



Universidad
Andrés Bello®

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Civil en Minas

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TECNICA ECONOMICA LEGAL Y AMBIENTAL
DE UNA PLANTA DE RECICLAJE DE ACEITE LUBRICANTE USADO EN LA MINA
CHUQUICAMATA SUBTERRANEA**

Memoria de pregrado para optar al título de Ingeniería Civil en Minas

Autor

GABRIEL ALEJANDRO MAUREIRA ARAVENA

Profesor Guía

MIGUEL ÁNGEL ARRIAGADA ARAYA

Concepción – Talcahuano, Chile

Junio del 2020

CERTIFICACIÓN

Gabriel Alejandro Maureira Aravena;

Declaro que soy el autor exclusivo del presente estudio de factibilidad técnica, económica, ambiental y legal de planta de reciclaje de aceite lubricante usado en la mina Chuquicamata subterránea y que ésta es única y personal.

No incorpora material de otros autores sin identificar debidamente la fuente.

Gabriel Alejandro Maureira Aravena

18.814.687-2

RESUMEN

En esta memoria se propone realizar un proceso de reciclaje por el intermedio de una factoría para producir un aceite base por un método de refinación y purificación del aceite lubricante usado generado por los equipos de construcción y operación de la mina Chuquicamata subterránea, con una visión de seguridad, responsabilidad ambiental y social.

Este fluido altamente nocivo para la salud del ser humano nos permite recuperar sus características y así poder generar un aceite lubricante base con similares propiedades al de un aceite virgen nuevo, dando origen a un aceite comercializable o brindar la posibilidad de ser devuelto al proceso productivo de la misma industria donde se generó.

Al realizar un análisis de los métodos utilizados actualmente para la regeneración de aceite lubricante usado, se puede determinar; las características, requerimientos, calidad del producto final y el impacto ambiental que generan. El método seleccionado permite obtener un aceite mineral base de buena calidad similar al del primer refino y sin producir agentes tóxicos o nocivos hacia el ecosistema y al ser humano.

El estudio legal y ambiental deja en evidencia los requisitos y parámetros mínimos que debe poseer y respetar esta planta para realizar el almacenamiento y procesamiento de este residuo peligroso.

El estudio técnico indica que la planta de reciclaje de aceite lubricante usado es funcional en cualquier locación que se desee construir.

La factoría se encuentra constituida por un galpón de 400m², dos equipos de refinación de aceite, una centrifuga de anillos verticales y una sala RESPEL para el almacenamiento temporal de los residuos peligrosos y sustancias, estos ítems mencionados se traducen en un costo de inversión igual a 439.206 dólares.

El estudio económico de esta factoría está constituido por 3 escenarios, uno bajo, medio y alto.

En el escenario bajo se considera un volumen a procesar muy similar a lo que genera la minera Gabriela Mistral y Radomiro Tomic con 452m³ al año también perteneciente a Codelco, el escenario medio está proyectado con un volumen igual a 430m³ que corresponde al volumen de aceite lubricante usado producido por Chuquicamata subterránea y en el escenario alto considera la máxima capacidad de producción de la planta recicladora de aceite lubricante usado, este volumen corresponde a 2000m³ al año.

En el desarrollo financiero y económico de estos 3 escenarios se visualiza un incremento monetario en los ingresos y una disminución en los costos unitarios de producir un litro o un metro cúbico de aceite lubricante base. A mayor volumen mayores serán las utilidades de la planta.

Los indicadores de rentabilidad de los 3 escenarios se encuentran en las siguientes tablas;

Tabla 1 Escenario 1 bajo.

VAN	USD 914.291
TIR	44%

Tabla 2 Escenario 2 medio.

VAN	USD 1.788.334
TIR	73%

Tabla 3 Escenario 3 alto.

VAN	USD 3.390.637
TIR	157%

ABSTRAC

In this report, it is proposed to carry out a recycling process through a factory to produce a base oil by a method of refining and purifying the used lubricating oil generated by the construction and operation teams of the underground Chuquicamata mine, with a vision of safety, environmental and social responsibility.

This highly harmful fluid for human health allows us to recover its characteristics and thus be able to generate a base lubricating oil with similar properties to that of a new virgin oil, giving rise to a marketable oil or offering the possibility of being returned to the production process of the same industry where it was generated.

By conducting an analysis of the methods currently used for the regeneration of used lubricating oil, it can be determined; the characteristics, requirements, quality of the final product and the environmental impact they generate. The selected method allows obtaining a good quality mineral base oil similar to that of the first refining and without producing toxic or harmful agents towards the ecosystem and human beings.

The legal and environmental study reveals the minimum requirements and parameters that this plant must possess and respect to carry out the storage and processing of this hazardous waste.

The technical study indicates that the used lubricating oil recycling plant is functional in any location that you want to build.

The factory is made up of a 400m² warehouse, two oil refining equipment, a vertical ring centrifuge and a RESPEL room for the temporary storage of hazardous waste and substances, these mentioned items translate into an investment cost equal to \$ 439,206.

The economic study of this factory is made up of 3 scenarios, one low, medium and high.

In the low scenario, a volume to be processed is considered very similar to that generated by the mining company Gabriela Mistral and Radomiro Tomic with 452m³ per year also belonging to Codelco, the average scenario is projected with a volume equal to 430m³ that corresponds to the volume of lubricating oil used produced by Chuquicamata underground and in the high scenario considers the maximum production capacity of the used lubricating oil recycling plant, this volume corresponds to 2000m³ per year.

In the financial and economic development of these 3 scenarios, a monetary increase in income and a decrease in the unit costs of producing a liter or a cubic meter of base lubricating oil are visualized. The higher the volume, the higher the profits of the plant.

The profitability indicators of the 3 scenarios are found in the following tables;

Tabla 4 Scenario 1 low.

VAN	USD 914.291
TIR	44%

Tabla 5 Scenario 2 medium

VAN	USD 1.788.334
TIR	73%

Tabla 6 Scenario 3 high.

VAN	USD 3.390.637
TIR	157%

GLOSARIO

Almacenamiento: conservación de los aceites lubricantes usados en un sitio acondicionado por un período determinado (GTZ y CONAMA, 2007).

Disposición Final: procedimiento que permite aislar y confinar los residuos peligrosos mediante el depósito definitivo en el suelo, con o sin tratamiento (Beltrand y Quiroz, 2004). Estos lugares son especialmente seleccionados, diseñados y debidamente autorizados, para evitar la contaminación, daños y/o riesgos para la salud humana y el medio ambiente.

Eliminación: cualquiera de las operaciones destinadas a reuso, reciclaje, tratamiento o disposición final de los residuos (SINIA, 2005). Sin embargo, solo las primeras tres operaciones son posibles de realizar para el caso del aceite lubricante usado (GTZ y CONAMA, 2008).

Gestión Ambiental: conjunto de acciones normativas, administrativas y operativas que impulsa el Estado para alcanzar para lograr el mantenimiento de un capital ambiental suficiente para que la calidad de vida de las personas y del patrimonio natural sean lo más elevados posibles siendo su objetivo el desarrollo sustentable, dentro del complejo sistema de relaciones económicas y sociales lo condicionan (Ortega y Rodríguez, 1994). Las principales funciones para su administración son el diseño y formulación de las políticas ambientales, de una legislación ambiental, de un sistema administrativo y de un conjunto de instrumentos para su acción (CEPAL y PNUMA, 1990).

Gestión de Residuos: conjunto de actividades encaminadas a dar a los residuos un destino final que garantice la protección de la salud humana, la conservación del medio ambiente y la preservación de los recursos naturales. La gestión comprende las operaciones de recogida, recuperación, regeneración y combustión de residuos (GTZ y CONAMA, 2008). Además,

incorpora el análisis de las materias primas y los procesos productivos de una determinada industria con el fin de minimizar los impactos y los residuos asociados (Arellano y Rihm, 2005).

Impacto Ambiental: alteraciones significativas de carácter perjudicial o benéfico, que se producen en el ambiente como resultado de una actividad humana (Espinoza, 2007 y Ecoportal, 2008). Alteración del medio ambiente provocada por una actividad determinada expresada por la diferencia entre la evolución del medio con y sin proyecto, pudiéndose clasificar como negativo o positivo (Ortega y Rodríguez, 1994).

Manejo de Residuos: operaciones a las que es sometido un residuo posterior a su generación; incluyendo, almacenamiento, transporte y eliminación (SINIA, 2006; GTZ y CONAMA, 2007).

Minimización: acciones para evitar, reducir o disminuir en su origen, la cantidad y/o peligrosidad de un residuo. Considera las medidas de reducción de la generación, la concentración y el reciclaje (GTZ y CONAMA, 2007).

Reciclaje: recuperación de aceites lubricantes usados o de materias presentes en ellos para ser utilizados en su forma original o previa transformación en la fabricación de otros productos en procesos productivos distintos al que los generó (GTZ y CONAMA, 2008).

Regeneración: Consiste en la obtención de aceite base restaurado a partir de aceites usados, mediante la eliminación de contaminantes y aditivos, utilizando tratamientos de destilación y posterior refinación (GTZ y CONAMA, 2008).

Regulación Ambiental: esfuerzo regulatorio para adecuar las conductas de los agentes económicos de la sociedad y consecuentemente promover la creación y mantenimiento de los bienes públicos ambientales de calidad. Afín con el derecho a vivir en un medio ambiente libre de contaminación descrito en la Constitución Política de la República de 1980 (Biblioteca del Congreso Nacional, 2008).

Residuo o Desecho: está referido a la sustancia, elemento u objeto que el generador elimina, se propone eliminar o está obligado a eliminar (GTZ y CONAMA, 2008).

Riesgo: probabilidad de ocurrencia de daño con consecuencias adversas en la salud humana e integridad del ambiente (GTZ y CONAMA, 2008), no sólo por el aumento en el número de muertos en la población afectada, sino por la disminución de su calidad de vida y alteración del equilibrio natural existente. Por lo tanto, el riesgo asociado a un RESPEL está en función de la exposición al residuo o a la contaminación generada por las actividades de manejo y gestión de ellos (Instituto Nacional de Ecología de México, 2005).

Tratamiento: proceso destinado a cambiar las características físicas y/o químicas de los aceites lubricantes usados, con el objeto de neutralizarlos, recuperar energía o materiales, o eliminar o disminuir su peligrosidad (GTZ y CONAMA, 2008).

AGRADECIMIENTOS

Dedico esta memoria de título a mis padres; Jessica Aravena Salazar y Eduardo Maureira Gálvez, hermanos; Eduardo Maureira Aravena y Javier Maureira Aravena y a toda mi familia por bríndame su ayuda, comprensión, cariño, paciencia, compañía y constante apoyo en este difícil camino.

Agradezco a mi segunda familia constituida por mis queridos padrinos y sus grandiosos hijos, quienes son, mis queridos primos y compañeros de tantas alegrías y risas que hemos vivido.

Agradezco a mi amada abuelita por ser ese pilar fundamental en mi vida, me faltarían palabras para poder agradecer todas las cosas que ha hecho por mi...

Agradezco a mi querido tío Mauricio Aravena por haberme dado la oportunidad y la ayuda, para crecer y desenvolverme en el mundo laboral, por sobre todo en un área tan linda que es la construcción de plantas de procesos.

Agradezco a Manuel Cisternas por ser ese hermano de una madre diferente que siempre estará conmigo dándome su apoyo y lealtad incondicional.

Agradezco a Diego Martínez por haberme dado la oportunidad de llegar a dos factorías de la celulosa Arauco y por haber estado guiándome y apoyándome en la industria.

Agradezco a mis compañeros que se transformaron en mis amigos a lo largo de este proceso.

Por último agradecer a todas las personas que me ayudaron y colaboraron para poder lograr este logro en particular.

ÍNDICE

Certificación.....	II
Resumen.....	III
Abstrac	V
Glosario	VII
Agradecimientos	X
índice.....	XI
Índice de ilustraciones.....	XVI
Índice de tablas.....	XVIII
Introducción	1
Capítulo 1: planteamiento del problema	3
Fundamentación	3
Problemática y oportunidad	3
Aporte del proyecto a la solución del problema.....	3
Objetivos del proyecto	5
Objetivo general	5
Objetivos específicos	5
Alcances	6
Metodología	7
Capítulo 2: marco teórico.....	8

Aceites lubricantes	8
Composición	9
Proceso de elaboración.....	10
Funciones	12
Propiedades	13
Clasificación.....	18
Aceite lubricante SAE 15W40 API CJ4	23
Aceites lubricante usados	25
Características	25
Degradación	26
Oxidación	26
Degradación térmica	27
Corrosión.....	27
Contaminantes.....	28
Productos del deterioro	29
Métodos de reciclaje del aceite usado	30
Métodos de reacondicionamiento	31
Métodos de re-refinación	35
Reciclaje y reutilización de aceite usado	42
Actores relevantes del mercado de los aceites lubricantes y aceites lubricante usados	44

Capítulo 3: estudio técnico.....	50
Planta reciclaje de aceite lubricante usado.....	50
Volumen para procesar	50
Características del aceite resultante	50
Descripción del proceso	50
Equipo y materiales.....	55
Desarrollo del proceso.....	62
Selección y dimensionamiento de componentes.....	64
Capacidad máxima de producción de la planta.....	70
Horario de funcionamiento	70
Condiciones de Operación	70
Ritmo de proceso.....	70
Antecedentes de Chuquicamata subterránea.....	71
Nombre del Proyecto.....	71
Identificación del titular del proyecto	71
Objetivo y justificación del proyecto	71
Vida útil y cronograma de ejecución del proyecto.....	72
Localización y acceso al Proyecto	73
Superficie de instalaciones del proyecto	74
Etapa de construcción	74

Lubricante	75
Etapa de operación	75
Lubricantes de equipos principales	75
Capítulo 4: estudio legal y ambiental	77
Normativa de los aceites lubricantes usados	77
Disposición y manejo de aceites usados	77
Normativa que rige el mercado de los aceites lubricantes usados en Chile	79
Acuerdos de producción limpia	83
Ciclo de vida de los de los aceites lubricantes y aceites lubricantes usados	83
Riesgos que genera el aceite lubricante usado al medio ambiente y al ser humano	87
Riesgos potenciales	87
Impactos ambientales de los aceites lubricantes usado	91
Capítulo 5: evaluación económica	93
Inversión del proyecto	93
Depreciaciones de los equipos de la planta	93
Mantenimiento de los equipos	95
Mano de obra de la planta	96
Estimación costos de energía	97
Estimación de producción	98
Factores del flujo de caja del proyecto	100

Capítulo 6: análisis de sensibilidad	101
Escenario 1 bajo	101
Escenario 2 medio	104
Escenario 3 alto	106
Evaluación @RISK Simulación.....	109
Conclusión.....	112
Bibliografía	114

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Destilación y refinación de un petróleo crudo asfáltico.....	12
Ilustración 2 Filtro de aceite.....	32
Ilustración 3 Elemento separador magnético.	33
Ilustración 4 Flowsheet ácido-arcilla.	36
Ilustración 5 Flowsheet arcilla.	38
Ilustración 6 Flowsheet Propano.....	40
Ilustración 23 Principales consumidores de aceite lubricante.....	46
Ilustración 24 Generación Teórica de Aceite Usado (millones de litros), 2013	46
Ilustración 7 Proceso de reacondicionamiento.....	51
Ilustración 8 Estanque para almacenamiento de aceite usado	55
Ilustración 9 Estanque para almacenamiento de aceite usado	55
Ilustración 10 COT 2000.....	56
Ilustración 11 Estanque para almacenamiento de aceite usado.....	57
Ilustración 12 MBA 3162-30.	57
Ilustración 13 Tambor para aceite de 200 litros.....	59
Ilustración 14 Contador digital para aceite.	60
Ilustración 15 Sala RESPEL	61
Ilustración 16 Capacidad Sala RESPEL	61
Ilustración 17 Diagrama del proceso.....	63
Ilustración 18 Equipo COT 2000.	64
Ilustración 19 Separador centrífugo de discos / para aceite mineral / vertical.....	65

Ilustración 20 Geometría interna de un separador centrífugo de discos MBA 5433.	69
Ilustración 21 Cronograma de Ejecución del Proyecto.	73
Ilustración 22 Ciclo de vida de los de los aceites lubricantes.	84
Ilustración 25 Valor Actual Neto @risk.	110
Ilustración 26 Tasa interna de Retorno @risk.	111

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Escenario 1 bajo.....	IV
Tabla 2 Escenario 2 medio.....	IV
Tabla 3 Escenario 3 alto.....	IV
Tabla 4 Scenario 1 low.....	VI
Tabla 5 Scenario 2 medium.....	VI
Tabla 6 Scenario 3 high.....	VI
Tabla 7 Composición media de un aceite lubricante.....	10
Tabla 8 Grado SAE para aceites lubricantes para cárter según la norma SAE J300d.	21
Tabla 9 Grado SAE para aceites lubricantes para transmisión según la norma SAE J306c.	22
Tabla 10 Grado ISO para aceites lubricantes.....	23
Tabla 11 Características del Aceite SAE 15W40 CJ4	24
Tabla 12 Contaminantes típicos encontrados en aceites usados.....	29
Tabla 13 Comparación aceite de motor vs aceite usado.....	30
Tabla 14 Comparación del aspecto ambiental de las tecnologías de tratamiento.....	43
Tabla 15 Comparación del aspecto económico de las tecnologías de tratamiento.....	43
Tabla 16 Ventajas y desventajas del reciclaje de aceite usado y métodos de reutilización.....	43
Tabla 27 Actores participantes en el Ciclo de Vida de los Aceites Lubricantes Usados.....	49
Tabla 17 Características COT 2000.....	56
Tabla 18 Características MBA 3162-30.....	58
Tabla 19 Características Indicador COT.....	58
Tabla 20 Características Pre calentador COT.....	59
Tabla 21 Características Contador Digital de Aceite.....	60

Tabla 22 Características Sala RESPEL.....	62
Tabla 23 Titular del proyecto.....	71
Tabla 24 Polígono de Localización del Proyecto.....	73
Tabla 25 Superficie requerida por las instalaciones del PMCHS.....	74
Tabla 26 Empresas autorizadas a nivel nacional.....	77
Tabla 28 Tabla de inversión.....	93
Tabla 29 Depreciación equipo COT 2000.....	93
Tabla 30 Depreciación HAUS - MBA 3162-30.....	93
Tabla 31 Depreciación Iluminaria Interior.....	94
Tabla 32 Depreciación Iluminaria Exterior.....	94
Tabla 33 Depreciación galpón.....	95
Tabla 34 Mantenimiento de los equipos al mes.....	95
Tabla 35 Mantenimiento de los equipos al año escenario 1.....	95
Tabla 36 Costo de mantenimientos por año del escenario 1.....	96
Tabla 37 Mantenimiento de los equipos al año escenario 2.....	96
Tabla 38 Costo de mantenimientos por año del escenario 2.....	96
Tabla 39 Mantenimiento de los equipos al año escenario 3.....	96
Tabla 40 Costo de mantenimientos por año del escenario 3.....	96
Tabla 41 Costo mano de obra al mes.....	96
Tabla 42 Costo mano de obra al año.....	97
Tabla 43 Costo de mano de obra por año.....	97
Tabla 44 Costos de energía Escenario 1.....	97
Tabla 45 Gasto energía por año escenario 1.....	97

Tabla 46 Costos de energía Escenario 2.....	97
Tabla 47 Gasto energía por año escenario 2.	98
Tabla 48 Costos de energía Escenario 3.....	98
Tabla 49 Gasto energía por año escenario 3.	98
Tabla 50 Producción de aceite base y alquitrán anual del escenario 1 bajo.....	99
Tabla 51 Producción de aceite base y alquitrán al año del escenario 2 medio.	99
Tabla 52 Producción de aceite base y alquitrán al año del escenario 3 alto.	100
Tabla 53 Tabla de factores.	100
Tabla 54 Ingresos Escenario 1.	101
Tabla 55 Egresos escenario 1.....	102
Tabla 56 Flujo de caja escenario 1 bajo.	102
Tabla 57 Indicadores de rentabilidad.	103
Tabla 58 Ingresos Escenario 2.	104
Tabla 59 Egresos escenario 2.....	105
Tabla 60 Flujo de caja escenario 2 medio.....	105
Tabla 61 Indicadores de rentabilidad.	106
Tabla 62 Ingresos Escenario 3.	107
Tabla 63 Egresos escenario 2.....	107
Tabla 64 Flujo de caja escenario 3 alto.....	108
Tabla 65 Indicadores de rentabilidad escenario 3.....	109
Tabla 66 Datos escenario @risk.....	109

INTRODUCCIÓN

La minería es una actividad intensa en uso de maquinaria. Es por ello, que para proteger sus piezas requieren ser recubiertas con un lubricante industrial, con el fin de disminuir el roce y el desgaste tras el movimiento, particularmente en un ambiente minero con excesiva cantidad de polvo y partículas en suspensión.

Se proyectan 189.102m³ de aceite lubricante en importaciones para Chile de los cuales el 22% de estos aceites los demanda la industria minera que corresponden a 41.600m³ aproximadamente. (MMA, 2011) (CONAMA, 2008)

En la declaración de impacto ambiental del proyecto “Mina Chuquicamata Subterránea”, se han estimado los siguientes consumos promedios anuales de aceites lubricantes usados 456t/año o 430m³/año, de acuerdo con el plan minero proyectado, tanto para la etapa de construcción como la de operación. (Piésold, 2010)

La ley 20.920 promulgada el 17 de mayo de 2016 establece marco para la gestión de residuos, la responsabilidad extendida del productor y fomento al reciclaje. Esta ley tiene por objeto disminuir la generación de residuos y fomentar su reutilización, reciclaje y otro tipo de valorización, a través de la instauración de la responsabilidad extendida del productor y otros instrumentos de gestión de residuos, con el fin de proteger la salud de las personas y el medio ambiente.

Actualmente Codelco en la división Gabriela Mistral opera una planta de tratamiento de aceite lubricantes usado para uso en la fragmentación de rocas, y así colaborar con la eliminación de este residuo peligroso, pero, al momento de ser quemado el aceite, no se soluciona realmente el problema de contaminación ambiental, simplemente se transforma en otro tipo de agente tóxico.

Por esta razón se elabora el presente proyecto, brindando una alternativa para el tratamiento de este tipo de residuos, con una propuesta de regeneración de aceites usados en la mina Chuquicamata subterránea puntualmente.

Se espera que el sistema de refinación y separación centrífuga de aceites, genere una opción viable respecto a la disposición de residuos peligrosos en el país, y a la vez el punto donde se emplace este sistema sea en una zona donde podrán ser llevados dichos residuos, no tan solo los de Chuquicamata subterránea, también los de las divisiones Gabriela Mistral y Radomiro Tomic para posteriormente ser refinados, obteniendo un aceite base, que puede volver a ser utilizado en la industria que lo genero o ser comercializado, generando así veneficios económicos y aportar con la ley 20.920.

CAPÍTULO 1: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

FUNDAMENTACIÓN

Problemática y oportunidad

Se identifica la posibilidad de aprovechar un residuo altamente contaminante al medio ambiente y al ser humano, reincorporándolo a la cadena productiva de la industria minera y contribuir con la tasa de reciclaje en nuestro país, ya que actualmente se han añadido nuevas leyes y normativas con respecto a la generación de este residuo y a la vez colaborar con el estado Chileno, ya que, le corresponde velar por el derecho vivir en un medio ambiente libre de contaminación, al igual que garantizar su derecho a la protección de la salud.

Aporte del proyecto a la solución del problema

La construcción de esta planta en punto estratégico de Chile sería de un gran aporte a la industria y medio ambiente, a la vez se fomentaría el reciclaje con una planta que es capaz de procesar y reacondicionar hasta 8m^3 por hora de este residuo.

Algunas de las muchas razones para reutilizar y reciclar el aceite usado incluyen:

1. Reciclar el aceite usado evita que contamine el suelo y el agua.
2. El aceite de motor no se desgasta, simplemente se ensucia, por lo que reciclarlo ahorra un recurso valioso.
3. Se requiere menos energía para producir un galón de stock base re-refinado que un stock base de petróleo crudo.
4. Un galón de aceite de motor usado proporciona los mismos 2.5 cuartos de galón de aceite lubricante que 42 galones de petróleo crudo.

Actualmente el estado chileno requiere disminuir la generación de residuos y fomentar su reutilización, reciclaje y otro tipo de valorización, a través de la instauración de la responsabilidad extendida del productor y otros instrumentos de gestión de residuos, con el fin de proteger la salud de las personas y el medio ambiente (Agencia de Protección Ambiental, 2019).

OBJETIVOS DEL PROYECTO

Objetivo general

Evaluar la factibilidad técnica, económica, legal y ambiental de una planta de reciclaje de aceite lubricante usado en la mina Chuquicamata Subterránea.

Objetivos específicos

1. Caracterizar los aceites lubricantes y seleccionar el aceite recomendado para equipos de carguío y transporte minero.
2. Seleccionar el método de reciclaje de aceite lubricante usado que genere menos residuos y contaminantes al medio ambiente.
3. Llevar a cabo un estudio técnico para la planta de reciclaje de aceite lubricante usado en la mina Chuquicamata subterránea.
4. Realizar estudio legal y ambiental de los aceites lubricantes usados en Chile.
5. Desarrollar una evaluación económica de la planta de reciclaje de aceite lubricante usado.
6. Analizar la factibilidad de una planta de reciclaje de aceite lubricante usado en la mina Chuquicamata subterránea.

ALCANCES

- ❖ El estudio contemple el volumen de aceite lubricante usado expuesto en la declaración de impacto ambiental del proyecto minero Chuquicamata subterránea.
- ❖ Se realiza un estudio de factibilidad técnico, económico, legal y ambiental para la implementación de una planta de reciclaje de aceite lubricante usado con los equipos de las empresas que facilitaron la entrega de información técnica.
- ❖ El estudio solo contempla el reacondicionamiento de aceites de la clasificación SAE 15W40 utilizados por los equipos de la Cuprífera Chuquicamata subterránea en la etapa de construcción y operación.
- ❖ El estudio contempla las especificaciones técnicas y financieras de los equipos de las empresas especificadas en la presente memoria para el análisis de factibilidad de una planta de reciclaje de aceite lubricante usado.
- ❖ Se realiza un análisis de factibilidad de una planta de reciclaje de aceite lubricante usado en la mina Chuquicamata subterránea, con el objetivo de reducir el riesgo y obtener indicadores que puedan facilitar la toma de la decisión de realizar el diseño para la construcción de la planta de reciclaje.

METODOLOGÍA

El trabajo se desarrolla con una lógica que contribuya a rentabilizar los residuos, reutilizar y disminuir la extracción de materiales y exprimir al máximo los recursos.

La metodología para seguir tiene la finalidad de alcanzar los objetivos propuestos anteriormente.

Consisten en las siguientes etapas:

1. Caracterizar los aceites lubricantes para los equipos mineros.
2. Obtener los volúmenes de aceite lubricante usado que generan en la división Chuquicamata subterránea.
3. Investigar los métodos de recuperación y regeneración de los aceites lubricantes usados.
4. Seleccionar el método o los métodos que generen menores elementos contaminantes o residuos al medio ambiente.
5. Llevar acabo el estudio técnico de una planta de reciclaje de aceite lubricante usado en la mina Chuquicamata subterránea.
6. Investigar las normas, leyes, riesgos e impactos ambientales con respecto a los aceites lubricantes usados en Chile.
7. Identificar los costos de inversión y factores económicos para la evaluación económica de la planta de reciclaje.
8. Desarrollar escenarios económicos de la planta en operación y analizar.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

Los lubricantes juegan un papel de vital importancia en cada industria, tales como; electrónica, automotriz, aeroespacial, forestal, minera y numerosas más. Una falla en la lubricación puede resultar en miles de dólares de pérdidas en la producción, incluido el tiempo de inactividad y falla en el equipo. Por lo tanto, para las sociedades industrializadas la lubricación es uno de los elementos más importantes.

