10 + 20)ml} = 0.9196 \text{ gr/ml}$$

La densidad de las muestras N°1 y N°2 es de 0.9701 gr/ml y 0.9196 gr/ml.

3.9.2.3.2.4 Simulación N°80. Los análisis de aceites y grasas correspondientes a la simulación N°60 en la tubería de PVC se realizaron los días 04, 05 y 06 de noviembre del presente año 2024. Los resultados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 36

Simulación N°80 tubería de PVC. Concentración de aceites y grasas

Determinación de A&G durante la simulación N°80 (04.11.2024)			
MUESTRA 1		MUESTRA 2	
DATOS PRELIMINARES		DATOS PRELIMINARES	
$W_{VP \text{ vacío}}$	31.475 gr	$W_{VP \text{ vacío}}$	28.988 gr
$V_{alícuota}$	40.00 ml	$V_{alícuota}$	40.00 ml
$W_{VP+grasa}$	69.857 gr	$W_{VP+grasa}$	65.617 gr
Δ_{grasa}	38.382 gr	Δ_{grasa}	36.629 gr
$\rho_{alícuota}$	0.9596 gr/ml	$\rho_{alícuota}$	0.9157 ml
EXTRACCIÓN DE A&G		EXTRACCIÓN DE A&G	
$W_{Erlenmeyer}$	64.613 gr	$W_{Erlenmeyer}$	76.408 gr
$W_{Erlenmeyer+aceite \text{ extraído}}$	102.030 gr	$W_{Erlenmeyer+aceite \text{ extraído}}$	112.879 gr
$W_{aceite \text{ extraído}}$	37.417 gr	$W_{aceite \text{ extraído}}$	36.471 gr
$V_{alícuota}$	40.00 ml	$V_{alícuota}$	40.00 ml
[A&G]	0.9354 gr/ml	[A&G]	0.9118 gr/ml
Determinación de A&G durante la simulación N°80 (05.11.2024)			
MUESTRA 1		MUESTRA 2	
DATOS PRELIMINARES		DATOS PRELIMINARES	

$W_{VP\text{ vacío}}$	30.535 gr	$W_{VP\text{ vacío}}$	29.688 gr
V_{alicuota}	20.00 ml	V_{alicuota}	20.00 ml
$W_{VP+grasa}$	48.633 gr	$W_{VP+grasa}$	48.888 gr
Δ_{grasa}	18.098 gr	Δ_{grasa}	19.20 gr
ρ_{alicuota}	0.9049 gr/ml	ρ_{alicuota}	0.96 gr/ml
EXTRACCIÓN DE A&G		EXTRACCIÓN DE A&G	
$W_{\text{Erlenmeyer}}$	41.047 gr	$W_{\text{Erlenmeyer}}$	36.511 gr
$W_{\text{Erlenmeyer+aceite extraído}}$	59.124 gr	$W_{\text{Erlenmeyer+aceite extraído}}$	45.937 gr
$W_{\text{aceite extraído}}$	18.077 gr	$W_{\text{aceite extraído}}$	9.426 gr
V_{alicuota}	20.00 ml	V_{alicuota}	20.00 ml
[A&G]	0.9038 gr/ml	[A&G]	0.4713 gr/ml
Determinación de A&G durante la simulación N°80 (06.11.2024)			
MUESTRA 1		MUESTRA 2	
DATOS PRELIMINARES		DATOS PRELIMINARES	
$W_{VP\text{ vacío}}$	31.477 gr	$W_{VP\text{ vacío}}$	29.988 gr
V_{alicuota}	30.00 ml	V_{alicuota}	20.00 ml
$W_{VP+grasa}$	61.838 gr	$W_{VP+grasa}$	48.334 gr
Δ_{grasa}	30.361 gr	Δ_{grasa}	18.346 gr
ρ_{alicuota}	1.012 gr/ml	ρ_{alicuota}	0.9173 gr/ml
EXTRACCIÓN DE A&G		EXTRACCIÓN DE A&G	
$W_{\text{Erlenmeyer}}$	31.360 gr	$W_{\text{Erlenmeyer}}$	37.375 gr
$W_{\text{Erlenmeyer+aceite extraído}}$	34.561 gr	$W_{\text{Erlenmeyer+aceite extraído}}$	46.661 gr
$W_{\text{aceite extraído}}$	3.201 gr	$W_{\text{aceite extraído}}$	9.286 gr
V_{alicuota}	30.00 ml	V_{alicuota}	20.00 ml
[A&G]	0.1067 gr/ml	[A&G]	0.4643 gr/ml
Determinación de A&G durante la simulación N°80 (07.11.2024)			
-	-	MUESTRA 2	
-	-	DATOS PRELIMINARES	
-	-	$W_{VP\text{ vacío}}$	31.476 gr
-	-	V_{alicuota}	7.00 ml
-	-	$W_{VP+grasa}$	38.722 gr
-	-	Δ_{grasa}	7.246 gr
-	-	ρ_{alicuota}	1.0351 gr/ml
-	-	EXTRACCIÓN DE A&G	
-	-	$W_{\text{Erlenmeyer}}$	41.045 gr
-	-	$W_{\text{Erlenmeyer+aceite extraído}}$	43.198 gr
-	-	$W_{\text{aceite extraído}}$	2.153 gr
-	-	V_{alicuota}	7.00 ml
-	-	[A&G]	0.3076 gr/ml

Se ha realizado un análisis adicional para la muestra N°2 debido a que aún sobraba agua residual graso dentro del frasco perteneciente a la toma N°2.

La media aritmética de la concentración de aceites y grasas correspondiente a la muestra N°1 y muestra N°2 es de 0.6486 gr/ml y 0.5387 gr/ml respectivamente, con un ponderado de 0.5937 gr/ml.

El cálculo gravimétrico de la concentración de aceites y grasas correspondiente a la muestra N°1 y muestra N°2 se presentan a continuación:

$$[A\&G]_1 = \frac{(37.417 + 18.077 + 3.201)gr}{(40 + 20 + 30)ml} = 0.6522 \text{ gr/ml}$$

$$[A\&G]_2 = \frac{(36.471 + 9.426 + 9.286 + 2.153)gr}{(40 + 20 + 20 + 7)ml} = 0.6590 \text{ gr/ml}$$

La diferencia de concentración de aceites y grasas entre las muestras es de 0.0068 gr/ml. La concentración de aceites y grasas media correspondiente a la simulación N°80 es de 0.6556 gr/ml.

La diferencia entre la concentración gravimétrica y la concentración ponderado de aceites y grasas es de 0.0619 gr/ml.

Para las densidades de las muestras tenemos las siguientes ecuaciones:

$$\rho_1 = \frac{(38.382 + 18.098 + 30.361)gr}{(40 + 20 + 30)ml} = 0.9649 \text{ gr/ml}$$

$$\rho_2 = \frac{(36.629 + 19.20 + 18.346 + 7.246)gr}{(40 + 20 + 20 + 7)ml} = 0.9359 \text{ gr/ml}$$

Las densidades de las muestras N°1 y N°2 es de 0.9649 gr/ml y 0.9359 gr/ml.

3.9.2.3.2.5 Simulación N°100. Los análisis de aceites y grasas correspondientes a la simulación N°60 en la tubería de PVC se realizaron los días 06, 07 y 08 de noviembre del presente año 2024. Los resultados se muestran en las siguientes tablas:

Tabla 37

Simulación N°100 tubería de PVC. Concentración de aceites y grasas

Determinación de A&G durante la simulación N°100 (06.11.2024)			
MUESTRA 1		MUESTRA 2	
DATOS PRELIMINARES		DATOS PRELIMINARES	
$W_{VP\ vacío}$	30.534 gr	$W_{VP\ vacío}$	29.688 gr
$V_{alícuota}$	40.00 ml	$V_{alícuota}$	40.00 ml
$W_{VP+grasa}$	69.668 gr	$W_{VP+grasa}$	68.628 gr
Δ_{grasa}	39.134 gr	Δ_{grasa}	38.94 gr
$\rho_{alícuota}$	0.9784 gr/ml	$\rho_{alícuota}$	0.9735 gr/ml
EXTRACCIÓN DE A&G		EXTRACCIÓN DE A&G	
$W_{Erlenmeyer}$	157.435 gr	$W_{Erlenmeyer}$	133.736 gr
$W_{Erlenmeyer+aceite\ extraído}$	196.088 gr	$W_{Erlenmeyer+aceite\ extraído}$	171.889 gr
$W_{aceite\ extraído}$	38.653 gr	$W_{aceite\ extraído}$	38.153 gr
$V_{alícuota}$	40.00 ml	$V_{alícuota}$	40.00 ml
[A&G]	0.9663 gr/ml	[A&G]	0.9538 gr/ml
Determinación de A&G durante la simulación N°100 (07.11.2024)			
MUESTRA 1		MUESTRA 2	
DATOS PRELIMINARES		DATOS PRELIMINARES	
$W_{VP\ vacío}$	30.534 gr	$W_{VP\ vacío}$	29.688 gr
$V_{alícuota}$	30.00 ml	$V_{alícuota}$	30.00 ml
$W_{VP+grasa}$	60.054 gr	$W_{VP+grasa}$	58.416 gr
Δ_{grasa}	29.520 gr	Δ_{grasa}	28.728 gr
$\rho_{alícuota}$	0.9840 gr/ml	$\rho_{alícuota}$	0.9576 gr/ml
EXTRACCIÓN DE A&G		EXTRACCIÓN DE A&G	
$W_{Erlenmeyer}$	33.223 gr	$W_{Erlenmeyer}$	38.821 gr
$W_{Erlenmeyer+aceite\ extraído}$	40.496 gr	$W_{Erlenmeyer+aceite\ extraído}$	51.623 gr
$W_{aceite\ extraído}$	7.273 gr	$W_{aceite\ extraído}$	12.802 gr
$V_{alícuota}$	30.00 ml	$V_{alícuota}$	30.00 ml
[A&G]	0.2424 gr/ml	[A&G]	0.4267 gr/ml
Determinación de A&G durante la simulación N°100 (08.11.2024)			
MUESTRA 1		MUESTRA 2	
DATOS PRELIMINARES		DATOS PRELIMINARES	
$W_{VP\ vacío}$	30.534 gr	$W_{VP\ vacío}$	29.687 gr
$V_{alícuota}$	3.00 ml	$V_{alícuota}$	8.50 ml
$W_{VP+grasa}$	33.202 gr	$W_{VP+grasa}$	37.943 gr
Δ_{grasa}	2.668 gr	Δ_{grasa}	8.256 gr

$\rho_{alicuota}$	0.8893 gr/ml	$\rho_{alicuota}$	0.9713 gr/ml
EXTRACCIÓN DE A&G		EXTRACCIÓN DE A&G	
$W_{Erlenmeyer}$	33.221 gr	$W_{Erlenmeyer}$	38.802 gr
$W_{Erlenmeyer+aceite\ extraído}$	35.775 gr	$W_{Erlenmeyer+aceite\ extraído}$	46.813 gr
$W_{aceite\ extraído}$	2.554 gr	$W_{aceite\ extraído}$	8.011 gr
$V_{alicuota}$	3.00 ml	$V_{alicuota}$	8.50 ml
[A&G]	0.8513 gr/ml	[A&G]	0.9425 gr/ml

El promedio aritmético de concentración de aceites y grasas correspondientes a la muestra N°1 y muestra N°2 es de 0.6867 gr/ml y 0.7743 gr/ml respectivamente, con un ponderado de 0.7305 gr/ml.

El cálculo gravimétrico de la concentración de aceites y grasas correspondiente a la muestra N°1 y muestra N°2 se presentan a continuación:

$$[A\&G]_1 = \frac{(38.653 + 7.273 + 2.554)gr}{(40 + 30 + 3)ml} = 0.6641 \text{ gr/ml}$$

$$[A\&G]_2 = \frac{(38.153 + 12.802 + 8.011)gr}{(40 + 30 + 8.50)ml} = 0.7512 \text{ gr/ml}$$

La concentración de aceites y grasas media correspondiente a la simulación N°100 es de 0.7076 gr/ml.

La diferencia entre la concentración gravimétrica y la concentración ponderado de aceites y grasas es de 0.023 gr/ml.

Para las densidades de las muestras tenemos las siguientes ecuaciones:

$$\rho_1 = \frac{(39.134 + 29.520 + 2.668)gr}{(40 + 30 + 3)ml} = 0.9770 \text{ gr/ml}$$

$$\rho_2 = \frac{(38.94 + 28.728 + 8.256)gr}{(40 + 30 + 8.50)ml} = 0.9672 \text{ gr/ml}$$

Las densidades de las muestras N°1 y N°2 es de 0.9770 gr/ml y 0.9672 gr/ml.

3.9.2.3.2.6 Resumen de resultados.

3.9.2.3.2.6.1 Resultados de aceites y grasas. A continuación, se muestra el cuadro resumen de resultados de laboratorio obtenidos para la tubería de PVC en gr/ml.

Tabla 38

Resumen de resultados. Concentración de A&G de la tubería de PVC

Simulación	T (°C)	[A&G] _{M1}	[A&G] _{M2}	Diferencia(Δ)	Concentración A&G
0	25.0°C	0.8266 gr/ml	0.9854 gr/ml	0.1588 gr/ml	0.9060 gr/ml
20	27.1°C	0.8699 gr/ml	0.8847 gr/ml	0.0148 gr/ml	0.8773 gr/ml
40	24.8°C	0.7675 gr/ml	0.8406 gr/ml	0.0731 gr/ml	0.8041 gr/ml
60	26.2°C	0.6827 gr/ml	0.7410 gr/ml	0.0583 gr/ml	0.7118 gr/ml
80	26.4°C	0.6522 gr/ml	0.6590 gr/ml	0.0068 gr/ml	0.6556 gr/ml
100	31.0°C	0.6641 gr/ml	0.7512 gr/ml	0.0871 gr/ml	0.7076 gr/ml

3.9.2.3.2.6.2 Densidades de las muestras.

Tabla 39

Tabla de densidades de las muestras tomadas de la tubería de PVC

Simulación	ρ_{M1}	ρ_{M2}	ρ_{media}
0	0.9580 gr/ml	1.1067 gr/ml	1.0324 gr/ml
20	1.1032 gr/ml	1.1476 gr/ml	1.1254 gr/ml
40	0.9332 gr/ml	0.9703 gr/ml	0.9518 gr/ml
60	0.9701 gr/ml	0.9196 gr/ml	0.9448 gr/ml
80	0.9649 gr/ml	0.9359 gr/ml	0.9504 gr/ml
100	0.9770 gr/ml	0.9672 gr/ml	0.9721 gr/ml

La densidad promedio para el agua residual graso que circuló por la tubería de PVC es de 0.9962 gr/ml.

3.9.2.4 Tubería de polipropileno. Debido al evento dado por el APEC el gobierno peruano ha decretado como feriados o no laborables para el sector público desde el 13 al 16 de noviembre, además sumado a hecho que por motivos de ABET y fiscalización de espacios de la FIA la oficina de infraestructura exhorto agilizar en lo más posible el proyecto de tesis para la entrega del espacio dando de esta manera permiso para el ingreso del tesista los días no laborables a la facultad para la continuación de las simulaciones en la tubería de PPR. Debido a que el laboratorio 21 de la FIQT no estuvo habilitado para las fechas programadas para la APEC se han tomado las muestras durante la semana no laborable y se procedió a conservarlas con ácido sulfúrico según lo recomendado por la literatura hasta la siguiente semana del 18 de noviembre en donde se procedió a realizar todos los análisis de laboratorio correspondiente a la tubería de polipropileno (PPR).

Figura 37

Flujo de agua residual graso vertiendo de la tubería de PPR



Figura 38

Muestras de A&G tomadas durante la semana de APEC.



3.9.2.4.1 Concentración de aceites y grasas-afluente. El análisis de aceites y grasas del afluente para la tubería de PPR se realizaron los días 18 y 19 de noviembre del año 2024. Los resultados de laboratorio se visualizan en la tabla N°35.

