


Propuesta de mejora del proceso de recuperación de sólidos y grasas del agua de bombeo en la empresa Copeinca Chancay 2022

Proposal to improve the solids and grease recovery process from pumping water at Copeinca Chancay 2022

Cesar Ilich Antonio Villalobos Cortijo* 

Escuela de Posgrado, Unidad de posgrado en Ingeniería Química, Universidad Nacional de Trujillo, Av. Juan Pablo II s/n – Ciudad Universitaria, Trujillo, Perú.

* Autor correspondiente: cvconconsultoriasac@gmail.com (C. Villalobos)

DOI: [10.17268/scien.inge.2026.01.06](https://doi.org/10.17268/scien.inge.2026.01.06)

RESUMEN

Esta investigación se centró en mejorar la eficiencia de las trampas de grasa mediante la incorporación de un sistema presurizado con aire comprimido a las trampas de recuperación de sólidos y grasa, proyectando incrementar la recuperación de sólidos totales suspendidos (SST) de 13,47% en (SST) y 29,15% grasas (ppm) en un 60% tanto en SST y grasa (ppm). La problemática radica que el agua de bombeo (AB) a la salida de la celdas de flotación con contenido de sólidos totales suspendidos (SST) y grasa en promedio de 11794 ppm SST, 6225 ppm en grasa y pH = 6,44. El alto contenido de grasa dificulta el tratamiento en la etapa química para cumplir los límites máximos permisibles de 700 ppm SST, 350 ppm grasa y pH entre 5,0 – 9,0. Se calculó como parámetro de diseño valores de 0,011 ml aire / mg sólidos y 0,017 ml aire / mg grasa en un caudal de recirculación 300 m³/h, utilizando la ley de Henry y Coeficiente de Setschenow obtuvimos la solubilidad del aire en agua de mar $3,67 \times 10^{-3}$ mol/L con un caudal de aire 31,8 kg/h. El análisis económico muestra que la propuesta es rentable, con un TIR del 179 %, VAN de \$656845,33 y Payback 0,58 años.

Palabras clave: Agua de bombeo; sólidos suspendidos totales (SST) y grasa; solubilidad; flotación de aire disuelto (DAF); trampas de grasa y eficiencia de recuperación.

ABSTRACT

The central proposal of this was to improve the efficiency of grease traps by incorporating a pressurized system with compressed air to the solids and grease recovery traps, projecting to increase the recovery of total suspended solids from 13,47% in (TSS) and 29,15% fats (ppm) by 60% in both TSS and grease (ppm) The problem is caused by the water being pumped out of the flotation cells, which averages 11794 ppm in total suspended solids, 6225 ppm in grease, and has a pH of 6,44. The high fat content makes treatment difficult in the chemical stage to meet the maximum permissible limits of 700 ppm TSS, 350 ppm fat and pH between 5,0 – 9,0. The design parameter values were calculated as 0,011 ml air/mg solids and 0,017 ml air/mg fat at a recirculation flow rate of 300 m³/h. Using Henry's law and the Setschenow coefficient, the solubility of air in seawater was calculated as $3,67 \times 10^{-3}$ mol/L with an air flow rate of 31,8 kg/h. The economic analysis shows that the proposal is profitable, with an IRR of 179%, NPV of \$656845,33 and a payback of 0,58 years.

Keywords: Pumping water; Total suspended solids (TSS) and grease; solubility; dissolved air flotation (DAF); grease traps and recovery efficiency.

1. INTRODUCCIÓN

El Sistema de flotación por aire disuelto es un método de separación que emplea flotación para eliminar partículas emulsionadas. Mediante un saturador de aire a alta presión (300–800 kPa), se genera agua sobresaturada con aire. Al liberarse esta agua a presión atmosférica a través de una boquilla, se forman microburbujas que se adhieren a las partículas en suspensión, creando flóculos. Estos flóculos, menos densos que el agua, ascienden y forman una capa de lodo en la superficie, la cual es removida mecánicamente, tal como describe (Fanaie & Khiadani M,2020). Los avances recientes en la aplicación de sistemas de Flotación por Aire Disuelto (DAF) han evidenciado la necesidad de actualizar los criterios de diseño tradicionales. Esto se debe a las variaciones en las propiedades fisicoquímicas de los efluentes industriales, como temperatura, salinidad y viscosidad. Entre estos factores, la salinidad destaca por su influencia crítica en procesos clave del



DAF: la eficiencia de disolución del aire, la distribución del tamaño de microburbujas (BSD) y el comportamiento hidrodinámico del sistema.

Existe una investigación teórica realizada por Haarhoff y colaboradores que analiza el impacto de la salinidad en la disolución del aire en saturadores. Según este estudio, la influencia de la salinidad no debe ser ignorada, ya que incrementa las constantes de Henry para la disolución de gases, reduciendo así la solubilidad del aire, tal como lo indica (Fanaie & Khiadani M, 2020).