Un lubricante puede ser un gas, un líquido o un sólido y en la operación estos están encargados de prevenir el contacto directo de las piezas en superficie al estar en movimiento y/o minimizar el daño cuando las piezas impactan o rozan una con la otra (ASTM International, 2003), a la vez mantiene limpio el motor, mejora la refrigeración gracias a la buena conductividad de calor del aceite, al ponerse en contacto con una superficie caliente, absorbiendo parte del calor para transmitirlo a otro sitio, normalmente al aire o a un disipador de algún tipo e inhibe la corrosión de la zona donde se utilice.

Estos lubricantes, consisten principalmente en hidrocarburos y compuestos orgánicos de carbono e hidrógeno, que llevan añadidos diferentes compuestos químicos para mejorar sus cualidades. La tecnología actual, no obstante, los está dejando obsoletos y están siendo desplazados progresivamente por los aceites sintéticos formulados enteramente en laboratorio y con prestaciones muy superiores a los derivados del petróleo. (GESCAM S.A., 2016)

Importante explicar, se llama aceite de motor, a todo aceite que se utiliza para lubricar los motores de combustión interna. (GESCAM S.A., 2016)

ACEITES LUBRICANTES

El trabajo principal del aceite lubricante es evitar que las piezas metálicas entren en contacto, para que así no se produzca fricción y desgaste dentro del motor o piezas en movimiento.

Adicionalmente, su trabajo es disipar el calor que se genera por la fricción, además de transferirlo fuera del ciclo de la combustión (Salsilli, 2017).

La mayoría de los aceites usados contienen compuestos tóxicos los cuales al quemarse son liberados a la atmósfera, esto hace necesario la implementación de políticas dirigidas a su disposición final y a los métodos usados para la combustión de estos.

La regeneración es uno de los métodos para reutilizar los aceites usados con menor impacto ambiental, este método dispone los aceites usados de forma tal que se puedan volver a usar como lubricantes (Mont, 2010).

Los aceites lubricantes son de color entre amarillo y castaño claro, usualmente tienen un olor similar al querosén, son inflamables y al quemarse generan temperaturas de 177 a 329°C. (Jose Vicente Trujillo Cruz; Renato Omar Suintaxi Llumiquinga, 2009)

Composición

Todos los aceites de automoción o industriales básicamente son una mezcla de hidrocarburos parafínicos, nafténicos y aromáticos obtenidos por destilación de crudos petrolíferos (aceites minerales) o por síntesis a partir de productos petroquímicos (aceites sintéticos), y que constituyen lo que se denominan “aceites base” o aceites de base”.

La variación en la proporción de los diferentes tipos de hidrocarburos en la mezcla determina las características físicas y químicas de los aceites. De esta manera, una alta fracción de hidrocarburos parafínicos confiere al aceite una mayor resistencia a la oxidación, mientras que un alto contenido en hidrocarburos aromáticos favorece la estabilidad térmica.

Ahora bien, para mejorar tanto las prestaciones del aceite como su longevidad es común añadir aditivos a los aceites base en cantidades de entre un 5 y un 25 % en volumen de producto terminado. Estos aditivos son de diferente naturaleza y función (antiespumante, antioxidante, etc.) y suelen provocar problemas en la gestión del aceite una vez se ha usado. (MARTÍN, 2008)

Tabla 7 Composición media de un aceite lubricante.

Tipo de sustancia	Hidrocarburos	Porcentaje (en peso)
Parafinas	Alcanos	45% - 62%
Naftenos	Cicloalcanos	13% - 45%
Aromáticos	Aromáticos	10% - 30%
Aditivos (15% - 25%)		
Antioxidantes	Ditiofosfatos, Fenoles, Aminas	
Detergentes	Sulfonatos, Fosfonatos, Fenolatos (de Bario, Magnesio, Zinc, etc.)	
Anticorrosivos	Ditiofosfatos de Zinc y Bario, Sulfonatos	
Antiespumantes	Siliconas, Polímeros Sintéticos	
Antisépticos	Alcoholes, Fenoles, Compuestos clorados	

(CONAMA, 2008)

Proceso de elaboración

El petróleo crudo es generalmente liberado de sus mayores impurezas en el lugar de su extracción. La destilación de las fracciones livianas, nafta, kerosén y gas-oil, (topdestilacion), se realiza en torres que trabajan a presión atmosférica, pasando luego el petróleo crudo que contiene los aceites lubricantes a otra torre, donde se destilan estos últimos bajo un vacío (destilación primaria). El vacío tiene por objeto reducir en lo posible las temperaturas de destilación, a fin de evitar el “cracking” del crudo, y conservar intactas las propiedades lubricantes de los aceites contenidos en el mismo. (Pawlak, 2007)

Ya sea un petróleo crudo asfáltico o de un crudo naftenico prácticamente libre de parafina, el proceso de destilación y refinación corresponde al esquema de la Ilustración 1, el destilado contenido en los aceites lubricantes es destilado nuevamente y siempre bajo alto vacío, en cuya operación (redestilación), se lo divide en varias fracciones de viscosidades diferentes. Esta nueva destilación permite al mismo tiempo eliminar alguna fracción de la primera destilación. (Pawlak, 2007)

Los aceites lubricantes así obtenidos no son sin embargo todavía suficientemente purificados ni poseen la necesaria estabilidad química para servicios determinados. Los productos de destilación son por esto sometidos a la purificación química, obteniéndose de este modo los aceites refinados. Antaño para la purificación química se utilizaba ácido sulfúrico lo cual en la actualidad

se ha remplazado por un procedimiento denominado “solvent”. En lugar de ácido sulfúrico se emplean disolventes como el anhídrido sulfuroso, el Clorex, el Furfurol, etc., que actúan más suavemente. Mientras que el ácido sulfúrico purifica químicamente en exceso, los disolventes mencionados lo hacen físicamente, ganando en valor lubricante y estabilidad química el aceite terminado. (Pawlak, 2007)

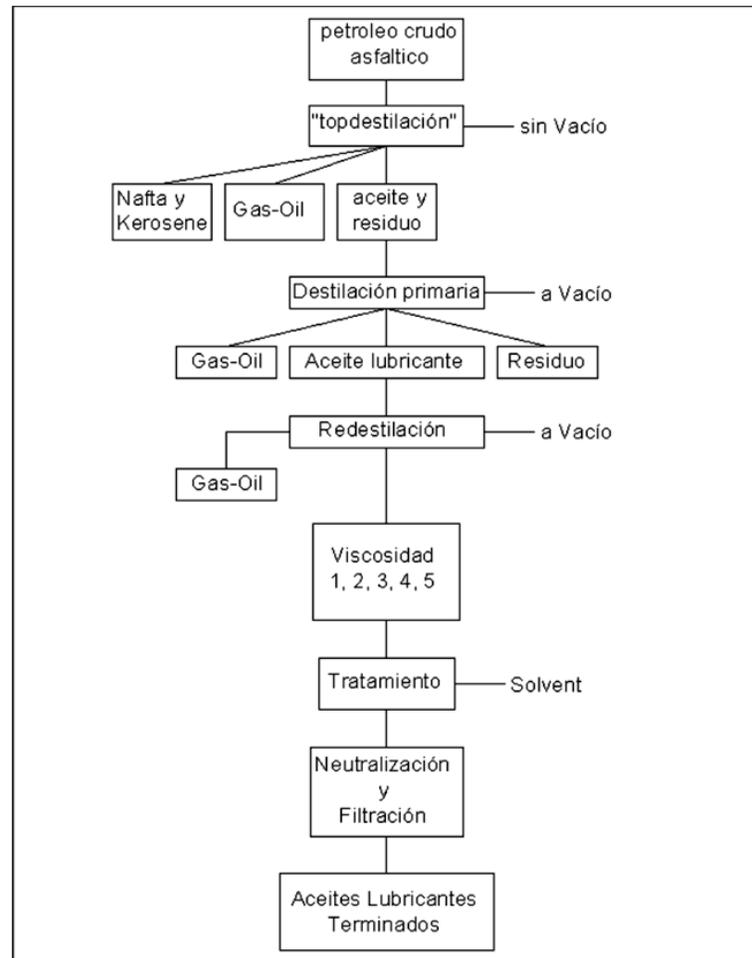
Después del tratamiento químico, los aceites son tratados por medio de arcillas especiales y luego pasan a través de dos filtros prensas en los cuales quedan las arcillas con todas las impurezas y sustancias indeseables contenidas en el aceite. (Pawlak, 2007)

Con respecto al proceso de la destilación y refinación del petróleo crudo parafínico, debe mencionarse que el mismo es algo diferente al del esquema de la Ilustración 1, por la necesaria eliminación de la parafina contenida en el aceite. La parafina es un elemento inestable que se descompone fácilmente bajo la acción de la temperatura y de no ser eliminada, aumenta grandemente la desparafinación, se efectúa la redestilación para la extracción de la nafta, y se obtiene el aceite de cilindro terminado. tendencia de los aceites a formar depósitos gomosos y carbonosos. Sin entrar en detalles sobre el desarrollo del proceso de la destilación y refinación del petróleo crudo parafínico, es evidente que este proceso se vuelve más complicado y costoso. La eliminación de la parafina se consigue enfriando el destilado primario de los aceites livianos a temperaturas muy bajas por medio de una instalación refrigerante, para pasarlo después por un filtro prensa donde queda retenida la parafina y pasa el aceite ya desparafinado. Después se efectúa la redestilación, tratamiento, neutralización y filtración, como muestra la Ilustración 1, los aceites pesados “aceites de cilindro” pasan al contrario del proceso para la refinación de los aceites livianos, primero al tratamiento químico y a la filtración con arcillas, para pasar luego a la desparafinación. A fin de facilitar las diversas operaciones de refinación, es necesario mezclar el aceite de cilindro con nafta, para darle la fluidez necesaria. Una vez terminada la desparafinación,

se efectúa la redestilación para la extracción de la nafta, y se obtiene el aceite de cilindro terminado.

(Pawlak, 2007)

Ilustración 1 Destilación y refinación de un petróleo crudo asfáltico.



(Pawlak, 2007)

Funciones

Aseguran un correcto funcionamiento de la maquinaria, sus principales funciones son:

- ❖ **Refrigerante:** Contribuye al equilibrio térmico de la máquina.
- ❖ **Eliminador de impurezas:** Elimina impurezas, al ser llevadas hasta los elementos filtrantes.

- ❖ **Anticorrosivo y anti-desgaste:** Previene la corrosión y evita el desgaste de los elementos en fricción.
- ❖ **Sellante:** Sellador de fugas y evita el paso de gases que contaminan el aceite.
- ❖ **Transmisor de energía:** Transmite energía de un punto a otro del sistema.

Propiedades

Las propiedades de un aceite son las que garantizan una buena lubricación, ya que deben poseer cualidades que ayuden a evitar un desgaste prematuro de las partes sometidas a fricción, creando una película de lubricación que debe tener diferentes características (Marco Chuqui; Josué Romero, 2017).

Los parámetros físico químico de los aceites lubricantes no pueden ser considerados para juzgar el valor lubricante de un aceite lubricante. Los datos obtenidos con el auxilio de los medios ofrecidos por la física y la química son de carácter analítico.

Si bien ellos permiten distinguir y seleccionar los lubricantes, no expresan su valor lubricante. Al respecto existe hasta hoy una prueba y esta es el ensayo del aceite en la máquina en que sea de usar, bajo las condiciones reales de servicio a que está sometida la máquina.

Con todo esto, para poder seleccionar el lubricante adecuado para un servicio determinado, es conveniente tener presentes los siguientes datos analíticos, tomados por su valor práctico (Jose Vicente Trujillo Cruz; Renato Omar Suntaxi Llumiquinga, 2009).

Propiedades físicas.

Densidad o peso específico.

La densidad o peso específico de un aceite, está dada por el peso de un volumen determinado de aceite en comparación con el de igual volumen de agua. El peso específico de un aceite

lubricante depende del petróleo crudo con el cual ha sido elaborado, y también del procedimiento de la elaboración.

En la industria petrolera se usa la gravedad API (American Petroleum Institute) y la gravedad específica o peso específico a 60°F, existiendo la siguiente relación:

$$\text{Densidad API (Grados API)} = \frac{141,5}{\text{Gravedad específica a } 60^{\circ}\text{F}} - 131,5$$

En la práctica en términos comerciales gran parte de los derivados del petróleo se comercializa en base volumétrica (galón, barril, estanque, etc.). (Pawlak, 2007)

Viscosidad.

La viscosidad es uno de los parámetros más importante en la selección de un aceite lubricante para una determinada aplicación.

La viscosidad se define como la fuerza que opone un líquido al movimiento relativo entre sus partes. Por lo tanto, la magnitud de esta fuerza está directamente relacionada con la fricción interna molecular del líquido. La utilización de un aceite demasiado viscoso puede dar como resultado un mayor consumo de energía, así como un aumento en la temperatura de trabajo en los cojinetes, por otro lado, un aceite lubricante demasiado fluido favorece el escurrimiento del aceite, con el consiguiente peligro de la formación de una película lubricante insuficiente. Por lo tanto, la selección del aceite en términos de la viscosidad adecuada para una determinada aplicación es, para la seguridad de la máquina a lubricar, de gran importancia.

La unidad absoluta de la viscosidad es el CentiStoke, habiendo unidades de uso común tales como, Segundos Saybolt Universal (SSU), grados Engler (E), Segundos Redwood (SR). Siendo el segundo Saybolt el más difundido.

Según ASTM-D-445 la viscosidad se mide en CentiStokes (Cst) y en Segundos Saybolt (SSU). Para la determinación de la viscosidad se utiliza un instrumento llamado viscosímetro, en el cual se hace pasar un volumen dado de aceite a una temperatura constante, a través de un tubo de diámetro fijo.

El viscosímetro Saybolt Universal, mide el tiempo en escurrir 60 ml de aceite a determinada temperatura, obteniéndose un valor de viscosidad expresada en segundos Saybolt Universal. Como la viscosidad varía directamente proporcional con la temperatura es recomendable realizar el ensayo a dos temperaturas diferentes, las cuales normalmente son 0°F, o 100°F y 210°F. (Pawlak, 2007)

Color y fluorescencia.

Esta propiedad tiene poca importancia, ya que los aditivos la disfrazan. Los usuarios creían que un aceite de color más dorado significaba un aceite de mejor calidad, sin embargo, no existe ninguna relación entre el color y la calidad de un lubricante.

Los aceites usados al cambiar de color indican degradación o contaminación del lubricante, esto se debe a que el motor en funcionamiento produce carbonillas que son arrastradas por el aceite, con presencia de partículas de hierro por la capacidad detergente que poseen los aceites que mantienen limpios al motor. (Marco Vinicio Chuqui Palaguachi; Josué Rodrigo Romero Heredia, 2017)

Punto de fluidez.

Esta propiedad es más utilizada para ambientes con temperaturas extremadamente bajas, esto se debe a que el punto de fluidez de un lubricante es la capacidad de fluir sin ser perturbado.

Las bajas temperaturas forman cristales en los aceites que se encadenan formando una estructura rígida, evitando la fluidez del aceite. (Marco Vinicio Chuqui Palaguachi; Josué Rodrigo Romero Heredia, 2017)

Propiedades térmicas.***Índice de viscosidad.***

El índice de viscosidad es un número que mide la variación de la viscosidad con la temperatura. A mayor índice de viscosidad, menor es la variación de la viscosidad con la temperatura. (Pawlak, 2007)

Punto de inflamación.

El punto de inflamación de un aceite es la temperatura mínima en la cual los vapores que se desprenden forman con el aire que se encuentra sobre el aceite, una mezcla que se inflama ante la presencia de una llama.

La determinación de este parámetro nos indica la presencia de mezclas que contienen fracciones livianas. El punto de inflamación depende de la composición química del petróleo crudo, del cual se elaboró el aceite.

En la destilación de un mismo petróleo crudo se obtienen diversos tipos de aceites, teniendo además de diferentes pesos específicos, viscosidad, diferente punto de inflamación, el cual varía desde el más bajo correspondiente a los aceites livianos, al más alto correspondiente a los aceites extrapesados. (Pawlak, 2007)

Punto de congelación.

A temperaturas normales los aceites lubricantes son líquidos; a elevadas temperaturas aumenta su fluidez considerablemente. El enfriamiento a temperaturas más bajas de lo normal trae consigo un aumento en la viscosidad, cuando la temperatura es tan baja que el aceite alcanza un estado denominado “sólido”, a esa temperatura se le denomina punto de congelación.

En este punto el aceite no es homogéneo, ya que está constituido por fracciones de este que están sólidas y fracciones no solidificadas. (Pawlak, 2007)

Punto de enturbiamiento.

Es la temperatura a la cual las parafinas empiezan a separarse en forma de cristales, debido a esto se obstruye el circuito de lubricación. (Marco Vinicio Chuqui Palaguachi; Josué Rodrigo Romero Heredia, 2017)

Propiedades químicas.***Formación de espumas.***

La formación de espumas en el aceite se produce por agitación energética con el aire u otro gas, esto puede provocar una lubricación ineficaz, perdidas de aceite y un consumo elevado de aceite. Esta propiedad debe evitarse en el aceite lubricante. (Marco Vinicio Chuqui Palaguachi; Josué Rodrigo Romero Heredia, 2017)

Índice de alquitrán.

Indica la cantidad de sustancias alquitranosas presentes en el aceite, este índice es un proceso de degeneración artificial, en donde se logra conocer como el aceite reacciona a temperaturas y en contacto con el aire. (Marco Vinicio Chuqui Palaguachi; Josué Rodrigo Romero Heredia, 2017)

Emulsionabilidad del aceite.

Esta propiedad es muy importante ya que es cuando se tiende a formar mezclas agudas y duraderas con el agua. (Marco Vinicio Chuqui Palaguachi; Josué Rodrigo Romero Heredia, 2017)

Untuosidad.

Es la capacidad que tiene el lubricante de formar una película de aceite que tenga el suficiente espesor y se adhiera a las superficies deslizantes, quedando suprimidos entre ellas. (Marco Vinicio Chuqui Palaguachi; Josué Rodrigo Romero Heredia, 2017)

Clasificación

Clasificación de los aceites por su naturaleza.

Aceites parafínicos.

Son hidrocarburos que gracias a su cadena abierta y saturada tienen un elevado índice de viscosidad, temperaturas de ignición e inflamación altas lo que los hace ideal para motores de combustión interna, ya que no se espesan a temperaturas bajas, los cuales son ideales para motores que tienen que hacer arranques en frío. (Marco Vinicio Chuqui Palaguachi; Josué Rodrigo Romero Heredia, 2017)

Aceites nafténicos.

Estos poseen una cadena cerrada, debido a esto su índice de viscosidad es bajo. La principal característica de estos aceites es que forman poco carbón evitando el atascamiento de elementos en fricción u obstrucciones en los ductos de lubricación del motor. (Marco Vinicio Chuqui Palaguachi; Josué Rodrigo Romero Heredia, 2017)

Aceites aromáticos.

Son utilizados en cajas de velocidades, debido a su bajo índice de viscosidad, los hidrocarburos aromáticos se oxidan con facilidad formando ácidos orgánicos, por este motivo se los utiliza en la transmisión ya que permanecen en contacto con la superficie a lubricar si presencia de contaminantes que faciliten su oxidación. Son químicamente activos y se denominan con la “serie del benceno”. (Marco Vinicio Chuqui Palaguachi; Josué Rodrigo Romero Heredia, 2017)

Clasificación según su base.

Lubricante mineral.

El origen del lubricante mineral es del petróleo por lo tanto es orgánico, es el más usado y económico, se obtiene del refinado del petróleo, comprende el 50% de un barril de crudo.

Existen dos tipos de lubricantes minerales, el primero es el de mayor calidad y pureza. Es una base de bajo índice de viscosidad natural (SAE 15) por lo que requiere de aditivos para brindar unas buenas condiciones de lubricación. (Marco Vinicio Chuqui Palaguachi; Josué Rodrigo Romero Heredia, 2017)

Lubricante sintético.

Este lubricante es de base artificial, debido a esto el costo de producción es más elevado y se fabrica en laboratorio ya que no solo proviene del petróleo. Tienen mejores características que el lubricante mineral, excelentes propiedades de estabilidad térmica, resistencia a la oxidación, un alto índice de viscosidad natural (SAE 30) y un coeficiente de tracción muy bajo, que reduce el consumo de energía. (Marco Vinicio Chuqui Palaguachi; Josué Rodrigo Romero Heredia, 2017)

Existen varios tipos de lubricantes sintéticos: (Marco Vinicio Chuqui Palaguachi; Josué Rodrigo Romero Heredia, 2017)

- A. **Hidrocrack:** Es una base sintética de origen orgánica que se consigue de la hidrogenización de la base mineral.
- B. **PAO:** Es una base sintética de origen orgánica, que agrega un compuesto químico a nivel molecular llamado “Poli-Alfaolefinas” esto hace que aumente su resistencia a la temperatura y poca volatilidad.
- C. **PIB:** Es una base sintética creada para la eliminación de humo en el lubricante por mezcla en motores de 2 tiempos. Se denomina Poli-isobutileno.
- D. **ESTER:** Es una base sintética que no deriva del petróleo sino de la reacción de un ácido graso con un alcohol.

Clasificación de los aceites según SAE

La Sociedad de Ingenieros Automotrices clasifica a los aceites de acuerdo con la viscosidad del lubricante y lo divide en: monogrado (a estos se le asigna a un número el cual es indicativo de su viscosidad) y multigrados (se les asigna dos números y entre ellos se coloca la letra W de winter, invierno en inglés).

Los aceites monogrados tienen la característica de que su viscosidad cambia de manera importante con la temperatura, cuando ésta baja, su viscosidad se incrementa y cuando aumenta, su viscosidad disminuye.

Desde 1964 se utilizan aceites multigrados en los motores. Estos aceites tienen la característica de que su viscosidad también cambia con la temperatura, pero lo hacen de una manera menos drástica que los aceites monogrados.

La clasificación SAE está basada en la viscosidad del aceite a dos temperaturas, en grados Fahrenheit, 0° y 210°, equivalentes a -18° y 100°. En general, cuánto más alta sea la viscosidad, más alto es el grado SAE. Dicha clasificación divide la escala de aceites en dos, la primera establece para los aceites multigrados los siguientes grados: OW, 5W, 10W, 20W y 25W, siendo 0 la mínima viscosidad de un aceite lubricante. El segundo grupo mide la viscosidad del aceite a 100° por lo que hace referencia al trabajo del motor en caliente. En este caso, los grados SAE son 20, 30, 40 y 50. A mayor grado SAE, mayor viscosidad (Cingel, 2016).

SAE Clasifica los aceites según su rango de viscosidad y los separa en dos grandes grupos, aceites lubricantes para cárter según norma SAE J300d. y Aceites para transmisión según norma SAE J306c.

Tabla 8 Grado SAE para aceites lubricantes para cárter según la norma SAE J300d.

Grado SAE	Centipoises (cP) a 18°C (ASTM D2602)	Centistokes (cst) a 100°C (ASTM D 445)		Centistokes (cst) a 40°C (ASTM D 445)	
		Max	Mín.	Máx.	Mín.
5W	1250	3,8	--	18,48	--
10W	2500	4,1	--	20,98	--
15W	5000	5,6	--	35,97	--
20	--	5,6	9,3	35,97	80,14
30	--	9,3	12,5	80,14	125,07
40	--	12,5	16,3	125,07	169
50	--	16,3	21,9	169	294,96

(Jones, 2007)

La escala de cuatro unidades, de 20 a 50, indica el comportamiento de la viscosidad del aceite en caliente, medida a una temperatura de 100 °C. (Marco Vinicio Chuqui Palaguachi; Josué Rodrigo Romero Heredia, 2017)

- ❖ 0W -30°C
- ❖ 5W -25°C
- ❖ 10W -20°C
- ❖ 15W -15°C
- ❖ 20W -10°C
- ❖ 25W -5°C
- ❖ 20 FLUIDO
- ❖ 30 SEMIFLUIDO
- ❖ 40 SEMIDENSO
- ❖ 50 DENSO

La tabla refleja la clasificación de aceites monogrado para cárter SAE J300d. Por combinación de dos o más aceites monogrado, se obtienen los llamados multigrado. Así, por ejemplo, un aceite SAE 5W30 satisface las exigencias de un aceite grado SAE 5W y de un SAE 30, lo que supone una utilización eficaz del lubricante en temperaturas comprendidas entre -25 y 30 grados

centígrados. En otras palabras, en aceites monogrados, el número indica la viscosidad medida en centipoises cPoises y centistokes cSt para laboratorios a unos 100° Celsius y la “W” (Winter) significa que el grado de viscosidad está medido a unos -18° Celsius, por lo tanto, son aptos para épocas de frío riguroso.

Los aceites lubricantes para transmisiones utilizan la clasificación SAE J306, que es similar a la especificada precedentemente, pero los grados oscilan entre el 70W y el 85W para las temperaturas bajas, y 90;140 y 250 de viscosidad (Sanchez, 2015).

Tabla 9 Grado SAE para aceites lubricantes para transmisión según la norma SAE J306c.

Grado SAE	Máxima Temperatura para una viscosidad de 150.000(cps.) °C	Centistokes (cst) a 100°C (ASTM D 445)		Centistokes (cst) a 40°C (ASTM D 445)	
		Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
75W	-40	4,1	--	20,98	--
80W	-26	7	--	51,51	--
85W	-12	11	--	103,02	--
90	--	13,5	24	140,3	340,1
140	--	24	41	340,1	790,3
250	--	41	--	790,3	--

(Jones, 2007)

Clasificación de los aceites según ISO

Los lubricantes industriales se basan en la clasificación o normas propuestas por la Organización Internacional para la estandarización (ISO) y vigentes desde 1975, pero puesta en práctica a partir de 1979. Estas normas, establecen varios grados de acuerdo con su viscosidad y se expresa mediante números que corresponden a la viscosidad promedio en centistokes (cst) halladas en pruebas a 40°C.

Estos aceites están formulados para trabajar en plantas industriales, lubricando equipos, como reductores, compresores, bombas de sistemas hidráulicos, herramientas neumáticas, turbinas de vapor, etc.

La mayoría de los lubricantes especifican cada tipo de aceite de acuerdo con un nombre y un número. El nombre es característico de la empresa y es particular para la aplicación que fue diseñado. El número corresponde al grado ISO del lubricante o sea a su viscosidad. Lo anterior permite hallar más fácilmente a los aceites equivalentes entre las diferentes marcas (Alberto Alvarez Cardona; Elkin Alonso Cortes Marin; Fernand Alvarez Mejia, 1998).

Los siguientes aspectos son necesarios considerar en la clasificación ISO

- ❖ Solo clasifican los aceites industriales
- ❖ Únicamente relaciona la viscosidad del aceite y no su calidad.
- ❖ El grado ISO debe aparecer al final del nombre comercial del aceite, cualquiera sea su marca.

ISO al igual que SAE, clasifica los aceites lubricantes según su rango de viscosidad (Jones, 2007)

Tabla 10 Grado ISO para aceites lubricantes.