Tabla 40

Simulación N°0 tubería de PPR. Concentración de aceites y grasas

Determinación de A&G del afluente (18.11.2024)			
MUESTRA 1		MUESTRA 2	
DATOS PRELIMINARES		DATOS PRELIMINARES	
$W_{VP\ vacío}$	31.476 gr	$W_{VP\ vacío}$	28.989 gr
$V_{alícuota}$	30.00 ml	$V_{alícuota}$	30.00 ml
$W_{VP+grasa}$	63.454 gr	$W_{VP+grasa}$	60.877 gr
Δ_{grasa}	31.978 gr	Δ_{grasa}	31.888 gr
$\rho_{alícuota}$	1.0659 gr/ml	$\rho_{alícuota}$	1.0629 gr/ml
EXTRACCIÓN DE A&G		EXTRACCIÓN DE A&G	
$W_{Erlenmeyer}$	64.607 gr	$W_{Erlenmeyer}$	76.403 gr
$W_{Erlenmeyer+aceite\ extraído}$	96.466 gr	$W_{Erlenmeyer+aceite\ extraído}$	108.105 gr
$W_{aceite\ extraído}$	31.859 gr	$W_{aceite\ extraído}$	31.702 gr
$V_{alícuota}$	30.00 ml	$V_{alícuota}$	30.00 ml
[A&G]	1.062 gr/ml	[A&G]	1.057 gr/ml
Determinación de A&G del afluente (19.11.2024)			
MUESTRA 1		MUESTRA 2	
DATOS PRELIMINARES		DATOS PRELIMINARES	
$W_{VP\ vacío}$	52.886 gr	$W_{VP\ vacío}$	53.396 gr
$V_{alícuota}$	94.00 ml	$V_{alícuota}$	114.00 ml
$W_{VP+grasa}$	137.372 gr	$W_{VP+grasa}$	157.237 gr

Δ_{grasa}	84.486 gr	Δ_{grasa}	103.841 gr
$\rho_{alícuota}$	0.8988 gr/ml	$\rho_{alícuota}$	0.9109 gr/ml
EXTRACCIÓN DE A&G		EXTRACCIÓN DE A&G	
$W_{Erlenmeyer}$	76.743 gr	$W_{Erlenmeyer}$	64.777 gr
$W_{Erlenmeyer+aceite\ extraído}$	156.856 gr	$W_{Erlenmeyer+aceite\ extraído}$	158.058 gr
$W_{aceite\ extraído}$	80.113 gr	$W_{aceite\ extraído}$	93.281 gr
$V_{alícuota}$	94.00 ml	$V_{alícuota}$	114.00 ml
[A&G]	0.8523 gr/ml	[A&G]	0.8183 gr/ml

El promedio aritmético de concentración de aceites y grasas correspondientes a la muestra N°1 y muestra N°2 es de 0.9572 gr/ml y 0.9377 gr/ml respectivamente, con un ponderado de 0.9475 gr/ml.

El cálculo gravimétrico de la concentración de aceites y grasas correspondiente a la muestra N°1 y muestra N°2 se presentan a continuación:

$$[A\&G]_1 = \frac{(31.859 + 80.113)gr}{(30 + 94)ml} = 0.903 \text{ gr/ml}$$

$$[A\&G]_2 = \frac{(31.702 + 93.281)gr}{(30 + 114)ml} = 0.8679 \text{ gr/ml}$$

La concentración de aceites y grasas media correspondiente al afluyente (Simulación 0) es de 0.8855 gr/ml.

La diferencia entre la concentración gravimétrica y la concentración ponderado de aceites y grasas es de 0.062 gr/ml.

Para las densidades de las muestras tenemos las siguientes ecuaciones:

$$\rho_1 = \frac{(31.978 + 84.486)gr}{(30 + 94)ml} = 0.9392 \text{ gr/ml}$$

$$\rho_2 = \frac{(31.888 + 103.841)gr}{(30 + 114)ml} = 0.9426 \text{ gr/ml}$$

Las densidades de las muestras N°1 y N°2 son de 0.9392 gr/ml y 0.9426 gr/ml.

3.9.2.4.2 Concentración de aceites y grasas a lo largo de las simulaciones-

Efluente.

3.9.2.4.2.1 Simulación N°20. Los análisis de aceites y grasas correspondiente a la simulación N°20 se ha llevado a cabo los días 20 y 21 de noviembre del año 2024. Los resultados se visualizan en la siguiente tabla.

Tabla 41

Simulación N°20 tubería de PPR. Concentración de aceites y grasas

Determinación de A&G durante la simulación N°20 (20.11.2024)			
MUESTRA 1		MUESTRA 2	
DATOS PRELIMINARES		DATOS PRELIMINARES	
$W_{VP\ vacío}$	29.689 gr	$W_{VP\ vacío}$	28.989 gr
$V_{alícuota}$	30.00 ml	$V_{alícuota}$	30.00 ml
$W_{VP+grasa}$	56.669 gr	$W_{VP+grasa}$	55.989 gr
Δ_{grasa}	26.980 gr	Δ_{grasa}	27.00 gr
$\rho_{alícuota}$	0.8993 gr/ml	$\rho_{alícuota}$	0.90 gr/ml
EXTRACCIÓN DE A&G		EXTRACCIÓN DE A&G	
$W_{Erlenmeyer}$	36.514 gr	$W_{Erlenmeyer}$	37.265 gr
$W_{Erlenmeyer+aceite\ extraído}$	63.235 gr	$W_{Erlenmeyer+aceite\ extraído}$	63.983 gr
$W_{aceite\ extraído}$	26.721 gr	$W_{aceite\ extraído}$	26.718 gr
$V_{alícuota}$	30.00 ml	$V_{alícuota}$	30.00 ml
[A&G]	0.8907 gr/ml	[A&G]	0.8906 gr/ml
Determinación de A&G durante la simulación N°20 (20.11.2024)			
MUESTRA 1		MUESTRA 2	
DATOS PRELIMINARES		DATOS PRELIMINARES	
$W_{VP\ vacío}$	30.533 gr	$W_{VP\ vacío}$	28.109 gr
$V_{alícuota}$	30.00 ml	$V_{alícuota}$	30.00 ml
$W_{VP+grasa}$	57.703 gr	$W_{VP+grasa}$	55.359 gr
Δ_{grasa}	27.170 gr	Δ_{grasa}	27.250 gr
$\rho_{alícuota}$	0.9057 gr/ml	$\rho_{alícuota}$	0.9083 gr/ml
EXTRACCIÓN DE A&G		EXTRACCIÓN DE A&G	
$W_{Erlenmeyer}$	41.045 gr	$W_{Erlenmeyer}$	31.248 gr
$W_{Erlenmeyer+aceite\ extraído}$	67.669 gr	$W_{Erlenmeyer+aceite\ extraído}$	57.895 gr
$W_{aceite\ extraído}$	26.624 gr	$W_{aceite\ extraído}$	26.647 gr
$V_{alícuota}$	30.00 ml	$V_{alícuota}$	30.00 ml
[A&G]	0.8875 gr/ml	[A&G]	0.8882 gr/ml
Determinación de A&G durante la simulación N°100 (21.11.2024)			
MUESTRA 1		MUESTRA 2	
DATOS PRELIMINARES		DATOS PRELIMINARES	
$W_{VP\ vacío}$	29.641 gr	$W_{VP\ vacío}$	29.989 gr

$V_{alicuota}$	32.00 ml	$V_{alicuota}$	27.30 ml
$W_{VP+grasa}$	59.902 gr	$W_{VP+grasa}$	56.122 gr
Δ_{grasa}	30.211 gr	Δ_{grasa}	26.133 gr
$\rho_{alicuota}$	0.9441 gr/ml	$\rho_{alicuota}$	0.9573 gr/ml
EXTRACCIÓN DE A&G		EXTRACCIÓN DE A&G	
$W_{Erlenmeyer}$	83.498 gr	$W_{Erlenmeyer}$	67.348 gr
$W_{Erlenmeyer+aceite\ extraído}$	109.680 gr	$W_{Erlenmeyer+aceite\ extraído}$	92.890 gr
$W_{aceite\ extraído}$	26.182 gr	$W_{aceite\ extraído}$	25.542 gr
$V_{alicuota}$	32.00 ml	$V_{alicuota}$	27.30 ml
$[A\&G]$	0.8182 gr/ml	$[A\&G]$	0.9356 gr/ml

El promedio aritmético de concentración de aceites y grasas correspondientes a la muestra N°1 y muestra N°2 es de 0.8655 gr/ml y 0.9048 gr/ml respectivamente, con un ponderado de 0.8852 gr/ml.

El cálculo gravimétrico de la concentración de aceites y grasas correspondiente a la muestra N°1 y muestra N°2 se presentan a continuación:

$$[A\&G]_1 = \frac{(26.721 + 26.624 + 26.182)gr}{(30 + 30 + 32)ml} = 0.8644 \text{ gr/ml}$$

$$[A\&G]_2 = \frac{(26.718 + 26.647 + 25.542)gr}{(30 + 30 + 27.3)ml} = 0.9039 \text{ gr/ml}$$

La concentración de aceites y grasas media correspondiente a la simulación N°20 en la tubería de PPR es de 0.8842 gr/ml.

La diferencia entre la concentración gravimétrica y la concentración ponderado de aceites y grasas es de 0.001 gr/ml.

Para las densidades de las muestras tenemos las siguientes ecuaciones:

$$\rho_1 = \frac{(26.980 + 27.170 + 30.211)gr}{(30 + 30 + 32)ml} = 0.9170 \text{ gr/ml}$$

$$\rho_2 = \frac{(27.00 + 27.250 + 26.133)gr}{(30 + 30 + 27.3)ml} = 0.9208 \text{ gr/ml}$$

Las densidades de las muestras N°1 y N°2 son de 0.9170 gr/ml y 0.9208 gr/ml.

3.9.2.4.2 Simulación N°40. Los análisis de aceites y grasas correspondiente a la simulación N°20 se ha llevado a cabo los días 21 y 22 de noviembre del año 2024. Los resultados se visualizan en la siguiente tabla.

Tabla 42

Simulación N°40 tubería de PPR. Concentración de aceites y grasas

Determinación de A&G durante la simulación N°40 (21.11.2024)			
MUESTRA 1		MUESTRA 2	
DATOS PRELIMINARES		DATOS PRELIMINARES	
$W_{VP\text{ vacío}}$	30.537 gr	$W_{VP\text{ vacío}}$	28.110 gr
$V_{\text{alícuota}}$	40.00 ml	$V_{\text{alícuota}}$	40.00 ml
$W_{VP+grasa}$	67.930 gr	$W_{VP+grasa}$	64.511 gr
Δ_{grasa}	37.393 gr	Δ_{grasa}	36.401 gr
$\rho_{\text{alícuota}}$	0.9348 gr/ml	$\rho_{\text{alícuota}}$	0.9100 gr/ml
EXTRACCIÓN DE A&G		EXTRACCIÓN DE A&G	
$W_{\text{Erlenmeyer}}$	64.611 gr	$W_{\text{Erlenmeyer}}$	76.405 gr
$W_{\text{Erlenmeyer+aceite extraído}}$	101.459 gr	$W_{\text{Erlenmeyer+aceite extraído}}$	112.464 gr
$W_{\text{aceite extraído}}$	36.848 gr	$W_{\text{aceite extraído}}$	36.059 gr
$V_{\text{alícuota}}$	40.00 ml	$V_{\text{alícuota}}$	40.00 ml
[A&G]	0.9212 gr/ml	[A&G]	0.9015 gr/ml
Determinación de A&G durante la simulación N°40 (22.11.2024)			
MUESTRA 1		MUESTRA 2	
DATOS PRELIMINARES		DATOS PRELIMINARES	
$W_{VP\text{ vacío}}$	30.535 gr	$W_{VP\text{ vacío}}$	29.989 gr
$V_{\text{alícuota}}$	40.00 ml	$V_{\text{alícuota}}$	48.00 ml
$W_{VP+grasa}$	70.781 gr	$W_{VP+grasa}$	74.248 gr
Δ_{grasa}	40.246 gr	Δ_{grasa}	44.259 gr
$\rho_{\text{alícuota}}$	1.006 gr/ml	$\rho_{\text{alícuota}}$	0.9221 gr/ml
EXTRACCIÓN DE A&G		EXTRACCIÓN DE A&G	
$W_{\text{Erlenmeyer}}$	33.221 gr	$W_{\text{Erlenmeyer}}$	38.802 gr
$W_{\text{Erlenmeyer+aceite extraído}}$	59.996 gr	$W_{\text{Erlenmeyer+aceite extraído}}$	76.111 gr
$W_{\text{aceite extraído}}$	26.775 gr	$W_{\text{aceite extraído}}$	37.309 gr
$V_{\text{alícuota}}$	40.00 ml	$V_{\text{alícuota}}$	48.00 ml
[A&G]	0.6694 gr/ml	[A&G]	0.7773 gr/ml

El promedio aritmético de concentración de aceites y grasas correspondientes a la muestra N°1 y muestra N°2 es de 0.7953 gr/ml y 0.8394 gr/ml respectivamente, con un ponderado de 0.8174 gr/ml.

El cálculo gravimétrico de la concentración de aceites y grasas correspondiente a la muestra N°1 y muestra N°2 se presentan a continuación:

$$[A\&G]_1 = \frac{(36.848 + 26.775)gr}{(40 + 40)ml} = 0.7953 \text{ gr/ml}$$

$$[A\&G]_2 = \frac{(36.059 + 37.309)gr}{(40 + 48)ml} = 0.8337 \text{ gr/ml}$$

La concentración de aceites y grasas media correspondiente a la simulación N°40 en la tubería de PPR es de 0.8145 gr/ml.

La diferencia entre la concentración gravimétrica y la concentración ponderado de aceites y grasas es de 0.0029 gr/ml.

Para las densidades de las muestras tenemos las siguientes ecuaciones:

$$\rho_1 = \frac{(37.393 + 40.246)gr}{(40 + 40)ml} = 0.9705 \text{ gr/ml}$$

$$\rho_2 = \frac{(36.401 + 44.259)gr}{(40 + 48)ml} = 0.9166 \text{ gr/ml}$$

Las densidades de las muestras N°1 y N°2 son de 0.9580 gr/ml y 0.9166 gr/ml.

3.9.2.4.2.3 Simulación N°60.

Los análisis de aceites y grasas correspondiente a la simulación N°20 se ha llevado a cabo los días 22 y 25 de noviembre del año 2024. Los resultados se visualizan en la siguiente tabla.