La solubilidad de los gases, según la ley de Henry, varía con la temperatura y la salinidad. En química atmosférica, la solubilidad de Henry (H_{cp} o simplemente H) se expresa comúnmente en unidades de $M \text{ atm}^{-1}$, definida como la proporción entre la concentración del gas en la fase líquida (en molaridad, M) y su presión parcial (en atmósferas, atm). Un aspecto clave es que la solubilidad de un gas tiende a reducirse a medida que la salinidad. Este fenómeno, conocido como "efecto de salinización", se cuantifica mediante la ecuación de Setschenow, $\log(H_{sal}H_{aq})=KSCsal$. En esta ecuación, H_{aq} corresponde a la solubilidad de Henry en agua pura, H_{sal} es la solubilidad en una solución salina con concentración C_{sal} (aproximadamente $0,7 \text{ mol kg}^{-1}$ para el agua de mar y K_S es la constante de Setschenow, que describe el impacto de la salinidad en la solubilidad del gas., tal como lo describe (Easterbrook, & Osthoff, 2023). El valor de K_S para el O_2 es de $0,140 \text{ kg H}_2O / \text{mol NaCl}$ y K_S para el N_2 $0,130 \text{ kg H}_2O / \text{mol NaCl}$. También es importante considerar los parámetros de diseño de una unidad de flotación de aire disuelto, como la relación aire-sólidos (A/S) que debe encontrarse en un rango de $0,002-0,05 \text{ gAir.gTSS}^{-1}$ (Piaggio, 2024).

Las aguas residuales del procesamiento de pescado generan una alta carga orgánica en el tratamiento de aguas residuales municipales y pueden interferir con las operaciones de tratamiento debido a su alto contenido de aceite y grasa. En el presente estudio, se utilizó una unidad modular de flotación por aire disuelto (DAF) para eliminar aceite, grasa y otros sólidos en suspensión de las aguas residuales de una planta de procesamiento de pescado como lo indico (Góme, Sánchez, & Buitrón, G., 2023).

La empresa pesquera Copeinca CFG, cuenta con una fábrica de producción en el distrito de Chancay, con una capacidad de procesamiento de 168 ton/h , la cual cuenta con un sistema de tratamiento de agua bombeo (AB) en dos etapas. Como etapa inicial cuenta con un sistema físico que incluye desaguadores de 0.5mm y 0.3mm , dos trampas de grasas de 250 m^3 con eficiencias de recuperación de apenas 29.15% en grasa y 13.47% en sólidos suspendidos totales (SST) y una celda de flotación por aire disuelto (DAF) de 250 m^3 que alcanza solo 34.12% de recuperación de grasas y 18.96% en SST, valores significativamente inferiores a los reportados por (Piaggio, 2024) en sistemas DAF optimizados que superan el 60% de eficiencia para ambos parámetros. Esta baja eficiencia en la etapa física tiene consecuencias directas en el proceso posterior, pues cuando el agua de bombeo con contenidos superiores a 2500 ppm de grasas ingresa como AB de alimentación al tratamiento químico a las máquinas decantadoras Hiller. El alto contenido de grasa en el agua de bombeo produce una torta Hiller con exceso de ácido graso que afecta significativamente el proceso productivo, esta situación genera un aumento en el % grasa en de torta Hiller que ingresa a la línea de proceso, disminuyendo la velocidad del tratamiento químico e incrementando hasta en un 30% el consumo de coagulantes y floculantes, según las observaciones de (Guerra Ccora, 2020). Además, como señala (Shen et al., 2022), cuando la concentración de grasas supera los 2500 ppm , se forma una capa alrededor de los coloides que impide una coagulación efectiva, lo que obliga a recircular el agua de bombeo que no cumple con los límites máximos permisibles establecidos.

Esta problemática tiene también un impacto directo en la calidad de la harina final, ya que el alto contenido de ácidos grasos en la torta Hiller genera un aumento de temperatura en la harina de anchoveta durante su procesamiento, afectando sus propiedades nutricionales. un fenómeno ampliamente documentado por (Flores & Jimenez, 2021) en plantas con sistemas de pretratamiento ineficientes. Por consiguiente, la pregunta a indagar fue ¿Cómo mejorar el proceso de recuperación de SST (ppm) y grasa (ppm) del agua de bombeo (AB) en la empresa Copeinca Chancay para aumentar la eficiencia y reducir los costos operativos?

Esta investigación se justifica, ante la problemática identificada en el tratamiento de físico y químico, donde los efluentes que ingresan a la etapa química presentan concentraciones mayores de sólidos suspendidos totales (SST = $11,794 \text{ ppm}$) y grasas ($6,225 \text{ ppm}$ ya que los sistemas convencionales de tratamiento demuestran bajas eficiencias de remoción (13.47% SST y 29.15% grasas), generando pérdidas económicas estimadas de sobre dosificación de productos químicos y sobretodo el alto impacto que presenta el contenido de grasa en la torta hiller al incluirse en el producto final, lo que la solución propuesta se fundamenta en la optimización de una trampa de grasa de 250 m^3 de capacidad acoplándole un sistema de flotación por aire disuelto, mediante modelización termodinámica (Ley de Henry y el coeficiente de Setschenow) y el establecimiento de parámetros operativos específicos, incluyendo una relación aire/sólidos de 0.017 mL/mg , una presión de trabajo de 6 bar y un caudal de recirculación $31,8 \text{ kg aire/h}$.

Se propone que mediante la adaptación de un sistema de aire presurizado con aire disuelto en una de las trampas de grasa de 250 m³, la cual incluye la instalación de un tanque reactor 60 m³, una bomba de presurización 600 m³/h, una válvula de presurización, un compresor de tornillo de 150 psi, un rotámetro y un tablero eléctrico, se logrará mejorar el proceso de recuperación de SST y grasa en la empresa Copeinca Chancay para aumentar la eficiencia del proceso y reducir los costos operativos.