Grado ISO de viscosidad	Punto Medio cst a 40°C	Límite de los rangos	
		Mín.	Máx.
15	15	13,5	16,5
22	22	19,8	24,2
37	37	33,3	40,7
46	46	41,4	50,4
68	68	61,2	74,8
100	100	90	110
150	150	135	165
220	220	198	242
320	320	288	352
460	460	414	504

(Jones, 2007)

Aceite lubricante SAE 15W40 API CJ4

Los aceites de clasificación SAE 15W40 y API CJ4, son los idóneos para el abastecimiento de los equipos mineros (jumbos, equipos para shotcrete, LHD, camiones), por consecuencia este será el aceite que tratará la planta.

Aplicación.

Motores diésel de última generación y anteriores. Incluyendo los de alto desempeño turbo cargados con sistema EGR, DPF, DOC y ULSD (donde se usa combustible con ultra bajo contenido de azufre). Equipos usados dentro y fuera de carretera, en el transporte, minería, construcción y agricultura.

Tabla 11 Características del Aceite SAE 15W40 CJ4

CARACTERÍSTICAS	MÉTODO ASTM	RESULTADO
Grado SAE		15W40
Apariencia	Visual	Claro Brillante
Viscosidad @ 100 °C, cSt	D 445	15
Viscosidad @ 40 °C, cSt	D 445	114
índice de Viscosidad	D 2270	137
TBN (Total Base Number)	D 2896	11 – 12
Punto de Inflamación, °C	D 92	236
Punto Mínimo de Fluidez	D 97	-30

(ARYEN LUB, 2012)

Propiedades y beneficios.

- ❖ Sobresaliente reserva de TBN, mejorando la protección contra corrosión y con grandes propiedades detergentes.
- ❖ Reduce el desgaste de motor y la formación de depósitos.
- ❖ Mantienen una viscosidad adecuada, incluso ante severa carga de trabajo.
- ❖ Diseñado especialmente para reducir la emisión de gases de la combustión, principalmente en condiciones de uso adecuadas.
- ❖ Excelente bombeabilidad para reducir el desgaste del motor en arranques a bajas temperaturas.

ACEITES LUBRICANTE USADOS

Durante el uso del aceite lubricante, envejecerá, se deteriorará y perderá eficiencia debido a la mezcla con materias extrañas que contienen polvo metálico, limaduras y otros aceites, así como aditivos. Si el aceite lubricante se oxida, su color se volverá más oscuro y el valor del ácido aumentará para generar precipitado, lodo de aceite, barniz y barniz duro. Si estos materiales se depositan en la superficie y en el paso de flujo y el limpiador, es probable que provoque un mal funcionamiento de la máquina y reduzca la eficiencia productiva general. En este punto, el aceite lubricante necesita ser cambiado, para aumentar la eficiencia del trabajo, y el aceite reemplazado será un desperdicio.

En general, el aceite lubricante se vuelve inadecuado para su uso posterior por dos razones principales: acumulación de contaminantes en el aceite y cambios químicos en el aceite. Estos efectos interfieren con las propiedades básicas del aceite lubricante, que son peculiares por su rendimiento efectivo durante la aplicación. (Mekonnen, 2014)

Se define a todos los aceites con base mineral o sintética destinados a lubricar que se hayan vuelto inadecuados para ese uso. Quedan incluidos en esta definición, entre otros, los aceites provenientes de motores gasolina y diésel, cajas de cambios, transmisores, diferenciales y pistones de automóviles, camiones, barcos, aviones, locomotoras y maquinaria pesada.

Quedan excluidos de esta definición los aceites de origen vegetal y las grasas ya sean de origen mineral y/o sintético. (CONAMA, 2008)

Características

El aceite lubricante base es prácticamente indestructible. La degradación de este es producto de su contaminación con diferentes sustancias y al proceso de oxidación del aceite base o base lubricante. La contaminación es debido al uso del lubricante y la manipulación de este, el proceso

de oxidación se origina por el agotamiento en el lubricante de la reserva alcalina proveniente de los aditivos antioxidantes ó de los detergentes-dispersantes. (Jones, 2007)

Degradación

La razón por la cual los aceites se degradan se ha cubierto en numerosos boletines técnicos, pero este tema trata de cómo los lubricantes se degradan, en otras palabras, cuáles son los mecanismos para el agotamiento y la degradación de aditivos. Los mecanismos importantes incluyen oxidación, degradación térmica, neutralización, cizallamiento, hidrólisis, lavado con agua, lavado de partículas, adsorción de superficie, contacto de fricción, sedimentación de condensación, filtración, adsorción de agregado, evaporación, centrifugación y contaminación.

La degradación del petróleo también es una red compleja con muchos procesos competitivos que tienen lugar al mismo tiempo. Incluso el mejor aceite, en el mejor equipo, que opera en un entorno ideal con prácticas de mantenimiento perfectas eventualmente se degradará, desgastará y deberá cambiarse.

Las siguientes subsecciones abordarán los detalles específicos de lo que sucede exactamente con el aceite de motor durante el uso en un motor de combustión interna y qué propiedades se pierden. (Mekonnen, 2014)

Oxidación

La oxidación es la forma más importante de descomposición química del aceite de motor y sus aditivos. Los productos químicos en el aceite de motor reaccionan continuamente con oxígeno dentro de un motor. Los efectos de la oxidación debidos a esta reacción, así como los subproductos de la combustión, producen compuestos muy ácidos dentro de un motor. Estos compuestos ácidos causan corrosión de los componentes internos del motor, depósitos, barniz, lodo y otros productos de oxidación insolubles que pueden causar una degradación del rendimiento y la durabilidad de un motor durante un período de tiempo. Los productos de oxidación son menos estables que la

estructura molecular de hidrocarburos base original y, a medida que continúan siendo atacados por estos compuestos ácidos, pueden producir barniz y lodo.

La oxidación puede causar cambios en casi todas las propiedades de los aceites lubricantes, especialmente en la viscosidad, el punto de fluidez, el punto de inflamación, la volatilidad y el número de neutralización. (Mekonnen, 2014)

Degradación térmica

Cuando el aceite del motor se calienta más allá de cierta temperatura, comenzará a degradarse, incluso si no hay oxígeno presente. Esto se llama degradación térmica y hace que el aceite cambie de viscosidad. La estabilidad térmica del aceite de motor no se puede mejorar mediante el uso de aditivos, pero se puede mejorar refinando los mismos compuestos que disminuyen la resistencia a la oxidación. A medida que aumentan las temperaturas, aumenta la degradación térmica. Para que un aceite proporcione un servicio y protección adecuados a altas temperaturas de operación, se deben usar aceites altamente refinados con muchos antioxidantes. Para un servicio promedio, se pueden usar aceites menos altamente refinados.

Además de los cambios en la viscosidad y la estabilidad a la oxidación, la degradación térmica puede afectar significativamente la volatilidad y la velocidad de evaporación del aceite lubricante y también aumentar los residuos de carbono. (Mekonnen, 2014)

Corrosión

El aceite de petróleo que es nuevo o se mantiene limpio mediante una filtración adecuada generalmente no es corrosivo y proporcionará una buena protección contra la corrosión causada por la atmósfera. Sin embargo, dentro de un motor, los subproductos de oxidación del aceite atacarán el acero interno del motor y los materiales de los cojinetes que generalmente se fabrican con aluminio, cobre, plomo y estaño.

El agua presente debido a la condensación causada por cambios en la temperatura y la humedad o por una conducción breve de "parada y marcha" donde el motor nunca alcanza la temperatura de funcionamiento adecuada, aunque aún es más caliente que la temperatura ambiente, también puede causar corrosión. Cuanto más caliente es el aceite cuando el agua está presente, más severa es la reacción química y definitivamente podría ocurrir un daño relacionado con la corrosión. Además, el agua presente en el aceite durante un período prolongado puede emulsionar el aceite y formar una mezcla que es mucho más corrosiva que los dos componentes solos y luego puede formar lodo que puede bloquear los filtros de aceite o pequeños conductos.

La corrosión puede acelerar la oxidación y la inestabilidad térmica, y además infringe todas las propiedades del aceite lubricante. (Mekonnen, 2014)

Contaminantes

Los principales componentes de los aceites lubricantes de desecho son el aceite base, los aditivos degradados, los desechos metálicos, los productos de oxidación y el hollín de carbono. Se utiliza una gran cantidad de aditivos para impartir características de rendimiento a los lubricantes. Los principales aditivos son antioxidantes, detergentes, elementos Antidesgaste, desactivadores de metales, inhibidores de corrosión, inhibidores de óxido, modificadores de fricción, elementos resistentes a la presión extrema, agentes antiespumantes, mejoradores del índice de viscosidad, agentes demulsificantes o emulsionantes y mejoradores de la adherencia.

Durante su uso, estos aditivos pierden sus características, lo que hace que el aceite lubricante no se pueda utilizar con fines de lubricación. Además, durante su uso, los aceites lubricantes y los aceites de procesamiento de metales recogen fracciones de varios metales como resultado del desgaste de los componentes. La concentración de estas impurezas depende únicamente de la aplicación a la que se aplica el aceite en particular.

En general, el aceite lubricante pierde su efectividad durante la operación debido a la presencia de ciertos tipos de contaminantes. Estos contaminantes se pueden dividir en contaminantes extraños y productos de deterioro del aceite (Mekonnen, 2014).

Tabla 12 Contaminantes típicos encontrados en aceites usados.

Metales	Hidrocarburos Clorados	Otros Compuestos Orgánicos
Cadmio	Diclorodifluorometano	Benceno
Cromo	Triclorotrifluoroetano	Tolueno
Arsénico	Tetracloroetileno	Xileno
Bario	1,1,1-tricloroetano	Benzo(a)antraceno
Zinc	Tricloroetano	Benzo(a)pireno
Dirigir	Cloro total	Naftalina
		PCB's

(Mekonnen, 2014)

Productos del deterioro

Muchos productos se forman durante el deterioro del aceite. Algunos de estos productos importantes son:

Lodos.

Una mezcla de aceite, agua, polvo, suciedad y partículas de carbono que resulta de la combustión incompleta de los combustibles y como resultado de la oxidación. El lodo puede depositarse en varias partes del motor o permanecer en dispersión coloidal en el aceite.

Laca.

Una sustancia dura o gomosa que se deposita en las piezas del motor como resultado de someter el lodo en el aceite a una operación a alta temperatura.

Productos solubles en aceite.

Resultado de productos de oxidación de aceite que permanecen en el aceite y no pueden filtrarse y depositarse en las partes del motor. La cantidad y la distribución de los depósitos del motor varían ampliamente dependiendo de las condiciones en que se opera el motor. A temperaturas

bajas del cárter, los depósitos carbonosos se originan principalmente de productos de combustión incompletos del combustible y no del aceite lubricante. Mientras, a alta temperatura, aumento de la viscosidad y los depósitos de lodo pueden ser causados por el aceite lubricante. Algunas moléculas de aceite, a temperaturas elevadas, se oxidarán a ácidos orgánicos complejos y corrosivos. (Mekonnen, 2014)

Tabla 13 Comparación aceite de motor vs aceite usado.

Muestras	Aceite base de motor (Ravenol, VSi SAE 5W-40)	Aceite de motor usado (en uso durante 2000–3000 km)
Punto de Inflamación °C	232	158
Punto de Fluidez °C	-13	-5°
Viscosidad Cinemática @ (40°C)	195,62	136.6
Viscosidad cinemática @ (100 ° C)	18 años	13,5
Índice de viscosidad	100,27	89,11
Índice de refracción	1,4886	1,4763
Gravedad específica	0,8818	0,9261
Agua y Sedimento (mL)	-	0,9
Residuo de carbono (% en peso)	0,55	1,82
(TAN) mg KOH / g (muestra)	-	4.5
(TBN) mg KOH / g (muestra)	3,55	-
Contenido de metal (ppm)		
Cu	0	4.6
Mg	72	81
Cr	0	1.5
Sn	0	1.6
Pb	0	14.6
Fe	0	72
Zn	1200	1280

(Mekonnen, 2014)

MÉTODOS DE RECICLAJE DEL ACEITE USADO

El reciclaje del aceite usado es una opción a la disposición del aceite no solo porque la normativa así lo estipula y por el compromiso que se debe tener por la protección del medio ambiente, también por un motivo económico, ya que, en la actualidad el petróleo y sus derivados han alcanzado un alto precio, por consecuencia el aceite reciclado es una opción para la lubricación con variadas aplicaciones. El reciclaje del aceite usado está basado en el hecho de que el aceite base es prácticamente indestructible, y este cuando esta usado se encuentra solo contaminado. Por

lo tanto, el proceso de reciclaje básicamente consiste en la extracción de dichos contaminantes. Actualmente existen diversos métodos y equipos que se han desarrollado para la recuperación de es residuo. Estos métodos se pueden dividir en dos amplios grupos. (Jones, 2007)

- ❖ Reacondicionamiento.
- ❖ Re-refinación.

Métodos de reacondicionamiento

Los métodos de reacondicionamiento del aceite usado consisten en la extracción de impurezas, partículas en suspensión y agua desde el aceite. Estos métodos son útiles en aceites no oxidados y son ampliamente utilizados en instalaciones y equipos que cuentan con un sistema de lubricación centralizado, donde el aceite es reacondicionado para alargarle la vida útil a este. (Jones, 2007)

Filtración.

La filtración se define como la separación de sólidos de un líquido y se efectúa haciendo pasar el líquido a través de un medio poroso. Los sólidos quedan detenidos en la superficie del medio filtrante.

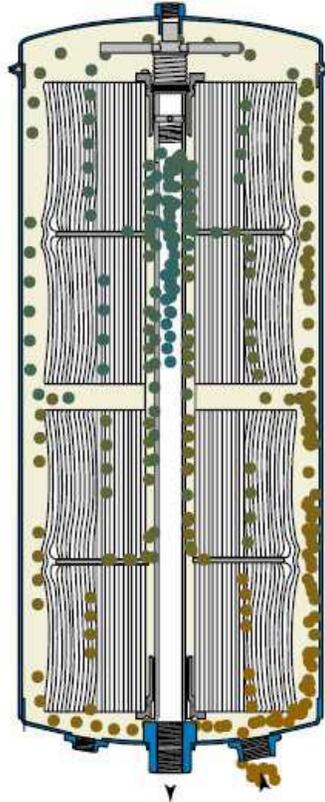
La finalidad del filtrado en la industria es la separación del líquido de los sólidos suspendidos en él.

La elección del medio filtrante es la consideración más importante para asegurar el funcionamiento eficiente o el buen rendimiento del filtro.

Paradójicamente en la mayoría de los casos el medio filtrante no actúa como tal, si no que simplemente actúa como soporte de la torta de sólidos que se deposita y sobre la cual tiene lugar el proceso de separación.

El medio filtrante debiera seleccionarse en primer término por su capacidad para retener los sólidos sin obstrucción y derrame de partículas al iniciarse el proceso de filtración, no obstante, deberán además considerarse las siguientes cualidades. (Jones, 2007)

Ilustración 2 Filtro de aceite.



(Jones, 2007)

- ❖ Capacidad para que los sólidos se traben en sus poros dentro de un tiempo razonable después de comenzar la alimentación.
- ❖ Resistencia mínima a la circulación del filtrado.
- ❖ Impedimento para que las partículas densas penetren en sus poros, lo que aumentaría mucho la resistencia a la circulación.
- ❖ Resistencia al ataque químico.

- ❖ Superficie lisa para la fácil descarga de la torta.

El proceso de filtración se ve afectado de manera positiva con el incremento de la temperatura. Al aumentar la temperatura disminuye la viscosidad del líquido a filtrar, lo cual facilita considerablemente la circulación del fluido a través del medio filtrante lo cual se traduce en mayor capacidad de filtro y menor gasto energético. La economía resultante de calentar un material dado para filtrarlo puede determinarse realizando algunos ensayos previos. (Jones, 2007)

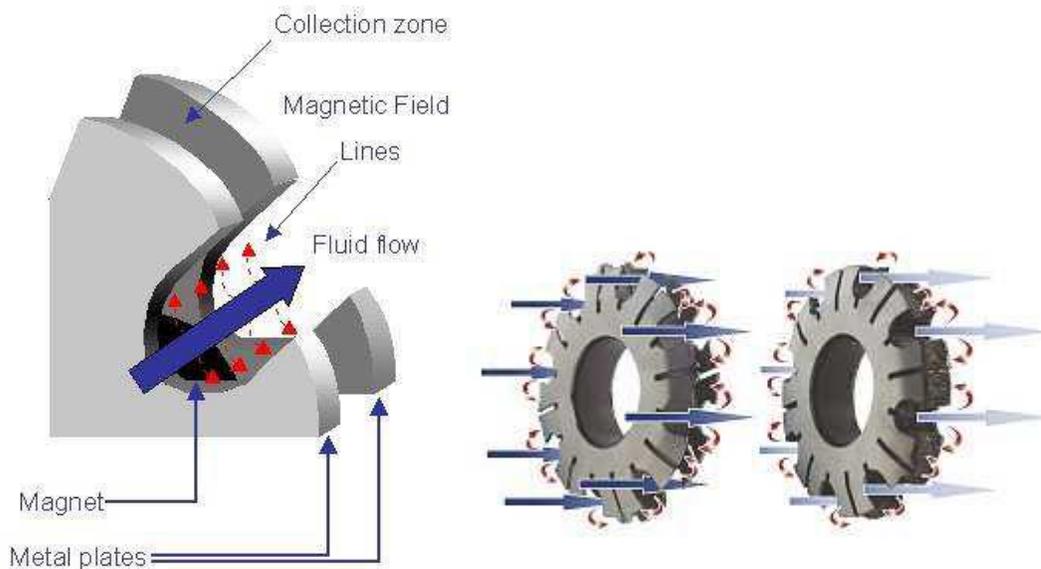
Separación magnética.

Este proceso es utilizado para la extracción de partículas metálicas desde el aceite usado. Son diversos los extractores o filtros magnéticos desarrollados, pero son dos los más utilizados para esta aplicación.

El primero es un cilindro con una rejilla, por donde pasa el aceite de manera continua, la rejilla esta magnetizada por dos imanes permanentes, este filtro magnético debe limpiarse con cierta frecuencia para extraer las partículas metálicas, ya que no es auto limpiante.

El segundo tipo de filtro magnético es de construcción similar, pero el cilindro es rotatorio, y debido a la fuerza centrífuga el filtro se auto limpia, por lo tanto, el proceso de purificación del aceite no es necesario ser detenido. (Jones, 2007)

Ilustración 3 Elemento separador magnético.



(Jones, 2007)

Deshidratación en vacío.

La deshidratación en vacío es un proceso donde el agua y otras impurezas tales como gasolina, solventes, gases ocluidos (gases disueltos), son removidos por destilación bajo vacío. El agua y el aceite son inmiscibles, lo cual facilita su extracción desde el aceite a través de otros métodos, pero cuando agua se presenta como una emulsión la extracción de esta no es posible, siendo la evaporación del agua una alternativa para la extracción de esta y romper las emulsiones, pero la temperatura de saturación a presión atmosférica degrada el aceite, por lo tanto, la evaporación debe darse a una presión tal que la temperatura no afecte al aceite. (Jones, 2007)

Separación centrífuga.

En la separación centrífuga, el aceite usado es sometido a la acción de la fuerza centrífuga acelerando el proceso de precipitación de los sólidos al generar aceleraciones considerablemente mayores que la aceleración de gravedad.

Las centrífugas son ampliamente utilizadas en la industria y existen variados tipos de estas, dependiendo de la aplicación.

Para el reacondicionamiento de aceite usado, por lo general las centrífugas más utilizadas son los separadores centrífugos de discos de estancos, autolimpiante (disk stack centrifuges, self cleaning bowl). Este tipo de centrífugas pueden procesar un gran volumen de lubricante y en un régimen continuo de operación.

En el proceso de separación centrífuga la temperatura, al igual que en la filtración ayuda en el proceso ya que una viscosidad menor facilita la precipitación de los sólidos, lo cual se traduce en un ahorro energético.

Finalmente, el proceso de reacondicionamiento puede estar compuesto por uno de los procesos antes descritos o por la combinación de estos. (Jones, 2007)

Métodos de re-refinación

Cuando el aceite usado está altamente contaminado y además se encuentra oxidado, los procesos de reacondicionamiento no son viables y la re-refinación es una alternativa para la recuperación de estos aceites. El proceso de re-refinación es un proceso drástico en el cual además de removerse los contaminantes se remueven productos solubles, ácidos, asfaltos, gases, etc. El proceso de re-refinación es similar al proceso de refinación al cual es sometido el crudo para la obtención de los aceites bases, y el aceite re-refinado es prácticamente igual al aceite base.

Los procesos de re-refinación no son tan ampliamente usados, ya que por lo general con un proceso de reacondicionamiento es suficiente. La re-refinación involucra altos costos de inversión y un costo operativo alto, por lo cual es solo viable para el reciclaje de grandes volúmenes de aceite usado. (Jones, 2007)

Los métodos utilizados para la re-refinación de aceites usado son;

- ❖ Tratamiento químico.
- ❖ Extracción por solvente.
- ❖ Tratamiento absorbente.

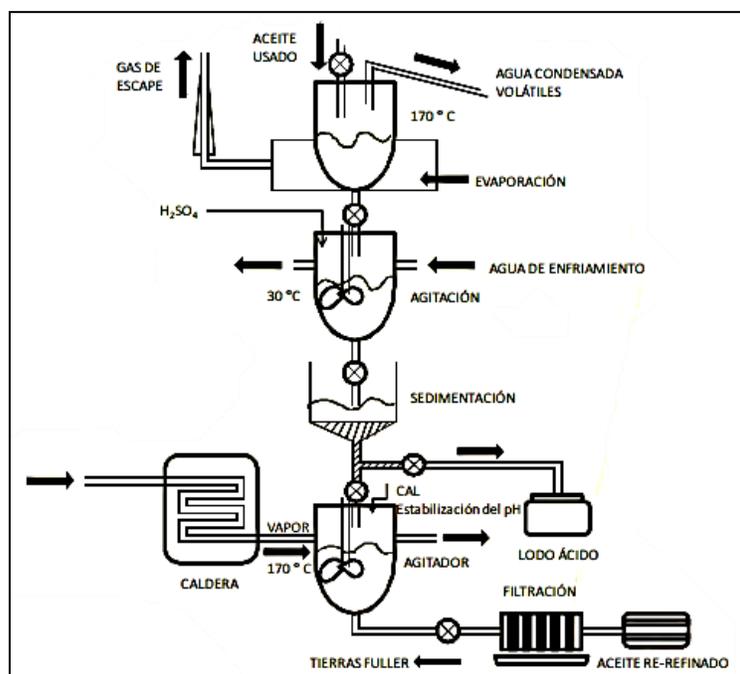
- ❖ Destilación o fracciónación.
- ❖ Hidro-tratamiento

Proceso ácido-arcilla.

El aceite usado se somete a evaporación de aquellos productos ligeros como agua e hidrocarburos de rango gasolina. Después de esta etapa previa la carga se trata con ácido sulfúrico dando un rendimiento de un 85% aproximadamente en relación con el producto tratado, el resto es un desecho aceitoso y ácido. Para mejorar su color y acidez, el producto obtenido después del tratamiento ácido es filtrado con arcilla y cal. En la filtración también se obtiene un desecho con una composición de 3-4% de una mezcla de aceite ácido y arcilla. Este proceso tiene un rendimiento global del 70% en peso de la carga de aceite. (Díaz, 2010)

El método consiste en las siguientes etapas:

Ilustración 4 Flowsheet ácido-arcilla.



(Díaz, 2010)

1. **Evaporación:** el aceite se calienta hasta 100°C, de esta manera se evapora el agua existente. Por encima de 100°C conseguimos que se evaporen compuestos orgánicos como gasolina, etc.
2. **Agitación:** Cuando el aceite ha alcanzado la temperatura de 170°C se ha de enfriar hasta los 30 ó 40°C para así poder adicionar un 10% de ácido sulfúrico respecto de la cantidad de aceite. La mezcla se deja agitando entre 3-4 horas para que el ácido reaccione con las impurezas dando lugar a sulfatos.
3. **Sedimentación:** La mezcla de aceite-ácido se lleva hasta un decantador donde permanece aproximadamente 1 día, aquí se consigue que los sedimentos insolubles decanten y posteriormente son purgados.
4. **Estabilización del pH:** La mezcla restante de aceite-ácido se lleva de nuevo a un agitador en el cual se añade cal para que ésta reaccione con el ácido neutralizando la muestra a un pH de 7, la reacción transcurre a una temperatura de 170°C y tiene un tiempo de duración de 2-4 horas.
5. **Filtración:** Al final del tratamiento con cal es necesario filtrar el efluente por medio de tierras fuller o diatomácea, esta filtración nos garantiza la retención de impurezas y productos del proceso de degradación del aceite, purificando así el aceite. Valorando este proceso desde un punto de vista ambiental, vemos que en dicho proceso existen dos puntos clave de generación de nuevos residuos de complicada gestión: lodo ácido por el tratamiento con ácido sulfúrico y arcillas contaminadas con impurezas (tierras fuller). Además, podemos intuir la generación de emisiones atmosféricas por la presencia del ácido sulfúrico.

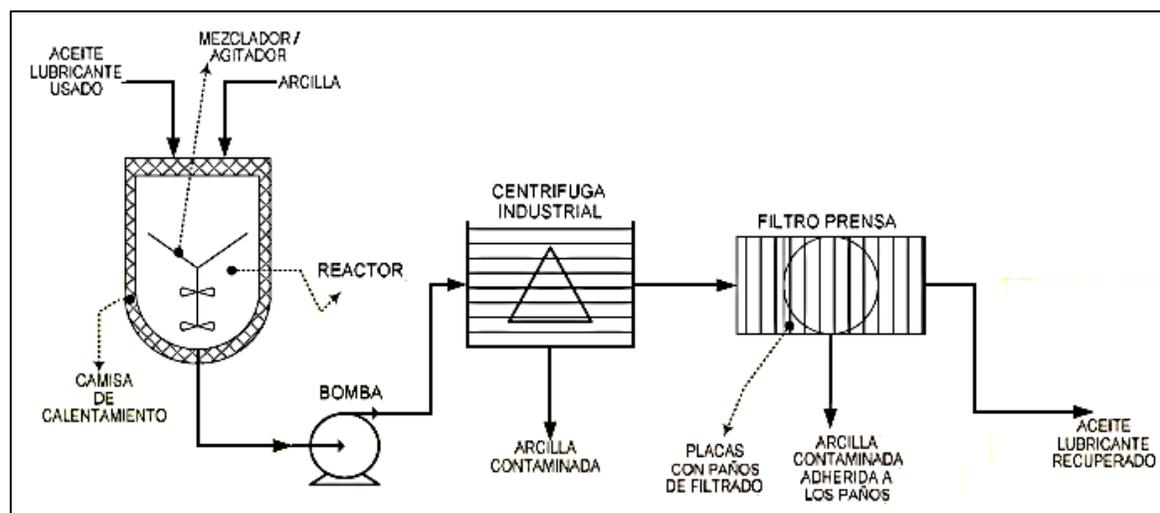
Proceso con arcilla.

Este proceso de recuperación nace como mejora del anterior, evitando la destilación que requieren de fuertes inversiones y el uso de disolventes por sus repercusiones ambientales.

