

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR- JOSE MIGUEL CARRERA

CARACTERIZACIÓN DE UN RIL DE ORIGEN MINERO

Trabajo de titulación para optar al título
de Técnico Universitario en Química,
MENCIÓN QUÍMICA ANALÍTICA.

Alumno

Carolina Isabel Alcota Ibacache

Profesor guía

Gonzalo Sepúlveda Ramírez

AGRADECIMIENTOS

a DIOS ... por todo ;

a quienes son mi motor de vida, mis pilares fundamentales y que sin ellos nada sería posible ... mis padres RAÚL y HAYDÉE

a la persona que siempre ha estado a mi lado y no me ha permitido caer, la que jamás ha desistido, mi más grande ejemplo, la que nunca ha dudado un segundo de mí, la persona que siempre me ha apoyado, la más incondicional, mis pies en la tierra, mi confidente, mi otra madre, mi amiga, mi hermana ANGÉLICA

a todos mis hermanos y familia

a CARLOS ... simplemente GRACIAS

a todas las hermosas personas que formaron parte de éste proceso.

RESUMEN

KEYWORDS: RIL- AGUA FILTRADA- DESALINIZACIÓN

Se determina caracterizar un agua de RIL de origen minero provenientes de mina Cerro Negro Norte y Planta Magnetita. Con el objetivo de verificar el cumplimiento de lo exigido para éste RIL, según normas establecidas en el Anexo I Contrato de Operación y Mantenimiento Planta Desalinizadora de Agua de Mar valle de Copiapó-punta Totoralillo. Es importante destacar que, para este trabajo de título se utiliza como referente y contrastando resultados con lo que allí se especifica. El Anexo I de Calidades de Agua, forma parte del Contrato de Operación y Mantenimiento Planta Desalinizadora de Agua de Mar valle de Copiapó, Cleanairtech Sudamérica S.A. y Acciona Agua S.A. agencia en Chile. El que expresa lo siguiente.

“Parámetros de agua filtrada: se define como los parámetros de agua filtrada que se reciben en las conducciones y aquellos máximos que puedan manejarse sin impacto en la Operación y Mantenimiento de las conducciones y que establece en el contrato sus condiciones de operación entre las partes”.

Éste anexo establece máximos permisibles para cada parámetro que puedan ser manejados. Pero no se rigen por ninguna norma de agua de RIL, dado que es un proceso interno de Agua de Procesos, por lo cual las calidades de agua y rangos resultan definidas por los fabricantes de los filtros, instalados en el puerto donde se recepciona el agua de RIL de origen minero. El estudio se lleva a cabo en el laboratorio de análisis de la calidad, en las dependencias de la planta desalinizadora. Se comienza la caracterización de esta agua “filtrada” detallando fecha y hora, para proseguir con las mediciones de; pH, temperatura y conductividad en forma simultánea, luego el análisis de turbidez. Una vez finalizada ésta primera etapa continúan las determinaciones de cloruros y dureza del agua para luego dar paso a la cuantificación de metales con espectrofotometría UV-vis. Finalmente se realiza la determinación de sólidos suspendidos totales donde una porción abundante de agua se filtra al vacío; los filtros son llevados a estufa a 105 ° por lo menos 2 horas. Una vez secos y fríos son pesados y por diferencia se obtiene el contenido de sólidos.

Finalizados los análisis se procede con los cálculos pertinentes. Los que se realizan en un software basado en el “Standar Methods for the examination of water and wastewater”. Así, una vez ingresados los datos se determinan las cantidades exactas de cada parámetro estudiado y pueden ser vistos directamente por el jefe de operaciones. Evitando multas millonarias, en caso de que pudiese ocurrir alguna.

ÍNDICE

RESUMEN

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

SIGLA Y SIMBOLOGÍA

INTRODUCCIÓN 1

OBJETIVOS 2

CAPÍTULO I: ANTECEDENTES GENERALES 3

 1. ANTECEDENTES GENERALES 4

 1.1. DEFINICIONES Y JUSTIFICACIÓN DEL TEMA.....4

 1.1.1. Definición de Residuos Industriales 4

 1.1.2. Residuos Industriales Líquidos 4

 1.1.3. Clasificación de los Residuos Industriales.....5

 1.2. LA MINERIA Y SUS RESIDUOS 7

 1.2.1. La actividad minera.....7

 1.2.2. Sistema ambiental en Chile.....8

 1.2.3. Normas Primarias de Emisión (Agua) 8

 1.2.4. Norma de Emisión D.S. MINSEGPRES N°90/00 8

 1.2.5. Objetivos de la Norma D.S. N°90/00.....9

 1.2.6. Riesgos Mineros: Desafíos Regulatorios Y Tecnológicos: 9

 1.3. PROCESOS 10

 1.3.1. Planta Magnetita 10

 1.3.2. Cerro Negro Norte (CNN) 11

 1.3.3. Puerto Punta Totoralillo 12

 1.3.4. Recepción del agua filtrada.....13

 1.4. PLANTA DESALINIZADORA.....14

 1.4.1. Planta Desalinizadora Acciona Agua S.A.U Agencia en Chile 14

 1.5. MÉTODOS ANALÍTICOS 16

1.5.1.	Técnica instrumental, espectrofotometría UV-visible	16
1.5.2.	El espectrofotómetro.....	16
1.5.3.	Espectrofotómetro DR 3900 utilizado; especificaciones de funcionamiento	17
1.5.4.	Radiación UV-vis.....	20
CAPÍTULO II: ANÁLISIS EXPERIMENTAL		21
2.	ANÁLISIS EXPERIMENTAL	22
2.1.	FUNDAMENTO TEÓRICO	22
2.1.1.	Análisis del RIL	22
2.1.2.	pH.....	22
2.1.3.	Cloruros	23
2.1.4.	Dureza.....	23
2.1.5.	Metales y sólidos suspendidos totales.....	24
2.1.6.	Principios y métodos utilizados para metales	24
2.2.	METODOLOGÍA DE ANÁLISIS.....	26
2.3.	PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL	27
2.3.1.	Materiales y equipos	27
2.3.2.	Reactivos y soluciones	28
2.3.3.	Procedimiento	29
CAPÍTULO III: RESULTADOS		37
3.	RESULTADOS.....	38
3.1.	EXPRESIÓN DE RESULTADOS	38
3.1.1.	Resultados y discusión de resultados	38
3.1.2.	Análisis y discusión de resultados; pH, conductividad y temperatura.....	38
3.1.3.	Expresión de cálculos y resultados, cloruros y dureza.....	41
3.1.4.	Metales.....	44
3.1.5.	Sólidos suspendidos totales (SST)	45
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		47
BIBLIOGRAFÍA		48
ANEXOS		52

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1. Especificaciones de funcionamiento DR 3900	18
Tabla 1-2. Partes del equipo en la trayectoria del haz.....	19
Tabla 3-1. Rangos de aceptabilidad en agua filtrada	38
Tabla 3-2. Resultados pH, temperatura, conductividad y turbidez de agua filtrada	39
Tabla 3-3. Resultados titulación de cloruros y dureza	41
Tabla 3-4. Resultados de concentración de metales en agua filtrada.....	44
Tabla 3-5. Resultados SST en agua filtrada	45

INDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Clasificación de los residuos industriales.....	6
Figura 1-2. Normas de emisión	8
Figura 1-3. Ubicación Planta Magnetita y Puerto Punta Totoralillo.....	11
Figura 1-4. Estructura Circulación de Agua	12
Figura 1-5. Planta Magnetita (diagrama)	13
Figura 1-6. a) Vista superior planta y sus instalaciones	15
Figura 1-7. Partes del espectrofotómetro	17
Figura 1-8. Trayectoria del haz del espectrofotómetro DR 3900.....	18
Figura 1-9. Compartimiento para cubetas: compartimiento para cubetas redondas (1) compartimiento para cubetas rectangulares (2).....	19
Figura 2-1. Diagrama del procedimiento para realizar caracterización del RIL	26
Figura 2-2. Disposición de los equipos finalizado el análisis -solución de almacenaje de pH.....	29
Figura 2-3. Turbidímetro portátil - aforo de cubeta para medir turbidez.....	30
Figura 2-4. Viraje del indicador, punto final.....	31
Figura 2-5. Procedimiento para análisis de sulfatos en muestra de agua.....	32
Figura 2-6. Procedimiento para la determinación de hierro.....	33
Figura 2-7. Procedimiento para la determinación de aluminio	34
Figura 2-8. Procedimiento para la determinación de boro en muestra de agua	35
Figura 2-9. Procedimiento para determinación de cobre en una muestra de agua.....	36
Figura 2-10. Equipo de filtración al vacío	36

SIGLAS Y SIMBOLOGÍA

RIL: Residuo Industrial Líquido

HDPE: High Density Polyethylene (polietileno de alta densidad)

EPP: Elementos de Protección Personal

ZPL: Zona de Protección Litoral

CAP: Compañía Aceros del Pacífico

CNN: Cerro Negro Norte

MMA: Ministerio del Medio Ambiente

SMA: Súper Intendencia del Medio Ambiente

SEA: Servicio de Evaluación Industrial

SEIA: Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental

DS: Decreto Supremo

MINSEGPRES: Ministerio Secretaria General de la Presidencia

MOP: Ministerio de Obras Públicas

NTU: Nephelometric Turbidity Unit, unidad de medida de la turbidez

RPM: Revoluciones Por Minuto

EDTA: Ethylenediaminetetraacetic acid (ácido etildiaminotetraacético)

NET: Negro de Eriocromo T

MEDTA: Metal más ácido etildiaminotetraacético

MNET: Metal más Negro de Eriocromo T

SST: Sólidos Suspendidos Totales

Hz: Hercio

km: Kilómetros

msnm: metros sobre el nivel del mar

m: metros

mm: milímetros

mg/L: miligramos en Litros

ppm: partes por millón

ml: mililitro

V₁: volumen consumido durante valoración

V₂: volumen de muestra

P₀: peso del disco de fibra de vidrio

P₁: peso del disco de fibra de vidrio más residuo seco

N: Normalidad

P_{eq}: Peso equivalente

m³: metros cúbicos

°C: grados Celsius

μS/cm: Microsiemens por centímetro

INTRODUCCIÓN

El fuerte crecimiento del sector industrial en los últimos años, ha traído como consecuencia en muchos casos, serios problemas de contaminación producto de las emanaciones industriales [1]. Es por esto, que surge interés en este tema y a su vez un relevante cuidado vinculado a la conservación del medio ambiente. De paso, a la utilización racional de los recursos naturales existentes, la eficiente disposición de los Residuos Industriales Líquidos (RILES) que generan las diferentes actividades económicas que se desarrollan, para este caso, en el sector minero de la tercera región de Atacama.