El objetivo general propuesto para este estudio fue diseñar una propuesta de mejora del proceso de recuperación de SST (ppm) y grasa (ppm) del AB en la empresa Copeinca Chancay. Así como objetivos específicos están como identificar la concentración sólidos y grasa en agua de bombeo en la etapa de tratamiento físico, realizar un balance de materia en la etapa física, realizar el dimensionamiento del sistema de presurizado en una trampa de grasa y determinar la rentabilidad proyectada al sistema físico al tener instalado el sistema de presurizado de aire disuelto.

2. METODOLOGIA

El presente proyecto hizo uso de fuentes bibliográficas (libros de ingeniería), Con los datos de interés se determinó los resultados técnicos y de rentabilidad con la propuesta planteada.

Para el proyecto se realizó los análisis fisicoquímicos de sólidos y grasa del agua de bombeo del sistema de recuperación. Asimismo, con los datos de calidad del agua de bombeo obtenidos en nuestra base de datos de análisis físico químicos y datos de parámetros operacionales de temporadas del 2022, lo cual permitió hacer los cálculos de ingeniería para dimensionar los equipos que formaron parte del sistema de tratamiento y el balance de masa.

El presente estudio corresponde a un diseño de mejora basado en modelación termodinámica y balances de masa aplicados a datos operacionales históricos de la planta (temporadas 2021–2022). La eficiencia proyectada del 60% en la remoción de SST y grasas se estimó a partir de criterios de diseño reportados en la literatura especializada y relaciones aire/sólidos optimizadas, por lo que los resultados representan una proyección técnica bajo condiciones controladas de operación. La validación experimental en escala industrial no formó parte del alcance del presente estudio.

2.1 Materiales, equipos y reactivos

En el presente análisis se utilizaron los siguientes materiales, equipos y reactivos según el método Gerber para la determinación de grasa y el método instrumental para la determinación de sólidos suspendidos totales (SST).

2.1.1 Materiales utilizados:

- Butirómetros (escala de 0 a 8%), tapas y llave para butirómetro, dispensador de 5 mL, dispensador de 50 mL, tubo cónico de 15 mL, gradilla para butirómetros, bagueta de vidrio y sensor medidor de SST HACH.

2.1.2 Equipos utilizados:

- Centrífuga FUNKE GERBER.
- Equipo HACH para medición de sólidos suspendidos totales (SST).

2.1.3 Reactivos empleados:

- Ácido sulfúrico al 85%.
- Alcohol amílico.

2.2 Procedimiento y métodos.

2.2.1. Determinación de grasa: Método Gerber.

Preparación previa:

- Verificar el estado de los **equipos de protección personal (EPP)** (guantes de nitrilo, respirador de media cara y lentes de seguridad).
- Homogeneizar la muestra antes del análisis.

Adición de reactivos en el butirómetro:

- Agregar 10 mL de ácido sulfúrico al 85%.
- Adicionar 11 mL de la muestra.
- Añadir 1 mL de alcohol amílico.

Agitación y centrifugación:

- Tapar el butirómetro y agitar manualmente.
- Colocar en la **centrífuga FUNKE GERBER**,
- Equilibrando los butirómetros en pares.
- Centrifugar a **5 minutos**.

2.2.2. Determinación de sólidos suspendidos totales (SST)**Preparación del equipo HACH:**

- Seleccionar la curva adecuada según el tipo de muestra:
 - **Curva 1:** Efluentes (50–1000 ppm).
 - **Curva 2:** Agua de bombeo (4000–12000 ppm).

Homogeneización y medición:

- Mezclar la muestra con una **bagueta de vidrio**.
- Sumergir la sonda del **equipo HACH** en la muestra.

Limpieza y registro:

- Lavar la sonda con **agua destilada** después de cada medición y registra los datos.
- Este procedimiento garantiza la precisión en la determinación de **grasa y sólidos suspendidos totales**, siguiendo los estándares de calidad establecidos

En cuanto a la metodología de investigación, se siguió la siguiente secuencia de trabajo.

- a) Recolección de datos: caudal y calidad del AB.
- b) Análisis de datos de calidad en la etapa física.
- c) Balance de materia y elaboración del diagrama de flujo del sistema de tratamiento.
- d) Emplear cálculos para dimensionamiento de un sistema de presurizado en la etapa física (trampa grasa).
- e) Análisis Económico, TIR / VAN.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se muestra la recopilación y análisis de datos obtenidos de la temporada de pesca 2022 I – 2022 II, datos extraídos de nuestro software de planificación de recursos empresariales (ERP) – SAP.

Tabla 1. Datos de producen temporada Copeinca Chancay 2022 I -2022 II

DESCRIPCIÓN	Unidad	Chicama Norte	Chicama Sur	Chimbote Norte	Chimbote Sur	Chancay
ACEITE DE PROCESO	TM	921	1 837	4509	1523	2260
ACEITE PAMA	TM	69	198	801	355	332
RENDIMIENTO PAMA RANGO(%)	ACEITE A/P	0,10	0,15	0,38	0,44	0,28

Nota: Datos de producen temporada 2022 I -2022 II, data SAP NEWCO- Producción.

En la Tabla 1, observamos que fábrica copeinca Chancay es una de las fábricas con mayor recepción de materia prima y que obtuvo un rendimiento de aceite Pama medianamente bajo con respecto a fábrica copeinca Chimbote Sur y Norte. Debido que no cuentan con capacidad optima en el tratamiento del Agua de bombeo.

Tabla 2. % Aporte Pama de las diferentes Planta Copeinca – CFG.

