

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA



**“VALORIZACIÓN ECONÓMICA DE LAS AGUAS RESIDUALES OLEOSAS
PROVENIENTES DE LA FABRICACIÓN DE TUBOS DE ACERO TRATADAS
MEDIANTE CENTRIFUGACIÓN”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO QUIMICO

Adriana Carolina, Rimarachin López

Jersson Jesús, Otero León

Callao, 2021

PERÚ

PRÓLOGO DEL JURADO

La presente tesis fue sustentada por los Bachilleres **RIMARACHIN LÓPEZ ADRIANA CAROLINA** y **OTERO LEÓN JERSSON JESÚS** ante el **JURADO DE SUSTENTACIÓN DE TESIS** conformado por los siguientes docentes ordinarios de la Universidad Nacional del Callao:

Ing. Dr. LUIS AMÉRICO CARRASCO VENEGAS:	PRESIDENTE
Ing. Dr. JULIO CÉSAR CALDERÓN CRUZ:	SECRETARIO
Lic. Mg. ANA MARÍA REYNA SEGURA:	VOCAL
Lic. Mg. VICTORIA YSABEL ROJAS ROJAS:	MIEMBRO SUPLENTE (VOCAL)
Ing. Mg. JUAN TAUMATURGO MEDINA COLLANA	ASESOR

Tal como está asentado en el Libro de Actas N° 1 de Tesis con Ciclo de Tesis Folio N° 81 y Acta N° 80 de fecha **VEINTIDOS DE AGOSTO DE 2021**, para optar el Título profesional de Ingeniero Químico en la Modalidad de Titulación de Tesis con Ciclo de Tesis, de conformidad establecido por el Reglamento de Grados y Títulos aprobado por Resolución de Consejo Universitario N° 245-2018-CU de fecha 30 de octubre del 2018.

DEDICATORIA

A Dios: Por bendecirnos con salud, trabajo y fortaleza en estos tiempos tan difíciles que nos tocó vivir y aun así permitimos lograr más de lo que esperábamos en medio de esta gran incertidumbre.

A nuestros padres: Por darnos la fuerza y ser nuestro principal motor y motivo para alcanzar y lograr nuestras metas. Porque nunca dejaron de confiar y creer en nosotros y porque siempre nos inculcaron atrevimiento y sacrificio enseñándonos que todo esfuerzo finalmente tiene su recompensa.

A nuestros hermanos: Porque son y serán siempre nuestro principal apoyo, porque sabemos que no existen otras personas más sinceras e importantes de las cuales siempre recibiremos los mejores de los consejos. Esperamos haber sido y seguir siendo el mejor ejemplo para ustedes.

AGRADECIMIENTO

A todos nuestros docentes, personas de gran sabiduría quienes se han esforzado por ayudarnos a llegar al punto en el que nos encontramos ahora. Sencillo no ha sido el proceso, pero gracias a las ganas de transmitirnos su tiempo, conocimientos y dedicación hemos podido lograr la tan anhelada obtención del título profesional.

INDICE

TABLAS DE CONTENIDO	4
RESUMEN	8
ABSTRAC	9
INTRODUCCIÓN	10
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	12
1.1. Descripción de la realidad problemática	12
1.2. Formulación del problema	13
1.2.1. Problema general	13
1.2.2. Problemas específicos	13
1.3. Objetivos	14
1.3.1. Objetivo general	14
1.3.2. Objetivos específicos	14
1.4. Limitantes de la investigación	14
1.4.1. Limitación teórica	14
1.4.2. Limitación temporal	15
1.4.3. Limitación espacial	15
II. MARCO TEÓRICO	16
2.1. Antecedentes	16
2.1.1. Antecedentes internacionales	16
2.1.2. Antecedentes nacionales	19
2.2. Bases teóricas	21
2.2.1. Valorización económica	21

2.2.2. Modelos económicos	22
2.2.3. Técnicas y métodos de valoración económica	23
2.2.4. Análisis costo beneficio (ACB)	26
2.2.5. Aguas residuales oleosas	30
2.2.6. Proceso de producción de tubos de acero	34
2.2.7. Fluido de corte refrigerante (taladras)	34
2.2.8. Fuentes de aguas oleosas en la fabricación de tubos	39
2.2.9. Principio de separación de aceites	40
2.2.10. Centrifugación	45
2.2.11. Marco normativo	49
2.3. Marco Conceptual	51
2.4. Definición de términos básicos	52
III. HIPÓTESIS Y VARIABLES	56
3.1. Hipótesis	56
3.1.1. Hipótesis general	56
3.1.2. Hipótesis específicas	56
3.2. Definición conceptual de variables	56
3.2.1. Operacionalización de variables	58
IV. METODOLOGÍA	59
4.1. Tipo de investigación y diseño de investigación	59
4.2. Método de investigación	59
4.3. Población y muestra	66
4.4. Lugar de estudio y periodo desarrollado	67

4.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	67
4.6. Análisis y procesamientos de datos	70
V. RESULTADOS	74
5.1. Resultados descriptivos	74
5.2. Resultados inferenciales	83
5.3. Otro tipo de resultados estadísticos, de acuerdo a la naturaleza del problema y la hipótesis	83
VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	84
6.1. Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados	84
6.2. Contrastación de los resultados con otros estudios similares	93
6.3. Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes	95
VII. CONCLUSIONES	96
VIII. RECOMENDACIONES	97
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	98
ANEXOS	103

TABLAS DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Características físicas, químicas y biológicas del agua residual y sus procedencias	32
Tabla 2	Contaminantes de importancia en aguas residuales	33
Tabla 3	Funciones de los fluidos de corte refrigerantes	37
Tabla 4	Comparativa de los distintos fluidos de corte acuoso	38
Tabla 5	Variables que afectan la centrifugación	46
Tabla 6	Aplicación de tipos de centrifugas continuas	47
Tabla 7	Parámetros compatibles de la norma de referencia para agua residual	50
Tabla 8	Metodologías para el análisis de agua residual	60
Tabla 9	Métodos de separación sólidos-líquido para aguas residuales oleosas	61
Tabla 10	Propiedades fisicoquímicas de Mec fluid S 1100 (Fluido de corte refrigerante)	62
Tabla 11	Datos de la muestra	66
Tabla 12	Formato de muestreo de aguas residuales oleosas	67
Tabla 13	Formato para la caracterización de aguas residuales oleosas	68
Tabla 14	Formato para el registro de parámetros de estudio de centrifugación	69
Tabla 15	Punto de muestreo de agua residual	71
Tabla 16	Resumen de diseño	73
Tabla 17	Resultados del monitoreo del agua residual sin tratamiento	74
Tabla 18	Resultados de centrifugación a 50Hz y 2h, 3h, 5h. Semana 1	75

Tabla 19	Resultados de centrifugación a 55Hz y 2h, 3h, 5h. Semana 2	76
Tabla 20	Resultados de centrifugación a 60Hz y 2h, 3h, 5h. Semana 3	76
Tabla 21	Resultados de centrifugación a 50Hz y 2h, 3h, 5h. Semana 4	76
Tabla 22	Resultados de centrifugación a 55Hz y 2h, 3h, 5h. Semana 5	76
Tabla 23	Resultados de centrifugación a 60Hz y 2h, 3h, 5h. Semana 6	77
Tabla 24	Resultados de centrifugación a 50Hz y 2h, 3h, 5h. Semana 7	77
Tabla 25	Resultados de centrifugación a 55Hz y 2h, 3h, 5h. Semana 8	77
Tabla 26	Resultados de centrifugación a 60Hz y 2h, 3h, 5h. Semana 9	77
Tabla 27	Consolidado de volúmenes de aceite extraído – semana 1 hasta semana 9	78
Tabla 28	Resultados del monitoreo del agua residual tratada	79
Tabla 29	Resultados del beneficio económico por la recuperación de aceite	80
Tabla 30	Gastos por disposición y transporte de aguas residuales oleosas (USD/año)	81
Tabla 31	Gastos por consumo de aceite (USD/año)	81
Tabla 32	Tiempo de parada de planta para la succión de aguas residuales oleosas	82
Tabla 33	Gastos por mano de obra en la succión de aguas residuales oleosas	82
Tabla 34	Gastos por consumo de fluido de corte refrigerante (USD/año)	83
Tabla 35	Tarifa de energía eléctrica por hora de trabajo	83
Tabla 36	Análisis de varianza	86
Tabla 37	Resumen del modelo	87

Tabla 38	Análisis de los parámetros que exceden la normativa vigente	89
Tabla 39	Registro anual de Beneficios totales 2019-2020	91
Tabla 40	Registro anual de Costos totales para la implementación de la centrifuga	92

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Principales técnicas y métodos de valoración económica	24
Figura 2	Fluido de corte refrigerante utilizado en el proceso de producción de tubos de acero estructural	35
Figura 3	Estructura química de los aceites minerales nafténicos	36
Figura 4	Clasificación de los fluidos de corte	36
Figura 5	Esquema de funcionamiento de la centrifuga continua tipo disco	62
Figura 6	Gráfica de residuos en la extracción de aceite	69
Figura 7	Probabilidad normal de residuos	84
Figura 8	Efectos principales en la extracción de aceite	85
Figura 9	Interacción entre las variables tiempo de operación y velocidad de rotación	87
Figura 10	Resultados del análisis de aceites y grasas	87
Figura 11	Resultado del análisis de la demanda química de oxígeno	90
Figura 12	Resultado del análisis de la demanda bioquímica de oxígeno	90
Figura 13	Esquema de funcionamiento de la centrifuga continua tipo discos	91

RESUMEN

La presente investigación está enfocada en valorizar el tratamiento de aguas residuales oleosas provenientes del proceso de fabricación de tubos de acero mediante la técnica de análisis costo beneficio. Se planteó la implementación de una mejora a través de la adquisición de un equipo centrifugador para reducir el contenido de aceites y grasas, alargando la vida útil del fluido de corte refrigerante en condiciones de operación de 03 horas y 55 Hertz.

El aceite extraído con propiedades anticorrosivas y de lubricación similares a un aceite nuevo, es reutilizado para la protección de los tubos generados en el proceso productivo. En el primer año de implementación del equipo, se obtuvo un beneficio a favor de la empresa de 95 galones/mes lo que en valor económico ascendió a 8 470 USD/año, además el aceite recuperado generó la reducción del consumo anual de aceite nuevo, lográndose otro beneficio de 8 413 USD/año. Así mismo, se disminuyeron los costos operativos del tratamiento de aguas residuales oleosas evitando realizar desembolsos económicos para su disposición y tratamiento ahorrando adicionalmente 8 360 USD/año.

Finalmente, se aplicó el método de análisis de costo beneficio concluyendo que la implementación del equipo centrifugador a las condiciones óptimas de operación es ambiental y económicamente viable, debido a que en el primer año de implementación de la mejora se logró la recuperación de los gastos invertidos además de reducir la generación de aguas residuales.

Palabras claves: Valorización económica, aguas residuales oleosas, centrifugación, método de costo ACB.

ABSTRACT

This research is focused on valuing the treatment of oily wastewater from the steel tube manufacturing process through the cost-benefit analysis technique. The implementation of an improvement was proposed through the acquisition of a centrifugal equipment to reduce the content of oils and fats, extending the useful life of the refrigerant cutting fluid under operating conditions of 03 hours and 55 Hertz.

The extracted oil with anticorrosive and lubrication properties similar to a new oil, is reused to protect the tubes generated in the production process. In the first year of implementation of the equipment, a profit of 95 gallons / month was obtained in favor of the company, which in economic value amounted to 8,470 USD / year, in addition to the recovered oil, it generated a reduction in annual consumption again, achieving another profit of 8,413 USD / year. Likewise, the operating costs of the oily wastewater treatment were reduced, avoiding making financial disbursements for its disposal and treatment, additionally saving 8,360 USD / year.

Finally, the cost-benefit analysis method was applied, concluding that the implementation of the centrifugal equipment at optimal operating conditions is environmentally and economically viable, because in the first year of implementation of the improvement, the recovery of the invested expenses was achieved. in addition to reducing wastewater generation.

Keywords: Economic valuation, oily wastewater, centrifugation, CBA cost method.

INTRODUCCIÓN

La industria de la fabricación de tubos de acero presenta grandes oportunidades de mejora, que van desde la parte productiva hasta la gestión ambiental de los residuos y efluentes que genera.

Uno de los principales contaminantes que mayor impacto ocasiona tanto a nivel económico como ambiental es la generación de efluentes oleosos provenientes del agotamiento de los fluidos de corte refrigerantes. Estos son utilizados para el enfriamiento y lubricación de las máquinas de producción en el proceso de conformado de tubos.

En este sentido, la principal fuente de agotamiento de estos fluidos son los aceites lubricantes utilizados en el proceso de mantenimiento de las piezas metálicas de las máquinas y la lubricación de los productos generados en la línea de producción.

Por otro lado, el impacto económico que genera la succión, el transporte y la disposición final de estos efluentes, caracterizados como peligrosos, en la industria metalmeccánica; sin la implementación de una mejora podría implicar un gasto recurrente de hasta tres a cuatro succiones al año.

La selección del equipo tuvo como base: el área disponible de la planta, la composición y características fisicoquímicas del efluente, la complejidad de operación de los tratamientos y finalmente el gasto de implementación de la mejora (inversión económica).

En base a lo indicado líneas arriba, el aporte de esta investigación es la implementación de un equipo centrifugador que cumple con las condiciones operativas, de espacio y de valor económico en beneficio de la empresa; por la reducción del contaminante en los efluentes generados.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la realidad problemática

La industria metalmecánica específicamente el sector comprendido por el proceso de fabricación de tubos de acero es una gran consumidora de aceites lubricantes, los cuales son utilizados asiduamente para facilitar el engrase y refrigeración en las diferentes modalidades de corte, moldeado y tratamiento mecánico de piezas metálicas. Estos fluidos, una vez han sido utilizados, se convierten en un residuo líquido contaminante el cual excede los parámetros de aceites y grasas, demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y demanda química de oxígeno (DQO), establecidos por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento mediante el Decreto Supremo 010-2019-VIVIENDA (Reglamento de Valores Máximos Admisibles para la descarga de aguas residuales no domésticas).

Asimismo, debido a su potencial contaminante la gestión por evacuación de estos efluentes líquidos generados tiene un costo excesivo, el cual depende de la cantidad de succiones que se realicen en un determinado periodo de tiempo, motivo por el cual se convierten en uno de los principales problemas generados tanto a nivel económico como ambiental para las empresas.

Ante esta problemática expuesta se desarrolló una solución mediante la aplicación de una mejora técnica, implementación de una centrifuga tipo disco, que permita separar aceites y grasas del efluente residual. El aceite recuperado será reutilizado para la lubricación de los mismos tubos en el proceso de

producción y bajo esta mejora implementada se buscará alargar la vida útil del fluido refrigerante, de tal forma que se disminuyan los costos operativos del tratamiento de aguas oleosas.

1.2 Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Cuál es el beneficio de valorar económicamente las aguas residuales oleosas provenientes de la fabricación de tubos de acero tratadas mediante centrifugación?

1.2.2. Problemas específicos

- a) ¿Cuál es el tiempo adecuado de operación de la centrifuga para el tratamiento de las aguas residuales oleosas?
- b) ¿A qué velocidad de operación se logra mayor extracción de aceites y grasas con la centrifuga en el tratamiento de las aguas residuales oleosas?
- c) ¿Cuáles son las características fisicoquímicas de las aguas residuales oleosas provenientes de la fabricación de tubos de acero tratadas mediante centrifugación?

1.3 Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Valorar económicamente las aguas residuales oleosas provenientes de la fabricación de tubos de acero estructural tratadas mediante centrifugación

1.3.2. Objetivos específicos

- a) Determinar el tiempo adecuado de operación de la centrifuga para el tratamiento de las aguas residuales oleosas.
- b) Determinar la velocidad de operación en la que se logra mayor extracción de aceites y grasas con la centrifuga en el tratamiento de las aguas residuales oleosas.
- c) Determinar las características fisicoquímicas de las aguas residuales oleosas provenientes de la fabricación de tubos de acero tratadas mediante centrifugación.

1.4 Limitantes de la investigación

1.4.1. Limitaciones teóricas

La presente investigación no contó con limitaciones teóricas, debido a que la información consultada tuvo como fuente principal tesis y artículos digitalizados.

1.4.2. Limitación temporal

En cuanto a las limitaciones temporales a presentarse durante el desarrollo de la investigación, es coincidir con los horarios de los contactos de la empresa TUPEMESA para solicitar las muestras de las aguas residuales oleosas, para su posterior análisis y caracterización antes y después de la implementación del equipo centrifugador. Además, de realizar la solicitud de los gastos realizados por el manejo de este efluente, con el objeto de determinar el porcentaje de índice de mejora.

1.4.3. Limitación espacial

Nuestro trabajo se realizó en las instalaciones de la empresa TUPEMESA, sin embargo, las tomas de muestra y caracterización del agua residual fueron ejecutados por un laboratorio acreditado y certificado por el Instituto Nacional de Calidad – INACAL.

Por otro lado, la determinación del beneficio económico a favor de la empresa se llevó a cabo mediante reuniones virtuales de los tesistas.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Maldonado (2018), en la tesis titulada EVALUACIÓN TÉCNICA-ECONÓMICA DE ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS OLEOSAS GENERADAS EN LA PLANTA RE-REFINADORA DE ACEITES LUBRICANTES USADOS DE BIOFACTOR S.A. – ECUADOR , definió que la mejor alternativa de tratamiento es la oxidación húmeda con aire (WAO) a una presión de 30 bar y temperatura media de 200 °C. Junto a ello acondicionó un pretratamiento y post tratamiento que consistió en una columna empacada stripping y un humedal artificial respectivamente, logrando cumplir con los parámetros indicados en la Norma Técnica Ecuatoriana, removiendo el 99,98% de la DQO y el 99,81% de la DBO.

El autor concluyó que desde el punto de vista económico su implementación requirió de una inversión de \$ 444,695.00 (USD), la cual a los 3 años y 11 meses sería recuperada presentando un VAN de \$ 62,658.00 (USD) y un TIR de 13.89%, con una tasa de descuento del 8%.

Martínez et al. (2018), en su trabajo de investigación EVALUACIÓN DEL SISTEMA TRATAMIENTO DE RESIDUALES LÍQUIDOS GENERADOS EN UNA CENTRAL ELÉCTRICA OPERANDO CON "FUEL OIL". ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS, demostraron que el agua residual tiene un valor añadido a

partir de las ganancias que puede reportar la recuperación del combustible (fase orgánica). Las mejoras propuestas lograron reducir en 70.34% la DQO y en 53.7% el contenido de aceites y grasas, asimismo, los indicadores dinámicos demostraron que la propuesta fue factible con un VAN de \$ 36,279.00 (USD) y un TIR de 71%, recuperando el monto invertido en un periodo menor a un año.

Hernández et al. (2010) en la investigación titulada ESTUDIO DE VIABILIDAD ECONÓMICA PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES A TRAVÉS DE UN ANÁLISIS COSTE BENEFICIO. Los autores realizaron un Análisis Coste Beneficio (ACB) del proceso de depuración de aguas residuales con valoración de las externalidades ambientales. El ACB con valoración de los beneficios ambientales les permitió llevar a cabo estudios de viabilidad económica para proyectos de tratamiento y reutilización de agua teniendo en cuenta el valor monetario de las llamadas externalidades ambientales. Consideraron que la depuración de aguas residuales representa un proceso productivo en el que se obtiene un output deseable (agua tratada) junto con una serie de outputs no deseables (sólidos en suspensión, fósforo, nitrógeno, etc), plantearon el cálculo de un precio sombra, este último representa el valor del daño ambiental evitado o beneficio ambiental derivado del tratamiento de las aguas residuales.

Concluyeron que el Análisis de Costos Beneficio (ACB), proporciona en media un resultado positivo del 0.5970 USD/m³, lo que los lleva a demostrar que la depuración de aguas residuales es un proceso positivo no solo desde el punto de vista ambiental sino también económico.

Huertas y Martínez (2016), en el trabajo de grado DISEÑO DE UN MODELO ECONÓMICO CON EL OBJETIVO DE DETERMINAR EL COSTO-BENEFICIO DEL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES DE PERFORACIÓN, EN UN CAMPO DE ECOPETROL S.A. Determinaron el costo-beneficio del tratamiento de las aguas residuales industriales de perforación, en un campo de ECOPETROL S.A. Se remitieron a referencias bibliográficas y documentales y concluyeron que no existe una herramienta que permita determinar el costo beneficio del tratamiento de las aguas residuales industriales de perforación de pozos de petróleo, específicamente para los métodos convencional y la tecnología ósmosis inversa.

Por tal razón, registraron y cuantificaron los costos mediante una función lineal $CT=CV+CF$ que les permitió trabajar series de tiempo, cuya variable dependiente fue el costo total de tratamiento para cada uno de los métodos mencionados, y las explicativas conformadas por las variables endógenas y exógenas. Asimismo, realizaron un diagnóstico de las condiciones bajo las cuales hicieron uso de la tecnología convencional y de ósmosis inversa comparando sus resultados en términos de eficiencia. En cuanto a calidad del agua resultante de cada proceso; establecieron que el segundo método, es el más favorable, debido a que la tecnología de ósmosis inversa es amigable con el medio ambiente, ya que no produce ni utiliza ningún tipo de producto químico nocivo durante su proceso.