Tabla 43

Simulación N°60 tubería de PPR. Concentración de aceites y grasas

Determinación de A&G durante la simulación N°60 (22.11.2024)

MUESTRA 1		MUESTRA 2	
DATOS PRELIMINARES		DATOS PRELIMINARES	
$W_{VP \text{ vacío}}$	28.107 gr	$W_{VP \text{ vacío}}$	28.987 gr

$V_{alicuota}$	40.00 ml	$V_{alicuota}$	40.00 ml
$W_{VP+grasa}$	64.130	$W_{VP+grasa}$	65.702 gr
Δ_{grasa}	36.023 gr	Δ_{grasa}	36.715 gr
$\rho_{alicuota}$	0.9006 gr/ml	$\rho_{alicuota}$	0.9179 gr/ml
EXTRACCIÓN DE A&G		EXTRACCIÓN DE A&G	
$W_{Erlenmeyer}$	157.072 gr	$W_{Erlenmeyer}$	133.143 gr
$W_{Erlenmeyer+aceite\ extraído}$	192.555 gr	$W_{Erlenmeyer+aceite\ extraído}$	169.328 gr
$W_{aceite\ extraído}$	35.483 gr	$W_{aceite\ extraído}$	36.185 gr
$V_{alicuota}$	40.00 ml	$V_{alicuota}$	40.00 ml
[A&G]	0.8871 gr/ml	[A&G]	0.9046 gr/ml
Determinación de A&G durante la simulación N°60 (25.11.2024)			
MUESTRA 1		MUESTRA 2	
DATOS PRELIMINARES		DATOS PRELIMINARES	
$W_{VP\ vacío}$	29.687 gr	$W_{VP\ vacío}$	31.477 gr
$V_{alicuota}$	14.00 ml	$V_{alicuota}$	26.00 ml
$W_{VP+grasa}$	45.054 gr	$W_{VP+grasa}$	61.210 gr
Δ_{grasa}	15.367 gr	Δ_{grasa}	29.733 gr
$\rho_{alicuota}$	1.097 gr/ml	$\rho_{alicuota}$	1.1436 gr/ml
EXTRACCIÓN DE A&G		EXTRACCIÓN DE A&G	
$W_{Erlenmeyer}$	36.505 gr	$W_{Erlenmeyer}$	37.262 gr
$W_{Erlenmeyer+aceite\ extraído}$	48.410 gr	$W_{Erlenmeyer+aceite\ extraído}$	50.229 gr
$W_{aceite\ extraído}$	11.905 gr	$W_{aceite\ extraído}$	12.967 gr
$V_{alicuota}$	14.00 ml	$V_{alicuota}$	26.00 ml
[A&G]	0.8504 gr/ml	[A&G]	0.4987 gr/ml

El promedio aritmético de concentración de aceites y grasas correspondientes a la muestra N°1 y muestra N°2 es de 0.8688 gr/ml y 0.7017 gr/ml respectivamente, con un ponderado de 0.7853 gr/ml.

El cálculo gravimétrico de la concentración de aceites y grasas correspondiente a la muestra N°1 y muestra N°2 se presentan a continuación:

$$[A\&G]_1 = \frac{(35.483 + 11.905)gr}{(40 + 14)ml} = 0.8776 \text{ gr/ml}$$

$$[A\&G]_2 = \frac{(36.185 + 12.967)gr}{(40 + 26)ml} = 0.7447 \text{ gr/ml}$$

La concentración de aceites y grasas media correspondiente a la simulación N°60 en la tubería de PPR es de 0.8112 gr/ml.

La diferencia entre la concentración gravimétrica y la concentración ponderado de aceites y grasas es de 0.0259 gr/ml.

Para las densidades de las muestras tenemos las siguientes ecuaciones:

$$\rho_1 = \frac{(36.023 + 15.367)gr}{(40 + 14)ml} = 0.9517 \text{ gr/ml}$$

$$\rho_2 = \frac{(36.715 + 29.733)gr}{(40 + 26)ml} = 1.0068 \text{ gr/ml}$$

Las densidades de las muestras N°1 y N°2 son de 0.9517 gr/ml y 1.0068 gr/ml.

3.9.2.4.2.4 Simulación N°80. Los análisis de aceites y grasas correspondiente a la simulación N°80 se ha llevado a cabo los días 26 y 27 de noviembre del año 2024. Los resultados se visualizan en la siguiente tabla.

Tabla 44

Simulación N°80 tubería de PPR. Concentración de aceites y grasas

Determinación de A&G durante la simulación N°80 (26.11.2024)			
MUESTRA 1		MUESTRA 2	
DATOS PRELIMINARES		DATOS PRELIMINARES	
$W_{VP \text{ vacío}}$	30.534 gr	$W_{VP \text{ vacío}}$	29.687 gr
$V_{alícuota}$	30.00 ml	$V_{alícuota}$	30.00 ml
$W_{VP+grasa}$	57.694 gr	$W_{VP+grasa}$	56.656 gr
Δ_{grasa}	27.160 gr	Δ_{grasa}	26.969 gr
$\rho_{alícuota}$	0.9053 gr/ml	$\rho_{alícuota}$	0.8990 gr/ml
EXTRACCIÓN DE A&G		EXTRACCIÓN DE A&G	
$W_{Erlenmeyer}$	64.606 gr	$W_{Erlenmeyer}$	76.401 gr
$W_{Erlenmeyer+aceite \text{ extraído}}$	91.038 gr	$W_{Erlenmeyer+aceite \text{ extraído}}$	102.615 gr
$W_{aceite \text{ extraído}}$	26.432 gr	$W_{aceite \text{ extraído}}$	26.214 gr
$V_{alícuota}$	30.00 ml	$V_{alícuota}$	30.00 ml
[A&G]	0.8811 gr/ml	[A&G]	0.8738 gr/ml
Determinación de A&G durante la simulación N°20 (26.11.2024)			
MUESTRA 1		MUESTRA 2	
DATOS PRELIMINARES		DATOS PRELIMINARES	

$W_{VP\text{ vacío}}$	31.476 gr	$W_{VP\text{ vacío}}$	28.106 gr
$V_{alícuota}$	30.00 ml	$V_{alícuota}$	20.00 ml
$W_{VP+grasa}$	61.231 gr	$W_{VP+grasa}$	47.368 gr
Δ_{grasa}	29.755 gr	Δ_{grasa}	19.262 gr
$\rho_{alícuota}$	0.9918 gr/ml	$\rho_{alícuota}$	0.9631 gr/ml
EXTRACCIÓN DE A&G		EXTRACCIÓN DE A&G	
$W_{Erlenmeyer}$	41.048 gr	$W_{Erlenmeyer}$	31.250 gr
$W_{Erlenmeyer+aceite\ extraído}$	60.526 gr	$W_{Erlenmeyer+aceite\ extraído}$	47.801 gr
$W_{aceite\ extraído}$	19.478 gr	$W_{aceite\ extraído}$	16.551 gr
$V_{alícuota}$	30.00 ml	$V_{alícuota}$	20.00 ml
$[A\&G]$	0.6493 gr/ml	$[A\&G]$	0.8275 gr/ml
Determinación de A&G durante la simulación N°100 (27.11.2024)			
MUESTRA 1		MUESTRA 2	
DATOS PRELIMINARES		DATOS PRELIMINARES	
$W_{VP\text{ vacío}}$	30.533 gr	$W_{VP\text{ vacío}}$	29.704 gr
$V_{alícuota}$	9.70 ml	$V_{alícuota}$	9.00 ml
$W_{VP+grasa}$	41.673 gr	$W_{VP+grasa}$	40.723 gr
Δ_{grasa}	11.140 gr	Δ_{grasa}	11.019 gr
$\rho_{alícuota}$	1.1485 gr/ml	$\rho_{alícuota}$	1.2243 gr/ml
EXTRACCIÓN DE A&G		EXTRACCIÓN DE A&G	
$W_{Erlenmeyer}$	33.223 gr	$W_{Erlenmeyer}$	38.806 gr
$W_{Erlenmeyer+aceite\ extraído}$	35.507 gr	$W_{Erlenmeyer+aceite\ extraído}$	44.332 gr
$W_{aceite\ extraído}$	2.284 gr	$W_{aceite\ extraído}$	5.526 gr
$V_{alícuota}$	9.70 ml	$V_{alícuota}$	9.00 ml
$[A\&G]$	0.2355 gr/ml	$[A\&G]$	0.614 gr/ml

El promedio aritmético de concentración de aceites y grasas correspondientes a la muestra N°1 y muestra N°2 es de 0.5886 gr/ml y 0.7718 gr/ml respectivamente, con un ponderado de 0.7853 gr/ml.

El cálculo gravimétrico de la concentración de aceites y grasas correspondiente a la muestra N°1 y muestra N°2 se presentan a continuación:

$$[A\&G]_1 = \frac{(26.432 + 19.478 + 2.284)gr}{(30 + 30 + 9.70)ml} = 0.6914 \text{ gr/ml}$$

$$[A\&G]_2 = \frac{(26.214 + 16.551 + 5.526)gr}{(30 + 20 + 9)ml} = 0.8185 \text{ gr/ml}$$

La concentración de aceites y grasas media correspondiente a la simulación N°80 en la tubería de PPR es de 0.7549 gr/ml.

La diferencia entre la concentración gravimétrica y la concentración ponderado de aceites y grasas es de 0.0304 gr/ml.

Para las densidades de las muestras tenemos las siguientes ecuaciones:

$$\rho_1 = \frac{(27.160 + 29.755 + 11.140)gr}{(30 + 30 + 9.70)ml} = 0.9764 \text{ gr/ml}$$

$$\rho_2 = \frac{(26.969 + 19.262 + 11.019)gr}{(30 + 20 + 9)ml} = 0.9703 \text{ gr/ml}$$

Las densidades de las muestras N°1 y N°2 son de 0.9764 gr/ml y 0.9703 gr/ml.

3.9.2.4.2.5 Simulación N°100. El análisis de aceites y grasas correspondiente a la simulación N°100 se ha llevado a cabo el día 02 de diciembre del año 2024. Al estar la muestra libre de solidos suspendidos se procedió a realizar la determinación de aceites y grasas completamente sin la necesidad de alícuotas, por ese mismo motivo no se midieron pesos a priori la extracción de aceites y grasas por lo que tampoco se tiene las densidades absolutas de la muestra recolectada. Los resultados de extracción se visualizan en la siguiente tabla.

Tabla 45

Simulación N°100 tubería de PPR. Concentración de aceites y grasas

Determinación de A&G durante la simulación N°100 (02.12.2024)			
MUESTRA 1		MUESTRA 2	
EXTRACCIÓN DE A&G		EXTRACCIÓN DE A&G	
$W_{Erlenmeyer}$	134.750 gr	$W_{Erlenmeyer}$	128.817 gr
$W_{Erlenmeyer+aceite\ extraído}$	193.693 gr	$W_{Erlenmeyer+aceite\ extraído}$	190.111 gr
$W_{aceite\ extraído}$	58.988 gr	$W_{aceite\ extraído}$	61.294 gr
$V_{alícuota}$	71.60 ml	$V_{alícuota}$	74.60 ml
[A&G]	0.8238 gr/ml	[A&G]	0.8216 gr/ml

La determinación matemática de la concentración de aceites y grasas se muestran en las siguientes ecuaciones.

$$[A\&G]_1 = \frac{58.988\text{gr}}{71.60\text{ml}} = 0.8238 \text{ gr/ml}$$

$$[A\&G]_2 = \frac{61.294\text{gr}}{74.60\text{ml}} = 0.8216 \text{ gr/ml}$$

3.9.2.4.2.6 Resumen de resultados.

3.9.2.4.2.6.1 Resultados de aceites y grasas. A continuación, se muestra la tabla N°40 donde se visualiza el resumen de resultados de laboratorio obtenidos para la tubería de PPR en gr/ml.

Tabla 46

Resumen de resultados. Concentración de A&G de la tubería de PPR

Simulación	T (°C)	[A&G] _{M1}	[A&G] _{M2}	Diferencia(Δ)	Concentración A&G
0	29.1°C	0.9030 gr/ml	0.8672 gr/ml	0.0358 gr/ml	0.8855 gr/ml
20	24.1°C	0.8644 gr/ml	0.9039 gr/ml	0.0395 gr/ml	0.8842 gr/ml
40	21.0°C	0.7953 gr/ml	0.8337 gr/ml	0.0384 gr/ml	0.8145 gr/ml
60	30.7°C	0.8776 gr/ml	0.7447 gr/ml	0.1329 gr/ml	0.8112 gr/ml
80	33.1°C	0.6914 gr/ml	0.8185 gr/ml	0.1271 gr/ml	0.7549 gr/ml
100	21.3°C	0.8238 gr/ml	0.8216 gr/ml	0.0022 gr/ml	0.8227 gr/ml

La densidad promedio para el agua residual graso que circuló por la tubería de PPR tiene un valor de 0.8288 gr/ml. En este caso la densidad fue menor a las registradas durante la experimentación en las otras tuberías.

3.9.2.4.2.6.2 Densidades de las muestras.

Tabla 47

Tabla de densidades de las muestras tomadas de la tubería de PPR

Simulación	ρ_{M1}	ρ_{M2}	ρ_{media}
0	0.9392 gr/ml	0.9426 gr/ml	0.9409 gr/ml
20	0.9170 gr/ml	0.9208 gr/ml	0.9189 gr/ml
40	0.9705 gr/ml	0.9166 gr/ml	0.9436 gr/ml
60	0.9517 gr/ml	1.0068 gr/ml	0.9793 gr/ml
80	0.9764 gr/ml	0.9703 gr/ml	0.9733 gr/ml

La densidad promedio para el agua residual graso que circuló por la tubería de PPR es de 0.9512 gr/ml.

3.9.2.5 Condición final de las tuberías al final de la experimentación. Durante la desinstalación del sistema de tuberías se ha procedido a visualizar las condiciones finales de las tuberías luego de las 100 simulaciones con agua residual graso, los cuales se pueden observar a continuación.

Figura 39

Sistema de tuberías en la finalización de la tesis



Figura 40

Tubería de HDPE luego de la finalización de la tesis



Figura 41

Tubería de cobre luego de la finalización de la tesis



Figura 42

Tubería de PVC luego de la finalización de la tesis



Figura 43

Tubería de PPR luego de la finalización de la tesis



Figura 44

Tuberías inclinadas paralelamente. Finalización de la tesis de investigación



Capítulo IV. Análisis y discusión de resultados

4.1. Cuadro de resultados

4.1.1 Concentración de aceites y grasas

A continuación, se presenta un cuadro resumen de los resultados obtenidos a lo largo de todo el proceso de investigación.

Tabla 48

Cuadro comparativo de concentración de A&G en 100 simulaciones

Nº Simulación	HDPE	Cobre	PVC	PPR
0	0.9730 gr/ml	0.8251 gr/ml	0.9060 gr/ml	0.8855 gr/ml
20	0.9265 gr/ml	0.7244 gr/ml	0.8773 gr/ml	0.8842 gr/ml
40	0.8799 gr/ml	0.7194 gr/ml	0.8041 gr/ml	0.8145 gr/ml
57	0.8544 gr/ml	0.7154 gr/ml	0.7349 gr/ml	0.8120 gr/ml
60	0.8459 gr/ml	0.6701 gr/ml	0.7118 gr/ml	0.8112 gr/ml
63	0.8144 gr/ml	0.6248 gr/ml	0.6978 gr/ml	0.7972 gr/ml
72	0.7198 gr/ml	0.5605 gr/ml	0.6837 gr/ml	0.7831 gr/ml
80	0.7095 gr/ml	0.5034 gr/ml	0.6556 gr/ml	0.7549 gr/ml
100	0.6784 gr/ml	0.6315 gr/ml	0.7076 gr/ml	0.8227 gr/ml
Afluente-Efluente	0.2946 gr/ml	0.1936 gr/ml	0.1984 gr/ml	0.0628 gr/ml

Los resultados sombreados en rojo son datos interpolados en base a los datos obtenidos en laboratorio según las simulaciones especificadas.

4.1.2 Densidades

Las densidades de las aguas residuales grasos varían entre los valores cercanos a 0.95 gr/ml y 1.00 gr/ml, lo cual fue una limitación que se ha tenido en la presente tesis de investigación. Los valores de las densidades se muestran a continuación.

Tabla 49

Densidades promedio del agua residual graso en las tuberías

Material de tubería	Densidad
HDPE	0.9551 gr/ml

Cobre	0.9278 gr/ml
PVC	0.9962 gr/ml
PPR	0.9512 gr/ml

4.2 Figuras de resultados

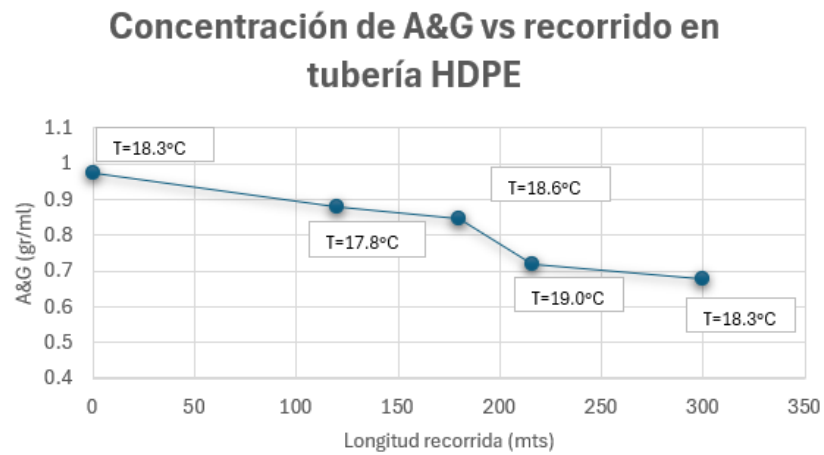
4.2.1 Concentración de A&G del agua residual graso en las tuberías

Por medio de gráficas de dispersión se identifica las curvas que reflejen la concentración de aceites y grasas.