PLANTA	Temporada 2021-I-Norte	Temporada 2021-II-Norte	Temporada 2022-I-Norte	Temporada 2022-II-Norte
Bayovar	5,4 %	5,3 %	6,1 %	7,2 %
Chicama Norte	4,2 %	4,6 %	4,9 %	6,0 %
Chicama Sur	5,1 %	5,5 %	6,8 %	7,2 %
Chimbote Norte	4,5 %	6,1 %	5,5 %	6,6 %
Chimbote Sur	5,7 %	7,2 %	8,2 %	9,0 %
Chancay	4,6 %	6,0 %	5,9 %	6,9 %

Nota: Promedio diario de agua tratada obtenido del 2021-2022, data SAP- Producción.

En la Tabla 2, observamos que fabrica copeinca Chancay es una de las fábricas con menor % aporte Pama en comparación con las demás sedes, esto es indicador de una baja velocidad de tratamiento químico en las separadoras hillers, no llegando a sus valores óptimos de recuperación por el alto contenido de grasa mayores de 2500 ppm.

Tabla 3. Volumen (m³) de Agua de bombeo del tratamiento recuperación secundaria

Fecha	Promedio Día (m ³)	Temporada (m ³)
2021	1734	97103
2022	2188	148765
Total	1961	122934

Nota: Promedio diario de agua tratada obtenido del 2021-2022, data SAP- Producción.

En la Tabla 3, observamos que fabrica copeinca Chancay genera amplios volúmenes de AB a tratar en la etapa física y química, durante las temporadas del 2021 y 2022.

Tabla 4. Características fisico química SST, Aceite-grasa y PH agua bombeo salida celda DAF.

Fecha	SST(mg/L)	ACEITES GRASAS (mg/L)	pH
2021	12480	7628	6,40
2022	11794	6225	6,43
Promedio.	12737	6926	6,44

Nota: Promedio SST, aceite-grasa y pH Temporada 2021-2023, data SAP- Producción,

En la Tabla 4, observamos que fabrica copeinca Chancay la composición de Solidos totales en suspensión (SST) y grasa (mg/l), valores elevados en grasa, lo que lo recomendable es menor 3000 ppm.

Tabla 5. % Eficiencia de remoción de %SST y % Grasa de las trampas de grasa.

Fecha	% REMOCIÓN DE SSTT (mg/L)	% REMOCIÓN DE ACEITES- GRASAS
2021	13,43%	29,54%
2022	13,51%	28,76%
Promedio	13,47%	29,15%

Nota: Datos obtenidos SAP -NEWCO COPE

En la Tabla 5, observamos que, en los años 2021 y 2022, según los datos procesados de laboratorio las eficiencias de recuperación o remoción de sólidos y aceites-grasas de las trampas de grasa oscilan en promedio 13.47% y 29.15% por debajo de las eficiencias teóricas de diseño.

Tabla 6. % Eficiencia de remoción de %SST y % Grasa de la Celda DAF.

Fecha	% REMOCIÓN DE SSTT (mg/L)	% REMOCIÓN DE ACEITES- GRASAS
2021	17,91%	27,88%
2022	20,01%	40,35%
Promedio	18,96%	34,12%

Nota: Datos obtenidos SAP -NEWCO COPEINCA

Balance de Masa:

Volumen de Agua de Bombeo	148 765	m ³		
agua de bombeo	148765	kg/h	100,00%	
Grasa	926062	L/h	0,62%	6225 Ppm
Sólidos	1754534	kg/h	1,18%	11794 Ppm
Humedad	146084403	kg/h	98,20%	

Trommel malla 0,5 mm

	32 810	kg/h	1,87%	recuperación	
				Efic. Recup. Grasa	
agua de bombeo	148732190	kg/h	100,00%		29,15%
Grasa	926062	L/h	0,59%	6226 Ppm	Efic. Recup. Sólidos
Sólidos	1721725	kg/h	0,78%	11576 Ppm	13,47%
Humedad	146084403	kg/h	98,63%		

TRAMPA GRASA

Aceite	269 947	L/h	27%
sólidos	231 916	kg/h	23%
Agua	501 863	kg/h	50%
Total	1 003727	kg/h	100%

agua de bombeo	14 728463	kg/h	100%		Efic. Recup. Grasa
Grasa	656115	kg/h	0,4%	4441 Ppm	18%
Sólidos	1 489808	kg/h	1,0%	10085 Ppm	Efic. Recup. Sólidos
Humedad	145582540	kg/h	98,5%		28%

CELDA DE FLOTACION DAF

Aceite	118101	kg/h	11%
Sólidos	417146	kg/h	39%
Agua	535247	kg/h	50%
Total	1 70494	kg/h	100%

Efluente al tratamiento químico, con eficiencia recuperación del % 29,15 Grasa y 13,47 % Solido en trampa grasa

agua de bombeo	146 657969	kg/h	100%	
Grasa	538014	kg/h	0,37%	3668 Ppm
Sólidos	1 072662	kg/h	0,73%	7314 Ppm
Humedad	145 047293	kg/h	98,9%	

Espuma total Trampa Grasa + Celda Daf.