Concluyeron que el agua residual industrial de perforación tratada mediante el método convencional resulta ser más económica, dado que tratar un barril de

agua tiene un costo de \$22,813.00 (USD) pero sus costos cualitativos son mayores, porque estas aguas son poco reutilizadas y aún tienen componentes. Sin embargo, utilizar el método de ósmosis inversa para tratar un barril de agua tiene un costo de \$35,361.00 (USD) pero los costos cualitativos que genera son mínimos, dado que el 90% a 93% se reutiliza.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Fernández (2019), en la tesis titulada PROPUESTA DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL SERVICENTRO SAN MIGUEL PARA MINIMIZAR EL IMPACTO AMBIENTAL SOBRE LAS FUENTES DE AGUA. Realizó un análisis fisicoquímico de las aguas residuales, obteniendo como resultado un DBO = 629,2 mg/L; DQO = 1 333,28 mg/L; SST = 1 265 mg/L y A&G = 238,67 mg/L. Para determinar los tratamientos necesarios para la propuesta utilizó el método de factores ponderados, dando como resultado: un desbaste de finos y grueso, una trampa de grasas, una coagulación-floculación y un filtro de carbón activado. Permitiendo así poder cumplir con los VMA al tener como resultado después del tratamiento una disminución para el DBO de 98,56%, para el DQO de 99,65%, para SST de 99,79% y A&G de 95,61%.

Finalmente, realizó un análisis costo-beneficio y obtuvo una ganancia de S/ 0.36 (nuevos soles) por cada sol invertido en el desarrollo de la propuesta. Además, logró disminuir el porcentaje del riesgo ambiental en un 17.53%.

La investigación de Fernández nos sirve como antecedente, ya que si bien es cierto no presenta el mismo objeto de estudio, presenta dentro de su

investigación un método de análisis de valoración económica que nos es de referencia para nuestro estudio de valoración.

Mercado (2014), en la tesis titulada CENTRIFUGACIÓN. Detalla todos los conceptos básicos y específicos acerca de la operación de centrifugado. Además, determina el efecto de la temperatura, el desplazamiento del anillo y la velocidad de giro en el rendimiento de la separación. Esta tesis sirve como antecedente ya que permite conocer el fundamento fisicoquímico de los métodos de separación y adquirir la capacidad para decidir, en un momento determinado, cuál de todas las alternativas es la más adecuada para proceder a realizar la separación en el curso de un proceso de análisis o de síntesis.

Paz (2017), en la tesis titulada MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES LÍQUIDOS ALCALINOS PROVENIENTES DEL PROCESO DE TEÑIDO TEXTIL EN LA EMPRESA FRANKY & RICKY. Realizó un análisis costo-beneficio en el que identificó un ahorro de \$ 56,146.42 (USD) del sistema actual en comparación con el sistema antiguo, pues si bien los costos de tratamiento del sistema mejorado fueron aproximadamente 70% mayores, el consumo de agua municipal se redujo hasta en un 65%, lo que tradujo en un importante beneficio económico para la empresa en donde realizó su investigación. Así mismo, elaboró un flujo de caja proyectado a 10 años en el que se observa un ahorro de \$ 246,420.00 (USD) actualizado al presente; finalmente concluyó, que el proyecto es viable y altamente beneficioso para la empresa.

La investigación de Paz nos sirve como antecedente ya que si bien es cierto no presenta el mismo objeto de estudio, en este caso aguas residuales alcalinas en vez de aguas residuales oleosas, sin embargo, el aporte extraído es la aplicación de un método de análisis de valoración económica “Análisis de Costo-Beneficio”.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Valorización económica

La valorización consiste en la operación cuyo objetivo es que el residuo, uno o varios de los materiales que lo componen, sean reaprovechados y sirvan a una finalidad útil al sustituir a otros materiales o recursos en los procesos productivos. La valorización pueda ser material o energética, siendo las operaciones de valorización material: la reutilización, reciclado, recuperación de aceites, bioconversión, entre otras alternativas que a través de procesos de transformación, física o química demuestren su viabilidad técnica, económica y ambiental.

La valorización constituye una alternativa de gestión que debe priorizarse frente a la disposición final de los residuos, en ese sentido, existe una relación estrecha entre la valorización y el impacto económico que tiene su manejo adecuado y gestión.

La valorización económica viene a ser entonces un instrumento que permite obtener un indicador monetario respecto a la importancia que tiene un residuo convertido en recurso. Este coste revelará una aproximación del verdadero valor

de uso y la escasez de su bien pionero, permitiendo aprovechar el potencial económico de los mismo desde una base sustentable.

2.2.2. Modelos económicos

Realizar un análisis económico supone la construcción de “modelos” que faciliten tal proceso, por lo que un modelo, en este contexto, es simplemente una abstracción teórica útil para comprender, explicar y predecir los fenómenos reales, que deja de lado lo que no afecta o afecta marginalmente al problema en estudio. Es importante tener presente que, si bien es cierto que un modelo se basa en una serie de supuestos, la prueba de su eficacia y poder de explicación y predicción no es tanto la que se vincula al realismo de los supuestos, sino más bien a los resultados que se obtienen de ellos. (Kafka, 1997)

La construcción de los modelos depende de la habilidad y de la experiencia del investigador que los diseña y es difícil desarrollar un patrón único y detallado de la manera de llevar a cabo tal diseño.

Uno tipo de modelo económico es el modelo económico-econométrico, el cual permite utilizar y aplicar la temática a una serie de datos que permiten una validación empírica de la realidad que se formaliza mediante dicho modelo. La econometría como parte de este modelo puede definirse como el análisis cuantitativo de fenómenos económicos reales, basados en el desarrollo simultáneo de la teoría y la observación relacionados mediante métodos apropiados de inferencia. (Portillo, 2006). Los datos para utilizar pueden clasificarse según el diseño del modelo:

- Datos de serie de tiempo: conjunto de observaciones sobre los valores de una variable en diferentes momentos y debe recopilarse en términos regulares por periodo de tiempo (diario, semanal, quincenal, mensual, anual)
- Datos transversales: consisten en datos de una o más variables recopilados en el mismo punto del tiempo.
- Datos de panel: estos reúnen elementos de serie de tiempo y transversales.

Por consiguiente, según la descripción de los tipos de datos explicados y el objeto de esta investigación el modelo de datos a utilizar es de serie de tiempo, cuya información fue registrada cada siete días (periodo de tiempo que se satura la poza de soluble objeto de estudio).

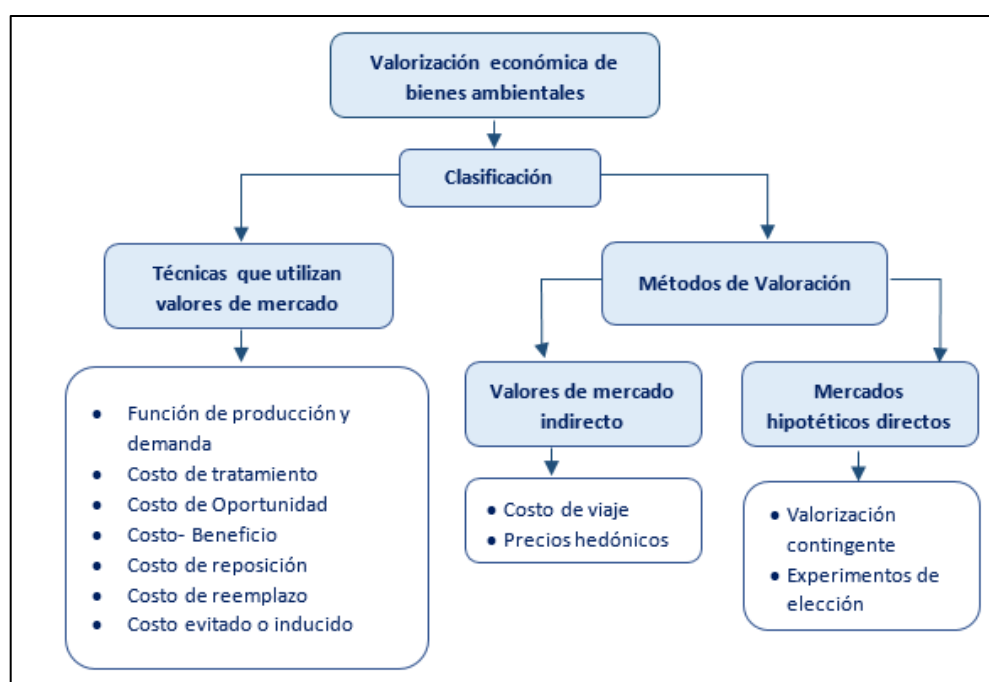
2.2.3. Técnicas y métodos de valoración económica

Existen dos categorías de técnicas en cuanto a valoración económica se refiere, los métodos directos e indirectos. Estos últimos se enfocan en contemplar como la relación entre los recursos y otros puede generar bienes y servicios, o flujos de utilidad. Es por ello, que se puede abordar cómo un individuo valora un recurso, monitoreando su comportamiento en los mercados reales de los bienes que le interesan. En otras palabras, por las preferencias declaradas que tiene un mercado (Trueba y Ortiz, 2019).

En la siguiente figura 1 se presenta la síntesis de los principales métodos y técnicas que se aplica en este tipo de estudio relacionando la presencia o no de un mercado.

Figura 1

Principales técnicas y métodos de valoración económica



Fuente: Trueba y Ortiz (2019)

Entre las técnicas de valores de mercado se encuentran las siguientes: función de producción y demanda, costo de tratamiento, costo de oportunidad, costo-beneficio, costo de reposición, costo de reemplazo y costo evitado o inducido.

- La función de producción y demanda se centra en la aplicación del Análisis Costo Beneficio (ACB) tradicional a grandes rasgos consiste en evaluar las cuestiones de rentabilidad financiera que puede presentar un proyecto Parte de contemplar cambios en niveles de producción y los insumos,

tratando de realizar la valoración de éstos al precio de mercado (Trueba y Ortiz, 2019).

- El costo de tratamiento se fundamenta en que una pérdida de salud le supone a la persona afectada o la sociedad, una pérdida de bienestar, que incluye los siguientes componentes: el costo que el propio malestar le supone a la persona, el no poder disfrutar el tiempo libre y los días de trabajos perdidos o de actividad restringida con consecuente impacto económico (Trueba y Ortiz, 2019).
- El costo de oportunidad analiza los posibles impactos de dejar de percibir beneficios ante la pérdida de un recurso, reflejando su afectación en distintas formas a diferentes grupos (Trueba y Ortiz, 2019).
- El costo-beneficio, considera que existen costos y beneficios sociales al realizar una actividad económica, tomando en cuenta los flujos privados o evaluaciones financieras de un mercado, con el objeto de buscar la rentabilidad de un proyecto y la toma de decisiones adecuadas en el empleo de los recursos que tiene uso alternativo (Trueba y Ortiz, 2019).
- El costo de reposición tiene como fin determinar los costos que se relacionan con la reposición original de los activos afectados negativamente debido a una modificación en la calidad de los recursos ambientales, en síntesis, buscar valorar los gastos en recuperar los niveles de calidad y cantidad de un bien ambiental (Trueba y Ortiz, 2019).

- El costo de reemplazo busca a estimar los costos por sustitución de activos ambientales dañados por actividades humanas, por consiguiente, busca estimar los beneficios que se generan al evitar un daño ambiental (Cristeche y Penna, 2009).
- El costo evitado o inducido, corresponde al típico caso en que el bien o servicio ambiental bajo análisis no se comercia en el mercado, pero está relacionado con un bien que sí lo es, o sea, que posee un valor económico; y que el vínculo entre ambos radica en ser sustituidos en el marco de una determinada función de producción (Trueba y Ortiz, 2019).

Los métodos de valoración económica se consideran en dos direcciones: directos e indirectos. Los indirectos (método del costo de viaje y precios hedónicos) utilizan valores en sus análisis relacionados con los que posee el mercado, mientras, los directos (valoración contingente y experimentos de elección) no requieren datos del mercado para inferir el valor económico de bienes ambientales, obtienen la información necesaria con la construcción de mercados hipotéticos mediante las preferencias declaradas de los individuos en un territorio (Trueba y Ortiz, 2019).

2.2.4. Análisis costo beneficio (ACB)

El ACB tiene por objeto brindar un método consistente para evaluar decisiones en términos de consecuencias, este análisis teórico, parte de la Economía del Bienestar, considerada como una rama del análisis económico que tiene como sus principales fundamentos el planteamiento de acciones eficientes para

determinar si una política debe ser aplicada gracias a una adecuada asignación de recursos. Es en ese sentido, que el ACB se constituye como una herramienta de evaluación que persigue maximizar el bienestar social, promoviendo la asignación eficiente de los recursos (Trueba y Ortiz, 2019).

Según Cabasés (1994), el ACB es aplicable a cualquier contexto cuya decisión involucre de por medio una asignación eficiente de los recursos monetarios, sin embargo, el problema en su utilización se presenta cuando existes costos y beneficios que provienen de bienes que poseen un mercado y carecen de un precio que permita identificar su valor.

$$\frac{BT}{CT} = \frac{\text{Beneficios Totales}}{\text{Costos Totales}}$$

Un proyecto es económicamente aceptable cuando la relación B_T / C_T es mayor o igual a la unidad.

- **Beneficio total**

Según Hernández et al. (2010), el beneficio total se calcula considerando el beneficio interno, el beneficio externo y el coste de oportunidad, obteniéndose la siguiente ecuación:

$$B_T = B_I + B_E - CO$$

Donde:

B_T , es el beneficio total (ingresos totales – costes totales).

B_i , es el beneficio interno (ingresos internos – costes internos).

B_E , es el beneficio externo (externalidades positivas y negativas).

CO , es el coste de oportunidad.

Beneficios internos

Los beneficios internos son los que están directamente asociados al proceso de regeneración del agua residual y su posterior reutilización. El término ingreso interno incluye los ingresos obtenidos como consecuencia de la venta del agua tratada y otros subproductos recuperados, mientras, que los costes internos, son el resultado de la suma de los costes de inversión, costes de operación y mantenimiento, costes financieros y las tasas.

$$B_i = I_o - C_i$$

Donde:

I_o , son los ingresos obtenidos.

C_i , los costes internos gastados.

Beneficios externos

Los proyectos de reutilización de agua residual generan externalidades positivas y negativas como por ejemplo riesgos químicos y biológicos, beneficios educativos, sanitarios y especialmente beneficios de tipo ambiental.

$$B_E = E_P - E_N$$

Donde:

E_P , son las externalidades positivas.

E_N , son las externalidades negativas.

Coste de oportunidad

Según lo enunciado por Molinos et al (2010) y Leguía (2015), se definirá coste o costo de oportunidad al valor de los bienes en términos de pérdidas de usos alternativos de dichos bienes por los impactos que percibirá ante el beneficio del recurso, para este caso específico de investigación, el coste de oportunidad hace referencia al terreno que ocupa la estación de tratamiento de agua.

- **Costo total**

Por otro lado, según Westreicher (2020), el costo total es la suma de los costos fijos, que no dependen de la cantidad producida, y los costos variables, que sí incrementan o disminuyen en función del número de unidades fabricadas. Es decir, el costo total es la sumatoria de todos los gastos de una empresa que son necesarios para llevar a cabo su actividad económica.

Entonces, el concepto de costo total puede resumirse a la siguiente ecuación:

$$C_T = C_v + C_F$$

Donde:

C_T , son los costos totales.

C_V , los costos variables.

C_F , los costos fijos.

Costos variables

Son los costos que varía de acuerdo al nivel producido; hace referencia, a la mano de obras y a los insumos utilizados.

Costos fijos

Son todos aquellos costos en los que la empresa debe incurrir, independientemente del número de unidades que produzca. Hace referencia al pago por el alquiler de oficinas o maquinarias para el funcionamiento de una fábrica.

2.2.5. Aguas residuales oleosas

Las aguas residuales oleosas provienen de diversas fuentes y varían ampliamente en la composición y propiedades físicas. Un factor común en ellas es que contienen tanto aceite como impurezas, gruesas y finas que forman una emulsión estable y un alto contenido de hidrocarburos (Martínez et al, 2015).

Clasificación de las aguas residuales oleosas

Se requiere conocer en primera instancia el comportamiento de las aguas oleosas en interacción con el agua, por lo que basándonos en los estudios realizados por Maldonado (2018), se clasificaron:

- **Aceites Libres:** Esto se presenta cuando el aceite flota en la superficie del agua, formando gotas de 150 [μm]. La cual se puede estabilizar a través de separadores por gravedad, como lo son los separadores API.
- **Aceites Emulsionados:** El agua presenta gotas de aceite con un tamaño de 20 μm o menos, formando una suspensión estable en el agua. En este caso se requiere de la adición de algún reactivo químico (coagulante y/o floculante) junto con un flujo de aire o nitrógeno para remover las pequeñas gotas de aceite, como lo puede ser un equipo FAD o de flotación por aire disuelto.
- **Aceites Disueltos:** No presenta la formación de gotas de aceite, sino que una disolución molecular con el agua, la cual no puede ser separada por métodos físicos. Generalmente en estos casos los contaminantes son recalcitrantes o difíciles de separar, por lo que se requiere de un tratamiento biológico, adsorción u otro como la oxidación química avanzada, que aporte con transformar los contaminantes en sustancias inocuas más allá de separarlas.

Características físicas, químicas y biológicas

Milan y Polania (2018), definen las Características físicas, químicas y biológicas del agua residual y sus procedencias (ver tabla 1).

Tabla 1

Características físicas, químicas y biológicas del agua residual y sus procedencias

Característica	Procedencia	Descripción
Sólidos totales	Agua de suministro, Agua residuales domésticas e industriales, erosión del suelo infiltración y conexiones incontroladas	Materia que queda como residuo a la evaporación a 103-105°C, Pueden clasificarse como sólidos suspendidos o sólidos filtrables
Grasas y aceites	Aguas residuales domésticas e industriales	Causan iridiscencia, y problemas de mantenimiento, e interfieren con la actividad biológica pues son difíciles de biodegradar generalmente provienen de hidrocarburos.
Metales pesados	Vertidos Industriales	En cantidades excesivas interferirá en la toxicidad, pueden determinarse a concentraciones muy bajas por métodos instrumentales.
Turbiedad	Aguas residuales domesticas e industriales	Es una medida óptica del material suspendido en el agua, se pueden considerar un factor importante del control de la calidad del agua.

Fuente: Milan y Polania (2018)

Contaminantes que son de importancia en aguas residuales

Milan y Polania (2018), en la tabla 2 señalan los contaminantes que son de importancia en las aguas residuales oleosas.

Tabla 2

Contaminantes de importancia en aguas residuales

Contaminante	Parámetro de medida	Impacto ambiental	Sistema de tratamiento
Materia orgánica biodegradable	DQO, DBO	Desoxigenación del agua, generación de olores indeseables	Sistema fisicoquímico, filtración intermitente en arena, filtros percoladores
Materia suspendida	SST, SSV	Causa de turbiedad en el agua, deposita lodos	Sedimentación, coagulación/sedimentación, adición de polímeros, reactivo químicos, flotación
Materiales tóxicos	Como cada material tóxico específico	Peligrosidad para la vida animal y vegetal	Proceso de separación de fases, proceso de transformación química y biológica

Fuente: Milan y Polania (2018)

Método de muestreo de aguas residuales (NTP-ISO 5667-10:2012)

Esta Norma Técnica Peruana contiene detalles sobre el muestreo de aguas residuales domésticas y aguas residuales industriales; es decir el diseño de programas y técnicas de muestreo para la recolección de muestras. Cubre las

aguas residuales en todas sus formas, es decir, las aguas residuales industriales y las aguas residuales domésticas sin tratar o tratadas. El muestreo de derrames accidentales no está incluido, no obstante, los métodos descritos, en ciertos casos pueden ser aplicables.

2.2.6. Proceso de producción de tubos de acero

De Santis (2015), el proceso de fabricación de tuberías metálicas con costura es un proceso de conformado en frío, es decir se realiza a temperatura ambiente.

La fabricación de tuberías se realiza en máquinas conocidas como Tuberías, y comprende tres partes: El forming (conformado), soldadura y sizing (calibración). Por el tipo de actividad, este tipo de industria es una gran consumidora de aceites lubricantes, utilizados asiduamente para facilitar la lubricación y refrigeración en las diferentes modalidades de corte, moldeado y tratamiento mecánico de piezas metálicas.

Estos aceites lubricantes, una vez han sido utilizados, junto con el fluido de corte refrigerante utilizado en el proceso se convierten en un residuo líquido contaminante que debe ser gestionado correctamente.

2.2.7. Fluido de corte refrigerante (taladrinas)

De Santis (2015) el fluido utilizado para el enfriamiento y lubricación de la tubería en su proceso de conformado es una mezcla que está compuesta por 95% agua y 5% aceite soluble.

Este producto forma emulsiones de gran estabilidad al diluirse en agua,

manteniéndose sin descomponerse, asegurando su desempeño durante más tiempo, es un líquido transparente cuando esta puro y lechoso de color ámbar cuando esta diluido en agua (Ver figura 2).

Figura 2

Fluido de corte refrigerante utilizado en el proceso de producción de tubos de acero estructural

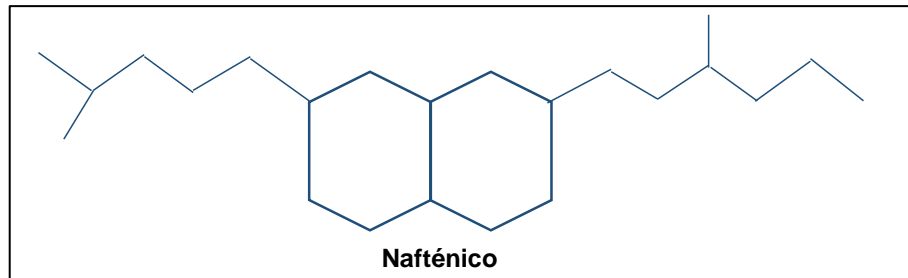


Composición química de los fluidos de corte

Los fluidos de corte utilizados en el proceso de fabricación de tubos de acero son aceites minerales nafténicos debido principalmente a que forman una menor cantidad de ceras y tienen un excelente comportamiento dieléctrico, su composición química se puede visualizar en la figura 3.