4.2.1.1 Tubería de HDPE.

Figura 45

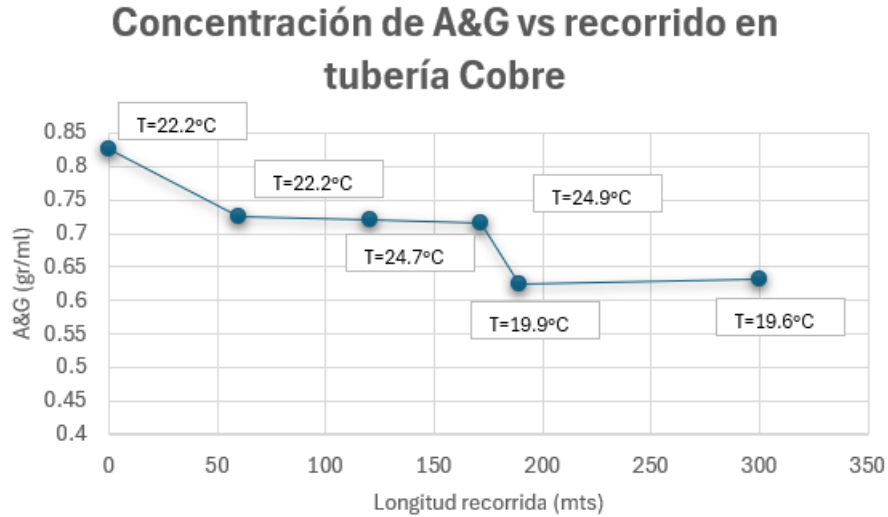
Concentración de A&G en la tubería de HDPE



4.2.1.2 Tubería de cobre.

Figura 46

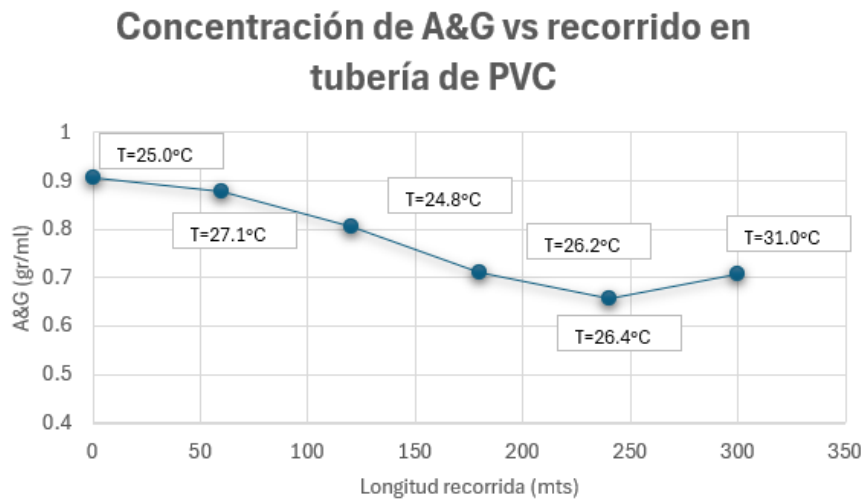
Concentración de A&G en la tubería de cobre



4.2.1.3 Tubería de PVC.

Figura 47

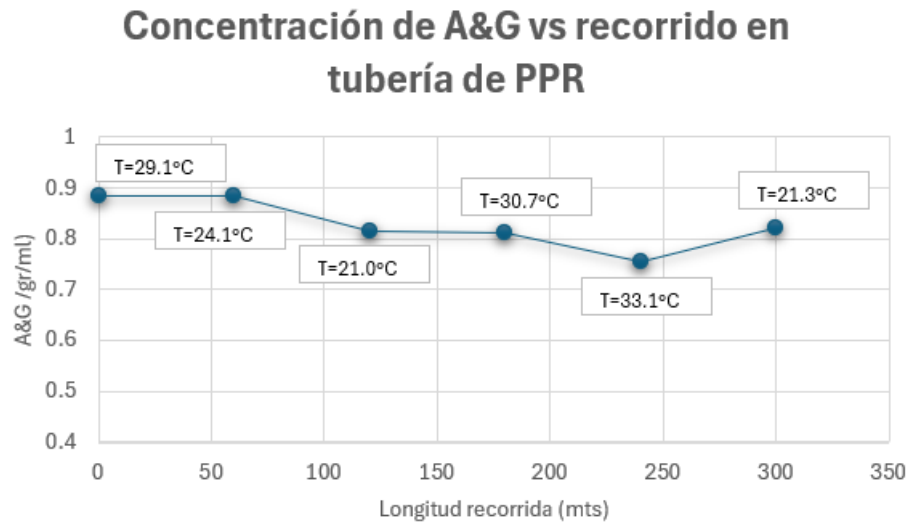
Concentración de A&G en la tubería de PVC



4.2.1.4 Tubería de PPR.

Figura 48

Concentración de A&G en la tubería de PPR

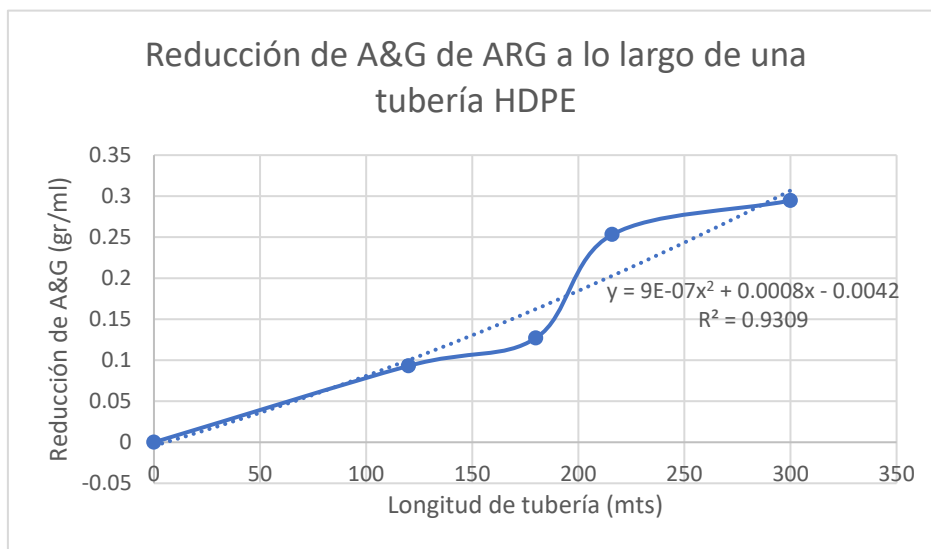


4.2.2 Función polinomial del decrecimiento de aceites y grasas. En base a los resultados de la concentración de aceites y grasas (A&G) se ha graficado la función polinomial que describa el decrecimiento de la concentración de aceites y grasas por longitud de tubería recorrida por el agua residual graso (ARG) de cada material de tubería. Cabe precisar que estas ecuaciones son las más aproximadas mas no precisamente exactas con respecto a la evaluación en campo dado que en la realidad se deben considerar varios factores como los sólidos gruesos que pudieren facilitar la obstrucción de las tuberías, las diferentes temperaturas que pudiere realizar una autolimpieza en las tuberías, etc.

4.2.2.1 Tubería de polietileno.

Figura 49.

Decrecimiento de la concentración de A&G en la tubería de HDPE



La ecuación polinomial que describe la concentración de aceites y grasas por longitud recorrida es la siguiente:

Ecuación 11

Función de cálculo para el decrecimiento de la concentración de aceites y grasas por longitud recorrida en la tubería de HDPE

$$f(x) = 9 \times 10^{-7} \times x^2 + 0.0008 \times x - 0.0042$$

Donde x es la longitud recorrida en metros.

Haciendo una comparativa entre los resultados obtenidos de la función con los de campo tenemos el siguiente cuadro comparativo:

Tabla 50

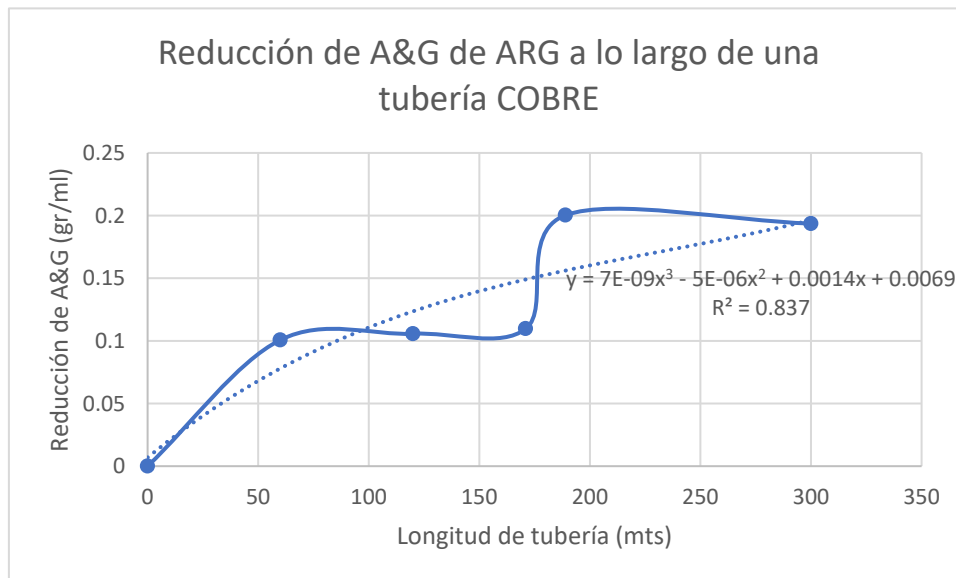
Tubería de HDPE. Cuadro comparativo

HDPE			
Longitud	Resultados de campo	f(x)	Δ
0	0	-0.004	-0.004
120	0.0931	0.1047	0.0116
180	0.1271	0.1689	0.0418
216	0.2532	0.2105	-0.0427
300	0.2946	0.3168	0.0222

4.2.2.2 Tubería de cobre.

Figura 50

Decrecimiento de la concentración de A&G en la tubería de cobre



La ecuación polinomial que describe la concentración de aceites y grasas por longitud recorrida es la siguiente:

Ecuación 12

Función de cálculo para el decrecimiento de la concentración de aceites y grasas por longitud recorrida en la tubería de cobre

$$f(x) = 7 \times 10^{-9} \times x^3 - 5 \times 10^{-6} \times x^2 + 0.0014 \times x + 0.0069$$

Donde x es longitud en metros

Haciendo una comparativa entre los resultados obtenidos de la función con los de campo tenemos el siguiente cuadro comparativo:

Tabla 51

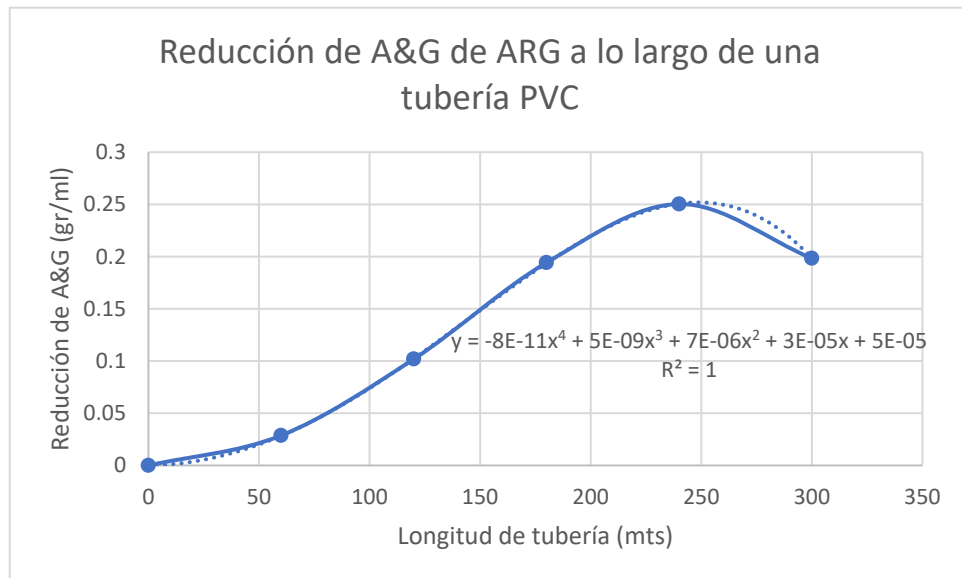
Tubería de cobre. Cuadro comparativo

COBRE			
Longitud	Variación	f(x)	Δ
0	0	0.0069	0.0069
60	0.1007	0.0744	-0.0263
120	0.1057	0.1149	0.0092
171	0.1097	0.135	0.0253
189	0.2003	0.1401	-0.0602
300	0.1936	0.1659	-0.0277

4.2.2.3 Tubería de PVC.

Figura 51

Decrecimiento de la concentración de A&G en la tubería de PVC



La ecuación polinomial que describe la concentración de aceites y grasas por longitud recorrida es la siguiente:

Ecuación 13

Función de cálculo para el decrecimiento de la concentración de aceites y grasas por longitud recorrida en la tubería de PVC

$$f(x) = -8 \times 10^{-11} \times x^4 + 5 \times 10^{-9} \times x^3 + 7 \times 10^{-6} \times x^2 + 3 \times 10^{-5} \times x + 5 \times 10^{-5}$$

Donde x es longitud en metros

Haciendo una comparativa entre los resultados obtenidos de la función con los de campo tenemos el siguiente cuadro comparativo:

Tabla 52

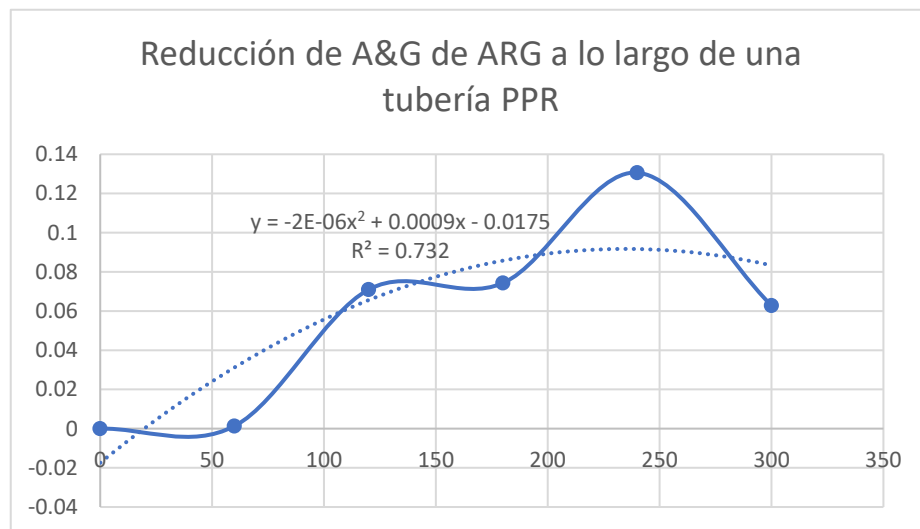
Tubería de PVC. Cuadro comparativo

PVC			
Longitud	Variación	f(x)	Diferencia
0	0	0	0
60	0.0287	0.027	-0.0017
120	0.1019	0.0965	-0.0054
180	0.1942	0.1774	-0.0168
240	0.2504	0.2141	-0.0363
300	0.1984	0.126	-0.0724

4.2.2.4 Tubería de PPR.

Figura 52

Decrecimiento de la concentración de A&G en la tubería de PPR



La ecuación polinomial que describe la concentración de aceites y grasas por longitud recorrida es la siguiente:

Ecuación 14

Función de cálculo para el decrecimiento de la concentración de aceites y grasas por longitud recorrida en la tubería de PPR

$$f(x) = -2 \times 10^{-6} \times x^2 + 0.0009 \times x - 0.0175$$

Donde x es longitud en metros

Haciendo una comparativa entre los resultados obtenidos de la función con los de campo tenemos el siguiente cuadro comparativo:

Tabla 53

Tubería de PPR. Cuadro comparativo

POLIPROPILENO PPR			
Longitud	Variación	f(x)	Diferencia
0	0	-0.017	-0.017
60	0.0013	0.0293	0.028
120	0.071	0.0617	-0.0093
180	0.0743	0.0797	0.0054
240	0.1306	0.0833	-0.0473
300	0.0628	0.0725	0.0097

4.2.3 Decrecimiento de la concentración de A&G en la longitud recorrida

Debido a que en la simulación N°100 hubo un incremento en la concentración de aceite y grasas en el efluente de agua residual graso se ha procedido a tomar para el análisis matemático solo las simulaciones desde el N°0 hasta el N°80.