El recurso hídrico en la industria minera es un bien escaso y de gran importancia, tanto para sus procesos de obtención del mineral como para la utilización a nivel doméstico como casinos, baños, lavado de maquinaria, entre otros. Dada la importancia que tiene este recurso se debe utilizar el mismo para obtener una buena calidad de los residuos líquidos que se generan en las distintas etapas de esta industria. Esto no solo con el fin de reducir los impactos que se generen en el receptor de descarga o cumplir con la normativa medioambiental sino, que también para considerar las distintas alternativas de reutilización de estas aguas para otras actividades o procesos dentro de la minería. Con esto se obtiene una alternativa de manejo sustentable del recurso hídrico en esta industria. [3]

El agua se ha vuelto un bien limitado que debe responder, cada vez más, a nuevas demandas por parte de distintos sectores industriales, así como del consumo humano. Y si bien Chile cuenta con gran disponibilidad, no está exento de problemas en ese ámbito. Sólo basta recordar lo que sucede en el norte del país, donde las fuertes sequías se han hecho sentir. Este problema afecta, no solo a las comunidades de la zona, sino que también a las operaciones mineras del lugar que utilizan este elemento para llevar a cabo sus diferentes procesos de producción. El agua es un insumo estratégico para el sector ya que se utiliza en las etapas de explotación, de concentración por flotación, en la fusión y electro refinación y en el proceso hidrometalúrgico, que consta de lixiviación, extracción por solvente y electro obtención, entre otros. [2]

Por esta razón, la industria ha comenzado a revisar alternativas como el uso de agua de mar, que además permita desarrollar una minería sustentable en un futuro cercano. Sin embargo, no es llegar y tomar este recurso desde las costas, pues esa agua no es apta para las operaciones ni consumo humano. Es necesario tratarlas. Así es como entran en escena las plantas desalinizadoras. [2]

La desalinización es un proceso por el cual se elimina la sal del agua de mar o salobre y se obtiene agua dulce. En minería, la mayoría de las plantas utilizadas emplean la metodología de osmosis inversa. [2]

Dentro de sus principales componentes se encuentran los sistemas de succión/alimentación de agua cruda, las bombas de impulsión de agua cruda (sin tratar) y el pre-tratamiento, que puede incluir diferentes procesos unitarios con el fin de remover partículas y/o contaminantes que puedan afectar negativamente en el proceso. [2]

Con estos antecedentes, es posible realizar la caracterización entonces de un Residuo Industrial Líquido de origen minero, pudiendo evaluar si cumple con la normativa establecida por la empresa.

El trabajo se realiza en las dependencias de la planta desalinizadora Acciona Agua S.A.U., Puerto Punta Totoralillo en el laboratorio de análisis de la calidad con una duración de un mes aproximadamente.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Caracterizar un RIL de origen minero, verificando el cumplimiento de lo exigido por la empresa.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar análisis físicos y químicos de un RIL de origen minero
- Determinar parámetros cualitativos y cuantitativos
- Analizar los resultados obtenidos y contrastarlos con la norma exigida.

CAPÍTULO I: ANTECEDENTES GENERALES

1. ANTECEDENTES GENERALES

1.1.DEFINICIONES Y JUSTIFICACIÓN DEL TEMA

1.1.1. Definición de Residuos Industriales

Un residuo, ya sea sólido, líquido o gaseoso, se define como cualquier sustancia, objeto o materia generada durante un proceso productivo o de consumo que ya no se utiliza en el mismo establecimiento. Entre, los residuos, existen algunos que puedan representar algún valor económico para terceros, como material reciclable y/o reutilizable, que se denominan residuos valorizables. Por el contrario, los residuos que no tienen valor económico, se denominan desechos. Los residuos pueden diferenciarse según su origen como domiciliarios, hospitalarios o industriales. [4]

Los residuos industriales son los que provienen de los procesos de producción, transformación, utilización, consumo o limpieza, y a la gestión que se realice con ellos; es una de las actividades fundamentales de la producción limpia, ya sean éstos: residuos industriales sólidos (RISES), residuos industriales líquidos (RILES) o emisiones atmosféricas. [4]

1.1.2. Residuos Industriales Líquidos

Los Riles corresponden a todas las corrientes líquidas del proceso industrial, que son descargados fuera de la industria a cuerpos de aguas superficiales.

En general, las cuatro fuentes de riles, aplicables a toda industria corresponden a:

- Aguas residuales de procesos: resultan de las operaciones que emplean agua como medio de transporte de materiales, tales como reacciones en medio acuoso (procesos químicos, biológicos, térmicos), operaciones de separación por medio acuoso (desorción, absorción, extracción líquido-líquido), derrames, fugas, etc.

- Aguas de lavado: provienen del lavado con agua de materiales de procesos (gases y sólidos), lavado de productos, operaciones de limpieza de instalaciones y equipos, etc.
- Aguas de enfriamiento y condensadas de vapor: normalmente las operaciones industriales involucran procesos de transferencia de calor, para fines de enfriamiento o calentamiento. En ambos casos el agua es el principal medio de transporte térmico, generando grandes volúmenes de este tipo de efluentes.
- Residuos de naturaleza doméstica: se originan en los baños y casinos de la planta, es decir, resultan de las actividades asimilables a domiciliarias, realizadas dentro de las dependencias de la industria.

1.1.3. Clasificación de los Residuos Industriales

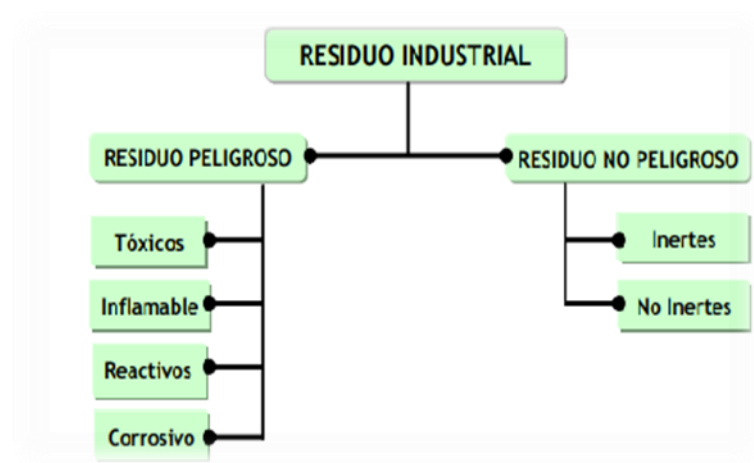
Los Residuos Industriales pueden clasificarse de varias formas, según su composición física, densidad, humedad, composición química o valor calorífico, así como por criterios y principios muy variados, acordes con la tecnología disponible, susceptibilidad de tratamiento, legislación ambiental vigente y/o idiosincrasia del lugar. [4]

Desde el punto de vista de gestión ambiental es útil clasificarlos de acuerdo a su peligrosidad (ver figura 1-1.), en función a su eventual impacto al medio ambiente y a la salud de las personas:

- Residuos No Peligroso: no presenta peligrosidad efectiva ni potencial para la salud humana, el medio ambiente o el patrimonio público. Se subdividen en dos grupos: residuos inertes y no inertes. Por ejemplo, las maderas sobrantes de la construcción son consideradas inertes no peligrosos; mientras que los desechos alimenticios, es decir, el foco no se desplaza (chimeneas industriales y domésticas, calderas, hornos, etc.) estas se pueden clasificar, de acuerdo a la magnitud y distribución espacial de las emisiones, en fuentes puntuales o grupales.
- Residuo Peligroso: se define como tal, cuando presenta un riesgo sustancial para la salud humana o su medio ambiente.

Para efectos de identificación se entiende, como residuo peligroso aquel que exhibe una o más de las siguientes características de peligrosidad:

- **Toxicidad:** capacidad de una sustancia de producir enfermedades, ya sea por ingestión, inhalación, o absorción a través de cualquier parte del cuerpo. La exposición a una sustancia de estas características puede generar efectos tóxicos acumulativos, carcinogénicos, mutagénicos o teratogénicos, o ser letales en bajas concentraciones. (Por ejemplo, vapores de benceno).
- **Inflamabilidad:** capacidad de una sustancia de inflamarse bajo ciertas condiciones o de combustionarse espontáneamente en operaciones rutinarias, manipulación transporte o almacenamiento (como es el caso de los combustibles líquidos).
- **Reactividad:** potencial de las sustancias para reaccionar químicamente liberando energía y/o compuestos nocivos ya sea por descomposición o por combinación con otras sustancias (por ejemplo: la soda cáustica).
- **Corrosividad:** capacidad de dañar o destruir los tejidos orgánicos (por contacto directo o por inhalación) o dañar otros materiales por acción química (como lo es, el ácido sulfúrico).



Fuente: www.ucipfg.com [4]

Figura 1-1. Clasificación de los residuos industriales

1.2. LA MINERIA Y SUS RESIDUOS

1.2.1. La actividad minera

La actividad minera representa uno de los sectores industriales con mayor generación de capacidad de residuos. Estos residuos se distribuyen de forma heterogénea, tanto en flujo como en composición, ya que la diversidad de sus componentes depende de la composición del yacimiento y de los procesos de recuperación utilizados en cada mina.