Figura 3

Estructura química de los aceites minerales nafténicos



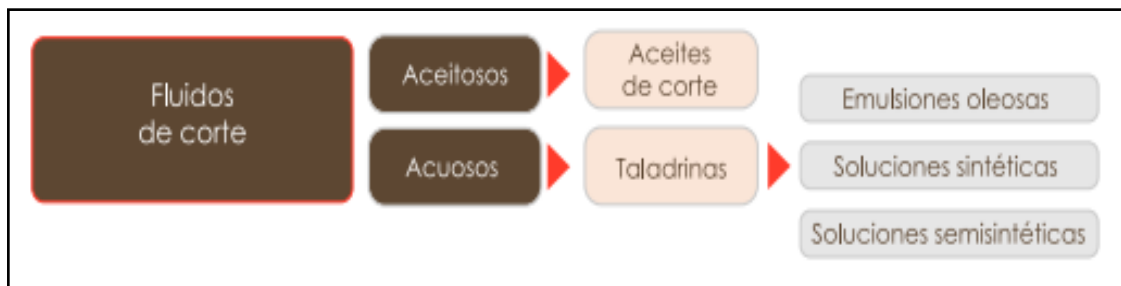
Fuente: Jerez (2007)

Clasificación de los fluidos de corte

Ingurumen Hobekuntza (IHOBE, 1999), indica que en las diferentes operaciones de corte y mecanizado llevadas a cabo para la conformación de metales intervienen una serie de productos químicos que tienen como función principal la de refrigerar y lubricar el proceso, y a los que, de manera global, se les conoce con el nombre de fluidos de corte. De manera más específica, y en función del medio (aceite o agua) en el que estén formulados, dichos fluidos reciben denominaciones diferentes, tal como se muestra en la figura 4.

Figura 4

Clasificación de los fluidos de corte



Fuente: IHOBE (1999)

En el proceso de fabricación de tubos de acero se utilizan taladrinas como fluidos de corte ya que se encuentran formuladas sobre una base acuosa.

Funciones de los aceites de corte

Cabello (2016) presenta de forma resumida las funciones de los aceites de corte en la siguiente tabla.

Tabla 3

Funciones de los fluidos de corte refrigerantes

Función	Descripción
Lubricación	Disminuye la fricción entre la herramienta, la pieza y la viruta que está siendo eliminada.
Refrigeración	En cualquier operación mecánica, para arrancar viruta de un metal por medio de una herramienta de determinada dureza, es necesario consumir una cantidad de energía. De esta energía, un 98% se convierte en calor que, hace decrecer la dureza tanto de la herramienta de corte como de la pieza que se está mecanizando. El fluido debe eliminar el elevado calor desprendido que se produce en la operación de mecanizado, para ello debe tener, alto calor específico, gran poder humectante y una baja viscosidad para garantizar un reparto homogéneo entre la pieza y la herramienta .
Eliminación de viruta	La viruta arrancada por la herramienta, debido al calor generado, se suelda a ella muy cerca del filo cortante. el fluido debe retirar eficientemente la viruta lejos de la zona de operación para que no interfiera en el proceso, es decir, controlar el crecimiento excesivo del falso filo y permitir una buena calidad superficial.
Protección frente a la corrosión	El fluido acuoso podría oxidar y corroer la pieza, la herramienta o la máquina. Para evitarlo, las formulaciones de los fluidos de corte incorporan protectores frente a la corrosión.

Fuente: Cabello (2016)

Tipos de aceites de corte

Cabello (2016) realiza un estudio comparativo entre los distintos fluidos de corte acuosos, esquematizándose en la siguiente tabla.

Tabla 4

Comparativa de los distintos fluidos de corte acuoso

Propiedad	Emulsionable	Semisintético	Sintético
Cantidad aceite mineral (%)	>50	10-50	Exento (<1)
Aspecto / Tamaño partículas	Emulsión Blanco-lechosa / 0,1-1 μm	Emulsión translúcida / 0,005 - 0,1 μm	Solución transparente / <0,005 μm
Factor refractómetro	1	1,2-2	2-3.5
Capacidad lubricante	Muy Buena	Buena	Baja
Estabilidad biológica	Baja	Excelente	Buena
Tratamiento residuo	DQO baja	DQO media	DQO alta
Capacidad bacteriostática	Baja-Media	Media	Excelente
Uso	Todos (especial: aluminio) Lubricante	Metales férreos	Acabado-rectificado Refrigerante

Nota: Realizado en base a la información de Cabello (2016)

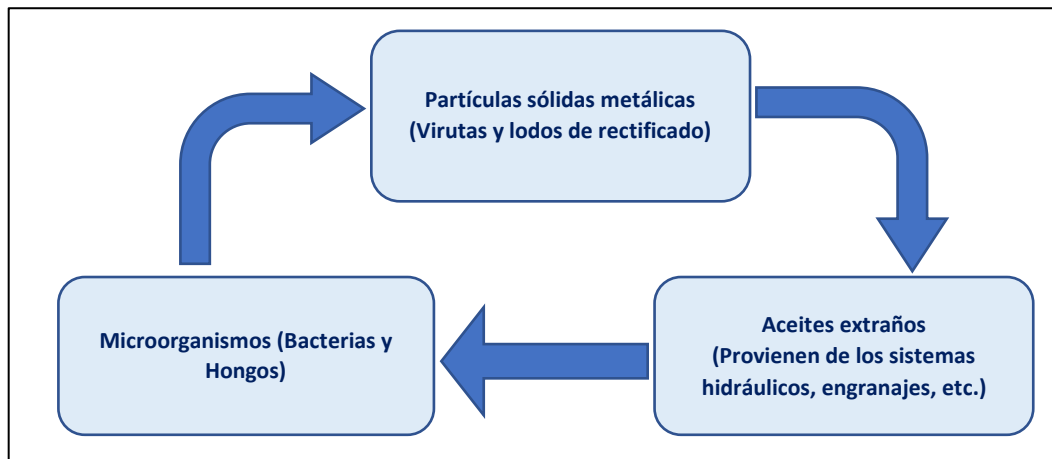
En el proceso de fabricación de tubos de acero estructural que se analizará en la presente investigación se hace uso del fluido de corte acuoso emulsionable.

Taladrinas agotadas

Son los fluidos de corte convertidos en aguas residuales oleosas generadas en el proceso de producción de tubos de acero, que por efecto de la recirculación y bombeado continuo en las operaciones de maquinado, van arrastrando partículas sólidas metálicas, aceites lubricantes y el polvillo metálico generado (ver figura 5).

Figura 5

Contaminantes que reducen la eficacia de los fluidos de corte



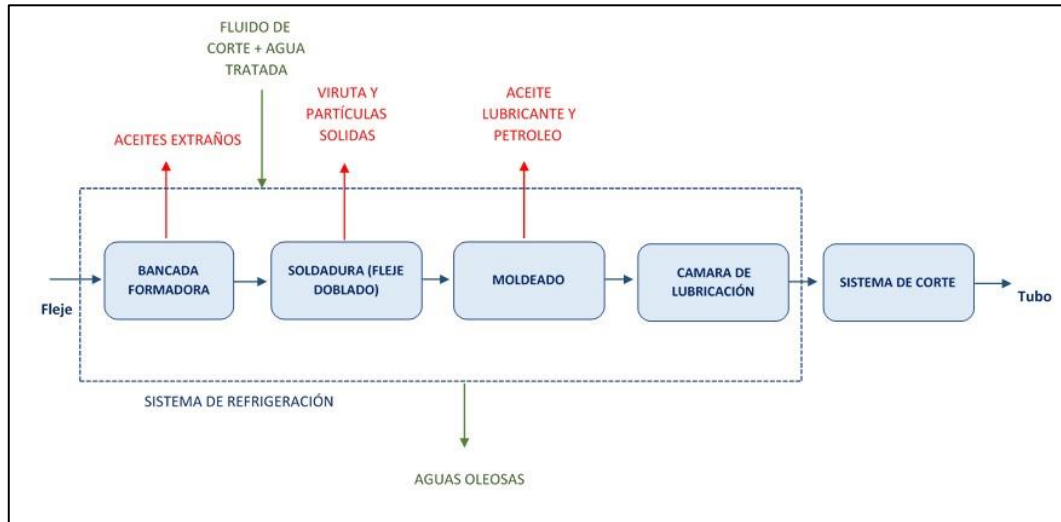
2.2.8. Fuentes de aguas oleosas en la fabricación de tubos

Las principales fuentes de aguas oleosas (ver figura 8) en el proceso de producción de tubos de acero se encuentran en el sistema de refrigeración del proceso, originándose, cuando la mezcla de fluido de corte con agua tratada recorre todas las partes de la maquina formadora de tubos arrastrando así aceites y grasas provenientes de sistemas hidráulicos, engranajes y guías. En tal sentido, las aguas residuales oleosas generadas están conformadas por una mezcla de aceites libres (aceites y grasas provenientes de sistemas hidráulicos)

y aceites disueltos en agua (fluidos de corte refrigerante).

Figura 5

Fuente de aguas oleosas en el proceso de fabricación de tubos de acero



2.2.9. Principios de separación de aceites

Sainz, J. (2004) señala, se han desarrollado técnicas y procesos específicos para la separación de las grasas y los aceites en las aguas residuales de cualquier planta industrial por ser un contaminante muy frecuente.

Para desarrollar el proceso de separación de las grasas y aceites contaminantes de un fluido, se deben cumplir con los siguientes requisitos:

- Encontrarse en fase líquida.
- Estar en estado libre (no eliminándose, en consecuencia, aquellos aceites y grasas que se encuentren disueltos o emulsionados).
- Tener una densidad menor que la del agua.
- El tamaño de la gota, superior a un valor predeterminado en el diseño.

Fundamentos teóricos de la separación

La separación de grasas y aceites en estos procesos se basa en la diferencia de peso específico entre el agua y el aceite. En el caso de que ambos pesos específicos sean muy próximos, o bien superior el del aceite a separar, estos procedimientos no son de aplicación (Sainz, 2004).

La velocidad ascensional de una gota de aceite dentro de la masa de agua viene determinada por la ley de Stokes. Para número de Reynolds bajo, donde las fuerzas de viscosidad predominan sobre las de inercia, viene dada por:

$$v = \frac{g \times (S_w - S_o) \times d^2}{18 \times u}$$

Donde:

v, Velocidad ascensional del aceite (cm/seg).

g, Constante gravitatoria.

S_w, Peso específico del agua.

S_o, Peso específico del aceite a eliminar.

r, Radio de la partícula(mm).

u, Viscosidad (centipoises).

Factores que afectan a la separación de aceites y grasas

Sainz, J. (2004), dentro de los factores que afectan al rendimiento de la separación agua-aceite, se encuentran:

- Tipo y composición del aceite que se pretende eliminar, debido a su peso específico.
- Estado en que se encuentra el aceite en el agua residual. Como ya se ha indicado con anterioridad, en estos procesos no se eliminan aquellas grasas y aceites que se encuentren emulsionados o disueltos.
- Régimen de flujo.
- Tamaño de la gota (de forma generalizada, se diseña para eliminar aquellas partículas de diámetro igual o superior al fijado previamente, normalmente 0,15 mm).

Equipos utilizados en separación de aceites y grasas

Sainz, J. (2004), para llevar a cabo el proceso de separación de aceites y grasas se utilizan los siguientes equipos:

- Trampas de aceites

En todos aquellos casos en que se precisa la eliminación de grasas y aceites en cantidades y volúmenes reducidos, como puede ser el caso de garajes, talleres, restaurantes, etc., el empleo de trampas de aceite puede ser suficiente, requiriendo estos equipos una limpieza y atención frecuente, con el fin de conseguir unos rendimientos aceptables.

- Separadores API

Dispositivos diseñados para separar grandes cantidades de aceites, su diseño no admite turbulencias a la entrada del equipo por lo que se requiere de instalación de entradas múltiples y disipadores de energía.

- Separadores de discos

Su uso es de vital importancia en aquellos efluentes con baja presencia de sólidos suspendidos. Su diseño aumenta la superficie de separación de las grasas y aceites, lo que lleva consigo una reducción importante en el ahorro del terreno preciso para su instalación.

- Tanques gravimétricos

Eliminan una parte muy importante de la contaminación atmosférica generada por la evaporación de aceites en la planta de tratamiento, así como aumentan de forma notable la seguridad y salubridad de las instalaciones. El mayor problema que presentan estos equipos es su elevado coste de primera instalación, muy superior a cualquiera de los sistemas mencionados con anterioridad.

El rendimiento de estos equipos no suele ser suficiente para alcanzar los límites exigidos por la normativa legal en el vertido, al no eliminar las grasas y aceites que se encuentran emulsionados o disueltos, así como aquellas gotas de tamaño inferior al fijado en el diseño, de tal forma que en las plantas depuradoras que precisan eliminar este tipo de compuestos, posteriormente a estas unidades se suele precisar tratamientos posteriores de afino (Sainz, 2004).

Ensayos de laboratorio

Sainz, J. (2004), debido a que las técnicas analíticas empleadas en la determinación de grasas y aceites dan como resultado las grasas y aceites totales (el conjunto de estos compuestos que se encuentran en estado libre, emulsionados y disueltos), y con el fin de conocer la viabilidad de los procesos de separación, previamente al diseño, se debe realizar un ensayo de STS (Susceptibility to oil separation), que básicamente consiste en lo siguiente:

- Analizar las grasas y aceites de la muestra original (totales), por cualquiera de los métodos analíticos utilizados.
- Introducir otra parte de la muestra en un embudo de decantación, dejándola reposar durante un periodo de media hora.
- Purgar los posibles sólidos que se hayan decantado en el fondo del embudo.
- Analizar grasas y aceites en la fracción intermedia del agua clarificada.
- La diferencia entre la primera y la segunda determinación de las grasas y aceites dará la cantidad de estos compuestos que son susceptibles de separación mediante este proceso de tratamiento.

Por otra parte, debe tenerse muy en cuenta que los dos sistemas analíticos utilizados para determinar las grasas y aceites son:

- Métodos gravimétricos, previa la extracción con disolventes.
- Instrumentales, mediante espectrofotometría por infrarrojos.

Frecuentemente pueden obtener valores diferentes, según el método analítico utilizado, de acuerdo con el tipo de compuestos presentes en las muestras.

2.2.10. Centrifugación

Burneo et al. (2014), describen las variables que afectan las separaciones sólido-líquido en el proceso de centrifugación (ver tabla 5).

El sustento utilizado por los investigadores se basó en la teoría de sedimentación, la cual permite desarrollar algunas predicciones del comportamiento de los equipos centrífugos, no solo para poder especificarlos y dimensionarlos, sino que también para ofrecer un apoyo adecuado para su correcta operación.

La teoría de la sedimentación que está basada en la Ley de Stokes establece los aspectos básicos del movimiento de un sólido en un líquido cuando existe un gradiente de densidad.

El movimiento utilizado para la implementación de la teoría puede ser causado por la fuerza gravitacional o por una fuerza centrífuga.

Tabla 5

Variables que afectan la centrifugación

Variable	Efecto
Masa y densidad de la partícula	Son propiedades físicas características que pueden afectar directamente la centrifugación.
Densidad del Medio	Los medios muy densos o poco densos afectan a la centrifugación
Aceleración de la gravedad	Se relaciona con la atracción universal que impulsa los cuerpos hacia el centro de la tierra y se define como el incremento constante de la velocidad por unidad de tiempo percibido por un cuerpo en caída libre.
Tiempo	La centrifugación debe hacerse en el tiempo justo, esto depende del tipo de muestras a separar
Temperatura del fluido	La centrifugación debe hacerse en el tiempo justo, esto depende del tipo de muestras a separar
Presión y velocidad	Ambas afectan a la centrifugación ya que el aumento o la disminución de las mismas pueden hacer perder componentes importantes de lo que se quiere analizar.

Fuente: Burneo et al. (2014)

Tipos de centrifugas

Según Burneo et al. (2014), existen centrifugas hidráulicas, de banda, de mando eléctrico, batches y continuas. Las centrifugas continuas giran a velocidad constante por tal razón usan menos controles. Esto hace que el costo de mantenimiento sea menor, y las clasifican según la tabla presentada a continuación:

Tabla 6

Aplicación de tipos de centrifugas continuas

Tipo	Aplicación
Centrifuga tipo Botella	Es un separador tipo lote, el cual es usado primordialmente para investigaciones, pruebas o controles.
Centrifuga tipo Tubular	Las centrífugas tubulares son usadas mayormente para la separación continua de líquidos de otros líquidos o de partículas muy finas de líquidos. Estas centrífugas son movidas por un motor de alta velocidad o una turbina de aire o vapor.
Centrifuga tipo disco	Estas centrífugas son usadas para separación de líquidos en los cuales el sólido o componentes inmiscibles están en bajas concentraciones.

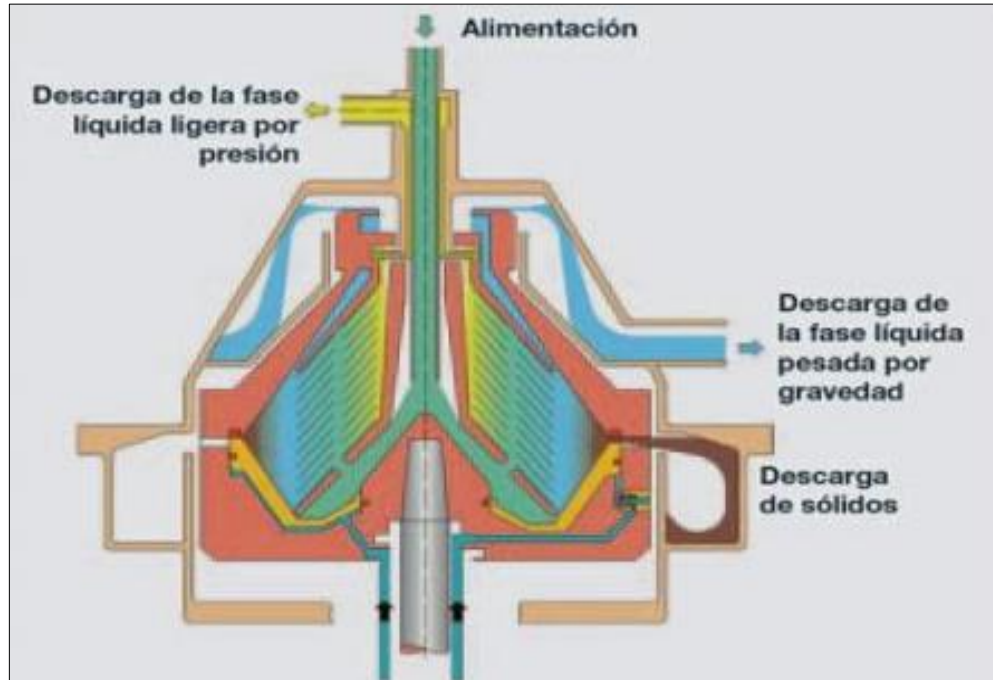
Fuente: Burneo et al. (2014)

Centrifugas de disco

Una centrifuga de discos (ver figura 5) separa los sólidos y una o dos fases líquidas entre sí en un único proceso continuo, mediante fuerzas centrífugas extremadamente altas. Estas fuerzas impulsan los sólidos más densos hacia fuera, contra la cara interna de la carcasa del rotor, mientras que las fases líquidas menos densas forman capas interiores concéntricas.

Figura 5

Centrifuga de Discos



Fuente: Burneo et al. (2014)

La fase de sólidos concentrados formada por las partículas se puede eliminar de forma continua, intermitente o manual, en función del tipo de centrifuga y de la cantidad de sólidos en cuestión en la aplicación específica. Las fases líquidas clarificadas rebosan cerca del eje de rotación en la zona de salida situada en la parte superior del rotor. Los líquidos pasan entonces a cámaras distintas. Cada fase líquida separada sale del rotor debido a la fuerza de la gravedad o mediante un disco centrípeto, que es un dispositivo de bombeo especial.

Las cámaras se pueden sellar entre sí para evitar el riesgo de contaminación cruzada.

2.2.11. Marco normativo

Es esencial conocer los requisitos legales para entender las normas que deben cumplirse. La legislación relativa a la regulación de los lubricantes metalúrgicos se refiere no sólo a la salud y la seguridad, sino también a las preocupaciones ambientales.

Actualmente las descargas de aguas residuales no domésticas contienen concentraciones elevadas de sustancias contaminantes y tóxicas que deberán pasar a ser reguladas, controladas y fiscalizadas para evitar el deterioro de los sistemas de infraestructura sanitaria y del tratamiento de aguas residuales y así para garantizar la sostenibilidad de la infraestructura de alcantarillado y de tratamiento aguas residuales no domésticas y a su vez restringir los excesos del valor de concentración de Valores Máximos Admisibles (VMA) en las descargas.