Considerando que en cada simulación se ha recorrido 3 metros de tubería y a partir de la tabla n°45 se ha calculado el decrecimiento de la concentración de aceites y grasas del agua residual graso en el recorrido de las tuberías.

$$[\Delta A\&G]_{(a-b)} = [A\&G]_a - [A\&G]_b$$

Para el intervalo de 0 a 60 metros lineales (20 simulaciones) tenemos:

$$[\Delta A\&G]_{(0-60)m} = [A\&G]_{s0} - [A\&G]_{s20}$$

$$[\Delta A\&G]_{(0-60)m} = 0.9730 \frac{gr}{ml} - 0.9265 \frac{gr}{ml}$$

$$[\Delta A\&G]_{(0-60)m} = 0.0465 \frac{gr}{ml}$$

Repetimos para todas las simulaciones realizadas para cada tubería y tenemos la siguiente tabla.

Tabla 54

Decrecimiento de la concentración de A&G del agua residual graso

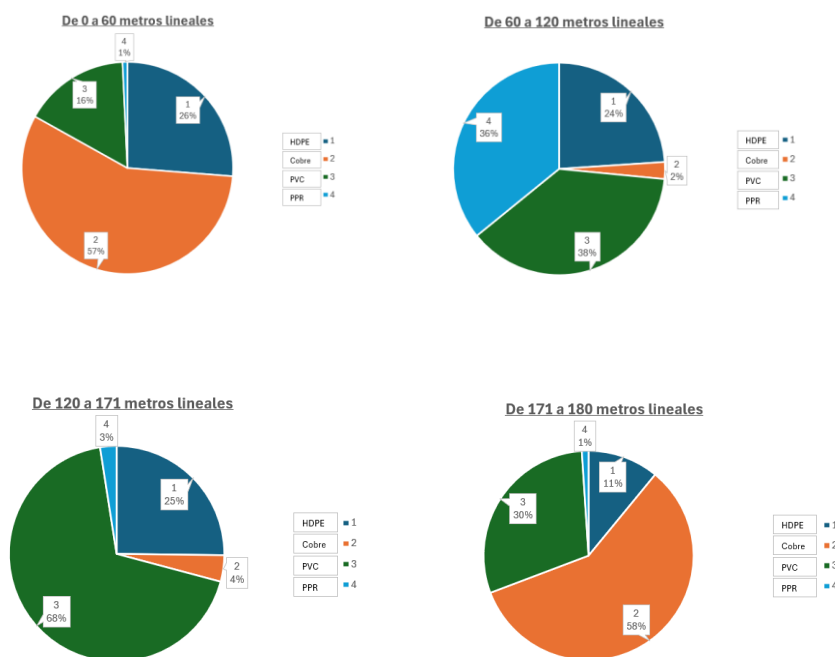
Intervalo de Longitud recorrida	HDPE	Cobre	PVC	PPR
(0-60) metros	0.0465 gr/ml	0.1007 gr/ml	0.0287 gr/ml	0.0013 gr/ml
(60-120) metros	0.0466 gr/ml	0.005gr/ml	0.0732 gr/ml	0.0697 gr/ml
(120-171) metros	0.0255 gr/ml	0.004 gr/ml	0.0692 gr/ml	0.0025 gr/ml
(171-180) metros	0.0085 gr/ml	0.0453 gr/ml	0.0231 gr/ml	0.0008 gr/ml
(180-189) metros	0.0315 gr/ml	0.0453 gr/ml	0.014 gr/ml	0.014 gr/ml
(189-216) metros	0.0946 gr/ml	0.0643 gr/ml	0.0141 gr/ml	0.0141 gr/ml
(216-240) metros	0.0103 gr/ml	0.0571 gr/ml	0.0281 gr/ml	0.0282 gr/ml

Con el decrecimiento de la concentración de aceites y grasas en las aguas residuales grasos tenemos la grasa almacenada en las paredes de las tuberías dado que a mayor decrecimiento en la concentración de aceites y grasas entre el afluente y el efluente tenemos mayor grasa almacenada en las paredes de las tuberías.

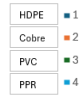
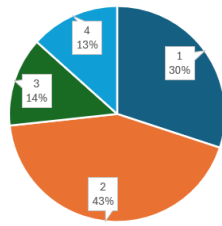
Utilizamos gráficas circulares para comparar la reducción de la concentración de aceites y grasas a lo largo de la longitud de cada una de las tuberías.

Figura 53

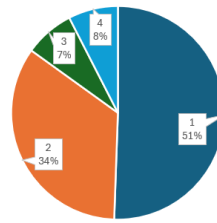
Porcentaje de la reducción de A&G del agua residual graso



De 180 a 189 metros lineales



De 189 a 216 metros lineales

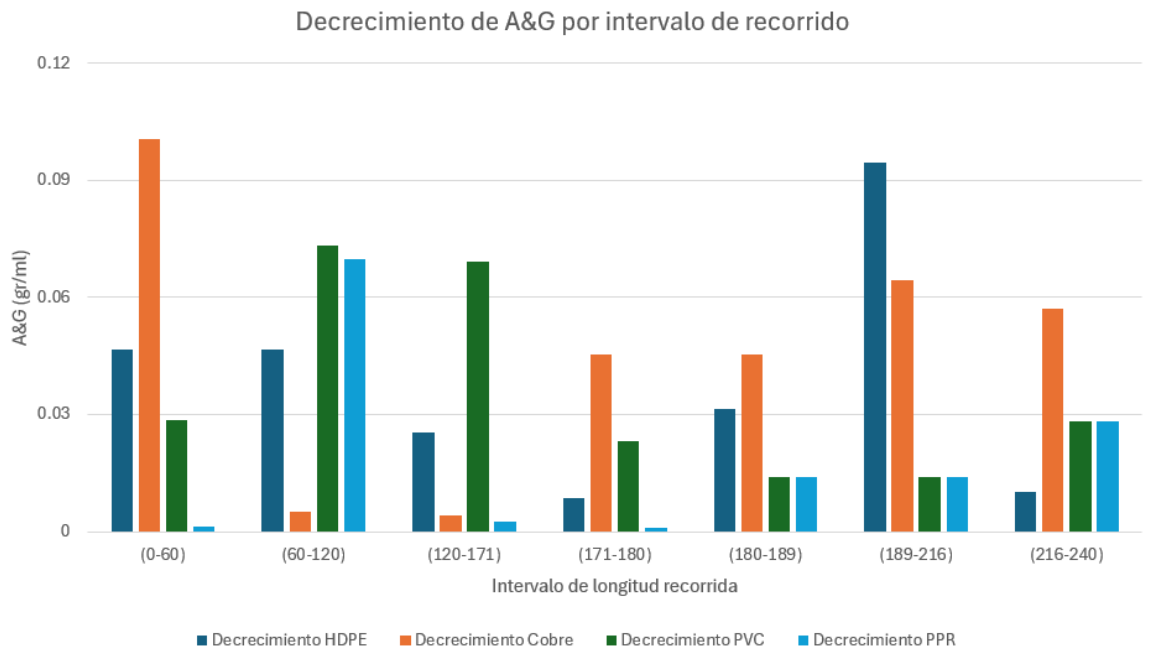


Por cada intervalo de longitud recorrida del agua residual graso hay un decrecimiento de la concentración de aceites y grasas que se visualiza en la siguiente gráfica.

Por cada intervalo de longitud recorrida del agua residual graso hay un decrecimiento de la concentración de aceites y grasas que se visualiza en la siguiente gráfica.

Figura 54

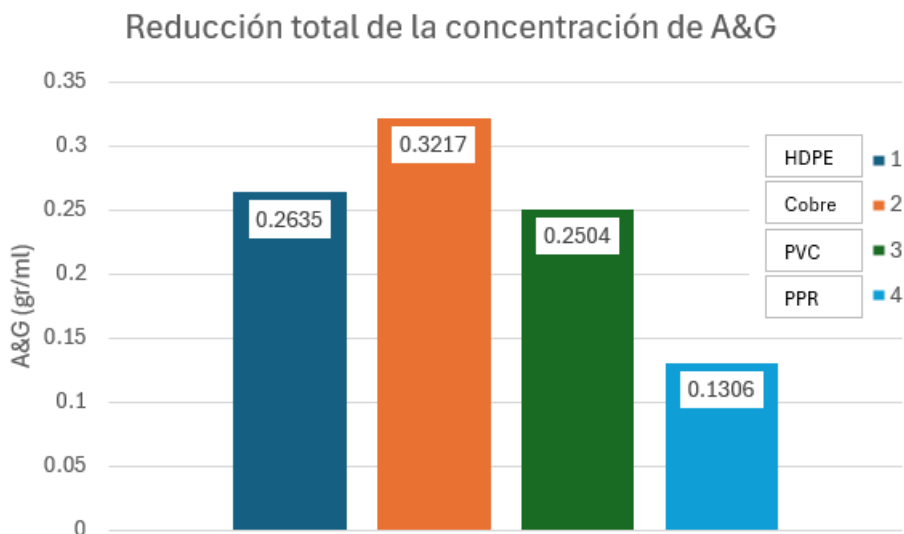
Reducción de la concentración de A&G del agua residual graso



En el trayecto de los 240 metros lineales (80 simulaciones) la reducción total de aceites y grasas se visualiza en la siguiente gráfica.

Figura 55

Reducción de la concentración de A&G del agua residual graso en 80 simulaciones



Se puede notar mediante las gráficas que la tubería que ha tenido una menor reducción en la concentración de aceites y grasas en el recorrido de las aguas residuales grasos es la tubería de polipropileno PPR y la que ha tenido una mayor reducción en la concentración de aceites y grasas es la tubería de cobre.

Estos resultados están íntimamente relacionados con la grasa en las paredes de las tuberías (obstrucción de aceites y grasas en las tuberías) dado que a menor reducción de aceite y grasa entre el afluente-efluente hay menor grasa en las paredes de la tubería y por ende menor obstrucción.

En base a los resultados obtenidos y visualizados en las gráficas se puede visualizar que a las tuberías por donde fluyeron agua residual graso con mayor densidad fue la que sufrió mayor reducción en la concentración de aceites y grasas.

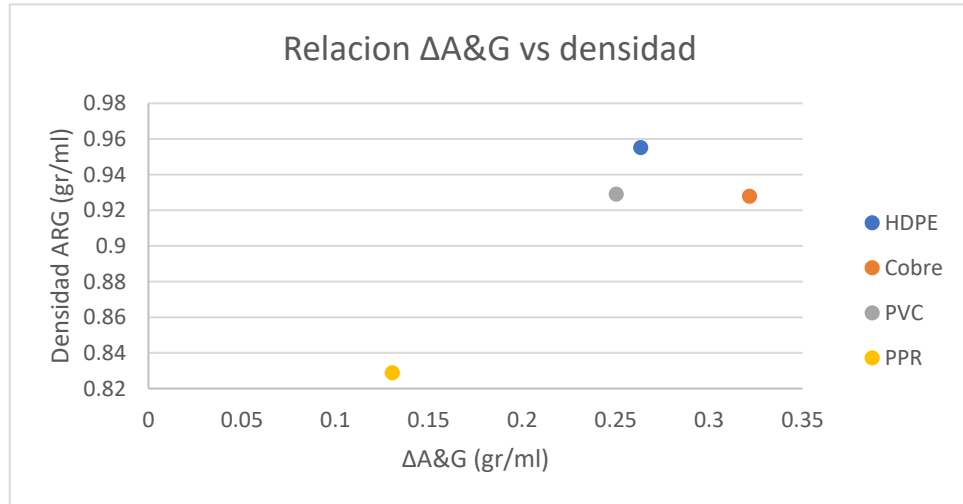
Tabla 55

Tabla comparativa de la reducción de A&G del agua residual graso

Material	Reducción de A&G	Densidad de ARG
Cobre	0.3217 gr/ml	0.9278 gr/ml
HDPE	0.2635 gr/ml	0.9551 gr/ml
PVC	0.2504 gr/ml	0.9290 gr/ml
PPR	0.1306 gr/ml	0.8288 gr/ml

Figura 56

Relación de la reducción de A&G en las tuberías



Donde ARG: Agua residual graso

Asimismo, las tuberías que por las que han fluido el agua residual graso con mayor temperatura son las que han tenido menor reducción en la concentración de aceites y grasas.

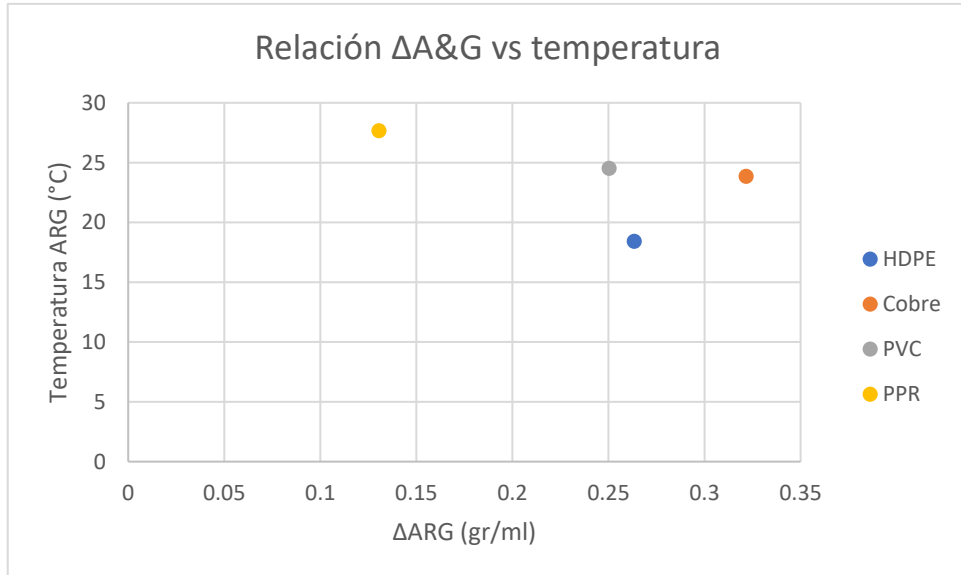
Tabla 56

Tabla de la reducción de A&G del agua residual graso en las tuberías

Material	Reducción de A&G	Temperatura media de ARG
Cobre	0.3217 gr/ml	23.83°C
HDPE	0.2635 gr/ml	18.40°C
PVC	0.2504 gr/ml	24.5°C
PPR	0.1306 gr/ml	27.65°C

Figura 57



Relación de la reducción de A&G y la temperatura del ARG



Este último fenómeno se puede explicar teniendo en cuenta que al tener una mayor temperatura dificulta la solidificación de las grasas al interior de las paredes de las tuberías por donde fluyen.