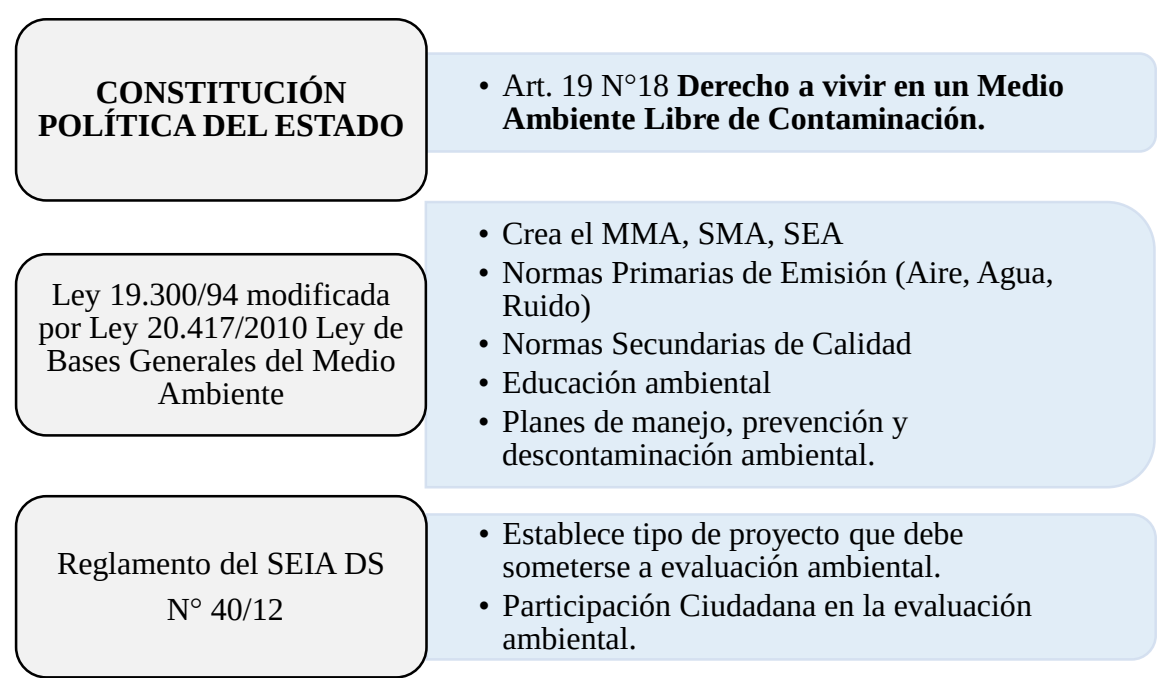
Los efluentes provenientes de la actividad minera son consecuencia de diferentes procesos que permiten la obtención del metal o sal deseada. Algunos de los desechos líquidos más importantes están ligados a tranques de relave, lixiviación natural de ripios y material estéril, y/o lavado de gases.

Los RILes producidos por la actividad minera son el resultado del proceso de extracción de componentes metálicos y no metálicos, los cuales pueden generar impactos al medio ambiente si no son debidamente tratados y/o almacenados.

En la industria existe un nivel de conocimiento avanzado sobre la generación de efluentes, con el desarrollo de diversas tecnologías para ser abordados, sobre todo para abatir metales pesados, remover sólidos o efectuar ajustes de pH. Existen aún desafíos para tratar ciertas sales disueltas que son altamente solubles, como el sulfato, el cloruro y el sodio.

No obstante, y debido a la creciente escasez de los recursos hídricos en gran parte del país y más aún en el norte de Chile, la presencia de los efluentes mineros se ha reducido en los procesos mineros, ya que en la actualidad se han implementado sistemas de recirculación que permiten optimizar el uso del agua.

1.2.2. Sistema ambiental en Chile



Fuente: Elaboración propia en base a NORMAS DE EMISIÓN D.S. MINSEGPRES N°90/00 [5]

Figura 1-2. Normas de emisión

1.2.3. Normas Primarias de Emisión (Agua)

- D.S. MINSEGPRES N°90/00 Regula los contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales.
- D.S. MINSEGPRES 46/02 N° Regula las descargas de los Residuos Líquidos a Aguas Subterráneas.
- D.S. MOP 609/98 Regula los contaminantes descargados en los residuos industriales líquidos a sistemas de alcantarillado.

1.2.4. Norma de Emisión D.S. MINSEGPRES N°90/00

“Norma de Emisión para la Regulación de Contaminantes Asociados a las Descargas de Residuos Líquidos a Aguas Marinas y Continentales Superficiales”. Establece cinco tablas con parámetros contaminantes y límites máximos permitidos en concentración según “cuerpo receptor”.

Tablas:

- 1 Fluvial s/capacidad de dilución. (35 contaminantes)
- 2 Fluvial c/capacidad de dilución. (35 contaminantes)
- 3 Lacustre (31contaminantes)
- 4 Mar dentro de Zona de Protección Litoral (31 contaminantes)
- 5 Mar fuera de ZPL (25 contaminantes)

1.2.5. Objetivos de la Norma D.S. N°90/00

- Protección ambiental
- Prevenir la contaminación de las aguas superficiales
- Control de los contaminantes de los RILES
- Mejorar la calidad ambiental de las aguas superficiales
- Mantener o alcanzar la condición de ambientes libres de contaminación

1.2.6. Riles Mineros: Desafíos Regulatorios Y Tecnológicos:

Según los especialistas, se necesitan normas específicas para la regulación de Riles mineros, así como también desarrollo de mejor tecnología para tratarlos. [6]

Los Residuos Industriales Líquidos (RILES) producidos en la industria minera en las plantas de procesamiento, “generalmente contienen sólidos en suspensión”, sólidos coloidales, iones disueltos y reactivos residuales utilizados en los procesos mineros, tales como los colectores (muy tóxicos), espumantes (tóxicos), floculante, coagulante y dispersante. [6]

Otra fuente de riles es la fundición de concentrados en su operación de lavado de gases, la cual genera efluentes ácidos arsenicados. [6]

A los residuos líquidos mencionados se agregan los generados por los laboratorios de control químico y metalúrgico, campamento, casino y lavado de maquinarias. Y cabe aclarar que “la definición de Riles no incluye a los relaves”, sostiene Juanita Galaz, gerente general de Minería y Medio Ambiente (Myma), quien además hace ver que, “dada la necesidad del recurso hídrico por parte de las compañías mineras, la generación de Riles que se transforman en desechos es prácticamente nula, ya que casi todo se recircula. [6]

El RIL estudiado proviene del puerto Punta Totoralillo, quienes reciben una pulpa de hierro la cual es filtrada para obtener el concentrado de éste. De ahí la derivación “agua filtrada” que luego se dirige a las dependencias de ACCIONA AGUA. La cual se encarga de realizar y favorecer la recirculación de dicha agua a las mineras establecidas en contrato.

1.3.PROCESOS

1.3.1. Planta Magnetita

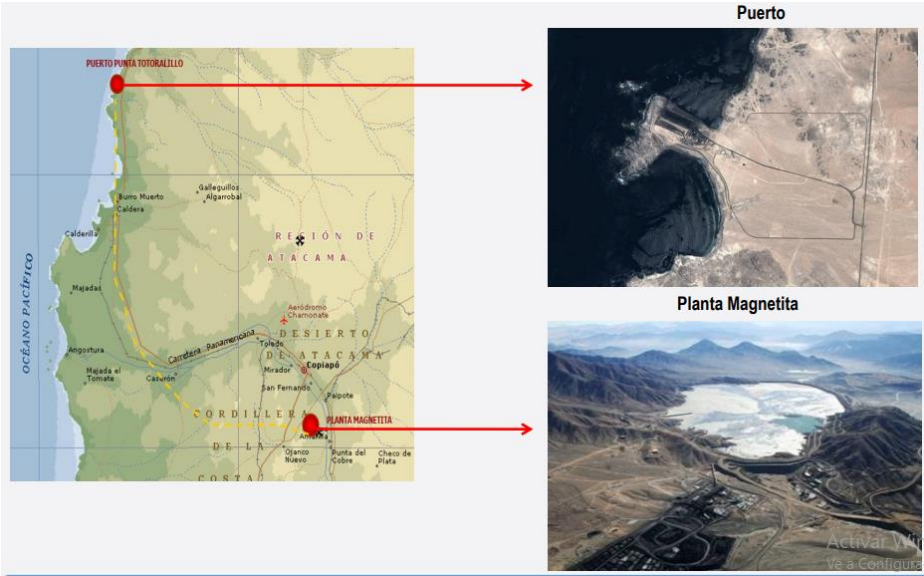
Planta Magnetita, ubicada en la comuna de Tierra Amarilla, es una faena productora de concentrado de hierro (Pellet Feed) a partir de pasivos ambientales mineros, logrando recuperar el mineral de interés mediante diversos procesos de concentración.

La principal fuente de procesamiento son los relaves provenientes de la Planta Concentradora de Cobre Minera Candelaria. El proceso productivo recibe los relaves en forma de pulpa, los cuales son procesados en una etapa de concentración magnética Rougher.

Posteriormente el mineral es traspasado a una etapa de remolienda, para lograr la reducción de tamaño y liberación de las partículas, las siguientes etapas: deslamado y concentración magnética de limpieza, permiten aumentar la concentración de hierro en el mineral procesado.

Finalmente, el mineral es procesado en la etapa de flotación de sílice, donde se eliminan impurezas y se logra la calidad requerida para el concentrado de Pellet Feed, 66% Fe.