Aceite	388048	kg/h	39%
Sólidos	649063	kg/h	65%
Agua	1 037110	kg/h	103%
Total	2 074 221	kg/h	100%

Espuma total con eficiencia recuperación del % 60 Grasa y 60 % Solido

Aceite	622314	kg/h	20%
Sólidos	1 225868	kg/h	39%
Agua	1 848182	kg/h	58%
Total	3 696363	kg/h	100%

↓ Efluente al tratamiento químico, con eficiencia recuperación del % 60 Grasa y 60 % Solido en trampa grasa.

agua de bombeo	145 035827	kg/h	100%		
Grasa	303748	kg/h	0,21%	2094	Ppm
Sólidos	495857	kg/h	0,34%	3419	Ppm
Humedad	144 236222	kg/h	99,4%		

Cantidad excedente de espuma recuperada.
ESPUMA

Aceite	234,266	kg/h	14%
Sólidos	576,805	kg/h	36%
Agua	811,072	kg/h	50%
Total	1 622,142	kg/h	100%

ACEITE PULIDO		TM
SOLIDOS	0,50%	1,07
GRASA	99,15%	212,64
AGUA	0,35%	0,75
TOTAL	100,00%	214,46

Subproductos obtenidos a la salida de separadora tricanter.

KK TRICANTER			TM	AGUA DE COLA			TM	ACEITE / TRICANTER			TM
SOLIDOS	35,00%	35,33		SOLIDOS	4,50%	58,23		SOLIDOS	0,30%	0,68	
GRASA	1,50%	1,51		GRASA	0,58%	7,51		GRASA	99,18%	225,24	
AGUA	63,50%	64,10		AGUA	94,92%	1228,26		AGUA	0,52%	1,18	
TOTAL	100,00%	100,94		TOTAL	100,00%	1294		TOTAL	100,00%	227,100	

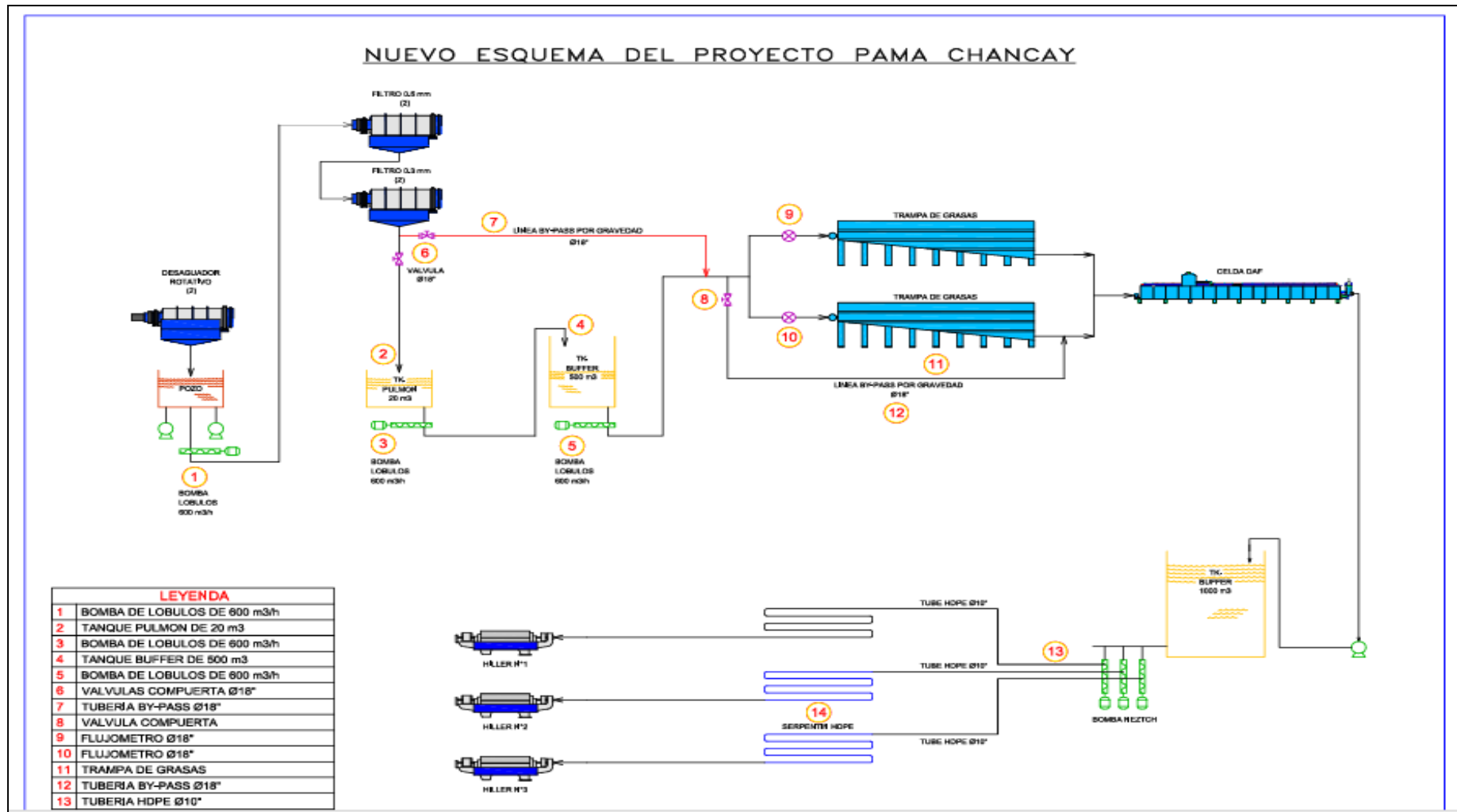
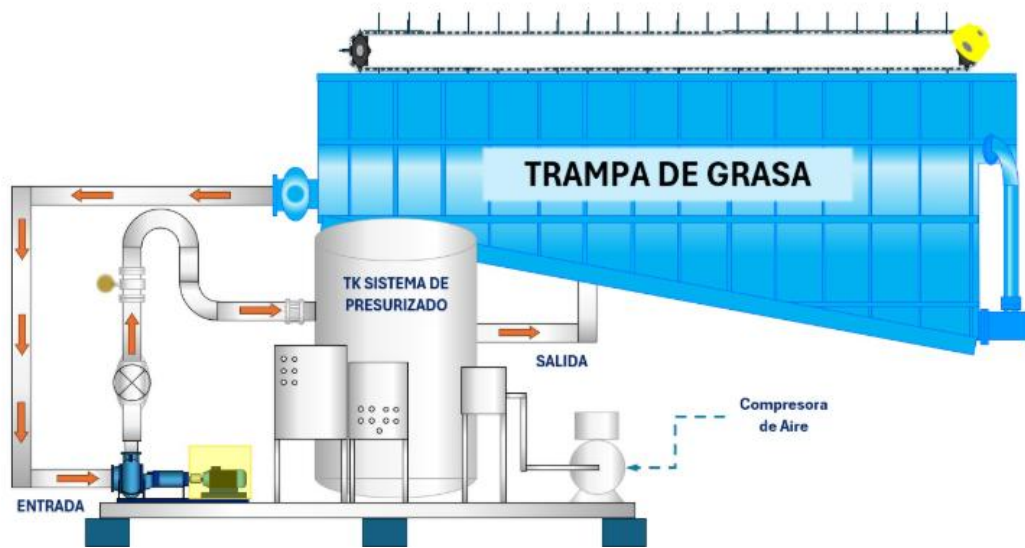
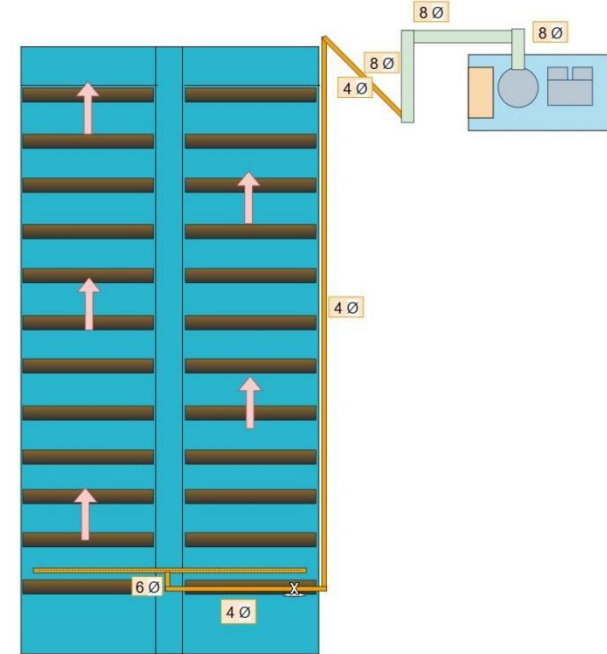