Para la evaluación y comparación de los resultados de la Caracterización de Aguas “residuales no domésticas” realizados en la presente investigación se utilizará como referencia el Decreto Supremo 010-2019 - VIVIENDA (Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario (ver tabla 7)

Tabla 7*Parámetros compatibles de la norma de referencia para agua residual*

Parámetros	DS. 010-2019 - VIVIENDA
Aceites y grasas [mg/L]	100
Demanda bioquímica de oxígeno [mg/L]	500
Demanda química de oxígeno [mg/l]	1000
Sólidos suspendidos totales [mg/L]	500
Aluminio [mg/L]	10
Arsénico [mg/L]	0,5
Boro [mg/L]	4
Cadmio [mg/L]	0,2
Cianuro [mg/L]	1
Cobre [mg/L]	3
Cromo hexavalente [mg/L]	0,5
Cromo total [mg/L]	10
Manganeso [mg/L]	4
Mercurio [mg/L]	0,02
Níquel [mg/L]	4
Plomo [mg/L]	0,5
Sulfatos [mg/L]	1000
Sulfuros [mg/L]	5
Zinc [mg/L]	10
Nitrógeno amoniacal [mg/L]	80
pH	(6,0-9,0)
Sólidos sedimentables [mg/L]	8,5
Temperatura [°C]	<35

Fuente: DS 010-2019 – VIVIENDA

2.3. Marco conceptual

La industria de fabricación de tubos de acero presenta grandes oportunidades de estudio, que van desde la parte productiva hasta la gestión ambiental de los residuos y efluentes que genera.

Uno de los principales contaminantes que mayor impacto ocasiona tanto a nivel ambiental como económico son las aguas residuales oleosas, definidas así puesto que exceden los parámetros de aceites y grasas establecidos en la normativa peruana vigente, para poder ser vertidos al alcantarillado. Dichas aguas provienen del agotamiento de los fluidos de corte refrigerantes utilizados en el proceso de producción de tubos de acero, para el enfriamiento y lubricación de las piezas en el conformado. Las aguas residuales generadas están constituidas por aceites libres (aceites lubricantes), aceites disueltos (fluidos de corte refrigerantes), agua y partículas sólidas.

Partiendo de las condiciones que presenta el agua residual, con el enfoque de valorizar la implementación de un sistema de tratamiento, y teniendo como base los principios teóricos de separación de aceites, se determinó que la centrifugación es una alternativa adecuada como tratamiento. Mediante ensayos de laboratorio se determinan la cantidad de aceites y grasas que son susceptibles a la separación con este tratamiento, estimando así el caudal de operación que se necesita para su implementación a nivel industrial.

Para la puesta en marcha del equipo seleccionado se debe determinar las condiciones óptimas de operación teniendo en cuenta el beneficio ambiental y

económico de la empresa, puesto que la cantidad de aceite a extraer dependerá de la velocidad de rotación y tiempo de operación de la centrifuga.

El beneficio ambiental se basa en el aletargamiento de la generación de efluentes por la extracción de los aceites libres evitando la contaminación y alargando la vida útil del fluido de corte refrigerante (aceites disueltos).

El beneficio económico se origina de la prolongación de la vida útil del fluido de corte disminuyendo los gastos por succión, transporte y disposición final de efluentes, así mismo, del reaprovechamiento de los aceites libres extraídos para la lubricación de los tubos producidos.

La técnica seleccionada para la determinación del beneficio económico fue el Análisis de Costo Beneficio, la cual permite cuantificar en términos monetarios la implementación de la mejora (equipo centrifugador) relacionando los beneficios totales respecto al costo total, determinando así la viabilidad del tratamiento implementado.

2.4. Definición de términos básicos

Valoración económica: Según la Guía de valoración económica del patrimonio natural del Perú (2016), es una herramienta que se utiliza para cuantificar, en términos monetarios, el valor de los bienes y servicios ecosistémicos, independientemente de si estos cuentan o no con un precio o mercado.

Aguas residuales: Según el Glosario de términos de la Gestión ambiental peruana (2012), son aguas cuyas características han sido modificadas por

actividades antropogénicas, requieren de tratamiento previo y pueden ser vertidas a un cuerpo natural de agua o ser reutilizadas.

Efluente: Según el Glosario de términos de la Gestión ambiental peruana (2012), son aguas residuales descargadas al ambiente, cuya concentración de sustancias contaminantes es medida a través de los Límites Máximos Permisibles (LMP).

Aguas Oleosas: Según Maldonado (2018), son aguas que presentan cierto contenido de aceite y esto depende de la forma de interacción con los hidrocarburos.

Aceites libres: Según Maldonado (2018), son aguas oleosas cuyo aceite flota en su superficie formando gotas de 150 μm y que por la naturaleza de su comportamiento se pueden estabilizar a través de separadores por gravedad.

Aceites y Grasas: Maldonado (2018), define los aceites y grasas como aquellos compuestos orgánicos insolubles en las aguas residuales, los cuales generan emulsiones en su cuerpo hídrico y que a elevadas concentraciones forman capas grasosas en la superficie de las aguas.

Centrifugación: Según Burneo et al. (2014), es un método por el cual se pueden separar sólidos de líquidos o líquidos de diferentes densidades mediante una centrifugadora, lo cual imprime a la mezcla un movimiento rotatorio con una fuerza de mayor intensidad que la gravedad, provocando la sedimentación del sólido o de las partículas de mayor densidad.

Centrifugas de disco: Según Burneo et al. (2014), es un equipo de centrifugación que separa sólidos y una o dos fases líquidas entre sí en un único proceso continuo, mediante fuerzas centrífugas extremadamente altas.

DBO₅ (Demanda Bioquímica de Oxígeno): Según Milan y Polania (2018), es la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos, para oxidar (estabilizar) la materia orgánica biodegradable en condiciones aerobias.

DQO (Demanda Química de Oxígeno): Según Milan y Polania (2018), es un parámetro que mide el oxígeno equivalente a la materia orgánica oxidable químicamente mediante un agente químico oxidante fuerte, por lo general dicromato de potasio en un medio ácido y a alta temperatura.

Costo de Inversión: Según Milan y Polania (2018), es la cantidad de dinero que la empresa debe proporcionar para la compra de los equipos o unidades para la operación de la alternativa de tratamiento.

Fluidos de corte: Según Hernández y Quesada (2002) son aquellos fluidos que están contenidos frecuentemente en largos sistemas de recirculación y son bombeados continuamente a muchas operaciones de maquinado, se utilizan para incrementar la vida útil de las herramientas, la exactitud y calidad de elaboración de piezas.

Aceites de Corte: Según Villamizar (2008), son aquellos aceites puros que se usan directamente en las operaciones de mecanizado sin mezclarlos con agua.

Aceites Solubles (Taladrina): Según Villamizar (2008) son aquellos que se preparan para su uso mezclando el producto concentrado con agua, formándose una emulsión.

Taladrina agotada: Según Villamizar (2008) son aquellas que presenta cualidades irritantes y eco tóxicas debido a que contiene metales pesados, aceites, grasas, biosidas, gérmenes nocivos y productos de descomposición.

Residuo peligroso: Según Villamizar (2008) es todo desecho generado por empresas industriales o comerciales, que son rechazadas o descartadas por sus particularidades o características inherentes (explosivo, tóxico, inflamable, irritante, reactivo infeccioso) que constituyen un peligro para la salud y el medio ambiente.

III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1. Hipótesis

3.1.1. Hipótesis general

El beneficio de valorar económicamente las aguas residuales oleosas provenientes de la fabricación de tubos de acero tratadas mediante centrifugación es el ahorro económico del 40%.

3.1.2. Hipótesis específicas

- a) El tiempo adecuado de operación es dos horas de lográndose la mayor cantidad de extracción de aceites y grasas.
- b) La velocidad de rotación en la que se logra la mayor cantidad de extracción de aceites y grasas es de 55Hz.
- c) Las características fisicoquímicas de los parámetros de DBO, DQO y aceites y grasas cumplen con los Valores Máximos Admisibles indicados en el Decreto Supremo 010-2019-VIVIENDA.

3.2. Definición conceptual de variables

Variables independientes

X_1 = Tiempo de centrifugación

Según Mercado (2014), Los factores que influyen en el tiempo de la centrifugación son el tamaño y regularidad de los sólidos, la rapidez de aceleración del equipo centrifugador y la fuerza centrífuga desarrollada en la velocidad operación.

X_2 = Velocidad de centrifugación

Según Mercado (2014), un factor tan importante como las dimensiones, desde el punto de vista de la capacidad de las centrífugas, es la velocidad de operación, esta última, determina la fuerza centrífuga necesaria de separación de las fases líquido-líquido-sólido.

X_3 = Características fisicoquímicas

Hace referencia a la composición física y química del agua residual antes y después del tratamiento tomando como marco de referencia el Decreto Supremo 010-2019-VIVIENDA, normativa que establece los Valores Máximos Admisibles (VMA) para usuarios no domésticos.

Variable dependiente

Y = Valorización económica

$Y = F (X_1, X_2, X_3)$

Es la estimación del valor de un bien o servicio en términos monetarios a través de los cambios a favor de la institución, para el caso del proyecto, se definirá como la diferencia entre los beneficios totales con el costo total determinando así la viabilidad económica de la implementación del tratamiento.

Asimismo, la relación del beneficio con el costo permitirá expresar en términos porcentuales la efectividad de la mejora. Es preciso indicar, que esta variable en términos operacionales dependerá del tiempo y la velocidad de rotación, con el objeto de extraer la mayor cantidad de aceites libres posibles; mientras, que en términos de control de la saturación del fluido de corte refrigerante dependerá de la caracterización del efluente tratado.

3.2.1. Operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Dimensión	Indicadores	Método
Variable dependiente				
Y: Valorización económica	Estimación de los valores de un bien o servicio en términos monetarios.	Evaluación económica del tratamiento de aguas residuales oleosas.	Relación costo beneficio $ACB = \frac{BT}{CT}$	Analítico
Variables independientes				
X₁: Tiempo de operación del equipo	Determinación del tiempo de operación óptimo para la operación de centrifugación.	Propiedades del fluido.	Horas de succión	Cuantitativo
X₂: Velocidad de Operación del equipo.	Determinación de la velocidad de rotación óptima para la operación de centrifugación.	Propiedades del fluido.	Velocidad de rotación (Hertz)	Cuantitativo
X₃: Característica fisicoquímica	Determinación de las concentraciones de los parámetros del agua residual oleosa tratada.	DBO, DQO, Aceites y grasas	Concentración (ppm)	Cuantitativo

IV. METODOLOGÍA

4.1. Tipo de investigación y diseño de investigación

- Tipo de investigación: Aplicada- Cuantitativa
- Diseño de la investigación: Experimental Longitudinal

El tipo de investigación es aplicada - cuantitativa por la naturaleza de las variables, mientras que el diseño de la investigación corresponde al experimental longitudinal donde se evaluaron y establecieron los parámetros fisicoquímicos y económicos de la valorización económica para las aguas residuales oleosas provenientes de la fabricación de tubos de acero estructural tratadas mediante centrifugación por un periodo de estudio comprendido desde setiembre del 2019 hasta julio del 2021.

Hernández et al (2014) señalan, el diseño experimental se refiere al estudio en el que se manipulan una o más variables independientes y finalmente se analizan las consecuencias que produce en la variable dependiente.

4.2. Método de investigación

Los métodos utilizados son cuantitativos ya que se procesó y analizó datos de diversos elementos medidos en las diferentes etapas de la presente investigación a partir de una muestra o población de estudio.

Primera etapa

Basada en la caracterización del agua residual mediante análisis de laboratorio para determinar las características físicas y químicas de las aguas residuales oleosas de la “Poza de soluble” de la empresa TUPEMESA, con el objeto de identificar y verificar que parámetros exceden la normativa vigente.

Se utilizó el método de muestreo NTP-ISO 5667-10-2012 para el análisis de cada parámetro y su respectiva metodología (ver tabla 8).

Tabla 8

Metodologías para el análisis de agua residual

Parámetro	Metodología	Unidad
Temperatura	SMEWW-APHA-AWWA.WEF. Part 2550B, 22nd Ed. 2012. Temperature. Laboratory and Field Method.	°C
Demanda bioquímica de oxígeno	SMEWW-APHA-AWWA-WED. Part 5210 B, 22nd Ed. 2012. Biochemical Oxygen Demand (BOD) 5 – Day BOD Test.	mg/L
Demanda química de oxígeno	SMEWW-APHA-AWWA-WED. Part 5220 B, 22nd Ed. 2012. Chemical Oxygen Demand (COD) Close Reflux, Colorimetric Method.	mg/L
Aceites y grasas	EPA Methods 1664, Revision A 1999. N-Hexane Extractable Material (HEM; Oil and Grease) and Silica Gel treated N-Hexane Extractable Material (SGTHEM; No-polar Material) by Extraction and Gravimetry	mg/L
Sólidos suspendidos	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part 2540 D, 22nd Ed. 2012. Solids. Total Suspended Solids Dried at 103 – 105 °C.	mg/L
Sólidos sedimentables	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part 2540 F, 22nd Ed. 2012. Solids. Settleable Solids.	mg/L

Fuente: Cultura QHSE, Ingeniería y Consultoría (2019)

Segunda etapa

Para la selección del método adecuado para el tratamiento de las aguas residuales oleosas caracterizadas en la etapa anterior, tomamos como referencia la investigación realizada por Burneo et al. (2014) quienes nos explican el estudio de las separaciones sólido - líquido basado en la teoría de sedimentación. Estos, nos dan a conocer un método de centrifugación por lote tipo botella e indican su uso primordialmente para investigaciones, pruebas o controles. En este sentido, las pruebas a nivel de laboratorio cumplieron con las condiciones de separación de fases aplicables a la presente investigación (ver tabla 9).

Tabla 9

Métodos de separación sólidos-líquido para aguas residuales oleosas

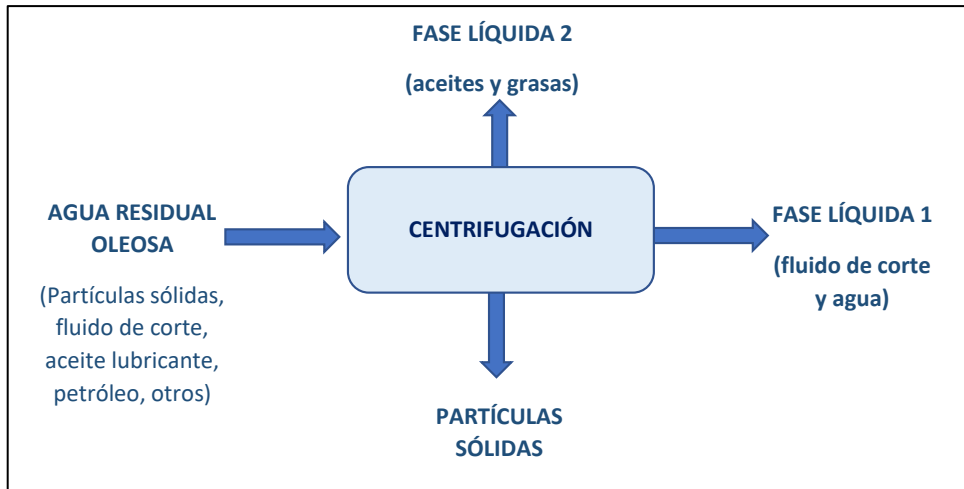
Escala	Método
Laboratorio	Centrifugación por lote tipo botella
Industrial	Centrifugación continua con discos

Fuente: Burneo et al. (2014)

Una vez conocido el comportamiento favorable del efluente frente al método de separación a escala laboratorio y basándonos en la investigación de los autores mencionados en el párrafo anterior, así como la revisión de diversos catálogos de las marcas encargadas del diseño de equipos de centrifugación, entre ellas ALFA LAVAL, el método de centrifugación continua con discos es el adecuado, puesto que este tipo de centrífuga separa los sólidos y una o dos fases líquidas entre sí.

Figura 5

Diagrama de centrifugación de aguas residuales oleosas provenientes de la producción de tubos de acero



En la figura 5 observamos que el fluido tratado está compuesto por el fluido de corte refrigerante utilizado durante la producción de tubos y el agua debido a que el fluido de corte (ver tabla 10) es un aceite soluble en agua lo que nos indica que tienen la misma densidad y por ende son separados de los demás aceites en un mismo flujo.

Tabla 10

Propiedades fisicoquímicas de Mec fluid S 1100 (Fluido de corte refrigerante)

Estado físico/ apariencia/ olor	Líquido color ámbar
densidad (agua = 1 g/ml)	0,8800
viscosidad	20,00 cSt a 40°C
solubilidad (agua)	Soluble
solubilidad (solv. orgánicos)	Soluble

Fuente: Hoja de seguridad - Mecafluid S 1100Mecafluid S 1100

Tercera etapa

Una vez identificado el método de tratamiento de las aguas residuales oleosas en estudio, se contactó a una empresa para su diseño y puesta en marcha. Cabe señalar, que la presente investigación tiene un enfoque en la valorización económica y no en el diseño del equipo, no obstante, se proporcionó los datos requeridos (caracterización del efluente, flujo volumétrico y condiciones físicas y químicas) al fabricante para su elaboración.

Cuarta etapa

Se regularon las condiciones de operación (tiempo de succión en horas y velocidad de centrifugación medidos en Hertz) con el objeto de mejorar el rendimiento del equipo y minimizar los costos de utilización.

Para esta etapa se utilizó el método de centrifugación determinado previamente como el idóneo para el tratamiento de las aguas residuales oleosas de la empresa TUPEMESA.

Quinta etapa

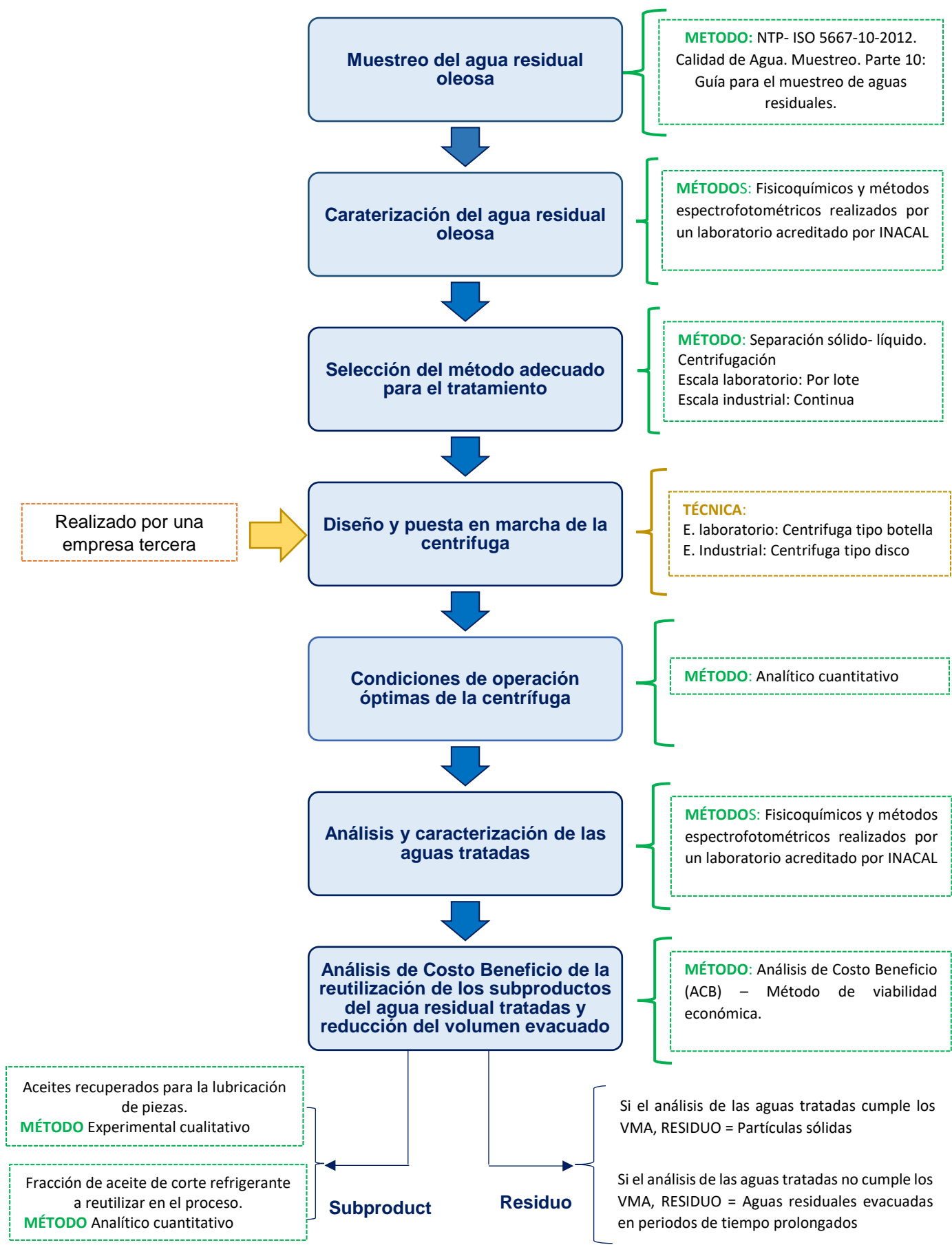
De igual forma que en la primera etapa, el agua residual tratada se analizó y caracterizó por un laboratorio acreditado y certificado por INACAL, aplicando los métodos fisicoquímicos y espectrofotométricos, verificando así la efectividad del método de centrifugación aplicado.

Sexta etapa

Se comparó los costos de disposición de aguas residuales por una Empresa Operadora de Residuos Sólidos (EO-RS) registrada y autorizada por el Ministerio del Ambiente antes de la implementación del equipo centrifugador respecto al costo de su procedimiento de evacuación del agua residual tratada.