El producto es bombeado en forma de pulpa, mediante un concentraducto, hacia las instalaciones de Puerto Punta Totoralillo, donde el mineral es filtrado, acopiado y embarcado para su exportación. [7]



Fuente: Proyecto CAP Minería Planta Magnetita [32]
<file:///C:/Users/CAROLINA/Downloads/CristianValdes.pdf>

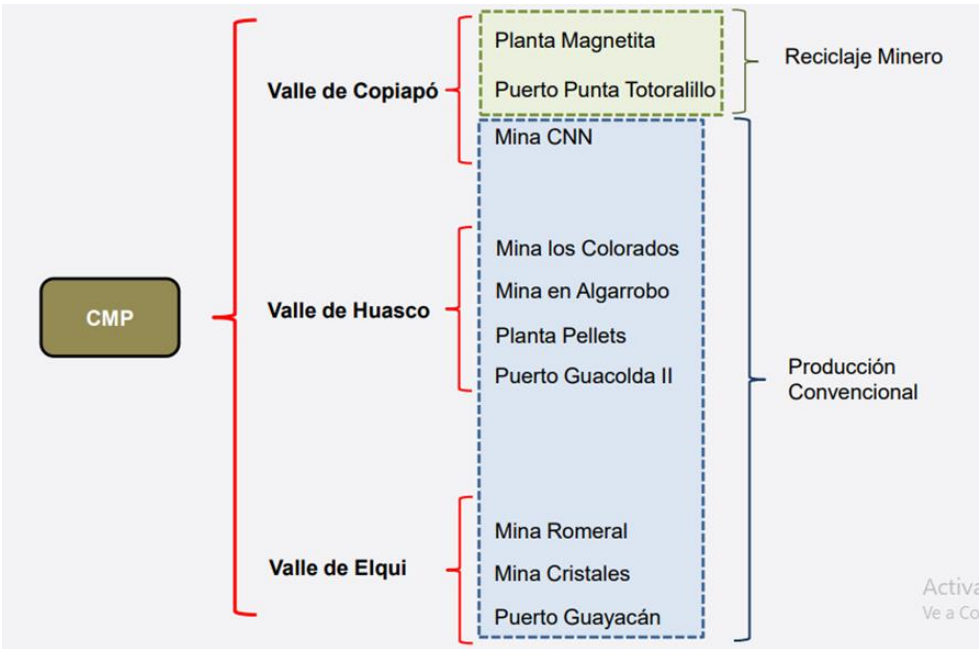
Figura 1-3. Ubicación Planta Magnetita y Puerto Punta Totalillo

1.3.2. Cerro Negro Norte (CNN)

Mina Cerro Negro Norte se encuentra ubicada en la región de Atacama, a 32 kilómetros en línea recta al norte de Copiapó y a 42 kilómetros al este de Caldera. La faena está compuesta por un complejo mina-planta en el cual se realiza la explotación del mineral a cielo abierto y el procesamiento de éste. [8]

La producción actual es de 4 millones de toneladas anual de Pellet Feed (concentrado de hierro) que es transportado a través de un concentraducto de 82 kilómetros de longitud hasta las instalaciones de Puerto Punta Totalillo, donde se realiza el embarque hacia su destino final. [8]

CAP posee derechos de agua en la cuenca del río Copiapó, pero decide no utilizarlos e instalar una planta desalinizadora en la zona cercana al puerto de Totalillo, donde se realiza el filtrado de sus concentrados. El agua desalinizada se mezcla con agua residual del proceso de filtrado proveniente de los procesos de Cerro Negro Norte y Magnetita, y luego es impulsada hasta las instalaciones de la faena, emplazada a 80 [km] del puerto. Suponiéndose entonces, que significa una recirculación del 100% de éste. [10]



Fuente: Proyecto CAP Minería Planta Magnetita [32]

<file:///C:/Users/CAROLINA/Downloads/CristianValdes.pdf>

Figura 1-4. Estructura Circulación de Agua

1.3.3. Puerto Punta Totoralillo

Puerto Punta Totoralillo está ubicado a 25 [km] de Caldera, donde el material enviado desde las distintas plantas es recibido, para así finalizar el proceso de embarcación a su destino final [9].

Los procesos con que cuenta actualmente consiste en:

- Recepción mediante concentraducto, filtrado, acopio y embarque de minerales de hierro.
- Recepción mediante camiones, acopio y embarques de minerales de hierro.
- Recepción mediante camiones, acopio y embarques de minerales de cobre.

El proceso se inicia con la recepción de minerales de hierro en forma de pulpa, enviados desde Planta Magnetita y Cerro Negro Norte a través de ductos de longitud de 120 [km] y 180 [km], respectivamente.

Una vez recibida la pulpa en estaciones de choque, pasa al área de manejo para el aumento de densidad (70% de sólido) y luego ser procesada en filtros cerámicos para separar la fase sólida de la líquida.

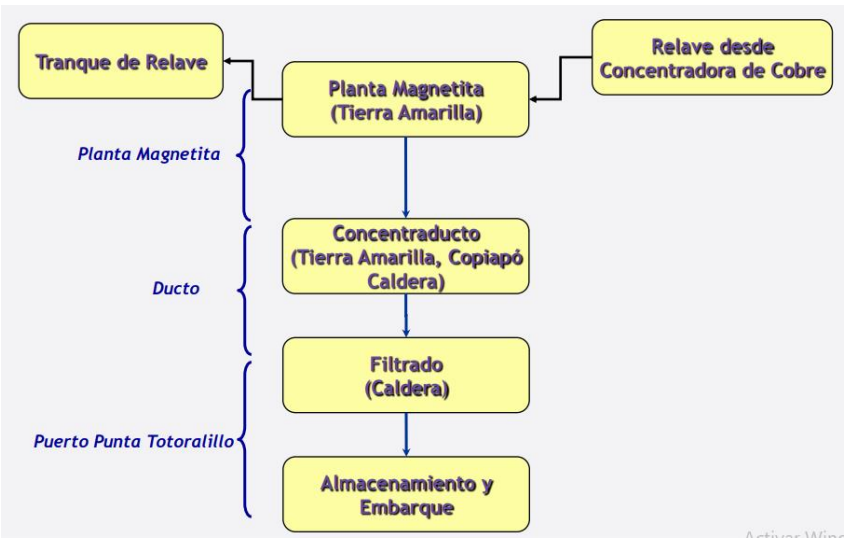
La fase líquida de ambas plantas de filtros en Planta Magnetita y Cerro Negro Norte es devuelta a la segunda faena previa mezcla con agua desalinizada, a través de un circuito de recirculación del agua de proceso del Valle de Copiapó. Alcanzando los 7000 m³ diarios.

1.3.4. Recepción del agua filtrada

O también denominada puerto, se recibe posteriormente a dos procesos:

- Concentraducto Cerro Negro Norte: el que se utiliza como medio de transporte de pulpa (hierro más agua) desde la mina hasta el Puerto Punta Totoralillo.
- Concentraducto de Mina Magnetita (MHA): el cual transporta pulpa desde allí hasta el puerto.

Estas dos corrientes de agua, se reciben en el puerto donde son separadas a través de decantadores y espesadores, extrayéndose el mineral de hierro en polvo. Por otro lado, se obtiene un agua que pasa por una planta de filtrado y luego es enviada al tanque de recepción en la Planta Desalinizadora Acciona Agua. Posteriormente se mezcla con agua remineralizada en proporción de un 75% de agua filtrada y es enviada nuevamente a CNN (Cerro Negro Norte).



Fuente: Proyecto CAP Minería Planta Magnetita [32]

<file:///C:/Users/CAROLINA/Downloads/CristianValdes.pdf>

Figura 1-5. Planta Magnetita (diagrama)

1.4. PLANTA DESALINIZADORA

1.4.1. Planta Desalinizadora Acciona Agua S.A.U Agencia en Chile

La protección del medio ambiente se ha convertido en una de las prioridades de ACCIONA AGUA en cada uno de sus proyectos. El objetivo es minimizar el consumo de recursos al tiempo que se reduce la cantidad de residuos. [36]

El abastecimiento de agua para la minería del Valle de Copiapó se origina en la necesidad de asegurar el abastecimiento, valga la redundancia, de agua para las operaciones mineras de CAP Minería en la zona.

A fines de 2013, CAP Minería encargo a Acciona Agua la construcción de una planta desalinizadora ubicada aproximadamente a 2,5 [km] al sur del Puerto Punta Totalillo, a 25 [km] de la comuna de Caldera, a una distancia de 82 [km] de operación de Cerro Negro Norte, en la provincia de Copiapó. En un comienzo la obra es diseñada con capacidad instalada de 400 litros/segundos ampliables hasta los 600. La toma de agua de mar se realiza a través de una tubería submarina de 1600 [mm] de diámetro y 280 [m] de longitud que capta el agua a una profundidad cercana a los 28 [m] y en su extremo cuenta con una torre de captación. En la costa hay una estación de bombeo que sirve para impulsar el agua hacia la planta y desde ésta hacia la mina en la cota 1100 aproximadamente. [2]

La tubería de captación está construida en polietileno de alta densidad (HDPE) para enfrentar las condiciones del mar y el clima. El conducto está anclado al suelo marino mediante lastres de anclaje de hormigón armado y se conecta al cajón de captación y al pozo de impulsión mediante flanges. El pozo de bombeo alberga las bombas verticales que elevan el agua de mar hasta la planta desalinizadora. Una vez ahí, se realiza el proceso de desalación y remineralización. La salmuera resultante es devuelta al mar mediante un sistema de difusores que facilitan la dilución aproximadamente a unos 10 [m] de la salida del difusor. La planta desala por osmosis inversa con un pretratamiento que incorpora tecnología propia desarrollada por ACCIONA, para proteger las membranas frente a fenómenos como las mareas rojas o la proliferación de medusas típico de esta zona del océano pacífico. [2]



Fuente: http://www.expoambiental.cl/presentaciones_ambiental_2015/file/viernes/hidrico/Ramon-Arbos-Desalacion-una-solucion-global-a-la-escasez-de-agua.pdf [36]

Figura 1-6. Vista superior de la planta y sus instalaciones.