Figura 1. Diagrama flujo del tratamiento de agua bombeo (AB) etapa física y química. Copeinca chancay 2022.



TRAMPA DE GRASA CON SISTEMA DE PRESURIZADO



- Tanque de presurizado DAF
- ○ alimenta a Trampa de Grasa

Figura 2. Propuesta de instalación de un sistema de inyección de aire presurizado en una trampa de grasa, vista de frente y aérea.

A continuación, analizaremos los resultados del balance de masa del tratamiento físico (p. 5 -6)

Estos **1 294** m³ de agua de cola Pama, se retorna hacia el tanque equalizador, para su tratamiento en la etapa química.

Aceite Pama, a la salida maquina Tricanter con grasa 99,18% de pureza, pero con presencia de humedad 0,52% y 0,30% solidos. Este aceite pasa por una pulidora (centrifuga), obteniendo **227,100 Tm.**

Cálculo de la Solubilidad del Aire a 6 bar en Agua de Mar**1. Composición del aire seco:**

- 78,1% N₂
- 20,9% O₂; 1% otros gases (se desprecian)

2. Constantes de Henry a 25°C (k_H):

- Para N₂: $6,48 \times 10^{-4}$ mol/L·atm
- Para O₂: $1,26 \times 10^{-3}$ mol/L·atm

3. Condiciones de operación:

- Presión total: 6 bar = 5,92 atm (1 bar ≈ 0,987 atm)
- Temperatura: 25°C
- Salinidad agua de mar: 35 g/kg

Paso 2: Cálculo de presiones parciales

$$P_{N_2} = 0,781 \times 5,92 \text{ atm} = 4,62 \text{ atm}; P_{O_2} = 0,209 \times 5,92 \text{ atm} = 1,24 \text{ atm}$$

Paso 3: Solubilidad en agua pura (Ley de Henry)

$$C_{N_2} = k_{H,N_2} \times P_{N_2} = 6,48 \times 10^{-4} \times 4,62 = 2,99 \times 10^{-3} \text{ mol/L}; C_{O_2} = k_{H,O_2} \times P_{O_2} = 1,26 \times 10^{-3} \times 1,24 = 1,56 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$$

$$C_{\text{aire}} = C_{N_2} + C_{O_2} = 4,55 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$$

Paso 4: Corrección por salinidad (Efecto "salting-out")**1. Coeficiente de Setschenow (K_s):**

- Para N₂: 0,130 kg H₂O /mol NaCl
- Para O₂: 0,140 kg H₂O /mol NaCl.