Para esta última etapa se utilizó el Análisis de Costo Beneficio lo cual ayudó a formular el método de viabilidad económica en la utilización del equipo centrifugador como opción de tratamiento de las aguas residuales oleosas adquiriendo finalmente un beneficio económico a favor de la empresa reflejado en el ahorro del aceite recuperado que se reutilizará en el proceso, alargamiento de la vida útil del fluido de corte refrigerante y en la reducción del volumen de residuo a disponer.

Las actividades descritas en cada etapa mencionada se verán reflejadas en la elaboración del siguiente esquema.



4.3. Población y muestra

La población es la totalidad de aguas residuales oleosas producidas en la “Poza de Soluble” (Poza) y la muestra de tipo representativa aleatoria será un litro de agua residual por cada parámetro a analizar.

Se tomó un litro por cada parámetro del agua residual oleosa almacenada en la Poza de la Máquina Tubera MEP y TTH de línea de fabricación de tubos de acero de la empresa TUPEMESA, para someterla al tratamiento por métodos físicos (centrifugación) y su posterior análisis (tabla 11) por un laboratorio acreditado y certificado.

Tabla 11

Datos de la muestra

Parámetro de la muestra	Datos
Tipo de muestra	Agua residual
Volumen de muestra	01 muestra * 1L (cada parámetro)
Fecha de muestreo	05/07/2019
Lugar de muestreo	Av. Industrial nro. s/n z. Predio al monte- Lurín
Método de muestreo	NTP- ISO 5667-10-2012. Calidad de Agua. Muestreo. Parte 10: Guía para el muestreo de aguas residuales.
Material para muestra	En frascos de plástico y vidrio cerrados, preservados y refrigerados
Fecha de recepción	05/07/2019
Fecha de inicio del análisis	06/07/2019
Muestreado por	Cultura QHSE S.A.C
Analizado por	Servicio analíticos generales S.A.C (SAG)

Fuente: Cultura QHSE S.A.C. (2019)

4.4. Lugar de estudio y periodo desarrollado

El lugar de estudio es la línea de fabricación de tubos de acero estructural de la empresa TUPEMESA, ubicado en la Avenida Industrial nro. s/n Z.I. Predio al Monte - Lurín.

El periodo desarrollado de la investigación fue a partir del segundo semestre del año 2019 (primera, segunda, tercera y cuarta etapa) hasta inicios del segundo semestre del 2021 (quinta y sexta etapa).

4.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Muestreo y caracterización de agua residual oleosas

La técnica utilizada para la investigación es la “observación” con su respectivo formato. Para Valderrama (2013), esta técnica consiste en emplear la observación estructurada, manipulando las variables independientes, registrando paso a paso en los formatos lo identificado por las variaciones del comportamiento de la muestra (ver tabla 12 y 13).

Tabla 12

Formato de muestreo de aguas residuales oleosas

Fecha y hora	Código de muestreo	Punto de monitoreo	Parámetro	Evidencia fotográfica
---------------------	---------------------------	---------------------------	------------------	------------------------------

Tabla 13*Formato para la caracterización de aguas residuales oleosas*

Parámetro	Código de muestreo	mg/L
Aceites y Grasas		
Cianuro total		
Cromo VI		
Demanda química de oxígeno		
Demanda bioquímica de oxígeno		
Nitrógeno amoniacal		
pH		
Sulfuros		
Sulfatos		
Sólidos suspendidos sotaes		
Sólidos sedimentables		
Plomo		
Boro		
Aluminio		
Arsénico		
Cromo		
Cobre		
Cadmio		
Manganeso		
Mercurio		
Níquel		

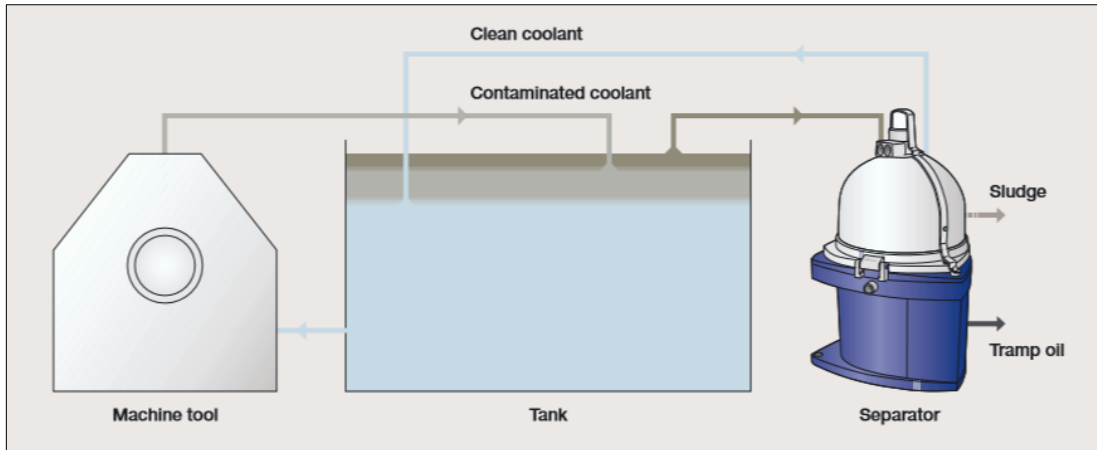
Selección del método adecuado para el tratamiento y diseño

La técnica vendría a ser el instrumento utilizado para aplicar el método de centrifugación, “centrifugadora continua con discos” (ver tabla 9), puesto que

este tipo de equipo permite la separación de los sólidos y una o dos fases líquidas entre sí (ver figura 6)

Figura 6

Esquema de funcionamiento de la centrifuga continua tipo discos



Fuente: The Alfie 500 for coolant cleaning (ALFA LAVAL, 2019)

Condiciones de operación óptimas de la centrifuga

La técnica utilizada para la investigación es la “observación” con su respectivo instrumento la “ficha de observación” (ver tabla 14)

Tabla 14

Formato para el registro de parámetros de estudio de centrifugación

Velocidad de rotación (Hz)	
Tiempo (horas)	Vol. Aceite extraído (L)
t ₁	V ₁
t ₂	V ₂
t ₃	V ₃

X₁: Tiempo (horas)

X₂: Velocidad (Hertz)

Posterior a la determinación del tiempo de operación y velocidad de rotación óptima, se realizaron pruebas de lubricación a nivel de laboratorio con el aceite libre recuperado a los tubos producidos, además, de realizarse un análisis de caracterización del efluente residual antes de su disposición final anual, con el objeto de determinar si cumple con los Valores Máximos Admisibles indicados en el Decreto Supremo 010-2019-VIVIENDA.

4.6. Análisis y procesamiento de datos

La recolección de datos se dividió en seis etapas.

Primera etapa

Corresponde al periodo antes de la implementación de la mejora (equipo centrifugador), donde se realizó pruebas a nivel de laboratorio determinándose la existencia de un problema relacionado al exceso de disposiciones de aguas residuales (considerado residuo peligroso) con una empresa operadora de residuos sólidos por el incumplimiento de tres parámetros (DBO, DQO, aceites y grasas) de los Valores Máximos Admisibles indicados en el D.S. 010-2019-VIVIENDA. En este sentido, se consideró evaluar una estación de monitoreo de calidad de agua reflejando los datos de la toma de muestra en la siguiente tabla.

Tabla 15

Punto de muestreo de agua residual

Lugar de Monitoreo	LURIN
Código	EF-01
Puntos de muestreo	Poza de soluble
Fecha de muestreo	05/07/2019
Hora de muestreo	12:15

Fuente: Cultura QHSE S.A.C. (2019)

Las muestras de agua residual tomadas en la empresa Tubos y Perfiles Metálicos S.A. – TUPEMESA fueron analizadas por el Laboratorio de Ensayo Servicios Analíticos Generales S.A.C. (acreditado acuerdo a la Norma Técnica Peruana ISO/IEC 17025:2006).

Segunda etapa

Se basó en la implementación de la mejora (Centrifuga), donde se obtuvo la muestra del agua residual y se sometió al proceso físico de centrifugación a escala laboratorio.

- En las corridas con Spin Test, se obtuvo una separación de aceite (entre 16% - 20%) y sólidos.

Teniendo en cuenta que el máximo porcentaje de separación de aceite a escala laboratorio fue de 20% y que las pozas de soluble son de 8 metros cúbicos, el aceite acumulado semanalmente en la superficie harían un equivalente a 1.6

metros cúbicos y que las horas como máximo que se pueden invertir en centrifugación en la planta es de 5 horas (aprovechando los cambios de línea que son paradas de máquinas ya que el proceso de centrifugación requiere el fluido estático y no en movimiento) determinamos a continuación el flujo requerido de operación de la centrifuga:

$$\text{Vol. aproximado de aceite acumulado: } 8m^3 \times 20\% = 1.6 m^3$$

Vol. de operación= Vol. aproximado de aceite acumulado x Factor de seguridad

$$\text{Vol. De operación= } 1.6m^3 \times 1.5 = 2.4 m^3$$

$$\text{Flujo de operación= } \frac{2.4 m^3}{5h} = 0.48 m^3/h = 480 L/h$$

Tercera etapa

Con la verificación de la eficacia de la centrifugación para el tratamiento de las aguas residuales oleosas realizado en la etapa anterior se procedió a tercerizar el diseño del equipo centrifugador a la empresa ALFA LAVAL, proporcionando la ficha técnica del equipo.

Cuarta etapa

Se basó, en determinar las condiciones óptimas de operación de la centrifuga tipo disco. En la tabla 16 se muestra el diseño para la obtención de datos por la realización de los experimentos con el equipo preseleccionado, la toma de muestra se extrajo de la poza de soluble de una de las máquinas de producción de tubos; las 27 corridas obtenidas se realizaron en nueve semanas.

Tabla 16*Resumen de diseño*

Tipo de diseño	Diseño factorial de múltiples niveles
Factores	02 (Tiempo y velocidad)
Variable respuesta	Volumen de aceite extraído
Corridas base	09
Réplicas	03
Total de corridas	27

Quinta etapa

Correspondió a la etapa posterior de la implementación de la centrífuga realizándose ensayos a nivel de laboratorio determinando una reducción favorable, aplicando un método de tratamiento primario, de los parámetros fisicoquímicos que excedían la normativa vigente en la primera etapa.

Sexta etapa

Se realizó el análisis de costo beneficio de la implementación del equipo centrifugador en la empresa TUPEMESA para el tratamiento de sus aguas residuales oleosas. Es decir, se analizaron los costos directos e indirectos obteniendo el beneficio económico de la empresa.

V. RESULTADOS

5.1. Resultados descriptivos

De acuerdo con la metodología planteada en la presente investigación se reportan los resultados por etapas:

Primera etapa

En la siguiente tabla, se reportan los resultados obtenidos de la caracterización del afluente de la poza de soluble antes del proceso de centrifugación.

Tabla 17

Resultados del monitoreo del agua residual sin tratamiento

Parámetros	Poza	Normativa	Cumplimiento
Aceites y Grasas	3421	100	Excede
Cianuro total	0.005	1	No excede
Cromo VI	0.007	0.5	No excede
Demanda química de oxígeno	20733	1000	Excede
Demanda bioquímica de oxígeno	2003	500	Excede
Nitrógeno amoniacal	8.94	80	No excede
pH	7.42	6 a 9	No excede
Sulfuros	0.166	5	No excede
Sulfatos	23.38	1000	No excede
Sólidos suspendidos totales	410.4	500	No excede
Sólidos sedimentables	0.5	8.5	No excede
Plomo	0.0194	0.5	No excede
Boro	3.329	4	No excede
Aluminio	0.10	10	No excede
Arsénico	0.002	0.5	No excede
Cromo	0.0141	10	No excede
Cobre	0.0849	3	No excede
Cadmio	0.0034	0.2	No excede
Manganeso	0.3575	4	No excede
Mercurio	0.003	0.02	No excede
Níquel	0.0159	4	No excede
Zinc	0.42	10	No excede

Fuente: Servicios Analíticos Generales S.A.C. (2019)

El desarrollo del monitoreo de la muestra para la verificación de los resultados registrados en la tabla 17 se encuentra en el anexo 2.

Segunda etapa

Se realizaron análisis a nivel de laboratorio con el objeto de determinar el tipo de centrifuga a utilizar para el desarrollo de la presente investigación (ver anexo 3).

Tercera etapa

Se adjunta la ficha técnica del equipo de centrifugación diseñado por la empresa ALFA LAVAL (ver anexo 4).

Cuarta etapa

A continuación, en las siguientes tablas, se reportan los resultados obtenidos de los experimentos realizados en las nueve semanas de evaluación. Se realizaron registros fotográficos de la manipulación del equipo (ver anexo 5).

Tabla 18

Resultados de centrifugación a 50Hz y 2h, 3h, 5h. Semana 1

Velocidad de rotación (50 Hz)	
Tiempo (horas)	Volumen de aceite (L)
2	12.30
3	30.50
5	40.20

Tabla 19

Resultados de centrifugación a 55Hz y 2h, 3h, 5h. Semana 2

Velocidad de rotación (55 Hz)	
Tiempo (horas)	Volumen de aceite (L)
2	18.50
3	45.80
5	48.30

Tabla 20

Resultados de centrifugación a 60Hz y 2h, 3h, 5h. Semana 3

Velocidad de rotación (60 Hz)	
Tiempo (horas)	Volumen de aceite (L)
2	20.40
3	46.30
5	50.20

Tabla 21

Resultados de centrifugación a 50Hz y 2h, 3h, 5h. Semana 4

Velocidad de rotación (50 Hz)	
Tiempo (horas)	Volumen de aceite (L)
2	9.50
3	25.20
5	35.80

Tabla 22

Resultados de centrifugación a 55Hz y 2h, 3h, 5h. Semana 5

Velocidad de rotación (55 Hz)	
Tiempo (horas)	Volumen de aceite (L)
2	13.40
3	50.80
5	50.20

Tabla 23*Resultados de centrifugación a 60Hz y 2h, 3h, 5h. Semana 6*

Velocidad de rotación (60 Hz)	
Tiempo (horas)	Volumen de aceite (L)
2	17.30
3	46.50
5	45.80

Tabla 24*Resultados de centrifugación a 50Hz y 2h, 3h, 5h. Semana 7*

Velocidad de rotación (50 Hz)	
Tiempo (horas)	Volumen de aceite (L)
2	5.50
3	28.30
5	30.20

Tabla 25*Resultados de centrifugación a 55Hz y 2h, 3h, 5h. Semana 8*

Velocidad de rotación (55 Hz)	
Tiempo (horas)	Volumen de aceite (L)
2	17.20
3	53.50
5	50.90

Tabla 26*Resultados de centrifugación a 60Hz y 2h, 3h, 5h. Semana 9*

Velocidad de rotación (60 Hz)	
Tiempo (horas)	Volumen de aceite (L)
2	19.40
3	48.70
5	45.40

Se procedió a consolidar los resultados obtenidos semanalmente en la tabla 27 a efectos de realizar su análisis respectivo en el siguiente capítulo.

Tabla 27

Consolidado de volúmenes de aceite extraído – semana 1 hasta semana 9

		Volumen de aceite extraído (Litros)		
		Velocidad de rotación (Hertz)		
Tiempo (horas)	2h	50 Hz	55 Hz	60Hz
		12.30	18.50	20.40
		9.50	13.40	17.30
	5.50	17.20	19.40	
	3h	30.50	45.80	46.30
		25.20	50.80	46.50
		28.30	53.50	48.70
	5h	40.20	48.30	50.20
		35.80	50.20	45.80
		30.20	50.90	45.40

Es preciso señalar, que la interacción entre las variables tiempo y velocidad de rotación se ve reflejada en la cantidad de aceite extraído.

Quinta etapa

En la siguiente tabla se reportan los resultados obtenidos de la caracterización del efluente posterior al proceso de centrifugación.

Tabla 29*Resultados del monitoreo del agua residual tratada*

Parámetros	Poza	Normativa	Cumplimiento
Aceites y Grasas	5110.0	100	Excede
Cianuro total	<0.013	1	No excede
Cromo VI	<0.010	0.5	No excede
Demanda química de oxígeno	6066.7	1000	Excede
Demanda bioquímica de oxígeno	2631.0	500	Excede
Nitrógeno amoniacal	-	80	No excede
pH	8.99	6 a 9	No excede
Sulfuros	<0.002	5	No excede
Sulfatos	-	1000	No excede
Sólidos suspendidos totales	336	500	No excede
Sólidos sedimentables	<0.1	8.5	No excede
Plomo	<0.002	0.5	No excede
Boro	0.08	4	No excede
Aluminio	0.020	10	No excede
Arsénico	0.008	0.5	No excede
Cromo	0.0008	10	No excede
Cobre	0.2473	3	No excede
Cadmio	0.2473	0.2	No excede
Manganeso	<0.0001	4	No excede
Mercurio	0.1267	0.02	No excede
Níquel	<0.0001	4	No excede
Zinc	3.3784	10	No excede

Fuente: Informe de Ensayo IE-21-8696, Analytical Laboratory E.I.R.L. (2021)

El desarrollo del monitoreo de la muestra para la verificación de los resultados registrados en la tabla 29 se encuentran en el anexo 6.

Sexta etapa

Resultados del análisis costo beneficio (ACB).

La siguiente tabla muestra las cantidades de aceite recuperado por mes (cuatro semanas) del año 2020, periodo principal donde se realizó la investigación, por cada unidad de la poza de soluble para la determinación del beneficio económico

a las condiciones de operación óptimas que se obtuvieron del análisis de la “cuarta etapa”.

Tabla 29

Resultados del beneficio económico por la recuperación de aceite

Aceite recuperado (1 gal = 3.78 litros) 55 Hz y 3h									Total (gal)	Precio 8.86 USD/gal	Hora
Mes	Año 2020										
	MEP				TTH						
	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4			
Ene.	11	12	11	12	11	12	11	11	91.0	806.30	24.0
Feb.	13	13	13	12	12	11	11	11	96.0	850.60	24.0
Mar.	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	0.00	24.0
Abr.	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	0.00	24.0
May.	13	13	13	12	13	13	11	12	100.0	886.00	24.0
Jun.	12	13	12	12	13	13	11	11	97.0	859.40	24.0
Jul.	11	12	13	11	12	11	12	11	93.0	824.00	24.0
Ago.	13	11	13	12	11	12	12	11	95.0	841.70	24.0
Set.	13	13	13	13	12	11	13	12	100.0	886.00	24.0
Oct.	11	12	13	12	12	12	11	13	96.0	850.60	24.0
Nov.	11	11	12	12	11	11	12	11	91.0	806.30	24.0
Dic.	13	12	13	13	11	12	12	11	97.0	859.40	24.0

Nota: La denominación “Sn” hace referencia al número de semana en el cual se realizó la succión de aceite para cada unidad de la poza (MEP y TTH). El valor de 24 horas se obtuvo de las 3 horas de operación por cada semana de los meses del año 2020 (4 semanas * 2 unid. de la poza). Además, se cuantifica el aceite recuperado tomando como base el precio de aceite utilizado para la lubricación de tubos y este vendría a ser el mismo, puesto que se realizó pruebas de lubricación con aceite recuperado y aceite nuevo, y se obtuvo el mismo resultado de recubrimiento frente a la corrosión en un periodo de tres meses que es el periodo máximo de almacenamiento de tubos en planta, ver pruebas de lubricación con aceite recuperado y aceite nuevo en el anexo 7

Por otro lado, la tabla 30 muestra la variación en los gastos por disposición y transporte de aguas residuales oleosas consideradas como peligrosas de los años 2018 (antes de implementar el equipo centrifugador), 2019 (año en el que se identificó el problema por el aumento de gastos en succión) y 2020 (año en el que se implementó el equipo centrifugador).

Tabla 30

Gastos por disposición y transporte de aguas residuales oleosas (USD/año)

Unidad	2018	2019	2020
MEP	1,288.00	1,540.00	0.00
TTH	3,469.00	5,970.00	818.00
Total	4,757.00	7,510.00	818.00

Nota: Para el año 2020 se consignó 0.00 USD/año en la unidad MEP debido a que no se realizó la disposición final de las aguas residuales oleosas puesto que la extracción de aceites con la implementación de mejora para este tipo de poza permitió disminuir el número de succión de una cada año a una succión cada dos años. Esto se debe a que en MEP no hay tanta contaminación de polvillo metálico a diferencia que en TTH, es decir el gasto registrado en 2020 para TTH corresponde a la poza agotada no por alto contenido de aceites sino por contaminación de polvillo metálico.

En la tabla 31 se muestra el gasto por consumo de aceite en los mismos años de estudio y por cada unidad de la poza de soluble.

Tabla 31

Gastos por consumo de aceite (USD/año)

Unidad	2018	2019	2020
MEP	36,835.00	11,587.00	7,275.00
TTH	38,818.00	27,452.00	23,351.00
Total	75,653.00	39,040.00	30,627.00

En la tabla 32 se muestra el ahorro de paradas de planta (en horas) para la succión de aguas residuales oleosas a disponibles por una empresa operadora de residuos sólidos.

Tabla 32

Tiempo de parada de planta para la succión de aguas residuales oleosas

Unidad	2018	2019	2020
MEP	8	8	0
TTH	20	40	8
Total	28	48	8

Nota: Horas de succión en la unidad MEP para el año 2020, misma situación que la nota de la tabla 30.

Utilizando como insumo los valores obtenidos en la tabla 32, se realizó la siguiente tabla, la cual esboza, la variación de gastos por el pago a los operarios encargados del manejo de las unidades de la poza de soluble.

Tabla 33

Gastos por mano de obra en la succión de aguas residuales oleosas

Unidad	2018	2019	2020
MEP	103.68	103.68	0
TTH	259.20	518.4	103.68
Total	362.88	622.08	103.68

Nota: cuatro operarios por hora a 3.24 USD/hora.