El área de ósmosis inversa se encuentra al interior de un galpón de hormigón con estructura metálica de 70x40 m aproximadamente. Este sector considera líneas de producción; un sistema de bombas de alta presión, recuperadores de energía y bombas Booster, bastidores de ósmosis inversa, un estanque para el lavado y desplazamiento de las membranas de osmosis inversa, además de un sistema de lavado con equipos necesarios para realizar estas operaciones. [2]

Finalmente, la descarga de la salmuera resultante del proceso de osmosis inversa, se hace en una tubería fabricada en HDPE de 800 mm de diámetro que se conecta al estanque de salmuera y recorre semienterrada un tramo terrestre cercano a los 1500 m hasta llegar a la cámara de descarga. El punto de descarga se ubica aproximadamente a 450 m al norte del punto de captación y fuera de la Zona de Protección Litoral (ZPL). [2]

1.5.MÉTODOS ANALÍTICOS

1.5.1. Técnica instrumental, espectrofotometría UV-visible

La espectrofotometría UV-visible es una práctica analítica que permite determinar la concentración de un compuesto en solución. Se basa en la medición de absorción de radiación UV o visible por determinadas moléculas, la radiación correspondiente a estas regiones del espectro electromagnético causa transiciones electrónicas a longitudes de onda característica de la estructura molecular de un compuesto. [11]

Es utilizada generalmente en la valoración cuantitativa de soluciones de iones metálicos de transición y compuestos orgánicos, ambos absorben luz. [11]

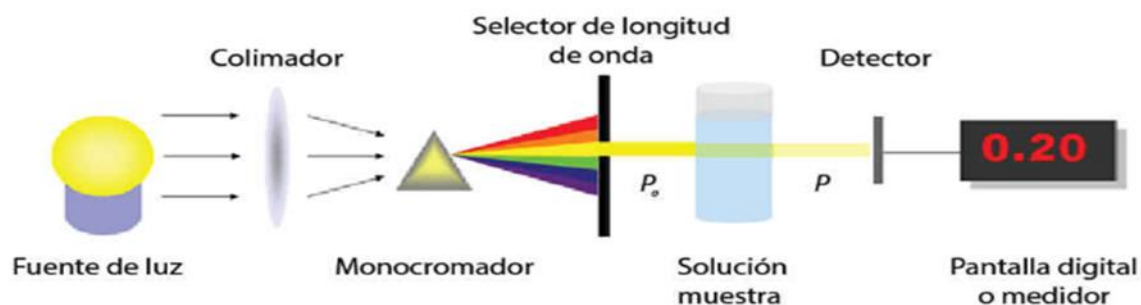
1.5.2. El espectrofotómetro

La estructura básica de los espectrofotómetros consiste en una fuente de luz, un colimador, un monocromador, un selector de longitud de onda, una cubeta para la solución muestra, un detector fotoeléctrico y una pantalla digital o un medidor.

El espectrofotómetro es un instrumento que permite comprar la radiación absorbida o transmitida por una solución que contiene una cantidad desconocida de soluto, y una que contiene una cantidad conocida de la misma sustancia.

Todas las sustancias pueden absorber energía radiante. El vidrio, que parece ser completamente transparente, absorbe longitudes de ondas que pertenecen al espectro visible; el agua absorbe fuertemente en la región del IR.

La absorción de las radiaciones UV, visible e IR depende de la estructura de las moléculas, y es característica para cada sustancia química. El color de las sustancias se debe a que absorben ciertas longitudes de ondas de la luz blanca que incide sobre ella y solo dejan pasar a nuestros ojos aquellas longitudes de onda no absorbidas. [11]



Fuente: <https://elespectrofotometro.com/partes-del/> [11]

Figura 1-7. Partes del espectrofotómetro

1.5.3. Espectrofotómetro DR 3900 utilizado; especificaciones de funcionamiento

El espectrofotómetro VIS DR3900 utilizado para la determinación de metales de este trabajo de título, posee un rango de longitud de onda de 320 y 1100 [nm]. Ofrece lecturas digitales en unidades de concentración directa, absorbancias o porcentajes de transmitancia. [12]

El DR 3900 cuenta con dos compartimientos para cubetas (ver figura 1-9) y sólo se puede utilizar un tipo de cubeta a la vez para una medición.

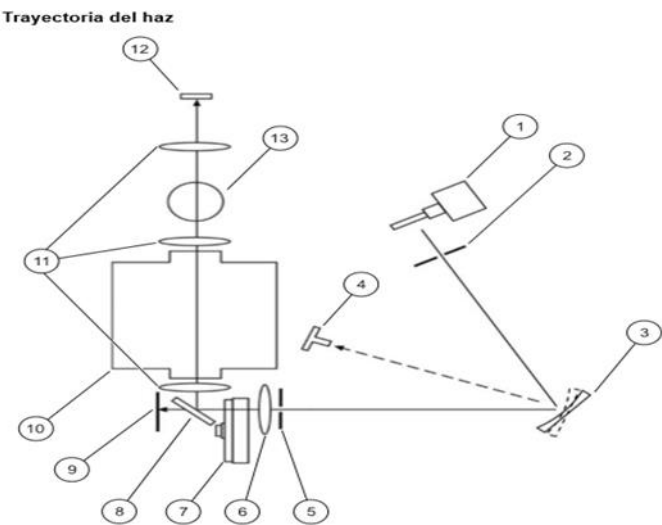
Compartimiento de cubetas **1** para cubetas redondas de 13 [mm] – [16 mm], contiene detección de códigos de barra para cubetas/viales.

Compartimiento de cubetas **2** para cubetas rectangulares. Se añaden 10 [ml] de muestra, reactivos necesarios y se lee en espectrofotómetro.

Tabla 1-1. Especificaciones de funcionamiento DR 3900

Especificaciones de funcionamiento	
Modo de pantalla	Transmitancia (%), absorbancia y concentración
Fuente de luz	Lámpara halógena
Rango de longitud de onda	320–1100 nm
Exactitud de longitud de onda	± 1.51.5nm (rango de longitud de onda 340–900nm)
Reproducibilidad de longitud de onda	± 0.1nm
Resolución de longitud de onda	1 nm
Calibración de longitud de onda	Automática
Selección de longitud de onda	Automática, mediante selección de un método
Velocidad de barrido	≥ 8nm/s (en fases de 1nm)
Ancho de banda espectral	5 nm
Rango de medida fotométrico	± 3.0 Abs (rango de longitud de onda de 340 a 900 nm)
Exactitud fotométrica	5 m de abs a 0.0-0.5 Abs 1% a 0.50-2.0 Ext
Linealidad fotométrica	< 0.50.5% a 2 Abs ≤1% a \\\ 2 Abs con vidrio neutro a 546 nm
Luz difusa	< 0.10.1%T a 340 nm con NaNO ₂
Registro de datos	2000 mediciones (resultado, fecha, hora, ID de muestra, ID del usuario)
Programas del usuario	100

Fuente: www.elicrom.com [12]



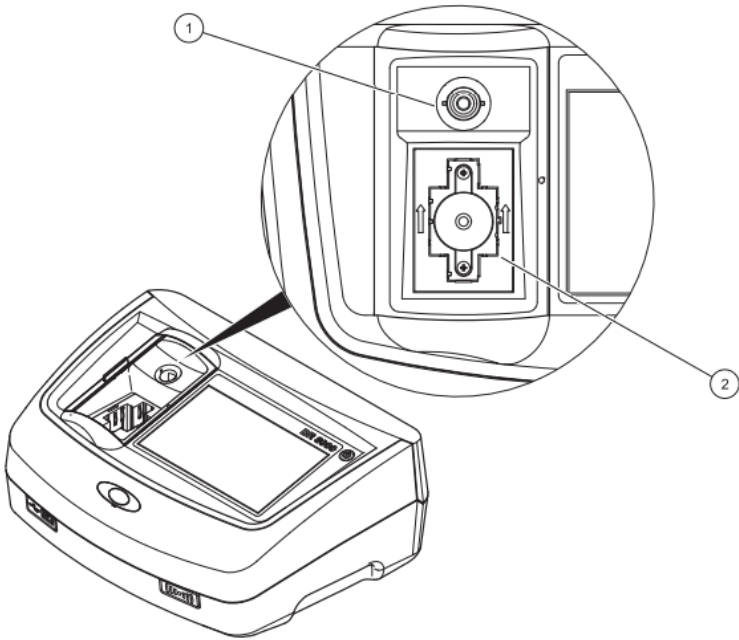
Fuente: <http://www.elicrom.com/content/DR%203900-MANUAL-JH.pdf> [12]

Figura 1-8. Trayectoria del haz del espectrofotómetro DR 3900

Tabla 1-2. Partes del equipo en la trayectoria del haz

1	Lámpara halógena	8	Espejo separador
2	Abertura de entrada	9	Elemento de referencia
3	Rejilla	10	Compartimento de cubetas (2) para cubetas rectangulares
4	Indicador de ángulo de rejilla	11	Lente
5	Abertura de salida	12	Elemento de medición
6	Lente	13	Compartimento de cubetas (1) para cubetas redondas
7	Rueda de filtros		

Fuente: www.elicrom.com [12]



Fuente: www.elicrom.com [12]

Figura 1-9. Compartimiento para cubetas: compartimiento para cubetas redondas **1**
compartimiento para cubetas rectangulares **2**

1.5.4. Radiación UV-vis

Una diferencia obvia entre ciertos compuestos es su color. Aunque se ve la luz solar (o la luz blanca) como uniforme o de color homogéneo, en realidad está en el amplio espectro de longitudes de onda de radiación ultravioleta y el espectro visible (UV-Vis), e infrarrojo (IR). Al pasar la luz solar a través de un prisma, los colores componentes de la parte visible se pueden separar, lo que actúa para orientar la luz en diferentes grados según la longitud de onda correspondiente.

La radiación electromagnética tal como la luz visible se trata comúnmente como un fenómeno caracterizado por una longitud de onda o frecuencia. La longitud de onda se define como la distancia entre picos adyacentes (o canales), y pueden ser designados en metros, centímetros o nanómetros. Frecuencia es el número de ciclos de onda que viajan más allá de un punto fijo por unidad de tiempo, y suele darse en ciclos por segundo, o hertzios (Hz). Las longitudes de onda visibles cubren un rango desde aproximadamente 400 hasta 800 [nm].