2. Fuerza iónica (I) del agua de mar:

$$I \approx 0,7 \text{ mol NaCl/kg H}_2\text{O}$$

3. Factor de corrección:**Para N₂:**

$$10^{-K_s \times I} = 10^{-0,130 \times 0,7} = 10^{-0,091} \approx 0,81$$

Para O₂:

$$10^{-0,140 \times 0,7} = 10^{-0,098} \approx 0,80$$

4. Solubilidad corregida:

$$C_{N_2, \text{sal}} = 2,99 \times 10^{-3} \times 0,81 = 2,42 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$$

$$C_{O_2, \text{sal}} = 1,56 \times 10^{-3} \times 0,80 = 1,25 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$$

$$C_{\text{aire, sal}} = 2,42 + 1,25 = 3,67 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$$

Paso 5: Conversión a unidades de masa**1. Masa molar promedio del aire:**

$$\text{Aire} = 0,781 \times 28,01 + 0,209 \times 32,00 = 28,97 \text{ g/mol}$$

2. Conversión:

$$3,67 \times 10^{-3} \text{ mol/L} \times 28,97 \text{ g/mol} = 0,106 \text{ g/L} = 0,106 \text{ kg/m}^3.$$

Cálculo Detallado de los 2,880 kg/h de SST

- Caudal de entrada (Q): 240 m³/h
- Concentración de SST: 12000 ppm (partes por millón)

2. Conversión de Unidades**Paso 1: Entender qué significa 12000 ppm**

$$1 \text{ ppm} = 1 \text{ mg/L} = 1 \text{ g/m}^3$$

Por lo tanto:

$$12000 \text{ ppm} = 12000 \text{ g/m}^3 = 12 \text{ kg/m}^3$$

Paso 2: Cálculo de la carga másica de SST

$$\text{SST total} = Q \times \text{Concentración} = 240 \text{ m}^3/\text{h} \times 12 \text{ kg/m}^3 = 2880 \text{ kg/h}$$

Cálculo Detallado de los 1920 kg/h de Grasa

- Datos de Partida
 - Caudal de entrada (Q): 240 m³/h
 - Concentración de grasa: 8000 ppm (partes por millón)
- Conversión de Unidades

Paso 1: Entender qué significa 8000 ppm

$$1 \text{ ppm} = 1 \text{ mg/L} = 1 \text{ g/m}^3$$

$$8000 \text{ ppm} = 8000 \text{ g/m}^3 = 8 \text{ kg/m}^3$$

Paso 2: Cálculo de la carga másica de grasa

Grasa total=Q × Concentración=240m³/h×8kg/m³=1920kg/h

Cálculo Completo del Sistema DAF usando Solubilidad Corregida (3,67×10⁻³ mol/L)

1. Conversión a unidades de masa

Masa de aire=3,67×10⁻³ mol/L×28,97 g/mol=0,106 kg/m³

2. Aire disuelto en recirculación (300 m³/h)

Aire disponible=300 m³/h×0,106 kg/m³=31,8 kg/h

3. Relación Aire/Sólidos (A/S)

A/S=31,8 kg/h/2,880 kg/h=0,011

A/S=31,8 kg/h / 1920 kg/h=0,017

(11)

Análisis Económico, TIR / VAN.

Inversión

Se describe los costos de equipos principales para implementación del sistema de mejora, los cuales son:

Tabla 7. Costos de equipos y accesorios del Sistema DAF

Accesorios	Sistema DAF (\$)
Caudalímetro	3200
Equipo Saturador- tk reactor, Bomba centrífuga y compresor	28950
Accesorios (tub, codos, tableros Montaje civil, mecánico y Electrónico	12000 45550
Total	90000

Cálculos Financieros: Información del Proyecto: Según el balance de masa, el aceite Pama recuperado es de 227,100 toneladas por temporada. Considerando dos temporadas por año y una eficiencia de recuperación del 75% del equipo tricanter o separadora/centrífuga, la cantidad anual procesada corresponde a $227,100 \times 2 \times 0,75 = 321,69$ toneladas. Asimismo, aunque la proyección técnica estima una recuperación del 60% tanto en grasa como en sólidos suspendidos totales (SST), los datos reales del proceso indican un promedio de recuperación de 29,15% en grasa y 14,30% en SST, lo que equivale a un beneficio esperado de 30,85% de recuperación efectiva de grasa. En consecuencia, la cantidad anual de aceite recuperado sería $321,69 \times 0,3085 = 99,24$ ton. Considerando un precio de \$2,000 por tonelada, ello representa un ingreso anual estimado de \$198,480. También se debe considerar potencia estimada entre la bomba presurización, compresor y otros de 105 kw equivalente a consumo de energía 302400KWh/año (0.12\$/kwh) equivalente a 36288 \$/año. También proyectamos 5% a 8% CAPEX anual 5% mantenimiento $90000 \times 7\% = 6300$ \$/año. Lo que equivale un costo operativo de 42588 \$/año generando un flujo neto = $198\,480 - 42\,588 = 155\,892$ \$/año.

1. Cálculo de Flujos de Caja

Tabla 8. Ingreso, inversión del proyecto en un periodo de 5 años y tasa interés 10%.

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ingresos Anuales		198480	198480	198480	198480	198480
Egreso e Inversión	-90000	- 42588	- 42588	- 42588	- 42588	- 42588

Cálculo del VAN (Valor Actual Neto): Para una inversión de \$ 90000 , 5 años de periodo de inversión y tasa de interes de 10%.