Tabla 57

Tuberías de PPR, PVC, HDPE y cobre obstruidas por la grasas

N°	Material de tubería	Obstrucción de estas luego de terminada la tesis
1	Polipropileno (PPR)	
2	PVC	



Cabe considerar que las fotos tomadas en la parte superior, salvo el PPR, no pertenecen a las mismas tuberías, sino que son las válvulas y niples de PVC que conectaban a cada una de las tuberías.

Figura 58
Tuberías al final de la tesis



4.3 Grasa almacenada en las paredes de las tuberías

Para determinar la masa de la grasa almacenada en las paredes de las tuberías calculamos el valor constante aproximado de la reducción de la concentración de aceites y grasas por metro de tubería dado que tenemos los volúmenes iniciales del afluente (simulación 0) y del efluente (simulación 100). Debido a que en la simulación 100 hubo un incremento de la concentración de aceites y grasas la extrapolación de la reducción constante de aceites y grasas se realizó cada 20 simulaciones hasta llegar a la simulación 63 de cobre y simulación 80 para el caso de las tuberías de PVC y PPR.

4.3.1 Reducción de la concentración de aceites y grasas en la tubería

De modo que se han realizado 100 simulaciones en cada tubería de 3 metros por cada material de tubería, se ha considerado una longitud relativa total de 300 metros entre el afluente y el efluente de agua residual graso.

En base a esa consideración se ha extrapolado la variación de aceites y grasas en cada material por metro lineal de tubería, lo cual se muestra en la tabla n°47. La extrapolación se realizó cada 20 simulaciones hasta llegar a la simulación 80 para las tuberías de cobre, PVC y PPR.

El cálculo de la reducción constante de la concentración de aceites y grasas por metro de tubería se calculó de la siguiente manera:

$$\Delta[A\&G]_{x\text{metro de tub.}} = \frac{[A\&G]_{\text{afluente}} - [A\&G]_{\text{efluente}}}{\#Simulaciones \times 3}$$

Cabe resaltar que tales resultados es cuasi imposible verificarlo en campo debido a la variación ínfima que hay en la concentración de aceites y grasas por metro de tubería,

además que la metodología 5520B no otorga tal precisión de resultados para la determinación de aceites y grasas.

La concentración de aceites y grasas por metro de recorrido en alternativa de tubería se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 58

Diferencia de la concentración de A&G entre afluente y efluente

N° Simulaciones	Longitud recorrida	HDPE	Cobre	PVC	PPR
20 simulaciones	60 metros	0.00078 gr/ml	0.00168 gr/ml	0.00048 gr/ml	0.00002 gr/ml
40 simulaciones	120 metros	0.00076 gr/ml	0.00088 gr/ml	0.00085 gr/ml	0.00059 gr/ml
57 simulaciones	171 metros	0.00069 gr/ml	0.00064 gr/ml	0.00100 gr/ml	0.00043 gr/ml
60 simulaciones	180 metros	0.00071 gr/ml	0.00086 gr/ml	0.00108 gr/ml	0.00041 gr/ml
63 simulaciones	189 metros	0.00084 gr/ml	0.00106 gr/ml	0.00110 gr/ml	0.00047 gr/ml
72 simulaciones	216 metros	0.00117 gr/ml	0.00123 gr/ml	0.00103 gr/ml	0.00047 gr/ml
80 simulaciones	240 metros	0.00110 gr/ml	0.00134 gr/ml	0.00104 gr/ml	0.00054 gr/ml
100 simulaciones	300 metros	0.00098 gr/ml	-	-	

Interpretación:

- En un recorrido de 60 metros lineales a lo largo de una tubería de HDPE la reducción de la concentración de aceites y grasas constante es de aproximadamente 0.00078 gr/ml.
- En un recorrido de 60 metros lineales a lo largo de una tubería de cobre la reducción de la concentración de aceites y grasas constante es de aproximadamente 0.00168 gr/ml.

- En un recorrido de 60 metros lineales a lo largo de una tubería de PVC la reducción de la concentración de aceites y grasas constante es de aproximadamente 0.00048 gr/ml.

En un recorrido de 60 metros lineales a lo largo de una tubería de PPR la reducción de la concentración de aceites y grasas constante es de aproximadamente 0.00002 gr/ml.

4.3.1.1 Reducción constante media de la concentración de aceites y grasas por metro lineal de tubería. Debido a que la reducción de la concentración de aceites y grasas por metro de tubería a lo largo de cada una de las simulaciones no es constante debido a que nos encontramos en un escenario real y no ideal (puede haber autolimpieza de las aguas residuales al interior de la tubería) para calcular la masa de grasa almacenada en las paredes de las tuberías determinamos primero la media de las reducciones de aceites y grasas por cada simulación.

La ecuación para utilizar es la siguiente:

$$\overline{\Delta[A\&G]_{material\ tub.}} = \sum \Delta[A\&G]_{xmetrode\ tub.}$$

Para la tubería de Polietileno de alta densidad (HDPE) tenemos:

$$\overline{\Delta[A\&G]_{HDPE}} = \frac{0.00078 + 0.00076 + 0.00069 + 0.00071 + 0.00084 + 0.00117 + 0.00110 + 0.00098}{8}$$

$$\overline{\Delta[A\&G]_{HDPE}} = 0.000879 \frac{gr}{ml}$$

Para la tubería de cobre (Cu) tenemos:

$$\overline{\Delta[A\&G]_{Cobre}} = \frac{0.00168 + 0.00088 + 0.00064 + 0.00086 + 0.00106 + 0.00123 + 0.00134}{7}$$

$$\overline{\Delta[A\&G]_{Cobre}} = 0.00110 \frac{gr}{ml}$$

Para la tubería de PVC tenemos:

$$\overline{\Delta[A\&G]_{PVC}} = \frac{0.00048 + 0.00085 + 0.00100 + 0.00108 + 0.00110 + 0.00103 + 0.00104}{7}$$

$$\overline{\Delta[A\&G]_{PVC}} = 0.00094 \text{ gr/ml}$$

Para la tubería de PPR tenemos:

$$\overline{\Delta[A\&G]_{PPR}} = \frac{0.00002 + 0.00059 + 0.00043 + 0.00041 + 0.00047 + 0.00047 + 0.00054}{7}$$

$$\overline{\Delta[A\&G]_{PPR}} = 0.00042 \text{ gr/ml}$$

4.3.1.2 Grasa almacenada en las tuberías por metro lineal. La determinación de la masa de grasa retenida en las tuberías se obtuvo a partir de la reducción constante media de la concentración de aceites y grasas por metro lineal debido a que la función polinomial obtenida para describir el comportamiento de la reducción de aceites y grasas es aproximado mas no preciso y lanza valores negativos de concentración de aceites y grasas al trabajar con datos muy pequeños como 1 metro.

4.3.1.2.1 Tubería de polietileno de alta densidad. Considerando una variación constante de aceites y grasas de 0.00098 gr/ml por metro lineal en un recorrido de 25 litros en la tubería de polietileno de alta densidad por metro lineal se almacena una grasa total de:

$$0.000879 \frac{\text{gr}}{\text{ml}} \times \frac{1 \text{ Kg}}{1000 \text{ gr}} \times \frac{1000 \text{ ml}}{1 \text{ litro}} \times 25 \text{ litros} = 0.022 \text{ Kg}$$

4.3.1.2.2 Tubería de cobre. En un recorrido de 25 litros en la tubería de cobre por metro lineal se almacena una grasa total de:

$$0.00110 \frac{gr}{ml} \times \frac{1 Kg}{1000 gr} \times \frac{1000 ml}{1 litro} \times 25 litros = 0.0275 Kg$$

4.3.1.2.3 Tubería de PVC. En un recorrido de 40 litros en la tubería de PVC por metro lineal se almacena una grasa total de:

$$0.00094 \frac{gr}{ml} \times \frac{1 Kg}{1000 gr} \times \frac{1000ml}{1 litro} \times 40 litros = 0.0376 Kg$$

4.3.1.2.4 Tubería de PPR. En un recorrido de 20 litros en la tubería de PPR por metro lineal se almacena una grasa total de:

$$0.00042 \frac{gr}{ml} \times \frac{1 Kg}{1000 gr} \times \frac{1000ml}{1 litro} \times 20 litros = 0.0084 Kg$$

4.3.1.3 Grasa almacenada en el recorrido total de 300 metros de tubería.

4.3.1.3.1 Tubería de polietileno de alta densidad.

$$Grasa\ total\ almacenada_{HDPE} = 0.022 Kg \times 300 = 6.6 Kg$$

4.3.1.3.2 Tubería de cobre.

$$Grasa\ total\ almacenada_{Cobre} = 0.0275 Kg \times 300 = 8.25 Kg$$

4.3.1.3.3 Tubería de PVC.

$$Grasa\ total\ almacenada_{PVC} = 0.0376 Kg \times 300 = 11.28 Kg$$

4.3.1.3.4 Tubería de PPR.

$$Grasa\ total\ almacenada_{PPR} = 0.0084 Kg \times 300 = 2.52 Kg$$

Calculando la grasa total almacenado para volúmenes homogéneos (25 litros) de agua residual graso que fluyen por las tuberías tenemos lo siguiente (en orden de la eficiencia):

Grasa total almacenada_{PPR} = 3.15 Kg (Sufre menor obstrucción)

Grasa total almacenada_{PVC} = 7.05 Kg

Grasa total almacenada_{HDPPE} = 6.6 Kg

Grasa total almacenada_{Cobre} = 8.25 Kg (Sufre mayor obstrucción)

Estos cálculos son ideales y aproximados a los que se reflejan a la realidad dado que también se debe tener en cuenta que en el trayecto de las aguas residuales grasos hay también una autolimpieza de las tuberías debido al esfuerzo cortante que esta genera a las grasas ya almacenadas en las tuberías además que en los valores de la diferencia de concentración de aceites y grasas por metro lineal están involucrando también las grasas que quedaron atrapados en las válvulas, uniones universales, niples y bridas por donde ha fluido el agua residual graso.

Asimismo, los resultados obtenidos se han obtenido para muestras de agua residual graso con densidades que van desde los 0.95 gr/ml y 1.0 gr/ml lo cual es una condicional para la observación de los presentes resultados.

4.4 Análisis comparativo técnico-económico

4.4.1 Costos de mercado

Los precios de cada una de las alternativas de las tuberías varían respecto al proveedor y centro de compra, sin embargo, los costos que usualmente se consideran en el mercado son los siguientes:

Tabla 59*Relación de costos por cada alternativa de tubería*

Material de tubería	Precio
Policloruro de Vinilo (PVC)	04.00 S/.
Polipropileno (PPR)	60.00 S/.
Polietileno de alta densidad (HDPE)	06.00 S/.
Cobre (Cu)	140.0 /.

4.4.2 Tiempo de operación para cada tubería antes de la obstrucción.**4.4.2.1 Para la tubería de polietileno HDPE.**

Diámetro interno: 0.05180 m

Superficie útil de tubería:

$$A = \frac{\pi \times D^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi \times 0.05180^2}{4}$$

$$A = 0.00211 \text{ m}^2$$

Se considera una obstrucción máxima de 85% de la tubería para poder realizar un mantenimiento operativo, por lo que el volumen de grasa almacenada en 1 metro de tubería obstruida es de:

$$Vol_{obstrucción} = 85\% \times 0.00211 \text{ m}^3$$

$$Vol_{obstrucción} = 0.00179 \text{ m}^3$$

Considerando la densidad de la grasa la que fue determinada en la presente tesis de investigación (0.9551 gr/ml) calculamos el peso de la grasa obstruía en 1 metro de tubería de HDPE.

$$\rho = 0.9551 \frac{\text{gr}}{\text{ml}} \times \frac{1 \text{ Kg}}{1000 \text{ gr}} \times \frac{1000 \text{ ml}}{1 \text{ L}} \times \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} = 955.1 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$m_{obstruida} = 955.1 \frac{Kg}{m^3} \times 0.00179m^3$$

$$m_{obstruida} = 1.71 Kg <> 1710 gr$$

La reducción de la concentración de aceites y grasas por metro de tubería de HDPE es de 0.000879 gr/ml lo que es equivalente a 0.879 gr por litro de agua residual graso. El volumen máximo de agua residual que puede pasar por un metro de tubería HDPE es de:

$$Vol_{m\acute{a}x ARG} = \frac{m_{obstruida}}{[A\&G]_{xm}}$$

$$Vol_{m\acute{a}x ARG} = \frac{1710gr}{0.879 \frac{gr}{L}}$$

$$Vol_{m\acute{a}x ARG} = 1945.39 L$$

Para cada caudal de flujo constante obtenemos los siguientes tiempos de obstrucción

$$t_{obstrucción} = \frac{Vol_{m\acute{a}x ARG}}{Q}$$

Tabla 60

Tiempo de obstrucción en una tubería de HDPE

Q	<i>t</i>_{obstrucción} (en segundos)	<i>t</i>_{obstrucción} (conversión)
0.05 lps	38907.8 seg	10h48min28seg
0.10 lps	19453.9 seg	5h24min14seg
0.20 lps	9726.95 seg	2h42min7seg
0.30 lps	6181.26 seg	1h48min5seg
0.40 lps	4863.48 seg	1h21min3seg
0.50 lps	3890.78 seg	1h4min51seg
1.00 lps	1945.39 seg	32min25seg
10.00 lps	194.54 seg	3min15seg

De forma genérica podemos determinar la ecuación con la que podamos obtener el tiempo aproximado de obstrucción para la tubería de HDPE

Ecuación 15

Fórmula para la determinación del tiempo de obstrucción en una tubería de HDPE

$$t_{(Q;L;\rho)} = 2.04 \times \frac{\rho \times L}{Q}$$

Donde:

ρ : Densidad del agua residual graso en $\frac{Kg}{m^3}$

L : Longitud de la tubería HDPE en metros

Q : Caudal constante de flujo en lps

El valor constante de 2.04 se obtiene al dividir la masa en kg de la grasa obstruida al 85% entre la variación de la concentración de aceites y grasas por metro lineal en la tubería de HDPE.

El margen de error de la ecuación n°15 se visualiza en la siguiente tabla:

Tabla 61

Margen de error del tiempo de obstrucción en tubería de HDPE

Q	$t_{obstrucción}$ (en segundos)	$t_{obstrucción}$ (ecuación 15)	Margen de error
0.05 lps	38907.8 seg	38968.08 seg	60.28 seg
0.10 lps	19453.9 seg	19484.04 seg	30.14 seg
0.20 lps	9726.95 seg	9742.02 seg	15.07 seg
0.30 lps	6181.26 seg	6494.68 seg	13.42 seg
0.40 lps	4863.48 seg	4871.01 seg	7.53 seg
0.50 lps	3890.78 seg	3896.81 seg	6.03 seg
1.00 lps	1945.39 seg	1948.40 seg	3.01 seg
10.00 lps	194.54 seg	194.84 seg	0.30 seg

El margen de error que tiene la fórmula de la ecuación 15 es de 1 minuto para un caudal de 0.05 lps la cual va disminuyendo paulatinamente mientras va en aumento el caudal hasta un valor de 0.30 segundos para un caudal constante de 10.0 lps. A caudales mayores el margen de error es menor.

De la misma forma obtenemos las ecuaciones para las tuberías de cobre, PVC y PPR; las cuales se muestran a continuación.