La radiación electromagnética puede considerarse una combinación alternada de campos eléctricos y magnéticos que viajan a través del espacio con un movimiento ondulado. [11]

CAPÍTULO II: ANÁLISIS EXPERIMENTAL

2. ANÁLISIS EXPERIMENTAL

2.1. FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1.1. Análisis del RIL

La caracterización del RIL consta de 8 análisis, tanto físicos como químicos, que son de mayor relevancia para su estudio. Se comienza con la determinación del pH, en una primera instancia dada la importancia de éste parámetro químico, el que puede verse afectado por condiciones de almacenamiento, climáticas, etc. Seguido al mismo tiempo de; temperatura, conductividad y turbidez. Se prosigue con la determinación de metales y cuantificación de sólidos.

2.1.2. pH

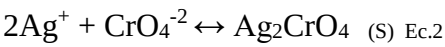
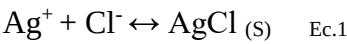
Para determinar pH se utiliza el método electrométrico, y se determina el potencial de Hidrógeno de la muestra. El electrodo de vidrio para pH cuyo potencial depende de la disolución en la que es sumergida, contiene una disolución interna de pH invariable donde se encuentra sumergido un electrodo interno de referencia. El multiparámetro portátil HQ40, permite medir distintos parámetros de calidad de agua a su vez, tales como conductividad y temperatura. [13]

El pH evalúa la acidez o alcalinidad de la muestra. Se entiende por acidez la capacidad de la muestra para aportar una disolución acuosa iones de Hidrógeno, Hidrogenios (H^+) al medio. La alcalinidad o base aporta Hidroxilo OH^- al medio. Por lo tanto, el pH mide la concentración de iones de Hidrógeno de la muestra. [14]

“1909 y el químico danés Sorensen define el potencial de Hidrógeno (pH) como el logaritmo negativo de la concentración molar (exactamente de la actividad molar) de los iones hidrógeno”. Esto quiere decir que $pH = -\log[H^+]$. Desde entonces el termino pH ha sido universalmente utilizado por la facilidad de su uso. [14]

2.1.3. Cloruros

Por formación de un segundo precipitado o valoración de Mohr. Se precipita el ión cloruro en forma de cloruro de Plata por valoración con solución de AgNO₃ patrón en presencia de ión cromato en pequeña concentración. El punto final corresponde a la primera aparición perceptible y permanente de un precipitado de cromato de plata, de color rojo ladrillo, que no desaparece al agitar. El Ag₂CrO₄ se forma por adición de un ligero exceso de AgNO₃, solo después que ha precipitado todo el ión cloruro en forma de AgCl. [17]



2.1.4. Dureza

Dureza o cantidad equivalente de carbonatos se realiza por determinación complexométrica utilizando EDTA como agente titulador. La solución de EDTA forma “iones complejos solubles” con el Ca⁺², Mg⁺² y otros iones causantes de la dureza.

Se tampona la muestra con buffer pH 10 y se añaden gotas de indicador NET (azul), el cual se combina con algunos iones Ca⁺² y Mg⁺² para formar un ión complejo débil de color vino tinto. Durante la titulación con EDTA todos los iones Ca⁺² y Mg⁺² libres forman complejos; finalmente el EDTA descompone el complejo débil color vino tinto para formar un complejo más estable con los iones que causan dureza. Esta acción libera al indicador NET y la solución pasa de color vino tinto a un color azul lo cual indica el punto final de la titulación. [15]

La reacción puede representarse así:



2.1.5. Metales y sólidos suspendidos totales

Como ya se menciona, el agua filtrada, que es recibida de puerto proviene de dos procesos:

- Concentraducto de Cerro Negro Norte y
- Concentraducto de mina Magnetita

Dada la gran cantidad de metales que poseen estos efluentes, existen normas establecidas dispuestas en el Anexo I Calidades de Agua del Contrato de Operación y Mantenimiento. Las que exigen concentraciones de metales y sólidos suspendidos totales. Este análisis debe realizarse con espectrofotometría UV-visible, para medir cuantitativamente e indicar la cantidad de sustancia de interés que está presente en la muestra.

Los sólidos suspendidos totales (SST) llamados también sólidos no filtrables. Representan a los materiales que no se disuelven y que son retenidos por un filtro Millipore o por un filtro de fibra de vidrio. [16]

El método de determinación se basa en filtrar una muestra bien homogeneizada a través de un filtro de vidrio estándar y secar el residuo retenido entre 103 y 105 °C. El aumento de masa del filtro representa el contenido de sólidos suspendidos totales y se expresa como [mg/L]. [16]

2.1.6. Principios y métodos utilizados para metales

- Turbidimétrico para sulfatos (SO_4)⁻²

Los iones sulfato reaccionan con cloruro de Bario en soluciones acuosas y forman sulfato de Bario, que es difícilmente soluble. La turbidez resultante se mide mediante fotometría. [18]

- 1,10 Fenantrolina para hierro (Fe^{+2})

Los iones ferrosos (II), forman con la 1,10-fenantrolina un complejo rojo-naranja. Los iones férricos (III) presentes en la muestra de agua se reducen a iones ferrosos (II) mediante ácido ascórbico antes de que se forme el complejo. [19]

- Cromazurol S para aluminio (Al^{+3})

El cromazurol S forma un tinte verde con Aluminio en soluciones tamponadas con acetato de acidez débil. La cantidad de color formado es directamente proporcional a la cantidad de aluminio existente en la muestra. Los resultados del análisis se miden a 620 nanómetros. [20]

- Azometina-H para Boro (B)

En medio acuoso, los iones borato y la Azometina-H reaccionan reversiblemente formando un compuesto quelato de color amarillo. La reacción depende del pH del medio y es máxima a pH 5,20. Para ajustar el pH se utiliza una solución enmascaradora tampón compuesta de ácido acético, acetato de amonio y EDTA- Na_2 . [33]

- Cobre (Cu^{+2})

Los iones Cobre (I) forman con la sal disódica del ácido batocuproindisulfónico (BADIDI) un complejo de color naranja. Los iones cobre (II) presentes en la muestra de agua se reducen, antes de la formación del complejo, a iones Cobre (I) mediante ácido Ascórbico. [21]

Por último, los sólidos suspendidos totales corresponden a la cantidad de sólidos medidos en miligramos por litro, presentes en suspensión y que son separados a través de un equipo de filtración al vacío.

2.2. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS



Fuente: elaboración propia en base al procedimiento realizado

Figura 1-2. Diagrama del procedimiento para realizar caracterización del RIL

2.3. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

2.3.1. Materiales y equipos

Se mencionan los materiales y equipos necesarios para el desarrollo experimental del presente trabajo de título.

Antes de la realización de los análisis se debe contar con elementos de protección personal (EPP: guantes de nitrilo y lentes de policarbonato).

pH, temperatura y turbidez [22], [23], [24]

- Material usual de laboratorio
- Vaso precipitado de 100 [ml]
- Barra magnética
- Cubeta redonda de vidrio
- Equipo multiparámetro HQ40
- Electrodo de pH 101
- Agitador magnético
- Turbidímetro 2100

Cloruros y dureza [25] [26]

- Soporte con pinza para bureta
- Bureta ámbar de 25 ml
- Bureta de 25 ml
- Matraces Erlenmeyer de 250 ml
- Pipeta aforada de 20 ml
- Micropipeta
- Puntas de micropipetas
- Equipos: no procede

Sólidos suspendidos totales [34]

- Matraz kitazato
- Tapón de goma
- Mangueras
- Filtro de fibra de vidrio
- Vaso precipitado de 1[L]
- Bomba de vacío
- Estufa
- Balanza analítica Sartorius Weighing Technology, Praxum 224-1s
- Desecador

Metales

- Micropipeta
- Probeta 10 [ml]
- Espectrofotómetro DR 3900

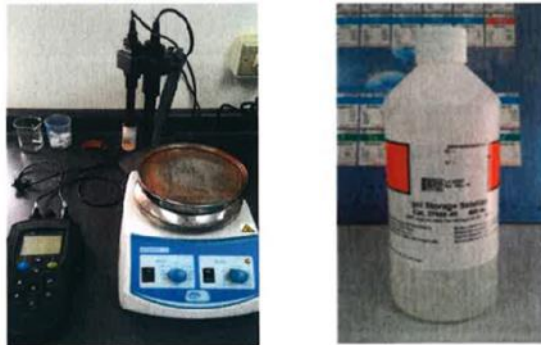
2.3.2. Reactivos y soluciones

- Solución almacenamiento de pH
- Nitrato de Plata 0,1N, solución valorada
- Indicador cromato de Potasio al 5%
- EDTA 0,01N, solución valorada
- Indicador Negro de Eriocromo
- Solución buffer pH 10 de Amonio
- Reactivo TNT 865 rango alto 150-900 [mg/L] de SO_4^{2-} , método turbidimétrico
- Reactivo TNT 858 rango 0.2-6.0 [mg/L] Fe, método 1,10 Fenantrolina
- Reactivo TNT 848 rango 0.02-0.50 [mg/L] Al, método Cromazurol S
- Ácido Nítrico 70% p.a.
- Reactivo LCK 307 rango 0.05-2.50 [mg/L] B, método Azometina-H
- Reactivo TNT 860 rango 0.1-8.0 [mg/L] Cobre

2.3.3. Procedimiento

Para la determinación de pH, temperatura y conductividad se utiliza el método electrométrico con el multiparámetro HQ40 y el electrodo PHC 101

- Se ambienta un vaso precipitado de vidrio de 100 [mL], con la muestra a analizar, eliminando al botadero.
- Se añade un volumen considerable de muestra y se introduce una barra magnética dentro del vaso precipitado para ser llevado al agitador magnético. Cuidando que las RPM utilizada fuesen las apropiadas para que no se derrame muestra.
- Se enciende el multiparámetro HQ40 y se revisan que las condiciones de calibración estén ok en pantalla.
- Quitando la protección del electrodo PHC101 se introduce la sonda dentro del vaso precipitado con agitación magnética.
- Debe presionarse el botón de medición (botón amarillo)
- Esperar que se estabilice la medición y anotar el resultado de pH y temperatura en la planilla correspondiente a la muestra.
- Se retira el electrodo del vaso precipitado, se enjuaga con agua destilada, se seca y se guarda con su protección cuidando que ésta tenga solución almacenadora de pH en su interior.