El proceso consta de un reactor donde se mezclan los aceites lubricantes usados a tratar con una mezcla de arcillas. Dicha mezcla se lleva a unas temperaturas de 80°C a 200°C. Las temperaturas no deben ser excesivamente altas para evitar o minimizar el “cracking” de los aceites lubricantes en la mezcla. La mezcla arcilla lubricante se mantiene con agitación en el reactor un tiempo determinado favoreciendo así la transferencia de impurezas (fundamentalmente metales pesados). (Díaz, 2010)

El método consiste en las siguientes etapas:

Ilustración 5 Flowsheet arcilla.



(Díaz, 2010)

Posteriormente, la mezcla se hace pasar por una centrífuga, que elimina una gran cantidad de arcilla contaminada con hollín. Este hollín, formado por partículas muy finas de carbón y otros compuestos orgánicos (aditivos de los lubricantes) ha de ser eliminado antes del filtrado porque tapa los poros de los filtros disminuyendo o incluso paralizando el flujo del filtrado.

Repercusiones ambientales que seguimos teniendo son las arcillas contaminadas, al igual que en el proceso anterior, además de filtros con arcilla contaminada adherida. Todos estos residuos deberán ser sometidos a diferentes tratamientos siempre que se dispongan de tecnología, recuperación, reciclado o incluso deposición en vertedero autorizado de residuos peligrosos o no peligrosos en función de sus características. En definitiva, para solventar el problema de un residuo generamos a su vez otra tipología de residuos de difícil gestión. (Díaz, 2010)

Proceso de extracción con propano.

Este método se basa fundamentalmente en la extracción con propano líquido de hidrocarburos de origen petrolífero presentes en los aceites usados con separación por decantación de los productos de degradación y otros contaminantes. Dicho proceso está constituido fundamentalmente por 3 etapas: (Díaz, 2010)

1. **Pre-tratamiento químico:** En esta etapa lo que se pretende es preparar el aceite para las sucesivas etapas de la recuperación. Se adicionan los reactivos y catalizadores tales como la potasa y la sosa. Se realiza en caliente y conlleva un tiempo para la digestión de la mezcla; es un proceso en continuo.
2. **Extracción con propano líquido y recuperación posterior del disolvente utilizado:** El aceite pretratado se calienta a una temperatura adecuada para ser mezclado con propano líquido, que constituye el disolvente de extracción. Todas las bases lubricantes de recuperación son solubles en este disolvente, no así las impurezas y resto productos no deseados. A partir de este punto el proceso se encuentra presurizado. La mezcla propano-aceite pasa a un decantador vertical en el cual se separan rápidamente, por insolubilidad y diferencia de densidades, el agua emulsionada que acompaña al aceite usado y los componentes asfálticos procedentes de la degradación y

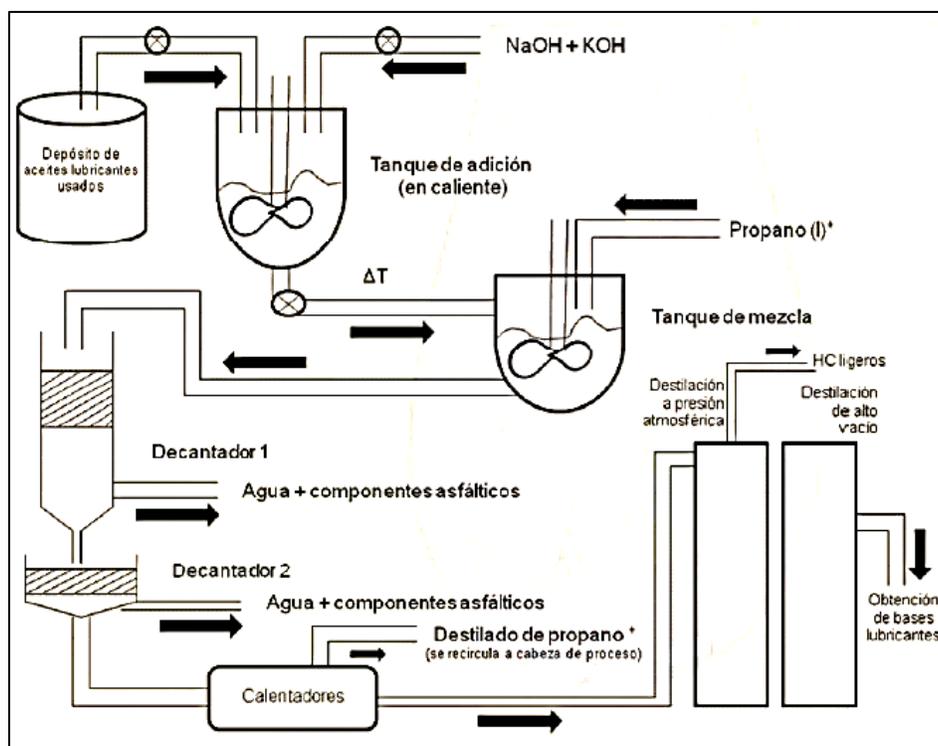
oxidación de los aditivos presentes en la formulación de los aceites lubricantes. La mezcla de aceite-propano pasa a otro decantador, este horizontal, para eliminar los posibles arrastres de contaminantes no retenidos en el primer decantador. El efluente aceite-propano una vez decantado en 2 fases, se hace pasar por unos calentadores y se calienta a una temperatura adecuada para permitir que se produzca la evaporación del propano a presión del proceso en una columna diseñada para tal finalidad.

El propano destilado es enfriado, comprimido y almacenado en el tanque de alimentación, cerrándose así el ciclo de recuperación.

3. **Destilaciones atmosféricas y a vacío:** El aceite ya exento de propano y a temperatura adecuada, pasa a una columna de destilación a presión atmosférica donde se eliminan los hidrocarburos ligeros (nafta) que han contaminado el aceite del cárter de los motores durante su funcionamiento.

En este momento el aceite se encuentra libre de contaminantes. Se calienta a temperatura de destilación y se hace pasar a una columna de fraccionamiento de alto vacío donde se obtienen unas bases lubricantes que no precisan de refino posterior.

Ilustración 6 Flowsheet Propano.



(Díaz, 2010)

Si ahora valoramos este proceso de regeneración de aceite desde un punto de vista ambiental, nos encontramos con los siguientes problemas: emisiones atmosféricas en los puntos del proceso donde es necesario calentar el efluente, por ejemplo, calderas. También como consecuencia de los dos decantadores una vez tratada la mezcla de aceite con propano, tenemos agua con diferentes contaminantes en suspensión y/o en disolución. Esta agua residual deberá o bien gestionarse como un residuo y tratarlo en otra planta de tratamiento autorizada o bien canalizar ese efluente y en la misma instalación someterlo a un proceso de depuración.

Este proceso de depuración deberá estar diseñado para ir eliminando en sucesivas etapas los contaminantes presentes en dicha matriz. Una vez conseguido un efluente con unas características dentro de los estándares de calidad que sean de aplicación para esa instalación, se podrá hacer el vertido bien sea a cauce o al dominio público hidráulico previa autorización administrativa del órgano competente. (Díaz, 2010)

Además, el uso de propano en esta instalación, en función del tonelaje que se mueva al año, puede quedar sometida a un Plan de Gestión de Disolventes según se establece en el RD 117/2003, de 31 de enero, sobre limitación de emisiones de compuestos orgánico volátiles debidas al uso de disolventes en determinadas actividades. (Díaz, 2010)

RECICLAJE Y REUTILIZACIÓN DE ACEITE USADO

Se puede reciclar y recuperar una amplia gama de aceites usados de varias maneras, ya sea directamente o después de alguna forma de separación y refinamiento. Según la jerarquía de gestión de residuos, la primera opción es conservar las propiedades originales del aceite permitiendo la reutilización directa. Otras opciones podrían incluir recuperar su valor de calentamiento y / o usarlo en otras aplicaciones de nivel inferior. Ciertos tipos de aceites usados, lubricantes en particular, pueden ser reprocesados permitiendo su reutilización directa. El uso de aceites usados, después del tratamiento, puede ser como un stock de base lubricante comparable al aceite base virgen refinado o como combustible de combustión limpia. (Mekonnen, 2014)

El aceite usado también se puede volver a refinar en aceite lubricante base. El aceite lubricante es una sustancia premium que se puede volver a refinar y reutilizar una y otra vez. En general, el agua y los disolventes orgánicos de bajo punto de ebullición se eliminan por destilación atmosférica o moderada al vacío. El aceite lubricante se recupera utilizando diferentes tratamientos y/o operaciones unitarias. Los subproductos finales ligeros se usan comúnmente para combustibles de combustión de plantas. La fracción diésel y las fracciones de gasóleo se pueden recuperar como subproductos de alta calidad después de un tratamiento avanzado adicional. Las corrientes residuales de la destilación pueden ser utilizadas por la industria del asfalto como un flujo de asfalto para producir asfalto para techos, asfalto para pavimentos, materiales aislantes y otros productos a base de asfalto. La refinación implica el tratamiento del aceite usado para eliminar las

impurezas, de modo que se pueda usar como base para el nuevo aceite lubricante. Re-refinar prolonga la vida del recurso petrolero indefinidamente. Esta forma de reciclaje es la opción preferida porque cierra el ciclo de reciclaje reutilizando el aceite para hacer el mismo producto que era cuando comenzó y, por lo tanto, usa menos energía y menos aceite virgen. (Mekonnen, 2014)

Tabla 14 Comparación del aspecto ambiental de las tecnologías de tratamiento.

	Tecnologías de reciclaje		
	Refinar	Reprocesamiento	Incineración
Lodos ácidos	Alto	Bajo	--
Lodos Residuales	Alto	Bajo	--
Químicos dañinos	Ácido sulfúrico	--	--
Contaminación	Bajo	Bajo	Alto
Ceniza	--	--	Alto

(Mekonnen, 2014)

Tabla 15 Comparación del aspecto económico de las tecnologías de tratamiento.

	Tecnologías de reciclaje		
	Refinar	Reprocesamiento	Incineración
Madurez Tecnológica	Plant Scale	Plant Scale	--
Demanda de energía	>63%	>74%	--
Índice de recuperación	Buena	Aceptable	--
Calidad del aceite recuperado	Bueno	Aceptable	Alto
Demanda de equipo	Alto	Bajo	Bajo
Costo operacional	Alto	Bajo	--

(Mekonnen, 2014)

Tabla 16 Ventajas y desventajas del reciclaje de aceite usado y métodos de reutilización.

Métodos	Ventajas	Desventajas
Incineración	Económicamente factible con volúmenes de procesamiento más bajos.	Las emisiones de contaminantes atmosféricos, aunque mínimas, aún deben abordarse.
	Las fábricas de cemento están dispuestas a adquirir petróleo residual.	Oposición de instituciones reguladoras y gubernamentales.
	Menos capital intensivo que las otras opciones.	
Reprocesamiento	Concentra la eliminación de aceites usados en sitios limitados que pueden regularse y controlarse más fácilmente.	
	Buen sustituto de los combustibles de segundo grado.	Requiere un sistema de recolección bien desarrollado.
	Limita los efectos negativos de la práctica de la quema incontrolada de residuos.	Requiere una gran inversión de capital.
Refinación	El comprador controla el control de calidad del combustible reprocesado.	La eliminación adecuada de los residuos finales es costosa.
	Solución ambientalmente racional a largo plazo.	Requiere un sistema de recolección bien desarrollado.
	Crea trabajos.	El aceite lubricante refinado requiere un mercado bien desarrollado.

	Reduce la cantidad de aceite lubricante importado.	Requiere una gran inversión de capital.
	Los combustibles livianos y el gasoil eliminados proporcionan una autosuficiencia total en combustible para la planta de reciclaje.	La opción de refinación requiere una empresa de reciclaje acreditada para garantizar la comercialización del producto.
		La eliminación adecuada de los residuos finales es costosa.

(Mekonnen, 2014)

En base a lo anterior se seleccionara el método de deshidratación al vacío y separación centrífuga de aceite lubricante usado.

ACTORES RELEVANTES DEL MERCADO DE LOS ACEITES LUBRICANTES Y ACEITES LUBRICANTE USADOS

Existen alrededor de 40 marcas de aceite automotor de 50 distintos países de procedencia, siendo un mercado con un crecimiento sostenido en los últimos años. Según Mobil de COPEC, uno de los principales actores del sector (53% de la participación del mercado), el principal desafío de las distintas marcas es ofrecer productos de alta calidad, acordes a la modernidad y tecnología del parque automotor, donde priman los productos semi-sintéticos y sintéticos por sobre los minerales. Este desarrollo tecnológico ha convertido a Chile es un mercado de necesidades especiales, siendo el más moderno de Latinoamérica, por lo que las compañías productoras de lubricantes se han dedicado a desarrollar productos para estas elevadas exigencias. (GESCAM S.A., 2017)

Por ejemplo, Chile es el país en donde más crecimiento ha tenido el lubricante con especificaciones 10W, utilizado preferentemente en los vehículos de alta performance y que según los datos manejados por la compañía francesa Total, se llevan el 20,54% de las ventas, mientras que el de especificaciones 15W es el más utilizado por el parque chileno, con el 43% de las ventas totales. (GESCAM S.A., 2017)

Por otra parte, los distintos sectores productivos del país han desarrollado exigencias distintas, según zonas geográficas. Por ejemplo, en las regiones centrales como la Metropolitana, con gran

comercialización de los vehículos livianos, requieren lubricantes con bajo porcentaje de viscosidad. Al contrario de la zona norte, donde la minería requiere de aceites más resistentes a condiciones extremas. (GESCAM S.A., 2017)

De esta forma, las principales marcas están ofreciendo productos de origen semisintético sintético que buscan contribuir al ahorro de combustible y a la disminución de emisiones contaminantes a la atmósfera. Otros, como Total, están desarrollando fuertemente productos específicos para motores diésel bajos en sulfuros, azufre y fósforos para cuidar la vida de los filtros de partículas de estos motores. (GESCAM S.A., 2017)

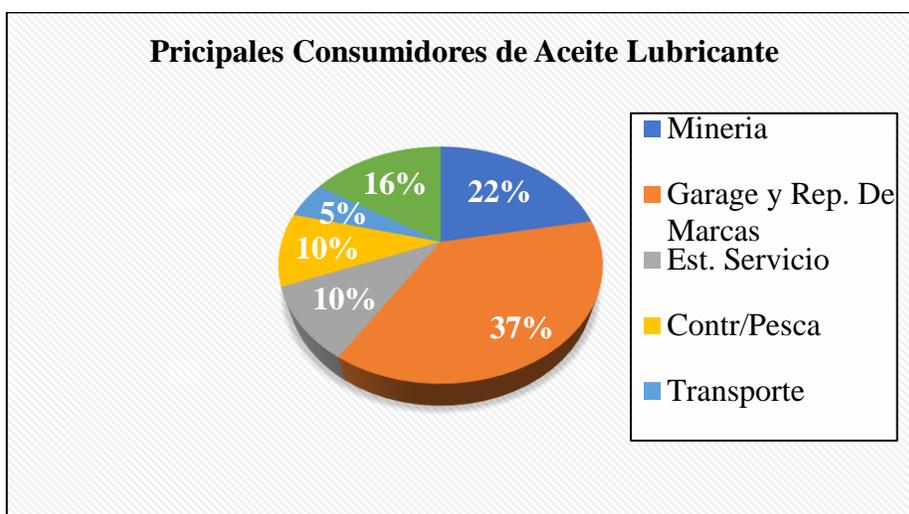
Según la compañía energética Total, el 65% de los lubricantes para vehículos livianos son comercializados por distribuidores directos, el 10% por concesionarios, otro 10% por estaciones de servicio y un 10% también por lubricentros. En otros porcentajes menores están las casas de repuestos, talleres mecánicos y otros. (GESCAM S.A., 2017)

Es en este segmento, destinado a las ventas del retail, es decir, para el mercado automotor, donde Mobil de Copec y Shell Helix de Enx, distribuidor de la marca Shell en el país, son los grandes dominantes y entre ambos abarcan casi el 70% del mercado. Ello es resultado de distintas alianzas que estas compañías han firmado con los importadores automotrices en el país, que recomiendan los productos de estas marcas para sus automóviles, lo que de alguna forma ha permitido un rápido desarrollo del mercado de aceites. Pero, a su vez, concentran la mayor parte de las ventas, dejando poco espacio de acción al resto de las numerosas marcas de distintas procedencias, que buscan hacerse de un lugar en el mercado, la mayoría de ellas con representación casi simbólica. (GESCAM S.A., 2017)

De ahí que varias compañías de peso internacional, como Total o Valvoline, han concentrado la mayor parte de sus negocios fuera del mercado automotor y en sectores como el industrial, transporte e, incluso, naviero. (GESCAM S.A., 2017)

A nivel nacional, los principales consumidores de aceites y, por ende, los principales generadores de aceites usados lo constituyen las empresas de transporte terrestre, la minería, la construcción, la industria extractiva de la pesca y otras industrias tales como la industria manufacturera, de alimentos y bebidas, forestales y textiles entre otras, las estaciones de servicio y garajes en general. La participación de cada uno de estos sectores queda resumida en la siguiente ilustración:

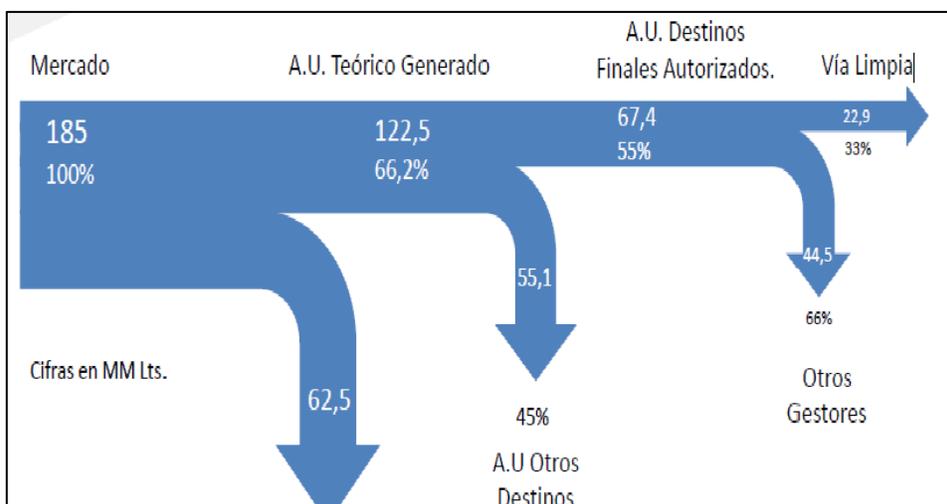
Ilustración 7 Principales consumidores de aceite lubricante.



(GESCAM S.A., 2017)

Si bien el sector de los lubricantes no es auditado externamente y cada marca maneja sus cifras, según COPEC durante el 2013 se consumieron 185.000 m³ de aceites lubricantes. En base al Factor de Pérdida estimado por esta empresa que alcanza el 33,8% producto de la combustión y fugas, se estima que ese mismo año, se habrían generado 122.470 m³ de aceite usado. De este volumen total, y en base a las cifras de su filial Vía Limpia, COPEC estima que ese año, un 55% de ese volumen tuvo un destino final autorizado, mientras que el 45% restante habría sido eliminado de manera ilegal con destino desconocido. (GESCAM S.A., 2017)

Ilustración 8 Generación Teórica de Aceite Usado (millones de litros), 2013



(GESCAM S.A., 2017)

Sin embargo, cifras más recientes obtenidas del Diagnóstico Sectorial del APL de Aceites Lubricantes, permiten suponer que en 2016 la proporción de ALU con destino final autorizado habría alcanzado el 59,3% versus un 40,7% con destino desconocido. Es importante señalar que las cifras de este estudio basan sus cálculos en una demanda global inferior de aceites lubricantes a la estimada por COPEC para el año 2013, sin embargo, este Consultor estima que las cifras de valorización presentadas son ciertamente válidas y más recientes (año 2015), por lo tanto, en base a la estimación de la demanda realizada por COPEC y las cifras de valorización presentadas en dicho informe, se actualiza el porcentaje de valorización para efectos de definir el Escenario Base de este estudio. Este incremento en la valorización de los ALU, además, es plenamente consistente con los esfuerzos desplegados por gestores de la industria, como el propio Vía Limpia de COPEC, en los dos años transcurridos entre ambas mediciones. (GESCAM S.A., 2017)

Si bien la autoridad de Salud es clara respecto a la disposición de los aceites usados, en la práctica la normativa no es cumplida por parte de las fuentes de emisión, y los aceites usados toman como destino vertederos, alcantarillados o son reutilizados sin un debido tratamiento, trayendo consigo un alto costo ambiental. Es así como este residuo es usado como combustible en

caldera, revendido por comerciantes luego de un filtrado rudimentario y mezcla con aceites lubricantes en envases de alguna marca conocida, siendo los principales consumidores de estos aceites los vehículos de la locomoción colectiva y taxis. También es usado en caminos como tratamiento matapolvo, práctica frecuente en áreas mineras, agrícolas y forestales. Otros volúmenes significativos de aceites usados son empleados inapropiadamente en la impregnación de postes y estacas usadas en los predios agrícolas y forestales, en la lubricación de cadenas de motosierras, en la quema para proteger los predios frutales de las heladas, como desmoldador de concreto en la construcción, etc.

En la actualidad, los principales distribuidores de aceites en Chile han iniciado gestiones para recuperar la mayor cantidad posible de aceites usados, a fin de prevenir que éstos sean eliminados de manera inadecuada. Asimismo, estas acciones se desarrollan en el marco de las políticas corporativas de dichas empresas. (GESCAM S.A., 2017)

Es así como COPEC, ha establecido una Red Nacional de Retiro de Aceites Usados, llamada VIA LIMPIA, que está ampliando para alcanzar una cobertura nacional. De los 67.400 m³ que en 2013 fueron a lugares autorizados, COPEC a través de este programa gestionó 22.900 m³, es decir, un 33%. El sistema ofrecido por VIA LIMPIA gestiona el retiro y transporte a una empresa autorizada de tratamiento para su transformación en combustible alternativo o insumo para explosivos de la minería (GESCAM S.A., 2017).

El 66% del ALU restante gestionado por otras empresas autorizadas, es sometido a alguno de los siguientes procesos:

- ❖ Valorización energética: Uso como combustible alternativo para calderas y co-incineración en las plantas cementeras.
- ❖ Reciclaje para fabricación de nuevos aceites lubricantes mediante procesos de refinación.

- ❖ Reciclaje para fabricación de combustibles alternativos para calderas y para la fabricación de explosivos.

También existe un mercado informal de aceites de relleno, que corresponden a aceites usados, filtrados manualmente, los que son vendidos en talleres automotrices para rellenar el aceite del motor entre otros usos. No ha sido posible cuantificar este mercado, pero se estima que está en disminución, por cuanto existe mayor conciencia entre los consumidores respecto de los cuidados que un vehículo requiere. Pese a ello, este nivel de comercialización no es relevante en comparación al mercado formal.

En la Tabla a continuación, se presentan los principales actores involucrados en la generación y gestión de los aceites lubricantes usados, y su rol en el ciclo de vida del residuo. (GESCAM S.A., 2017)

Tabla 17 Actores participantes en el Ciclo de Vida de los Aceites Lubricantes Usados.

ACTOR	ROL
Productores (Importadores) y Distribuidores	En Chile este actor se compone principalmente de dos grandes empresas, COPEC y SHELL que en conjunto controlan el 70% del mercado de los aceites lubricantes. Corresponden a aquellas empresas que ponen en el mercado nacional el producto por primera vez, de manera directa o a través de diversos distribuidores autorizados.
Talleres Mecánicos	Corresponde a los lugares donde se vende y realiza la mayor cantidad de recambios de aceite, pudiendo cumplir un rol fundamental al actuar como puntos de recolección de ALU.
Valorizadores (Recicladores) de ALU para elaboración de combustible alternativo; y re-refinación del ALU para elaboración de nuevos aceites lubricantes).	Empresas privadas: <ul style="list-style-type: none"> • Red de retiro de aceites usados de la empresa Copec, a través de “Vía Limpia”, mediante 11 oficinas a lo largo del país, sitios de almacenamiento y camiones de transporte autorizado. • Cuatro plantas cementeras que utilizan aceites lubricantes usado como combustible alternativo (regiones II, III, RM y VII) 101 • Una empresa de reciclaje para uso en procesos de explosivos en la II región. • Siete empresas de retiro, transporte y valorización operando en las regiones II, V, VIII, IX y RM, a saber, Bravo Energy (40.000 ton/año), Crowan (7.000-10.000 ton/año), FuturOil (5.000 ton/año), VicMar (2.000-3.000 ton/año), Riltec, Hidronor, PTH, Duoils, empresas informales. • Una empresa de eliminación para la recepción de la fracción peligrosa, en la VIII región Se estima que entre estas empresas se gestiona el 55% de los aceites lubricantes usados.

(GESCAM S.A., 2017)

CAPÍTULO 3: ESTUDIO TÉCNICO

PLANTA RECICLAJE DE ACEITE LUBRICANTE USADO

El proceso de reciclaje se llevara a cabo por medio de los métodos de deshidratación en vacío y separación magnética, ya que el proceso puede ser una combinación de las alternativas planteadas en el capítulo anterior, la selección y el diseño será en función de las siguientes consideraciones:

- ❖ Volumen para procesar
- ❖ Características del aceite resultante

Volumen para procesar

El volumen mínimo para procesar será de 35,8m³ con un máximo de 1% de agua que corresponden al volumen generado mensualmente en la minera Chuquicamata subterránea.

Características del aceite resultante

Se quiere obtener un aceite para volver a utilizar en los equipos de donde se generó el residuo llamado aceite lubricación usado o en su defecto de no cumplir con los requerimientos de lubricación de la maquinaria donde se obtuvo este fluido el proceso de refinación y reacondicionamiento, como mínimo obtendríamos un aceite base para lubricación de cadenas, con las características de un aceite monogrado SAE 30 semifluido, en donde solo deberíamos agregar solvente para que este logre penetrar en el mecanismo y crear una película de lubricante que protege a los mecanismos internos de la cadena (casquillo, pasador).

Descripción del proceso

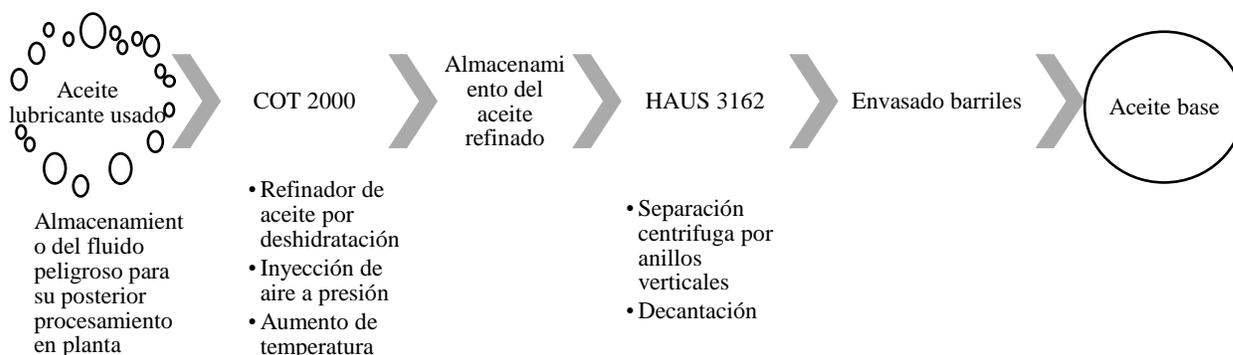
Se opta por un proceso de refinación de aceite con el sistema COT, el equipo elimina el agua libre y el agua emulsionada, además de reducir significativamente el agua disuelta al interior del aceite, posteriormente, se somete a un proceso de separación centrifuga de discos verticales.