Fórmula:

$$VAN = \sum_{n=0}^{N=5} \left(\frac{In - En}{(1+i)^n} \right) =$$

$$VAN = -\text{Inversión Inicial} + \text{Flujo de Caja} \cdot (1+r)^{-n} \quad (12)$$

Cálculo:

$$VAN = -90000 + 155892/(1+0.10)^1 + 155892/(1+0.10)^2 + 155892/(1+0.10)^3 + 155892/(1+0.10)^4 + 155892/(1+0.10)^5 = \$ 656845,33$$

Cálculo de la TIR (Tasa Interna de Retorno)

La TIR es la tasa que hace el VAN = 0:

$$0 = -90000 + \sum_{n=0}^{N=5} \left(\frac{In - En}{(1+i)^t} \right);$$

$$0 = -90000 + 198480/(1+TIR)^1 + 198480/(1+TIR)^2 + 198480/(1+TIR)^3 + 198480/(1+TIR)^4 + 198480/(1+TIR)^5$$

$$TIR = 179\%$$

El **tiempo de recuperación (Payback)** se calcula dividiendo la **inversión inicial** entre el **flujo de caja anual**:

$$\text{Payback} = \$90000 / 155892 \approx 0,58 \text{ años}$$

4. CONCLUSIONES

Se logró diseñar una propuesta de mejora del proceso de recuperación de sólidos y grasas del agua de bombeo en la empresa Copeinca Chancay, mediante la instalación de un sistema de aire presurizado en una trampa de grasa de 250 m³.

La implementación del sistema de Flotación por Aire Disuelto (DAF) en trampas de grasa demuestra un avance significativo en el tratamiento de aguas de bombeo en la industria pesquera. Los resultados evidencian que la eficiencia de recuperación de sólidos suspendidos (SST) y grasas puede incrementarse de 13,47% a 60% y de 29,15% a 60%, respectivamente, superando los estándares operativos iniciales. Esto valida la hipótesis de que la presurización de aire (6 bar) y el diseño de la relación aire/sólidos (0,011 ml aire/mg sólidos y 0,017 ml aire/mg grasa) optimizan la separación de fases.

El análisis financiero confirmó la viabilidad del proyecto, con un TIR del 179% y un VAN positivo de \$656845,33. La recuperación adicional proyectada es de 99,24 toneladas de aceite Pama por temporada generó ingresos significativos, considerando un precio de mercado de \$2000/tonelada.

Los cálculos de ingeniería, basados en la Ley de Henry y la relación aire/sólidos (0,011 ml aire/mg sólidos y 0,017 ml aire/mg grasa), confirmaron la eficacia del diseño. La solubilidad del aire en agua de mar ($3,67 \times 10^{-3}$ mol/L) Al implementar un sistema de presurizado en una trampa grasa, no solamente podemos ahorrar en la dosificación de coagulante y floculante en la etapa química, si no también reducir el contenido de grasa a 0,2% en el agua de bombeo podemos disminuir también la dosificación de antioxidante (Etoxiquina) y bajar dosificaciones de 1200 ppm a 900 ppm.

El diseño propuesto de incorporación de un sistema de aire presurizado en una trampa de grasa podría incrementar la eficiencia de recuperación de SST y grasas hasta valores cercanos al 60%, según los cálculos de modelación desarrollados. Los resultados obtenidos corresponden a una proyección técnica sustentada en balances de masa y fundamentos termodinámicos, por lo que su validación experimental en planta industrial constituye una línea futura de investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Easterbrook, K. D., Vona, M. A., & Osthoff, H. D. (2023). Measurement of ethyl nitrate Henry's law constants in deionized water, synthetic sea salt solutions, and n-octanol. *Chemosphere*, 346, 140482.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653523027522?via%3Dihub>

- Fanaie, V. R., & Khiadani, M. (2020). Effect of salinity on air dissolution, size distribution of microbubbles, and hydrodynamics of a dissolved air flotation (DAF) system. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 602, 124547. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2020.124547>
- Flores, K., & Jiménez, J. (2021). Influencia del tratamiento del agua de bombeo en la calidad de harina de pescado en la Empresa Pesquera Cantabria S.A. – Coishco 2021 [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional - UCV. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/82693>
- Gómez-López, D. M., Sánchez-Galván, G., & Buitrón, G. (2023). Removal of oil, grease, and suspended solids from fish processing wastewater using a modular dissolved air flotation (DAF) unit. *Separation and Purification Technology*, 340, 126801. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2023.126801>
- Guerra, L. (2020). Remoción de aceites y grasas en una celda de flotación por aire disuelto y evaluación del efecto producido por la utilización del sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio UNI. <https://repositorio.uni.edu.pe/handle/20.500.14076/21841>
- Piaggio, A. L., Smith, G., de Kreuk, M. K., & Lindeboom, R. E. F. (2024). Application of a simplified model for assessing particle removal in dissolved air flotation (DAF) systems: Experimental verification at laboratory and full-scale level. *Separation and Purification*, 340, 126801. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2024.126801>
- Shen, W., Mukherjee, D., Koirala, N., Hu, G., Lee, K., Zhao, M., & Li, J. (2022). Microbubble and nanobubble-based gas flotation for oily wastewater treatment: A review. *Environmental Reviews*, 30(3), 359–379. <https://doi.org/10.1139/er-2021-0127>