Fuente: INSTRUCCIÓN TÉCNICA DETERMINACIÓN del pH, preparado por acciona agua.

Figura 2-2. Disposición de los equipos finalizado el análisis - solución de almacenaje de pH

Turbidez

- Se enciende turbidímetro portátil 2100Q
- Debe observarse que el instrumento a utilizar esté calibrado, esto ocurre cuando el gráfico de la pantalla está con la palabra OK.
- Se ambienta una cubeta redonda de vidrio (set de cubetas para turbidímetro), y luego es añadida muestra hasta aforo de la cubeta.
- Se limpia y seca la cubeta suavemente con papel klínex.
- Se introduce la cubeta en el turbidímetro, cuidando coincidir ambas flechas (cubeta más turbidímetro).
- Se presiona el botón de medición, se registra la medición. Y se lava la celda para ser guardada.



Fuente: INSTRUCCIÓN TÉCNICA DETERMINACIÓN DE TURBIEDAD, preparado por acciona agua.

Figura 3-2. Turbidímetro portátil - aforo de cubeta para medir turbidez

Cloruros

- Se añade alícuota de 20 [ml] de muestra, exactamente medida con pipeta aforada, a un matraz Erlenmeyer de 250 ml.
- Se añade 1[mL] aprox. de indicador Cromato de Potasio al 5% y se homogeniza.
- Se valora la muestra con Nitrato de Plata 0,1 N hasta la aparición un precipitado rojo ladrillo de Cromato de Plata.

Dureza

- Se añade alícuota de 3 [mL] de muestra, exactamente medido con micropipeta, a un matraz Erlenmeyer de 250 ml.
- Se agrega 2 [mL] de buffer pH 10 de amonio
- Se incorpora una punta de espátula de indicador Negro de Eriocromo. La solución debe adquirir una coloración de color púrpura.
- Se titula con EDTA (sal disódica) 0.01 N, hasta observar un viraje de color púrpura al azul. Registrando el gasto.



Fuente: INSTRUCCIÓN TÉCNICA DETERMINACIÓN DE LA DUREZA, preparado por acciona agua.

Figura 4-2. Viraje del indicador, punto final

Metales

Los siguientes análisis son leídos en un espectrofotómetro UV-Vis. A través de un programa de la electrónica de él mismo. El cual posee un lector de código de barras especial en el compartimiento de cubetas 1 lee automáticamente el código de barras de la cubeta/vial de 13 [mm] cuando ésta completa una rotación sencilla. El instrumento usa la identificación del código de barras para establecer automáticamente la longitud de onda correcta para el análisis y calcula el resultado de inmediato con la ayuda de los factores almacenados. [12]

Asimismo, las posiciones se graban en 10 posiciones distintas durante la rotación, se ejecuta un programa de eliminación de valores extremos y, a continuación, se calcula la media de los valores medidos. Se detectan los errores y las contaminaciones de las cubetas y las cubetas redondas y, por lo tanto, se determina un resultado muy preciso. [12]

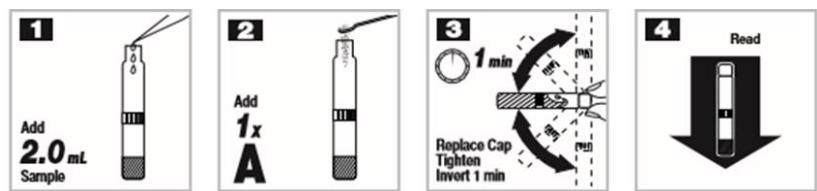
- Se introduce el protector de luz en el compartimiento de cubetas 2 (*)
- Se prepara la prueba del código de barras de acuerdo con la identificación de procesos y luego se inserta la cubeta en el compartimiento de cubetas 1(*)
 - ✓ Cuando una cubeta codificada se ubica en el compartimiento de células, el programa de lectura correspondiente se activa de forma automática en el menú principal.
 - ✓ De no ser así, se debe pulsar el programa de códigos de barra en el menú e introducir una cubeta cero (dependiendo del procedimiento) en el compartimiento de cubetas 1 (*)
- La medición comienza automáticamente y se muestran los resultados.

Sulfatos [18]

- Se pipetea 2 [mL]de muestra en la cubeta
- Se añade una cucharada rasa de reactivo A
- Se tapa y luego se invierte la cubeta, inmediatamente invertir de nuevo la cubeta durante 1 min.
- Esperar 30 seg. Durante este tiempo se debe limpiar bien el exterior de la cubeta y colocarla en el soporte portacubetas.
- Después de colocar la cubeta, el código de barras es identificado y se lleva a cabo una evaluación automática.

Notas especiales

- ✓ Leer las indicaciones de seguridad y la fecha de caducidad en el envase.
- ✓ Campo de aplicación: aguas residuales, suelos, agua bruta, analítica de proceso.
- ✓ Dependencia de la temperatura: 15-25°C muestra/reactivo, en caso contrario pueden obtenerse resultados erróneos.
- ✓ En presencia de sulfato aparecerá turbidez.



Fuente: www.hach.com [18]

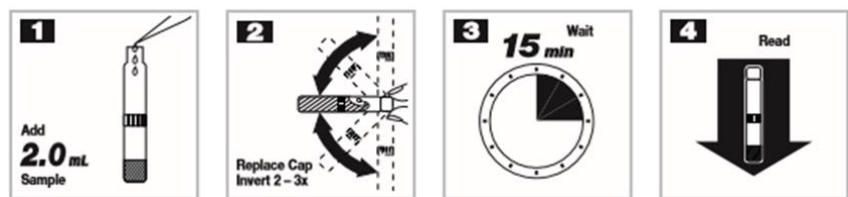
Figura 5-2. Procedimiento para análisis de sulfatos en muestra de agua

Hierro [19]

- Se pipetea 2 [mL] de muestra en la cubeta.
- Se cierra la cubeta y se invierte varias veces hasta que el contenido liofilizado se haya disuelto.
- Esperar 15 minutos.
- Se limpia bien el exterior de la cubeta y se coloca en el soporte portacubetas.
- Después de colocar la cubeta, el código de barras es identificado y se lleva a cabo una evaluación automática.

Notas especiales

- ✓ Leer las indicaciones de seguridad y la fecha de caducidad en el envase.
- ✓ Campo de aplicación: agua potable, agua bruta, agua de piscina, aguas residuales, analítica de procesos.
- ✓ pH de la muestra: 3-10
- ✓ temperatura de muestra/reactivo: 15-25°C



fuelle: www.hach.com [19]

Figura 6-2. Procedimiento para la determinación de hierro

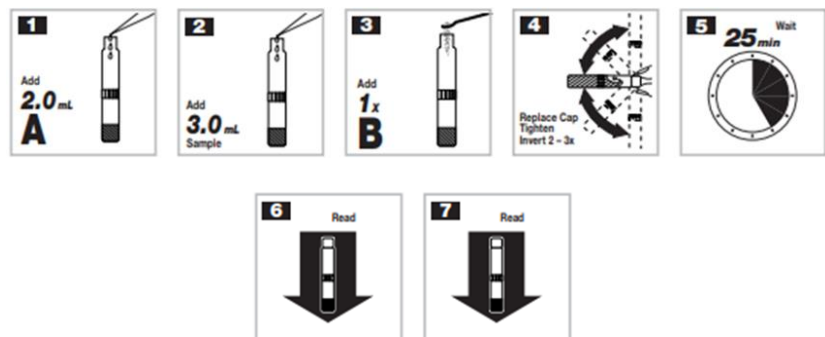
Aluminio [20]

- Se pipetea 2 [mL] de solución A en la cubeta.
- Se pipetea 3 [mL] de muestra en la cubeta.
- Se añade una cucharada a ras de reactivo B.
- Se tapa e invierte la cubeta 2 a 3 veces hasta que ya no quede ningún resto (disolución completa).
- Esperar 25 minutos.
- Se coloca el protector de luz en el compartimiento nº2 de la cubeta.
- Se coloca la cubeta cero del lote de cubetas de muestra en el soporte portacubetas.

- El instrumento lee el código de barras, y luego selecciona el método y pone el instrumento a cero.
- El instrumento muestra L1 una vez finalizada la calibración a cero.
- Se limpia bien el exterior de la cubeta de la muestra preparada y se coloca en el soporte portacubetas. El código de barras es identificado y se lleva a cabo una evaluación automática.

Notas especiales

- ✓ Leer las indicaciones de seguridad y fecha de caducidad en el envase.
- ✓ Campo de aplicación: agua potable, aguas superficiales, aguas residuales, analítica de proceso.
- ✓ Dependencia de temperatura: 20-23° muestra/reactivo, en caso contrario pueden encontrarse resultados erróneos.
- ✓ pH de la muestra 2.5 – 3.5: los valores de pH más alto que el mencionado provocan la precipitación o la formación de complejos del aluminio obteniéndose, por tanto, resultados bajos. En caso necesario el pH de la muestra se ha de ajustar debidamente añadiendo una pequeña cantidad de ácido nítrico (HNO₃).