Los costos de operación se reducen al consumo de energía de los equipos a diferencia de procesos de reacondicionamiento como la filtración que tiene un alto costo asociado a los elementos filtrantes.

Etapas del proceso productivo.

A continuación, se describe cada una de las etapas del proceso productivo.

Ilustración 9 Proceso de reacondicionamiento.



Etapas 1: Ingreso de camiones de transporte.

Los aceites usados serán transportados hacia la Planta, por empresas externas autorizadas por la Autoridad Sanitaria. Dichos camiones serán admitidos en planta.

Etapas 2: Recepción.

Al llegar el camión a la Planta, deberá presentar en la recepción el “Formulario de Autorización de Transporte de Residuos Peligrosos” visado por la respectiva SEREMI de Salud o en su defecto el SIDREP (Sistema de Declaración y Seguimiento de Residuos Peligrosos). En portería se llevará un registro de control de los camiones y de la procedencia de la materia prima, en la respectiva ficha de registro.

Es importante, reiterar que el presente Proyecto no incluye el transporte de materia prima y productos terminados desde y hacia la Planta, ya que estos serán ejecutados por empresas externas, que contarán con la respectiva autorización de la Autoridad Sanitaria.

Los camiones estanque con aceites usados no podrán ingresar a la planta sin el formulario con la autorización de transporte de residuos peligrosos.

Etapa 3: Descarga.

Posterior a la recepción los aceites usados serán descargados directamente en los estanques de recepción de aceites lubricantes usados.

Para proceder con la descarga el camión deberá estacionar, accionar todos los sistemas de frenado y mantener el motor apagado, a menos que los mecanismos de descarga requieran su funcionamiento.

Antes de realizar el bombeo se requiere realizar las siguientes actividades:

- ❖ Ubicar un extintor cerca del camión estanque donde se va a realizar la descarga.
- ❖ Instalar conos en el sector, para impedir el tránsito en la zona de descarga.
- ❖ Verificar que no haya fuentes de ignición en los alrededores.
- ❖ Verificar que el estanque de almacenamiento cuenta con disponibilidad de recibir el aceite usado, mediante el aforo físico del mismo.
- ❖ Conectar y disponer adecuadamente las mangueras y los equipos de succión por bombeo del camión estanque.
- ❖ Verificar que los acoples o conexiones, entre la manguera del camión de transporte y la válvula del estanque, estén correctamente instaladas.

Una vez iniciado el bombeo, el operador a cargo de la operación debe ubicarse cerca del sistema que controla el bombeo, con el fin de poder suspenderlo de inmediato en caso de emergencia.

Finalmente, para evitar goteos o fugas el operador se debe asegurar de:

- ❖ Descargar completamente el camión estanque.
- ❖ Cerrar todas las válvulas, para evitar fugas o goteos.
- ❖ Eliminar todos los restos o remanentes en las mangueras.

Etapa 4: Mantenición.

La labor de mantenimiento está relacionada con mantener en buenas condiciones, la herramienta, equipo de trabajo, lo cual permite un mejor desenvolvimiento y seguridad evitando en parte riesgos en el área laboral, lo que se traduce en una optimización de la disponibilidad del equipo productivo, disminución de los costos de mantenimiento, optimización de los recursos humanos y maximización de la vida la máquina.

Etapa 5: Reciclaje.

Dicho estanque contenedor de aceite usado, descrito en el capítulo 3 de la presente memoria, está directamente conectado con la unidad de proceso de reacondicionado de aceite usado. Por lo tanto, el proceso de reacondicionado se inicia cuando el aceite de uno de los compartimentos del estanque receptor de aceite usado es trasvasiado al sistema COT 2000. El trasvasije se realiza automáticamente al accionar la bomba eléctrica de la unidad de proceso y al abrir la llave de paso del compartimento del estanque que se desea procesar. Por lo tanto, en esta etapa no hay ningún contacto físico entre el personal y el aceite usado. El equipo COT 2000 está conformado por un estanque con capacidad para 15 litros.

En este estanque se eleva la temperatura del aceite de residuo hasta 50° de forma indirecta. Este aceite caliente es enviado por un circuito cerrado hacia los estanques de contención. Este calentamiento se realiza utilizando energía eléctrica. Una vez alcanzada la temperatura de 50° C, se aplica una separación centrifuga con discos verticales. Los estanques de contención permanecen cerrados la mayor parte del tiempo, de tal forma de conducir los vapores generados por el calentamiento del aceite, hacia una manga, donde el vapor es convertido en agua. El agua destilada

cae a un estanque de agua. El aceite limpio pasará directamente a un estanque para el almacenamiento de aceite limpio, para posteriormente trasvasijar el aceite base a tambores de 200 litros.

Etapa 6: Verificación de calidad aceite procesado.

El objetivo de la planta recicladora es obtener un producto para ser reutilizado con el mismo fin para el que fue concebido en origen y así garantizar que el aceite reciclado cumple con las especificaciones físicas y químicas del aceite original. Para el cumplimiento de este propósito se utilizará el servicio de empresas especializadas que certificará periódicamente que la calidad del aceite reciclado le permite ser utilizado de la misma forma que su propósito original.

El aceite reacondicionado que cumpla con las especificaciones físicas y químicas del aceite original será comercializado. Para ello se trasvasijará desde el estanque de almacenamiento de aceite reacondicionado directamente a barriles estándar de 200 Lts.

Si el aceite no cumple con las condiciones, será tratado las veces que sea necesario para obtener el resultado esperado, ya que no hay limitación en las veces que el aceite puede ser procesado.

En el futuro se pretende comprar los instrumentos para realizar los controles de calidad en la propia planta.

Etapa 7 Ingreso a bodega.

El almacenamiento de Producto Terminado “Aceite base”, se realiza en tambores de 200 litros, en la zona especialmente designada para ello en la Zona de acopio de tambores.

Se estima que se producirán aproximadamente 27.9 m³/mes de Aceite base.

Los tambores previos a su uso serán inspeccionados, y si es el caso, reacondicionados (desabollados y pintados), además tendrán la señalética que señala la Norma Chilena NCh 2190 Of. 93.

Etapa 8: Preparación carga para despacho

Recibido el pedido se hará la preparación de este para su posterior despacho.

Etapa 9: Despacho al cliente

El proceso concluye con el despacho de los productos terminados, en los camiones que los clientes enviarán a retirar a la Planta. El Titular controlará que el transporte tenga la autorización correspondiente de la Autoridad Sanitaria.

Equipo y materiales***Estanque de recepción.***

Estanque que contiene los aceites lubricantes usados con capacidad de 0.5m³.

Ilustración 10 Estanque para almacenamiento de aceite usado



(Petroline, 2020)

Estanque de alimentación.

Estanque que contiene los aceites lubricantes usados que alimentan al deshidratador de aceite COT 2000 con capacidad de 0.5m³.

Ilustración 11 Estanque para almacenamiento de aceite usado



(Petroline, 2020)

Deshidratador de aceite COT 2000.

El sistema COT elimina el agua libre y el agua emulsionada, además de reducir significativamente el agua disuelta al interior del aceite.

Ilustración 12 COT 2000.



(Puga, 2019)

Tabla 18 Características COT 2000.

características del Equipo		Unidad
Modelo	COT 2000	
Cantidad	2	
Costo Und.	USD 10.000	USD
Costo Total	USD 20.000	USD
Tiempo de Operación	180	horas/mes

Rendimiento	4	Litros/Min.
Rendimiento	0,24	m3/Hora
producción Mensual	32.25	m3/mes
producción Anual	387	m3/año
Costo mantención	USD 2.000	USD
Consumo Energía	0,20	kW
Consumo Energía Total	0,40	kW
Gasto de Energía Mensual	USD 7,02	USD
Gasto Operación Mensual	USD 2.007,02	USD
Gasto de Energía Anual	USD 84,29	USD
Gasto Operación Anual	USD 24.084,29	USD

Estanque de acumulación.

Estanque en el cual se acumula aceite desde el deshidratador que lleva la alimentación de la centrifuga con una capacidad de 0.5m³.

Ilustración 13 Estanque para almacenamiento de aceite usado.



(Petroline, 2020)

Centrifuga de discos verticales.

Centrifuga que separa el aceite contaminado en dos fases según sus densidades, fase pesada (sólidos) y liviana (aceite).

Ilustración 14 MBA 3162-30.



(HAUS, 2020)

Tabla 19 Características MBA 3162-30.

características del Equipo		Unidad
Modelo	HAUS - MBA 3162-30	
Cantidad	1	
Costo Und.	USD 280.000	USD
Costo Total	USD 280.000	USD
Tiempo de Operación	5,4	horas/mes
Rendimiento	133,3333333	Litros/Min.
Rendimiento	8	m3/Hora
producción Mensual	32,25	m3/mes
producción Anual	387	m3/año
Costo mantención	USD 2.800	USD
Consumo Energía	22	kW
Consumo Energía Total	22	kW
Gasto de Energía Mensual	USD 11,59	USD
Gasto Operación Mensual	USD 2.811,59	USD
Gasto de Energía Anual	USD 139,08	USD
Gasto Operación Anual	USD 33.739,08	USD

Indicador COT.

Indicador que muestra el nivel actual de contaminación de manera continua. El Sensor se puede conectar a cualquier unidad de control como aplicación móvil o conexión wifi.

Tabla 20 Características Indicador COT.

características del Equipo		Unidad
----------------------------	--	--------

Modelo	Indicador COT	
Cantidad	4	
Costo Und.	USD 250	USD
Costo Total	USD 1.000	USD
Tiempo de Operación	190	horas/mes
Costo mantención	USD 0	USD
Consumo Energía	0,01	kW
Consumo Energía Total	0,04	kW
Gasto de Energía Mensual	USD 0,74	USD
Gasto Operación Mensual	USD 0,74	USD
Gasto de Energía Anual	USD 8,90	USD
Gasto Operación Anual	USD 8,90	USD

COT Pre Calentador.

Para ser instalado cuando la temperatura de funcionamiento del aceite del sistema principal se mantenga habitualmente por debajo de los 50°C (120°F).

Tabla 21 Características Precaentador COT.

características del Equipo	Unidad	
Modelo	Precaentador COT	
Cantidad	2	
Costo Und.	USD 1.500	USD
Costo Total	USD 3.000	USD
Tiempo de Operación	190	horas/mes
Costo mantención	USD 0	USD
Consumo Energía	0,145	kW
Consumo Energía Total	0,29	kW
Gasto de Energía Mensual	USD 5,38	USD
Gasto Operación Mensual	USD 5,38	USD
Gasto de Energía Anual	USD 64,51	USD
Gasto Operación Anual	USD 64,51	USD

Tambores con Producto Terminado.

Los tambores poseen una capacidad de 200 litros cada uno.

Ilustración 15 Tambor para aceite de 200 litros.



(Posot-Class, 2020)

Contador digital para aceite.

Los contadores digitales permiten visualizar correctamente el caudal instantáneo.

Ilustración 16 Contador digital para aceite.



(Petroline, 2020)

Tabla 22 Características Contador Digital de Aceite.

características del Equipo	Unidad	
Modelo	Petroline - Contador Digital de Aceite	
Cantidad	2	
Costo Und.	USD 250	USD
Costo Total	USD 500	USD
Tiempo de Operación	190	horas/mes
Costo mantención	USD 0	USD
Consumo Energía	0,01	kW
Consumo Energía Total	0,02	kW
Gasto de Energía Mensual	USD 0,37	USD
Gasto Operación Mensual	USD 0,37	USD
Gasto de Energía Anual	USD 4,45	USD
Gasto Operación Anual	USD 4,45	USD

Sala RESPEL.

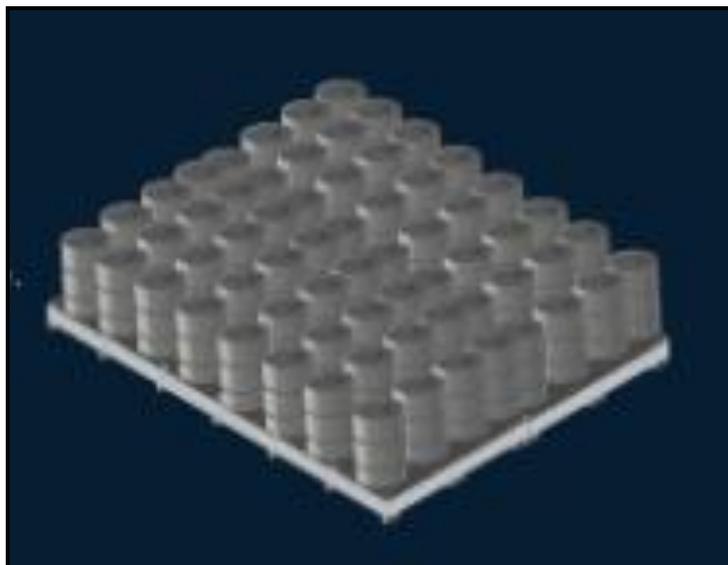
Las bodegas para sustancias y residuos peligrosos de Ecostandard cuentan con resistencia al fuego con paneles certificados RF120. Todos nuestros modelos cuentan con sistema de contención de derrames, como también lavaojos, Kit antiderrame y extintor. (ECOSTANDARD, 2020)

Ilustración 17 Sala RESPEL



(ECOSTANDARD, 2020)

Ilustración 18 Capacidad Sala RESPEL



(ECOSTANDARD, 2020)

características generales.

Tabla 23 Características Sala RESPAL.

Características del Equipo		Unidad
Modelo	Sala RESPAL	
Cantidad	2	
Costo Und.	USD 15.625	USD
Costo Total	USD 31.250	USD
Dimensiones	5.40 x 6.20 x 2.86	metros
Volumen contención	7.500	Litros
Peso producto	5360	Kilogramos
Área útil	30	Metros ²
Material	Acero	
Resistencia al fuego	RF120	
Ventilación	Natural	

características constructivas.

- ❖ Receptáculo : Acero ASTM A36 3 mm - Soldadura MIG AWS ER70S-6.
- ❖ Superficie : Parrilla metálica 25mm con resistencia de carga de 1.2 ton/m²
- ❖ Estructura : Angulo L40x3 laminado, Cuadrado 100x100x2 mm
- ❖ Puertas : Panel RF120
- ❖ Recubrimiento : Panel RF120
- ❖ Terminación : Anticorrosivo Epóxico Gris para alta resistencia química, esmalte Poliuretano gris RAL 7016 para exposición a intemperie

Normativa de diseño.

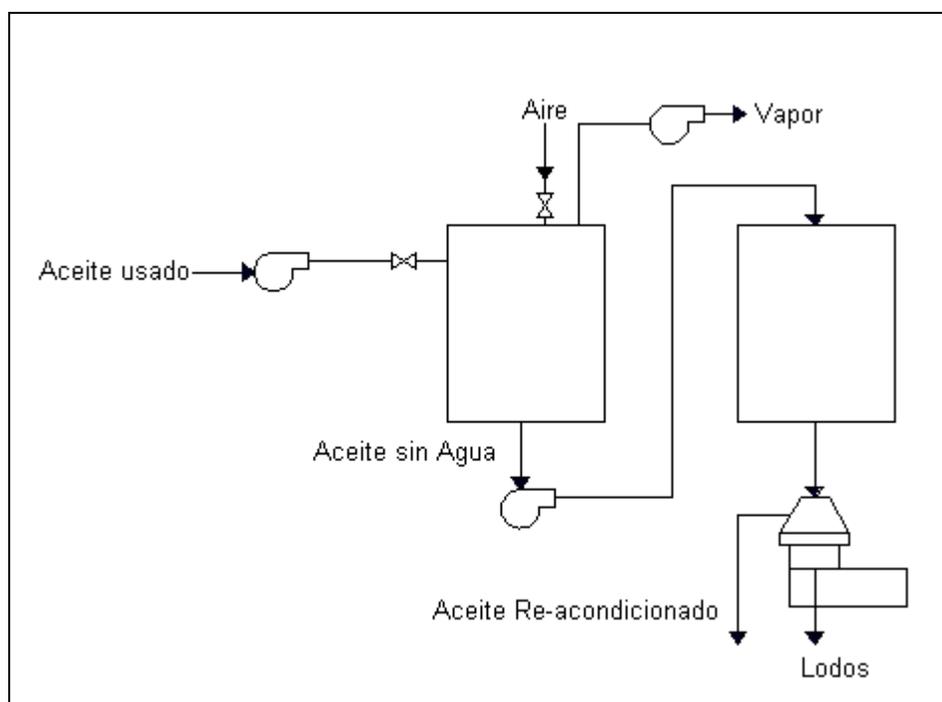
- D.S. No 43/2016 MINSAL : Almacenamiento de sustancias peligrosas.
- D.S. No 148/2003, MINSAL : Manejo de residuos peligrosos.
- D.S. No 594/1999, MINSAL : Condiciones Sanitarias/Ambientales en el lugar de trabajo.

Desarrollo del proceso

1. El proceso comienza con la recepción del residuo en el “Estanque de Recepción”, en donde se realiza un chequeo de homogeneidad.

2. Si, el chequeo se aprueba, se trasvasija al “Estanque de Alimentación” donde se alimenta de aceite lubricante usado al equipo de refinación COT 2000.
3. En el equipo de COT que cuenta con un estanque interno de 15l para comenzar a refinar este residuo a un ritmo mínimo de 2l/min a una presión de 10bar, se enciende el calefactor el cual calienta el aceite entre 40 y 50°C, evaporando el agua y acelerando este proceso con el uso de aire comprimido con un caudal de 1 a 3 l/min para sacar el aceite del agua.
4. La centrifuga se alimenta del estanque de acumulación a través de una bomba de alimentación que está incorporada al equipo.

Ilustración 19 Diagrama del proceso.



(Jones, 2007)

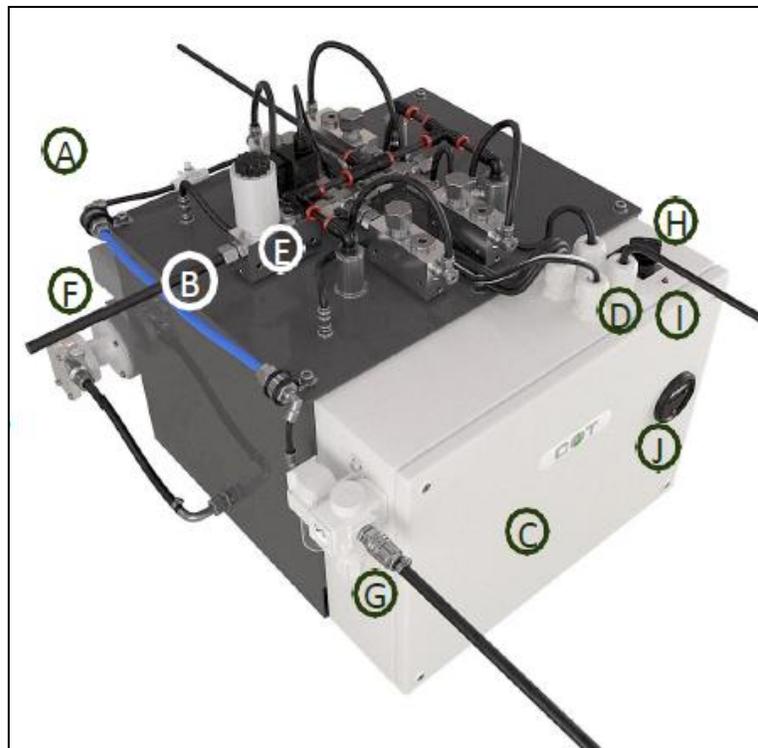
Selección y dimensionamiento de componentes

Deshidratador de aceite.

El deshidratador de aceite tiene una capacidad mínima de procesamiento de 2l/min, el proceso se desarrolla a una presión de 10bar a temperaturas entre 40 y 50°C, con capacidad de procesamiento continuo.

El deshidratador está compuesto por los siguientes componentes:

Ilustración 20 Equipo COT 2000.



(Puga, 2019)

- A. Salida de Aceite
- B. Entrada de Aceite
- C. Caja de Control Eléctrico
- D. Fuente de alimentación
- E. Válvula de Cierre de Seguridad

- F. Bomba de Drenaje
- G. Entrada de Aire Comprimido
- H. Interruptor de Encendido/Apagado
- I. Indicador de Fallos
- J. Horas de Funcionamiento

Separador centrífugo de discos.

La fuerza giratoria centrífuga separa las fases con diferente gravedad específica.

Es en esta etapa en la cual se extraen los contaminantes sólidos desde el aceite usado.

La extracción de los contaminantes se realiza en un separador centrifugo, el principio por el cual se realiza la extracción de los sólidos en suspensión es la decantación o precipitación de los sólidos, los cuales a través de la acción de la centrífuga ven incrementado su peso específico en varias veces, logrando una decantación casi instantánea de los sólidos y mediante la geometría interna de la centrífuga se extraen los sólidos en una fase pesada y en una fase ligera el aceite purificado.

Ilustración 21 Separador centrífugo de discos / para aceite mineral / vertical.



(HAUS, 2013)

Principios de la separación centrífuga

Aceleración centrífuga:

Cuando una partícula gira en una trayectoria circular entorno a un eje, la aceleración de esta se divide en dos componentes, la aceleración tangencial, la cual es producto de la variación de velocidad angular y la aceleración centrípeta o normal la cual es generada por el cambio de dirección del movimiento al ser circular la trayectoria.

De esta manera tenemos:

$$a_t = \alpha \times r \quad (6.1)$$

$$a_n = \omega \times r \quad (6.2)$$

Donde:

a_t : Aceleración tangencial

a_n : Aceleración normal

α : Aceleración angular

ω : Velocidad angular

La ecuación (6.1) y (6.2) son la base para la separación centrífuga, ya que en una centrífuga la velocidad de rotación de esta es constante, no tiene variación de velocidad angular es decir aceleración angular cero, por consiguiente, la aceleración del cuerpo que gira en torno al eje de la centrífuga solo tendrá una componente normal de aceleración en dirección al centro de rotación, aceleración centrípeta.

La masa del cuerpo que gira en torno al eje de rotación genera una fuerza producto de la aceleración denominada fuerza centrípeta, la reacción a esta fuerza que tiene misma magnitud, pero sentido contrario es la fuerza centrífuga. La aceleración que genera la fuerza centrífuga se denomina G tiene dirección normal a la trayectoria y hacia fuera de esta, su magnitud es:

$$G = \omega^2 \times r \quad (6.3)$$

Para tener un parámetro de la aceleración que genera una centrifuga se le compara su aceleración con la aceleración de gravedad g (9.086 mt/seg^2), esto nos da un numero a adimensional, G/g , de esta forma se suele caracterizar a las centrifugas según esta comparación.

Decantación Centrífuga:

En un fluido los sólidos en suspensión decantan o sedimentan con una velocidad de asentamiento V_{sg} , producto de la diferencia de densidades y el efecto de la gravedad, esto se ilustra según la ley de Stokes:

$$V_{sg} = \frac{(\rho_s - \rho)gd^2}{18\mu} \quad (6.4)$$

Donde:

V_{sg} : Velocidad de asentamiento

ρ_s : Densidad del solido

ρ : Densidad del fluido

g : Aceleración de gravedad

d : diámetro de la partícula de sólido en suspensión

μ : Viscosidad del fluido

$$V_{sG} = \frac{(\rho_s - \rho)R(\omega d)^2}{18\mu} \quad (6.5)$$

V_{sG} : Velocidad de asentamiento centrífugo

ρ_s : Densidad del sólido

ρ : densidad del fluido

R : Radio interior de la centrifuga

ω : Velocidad angular de la centrifuga

d : Diámetro de la partícula de sólido en suspensión

μ : Viscosidad del fluido

Presión centrífuga P_G :

La evacuación de los sólidos precipitados es producto de la presión centrífuga la cual es análoga a la presión hidrostática, la cual se desprecia ya que la aceleración centrífuga es considerablemente mayor a la de gravedad.

$$P_G = \omega^2 \times \rho \times R$$

Donde:

P : Densidad del fluido

R : Radio interior de la centrífuga

ω : Velocidad angular de la centrífuga

Concentración de sólidos en suspensión:

Una de las variables a considerar para el diseño o selección de una centrífuga es la concentración de los sólidos en el fluido.

La velocidad de sedimentación V_{sG} se ve afectada por la concentración de sólidos en el aceite, para ello se utiliza una relación empírica expresada en la ecuación de Richardson y Zaki:

$$\frac{V_S}{V_{Sg}} = (1 - \epsilon_S)^{4.6} \quad (6.7)$$

Donde:

V_S : Velocidad de asentamiento.

V_{Sg} : Velocidad de asentamiento según ley de Stokes, bajo la acción de G.

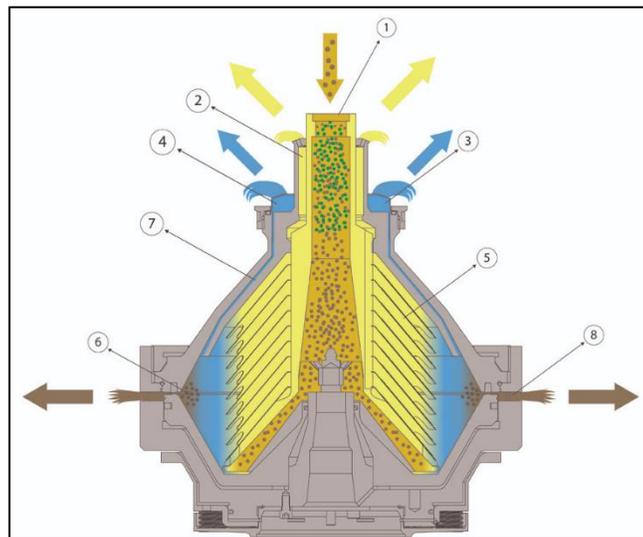
ϵ_S : La fracción de sólidos en el fluido.

Separación centrífuga continua:

Hay dos tipos predominantes de centrífugas continuas las centrífugas de discos y las decantadoras. Estas se aplican en un amplio rango de aplicaciones desde caudales menores a 1 L/m

hasta 4000L/m, para partículas desde 0,1 μ m a 25mm, concentraciones de sólido de 0.2 % a 70%, desarrollando aceleraciones que alcanzan los 15000 Gs. Para el reacondicionamiento de aceite lubricante las centrífugas de discos son las más utilizadas debido al amplio rango de operación el cual permite procesar aceites con partículas de 0.1 a 50 μ m desarrollando aceleraciones desde 4000 a 15000 Gs.

Ilustración 22 Geometría interna de un separador centrífugo de discos MBA 5433.



(HAUS, 2013)

1. Entrada de producto
2. Línea de descarga de fase ligera
3. Línea de descarga de fase pesada
4. Diafragma
5. Pila de discos (platos de forma troncocónica)
6. Volumen de descarga sólido (espacio de retención sólido)
7. Cuenco de linterna (disco de separación)
8. Línea de salida de fase sólida (línea de descarga sólida)

Hormigón y áridos.

Se estima un consumo máximo de hormigón de 540 m³ y 2.300 m³ de áridos para la fase de construcción.

CAPACIDAD MÁXIMA DE PRODUCCIÓN DE LA PLANTA

La capacidad máxima instalada de la planta está dada por:

Horario de funcionamiento

El proceso productivo de la planta será en un turno diario de 9 horas, iniciando a las 9:00 AM a 18:00 PM de Lunes a Viernes, cumpliendo con la legislación vigente que indica que un trabajador debe trabajar 45 horas semanales.