En la siguiente tabla se registran los gastos anuales por el consumo de fluido de corte refrigerante (soluble).

Tabla 34*Gastos por consumo de fluido de corte refrigerante (USD/año)*

Unidad	2018	2019	2020
MEP	2,050.00	2,050.00	1,800.00
TTH	2,050.00	2,300.00	2,050.00
Total	4,100.00	4,350.00	3,850.00

La tabla 35 muestra la tarifa por consumo de energía eléctrica que se utilizará como insumo en la determinación de los costos totales.

Tabla 35*Tarifa de energía eléctrica por hora de trabajo*

Amperaje de la centrifuga a	10 A
Amperaje de la centrifuga KW	3 KW
Tarifa S/./KWh	9.45 S/./KWh
Tarifa USD/hora	7.66 USD/hora

Nota: La tarifa en soles/KWh es la que se toma como valor del consumo fuera de potencia de hora punta en planta.

5.2. Resultados inferenciales

Según el modelo de investigación no amerita, debido a que la muestra es de tipo representativa aleatoria.

5.3. Otro tipo de resultados estadísticos, de acuerdo a la naturaleza del problema y la hipótesis

No se obtuvieron otro tipo de resultados estadísticos por la naturaleza de la investigación.

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. Contratación y demostración de la hipótesis con los resultados

Hipótesis alternativas relacionadas a las variables independientes X_1 y X_2

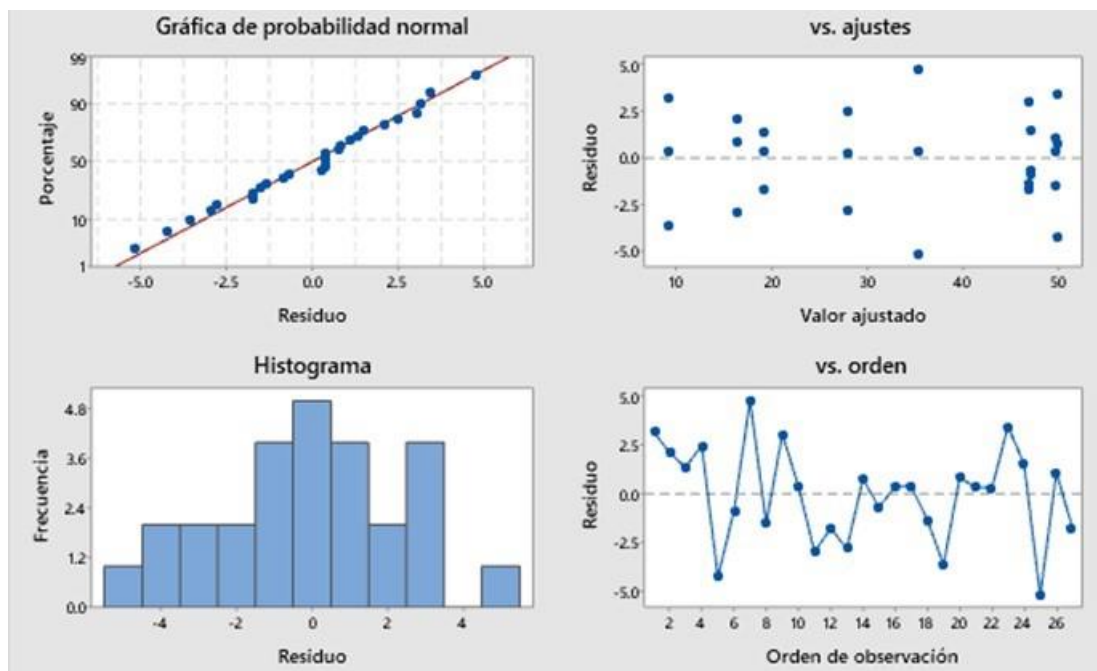
Diseño factorial de dos factores

Se determinó el efecto de los factores tiempo y velocidad sobre la variable respuesta volumen de aceite extraído. Se investigó la relación de volumen de aceite extraído en el proceso de centrifugación respecto a los tiempos y velocidades establecidos.

Análisis de los resultados residuales

Figura 7

Gráfica de residuos en la extracción de aceite



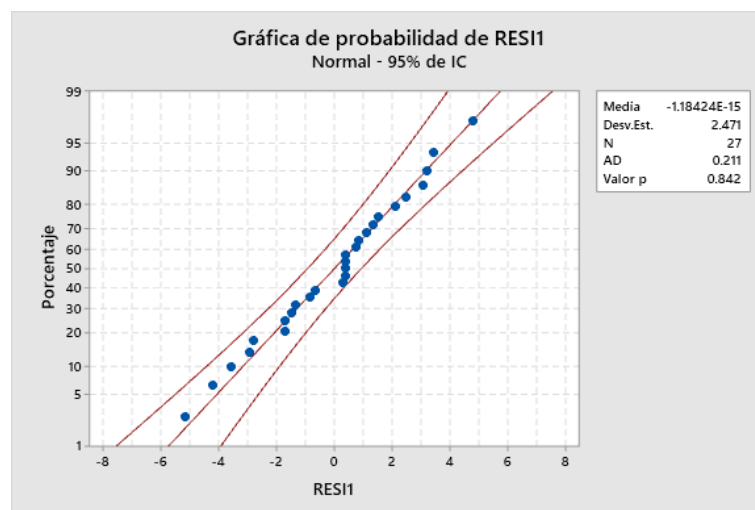
Fuente: Software Minitab 19

De la figura 7 se puede determinar lo siguiente:

- **Normalidad:** Los datos están relativamente cerca de la línea de distribución normal ajustada.
- **Varianza:** Los residuos están distribuidos aleatoriamente y la varianza en los diferentes tratamientos son aproximadamente iguales.
- **Independencia:** Los residuos son independientes ya que no muestran tendencias ni patrones en el orden cronológico. No hay evidencia de patrones ni correlación. Los puntos se ubican aleatoriamente alrededor de la línea central.

Figura 12

Probabilidad normal de residuos



Fuente: Software Minitab 19

$H_0 =$ Los datos se distribuyen normalmente

$H_1 =$ Los datos no se distribuyen normalmente

De los resultados representados en la figura 12, la hipótesis nula indica que los datos siguen una distribución normal. Además, el valor de p es 0.842 que es

mayor que el nivel de significancia de 0.05, por lo tanto, la decisión es que no se puede rechazar la hipótesis nula.

Análisis de los resultados ANOVA

Tabla 36

Análisis de varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	8	6131.1	766.39	86.92	0.000
Lineal	4	5954.4	1488.61	168.83	0.000
Tiempo	2	4759.4	2379.68	269.88	0.000
Velocidad	2	1195.1	597.54	67.77	0.000
Interacciones de 2 términos	4	176.7	44.17	5.01	0.007
Tiempo*Velocidad	4	176.7	44.17	5.01	0.007
Error	18	158.7	8.82		
Total	26	6289.8			

Fuente: Software Minitab 19

En la tabla 36 se observa que todos los efectos (principales y de interacción) son significativos ya que sus valores p son menores a 0.05.

Resumen del modelo

Tabla 37

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred.)
2.96941	97.48%	96.36%	94.32%

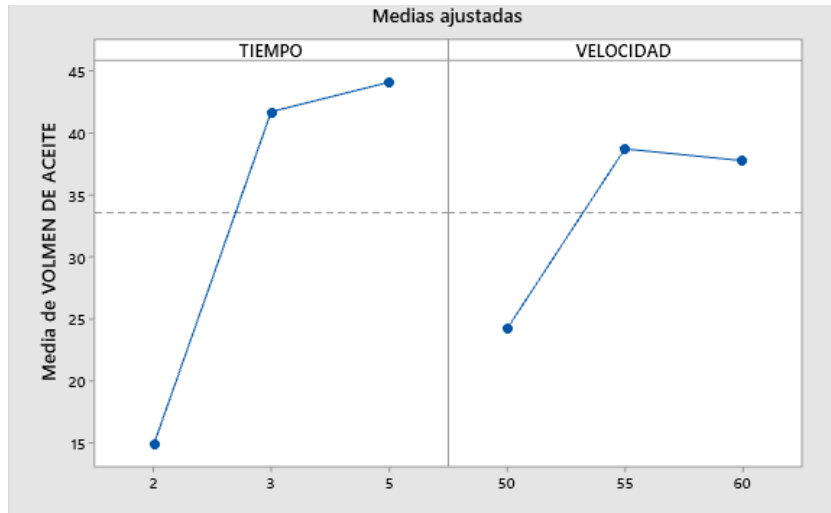
Fuente: Software Minitab 19

Del R-cuadrado ajustado, quiere decir que el 96.36% del volumen de aceite extraído depende del tiempo y la velocidad de rotación. Mientras más elevado sea el R-cuad. mayor ajuste de los datos al modelo (ver tabla 37).

Análisis de los resultados de efectos principales

Figura 9

Efectos principales en la extracción de aceite

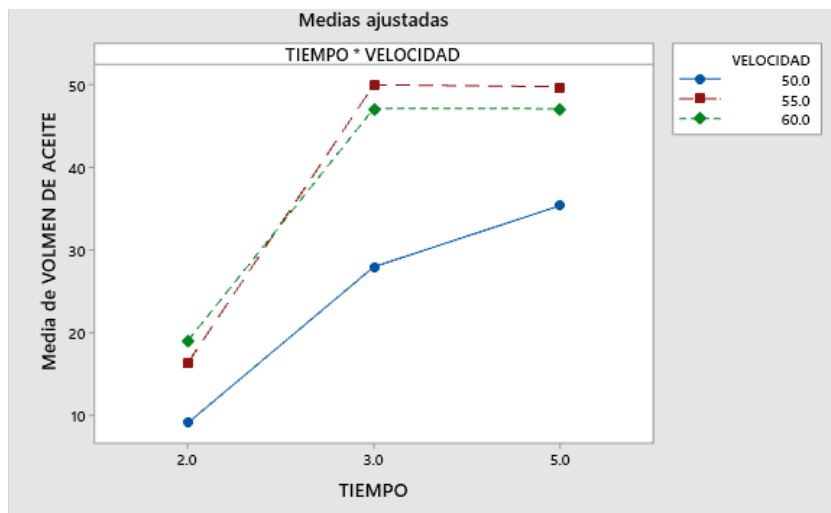


Fuente: Software Minitab 19

Análisis de los resultados de interacción entre las variables tiempo de operación y velocidad de rotación para la extracción de aceite

Figura 10

Interacción entre las variables tiempo de operación y velocidad de rotación



Fuente: Software Minitab 19

De la figura 10 se observa que el tiempo y la velocidad afectan la cantidad de aceite extraído de las pozas de soluble luego de la centrifugación. El tiempo a 3 horas de operación tiene una tasa media de volumen de aceite extraído mayor que a 2 horas de operación de la centrifuga. La pendiente positiva significa que a mayor tiempo el volumen de aceite aumenta. Sin embargo, en la gráfica de relación con la velocidad se observa que a partir de los 55 Hz la pendiente es negativa y ocasiona que la tasa media de volumen de aceite extraído disminuya. Por tanto, las condiciones óptimas de operación de la centrifuga para lograr la mayor tasa promedio de volumen de aceite extraído serán a 3 horas y 55 Hz.

La primera hipótesis alternativa difiere de los resultados obtenidos mediante el análisis de diseño factorial de dos factores, si bien es cierto se demuestra relación de volumen de aceite extraído con tiempos de centrifugación, el máximo volumen de aceite extraído se obtuvo a las tres horas de operación y no a las dos horas indicadas en la hipótesis alternativa. Sin embargo, la segunda hipótesis alternativa, se acepta ya que por medio de las gráficas de interacciones y de efectos principales se puede demostrar que a 55Hz se logra la mayor tasa promedio de volumen de aceite extraído en tanto que si se aumentase, el volumen de aceite sería menor.

Hipótesis alternativa relacionada a la variable independiente X_3

La tabla 17 muestra los resultados obtenidos del monitoreo del afluente antes de la implementación de la centrifuga, cuyos parámetros que exceden la normativa vigente son los aceites y grasas, la demanda bioquímica de oxígeno y la demanda química de oxígeno; estos resultados se compararon con los valores

obtenidos del monitoreo del efluente tratado reportados en la tabla 28. En ese sentido, la siguiente tabla muestra la variación en la concentración de los parámetros mencionados anteriormente.

Tabla 38

Análisis de los parámetros que exceden la normativa vigente

Parámetros	T.17	T.28	Normativa
Aceites y Grasas	3421.0	5110.0	100
Demanda bioquímica de oxígeno	2003.0	2631.0	500
Demanda química de oxígeno	20733	6066.7	1000

Se puede apreciar que posterior al tratamiento solo se ha reducido la demanda química de oxígeno significativamente, mientras que la demanda bioquímica de oxígeno se ha mantenido casi constante. Por otro lado, las concentraciones de aceites y grasas han aumentado después del tratamiento, esto se debe a que el análisis se ha realizado después de un año cuando la poza se encuentra saturada y el volumen llega a ser considerable para efectuar su disposición. En ese sentido, el aumento de la concentración se debe a que el tratamiento de centrifugación solo separa aceites libres (utilizado para la lubricación de piezas y tubos) cuyo peso específico difiere del agua, sin poder extraer los disueltos o solubles. No obstante, esta agua residual tratada contiene en su mayor composición agua con fluido de corte refrigerante gastado (aceite soluble) el cual se va reponiendo paulatinamente por los operarios de planta, siendo así reutilizado dentro del proceso productivo.

Por tanto, la tercera hipótesis alternativa difiere de los resultados obtenidos en la presente investigación.

Del resultado consignados en la tabla 38, se muestra la variación en la concentración de los parámetros que exceden la normativa peruana vigente del agua residual oleosa (ver figura 11, 12 y 13).

Figura 11

Resultados del análisis de aceites y grasas

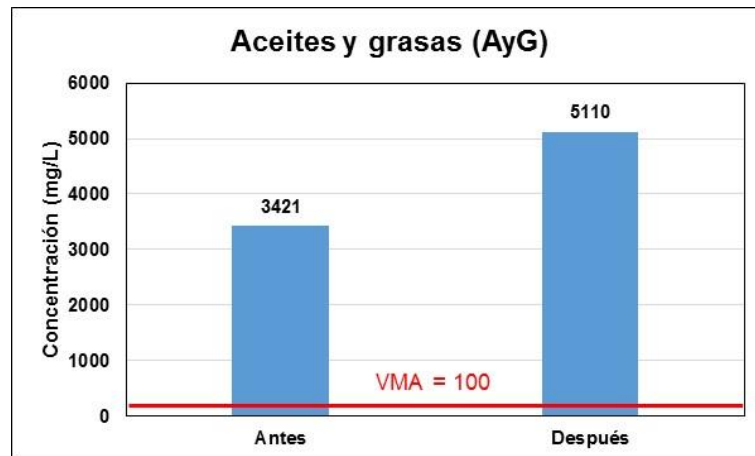


Figura 12

Resultado del análisis de la demanda química de oxígeno

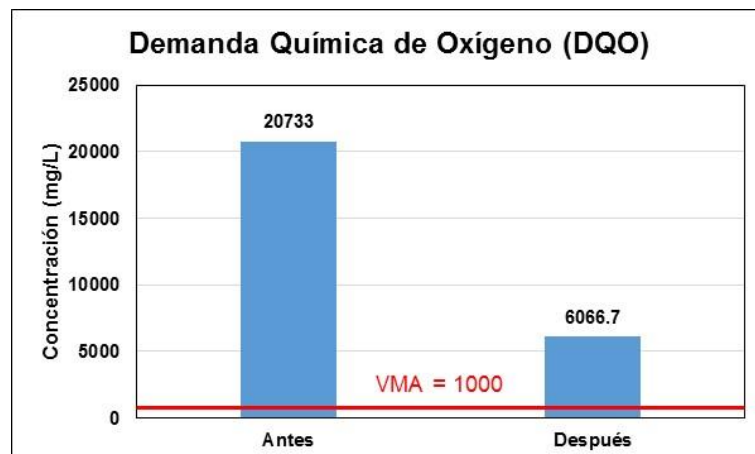
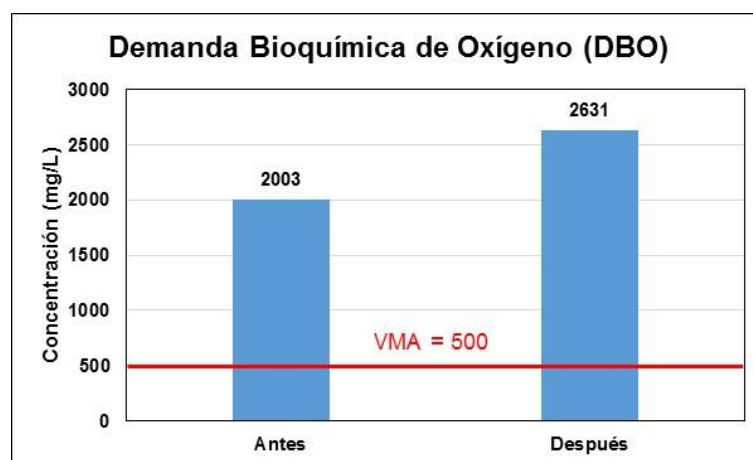


Figura 13

Resultado del análisis de la demanda bioquímica de oxígeno



Hipótesis general relacionada a la variable dependiente “Y”

Tabla 39

Registro anual de Beneficios totales 2019-2020

	Beneficios	2019	2020	Unidad de Medida	Tarifa	USD/año
Bi	Aceite recuperado	0	956	galones	8.86 USD/gal	8,470.20
	Ahorro en consumo de aceite nuevo	4406.26	3456.74	galones	8.86 USD/gal	8,413.00
	Mano de Obra	622	104	Horas	3.24 USD/horas	518.00
	Ahorro en consumo de fluido refrigerante	4350	3850	litro	2.3 USD/litro	1,150.00
Be	Ahorro de gasto por succión de aguas residuales	7510.00	818.00	USD	-	6,691.00
CO	-	-	-	-	-	0.00

La tabla 39 muestra el registro anual de los beneficios totales realizando una comparación entre los años 2019 y 2020.

Los beneficios externos son los que derivan de los beneficios ambientales, sin embargo, no se ha podido reducir los parámetros que exceden los Valores Máximos Admisibles, pero sí se ha podido alargar la vida útil del fluido refrigerante, existiendo así un ahorro anual en la disposición final y transporte de aguas residuales con una empresa operadora.

El coste de oportunidad es cero ya que hace referencia al terreno que ocupa la estación de tratamiento de agua, mientras que el ámbito de implementación de nuestra mejora se trata de un equipo el cual ocupa un espacio poco significativo.

En la siguiente tabla se esbozará los costos totales utilizados para la implementación del equipo centrifugador.

Tabla 40

Registro anual de Costos totales para la implementación de la centrifuga

	Beneficios	Cant.	Unidad	Tarifa	USD
	Equipo centrifugador	1	Unidad	-	17,000.00
Costos totales	Energía eléctrica	288	Horas	7.66 USD/horas	2,206.00
	Análisis de laboratorio	2	Unidad	-	3,800.00

Análisis de Costo Beneficio

El análisis de costo beneficio permitió evaluar la viabilidad de la implementación de la mejora, así mismo permitió determinar los beneficios y costos totales que

conllevaron también a contrastar el resultado real obtenido del porcentaje de índice de mejora (%IM) con el estimado en la hipótesis general.

De la tabla 39 se obtiene un beneficio total de **25,242.00 USD/año** y de la tabla 40 un costo total de **22,206.00 USD/año**.

Determinamos la relación BT/CT:

$$\frac{BT}{CT} = \frac{\text{Beneficios Totales}}{\text{Costos Totales}} = \frac{25242.00 \text{ USD/AÑO}}{22206.00 \text{ USD/AÑO}} = 1.13 > 1.00$$

Por tanto, cuando la relación BT/CT > 1, podemos determinar que la mejora implementada es viable económicamente.

Así mismo, la relación BT/CT resultó 1.13 respecto al primer año de implementación del equipo centrifugador lo que nos indica que en este periodo hubo la recuperación de los gastos invertidos e inclusive un beneficio adicional del 13%.

La hipótesis general difiere de los resultados obtenidos mediante el análisis de costo beneficio, ya que se había estimado un ahorro económico del 40% a favor de la empresa. Sin embargo, el porcentaje obtenido correspondiente al presente año en curso es significativamente mayor al 13% debido a que en el primer año de implementación (2020) ya se recuperaron los gastos invertidos, en ese sentido, lo correspondiente al año 2021 serán beneficios netos para la empresa.

6.2. Contrastación de los resultados con otros estudios similares

Al tratarse de una investigación inédita no se ha podido encontrar estudios similares para realizar la contrastación de los resultados. Sin embargo, los

antecedentes utilizados han sido de utilidad porque cada uno aporta información relevante para cada etapa desarrollada en la presente investigación.

En este sentido, el estudio de **Hernández et al. (2010)** al considerar que el tratamiento de aguas residuales origina un valor económico a favor de la empresa utilizando el análisis costo beneficio y obteniendo un resultado positivo del 0.5970 USD/m³, se contrastó, que dicha proposición es afirmativa, ya que el tratamiento de aguas residuales oleosas originó un beneficio económico a favor de la empresa del 13% recuperando la inversión inicial al primer año de la implementación.