4.4.2.2 Para la tubería de cobre.

Diámetro interno: 0.04919 m

Superficie útil de tubería:

$$A = \frac{\pi \times D^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi \times 0.04919^2}{4}$$

$$A = 0.0019 \text{ m}^2$$

Se considera una obstrucción máxima de 85% de la tubería para poder realizar un mantenimiento operativo, por lo que el volumen de grasa almacenada en 1 metro de tubería obstruida es de:

$$Vol_{obstrucción} = 85\% \times 0.0019 \text{ m}^3$$

$$Vol_{obstrucción} = 0.00162 \text{ m}^3$$

Considerando la densidad de la grasa la que fue determinada en la presente tesis de investigación (0.9551 gr/ml) calculamos el peso de la grasa obstruída en 1 metro de tubería de cobre.

$$\rho = 0.9278 \frac{\text{gr}}{\text{ml}} \times \frac{1 \text{ Kg}}{1000 \text{ gr}} \times \frac{1000 \text{ ml}}{1 \text{ L}} \times \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} = 927.8 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$m_{obstruída} = 927.8 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \times 0.00162 \text{ m}^3$$

$$m_{obstruída} = 1.50 \text{ Kg} <> 1500 \text{ gr}$$

La reducción de la concentración de aceites y grasas por metro de tubería de cobre es de 0.00110 gr/ml lo que es equivalente a 1.10 gr por litro de agua residual graso. El volumen máximo de agua residual que puede fluir por un metro de tubería cobre es de:

$$Vol_{m\acute{a}x\ ARG} = \frac{m_{obstru\acute{i}da}}{[A\&G]_{xm}}$$

$$Vol_{m\acute{a}x\ ARG} = \frac{1500gr}{1.10 \frac{gr}{L}}$$

$$Vol_{m\acute{a}x\ ARG} = 1363.64 L$$

Para cada caudal de flujo constante obtenemos los siguientes tiempos de obstrucción

$$t_{obstrucci\acute{o}n} = \frac{Vol_{m\acute{a}x\ ARG}}{Q}$$

Tabla 62

Tiempo de obstrucción en una tubería de cobre

Q	<i>t</i>_{obstrucción} (en segundos)	<i>t</i>_{obstrucción} (conversión)
0.05 lps	27272.8 seg	7h34min33seg
0.10 lps	13636.4 seg	3h47min16seg
0.20 lps	6818.2 seg	1h53min38seg
0.30 lps	4545.47seg	1h15min46seg
0.40 lps	3409.1 seg	56min49seg
0.50 lps	2727.28 seg	45min27seg
1.00 lps	1363.64 seg	22min44seg
10.00 lps	136.36 seg	2min16seg

Ecuación 16

Fórmula para la determinación del tiempo de obstrucción en una tubería de cobre

$$t_{(Q;L;\rho)} = 1.47 \times \frac{\rho \times L}{Q}$$

Donde:

ρ : Densidad del agua residual graso en $\frac{Kg}{m^3}$

L: Longitud de la tubería de cobre en metros

Q: Caudal constante de flujo en lps

El valor constante de 1.47 se obtiene al dividir la masa en kg de la grasa obstruida al 85% entre la variación de la concentración de aceites y grasas por metro lineal en la tubería de cobre.

El margen de error de la ecuación n°16 se visualiza en la siguiente tabla:

Tabla 63

Margen de error del tiempo de obstrucción en una tubería de cobre

Q	<i>t</i>_{obstrucción}(en segundos)	<i>t</i>_{obstrucción} (ecuación 16)	Margen de error
0.05 lps	27272.8 seg	27277.32 seg	4.52 seg
0.10 lps	13636.4 seg	13638.66 seg	2.26 seg
0.20 lps	6818.2 seg	6819.33 seg	1.13 seg
0.30 lps	4545.47seg	4546.22 seg	0.75 seg
0.40 lps	3409.1 seg	3409.66 seg	0.57 seg
0.50 lps	2727.28 seg	2727.73 seg	0.45 seg
1.00 lps	1363.64 seg	1363.87 seg	0.23 seg
10.00 lps	136.36 seg	136.39 seg	0.027 seg

El margen de error que tiene la fórmula de la ecuación 16 es de 5 segundos para un caudal de 0.05 lps, disminuyendo este margen paulatinamente mientras va aumentando el caudal hasta un valor ínfimo de 0.03 segundos para un caudal constante de 10.0 lps. A caudales mayores el margen de error es menor.

4.4.2.3 Para la tubería de PVC.

Diámetro interno: 0.05640 m

Superficie útil de tubería:

$$A = \frac{\pi \times D^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi \times 0.05640^2}{4}$$

$$A = 0.0025 \text{ m}^2$$

Se considera una obstrucción máxima de 85% de la tubería para poder realizar un mantenimiento operativo, por lo que el volumen de grasa almacenada en 1 metro de tubería obstruida es de:

$$Vol_{obstrucción} = 85\% \times 0.0025 \text{ m}^3$$

$$Vol_{obstrucción} = 0.00213 \text{ m}^3$$

Considerando la densidad de la grasa la que fue determinada en la presente tesis de investigación (0.9962 gr/ml) calculamos el peso de la grasa obstruída en 1 metro de tubería de PVC.

$$\rho = 0.9962 \frac{\text{gr}}{\text{ml}} \times \frac{1 \text{ Kg}}{1000 \text{ gr}} \times \frac{1000 \text{ ml}}{1 \text{ L}} \times \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} = 996.2 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$m_{obstruída} = 996.2 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \times 0.00213 \text{ m}^3$$

$$m_{obstruída} = 2.12 \text{ Kg} \langle \rangle 2120 \text{ gr}$$

La reducción de la concentración de aceites y grasas por metro de tubería de PVC es de 0.00094 gr/ml lo que es equivalente a 0.94 gr por litro de agua residual graso. El volumen máximo de agua residual que puede fluir por un metro de tubería cobre es de:

$$Vol_{máx \text{ ARG}} = \frac{m_{obstruída}}{[A\&G]_{xm}}$$

$$Vol_{máx \text{ ARG}} = \frac{2120 \text{ gr}}{0.94 \frac{\text{gr}}{\text{L}}}$$

$$Vol_{máx \text{ ARG}} = 2255.32 \text{ L}$$

Para cada caudal de flujo constante obtenemos los siguientes tiempos de obstrucción

$$t_{obstrucción} = \frac{Vol_{m\acute{a}x\ ARG}}{Q}$$

Tabla 64

Tiempo de obstrucción en una tubería de PVC

Q	<i>t</i>_{obstrucción} (en segundos)	<i>t</i>_{obstrucción} (conversión)
0.05 lps	45106.4 seg	12h31min46seg
0.10 lps	22553.2 seg	6h15min53seg
0.20 lps	11276.6 seg	3h7min57seg
0.30 lps	7517.73 seg	2h5min18seg
0.40 lps	5638.3 seg	1h33min58seg
0.50 lps	4510.64 seg	1h15min11seg
1.00 lps	2255.32 seg	37min35seg
10.00 lps	225.53 seg	3min46seg

Ecuación 17

Fórmula para la determinación del tiempo de obstrucción en una tubería de PVC

$$t_{(Q;L;\rho)} = 2.27 \times \frac{\rho \times L}{Q}$$

Donde:

ρ : Densidad del agua residual graso en $\frac{Kg}{m^3}$

L : Longitud de la tubería de PVC en metros

Q : Caudal constante de flujo en lps

El valor constante de 2.27 se obtiene al dividir la masa en kg de la grasa obstruida al 85% entre la variación de la concentración de aceites y grasas por metro lineal en la tubería de PVC.

El margen de error de la ecuación n°17 se visualiza en la siguiente tabla.

Tabla 65

Margen de error del tiempo de obstrucción del 85% en una tubería de PVC

Q	<i>t</i>_{obstrucción} (en segundos)	<i>t</i>_{obstrucción} (ecuación 16)	Margen de error
0.05 lps	45106.4 seg	45227.48 seg	121.08 seg
0.10 lps	22553.2 seg	22613.74 seg	60.54 seg
0.20 lps	11276.6 seg	11306.87 seg	30.27 seg
0.30 lps	7517.73 seg	7537.91 seg	20.18 seg
0.40 lps	5638.3 seg	5653.43 seg	15.14 seg
0.50 lps	4510.64 seg	4522.75 seg	12.11 seg
1.00 lps	2255.32 seg	2261.37 seg	6.05 seg
10.00 lps	225.53 seg	226.14 seg	0.61 seg

El margen de error que tiene la fórmula de la ecuación 17 es de 2 minutos para un caudal de 0.05 lps, disminuyendo este margen paulatinamente mientras va aumentando el caudal hasta un valor de 0.6 segundos para un caudal constante de 10.0 lps. A caudales mayores el margen de error es menor.

4.4.2.4 Para la tubería de PPR.

Diámetro interno: 0.042 m

Superficie útil de tubería:

$$A = \frac{\pi \times D^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi \times 0.042^2}{4}$$

$$A = 0.00138 \text{ m}^2$$

Se considera una obstrucción máxima de 85% de la tubería para poder realizar un mantenimiento operativo, por lo que el volumen de grasa almacenada en 1 metro de tubería obstruida es de:

$$Vol_{obstrucción} = 85\% \times 0.00138m^3$$

$$Vol_{obstrucción} = 0.00117 m^3$$

Considerando la densidad de la grasa la que fue determinada en la presente tesis de investigación (0.9512 gr/ml) calculamos el peso de la grasa obstruía en 1 metro de tubería de PPR.

$$\rho = 0.9512 \frac{gr}{ml} \times \frac{1 Kg}{1000 gr} \times \frac{1000 ml}{1L} \times \frac{1000 L}{1 m^3} = 951.2 \frac{Kg}{m^3}$$

$$m_{obstruía} = 951.2 \frac{Kg}{m^3} \times 0.00117m^3$$

$$m_{obstruía} = 1.113 Kg <> 1113 gr$$

La reducción de la concentración de aceites y grasas por metro de tubería de PPR es de 0.00042 gr/ml lo que es equivalente a 0.42 gr por litro de agua residual graso. El volumen máximo de agua residual que puede fluir por un metro de tubería cobre es de:

$$Vol_{máx ARG} = \frac{m_{obstruía}}{[A\&G]_{xm}}$$

$$Vol_{máx ARG} = \frac{1113gr}{0.42 \frac{gr}{L}}$$

$$Vol_{máx ARG} = 2650 L$$

Para cada caudal de flujo constante obtenemos los siguientes tiempos de obstrucción

$$t_{obstrucción} = \frac{Vol_{máx ARG}}{Q}$$

Tabla 66*Margen de error del tiempo de obstrucción en una tubería de PPR*

Q	<i>t</i>_{obstrucción}(en segundos)	<i>t</i>_{obstrucción}(conversión)
0.05 lps	53000 seg	14h43min20seg
0.10 lps	26500 seg	7h21min40seg
0.20 lps	13250 seg	3h40min50seg
0.30 lps	8833.33 seg	2h27min13seg
0.40 lps	6625 seg	1h50min25seg
0.50 lps	5300 seg	1h28min20seg
1.00 lps	2650 seg	44min10seg
10.00 lps	265 seg	4min25seg

Ecuación 18*Fórmula para la determinación del tiempo de obstrucción en una tubería de PPR*

$$t_{(Q;L;\rho)} = 2.79 \times \frac{\rho \times L}{Q}$$

Donde: *ρ : Densidad del agua residual graso en $\frac{Kg}{m^3}$* *L: Longitud de la tubería HDPE en metros**Q: Caudal constante de flujo en lps*

El valor constante de 2.79 se obtiene al dividir la masa en kg de la grasa obstruida al 85% entre la variación de la concentración de aceites y grasas por metro lineal en la tubería de PPR.

El margen de error de la ecuación n°18 se visualiza en la siguiente tabla:

Tabla 67*Margen de error del tiempo de obstrucción en una tubería de PPR*

Q	<i>t</i>_{obstrucción}(en segundos)	<i>t</i>_{obstrucción} (ecuación 16)	Margen de error
0.05 lps	53000 seg	53076.96 seg	76.96 seg
0.10 lps	26500 seg	26538.48 seg	38.48 seg
0.20 lps	13250 seg	13269.24 seg	19.24 seg

0.30 lps	8833.33 seg	8846.16 seg	12.83 seg
0.40 lps	6625 seg	6634.62 seg	9.62 seg
0.50 lps	5300 seg	5307.70 seg	7.70 seg
1.00 lps	2650 seg	2653.85 seg	3.85 seg
10.00 lps	265 seg	265.38 seg	0.38 seg

El margen de error que tiene la fórmula de la ecuación n°18 es de 77 segundos para un caudal de 0.05 lps, disminuyendo este margen paulatinamente mientras se va aumentando el caudal hasta un valor de 0.38 segundos para un caudal constante de 10.0 lps. A caudales mayores el margen de error es menor.

4.4.2.5 Fórmula general para la determinación del tiempo de obstrucción por grasa almacenada en una tubería. Se puede ampliar el análisis para la predicción del tiempo de obstrucción para cualquier tipo de tubería aplicando la siguiente fórmula general:

Ecuación 19

Fórmula general para la determinación del tiempo de obstrucción para una tubería dada

$$t_{\left(P;D_i;\frac{d[A\&G]}{dL};\rho;L;Q\right)} = 250 \times \frac{P\% \times \pi \times D_i^2 \times \rho \times L}{Q \times \frac{d[A\&G]}{dL}}$$

Donde:

$t =$ segundos (s)

P : Porcentaje de obstrucción, en porcentaje (%)

D_i : Diámetro interno de la tubería, en metros

ρ : Densidad del agua residual graso en $\frac{Kg}{m^3}$

L : Longitud de la tubería en metros

Q : Caudal constante de flujo en lps

$\frac{d[A\&G]}{dL}$: Reducción cte de la concentración de A&G por unidad de longitud en gr/L

En la ecuación n°20 la reducción de la concentración de aceites y grasas por unidad de longitud es lo que define el tipo de material de tubería en particular ya que como se ha visto en los resultados cada tubería (HDPE, Cobre, PVC y PPR) tienen cada una de ellas una reducción específica de la concentración de aceites y grasas por unidad de longitud.

Consideraciones y limitaciones de la fórmula general

El margen de error de la fórmula general depende de la longitud total de la tubería y es de 1 hora aproximadamente, además que la fórmula general está limitada a un flujo constante de agua residual graso. Asimismo, la fórmula general no integra en su función el cambio de temperatura por lo que solo es aplicable para temperaturas de agua residual graso cercanos con la que se experimentó la presente tesis que está entre los 18°C a 28°C.

En cuanto al ámbito industrial la fórmula general solo es aplicable para agua residual graso netamente, por lo que no evalúa la obstrucción que pueda generarse por otros factores que no sea aceite solidificado en tuberías.

Conclusiones

- La tubería de polipropileno (PPR) sufre menos obstrucción de grasa en el transporte de agua residual graso, caso contrario ocurre con la tubería de cobre que es la que mayor obstrucción sufre en el transporte de aguas residuales graso
- En tuberías con grasa adherida a las paredes de las tuberías existe una autolimpieza con aumento de la temperatura.
- La obstrucción por grasa en las tuberías crece a medida que tengamos un agua residual graso con mayor densidad y decrece con el incremento de la temperatura.

Recomendaciones

- La presente investigación tuvo como limitante el número de simulaciones debido a la variación ínfima que pudiese tener evaluar la variación de la concentración de aceites y grasas a lo largo de solo 3 metros de longitud de tubería. Se puede ampliar la presente investigación evaluando un número de simulaciones más condensado para así tener un mayor número de datos y así obtener una fórmula que describa de forma mucho más precisa la concentración de aceites y grasas por longitud de tubería.
- En el presente proyecto de tesis se tuvo la limitante de trabajar con productos fiscalizados como el solvente hexano y el sulfato de sodio por lo que solo se trabajó con 10 ml de hexano por cada extracción a pesar de que la metodología 5520B manda el uso de 30 ml de hexano por cada extracción. Para los futuros investigadores que no tengan la limitante del producto fiscalizado se recomienda el uso de los 30 ml de solvente hexano por cada extracción de aceites y grasas.
- En la presente investigación se tuvo como condicional la temperatura ambiente por lo que se recomienda ampliar la investigación con aguas residuales grasos con temperaturas más realista en cuanto a aguas residuales industriales.
- Se recomienda ampliar la presente investigación para la determinación de la reducción de la concentración de aceites y grasas por tiempo de retención en cada material de tubería.