Condiciones de Operación

Se ha supuesto que la planta opera en forma permanente, entendiéndose como permanente el trabajo de un turno antes mencionado de 9 horas de lunes a viernes, durante 48 semanas del año.

Ritmo de proceso

Se realizarán trabajos 48 semanas al año, debido a que se dejarán 2 días semanales sin producir para poder ejecutar el mantenimiento respectivo de las maquinarias, lo que se traduce en 144 días de producción.

Se considera un factor de conversión del 90%, dependerá de la calidad del aceite recepcionado.

Con estos datos se determinó que la capacidad máxima instalada de proceso anual es de 2.000.000 litros y se producirían 1.800.000 litros en igual período.

Eventualmente los fines de semana podrán efectuarse labores de mantenimiento, orden y eventualmente de producción si ello es necesario.

ANTECEDENTES DE CHUQUICAMATA SUBTERRÁNEA

Nombre del Proyecto

Se denomina Proyecto “Mina Chuquicamata Subterránea”. (Piésold, 2010)

Identificación del titular del proyecto

Tabla 24 Titular del proyecto.

Titular	Corporación Nacional del Cobre, División CODELCO Norte
RUT	61.704.000-k
Domicilio	11 Norte N° 1291; Calama, II Región de Antofagasta.
Teléfonos	(56-55) 347472
Fax	(56-55) 327951
Representante Legal	Patricio Cartagena Díaz
RUT R. Legal 1	9.901.947-6
Domicilio	11 Norte N° 1291, Calama, II Región de Antofagasta.
Teléfonos	(56-55) 327838
Fax	(56-55) 327957

La constitución de CODELCO y sus divisiones está dada por el Decreto Ley N° 1.350 que crea la Corporación Nacional del Cobre, publicado en el Diario Oficial el 28 de febrero de 1976. La División CODELCO Norte de CODELCO Chile fue creada administrativamente, el 01 de agosto de 2002. (Piésold, 2010)

Objetivo y justificación del proyecto

El objetivo del Proyecto es proporcionar la continuidad a la explotación del yacimiento Chuquicamata en el largo plazo, permitiendo iniciar la extracción de las reservas a partir del noveno año de iniciada la construcción.

Básicamente, el Proyecto consiste en un cambio del método de extracción de mineral del yacimiento Chuquicamata desde rajo abierto a explotación subterránea. El tratamiento metalúrgico de los minerales continúa en la Planta Concentradora de Chuquicamata como se ejecuta en la actualidad, de modo que no forma parte del presente proyecto. (Piésold, 2010)

Vida útil y cronograma de ejecución del proyecto

El Proyecto está concebido para ser ejecutado en un plazo total aproximado de 50 años, que incluye una etapa de construcción de ocho años (año 1 a año 8) y a continuación una etapa de operación de 42 años (año 9 al año 50 de Proyecto), de acuerdo con las reservas mineras actualmente establecidas para el yacimiento de Chuquicamata y el ritmo promedio de explotación contemplado en el Plan Minero. (Piésold, 2010)

Para efectos de esta DIA, el término de la Etapa de Construcción queda definido por la habilitación de las principales obras requeridas para acceder al primer nivel de explotación de la mina y consecuentemente, el inicio a la extracción del mineral (etapa de operación).

Posterior a la etapa de operación y una vez agotadas las reservas actualmente establecidas, está considerada una etapa de cierre, a partir del año 51.

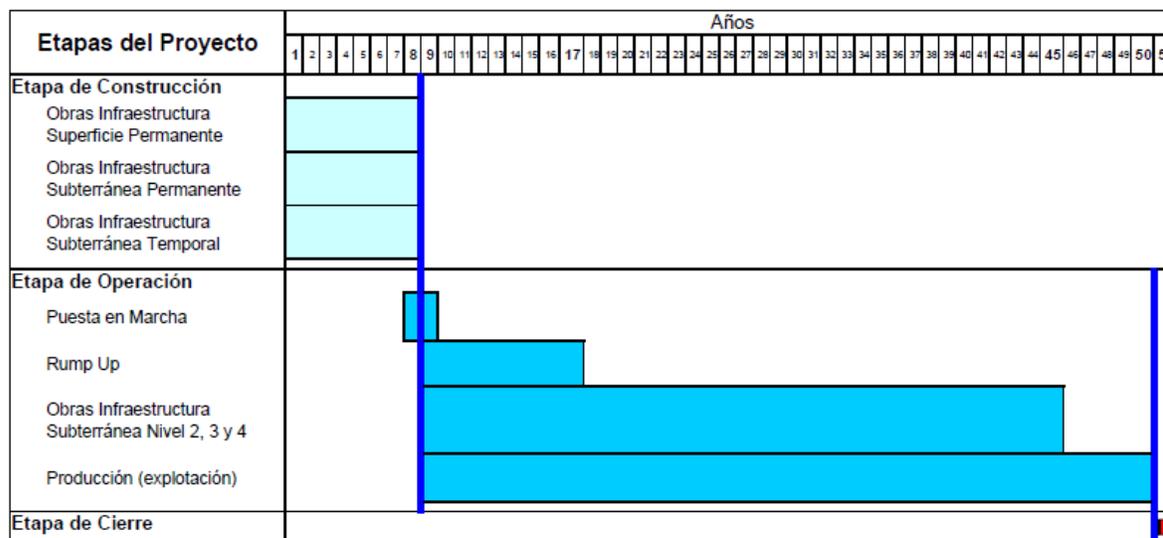
No obstante, lo señalado, se debe tener en cuenta que, debido a las características del método de explotación subterráneo, existirá una permanente necesidad de habilitar en forma paulatina los posteriores niveles de explotación de la mina, por lo cual, se continuará con actividades de construcción, hasta el año 45. (Piésold, 2010)

Las etapas consideradas para la operación son las siguientes:

- ❖ Puesta en marcha: año 8 y 9
- ❖ Operación en ramp-up, que se refiere al período que tarda la operación en conseguir el régimen de explotación de 140 ktpd. Esta etapa se inicia el año 9 y se extiende hasta el año 17.
- ❖ Operación en régimen de producción proyectado de 140 ktpd, desde el año 18 hasta el año 45, a partir del cual y hasta el año 50, comienza a declinar hasta el agotamiento de las reservas evaluadas en el Proyecto.

El siguiente cuadro muestra el cronograma general de la implementación del Proyecto estimado a la fecha de hoy y que se proyecta comenzar en el primer trimestre del año 2011, fecha que se considera como el año 1 de inicio de la construcción del Chuquicamata Subterránea. (Piésold, 2010)

Ilustración 23 Cronograma de Ejecución del Proyecto.



(Piésold, 2010)

Localización y acceso al Proyecto

Las instalaciones y obras del Proyecto Mina Chuquicamata subterránea se localizan en la Región de Antofagasta, provincia de El Loa, Comuna de Calama. El Proyecto se encuentra a unos 250 km al Noreste de la ciudad de Antofagasta. (Piésold, 2010)

Se ha definido un polígono de localización del Proyecto que incorpora el yacimiento Chuquicamata y las obras superficiales y subterráneas que considera el PMCHS. Las coordenadas UTM de los vértices son las señaladas en la tabla a continuación. (Piésold, 2010)

Tabla 25 Polígono de Localización del Proyecto.

VÉRTICE	NORTE (m)	ESTE (m)
1	7.538.871	507.442
2	7.538.871	517.465
3	7.519.541	516.673

4	7.518.524	511.474
5	7.520.709	511.021
6	7.528.471	514.413
7	7.533.822	506.839

(Piésold, 2010)

Superficie de instalaciones del proyecto

Las obras e instalaciones previstas por el Proyecto cubren una superficie de aproximadamente 606 ha, según se detalla en la tabla a continuación.

Tabla 26 Superficie requerida por las instalaciones del PMCHS.

Área	Superficie ha
Portales de inyección.	8
Brocales de piques de extracción.	2
Salida del mineral a Stock pile.	15
Instalaciones de Superficie.	150
Instalaciones de Campamento.	30
Planta de Tratamiento de Aguas Servidas y de Agua Potable Campamento.	2
Correa Overland a Planta.	44
Franja superficial del trazado de túneles de acceso principal y de túnel de salida del mineral.	200
Franja superficial del trazado de las rampas de inyección y de extracción de ventilación.	145
Caminos de acceso.	10
TOTAL	606

(Piésold, 2010)

Etapas de construcción

La etapa de construcción del Proyecto contemplará las obras y actividades del campamento, obras de desarrollo (túneles, rampas y piques y preparación mina para habilitar el primer nivel de explotación. (Piésold, 2010)

El Proyecto iniciará la construcción y habilitación de aproximadamente un 40% de la infraestructura en superficie durante el primer año de la etapa de construcción y el 60% restante gradualmente hasta el año 8.

Los principales insumos requeridos por el Proyecto durante la etapa de construcción, para iniciar la extracción del mineral, son los siguientes: (Piésold, 2010)

- ❖ Agua potable
- ❖ Agua industrial

- ❖ Energía eléctrica
- ❖ Combustibles y lubricantes
- ❖ Explosivos
- ❖ Hormigón estructural
- ❖ Acero estructural
- ❖ Fortificaciones
- ❖ Otros insumos

Lubricante

Se estima que el mayor consumo de lubricantes para abastecimiento de los equipos mineros (jumbos, equipos para shotcrete, LHD, camiones) durante las actividades de construcción se producirá en el año 5 con 280 m³ aproximadamente. (Piésold, 2010)

Etapas de operación

La etapa de operación del proyecto comenzará en el año 9 y continuará con el ramp up hasta alcanzar el régimen en el año 17, con una producción anual 50.400 kt (140 ktpd) de mineral, la que continuará hasta el año 42. (Piésold, 2010)

Para los cálculos de requerimientos de insumos, transporte y de manejo y disposición de residuos y efluentes, para la etapa de operación del proyecto, se considera el año 25 de Proyecto, en que se alcanza la máxima dotación en faena, con 2764 trabajadores (964 propios de Codelco y 1.800 contratistas). (Piésold, 2010)

Lubricantes de equipos principales

El aceite lubricante requerido para el mantenimiento se almacenará en una bodega de lubricantes emplazada en los recintos de la Bodega Central, de acuerdo con la normativa vigente y a las normas corporativas de CODELCO, respecto a estas materias. (Piésold, 2010)

El consumo de lubricantes alcanzará el máximo para la etapa de operación en el año 18 con un requerimiento aproximado de 430 m³. (Piésold, 2010)

CAPÍTULO 4: ESTUDIO LEGAL Y AMBIENTAL

NORMATIVA DE LOS ACEITES LUBRICANTES USADOS

Disposición y manejo de aceites usados

Los aceites usados son considerados residuos peligrosos por parte del Servicio Nacional de Salud de acuerdo con el decreto supremo N°148 de 16 de Junio de 2004 “Reglamento sanitario sobre manejo de residuos peligros”, Artículo 18, listado I, Item I.8. (Jones, 2007)

De acuerdo con el reglamento se considera el reciclaje del aceite usado una alternativa de disposición final. (Jones, 2007)

Almacenamiento

Dado a que son sustancias consideradas peligrosas por su inflamabilidad y por contener sustancias tóxicas, deben ser almacenados de acuerdo con lo indicado en el Reglamento, deben ser recolectados y almacenados en contenedores resistentes y debidamente rotulados. (Jones, 2007)

Reciclaje

Existen varias empresas autorizadas por el Servicio Nacional de Salud que reciclan aceite usado. (Jones, 2007)

Tabla 27 Empresas autorizadas a nivel nacional

NOMBRE	DIRECCION	FONO/FAX	ENCARGADO	RUBRO
Hidronor Chile S.A.	Vizcaya N° 260, Pudahuel.	2118060	José Irureta	Planta de tratamiento de residuos industriales sólidos, líquidos, askareles.
Bravo Energy Chile S.A.	La Concepción N° 81, of. 611, Providencia. Av. Las Industrias N°12600, Maipú	5350514 5352230	Nelson Belmar	Planta de preparación de combustible alternativo aceite y solventes
Recycling Instruments Ltda.	Cerro Santa Lucía N°9.981-C, Quilicura.	7471241 7471162	Miguel Infeld	Recicladora de solventes y aceites hidráulicos.
Química Ecopar	Calle Eucaliptus s/n, parcela N°110, loteo N° 2, Aguas Buenas, San Antonio, V Región.	5357021 35-231147	Andrés Rivera, Patricio Soza	Recicladora de solventes y aceites hidráulicos.
Petroquímica Futuroil Ltda.	Camino Lo Castro, parcela N° 9, Lampa.	8426153 8426277	Jorge Silva	Re-refinación de aceite lubricante usado.
Castañeda Hnos.	Camino Santa Margarita. Parcela 7 Sitio 21. San Bernardo	5344285 5313224	Enrique Castañeda	Re-refinación de aceite lubricante usado.

(Jones, 2007)

Las fuentes generadoras deben entregar el aceite usado a estas empresas para ser reciclado de acuerdo con el procedimiento establecido por la autoridad competente. (Jones, 2007)

La implementación de un manejo adecuado de los aceites usados por parte de las fuentes emisoras, debe incorporar el reciclaje completo de los aceites usados, con un sistema programado de retiro de los contenedores, los cuales deben estar debidamente rotulados. (Jones, 2007)

Destino y reutilización de los aceites usados.

Si bien el Servicio Nacional de Salud es claro respecto a la disposición de los aceites usados, en la practica la normativa no es cumplida por parte de todas las fuentes de emisión, y los aceites usados toman como destino vertederos, alcantarillados o son reutilizados sin un debido tratamiento trayendo consigo todas estas alternativas un alto costo en términos medioambientales. (Jones, 2007)

Uso como combustible en calderas.

El poder calorífico de los aceites usados es similar a los combustibles Fuel Oil 5 y 6 para calderas tradicionales, y para utilizarlo no es necesario efectuar modificaciones relevantes en los quemadores de estas. (Jones, 2007)

Adulteración.

Esta práctica es desarrollada principalmente por comerciantes minoristas de reventa y recolección que solo someten al aceite usado a un filtrado rudimentario, para posteriormente mezclarlo con aceites lubricantes baratos y comercializarlo en envases de alguna marca conocida. Los principales consumidores de estos aceites son los vehículos de la locomoción colectiva y taxis. (Jones, 2007)

Tratamiento de caminos (matapolvo).

Comúnmente se utiliza aceite usado en el tratamiento de caminos para evitar que se levante excesivo polvo, esta práctica es muy frecuente en áreas mineras, agrícolas y forestales. Generando un grave daño ambiental en la tierra y las napas subterráneas. (Jones, 2007)

La disposición de los aceites usados según ISO 14001

La serie de normas ISO 14000, no hace referencia al respecto, ya que no es su naturaleza. Pero los aceites usados están sujetos a normativas que rigen para todas las fuentes de emisión, por lo tanto, aquellas empresas que están certificadas por ISO 14001, deben contemplar la disposición final de sus residuos, en su modelo de gestión ambiental. (Jones, 2007)

Otros.

Volúmenes significativos de aceites usados son empleados inapropiadamente en la impregnación de postes y estacas usadas en los predios agrícolas y forestales, en la lubricación de cadenas de motosierras, en la quema para proteger los predios frutales de las heladas, como desmoldante de concreto en la construcción, etc. (Jones, 2007)

NORMATIVA QUE RIGE EL MERCADO DE LOS ACEITES LUBRICANTES USADOS EN CHILE

En relación con la gestión de aceites lubricantes usados, por tratarse de residuos peligrosos, el almacenamiento, transporte y disposición final se encuentra regulado en el Decreto Supremo 148, de 2003, del Ministerio de Salud. Este cuerpo legal, en su artículo 18 detalla tres listas de residuos peligrosos. En la lista I, numeral I.8), incluye los aceites minerales residuales no aptos para el uso al que estaban destinados y en el numeral I.9) las mezclas y emulsiones residuales de aceite y agua o de hidrocarburos y agua. (GESCAM S.A., 2017)

Entre las disposiciones relevantes para efectos del presente Estudio se encuentran las siguientes:

- ❖ El artículo 3 define como generador al “titular de toda instalación o actividad que de origen a residuos peligrosos”. En consecuencia, cabe bajo esta definición todo establecimiento que cambie aceites para sí o para terceros.
- ❖ El Título III regula a los Generadores y se inicia con el artículo 25 que establece que: “Las instalaciones, establecimientos o actividades que anualmente den origen a más de 12 kilogramos de residuos tóxicos agudos o a más de 12 toneladas de residuos peligrosos que presenten cualquier otra característica de peligrosidad deberán contar con un Plan de Manejo de Residuos Peligrosos presentado ante la Autoridad Sanitaria.
Este último está regulado en el artículo 26.
- ❖ Para los generadores afectos a un Plan de Manejo, el artículo 27 dispone que, para el caso, “...que encomienden a terceros el transporte y/o la eliminación de sus residuos peligrosos serán responsable de:
 - A. retirar y transportar los residuos peligrosos a través de transportistas que cuenten con autorización sanitaria,
 - B. realizar la eliminación de sus residuos peligrosos en instalaciones de eliminación que cuenten con la debida Autorización Sanitaria que comprenda tales residuos,
 - C. proporcionar oportunamente la información correspondiente al Sistema de Declaración y Seguimiento de Residuos Peligrosos y entregar al transportista las respectivas Hojas de Seguridad para el Transporte de Residuos Peligrosos.
- ❖ El párrafo final del mismo artículo dispone que “Los Generadores que no estén obligados a sujetarse a un Plan de Manejo de Residuos Peligrosos deberán en todo caso, cumplir con la obligación señalada en la letra b) precedente”.
- ❖ El Título IV regula las condiciones de Almacenamiento. El artículo 29 dispone que “...todo sitio destinado para el almacenamiento de residuos peligrosos deberá contar con

la correspondiente autorización sanitaria...”. Para obtener dicha autorización, los sitios de almacenamiento (artículo 33) deben cumplir las siguientes condiciones:

- A. Tener una base continua, impermeable y resistente estructural y químicamente a los residuos.
 - B. Contar con un cierre perimetral de a lo menos 1,80 metros de altura que impida el libre acceso de personas y animales.
 - C. Estar techados y protegidos de condiciones ambientales tales como humedad, temperatura y radiación solar.
 - D. Garantizar que se minimizará la volatilización, el arrastre o la lixiviación y en general cualquier otro mecanismo de contaminación del medio ambiente que pueda afectar a la población.
 - E. Tener una capacidad de retención de escurrimientos o derrames no inferior al volumen del contenedor de mayor capacidad ni al 20% del volumen total de los contenedores almacenados.
 - F. Contar con señalización de acuerdo con la Norma Chilena NCh 2.190 Of 93.
- ❖ El artículo 35 dispone que el sitio de almacenamiento de residuos reactivos o inflamables (caso de los aceites usados) deberá estar a 15 metros, a lo menos, de los deslindes de la propiedad.
 - ❖ El Título V regula el Transporte, estipulando que “sólo podrán transportar residuos peligrosos por calles y caminos públicos las personas naturales o jurídicas que hayan sido autorizadas por la Autoridad Sanitaria, autorización que tendrá validez para todo el territorio nacional” (artículo 36).
 - ❖ El transportista será responsable de que la totalidad de la carga de residuos peligrosos sea entregada en el sitio de destino fijado en el correspondiente formulario del Sistema

de Declaración y Seguimiento de Residuos Peligrosos (SIDREP), establecido en el Título VII del presente reglamento.

- ❖ No se podrá transportar residuos peligrosos sin portar el respectivo Documento de Declaración establecido en el Título VII del presente reglamento y sin las respectivas Hojas de Seguridad de Transporte de Residuos Peligrosos.
- ❖ La única excepción a lo anterior está en el artículo 42 que dice: “Lo dispuesto en el presente Título no será aplicable al transporte de residuos peligrosos en cantidades que no excedan de 6 kilogramos de residuos tóxicos agudos o de 2 toneladas de cualquier otra clase de residuos peligrosos, cuando éste sea efectuado por el propio generador que, además, se encuentre exceptuado de presentar planes de manejo.”
- ❖ Respecto de las operaciones de Eliminación, el Título IX define las operaciones a las que podrán someterse los residuos clasificados como peligrosos, disponiendo que toda Instalación de Eliminación de Residuos Peligrosos deberá contar con la respectiva autorización otorgada por la Autoridad Sanitaria, en la que se especificará el tipo de residuos que podrá eliminar y la forma en que dicha eliminación será llevada a cabo ya sea mediante tratamiento, reciclaje y/o disposición final.
- ❖ El artículo 60, letra c) prohíbe eliminar en rellenos de seguridad los aceites residuales como, asimismo, los envases o recipientes vacíos.
- ❖ Finalmente, el artículo 86 dispone que las únicas operaciones de eliminación a las que pueden someterse los aceites usados serán la regeneración de ácidos o bases y la recuperación o reutilización de aceites usados.

ACUERDOS DE PRODUCCIÓN LIMPIA

Acuerdos de Producción Limpia Relacionados. (GESCAM S.A., 2017)

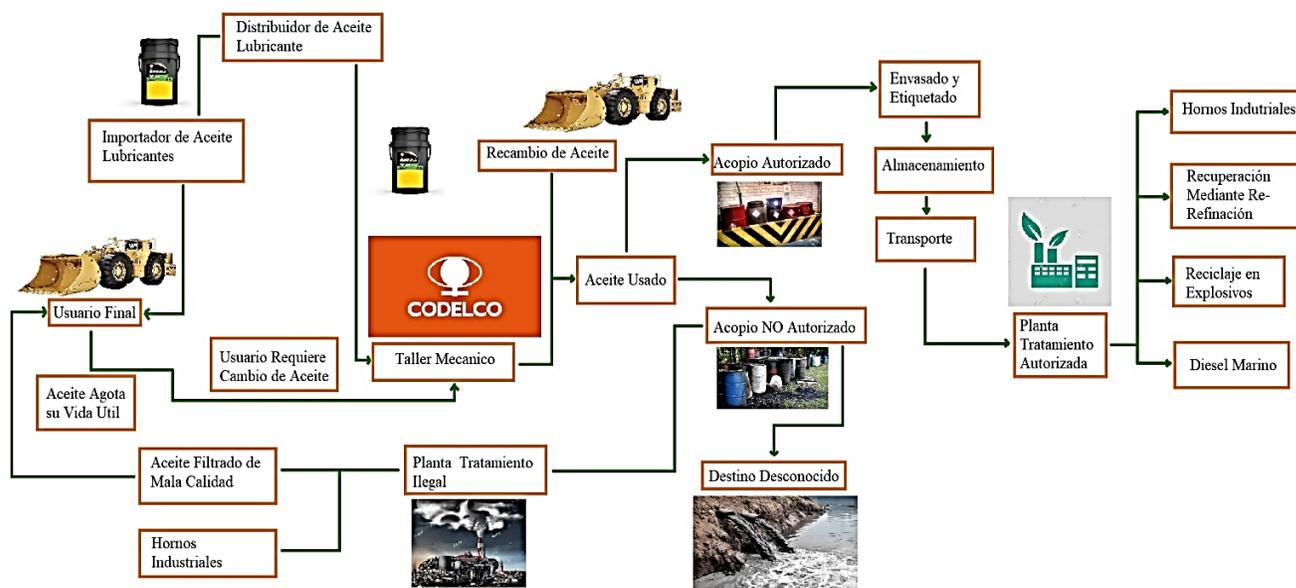
Para el caso de los aceites, actualmente el acuerdo de producción limpia establece 4 metas, que son:

- ❖ Meta N°1: Diseñar e iniciar la operación de un sistema de gestión colectivo que recolecte 5.600 toneladas de aceites lubricantes usados en 24 meses, mejorando la trazabilidad actual.
- ❖ Meta N°2: Mejorar la información base del sector, como insumo para el futuro decreto supremo que establecerá metas de recolección y valorización.
- ❖ Meta N°3: Evaluar la capacidad de tratamiento y reciclaje de los aceites lubricantes usados de manera de promover nuevas alternativas en base a la jerarquía para el manejo de residuos.
- ❖ Meta N°4: Promover acciones de capacitación y difusión para los distintos actores del rubro de aceites lubricantes.

CICLO DE VIDA DE LOS DE LOS ACEITES LUBRICANTES Y ACEITES LUBRICANTES USADOS

El Ciclo de Vida del Aceite Lubricante y posteriormente sus residuos, se puede representar de la siguiente forma.

Ilustración 24 Ciclo de vida de los de los aceites lubricantes.



(GESCAM S.A., 2017)

En Chile no se fabrica aceite lubricante, por lo tanto, todo lo que se consume es importado, ya sea a través de marcas propias de grandes distribuidores o se traen las bases y los aditivos para envasar productos propios con mezclas diseñadas en el país. La figura expuesta anteriormente deja en evidencia cada una de las etapas y actores que deben intervenir desde la importación del aceite lubricante industrial hasta su transformación en residuo o Aceite Lubricante Usado (ALU).

El proceso se inicia con la importación, luego de lo cual el importador y/o distribuidor lo colocan a disposición de los consumidores finales ya sea venta directa a mayorista, grandes usuarios directos (flotas de camiones, buses, mineras, etc.) o a través de sus propios puntos de venta, cadenas de ferretería (Sodimac, Easy), servicentros, servitecas o talleres mecánicos. En la categoría industrial se deben considerar el aceite lubricante de motor, el de Caja y el utilizado para lubricar el Diferencial de los vehículos. (GESCAM S.A., 2017)

Una vez que el aceite lubricante alcanza el fin de su vida útil, el consumidor particular

normalmente acude a un Taller Mecánico para que le extraigan el ALU y lo reemplacen por lubricante nuevo

En este caso, el ALU queda en el taller mecánico y si éste tiene convenio con algún gestor autorizado (VIA LIMPIA, ECOVALOR u otro), el taller lo acopia en tambores hasta que solicita su retiro. A partir de ese momento, el responsable de su transporte a destino final autorizado es el transportista. Si el Taller no tiene convenio con ningún Gestor, entonces su destino final es desconocido. (GESCAM S.A., 2017)

En el caso de los aceites industriales la generación de ALU se concentra mayoritariamente en la Región Metropolitana (88% en promedio entre 2014 y 2015) y en la Región del Bío Bío (6% en promedio en los mismos años), y proviene de la industria metalúrgica, textil, de productos alimenticios, cemento, industria química y del plástico, construcción de maquinarias, producción y distribución de energía eléctrica, industria del vidrio, de la construcción, extractiva de la pesca y la industria manufacturera, en general. (GESCAM S.A., 2017)

De acuerdo con la normativa vigente, aquellas actividades que anualmente den origen a más de 12 toneladas de residuos peligrosos, en este caso ALU, deberán contar con un Plan de Manejo de Residuos Peligrosos. Además, el transporte y la eliminación, deberá llevarse a cabo por gestores con autorización sanitaria que comprenda tales residuos, proporcionando oportunamente

la información correspondiente al Sistema de Declaración y Seguimiento de Residuos Peligrosos (SIDREP). Por otra parte, los Generadores que no estén obligados a realizar un Plan de Manejo de Residuos Peligrosos, deberán igualmente cumplir con la obligación de recurrir a gestores autorizados para el transporte y/o eliminación.