Se contrastó el aporte de **Fernández (2019)**, determinando que el tratamiento de aguas residuales mediante métodos primarios origina una reducción en la generación de aceites y grasas, además de la DBO y DQO. Además, que para el autor dicha implementación le originó una ganancia de 0.36 Nuevos Soles por cada Nuevo Sol invertido en el desarrollo de su propuesta. Para nuestro caso, se obtuvo una ganancia de 0.13 USD por cada dólar americano invertido, contrastando la viabilidad del tratamiento.

Finalmente, de acorde a **Huertas y Martinez (2016)**; al concluir que el tratamiento de aguas residuales industriales de pozo de perforación mediante métodos convencionales (tratamientos primarios), resulta ser más económica que un tratamiento avanzado, sin embargo, este último permite la reutilización (del 90% al 93%) del efluente para su proceso productivo. En nuestro caso se difiere de dicha proposición al tratarse de un efluente residual de diferente composición, es decir, el tratamiento convencional de centrifugación utilizado es

económicamente viable y el efluente generado por su constitución de agua y fluido de corte refrigerante permite su reutilización en el proceso productivo de la elaboración de tubos de acero.

6.3. Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes

Los autores de la investigación se responsabilizan por la información emitida en el presente trabajo de tesis, de acuerdo al Reglamento del Código de Ética de la Investigación de la Universidad Nacional del Callao, según Resolución de Consejo Universitario N° 260-2019-CU.

.

VII. CONCLUSIONES

1. El tiempo adecuado de operación de la centrifuga para el tratamiento de aguas residuales oleosas, según el análisis realizado en el año 2020 para una extracción de aceite promedio de 42 L fue de tres horas de succión.
2. La velocidad de rotación de acuerdo al análisis realizado en la gráfica de efectos principales para la obtención de una mayor cantidad de aceite recuperado (40 L aproximadamente) fue de 55 Hertz.
3. La implementación del equipo centrifugador tipo disco redujo la concentración de la demanda química de oxígeno, mantuvo casi constante la demanda bioquímica de oxígeno y extrajo los aceites libres de la poza de soluble utilizados actualmente para la lubricación de tubos y piezas, sin embargo, por tratarse de un análisis anual antes de la disposición final del efluente residual con una empresa operadora, este refleja un aumento en las concentraciones del contenido de aceite soluble. No obstante, la composición del efluente tratado contiene fluido de corte refrigerante (aceite soluble) difícil de separar por el método seleccionado. A pesar de ello, este efluente tratado es reutilizado en el proceso ya que contiene el componente principal (fluido refrigerante) para la producción de tubos de acero.
4. Se demuestra la viabilidad económica de la implementación del equipo centrifugador tipo disco al obtener una relación entre los beneficios totales respecto a los costos totales mayor a la unidad, lográndose un ahorro a favor de la empresa del 13% al primer año de implementación.

VIII. RECOMENDACIONES

1. Realizar pruebas experimentales con otros intervalos de tiempo y velocidades de rotación, con el objeto de poder explorar el comportamiento de los aceites libres extraídos a nuevas condiciones.
2. Si se desea reducir la concentración de los parámetros de DBO, DQO, aceites y grasas, se recomienda implementar un tratamiento secundario para el efluente residual a efectos de poder cumplir con los Valores Máximos Admisibles y poder verter estos al alcantarillado público, evitando así la disposición final por una Empresa Operadora de Residuos Sólidos.
3. Realizar análisis a nivel de laboratorio en periodos de tiempos establecidos con el objeto de poder estudiar el comportamiento del fluido de corte refrigerante (aceite disuelto) en el agua residual tratada que actualmente es reutilizada.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Burneo, J., Jaramillo, J., Riofrío, G. (2014) *Diseño y construcción de un dispositivo mecánico centrífugo que permita eliminar residuos sólidos (LODOS) del aceite debido al tratamiento que recibe para su refinación, en la planta de reciclaje de aceite lubricante del I. Municipio de Loja.* [Trabajo de grado, Universidad Nacional de Loja].
<http://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/11958>
- Cabasés, J. (1994). *Análisis coste-beneficio.* Universidad Pública de Navarra. Escuela Andaluza de Salud Pública.
- Cabello, S. (2016). *Gestión y Reducción de Residuos Sólidos en la Industria del Automóvil.* [Trabajo de grado, Universidad de Sevilla].
<http://hdl.handle.net/11441/52781>
- Cristeche, E. y Penna, J. (2008). *Métodos de valoración económica de los servicios ambientales.* Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-metodos_doc_03.pdf
- De Santis, J. (2015). *Diseño de sistema centralizado de aceite soluble para el área de conformado de tuberías metálicas.* [Trabajo de grado, Escuela Superior Politécnica del Litoral].
<http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/35017>
- Decreto Supremo 010-2019-VIVIENDA. [Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento]. Decreto Supremo que aprueba el reglamento de valores

máximos admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario. 11 de marzo de 2019.

Fernández, J. (2019). *Propuesta de un sistema de tratamiento de aguas residuales del Servicentro San Miguel para minimizar el impacto ambiental sobre las fuentes de agua*. [Trabajo para optar el título de ingeniero industrial, Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo]. <http://hdl.handle.net/20.500.12423/2050>

Huertas, Y. y Martínez, A. (2016). *Diseño de un modelo económico con el objetivo de determinar el costo-beneficio del tratamiento de aguas residuales industriales de perforación, en un campo de Ecopetrol S.A.* [Trabajo de grado para optar el título de economista, Fundación Universidad de América]. <http://hdl.handle.net/20.500.11839/87>

Hernández, F., Molino, M., Sala, R. (2010). Estudio de viabilidad económica para el tratamiento de aguas residuales a través de un análisis coste beneficio. *Revista Electrónica de Comunicaciones y Trabajos de ASPUMA*, 11, 1-25. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3673255.pdf>

Hernández, L. y Quesada, A. (2002). Fluidos de corte, consecuencias y perspectivas. *Ciencias Holguín*, 8(3), 1-11. <http://www.ciencias.holguin.cu/index.php/cienciasholguin/article/view/202/76>

Hernández, R., Fernández, C., Baptista, M. (2014). *Metodología de la investigación*. (6ª ed.). Mc Graw Hill.

- Ingurumen Hobekuntza (1999). *Libro blanco para la minimización de residuos y emisiones, Mecanizado de Metal*. IHOBE Sociedad Pública de Gestión Ambiental. <http://www.ihobe.eus/publicaciones/libro-blanco-para-minimizacion-residuos-y-emisiones-mecanizado-metal>
- Sainz, J. (2004). Tratamiento de Aguas Residuales. Separación de aceites de efluentes industriales: Tipos de separadores, criterios de selección y diseño. *Ecolarie España S.A.* 93-99. <https://silo.tips/download/separacion-de-aceites-de-efluentes-industriales-tipos-de-separadores-criterios-d>
- Jerez, R. (2007). *Determinación de los parámetros de corrosión y desgaste del par acero/aluminio en presencia de líquidos iónicos*. [Trabajo para optar el título de ingeniero industrial, Universidad Politécnica de Cartagena]. <https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/83/pfc2368.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Kafka, F. (1997). *Teoría económica*. (3ª ed.) Universidad del Pacífico, Centro de Investigación. <http://hdl.handle.net/11354/1606>
- Maldonado, C. (2018). *Evaluación técnica-económica de alternativas de tratamiento de las aguas oleosas generadas en planta Re-refinadora de aceites lubricantes usados de biofactor S.A.* [Trabajo para optar al título de ingeniero civil químico, Universidad Técnica Federico Santa María]. <https://hdl.handle.net/11673/47818>
- Martínez, P., Martínez, L., Rodríguez, I., Rosa, E., Martínez, R. (2018). Evaluación del sistema tratamiento de residuales líquidos generados en

una central eléctrica operando con "fuel oil". Alternativas tecnológicas. *Revista Tecnología Química*, 38(1), 153-168.

Martínez, P., Rosa, E., Rodríguez, I., Leiva, J., Pérez, M. (2015). Minimización del impacto ambiental de las aguas oleosas mediante columna rellena con bagazo de caña de azúcar. *Revista Centro Azúcar*, 43 (1), 61-69. <http://scielo.sld.cu/pdf/caz/v43n1/caz07116.pdf>

Mercado, A. (2014). *Centrifugación*. [Trabajo para optar el título profesional de ingeniero de industrias alimentaria, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/4190>

Milan, C. y Polania, L. (2018). *Propuesta de mejora del sistema de tratamiento de aguas residuales de la empresa Somos K S.A.* [Trabajo para optar por el título de ingeniero químico, Fundación Universidad América]. <http://hdl.handle.net/20.500.11839/6723>

Paz, C. (2017). *Mejoramiento del sistema de tratamiento de efluentes líquidos alcalinos provenientes del proceso de teñido textil en la empresa Franky & Ricky*. [Tesis para optar el título profesional de ingeniero industrial, Universidad Católica de San Pablo]. https://repositorio.ucsp.edu.pe/bitstream/UCSP/15460/1/PAZ_ROCHA_CAR_MEJ.pdf

Portillo, F. (2006). *Introducción a la econometría*. <https://www.unirioja.es/cu/faporti/ieTEMA01.pdf>

Trueba, R. y Ortiz, C. (2019). Métodos de valoración económica vinculados al análisis costo-beneficio extendido: El caso de la región oeste del Lago de Cuitzeo, Michoacán, México. *Revista DELOS. Desarrollo Local Sostenible*, 12(34), 1-25. <https://www.eumed.net/rev/delos/34/lago-cuitzeo-valoracion.html>

Valderrama, S. (2013). *Pasos para elaborar proyectos de investigación científica*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Villamizar, I. (2008). *Evaluación de las Taladrinas agotadas generadas en la industria metalmecánica de Bucaramanga y su área metropolitana*. [Trabajo para optar el título de ingeniero sanitario y ambiental, Universidad Pontificia Bolivariana]. <https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/330>


Westreicher, G. (18 de abril 2020). *Coste total*. Economipedia. Recuperado el 30 de julio de 2021 de <https://economipedia.com/definiciones/coste-total.html>

Anexos

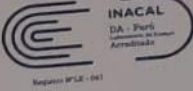
Anexo 1 - Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	METODO
<p>Problema general</p> <p>¿Cuál es el beneficio de valorar económicamente las aguas residuales oleosas provenientes de la fabricación de tubos de acero tratadas mediante centrifugación?</p>	<p>Objetivo general</p> <p>Valorar económicamente las aguas residuales oleosas provenientes de la fabricación de tubos de acero tratadas mediante centrifugación</p>	<p>Hipótesis general</p> <p>El beneficio de valorar económicamente las aguas residuales oleosas provenientes de la fabricación de tubos de acero tratadas mediante centrifugación es el ahorro económico del 40%.</p>	<p>Variable dependiente</p> <p>Y: Valorización económica</p>	<p>Evaluación económica del tratamiento de aguas residuales oleosas.</p>	<p>Relación costo beneficio</p> $ACB = \frac{BT}{CT}$	<p>Analítico</p>
<p>Problemas específicos</p> <p>¿Cuál es el tiempo adecuado de operación de la centrifuga para el tratamiento de las aguas residuales oleosas?</p>	<p>Objetivos específicos</p> <p>Determinar el tiempo adecuado de operación de la centrifuga para lograr mayor extracción de aceites y grasas en el tratamiento de las aguas residuales oleosas.</p>	<p>Hipótesis específicas</p> <p>El tiempo adecuado de operación es dos horas de lográndose la mayor cantidad de extracción de aceites y grasas.</p>	<p>Variables Independientes</p> <p>X1: Tiempo de operación del equipo</p>	<p>Propiedades del fluido.</p>	<p>Horas de succión</p>	<p>Cuantitativo</p>
<p>¿A qué velocidad de operación se logra mayor extracción de aceites y grasas con la centrifuga en el tratamiento de las aguas residuales oleosas?</p>	<p>Determinar la velocidad de operación en la que se logra mayor extracción de aceites y grasas con la centrifuga en el tratamiento de las aguas residuales oleosas.</p>	<p>La velocidad de rotación en la que se logra la mayor cantidad de extracción de aceites y grasas es de 55 Hz.</p>	<p>X2: Velocidad de Operación del equipo.</p>	<p>Propiedades del fluido.</p>	<p>Velocidad de Rotación (Hertz)</p>	<p>Cuantitativo</p>
<p>¿Cuáles son las características fisicoquímicas de las aguas residuales oleosas provenientes de la fabricación de tubos de acero tratadas mediante centrifugación?</p>	<p>Determinar las características fisicoquímicas de las aguas residuales oleosas provenientes de la fabricación de tubos de acero tratadas mediante centrifugación.</p>	<p>Las características fisicoquímicas parámetros de DBO, DQO y aceites y grasas cumplen con los Valores Máximos Admisibles indicados en el Decreto Supremo 010-2019-VIVIENDA.</p>	<p>X3: Características fisicoquímicas</p>	<p>DBO, DQO, Aceites y grasas</p>	<p>Concentración (ppm)</p>	<p>Cuantitativo</p>

Anexo 2 – Análisis de monitoreo de aguas residuales oleosas 2019



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-047



INACAL
DA - Perú
Acreditado
Registro N° LE-047

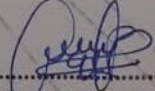
**INFORME DE ENSAYO N° 134396 - 2019
CON VALOR OFICIAL**

II. RESULTADOS:

Producto declarado	Agua Residual	
Matriz analizada	Agua Residual	
Fecha de muestreo	2019-07-05	
Hora de inicio de muestreo (h)	12:15	
Condiciones de la muestra	Refrigerada/Preservada	
Código del Cliente	EF-01	
Código del Laboratorio	19070534	
Ensayo	Unidad	Resultados
Aceites y grasas (HEM)	mg/L	3421
Cianuro Total	mg/L	<0.005
Cromo Hexavalente (VI)	mg/L	<0.007
Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	mg/L	2003
Demanda Química de oxígeno (DQO)	O ₂ mg/L	20733
Nitrógeno Amoniacal/ Amoniaco	mg/L	8.94
**pH	Unid. pH	7.42
Sulfuros	S ²⁻ mg/L	0.166
Sulfatos	SO ₄ ²⁻ mg/L	23.38
Sólidos suspendidos totales (TSS)	mg/L	410.4
Sólidos Sedimentables (SS)	mL/L/h	<0.5

Medición de pH realizada a 25°C.

**El resultado del método de ensayo indicado se encuentra fuera del alcance de acreditación otorgada por el INACAL-DA debido a que la muestra no es idónea para el ensayo, por haber superado el tiempo de perecibilidad.



Quim. Belbeth Y. Fajardo León
C.Q.P. N° 648
Asesor Técnico Químico



SAG

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-047



Registro N° LE-047

INFORME DE ENSAYO N° 134396 - 2019 CON VALOR OFICIAL

II. RESULTADOS:

Producto declarado		Agua Residual	
Matriz analizada		Agua Residual	
Fecha de muestreo		2019-07-05	
Hora de inicio de muestreo (h)		12:15	
Condiciones de la muestra		Refrigerada/ Preservada	
Código del Cliente		EF-01	
Código del Laboratorio		19070534	
Ensayo	L.D.M.	unidades	Resultados
Metales totales			
Plata (Ag)	0.0007	mg/L	<0.0007
Aluminio (Al)	0.01	mg/L	0.10
Arsénico (As)	0.001	mg/L	0.002
Boro (B)	0.002	mg/L	3.329
Bario (Ba)	0.002	mg/L	10.695
Berilio (Be)	0.0003	mg/L	<0.0003
Calcio (Ca)	0.05	mg/L	63.27
Cadmio (Cd)	0.0004	mg/L	0.0034
Cerio (Ce)	0.002	mg/L	0.013
Cobalto (Co)	0.0005	mg/L	0.0036
Cromo (Cr)	0.0004	mg/L	0.0141
Cobre (Cu)	0.0007	mg/L	0.0849
Hierro (Fe)	0.002	mg/L	23.060
Mercurio (Hg)	0.001	mg/L	0.003
Potasio (K)	0.04	mg/L	140.64
Litio (Li)	0.003	mg/L	1.219
Magnesio (Mg)	0.04	mg/L	9.16
Manganeso (Mn)	0.0005	mg/L	0.3575
Molibdeno (Mo)	0.002	mg/L	0.072
Sodio (Na)	0.02	mg/L	>350
Níquel (Ni)	0.0006	mg/L	0.0159
Fósforo (P)	0.003	mg/L	0.884
Plomo (Pb)	0.0005	mg/L	0.0194
Antimonio (Sb)	0.002	mg/L	<0.002
Selenio (Se)	0.003	mg/L	<0.003
Silice (SiO ₂)	0.03	mg/L	19.56
Estaño (Sn)	0.001	mg/L	0.012
Estroncio (Sr)	0.001	mg/L	0.354
Titanio (Ti)	0.0003	mg/L	0.0089
Talio (Tl)	0.003	mg/L	<0.003
Vanadio (V)	0.0004	mg/L	0.0010
Zinc (Zn)	0.002	mg/L	0.420

L.D.M.: límite de detección del método.

Lima, 18 de Julio del 2019.

Quím. Belbeth Y. Fajardo León
C.Q.P. N° 648
Asesor Técnico Químico

EXPERTS
WORKING
FOR YOU

* El Método indicado no ha sido acreditado por INACAL-DA

EPA: Environmental Protection Agency ASTM: American Society for Testing and Materials. NTP: Norma Técnica Peruana.

OBSERVACIONES: • Esta prohíbe la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento sólo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas. • Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comuníquese al correo laboratorio@sagperu.com. • Cualquier modificación no autorizada, fraude o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los culpables pueden ser procesados de acuerdo a ley.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Laboratorio Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima • Oficinas Administrativas Pasaje Clorinda Matto de Turner N° 2079 - Lima Página 3 de 3
• Central Telefónica (511) 425-6885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com

FOTOGRAFÍAS DEL PROCESO DE MONITOREO

FECHA Y HORA	CÓDIGO DE MUESTREO	SEDE	PUNTO DE MONITOREO	PARÁMETRO	EVIDENCIA FOTOGRÁFICA
05/06/19 12:15 pm	EF - 01	LURÍN	POZA DE SOLUBLE	Aceites y grasas	

FECHA Y HORA	CODIGO DE MUESTREO	SEDE	PUNTO DE MONITOREO	PARÁMETRO	EVIDENCIA FOTOGRÁFICA
05/06/19 12:15 pm	EF - 01	LURÍN	POZA DE SOLUBLE	Cianuro total	

FECHA Y HORA	CÓDIGO DE MUESTREO	SEDE	PUNTO DE MONITOREO	PARÁMETRO	EVIDENCIA FOTOGRÁFICA
05/06/19 12:15 pm	EF - 01	LURÍN	POZA DE SOLUBLE	Demanda Química de oxígeno	

FECHA Y HORA	CÓDIGO DE MUESTREO	SEDE	PUNTO DE MONITOREO	PARÁMETRO	EVIDENCIA FOTOGRÁFICA
05/06/19 12:15 pm	EF - 01	LURÍN	POZA DE SOLUBLE	Cromo VI	


FECHA Y HORA	CODIGO DE MUESTREO	SEDE	PUNTO DE MONITOREO	PARÁMETRO	EVIDENCIA FOTOGRÁFICA
05/06/19 12:15 pm	EF - 01	LURÍN	POZA DE SOLUBLE	Demanda Bioquímica de oxígeno	

FECHA Y HORA	CÓDIGO DE MUESTREO	SEDE	PUNTO DE MONITOREO	PARÁMETRO	EVIDENCIA FOTOGRÁFICA
05/06/19 12:15 pm	EF - 01	LURÍN	POZA DE SOLUBLE	Nitrógeno amoniacal	

FECHA Y HORA	CÓDIGO DE MUESTREO	SEDE	PUNTO DE MONITOREO	PARÁMETRO	EVIDENCIA FOTOGRÁFICA
05/06/19 12:15 pm	EF - 01	LURÍN	POZA DE SOLUBLE	pH	

FECHA Y HORA	CÓDIGO DE MUESTREO	SEDE	PUNTO DE MONITOREO	PARÁMETRO	EVIDENCIA FOTOGRÁFICA
05/06/19 12:15 pm	EF - 01	LURÍN	POZA DE SOLUBLE	Sulfuros	

FECHA Y HORA	CODIGO DE MUESTREO	SEDE	PUNTO DE MONITOREO	PARÁMETRO	EVIDENCIA FOTOGRÁFICA
05/06/19 12:15 pm	EF - 01	LURÍN	POZA DE SOLUBLE	Sólidos suspendidos totales	

FECHA Y HORA	CODIGO DE MUESTREO	SEDE	PUNTO DE MONITOREO	PARÁMETRO	EVIDENCIA FOTOGRÁFICA
05/06/19 12:15 pm	EF - 01	LURÍN	POZA DE SOLUBLE	Sólidos sedimentables	

FECHA Y HORA	CODIGO DE MUESTREO	SEDE	PUNTO DE MONITOREO	PARÁMETRO	EVIDENCIA FOTOGRÁFICA
05/06/19 12:15 pm	EF - 01	LURÍN	POZA DE SOLUBLE	Sulfatos	

FECHA Y HORA	CODIGO DE MUESTREO	SEDE	PUNTO DE MONITOREO	PARÁMETRO	EVIDENCIA FOTOGRÁFICA
05/06/19 12:15 pm	EF - 01	LURÍN	POZA DE SOLUBLE	Metales totales	

Acreditación de Laboratorio de Ensayo por el Organismo Peruano de Acreditación INDECOPI- SNA (ISO 17025:2006) - SAG S.A.C.