Referencias bibliográficas

- Ainsa Lana, A. (2018). *Preparación de compuestos tensoactivos a partir de ésteres grasos insaturados* [Trabajo de fin de grado, Universidad Zaragoza]. Digital.CSIC. <http://hdl.handle.net/10261/187663>
- Consorcio de Aguas Bilbao Bizkaia. (s. f.). *Aceites usados de cocina. Problemática ambiental, incidencias en redes de saneamiento y coste del tratamiento en depuradoras*. <https://www.residusmunicipals.cat/uploads/activitats/docs/20170427092548.pdf>
- Ho, Y. M. & Berahim, N. A. (2013). Practices in the Management of Domestic Fats, Oil and Grease. *Advanced Materials Research*, 781-784, 2036-2039. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.781-784.2036>
- Jiménez Islas, D., Medina Moreno, S. & Gracida Rodríguez, J. (2010). Propiedades, aplicaciones y producción de biotensoactivos: una revisión. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 26(1), 65-84. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992010000100006&lng=es&tlng=es
- La República. (2019, 04 de noviembre). ¿Qué sucede cuando arrojas grasas y residuos sólidos al alcantarillado? <https://larepublica.pe/sociedad/2019/11/04/que-sucede-cuando-arrojas-grasas-y-residuos-solidos-al-alcantarillado-agua-potable-consorcio-lima-norte-lote-3>
- Martín Hernández, B. (1994). *Manual de tuberías/Bernardo Martín Hernández*. B. Martín. https://bibliobuscador.uah.es/permalink/34UAH_INST/1i9srno/alma991003474989704214
- Mattsson, J., [Hedström](#), A., Viklander, M. & Blecken, G. (2014). Fat, Oil, and Grease Accumulation in Sewer Systems: Comprehensive Survey of Experiences of Scandinavian Municipalities. *Journal of Environmental Engineering*, 140(3). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EE.1943-7870.0000813](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0000813)
- Mójica Mesinas, C., Rueda Chávez, B., Acosta Pintor, C. & Vidal, E. (2018). Estudio de las características físico-químicas de aceites y grasas de cocina usados. *Revista*

Tectzapic, 4(2), 33-40. <https://www.eumed.net/rev/tectzapic/2018/02/aceites-cocina-usados.html>

Office of Environment, Health and Safety. (2023, 29 de septiembre). *Best Management Practices for Fats, Oils, and Grease (FOG)*. University of California, Berkeley. <https://ehs.berkeley.edu/sites/default/files/publications/fact-sheet-ep-fog.pdf>

Otsuka, T., Yamazaki, H., Ankyu, E., Ahamed, T., Anda, M. & Noguchi, R. (2020). Elucidation of the Mechanism of Blockage in Sewer Pipes by Fatty Acid Deposition and Suspended Solid. *Water*, 12(8). <https://doi.org/10.3390/w12082291>

Pineda Rodríguez, C. A., & Guerrero Erazo, J. (2011). Aprovechamiento de los residuos grasos generados en los restaurantes y comidas rápidas de pereira. *Scientia Et Technica*, 1(47), 264–269. <https://doi.org/10.22517/23447214.581>


Villabona Ortiz, A., Iriarte Pico, R., & Tejada Tovar, C. (2017). Alternativas para el aprovechamiento integral de residuos 21 grasos de procesos de fritura. *Teknos Revista Científica*, 17(1), 21–29. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6382715>

YuBrain. (2021, 30 de octubre). *¿Qué es un agente tensioactivo?* Recuperado el 10 de agosto del 2025, de <https://www.yubrain.com/ciencia/quimica/agente-tensioactivo-definicion/>

Anexos

Anexo 1: Oficialización y aprobación del desarrollo de la tesis	1
Anexo 2: Aprobación de visita técnica y toma de muestra de aceites cocinado y agua residual graso del comedor universitario UNI	2
Anexo 3: SCTR del técnico soldador de cobre bajo la cobertura de SANITAS y PROTECTORA SECURITY	3
Anexo 4: Certificado de capacitación para la determinación de aceites y grasas según la metodología 5520B parte B realizado en el laboratorio SEGESA PERÚ acreditado por INACAL	4
Anexo 5: Fotos misceláneas	5

Anexo 1: Oficialización y aprobación del desarrollo de la tesis

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL

"AÑO DEL BICENTENARIO, DE LA CONSOLIDACIÓN DE NUESTRA INDEPENDENCIA Y DE LA CONMEMORACIÓN DE LAS HEROICAS BATALLAS DE JUNÍN Y AYACUCHO"

Lima, 25 de abril de 2024

CARTA N° 157-2024-CGT-FIA

Señor
Bach. NIELS HENRIK CANO FELIX
Presente.-

De mi consideración:

Tengo el agrado de dirigirle la presente, para hacer de su conocimiento la Resolución Rectoral N° 371 de fecha 17 de marzo del año 2016 por medio de la cual se aprueba el Reglamento para el Otorgamiento de Grado Académico y Título Profesional de la Universidad Nacional de Ingeniería.

En cumplimiento al Reglamento y visto el informe de la Comisión de Grados y Títulos, se aprueba el desarrollo del tema de Tesis cuyo título es el siguiente: **"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS OBSTRUCCIONES DE ACEITES Y GRASAS ENTRE LAS TUBERÍAS DE PPR Y PVC DURANTE EL TRANSPORTE DE AGUAS RESIDUALES GRASOS"**, el mismo que tiene como plazo 02 (dos) años, a partir de la oficialización, para presentar y sustentar.

Excepcionalmente, a solicitud del interesado (a), el Decano con la recomendación de la Comisión de Grados y Títulos, podrá ampliar los plazos establecidos hasta por 01 (un) año. Vencido dicho plazo se dará por concluido el proceso, pudiendo el (la) bachiller iniciar nuevamente el trámite optando por cualquiera de las modalidades de titulación existentes.


Asimismo, se le comunica que su asesor designado es el: **Ing. ROGER EDMUNDO SALAZAR GAVELAN.**

Con relación a los requisitos para la presentación de su Tesis, la documentación exigida para la sustentación se presentará 30 (treinta) días antes de la fecha de vencimiento de plazo.


El texto del Reglamento para el Otorgamiento de Grado Académico de Bachiller y Título Profesional de la UNI, así como el Reglamento de Procedimientos y Normas para Titulación Profesional por las diferentes modalidades y otorgamiento de Grados Académicos de Bachiller en la FIA, se encuentran disponibles en la página web de la FIA (<http://fiauni.pe>).

Sin otro particular, quedo de usted.

Atentamente,


Dr. MARIO ARISTIDES CHAVEZ MUÑOZ
DECANO

C.C: Asesor
MACM/Shur



Expediente: 041206-2024

Av. Túpac Amaru 210, Rimac – Apartado 1301 – Perú
Correo: cgtfia@uni.edu.pe
Web: <http://fiauni.pe>

Fuente propia

Anexo 2: Aprobación de visita técnica y toma de muestra de aceites cocinado y agua residual graso del comedor universitario UNI

Exp: 42898

SOLICITO: Visita y muestro de Comedor universitario UNI

Ing. Santiago Manuel Kerrigan León
Director de Bienestar Universitario UNI

Yo, Niels Henrik Cano Felix, identificado con DNI 71632517 y Código UNI 20160498A, egresado de la especialidad de ingeniería sanitaria de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Ingeniería, ante usted respetuosamente me presento y expongo:


Que, teniendo aprobación del plan de tesis de investigación de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Ingeniería y queriendo realizar la tesis de investigación: "Análisis Comparativo de las obstrucciones de aceites y grasas entre las tuberías de PPR y PVC durante el transporte de aguas residuales grasos", solicito a usted se me otorgue:

- 1) Una visita técnica a las instalaciones internas del comedor universitario para la inspección de las aguas residuales grasos y la trampa de grasas.
- 2) En la casuística que los residuos y efluentes cumplan con los requerimientos de la presente investigación solicito la toma de muestras de 50 litros de aceites y aguas residuales grasos.

La solicitud es durante el periodo que dure mi investigación de 3 meses de duración. Es precio señalar que respetaré el reglamento del comedor durante mi investigación.

Por la tanto, ruego a usted acceder a mi solicitud.

Lima, 27 de marzo del 2024



FIRMA DEL SOLICITANTE

NOMBRES Y APELLIDOS: NIELS HENRIK CANO FELIX
CODIGO UNI 20160498A
DNI N° 71632517

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
DIRECCIÓN DE BIENESTAR UNIVERSITARIO
MESA DE PARTES

27 MAR. 2024

RECIBIDO

Exp: 42898 Hora: 11:54 Firma: [Signature]

Fuente propia

Anexo 3: SCTR del técnico soldador de cobre bajo la cobertura de SANITAS y PROTECTORA SECURITY



CONSTANCIA

SEGURO COMPLEMENTARIO DE TRABAJO DE RIESGO PENSION Y SALUD

JOSE Y EDWIN CONTRATISTAS GENERALES S.A.C

RUC: 20545463190

VIGENCIA: 01/05/2024 00:00 al 31/05/2024

ACTIVIDAD: OTRAS INSTALACIONES PARA OBRAS DE CONSTRUCCIÓN

Por medio del presente dejamos constancia que los asegurados detallados líneas abajo, conforme al Decreto Supremo 003-98-SA, se encuentran amparados bajo la cobertura de salud de trabajo de riesgo y pensión del Seguro Complementario de Trabajo de Riesgo*.

Contrato SCTR - Salud N°: 674428	Póliza SCTR - Pensión N°: 1000197300
----------------------------------	--------------------------------------

Sede : PRINCIPAL

Nro.	Nombres	Apellido Paterno	Apellido Materno	Nro. Documento
1	CARLOS AUGUSTO	ALVARADO	POCO	DNI - 46704292
2	JUNIOR	ALVARADO	POCO	DNI - 70566536
3	ANELSO	BARBOZA	SILVA	DNI - 46889037
4	ROLANDO MAXIMO	CAMPOMANES	PONTE	DNI - 25773230
5	MILCER	CANTA	HUAMAN	DNI - 44386110
6	ROY DAVID	CARACUZMA	TOVAR	DNI - 44019052
7	CLAUDIO JAIME	CARHUAS	MINAYA	DNI - 10619490
8	ALCIBAR YONEL	CHAVEZ	OYARCE	DNI - 74464330
9	DANTE DANTE	CONDEÑA	GUERRERO	DNI - 40953004
10	LITMAN ERIC	CORVERA	HUAMAN	DNI - 47199449
11	JOSE ALBERTO	ESQUECHE	NECIOSUP	DNI - 16803230
12	EDWIN ROGER	ESTUPIÑAN	ROMERO	DNI - 41130604
13	LINDER	HUAMAN	MENDOZA	DNI - 43121702
14	JHON LEONARD	HUARACA	TITO	DNI - 43544511
15	JOSE LUIS	HUARACA	QUISPE	DNI - 76158110
16	JORGE ALBERTO	IBARBURU	ORE	DNI - 48401979
17	SAMMY HUMBERTO	LEYTON	VILLAR	DNI - 75406658
18	EDWIN	LOPEZ	DIAZ	DNI - 10602820
19	ALEX	LOPEZ	DIAZ	DNI - 41636800
20	LUIS ERICK	MANRIQUE	TAYA	DNI - 44081956
21	ROBERTO	NAPURI	MIRANDA	DNI - 09267996
22	ANTHONY HECTOR	OSCATÉGUI	RAFAEL	DNI - 47642018
23	LUIS ENRIQUE	ROJAS	CARTAGENA	DNI - 77016058
24	JUAN CARLOS	SAENZ	HUAMAN	DNI - 46490126

Extendemos la presente constancia a solicitud de nuestro cliente JOSE Y EDWIN CONTRATISTAS GENERALES S.A.C para los fines que considere pertinentes.

*No se brindara cobertura de pensión a los accidentes ocurridos en explotaciones de minas y canteras a menos que se consigne esta actividad en las Condiciones Particulares de la Póliza.

Anexo 4: Certificado de capacitación para la determinación de aceites y grasas según la metodología 5520B parte B realizado en el laboratorio SEGESA PERÚ acreditado por INACAL



Anexo 5: Fotos misceláneas

Grasas Residuales listas para ser evacuadas a la trampa de grasa del comedor universitario. El ambiente corresponde de horno dentro del comedor universitario UNI



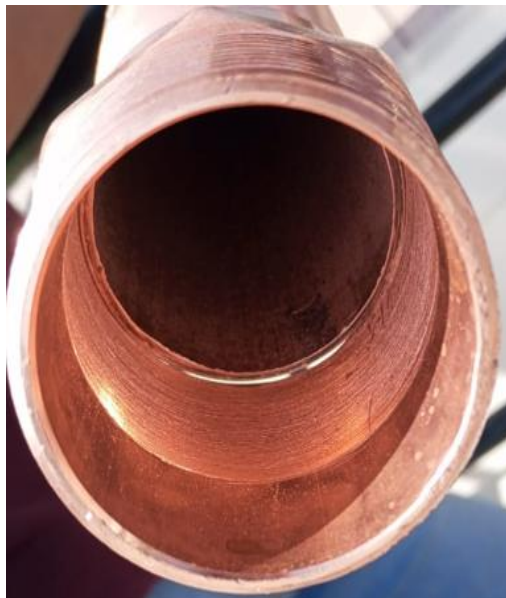
Trampa de grasa del comedor universitario ubicado a las afueras de esta



Unión Universal utilizado en el proyecto de tesis de investigación



Accesorio de transición o “adaptador” de cobre utilizado para la unión de la tubería de cobre con la válvula de PVC



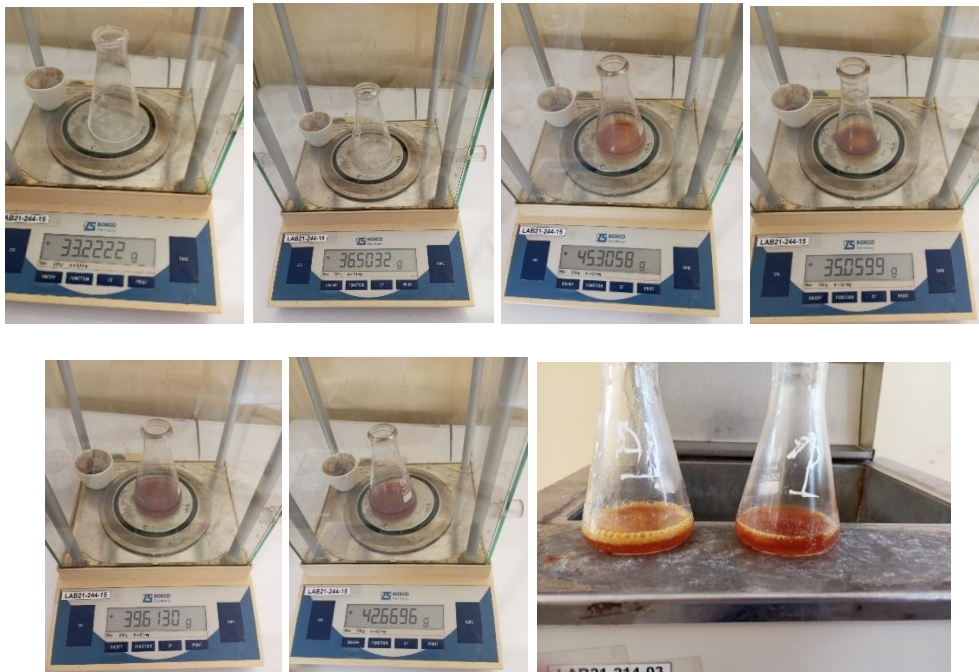
Batea de color azul utilizado como fuente de afluente en el proyecto de tesis de investigación



Proceso de instalación de las válvulas de las tuberías a las válvulas de PVC



Fotos de los resultados de laboratorio simulación N°63 tubería de cobre



Fotos de los resultados de laboratorio simulación N°100 tubería de cobre