En resumen, la normativa actual establece que todo establecimiento que genere menos de 5 tambores de 200 litros mensuales (aprox. 1.000 kg/mes) de ALU, aun cuando está obligado a transportar y eliminar estos residuos con empresas autorizadas, no está obligado a informar su

generación mediante el SIDREP. Esta situación, en un mercado atomizado de generadores con actividad de venta y recambio de aceites lubricantes o de pequeñas empresas manufactureras, es sin duda un factor importante que impide alcanzar una mayor trazabilidad de estos residuos.

Finalmente, aquellos ALU que llegan a destinos autorizados para su valorización, se someten a procesos de tratamiento para su re-refinación, u otros que los valorizan para su utilización como combustible alternativo o para la fabricación de explosivos para la minería. (GESCAM S.A., 2017)

RIESGOS QUE GENERA EL ACEITE LUBRICANTE USADO AL MEDIO AMBIENTE Y AL SER HUMANO

El aceite usado procedente de vehículos y maquinaria industrial es uno de los residuos más contaminantes que existen. Durante su utilización, estos lubricantes se degradan originando sustancias tóxicas y metales pesados que se producen por la exposición a altas temperaturas y presión dentro de los motores, máquinas y procesos donde se utilizan. (SIGAUS, 2020)

Un litro de aceite puede llegar a formar una mancha de 4.000 metros cuadrados en suelos afectados y un galón de aceite puede contaminar un millón de galones de agua fresca, la misma que se vuelve inservible para el consumo humano y para la vida animal. (Andrade Pandilla, 2015)

Riesgos potenciales

Los riesgos ambientales que presentan los aceites usados son principalmente: (Andrade Pandilla, 2015)

- Contaminación Hídrica.
- Contaminación atmosférica.
- Contaminación del aire.
- Contaminación del suelo.
- Afectación a la salud de las personas.

Contaminación hídrica

Se produce cuando se le agrega o deposita algún material o sustancia tóxica, y eso afecta a su comportamiento habitual, la contaminación de las aguas puede provenir de algunas fuentes naturales o de actividades humanas. En la actualidad la más importante sin duda es la antrópica, provocada por el hombre. (Andrade Pandilla, 2015)

Las aguas superficiales son en general más vulnerables a la contaminación de origen antropogénico que las aguas subterráneas, por su exposición directa a la actividad humana. Por

otra parte una fuente superficial puede restaurarse más rápidamente que una fuente subterránea a través de ciclos de escorrentía estacionales. (Andrade Pandilla, 2015)

Los efectos sobre la calidad serán distintos para lagos y embalses que para ríos, y diferentes para acuíferos de roca, arena, grava, la mezcla de aceites con el agua conlleva diferentes problemas ecológicos. Uno de los puntos ambientales donde puede producirse una contaminación muy importante es en el agua. (Andrade Pandilla, 2015)

El lubricante que se pierde de los mecanismos, el que se elimina a través de desagües y que alcanza las capas freáticas deteriora notablemente la calidad de las mismas. (Andrade Pandilla, 2015)

Los aceites no se disuelven en el agua, no son biodegradables, forman películas impermeables que impiden que el oxígeno contenido en el aire se disuelva en el agua, perturbando seriamente el desarrollo de la vida acuática, esparcen productos tóxicos que pueden ser ingeridos por los seres humanos de forma directa o indirecta. Los hidrocarburos en el mar podrían tardar aproximadamente de 10 a 15 años para su eliminación. (Andrade Pandilla, 2015)

Los aceites, arrojados a las aguas, se propagan rápidamente con una película de un grosor de 0,2 a 1mm. 300 litros de aceite por km^2 ya producen una película visible. La consecuencia no es solo la película visible, sino presenta un peligro permanente para la vida de aves y otros animales, que utilizan estas aguas para su vida. Más grave todavía es el cambio del estado biológico de las aguas. (Andrade Pandilla, 2015)

Cuando el aceite llega a las aguas subterráneas, no se puede utilizar esta agua como agua potable, ni para el riego de plantaciones, por la toxicidad de los aditivos y además, por el sabor y el olor del agua tornándose ésta en inutilizable. (Andrade Pandilla, 2015)

Efectos en la salud por la contaminación del agua

Los daños a la salud por la contaminación del agua dependen del agente contaminante y del uso que se le dé al agua; sin embargo los más frecuentes son los provocados por el consumo directo del agua contaminada con organismos patógenos proveniente de las aguas residuales sin o con escasos tratamientos; también presentan infecciones en la piel, cuando hay contacto del cuerpo con las aguas contaminadas, como sucede en balnearios o playas. (Andrade Pandilla, 2015)

Contaminación atmosférica

La contaminación atmosférica no es un sujeto pasivo de la contaminación todos los fenómenos meteorológicos pueden jugar un papel importante en la evolución de los contaminantes en la atmósfera y, por lo tanto, algunos aspectos relacionados con estos fenómenos deben tenerse en cuenta: los aspectos meteorológicos, los contaminantes del aire, contaminantes gaseosos y vehículos automóviles. (Andrade Pandilla, 2015)

Aspectos meteorológicos

El viento, la humedad, la inversión térmica y la precipitación tienen un papel importante en el aumento o disminución de la contaminación, las precipitaciones en forma de agua o nieve tienen un efecto de limpieza del aire pero evidentemente los contaminantes pasan de la tierra al agua, así pues, el plomo proveniente del combustible puede concentrarse en las autopistas y carreteras. (Andrade Pandilla, 2015)

Contaminantes del aire

Cualquier sustancia que añadida a la atmosfera produzca un efecto sobre las personas o el ambiente puede ser clasificado de contaminante, así pues las partículas en suspensión o en las especies radioactivas producidas en los ensayos radioactivas están también incluidas (Andrade Pandilla, 2015)

Contaminación del suelo

Un galón de aceite usado puede llegar a formar una mancha de 15 000 m². Los aceites usados generalmente llegan al suelo por descuido o intencionadamente para sustituir el asfalto o evitar el polvo etc. (Andrade Pandilla, 2015)

Según estudios sobre la efectividad de los aceites usados como un aglutinante del polvo en las carreteras, resulta que solo el 1% de la cantidad del aceite es efectivo para este fin. Del 70 al 75% serán lavados por las lluvias o por el viento en conjunto con el polvo, del 20 al 25% por evaporación y destrucción biológica. (Andrade Pandilla, 2015)

Los aceites lavados por las lluvias causan una fuerte contaminación de las áreas aledañas de las carreteras con graves consecuencias. (Andrade Pandilla, 2015)

Los efectos de los aceites al suelo son importantes por varias razones: (Andrade Pandilla, 2015)

- El aceite se acumula en el suelo, representando un peligro para la vida micro- orgánica y las plantas. El aceite impide, por la eliminación de oxígeno, la libre germinación de las plantas.
- Por filtración puede llegar a las aguas subterráneas.
- El aceite vertido al suelo se filtra primero por las capas superficiales. Con el tiempo, por la gravedad, se filtra a las capas más profundas hasta llegar a un material impermeable o al agua subterránea. La velocidad de filtración depende de la viscosidad de aceite y por supuesto de la densidad del suelo.
- Los aceites usados tienen las siguientes consecuencias negativas para el suelo:
- Alteración de las propiedades físicas del suelo (reducción de capacidad de absorción y filtración).
- Aumentar la sensibilidad para infecciones de plantas.
- Influencia al crecimiento de plantas.

- Obstaculizar la acumulación de aguas y sustancias alimenticias.
- Disminución de la calidad del suelo por influencia a la fauna subterránea (bacterias, lombrices etc.)
- Sustracción de oxígeno y sustancias alimenticias por poblaciones de organismos biológicos no propios del suelo
- Los suelos contaminados por aceites usados deben ser evacuados hasta la profundidad en donde se encuentra restos de aceites.

Afectación a la salud de las personas

Los aceites usados pueden afectar la salud de las personas por las siguientes razones: (Andrade Pandilla, 2015)

- Porque contienen aditivos, estas sustancias pueden tener componentes tóxicos que por acumulación en las plantas llegan a la cadena alimenticia humana.
- Los elementos tóxicos generados por el aceite usado en el agua son totalmente cancerígenos, pueden causar mutaciones, daños genéticos, lesiones cerebrales y óseas.

IMPACTOS AMBIENTALES DE LOS ACEITES LUBRICANTES USADO

Los ALU se clasifican como residuo peligroso, según el DS 148/03, por lo que existen potenciales riesgos y daños por su gestión inadecuada, entre los que se cuentan: (Cooperación Chileno-Alemana; MMA ; GIZ, 2011)

- Un litro de aceite usado genera una mancha de 4.000 m² en la superficie del agua y contamina 1.000.000 litros de la misma, permaneciendo entre 10 a 15 años.
- El vertimiento al suelo genera una película que termina destruyendo el humus vegetal la fertilidad. Puede existir lixiviación de componentes del aceite y trazas de metales

presentes, facilitada en suelos con condiciones ácidas, con riesgo de contaminar napas subterráneas.

- Su disposición en rellenos sanitarios o vertederos detiene los procesos naturales de degradación orgánica presentes, ya que posee un bajo índice de biodegradabilidad y tiende a absorberse en la materia orgánica.
- La utilización directa del aceite residual como combustible puede generar 5 veces más contaminación que la producida por el aceite previamente tratado. La incineración inadecuada de 5 litros de aceite provocaría la contaminación del aire respirable por una persona durante tres años (equivalente a 1 millón de m³).

CAPÍTULO 5: EVALUACIÓN ECONÓMICA

INVERSIÓN DEL PROYECTO

La inversión del proyecto consta de los equipos mencionados en el capítulo de estudio técnico de la planta, a continuación, la tabla resumen de la inversión.

Tabla 28 Tabla de inversión.

Inversión		Unidad
Equipos Planta	USD 304.500	USD
Materiales de Construcción Planta	USD 90.118	USD
Material Operación Planta	USD 9.890	USD
Iluminación Planta	USD 828	USD
RESPEL	USD 31.250	USD
Total Inversión	USD 436.586	USD

DEPRECIACIONES DE LOS EQUIPOS DE LA PLANTA

En la tabla a continuación quedan expresadas las depreciaciones desarrolladas según la tabla de vida útil de los bienes físicos del activo inmovilizado del proyecto.

Tabla 29 Depreciación equipo COT 2000.

N°	ITEM	Saldo Fijo	SII	Años Vida Útil	Años	Lineal
1	COT 2000	USD 20.000	Maquinarias y equipos en general.	15	1	USD 1.333
					2	USD 1.333
					3	USD 1.333
					4	USD 1.333
					5	USD 1.333
					6	USD 1.333
					7	USD 1.333
					8	USD 1.333
					9	USD 1.333
					10	USD 1.333
					11	USD 1.333
					12	USD 1.333
					13	USD 1.333
					14	USD 1.333
					15	USD 1.333
Total						USD 20.000
Valor Salvamento						USD 6.667

Tabla 30 Depreciación HAUS - MBA 3162-30.

N°	ITEM	Saldo Fijo	SII	Años Vida Útil	Años	Lineal
----	------	------------	-----	----------------	------	--------

2	HAUS - MBA 3162-30	USD 280.000	Maquinarias y equipos en general.	15	1	USD 18.667
					2	USD 18.667
					3	USD 18.667
					4	USD 18.667
					5	USD 18.667
					6	USD 18.667
					7	USD 18.667
					8	USD 18.667
					9	USD 18.667
					10	USD 18.667
					11	USD 18.667
					12	USD 18.667
					13	USD 18.667
					14	USD 18.667
					15	USD 18.667
Total						USD 280.000
Valor Salvamento						USD 93.333

Tabla 31 Depreciación Iluminaria Interior.

N°	ITEM	Saldo Fijo	SII	Años Vida Útil	Años	Lineal
3	Iluminaria Interior	USD 108	Letreros camineros y luminosos.	10	1	USD 11
					2	USD 11
					3	USD 11
					4	USD 11
					5	USD 11
					6	USD 11
					7	USD 11
					8	USD 11
					9	USD 11
					10	USD 11
Total						USD 108
Valor Salvamento						USD 0

Tabla 32 Depreciación Iluminaria Exterior.

N°	ITEM	Saldo Fijo	SII	Años Vida Útil	Años	Lineal
4	Iluminaria Exterior	USD 720	Letreros camineros y luminosos.	10	1	USD 72
					2	USD 72
					3	USD 72
					4	USD 72
					5	USD 72
					6	USD 72
					7	USD 72
					8	USD 72
					9	USD 72
					10	USD 72
Total						USD 720
Valor Salvamento						USD 0

Tabla 33 Depreciación galpón.

N°	ITEM	Saldo Fijo	SII	Años Vida Útil	Años	Lineal
5	Galpón	USD 90.118	Galpones de madera o estructura metálica.	20	1	USD 4.506
					2	USD 4.506
					3	USD 4.506
					4	USD 4.506
					5	USD 4.506
					6	USD 4.506
					7	USD 4.506
					8	USD 4.506
					9	USD 4.506
					10	USD 4.506
					11	USD 4.506
					12	USD 4.506
					13	USD 4.506
					14	USD 4.506
					15	USD 4.506
					16	USD 4.506
					17	USD 4.506
					18	USD 4.506
					19	USD 4.506
					20	USD 4.506
Total						USD 90.118
Valor Salvamento						USD 45.059

MANTENCIÓN DE LOS EQUIPOS

En la siguiente tabla se expresa el costo de las mantenciones de los equipos utilizados en planta.

Tabla 34 Mantención de los equipos al mes.

mantención Equipos Mes	Cantidad	Costo	Unidad
COT 2000	2	USD 2.000	USD
HAUS - SBA 5422	1	USD 2.800	USD
Indicador COT	4	USD 0	USD
Contador digital de aceite	2	USD 0	USD
Pre calentador COT	2	USD 0	USD
Total		USD 4.800	USD

Tabla 35 Mantención de los equipos al año escenario 1.

Mantención Equipos Año	Costo	Unidad
Total	USD 19.200	USD

Tabla 36 Costo de mantenciones por año del escenario 1.

E1 / Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Total Mantenciones	USD 19.200	USD 19.814,40	USD 20.448,46	USD 21.102,81	USD 21.778,10	USD 22.475,00	USD 23.194,20	USD 23.936,42	USD 24.702,38	USD 25.492,86

Tabla 37 Mantención de los equipos al año escenario 2.

Mantención Equipos Año	Costo	Unidad
Total	USD 19.200	USD

Tabla 38 Costo de mantenciones por año del escenario 2.

E2 / Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Total Mantenciones	USD 19.200	USD 19.814,40	USD 20.448,46	USD 21.102,81	USD 21.778,10	USD 22.475,00	USD 23.194,20	USD 23.936,42	USD 24.702,38	USD 25.492,86

Tabla 39 Mantención de los equipos al año escenario 3.

Mantención Equipos Año	Costo	Unidad
Total	USD 57.600	USD

Tabla 40 Costo de mantenciones por año del escenario 3.

E3 / Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Total Mantenciones	USD 57.600	USD 59.443,20	USD 61.345,38	USD 63.308,43	USD 65.334,30	USD 67.425,00	USD 69.582,60	USD 71.809,25	USD 74.107,14	USD 76.478,57

MANO DE OBRA DE LA PLANTA

En la siguiente tabla quedan expresado el costo de la mano de obra de la planta de reciclaje.

Tabla 41 Costo mano de obra al mes.

Mano de Obra			
Mano de Obra Mes			
Cargo	N°	Sueldo	Unidad
Operador	2	2000	USD/mes
Jefe de Planta	1	1200	USD/mes

Total	3200	USD/mes
-------	------	---------

Tabla 42 Costo mano de obra al año.

Mano de Obra Año			
Cargo	Nº	Sueldo	Unidad
Operador	2	24000	USD/Año
Jefe de Planta	1	14400	USD/Año
Total		38400	USD/Año

Tabla 43 Costo de mano de obra por año.

Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Sueldo	USD									
Operador x2	24.000	24.768	25.561	26.379	27.223	28.094	28.993	29.921	30.878	31.866
Sueldo Jefe Planta	USD 14.400	USD 14.861	USD 15.336	USD 15.827	USD 16.334	USD 16.856	USD 17.396	USD 17.952	USD 18.527	USD 19.120
Total Año	USD 38.400	USD 39.629	USD 40.897	USD 42.206	USD 43.556	USD 44.950	USD 46.388	USD 47.873	USD 49.405	USD 50.986

ESTIMACIÓN COSTOS DE ENERGÍA

Estimación de costos de energía de la planta en funcionamiento, considerando 0,09756 US\$/kWh.

Tabla 44 Costos de energía Escenario 1.

Gasto Energía en Operación		
ITEM	Gasto Energía Mensual	Unidad
Equipos Planta	38,60	USD
Iluminación Interior	0,04	USD
Iluminación Exterior	0,19	USD
Total Gasto Energía Mes	38,82	USD
Total Gasto Energía Año	465,87	USD

Tabla 45 Gasto energía por año escenario 1.

Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Total Gasto Energía por Año	USD 466	USD 477	USD 488	USD 499	USD 511	USD 523	USD 536	USD 548	USD 561	USD 574

Tabla 46 Costos de energía Escenario 2.

Gasto Energía en Operación

ITEM	Gasto Energía Mensual	Unidad
Equipos Planta	38,60	USD
Iluminación Interior	0,04	USD
Iluminación Exterior	0,19	USD
Total Gasto Energía Mes	38,82	USD
Total Gasto Energía Año	465,87	USD

Tabla 47 Gasto energía por año escenario 2.

Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Total Gasto Energía por Año	USD 466	USD 477	USD 488	USD 499	USD 511	USD 523	USD 536	USD 548	USD 561	USD 574

Tabla 48 Costos de energía Escenario 3.

Gasto Energía en Operación + 25%		
ITEM	Gasto Energía Mensual	Unidad
Equipos Planta	57,89	USD
Iluminación Interior	0,05	USD
Iluminación Exterior	0,29	USD
Total Gasto Energía Mes	58,23	USD
Total Gasto Energía Año	698,80	USD

Tabla 49 Gasto energía por año escenario 3.

Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Total Gasto Energía por Año	USD 699	USD 715	USD 732	USD 749	USD 767	USD 785	USD 803	USD 822	USD 842	USD 861

ESTIMACIÓN DE PRODUCCIÓN

Se proyecta en el escenario 1 bajo producir a una tasa de 4 Litros por minuto, equivalente a un 90% del caudal de la capacidad productiva del equipo. Trabajando 157 horas al mes, equivalente a 8,7 días al mes compuesto por 2 turnos de 9 horas al día.

El precio con el que se proyecta el flujo de caja es del 80% menos que el precio de venta de un litro de aceite para lubricar cadenas de motosierra, rodamientos, etc, este valor equivale 1USD/L. Valor muy por debajo del precio de venta en el mercado minorista para aceites de similares

características, el cual bordea 5USD/L aproximadamente y se considera la venta de alquitrán a 0.5USD/L.

Tabla 50 Producción de aceite base y alquitrán anual del escenario 1 bajo.

producción Año		Unidad
Aceite Lubricante Base	406800	Litros
Aceite Lubricante Base	406,8	m3
Alquitrán	45200	Litros
Alquitrán	45,2	m3

Se proyecta en el escenario 2 medio producir a una tasa de 4 Litros por minuto, equivalente a un 90% de la capacidad productiva del equipo. Trabajando 149,34 horas al mes, equivalente a 8,2 días al mes compuesto por 2 turnos de 9 horas al día.

El precio con el que se proyecta el flujo de caja es del 70% menos que el precio de venta de un litro de aceite para lubricar cadenas de motosierra, rodamientos, etc., que equivale 1.5USD/L. Valor muy por debajo del precio de venta en el mercado minorista para aceites de similares características, el cual bordea 5USD/L aproximadamente y se considera la venta de alquitrán a 0.5USD/L.

Tabla 51 Producción de aceite base y alquitrán al año del escenario 2 medio.

producción Año		Unidad
Aceite Lubricante Base	387000	Litros
Aceite Lubricante Base	387	m3
Alquitrán	43000	Litros
Alquitrán	43	m3

Se proyecta en el escenario 3 alto producir a una tasa de 4 Litros por minuto, equivalente a un 90% de la capacidad productiva del equipo. Trabajando 695 horas al mes, equivalente a 29 días al mes.

El precio con el que se proyecta el flujo de caja es del 88% menos que el precio de venta de un litro de aceite para lubricar cadenas de motosierra, rodamientos, etc, que equivale 0,6USD/L. Valor muy por debajo del precio de venta en el mercado minorista para aceites de similares

características, el cual bordea 5USD/L aproximadamente y se considera la venta de alquitrán a 0.3USD/L.

Tabla 52 Producción de aceite base y alquitrán al año del escenario 3 alto.

producción Año	Unidad
Aceite Lubricante Base 1800000	Litros
Aceite Lubricante Base 1800	m3
alquitrán 200000	Litros
alquitrán 200	m3

FACTORES DEL FLUJOS DE CAJA DEL PROYECTO

Factores que inciden en la estimación de los flujos de cajas del proyecto:

Incremento del IPC de 3,2% anual, Incidiendo en los costos de operación y en el precio de venta del producto. (Dirección de Presupuestos, 2019)

Incremento de 2.35% anual del costo de la energía eléctrica y el petróleo. (Ministerio de Energía, 2020)

Impuesto a la renta de primera categoría 27%. (Servicio de Impuestos Internos, 2020)

Tasa descuento anual escenario 1 bajo del 10%, escenario 2 medio del 15% y escenario 3 alto del 20%.

En la siguiente tabla quedan en evidencia los porcentajes utilizados para el desarrollo del flujo de caja de los escenarios que se exponen a continuación.

Tabla 53 Tabla de factores.

Factores	escenario 1	escenario 2	escenario 3
IPC (sueldos)	3,20%	3,20%	3,20%
Incremento Costo Energía y petróleo	2,35%	2,35%	2,35%
Impuesto a la Renta de 1° categoría	27,00%	27,00%	27,00%
Tasa de descuento	10,00%	15,00%	20,00%
Tasa efectiva anual - interés crédito	7,00%	7,00%	7,00%

Precio m3 Aceites Lubricante Base	USD 1.000,00	USD 1.032,00	USD 1.065,02	USD 1.099,10	USD 1.134,28	USD 1.170,57	USD 1.208,03	USD 1.246,69	USD 1.286,58	USD 1.327,75
m3 de alquitrán	45,2	45,2	45,2	45,2	45,2	45,2	45,2	45,2	45,2	45,2
Precio m3 alquitrán	USD 500,00	USD 516,00	USD 532,51	USD 549,55	USD 567,14	USD 585,29	USD 604,02	USD 623,34	USD 643,29	USD 663,88
Ingresos por Año	USD 429.400,00	USD 443.140,80	USD 457.321,31	USD 471.955,59	USD 487.058,17	USD 502.644,03	USD 518.728,64	USD 535.327,95	USD 552.458,45	USD 570.137,12

Estimación de egresos escenario 1 bajo.

Egresos que consideran costos fijos y variables del proyecto en el escenario 1.

Tabla 55 Egresos escenario 1.

Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Costos Variables	USD 19.200	USD 19.814	USD 20.448	USD 21.103	USD 21.778	USD 22.475	USD 23.194	USD 23.936	USD 24.702	USD 25.493
Costos Fijos	USD 101.026	USD 102.266	USD 103.545	USD 104.865	USD 106.228	USD 107.633	USD 109.084	USD 110.581	USD 112.126	USD 113.720
Egresos	USD 120.226	USD 122.080	USD 123.993	USD 125.968	USD 128.006	USD 130.108	USD 132.278	USD 134.517	USD 136.828	USD 139.213

Flujo de caja escenario 1 bajo.

A continuación, se presenta el Flujo de Cajas del escenario 1 bajo del proyecto para un horizonte de inversión de 10 años y una inversión inicial del orden de los 436.586 dólares.

Tabla 56 Flujo de caja escenario 1 bajo.

Años	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
INGRESO (+)		USD 429.400	USD 443.141	USD 457.321	USD 471.956	USD 487.058	USD 502.644	USD 518.729	USD 535.328	USD 552.458	USD 570.137
EGRESO (-)		USD 120.226	USD 122.080	USD 123.993	USD 125.968	USD 128.006	USD 130.108	USD 132.278	USD 134.517	USD 136.828	USD 139.213
ING.NETOS (=)		USD 309.174	USD 321.061	USD 333.328	USD 345.988	USD 359.053	USD 372.536	USD 386.450	USD 400.811	USD 415.630	USD 430.924
DEPRECIACION (-)		USD 24.589									
INTERES DEL PRESTAMO (-)		USD 30.561	USD 28.349	USD 25.982	USD 23.450	USD 20.740	USD 17.841	USD 14.738	USD 11.419	USD 7.867	USD 4.067
RENTA GRAVABLE (=)		USD 254.024	USD 268.123	USD 282.757	USD 297.949	USD 313.724	USD 330.106	USD 347.123	USD 364.803	USD 383.174	USD 402.269
IMPUESTOS (-)		USD 68.587	USD 72.393	USD 76.344	USD 80.446	USD 84.705	USD 89.129	USD 93.723	USD 98.497	USD 103.457	USD 108.613
RENTA GRAVABLE DE IMPUESTOS (=)		USD 185.438	USD 195.730	USD 206.412	USD 217.503	USD 229.018	USD 240.978	USD 253.400	USD 266.306	USD 279.717	USD 293.656

DEPRECIACION (+)		USD 24.589									
INVERSION TOTAL (-)	USD 436.58 6										
VALORES DE SALVAMENTO (+)											USD 145.05 9
RECUP.CAPITAL DE TRABAJO (+)											
PRESTAMO BANCARIO (+)	USD 436.58 6										
AMORTIZACION DEL PRESTAMO (-)		USD 31.599	USD 33.811	USD 36.178	USD 38.710	USD 41.420	USD 44.319	USD 47.422	USD 50.741	USD 54.293	USD 58.094
FLUJO DE CAJA (=)	-USD 436.58 6	USD 178.42 7	USD 186.50 7	USD 194.82 3	USD 203.38 1	USD 212.18 7	USD 221.24 7	USD 230.56 7	USD 240.15 4	USD 250.01 3	USD 405.21 1

Con el presente flujo de caja correspondiente al escenario 1 bajo del proyecto planta de reciclaje de aceite lubricante usado en la mina Chuquicamata Subterránea, se obtienen los siguientes indicadores para colaborar en la toma decisión del proyecto con respecto a su rentabilidad.

Los indicadores de rentabilidad quedan en evidencia en la siguiente tabla.

Tabla 57 Indicadores de rentabilidad.

VAN	USD 914.291
TIR	44%

El indicador del Valor Actual Neto (VAN) se calcula con las utilidades, tasa de descuento y la inversión del proyecto.

Valor Actual Neto del proyecto descontando la inversión y la tasa de descuento propuesta en el flujo, entrega un valor de USD 914.291.

El indicador de la Tasa Interna de Retorno (TIR) deja en evidencia que se puede aumentar aún más la tasa de descuento hasta un 44% dejando al proyecto con una rentabilidad de USD 0.

Escenario 2 medio

En este escenario solo se considera procesar los 430m³/año que genera la cuprífera Chuquicamata subterránea y producir aceite lubricante base igual a un volumen de 387m³/año, con propuesta de reutilización de tambores de 200 litros, mes por medio, esto quiere decir que al proveedor del aceite lubricante usado se le entregara el primer mes tambores nuevos con el aceite base y al siguiente mes se realizara el intercambio de los barriles con aceite base por los barriles con aceite lubricante usado del mes.

Se considerará el deterioro del 15% de los tambores entregados trimestralmente al taller mecánico de la mina.