Certificado



INACAL
Instituto Nacional
de Calidad
Acreditación

La Dirección de Acreditación del Instituto Nacional de Calidad - INACAL, en ejercicio de las atribuciones conferidas por Ley N° 30024, Ley de Creación del INACAL, y conforme al Reglamento de Organización y Funciones del INACAL, aprobado por DS N° 004-2015-PRODUCE y modificado por DS N° 008-2015-PRODUCE, **OTORGA** la presente Renovación de la Acreditación a:

Servicios Analíticos Generales S.A.C.

En su calidad de **Laboratorio de Ensayo**

Servicios Analíticos Generales S.A.C.

Con base en el cumplimiento de los requisitos establecidos en la norma NTP-ISO/IEC 17025:2006 Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayo y Calibración, para el alcance de la acreditación contenido en el formato DA-acr-05P-177, facultándolo a emitir Informes de Ensayo con Valor Oficial.

Sede Acreditada: Naciones Unidas N° 1565, Urb. Chacra Rica Norte, distrito de Cercado de Lima, provincia de Lima y departamento de Lima.

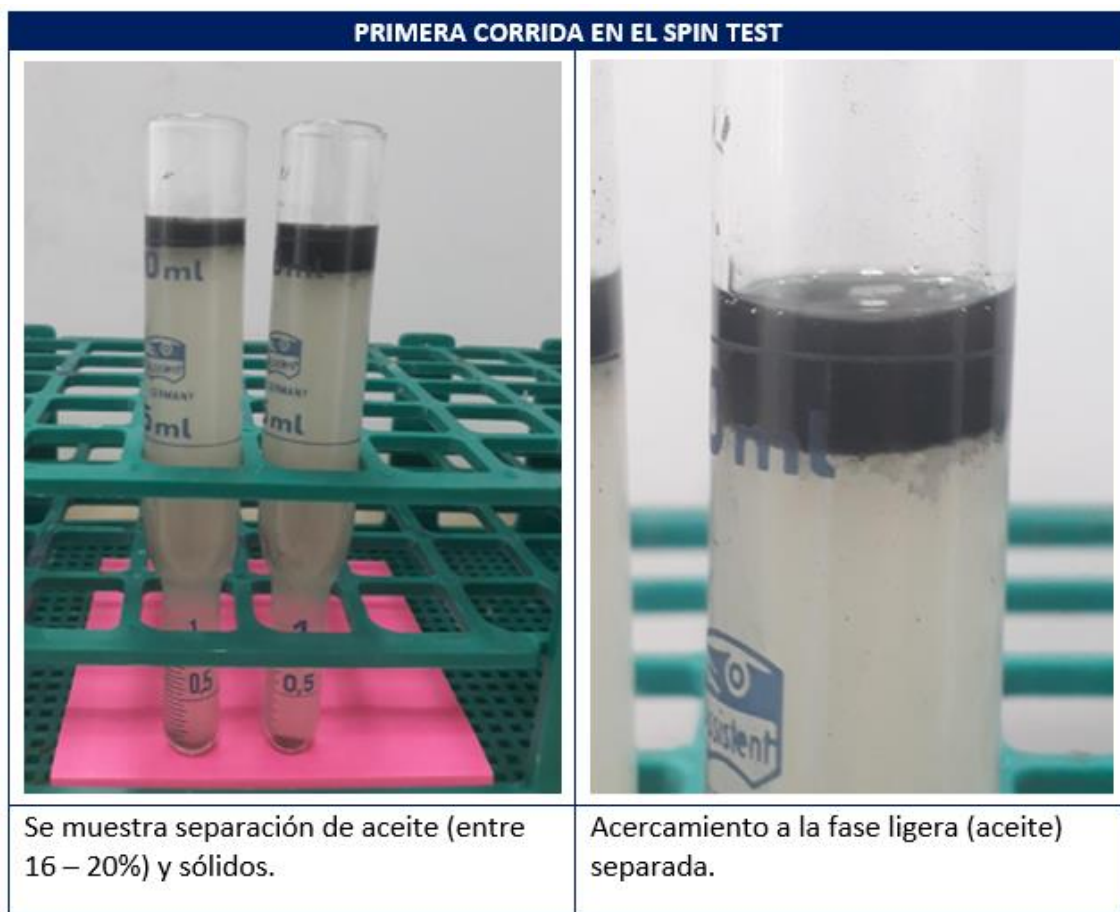
Fecha de Renovación: 17 de junio de 2016
Fecha de Vencimiento: 17 de junio de 2020

Registro N° LE - 047
Fecha de emisión: 09 de agosto de 2016
DA-acr-05P-02M Ver. 00

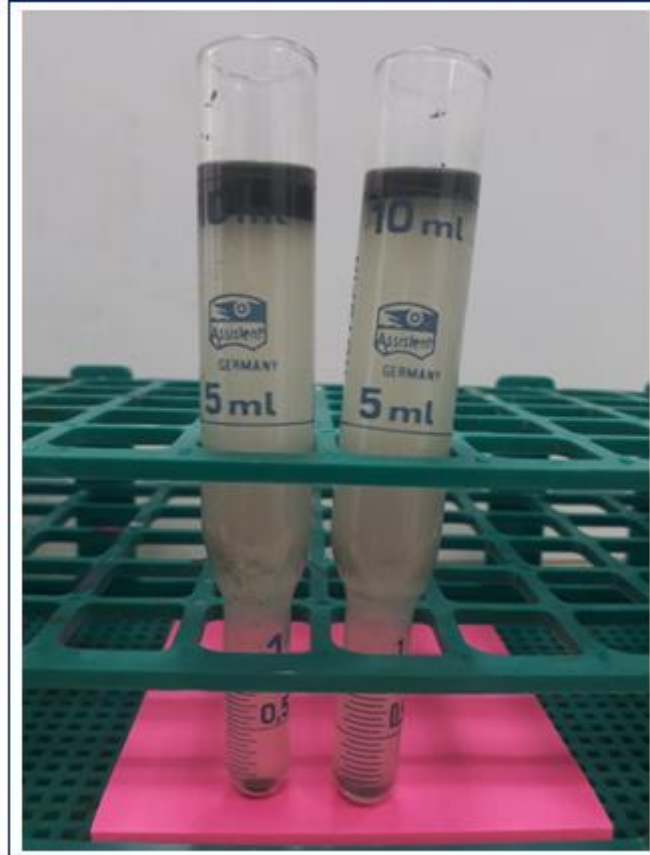



Augusto Mello Romero
Director - Dirección de Acreditación

Anexo 3 – Ensayo a nivel laboratorio para la selección de centrifuga



SEGUNDA CORRIDA EN EL SPIN TEST




Anexo 4 – Ficha técnica del equipo de centrifugación

Technical data	
Capacity	
Max. flow, 50/60 Hz	500 l/h (2.2 gpm)
Sludge space	0.6 l (0.16 gal)
Liquid requirements	
Max. temperature	70°C (160°F)
pH value	6-9
Electrical data	
Voltage	230 V or 100-230 V single-phase (±5%)
Frequency	50/60 Hz
Amperage	10 A
Weight	
Total weight, incl. stand	60 kg (135 lbs)
Dimensions	
Length	620 mm (24")
Width	510 mm (20")
Height	1140 mm (45")

The Alfie 500 is only a fraction of what we can help you with
 Alfie 500 is a perfect example of how an innovative product can be developed by combining proven technology with advanced materials and design solutions. Alfie 500 is our smallest separator for the cleaning of coolants; the largest model has a capacity of 8,000 l/h (35 gpm), and can handle tanks with capacities up to 300 m³.

Our total product range includes some 20 separators that also treat wash liquids, oils, other emulsions and paint waste. Alfa Laval is also the world's leading supplier of heat exchangers, helping customers around the world heat, cool and transport any type of fluid.



AlfaPure Z3 – a larger separation system from Alfa Laval.



Cotización No.: C391800044

Cliente : TUBOS Y PERFILES METALICOS SA
Dirección :
Atención a : Sr. Kevin Baca
Fecha : 04 Setiembre 2019

Propuesta Económica

Description	Qty	Unit Price	Amount
Sistema Alfie 500	1	17,200.00	17,200.00
TOTAL		USD	17,200.00

1) Estos precios **NO** incluyen IGV
 2) La presente cotización se encuentra en (USD) pudiendo ser pagado al tipo de cambio interbancario a la venta del día del pago.

Tiempo de entrega: De 10 a 12 semanas desde recibida la Orden de Compra.

The Alfie 500 – look how easy

The Alfie 500 is the perfect solution for cleaning coolants in metalworking operations.

Install in any system

Install Alfie 500 in a bypass flow. No redesign is necessary on your machine.

Extremely simple to operate

The Alfie 500 is ingenious, very effective, and very easy to work with. All functions are controlled by a PLC-based control system. And with a well thought-out design.

Plug-and-play operation

Hook up Alfie 500 and start it up. The system works automatically and requires no supervision. Your coolants will last longer than ever before.

Support worldwide and around the corner

Alfa Laval's global resources include 50 sales companies and an extensive Parts & Service network, supporting customers in more than 100 countries. A network of local distributors and service providers can also provide support.



1 Solid particles accumulate inside the rotating bowl. When the bowl needs to be cleaned, it can be opened with a few simple operations.

2 When the tramp oil has reached a certain level in the collecting tank, a microswitch is activated, stopping the cleaning process and turning on an indicator light.

3 The surface of the rotating bowl is coated with a material that is 12 times harder than steel.

4 Mobile and compact. Large wheels make it easy to move the Alfie 500 even when the floor is not entirely smooth.

5 Suction hose with surface suction device.

6 Hose for return of clean fluid.

Easy to operate and service



Step 1
Fold down the safety yoke and remove the three bolts to open the separator.



Step 2
Attach the tool and simply lift the separator bowl.



Step 3
The dry sludge is easily removed from the inside of the bowl. After depositing the sludge, the system is ready for operation.



Suction devices

A float-type suction device (A) is standard. The optional bellows type (B) is designed for narrow spaces and shallow tanks (up to 100 mm).



Clearly controllable

The system is fully automatic and starts at the push of a button.

Anexo 05 – Registro fotográfico de pruebas de centrifugación en planta

FLUIDO DE CORTE EN EL PROCESO DE CONFORMADO DE TUBOS



CENTRIFUGACIÓN EN POZA TTH



ACEITE EXTRAÍDO DE LA POZA



VISTA SUPERFICIAL DE POZA TTH DESPUÉS DE CENTRIFUGACIÓN



Anexo 06 – Análisis de monitoreo de aguas residuales tratadas 2021

CADENA DE CUSTODIA- MATRIZ AGUA

CADENA DE CUSTODIA - MATRIZ AGUA

Fecha: 22/10/21
 Hora: 10:30
 Lugar: ALAB

Nombre del cliente: Tally y Asesoría Ambiental SA
Persona de contacto: Adriana Kurovich
Correo electrónico: adriana@tally.com.ar

Orden de trabajo: CS-211-3548
Folio de muestra: FM-21-1215
Ubicación de muestra: Agua Industrial n° 504 P.I. Puerto Alegre
(Alto de los Hornos S.A. - Ruta 102 - Zona - Jujuy)

Punto de Muestreo	Código de Referencia	Muestra	Clasificación	Observaciones	pH		Temperatura		Oxígeno Disuelto		Oxígeno Consumido		Oxígeno Total	Sólidos Totales	Sólidos Suspendidos	Sólidos Volátiles	Sólidos Fijos	Sólidos Totales	
					Real	Corregido	Real	Corregido	Real	Corregido	Real	Corregido							Real
EF-01	EF-01	Industrial	Industrial		0.9	13	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
BC	BC	Purificada	Purificada		0.3														
BV	BV	Purificada	Purificada		0.1														
DC	DC	Industrial	Industrial		0.3														

Responsable de la muestra:
 Nombre: Mariana Torres
 Fecha: 22/10/21

Analista:
 Nombre: Adriana Kurovich
 Fecha: 22/10/21

Clasificación de la Matriz Agua:
 Tipo: Industrial
 Fuente: Agua de Planta
 Tratamiento: Tratamiento Primario



PARÁMETROS ANALIZADOS (ALAB. SAC)



Resultados del monitoreo realizado por la consultora Analytical Laboratory E.I.R.L.

 ALAB ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.	 IAS ACCREDITED Testing Laboratory TL-833	LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO DE ACREDITACION INACAL-DA CON REGISTRO N° LE - 096	 INACAL DA - Perú Laboratorio de Ensayo Acreditado Registro N° LE - 096
---	--	--	--

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-8696

I. DATOS DEL SERVICIO

1.-RAZON SOCIAL	: TUBOS Y PERFILES METALICOS SA
2.-DIRECCIÓN	: AV. INDUSTRIAL NRO. SIN Z.I. PREDIO ALMONTE (ALTURA KM.40 ANTIGUA PANA.SUR) LIMA - LIMA - LURIN
3.-PROYECTO	: VALORACION ECONOMICA DE LAS AGUAS RESIDUALES
4.-PROCEDENCIA	: Av. Industrial nro. sin z.i. Predio al monte (ALTURA KM 40 ANT. PANA. SUR) LIMA-LIMA-LURIN
5.-SOLICITANTE	: TUBOS Y PERFILES METALICOS SA
6.-ORDEN DE SERVICIO N°	: 0000003546-2021-0000
7.-PROCEDIMIENTO DE MUESTREO	: P-OPE-1 MUESTREO
8.-MUESTREADO POR	: ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.
9.-FECHA DE EMISIÓN DE INFORME	: 2021-08-09

II. DATOS DE ÍTEMS DE ENSAYO

1.-PRODUCTO	: Agua
2.-NÚMERO DE MUESTRAS	: 1
3.-FECHA DE RECEP. DE MUESTRA	: 2021-07-23
4.-PERÍODO DE ENSAYO	: 2021-07-23 al 2021-08-09

 Gaby Moreno Muñoz Jefe de Laboratorio	 Marco Valencia Huerta Ingeniero Químico
---	--

IV. RESULTADOS

ITEM	1			
CÓDIGO DE LABORATORIO:	M-21-30543			
CÓDIGO DEL CLIENTE:	EF-01			
COORDENADAS:	E:0301464			
UTM WGS 84:	N:8641324			
PRODUCTO:	Agua Residual			
SUB PRODUCTO:	Residual Industrial			
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	I-OPE-1.5			
FECHA y HORA DE MUESTREO :	22-07-2021 15:41			
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS
Aceites y Grasas (*)	mg/L	0,48	1,20	5 110,00
Cianuro Total (*)	(mg CN-L)	0,005	0,013	<0,013
Cromo Hexavalente (*)	(mg Cr VI/L)	0,004	0,010	<0,010
Demanda Bioquímica de Oxígeno (*)	mg BOD5/L	0,4	2,0	2 631,0
Demanda Química de Oxígeno (*)	(mg O2/L)	2,0	5,0	6 066,7
Nitrógeno Amoniacal (*)	(mg N-NH3/L)	0,04	0,10	-
pH (*)	Unidad de pH	NA	0,01	8,99
Sólidos Sedimentables (*)	mL/L/h	NA	0,1	<0,1
Sólidos Suspendidos Totales (*)	mg Total Suspended Solids/L	2	5	336
Sulfuro (*)	(mg S2-L)	0,001	0,002	<0,002
Aniones ¹				
Bromato	mg/L	0,01	0,20	1,04
Bromuro	mg/L	0,02	0,05	1,68
Clorato	mg/L	0,12	0,30	<0,12
Clorito	mg/L	0,08	0,20	<0,08
Cloruro	mg/L	0,4	1,0	564,2
Dicloroacetato	mg/L	0,3	0,7	<0,3
Fluor	mg/L	0,08	0,20	0,56
Fluoruro	mg/L	0,08	0,20	0,56

¹ Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

² Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, *<= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, *<= Menor que el L.D.M.

*-: No ensayado; muestra no ensayada por el alto contenido de concentración de Hidrocarburos

NA: No Aplica

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-8696

ITEM				1
CÓDIGO DE LABORATORIO:				M-21-30543
CÓDIGO DEL CLIENTE:				EF-01
COORDENADAS:				E:0301464
UTM WGS 84:				N:8641324
PRODUCTO:				Agua Residual
SUB PRODUCTO:				Residual Industrial
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:				I-OPE-1.5
FECHA y HORA DE MUESTREO:				22-07-2021 15:41
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS
Monocloroacetato	mg/L	0,2	0,6	<0,2
N-Nitrato	mg/L	0,004	0,011	0,653
N-Nitrito	mg/L	0,006	0,015	0,156
N-Nitrito+N-Nitrato	mg/L	0,004	0,011	0,808
Nitrato	mg/L	0,02	0,05	2,89
Nitrito	mg/L	0,02	0,05	0,51
Nitrito+Nitrato	mg/L	0,02	0,05	3,40
F-Ortofosfato	mg/L	0,04	0,10	144,18
Sulfato	mg/L	0,2	0,5	452,4
Metales Totales ICPOES ²				
Aluminio	mg/L	0,005	0,020	<0,005
Arsénico	mg/L	0,002	0,008	<0,002
Boro	mg/L	0,002	0,008	1,546
Cadmio	mg/L	0,0001	0,0004	<0,0001
Cobre	mg/L	0,0003	0,0010	0,2473
Cromo	mg/L	0,0002	0,0008	0,0826
Manganeso	mg/L	0,0001	0,0002	0,1267
Mercurio	mg/L	0,0001	0,0002	<0,0001
Niquel	mg/L	0,0003	0,0010	0,0196

² Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.
L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.
"-": No ensayado
NA: No Aplica

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-8696

ITEM				1
CÓDIGO DE LABORATORIO:				M-21-30543
CÓDIGO DEL CLIENTE:				EF-01
COORDENADAS:				E:0301464
UTM WGS 84:				N:8641324
PRODUCTO:				Agua Residual
SUB PRODUCTO:				Residual Industrial
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:				I-OPE-1.5
FECHA y HORA DE MUESTREO:				22-07-2021 15:41
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS
Plomo	mg/L	0,002	0,006	<0,002
Zinc	mg/L	0,0001	0,0004	3,3784

² Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.
L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.
"-": No ensayado
NA: No Aplica

"FIN DE DOCUMENTO"

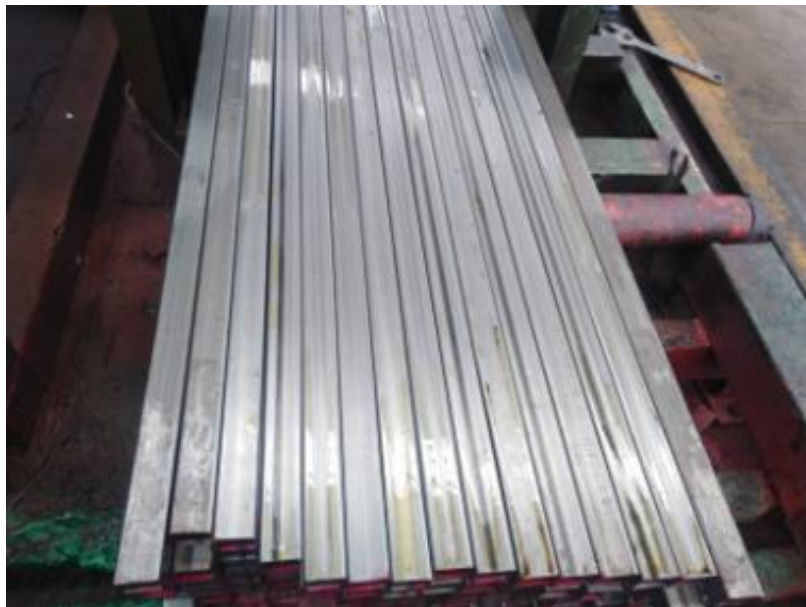
Anexo 07 – Registro fotográfico de pruebas de lubricación con aceite recuperado y aceite nuevo

TUBOS CUADRADOS LAF

- Pruebas de lubricación con aceite recuperado del proceso de centrifugación. (Al primer mes)



- Pruebas de lubricación con aceite recuperado del proceso de centrifugación. (Al segundo mes)



TUBOS CUADRADOS LAF

- Pruebas de lubricación al tercer mes, se empieza a visualizar la presencia de manchas de óxido puesto que el máximo tiempo de almacenaje de los tubos es de tres meses.



Anexo 08 – Autorización de la empresa TUPEMESA para el manejo y gestión de datos obtenidos



DECLARACIÓN JURADA PARA LA AUTORIZACIÓN

DE ACCESO A LA INFORMACIÓN Y TRATAMIENTO DE DATOS

Con la firma de este documento, se autoriza a la Srta. Adriana Rimarachin el acceso a la información que involucra la problemática sobre el proceso de transporte y disposición de las aguas residuales oleosas que se generan en nuestra empresa TUPEMESA. Así mismo, que se pueda tratar todos los datos obtenidos para el tratamiento y solución a nuestra problemática. En el marco de dicha evaluación es posible que compartamos la información para el desarrollo de la tesis "Valorización económica de las aguas residuales oleosas provenientes de la fabricación de tubos de acero tratadas mediante centrifugación" de la cual uno de sus autores es nuestra actual trabajadora a quien se le otorga la autorización en mención.

Fecha: 01/06/2021

Se autoriza a: Adriana Rimarachin

Autorizado por: Alonso Bellido Rojas/ Estuardo Campos

Cargo: Supervisor de costos de producción/ Subgerente de operaciones

TUPEMESA

ESTUARDO CAMPOS D.
Sub Gerente de Operaciones y Logística

Estuardo Campos

(Subgerente de Operaciones)

TUPEMESA

ALONSO BELLIDO ROJAS
Gerente de Producción
Alonso Bellido

(Supervisor de Costos)

(01) 637-0000
ventas@tupemesa.com.pe
Av. Industrial N° 5/n
Zona Industrial Predia Almonte
Lurin - Lima, Perú
www.tupemesa.com.pe