La inversión de este escenario se subvenciona en un 100% con la adquisición de un crédito con un interés de un 7%, ya que la empresa donde se desarrolla el proyecto en cuestión es un cliente de muy bajo riesgo financiero.

Estimación de ingresos escenario 2.

Los ingresos de la planta se proyectaron considerando la venta de la totalidad de la producción de aceite base con características de un aceite para rodamientos, cadenas y engranajes en general.

Los ingresos proyectados anualmente en metros cúbicos se resumen en las siguientes tablas:

Tabla 58 Ingresos Escenario 2.

Escenario 2 Medio										
Ingresos										
Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ALU	430	430	430	430	430	430	430	430	430	430
m3 de Aceite Lubricante Base	387	387	387	387	387	387	387	387	387	387
Precio m3 Aceites Lubricante Base	USD 1.500,00	USD 1.548,00	USD 1.597,54	USD 1.648,66	USD 1.701,41	USD 1.755,86	USD 1.812,05	USD 1.870,03	USD 1.929,87	USD 1.991,63
m3 de alquitrán	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43
Precio m3 alquitrán	USD 500,00	USD 516,00	USD 532,51	USD 549,55	USD 567,14	USD 585,29	USD 604,02	USD 623,34	USD 643,29	USD 663,88
Ingresos por Año	USD 602.000,00	USD 621.264,00	USD 641.144,45	USD 661.661,07	USD 682.834,22	USD 704.684,92	USD 727.234,84	USD 750.506,35	USD 774.522,56	USD 799.307,28

VALORES DE SALVAMENTO (+)												USD 145.05 9
RECUP.CAPITAL DE TRABAJO (+)												
PRESTAMO BANCARIO (+)	USD 436.5 86											
AMORTIZACION DEL PRESTAMO (-)		USD 31.599	USD 33.811	USD 36.178	USD 38.710	USD 41.420	USD 44.319	USD 47.422	USD 50.741	USD 54.293	USD 58.094	
FLUJO DE CAJA (=)	-USD 436.5 86	USD 304.42 5	USD 316.53 7	USD 329.01 4	USD 341.86 6	USD 355.10 4	USD 368.73 7	USD 382.77 7	USD 397.23 4	USD 412.12 0	USD 572.50 5	

Con el presente flujo de caja correspondiente al escenario 2 del proyecto planta de reciclaje de aceite lubricante usado de Chuquicamata Subterránea, se obtienen los siguientes indicadores para colaborar en la toma decisión del proyecto con respecto a su rentabilidad.

Los indicadores de rentabilidad quedan en evidencia en la siguiente tabla.

Tabla 61 Indicadores de rentabilidad.

VAN	USD 1.788.334
TIR	73%

El indicador del Valor Actual Neto (VAN) se calcula con las utilidades, tasa de descuento y la inversión del proyecto, la ecuación se planteará a continuación.

Valor Actual Neto del proyecto descontando la inversión y la tasa de descuento propuesta en el flujo año a año, entrega un valor de USD 1.788.334.

El indicador de la Tasa Interna de Retorno (TIR) deja en evidencia que se puede aumentar aún más la tasa de descuento hasta un 73% dejando al proyecto con una rentabilidad de USD 0.

Escenario 3 alto

En el escenario 3 se evaluara con una producción de aceite lubricante base igual a la capacidad máxima de la planta que corresponde a 2.000m³/año y genera un volumen igual a 1980m³/año de aceite lubricante base y se mantiene la propuesta de reutilización de tambores de 200litros, mes

por medio, esto quiere decir que al proveedor del aceite lubricante usado se le entregara el primer mes tambores nuevos con el aceite base y al siguiente mes se realizara el intercambio de los barriles con aceite base por los barriles con aceite lubricante usado del mes.

Se considerará el deterioro del 15% de los tambores entregados trimestralmente al taller mecánico de la mina.

La inversión de este escenario se subvenciona en un 100% con la adquisición de un crédito con un interés de un 7%, ya que la empresa donde se desarrolla el proyecto en cuestión es un cliente de muy bajo riesgo financiero.

Estimación de ingresos escenario 3.

Los ingresos de la planta se proyectaron considerando la venta de la totalidad de la producción de aceite base con características de un aceite para rodamientos, cadenas y engranajes en general.

Los ingresos proyectados anualmente en metros cúbicos se resumen en las siguientes tablas:

Tabla 62 Ingresos Escenario 3.

Escenario 3 Alto										
Ingresos										
Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ALU	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
m3 de Aceite Lubricante Base	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800
Precio m3 Aceites Lubricante Base	USD 600,00	USD 619,20	USD 639,01	USD 659,46	USD 680,57	USD 702,34	USD 724,82	USD 748,01	USD 771,95	USD 796,65
m3 de alquitrán	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
Precio m3 alquitrán	USD 300,00	USD 309,60	USD 319,51	USD 329,73	USD 340,28	USD 351,17	USD 362,41	USD 374,01	USD 385,97	USD 398,33
Ingresos por Año	USD 1.140.00 0,00	USD 1.176.48 0,00	USD 1.214.12 7,36	USD 1.252.97 9,44	USD 1.293.07 4,78	USD 1.334.45 3,17	USD 1.377.15 5,67	USD 1.421.22 4,65	USD 1.466.70 3,84	USD 1.513.63 8,37

Estimación de egresos escenario 3.

Egresos que consideran costos fijos y variables del proyecto en el escenario 3.

Tabla 63 Egresos escenario 2.

Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Costos Variables	USD 57.600	USD 59.443	USD 61.345	USD 63.308	USD 65.334	USD 67.425	USD 69.583	USD 71.809	USD 74.107	USD 76.479
Costos Fijos	USD 101.259	USD 102.504	USD 103.789	USD 105.115	USD 106.483	USD 107.895	USD 109.352	USD 110.855	USD 112.406	USD 114.007
Egresos	USD 158.859	USD 161.947	USD 165.134	USD 168.423	USD 171.817	USD 175.320	USD 178.934	USD 182.664	USD 186.513	USD 190.486

Flujo de caja escenario 3.

A continuación, se presenta el Flujo de Cajas del escenario 3 del proyecto para un horizonte de inversión de 10 años y una inversión inicial del orden de los 436.586 dólares.

Tabla 64 Flujo de caja escenario 3 alto.

DESPUES DE IMPUESTO C/PRESTAMO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
INGRESO (+)		USD 1.140.000	USD 1.176.480	USD 1.214.127	USD 1.252.979	USD 1.293.075	USD 1.334.453	USD 1.377.156	USD 1.421.225	USD 1.466.704	USD 1.513.638
EGRESO (-)		USD 158.859	USD 161.947	USD 165.134	USD 168.423	USD 171.817	USD 175.320	USD 178.934	USD 182.664	USD 186.513	USD 190.486
ING.NETOS (=)		USD 981.141	USD 1.014.533	USD 1.048.993	USD 1.084.556	USD 1.121.257	USD 1.159.133	USD 1.198.221	USD 1.238.560	USD 1.280.190	USD 1.323.153
DEPRECIACION (-)		USD 24.589									
INTERES DEL PRESTAMO (-)		USD 30.561	USD 28.349	USD 25.982	USD 23.450	USD 20.740	USD 17.841	USD 14.738	USD 11.419	USD 7.867	USD 4.067
RENTA GRAVABLE (=)		USD 925.991	USD 961.595	USD 998.422	USD 1.036.517	USD 1.075.928	USD 1.116.704	USD 1.158.894	USD 1.202.553	USD 1.247.735	USD 1.294.497
IMPUESTOS (-)		USD 250.018	USD 259.631	USD 269.574	USD 279.860	USD 290.501	USD 301.510	USD 312.901	USD 324.689	USD 336.888	USD 349.514
RENTA GRAVABLE DE IMPUESTOS (=)		USD 675.974	USD 701.964	USD 728.848	USD 756.658	USD 785.428	USD 815.194	USD 845.993	USD 877.863	USD 910.846	USD 944.983
DEPRECIACION (+)		USD 24.589									
INVERSION TOTAL (-)	USD 436.586										
VALORES DE SALVAMENTO (+)											USD 145.059
RECUP.CAPITAL DE TRABAJO (+)											
PRESTAMO BANCARIO (+)	USD 436.586										
AMORTIZACION DEL PRESTAMO (-)		USD 31.599	USD 33.811	USD 36.178	USD 38.710	USD 41.420	USD 44.319	USD 47.422	USD 50.741	USD 54.293	USD 58.094

FLUJO DE CAJA (=)	-USD 436.5 86	USD 668.96 3	USD 692.74 2	USD 717.25 9	USD 742.53 6	USD 768.59 7	USD 795.46 3	USD 823.16 0	USD 851.71 1	USD 881.14 2	USD 1.056.5 38
----------------------	---------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------	----------------------

Con el presente flujo de caja correspondiente al escenario 3 del proyecto planta de reciclaje de aceite lubricante usado de Chuquicamata Subterránea, se obtienen los siguientes indicadores para colaborar en la toma decisión del proyecto con respecto a su rentabilidad.

Los indicadores de rentabilidad quedan en evidencia en la siguiente tabla.

Tabla 65 Indicadores de rentabilidad escenario 3.

VAN	USD 3.390.637
TIR	157%

El indicador del Valor Actual Neto (VAN) se calcula con las utilidades, tasa de descuento y la inversión del proyecto, la ecuación se planteará a continuación.

Valor Actual Neto del proyecto descontando la inversión y la tasa de descuento propuesta en el flujo año a año, entrega un valor de USD 3.390.637.

El indicador de la Tasa Interna de Retorno (TIR) deja en evidencia que se puede aumentar aún más la tasa de descuento hasta un 157% dejando al proyecto con una rentabilidad de USD 0.

Evaluación @RISK Simulación.

Este escenario se llevó a cabo utilizando el software @risk para simular 100 escenario distintos con 1000 iteraciones cada uno, con la variación de los datos que figuran en la siguiente tabla.

Tabla 66 Datos escenario @risk.

Datos	1	2	3	@Risk
Producción Aceite Base m3	406,8	466,2	1800	891,00
Precio Unitario aceite m3	USD 1.000,00	USD 800,00	USD 600,00	800,00
producción alquitrán m3	3	5,18	20	9,39
Precio Unitario alquitrán m3	USD 500	USD 400	USD 300	400,00
Costo Unitario m3	USD 457,30	USD 399,04	USD 103,35	319,90
Costos Fijos	USD 128.431	USD 128.431	USD 128.431	128430,97

Valor Residual	USD 145.059	USD 145.059	USD 145.059	
Inversión	USD 438.294	USD 438.294	USD 438.294	
Tasa interés crédito	7,00%	7,00%	7,00%	
IPC	3,20%	3,20%	3,20%	
Tasa de descuento	10,00%	15,00%	20,00%	15,00%
Costos Variables	0%	25,00%	50,00%	

Los datos de la tabla anterior del escenario 1 al 3 fueron utilizados como mínimo y máximo para la variación del VAN y la TIR del escenario @risk y así poder obtener la siguiente grafica de estas variables que nos indican la viabilidad del proyecto para los inversionistas.

Ilustración 25 Valor Actual Neto @risk.

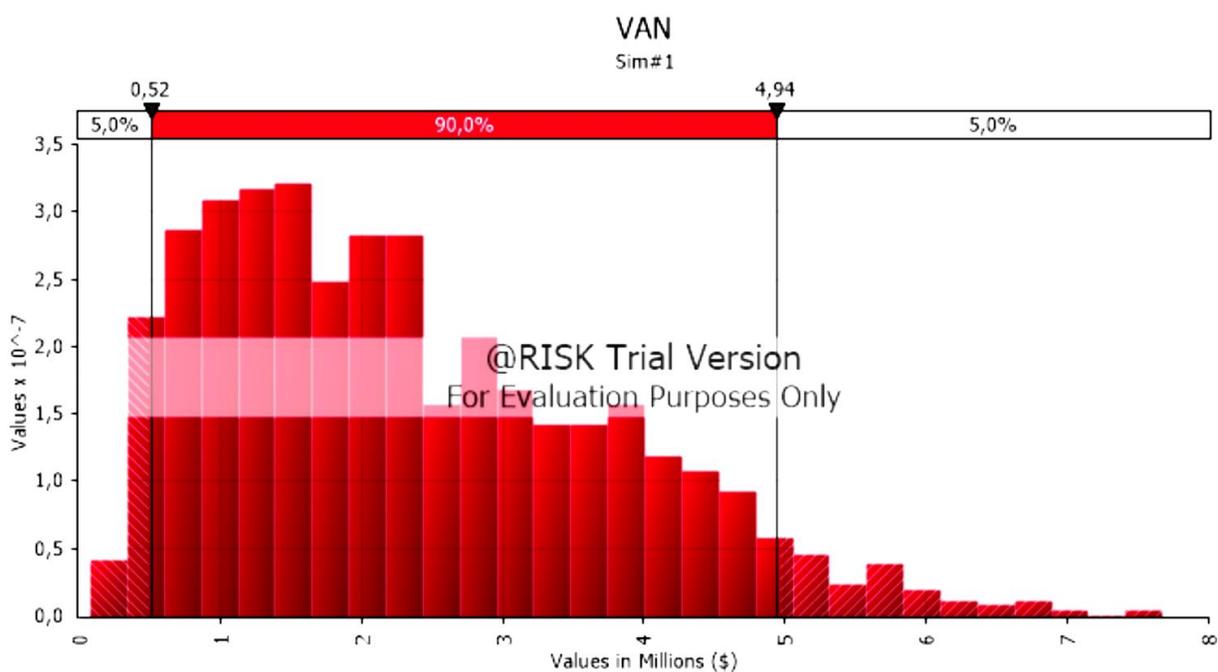
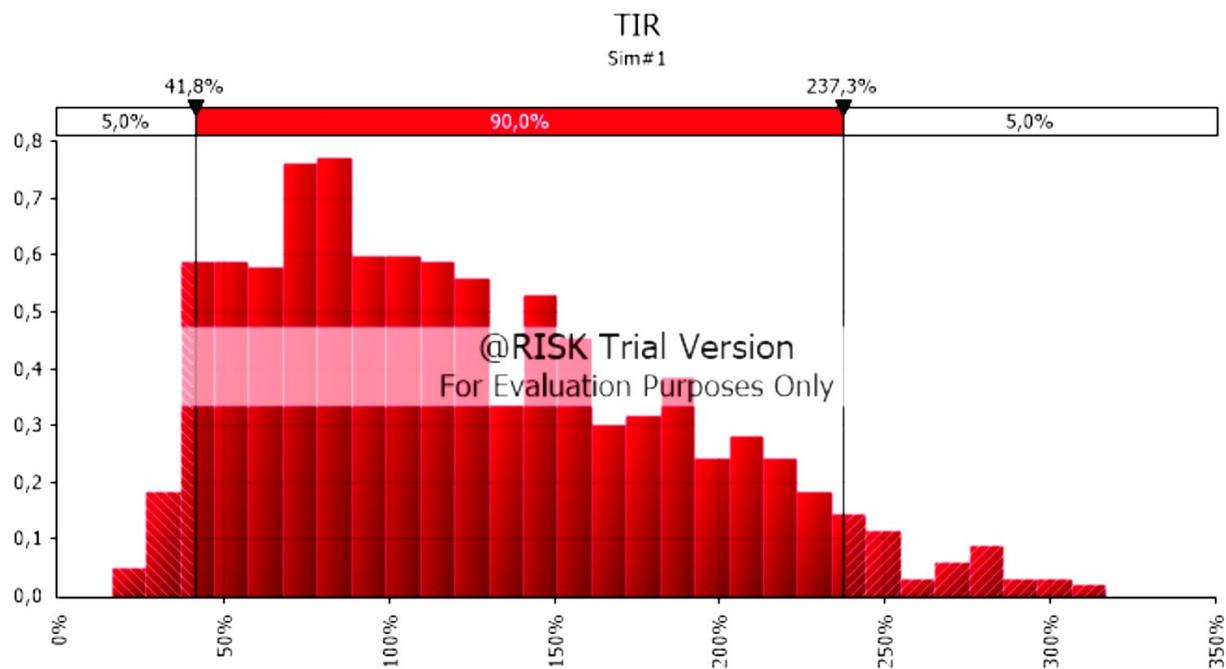


Ilustración 26 Tasa interna de Retorno @risk.



CONCLUSIÓN

Se caracterizan los aceites lubricantes considerando composición, proceso de elaboración, funciones, propiedades, clasificaciones y se selecciona el aceite SAE 15W40 o API CJ4 recomendado y utilizado para equipos diésel, ya que este aceite cumple con las características demandadas por los motores de estos equipos, esta caracterización se lleva a cabo en el capítulo 2, donde se procede a concluir que el aceite refinado y reacondicionado en la planta de reciclaje de aceite lubricante usado será el mencionado anteriormente.

La selección del método adecuado para realizar el reciclaje del aceite lubricante usado se realizó con la investigación de los métodos de reciclaje dejado en evidencia en la página 32 y concluyendo en base a comparaciones desarrolladas en la página 43, en donde se procede a seleccionar los métodos de deshidratación en vacío y separación centrifuga bajo el criterio de cero emisiones de elementos contaminantes al medio ambiente, seleccionando los equipos COT 2000 y HAUS MBA 3162-30 expuestos en el capítulo de equipos y materiales de la página 56.

En la evaluación técnica del proyecto realizada en el capítulo 3, se considero el volumen a procesar, las características del aceite resultante, descripción del proceso, equipos y materiales, desarrollo del proceso y se concluye con la selección y dimensionamiento de componentes.

El estudio legal y ambiental realizado en el capítulo 4 de la presente memoria, se concluye que para llevar a cabo la construcción y operación de la planta descrita en la presente memoria, se debe seguir a cabalidad y respetar el “Reglamento sanitario sobre manejo de residuos peligros”, ya que, en este se estipula el manejo de los aceites lubricantes usados y en general de los residuos peligros, a la vez se colabora con las metas estipuladas en el acuerdo de producción limpia expuesto en la página 80, para dar un valor porcentual a la colaboración de la planta con las metas del acuerdo de producción limpia, este porcentaje sería del 31,4%.

La evaluación económica realizada en el capítulo 5, contempla la inversión del proyecto, depreciaciones de los equipos de la planta, mantención de los equipos, mano de obra de la planta, estimación de producción y factores del flujo de caja del proyecto, para proceder a concluir con el análisis de sensibilidad del proyecto desarrollado en el capítulo 6, donde se crean 3 escenarios de forma manual, obteniendo que los 3 escenarios generan rentabilidad, destaca el escenario 3 ya que obtiene un elevado margen de ingresos, esto esta directamente ligado al funcionamiento de la planta a su capacidad máxima, a la vez se desarrollaron otros 100 escenarios en el software @Risk Industrial obteniendo resultados positivos en más del 90% de los casos iterados, estos resultados positivos representan monetariamente los estudios técnico, económico, legal y ambiental, permitiendo alcanzar los objetivos planteados y corroborar la factibilidad de implementar una planta de reciclaje de aceite lubricante usado en la mina Chuquicamata subterránea, siempre con una vision de responsabilidad ambiental y social.

BIBLIOGRAFÍA

- Agencia de Protección Ambiental. (15 de Noviembre de 2019). *agencia de Proteccion Ambiental de los Estados Unidos*. Obtenido de <https://www.epa.gov/https://www.epa.gov/recycle/managing-reusing-and-recycling-used-oil>
- Albarracín Aguillon, P. R. (2013). Seminario Tribología y Lubricación. (pág. 180). Medellín - Colombia: Universidad de Antioquia.
- Alberto Alvarez Cardona; Elkin Alonso Cortes Marin; Fernand Alvarez Mejia. (1998). *CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN Y APLICACIÓN DE LUBRICANTES*. MEDELLIN: UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA.
- Andrade Pandilla, C. G. (2015). *Propuesta de un plan de manejo sustentable de los aceites usados provenientes de los talleres automotrices y lubricadoras del cantón cañar*. Cuenca: Universidad politécnica Salesiana Ecuador.
- ARYEN LUB. (2012). *Aceite lubricante para motores diesel de ultima generacion de bajas emisiones*.
- ASTM International. (2003). *Fuels and Lubricants Handbook: Technology, Properties, Performance and Testing*. PENNSILVANIA: Glen Burnie, MD.
- Carolina, A. (2005). *El análisis de aceite como herramienta del Mantenimiento*. Montevideo: Consorcio Ambiental del Plata – Teyma.
- Cingel, M. N. (2016). *Análisis de tentabilidad de "Planta de regeneración de aceite lubricante"*. Mendoza: Universidad Nacional de Cuyo.
- Comisión Chilena del Cobre. (2018). *Corporación Chilena del Cobre*. Obtenido de [https://www.cochilco.cl/Mercado%20de%20Metales/Proyecci%C3%B3n%20de%20la%](https://www.cochilco.cl/Mercado%20de%20Metales/Proyecci%C3%B3n%20de%20la%20)

20producci%C3%B3n%20esperada%20de%20cobre%202018%20-%202029%20Vfinal.pdf

CONAMA. (2007). *GTZ*.

CONAMA. (2008). *Guía Técnica para ACEITES USADOS Del SECTOR TRANSPORTE*. Santiago.

CONAMA; GTZ. (2016). Santiago: Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ).

Consejo Nacional de Producción Limpia. (Noviembre de 2002). *Gestión de Residuos Industriales Sólidos Mineros y Buenas Prácticas*. Obtenido de Academia.edu: https://www.academia.edu/9457341/gesti%C3%B3n_de_residuos_solidos_mineros

Cooperación chileno-alemana. (Julio de 2015). *Ministerio del Medio Ambiente*. Obtenido de <https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2015/07/Publicacion-impactos-2012.pdf>

Cooperación Chileno-Alemana; MMA ; GIZ. (2011). *Evaluación económica, ambiental y social de la implementación de la REP en Chile*. Santiago: GIZ.

Delard, E. P. (2010). *PLANTA DE TRATAMIENTO DE ACEITES LUBRICANTES USADOS PARA USO EN LA FRAGMENTACIÓN DE ROCAS EN MINERA GABY S.A.* Antofagasta.

Díaz, L. M. (2010). *Desde el aceite lubricante usado hasta su puesta en el mercado tras su regeneración*. Escuela de Organización Industrial.

Dirección de Presupuestos. (09 de marzo de 2019). *Actualización de proyecciones fiscales 2019 - 2024*. Santiago: Gobierno de Chile. Obtenido de <https://es.inflation.eu/tasas-de-inflacion/chile/inflacion-historica/ipc-inflacion-chile-2020.aspx>

ECOSTANDARD. (1 de Mayo de 2020). Bodega RESPEL RF120. Viña del Mar, Chile.

Fitch, D. T. (2004). *OIL ANALYSIS*. Noria.

GESCAM S.A. (19 de 10 de 2016). *blogspot.cl*. Obtenido de <http://hidrodinamicaelaceitedemotor.blogspot.cl/2016/10/que-es-el-aceite-de-motor-o-lubricante.html>

GESCAM S.A. (2017). *ANTECEDENTES PARA LA ELABORACIÓN DE ANALISIS ECONÓMICOS DE METAS DE RECOLECCIÓN Y VALORIZACIÓN PARA LOS PRODUCTOS PRIORITARIOS NEUMÁTICOS, BATERÍAS Y ACEITES LUBRICANTES, CONTENIDOS EN LA LEY 20.920*. Santiago: MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE.

HAUS. (2013). *HAUS Centrifuge Technologies*. Obtenido de <https://www.haus.com.tr/hausen/urunler.php?group=2&id=177>

HAUS. (1 de Marzo de 2020). *haus.com.tr*. Obtenido de <http://aquality.kiev.ua/equipment/dekantery/santrifuj-separator-265170097.pdf>

Jones, J. P. (2007). *DISEÑO DE UN SISTEMA DE RECICLAJE DE ACEITE*. Valdivia: Universidad Austral de Chile.

Joralse S.L. (26 de 08 de 2017). *TuAceitedeMotor*. Obtenido de <https://www.tuaceitedemotor.com/viscosidad-sae-del-aceite-de-motor-c1200x56757>

Jose Vicente Trujillo Cruz; Renato Omar Suntaxi Llumiquinga. (2009). *LEVANTAMIENTO DEL CATASTRO DE GENERADORES, DISEÑO DE UN PLAN DE RECOLECCIÓN Y ALTERNATIVAS PARA LA DISPOSICIÓN FINAL DE LOS ACEITES USADOS EN EL CANTÓN RUMIÑAHUI-PROVINCIA DE PICHINCHA*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.

LUBRAL Lubricantes de América S.A. (27 de 06 de 2019). *Lubral*. Obtenido de <https://www.lubral.com/entendiendo-la-clasificacion-de-viscosidad-sae-y-de-desempeno-api/>

Marco Vinicio Chuqui Palaguachi; Josué Rodrigo Romero Heredia. (2017). *PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLANTA DE REGENERACIÓN DE ACEITES LUBRICANTES USADOS EN LA CIUDAD DE CUENCA EMPLEANDO EL PROCESO DE EXTRACCIÓN CON PROPANO*. Cuenca: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE MATRIZ CUENCA.

MARTÍN, J. (2008). *LA GESTIÓN DE LOS ACEITES USADOS*. EOI-Escuela de Negocios.

MasterCardBiz. (09 de Febrero de 2018). Chile y el sector de lubricantes: Análisis de las tendencias y comportamientos actuales del sector. *RGX Online*.

Mekonnen, H. A. (2014). *Recycling of Used Lubricating Oil Using Acid-Clay Treatment Process*. Addis Ababa: ADDIS ABABA INSTITUTE OF TECHNOLOGY.

Ministerio de Energía. (10 de Marzo de 2020). *Comisión Nacional de Energía*. Obtenido de <https://www.cne.cl/precio-medio-de-mercado-2/2019-2/>

MMA. (2011). *Evaluación económica, ambiental y social de la implementación de la REP en Chile*. Santiago.

Mont, J. (2010). *RECUPERACIÓN O RECICLADO DE ACEITES USADOS DE MOTOR*.

Pawlak, J. M. (2007). *DISEÑO DE UN SISTEMA DE RECICLAJE DE ACEITE*. Valdivia: UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE.

Pérez Galera, J. A. (2005). *Clasificación de los aceites lubricantes, Clasificación SAE*.

Petroline. (1 de Marzo de 2020). <https://www.petroline.cl/>. Obtenido de <https://www.petroline.cl/producto/contador-digital-para-aceite/>

Piésold, K. (2010). *Declaración de impacto ambiental proyecto mina chuquicamata subterránea*. Calama: Codelco.

Posot-Class. (1 de Marzo de 2020). <https://ar.class.posot.com>. Obtenido de <https://ar.class.posot.com/aceite-hidraulico-total-azolla-zs-68-tambor/>

Puga, A. (2019). *Tecnología de limpieza de aceite - versión resumida*. Suecia: COT AB.

Salsilli, F. M. (2017). *Asesoría para la Implementación de la Responsabilidad Extendida del Productor (REP) en Chile*. Santiago: Ministerio de Medio Ambiente, Gobierno de Chile.

Sanchez, R. (19 de Agosto de 2015). *Motores y Sistemas de Alimentación*. Obtenido de <https://sites.google.com/site/motoresysistemasdealimentacion/clasificacion-de-los-lubricantes>

Servicio de Impuestos Internos. (10 de Marzo de 2020). *Servicio de Impuestos Internos*. Obtenido de http://www.sii.cl/aprenda_sobre_impuestos/impuestos/imp_directos.htm

SIGAUS. (15 de Marzo de 2020). *sigaus*. Obtenido de <https://www.sigaus.es/un-residuo-peligroso>