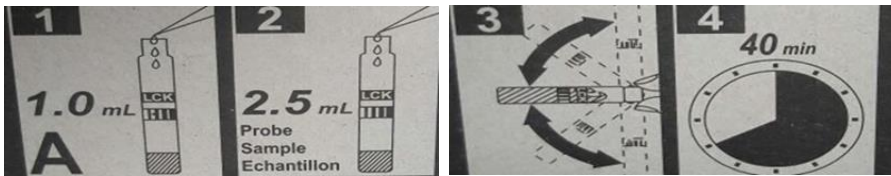
Fuente: www.hach.com [20]

Figura 7-2. Procedimiento para la determinación de aluminio

Boro [30]

- Se pipetea 1 [mL] de solución A en la cubeta.
- Se pipetea 2.5 [mL] de muestra en la cubeta.
- Se tapa y se agita vigorosamente la cubeta.

- Se limpia bien el exterior de la cubeta y es colocada en el soporte portacubetas. Se esperar 40 min para leer. Después de colocar la cubeta, el código de barras es identificado y se lleva a cabo una evaluación automática.



Fuente: elaboración propia

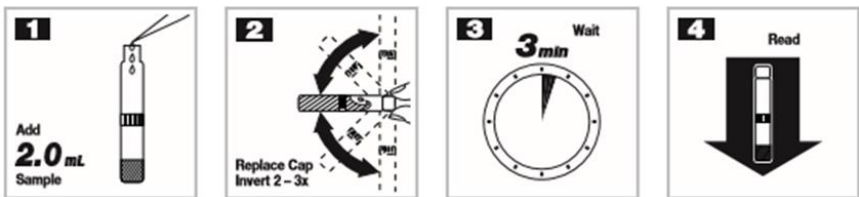
Figura 8-2. Procedimiento para la determinación de Boro en muestra de agua

Cobre [21]

- Se pipetea 2 [mL] de muestra en la cubeta.
- Se tapa e invierte 2 a 3 veces hasta que el contenido liofilizado se haya disuelto.
- Esperar 3 minutos.
- Se limpia bien el exterior de la cubeta y se coloca en el soporte portacubetas.
- Después de colocar, el código de barras es identificado y se lleva a cabo una evaluación automática.

Notas especiales

- ✓ Leer las indicaciones de seguridad y la fecha de caducidad en el envase.
- ✓ Campo de aplicación: aguas residuales, agua potable, analítica de proceso.
- ✓ Dependencia de la temperatura: muestra/reactivo 15-25°C, en caso contrario pueden obtenerse resultados incorrectos.
- ✓ pH de la muestra 2.5 – 11.



Fuente: www.hach.com [21]

Figura 9-2. Procedimiento para determinación de cobre en una muestra de agua

Sólidos suspendidos totales [34]

Parámetro utilizado en la calificación de la calidad del agua y en el tratamiento de aguas residuales. Indica la cantidad de sólidos (medidos habitualmente en [mg/L]), presentes, en suspensión y que pueden ser separados por medios mecánicos, como por ejemplo la filtración en vacío, o la centrifugación del líquido.



Fuente: INSTRUCCIÓN TÉCNICA DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES, preparado por acciona agua.

Figura 10-2. Equipo de filtración al vacío

- Se toman 800 [mL] de muestra.
- En el equipo de filtración, se coloca el disco de fibra de vidrio, previamente pesado.
- Se vacía la muestra, se aplica vacío y luego se drena toda el agua.
- Se suspende el vacío, se retira el filtro del aparato y es secado a una temperatura de 103°-105° C durante al menos dos horas en estufa.
- Se enfría el filtro en desecador a temperatura ambiente y luego se pesa.

CAPÍTULO III: RESULTADOS

3. RESULTADOS

3.1. EXPRESIÓN DE RESULTADOS

3.1.1. Resultados y discusión de resultados

La muestra de RIL, debe cumplir con parámetros de calidad exigidos, el cual detalla.

El agua proveniente de Puerto Punta Totoralillo, llamada puerto o filtrada debe cumplir con las especificaciones de calidad establecidas en el contrato de calidad y operación mantenimiento planta desalinizadora de agua de mar valle de Copiapó, detalladas en el anexo I.

Tabla 3-1. Rangos de aceptabilidad en agua filtrada

Ítem	Unidad	Valor Actual	Valor máximo permitido
Turbidez	NTU	1,50	<10
Cloruro	mg/L	200,000	<600
Hierro	mg/L	2,000	<5
Aluminio	mg/L	1,510	<3
Boro	mg/L	0,750	<5
Cobre	mg/L	0,200	<0,5
SST	mg/L	22,0	<30

Fuente: elaboración propia, anexo I.

3.1.2. Análisis y discusión de resultados; pH, conductividad y temperatura

Los resultados de las mediciones de pH, conductividad y temperatura se obtienen en forma simultánea a través del equipo multiparámetro HQ40d. dado que posee conexión para dos sondas. La sonda PHC101 digital, combinación de pH y sensor de temperatura incorporado. La sonda CDC401 digital, conductividad de 4 polos y de grafito.

Tabla 3-2. Resultados pH, temperatura, conductividad y turbidez de agua filtrada

Fecha	pH	Temperatura °C	Conductividad µS/cm	Turbidez NTU
01/03/2018	6,7	23,4	4170	21,4
02/03/2018	6,9	24,3	4172	10,0
05/03/2018	6,7	26,3	4160	34,3
06/03/2018	6,6	22,9	4060	17,0
07/03/2018	6,7	23,5	4240	22,0
08/03/2018	6,9	23,4	4100	19,5
09/03/2018	6,6	26,1	4060	31,4
12/03/2018	7,2	23,2	4060	21,7
13/03/2018	6,8	23,3	4150	17,4
14/03/2018	6,6	20,3	3840	23,2
15/03/2018	6,8	14,4	3820	51,2
16/03/2018	6,7	26,8	3880	21,9
19/03/2018	7,4	24,1	3510	27,1
20/03/2018	6,9	23,3	3450	30,3
21/03/2018	8,9	19,4	3310	17,9
22/03/2018	9,1	21,0	3370	22,4
23/03/2018	9,8	21,4	3430	18,8
27/03/2018	9,5	20,2	3590	9,0
28/03/2018	9,0	19,9	3600	113
29/03/2018	9,1	20,0	3620	28,5

Fuente: elaboración propia.

Discusión

De acuerdo a la información desprendida de la tabla 3-2, se obtiene: el pH se mantiene en un promedio de 7,5 aproximadamente. Con un aumento considerable desde el día 21 de marzo, donde, de un pH neutro-básico pasa a básico.

Los valores de pH encontrados, si bien se mantienen estables, poseen un elevado valor generalmente básico y alcalino lo cual trae consigo problemas futuros. A ciertos niveles de pH y rangos de temperatura, los diferentes iones metálicos son solubles, lo que les permite fluir a través de los sistemas de tuberías. Sin embargo, si en el fluido que se disuelven los metales cae fuera del rango de solubilidad, los iones pueden salir de la solución y adherirse a las paredes de la tubería por donde el RIL circula hacia las dependencias de Acciona. Estos iones con el tiempo se acumulan y se crea el sarro. El proceso del cual es proveniente la muestra en cuestión, tiende al riesgo de formación de sarro, dado que los principales componentes de esta agua son; Hierro, Aluminio, Calcio, entre otros. Las sales de Calcio además poseen un rango muy reducido de solubilidad.

Cabe destacar que en el Anexo I de Calidades de Agua del Contrato de Operación y Mantenimiento asociado al mantenimiento de la planta no entrega información sobre el pH asociado al agua filtrada.

La temperatura se mantiene estable y constante durante el estudio realizado a la muestra, en los 20 días.

La conductividad electrolítica en medios líquidos se relaciona con la presencia de sales en solución, cuya disociación genera iones positivos y negativos capaces de transportar la energía eléctrica si se somete a un campo eléctrico. La muestra de agua estudiada presenta una alta conductividad, debido a que esta proviene de un desecho líquido que se caracteriza por tener altas concentraciones de sólidos suspendidos, con contenidos de fierro, sulfatos, entre otras sustancias; y son consecuencia, del proceso de flotación del mineral a que es sometida la pulpa. Ésta no se encuentra detallada en el Anexo I Calidades de Agua del Contrato de Operación y Mantenimiento asociado al mantenimiento de la planta.

Y finalmente la turbidez, el último parámetro de la tabla 3-2. El Anexo I Calidades de Agua del Contrato de Operación y Mantenimiento asociado al mantenimiento de la planta. Exige para éste, un volumen máximo permitido de <10 NTU. Como se puede apreciar, cumple con la norma sólo un día (2 de marzo) de los 20 días de estudio. Presentando una turbidez de 10 NTU, el resto de los días es siempre superior. Llegando incluso a 51,2 NTU el día 15 y 113 NTU el día 27. Por lo tanto, dicha agua no cumple con las normas y exigencias establecidos en el contrato. La turbidez se encuentra siempre muy elevada.

3.1.3. Expresión de cálculos y resultados, cloruros y dureza.

Tabla 3-3. Resultados titulación de cloruros y dureza

FECHA MEDICIÓN	PARÁMETROS			
	CLORUROS [mg/L]		DUREZA TOTAL [ppm CaCO ₃]	
	Gasto ml AgNO ₃	Resultado	Gasto ml EDTA	Resultado
01/03/2018	4,0	709,0	4,1	1368,0
02/03/2018	3,8	665,0	4,2	1401,0
05/03/2018	3,8	674,0	4,3	1435,0
06/03/2018	3,8	673,0	4,2	1401,0
07/03/2018	3,9	691,3	4,4	1468,0
08/03/2018	3,7	647,0	4,2	1402,0
09/03/2018	3,6	638,0	3,8	1268,0
12/03/2018	3,7	656,0	4,2	1401,0
13/03/2018	3,8	664,7	4,1	1367,8
14/03/2018	3,7	656,0	4,6	1535,0
15/03/2018	3,8	664,7	4,5	1501,2
16/03/2018	4,0	709,0	4,4	1467,8
19/03/2018	3,3	584,9	4,2	1401,1
20/03/2018	3,3	584,9	4,2	1401,1
21/03/2018	3,5	611,5	3,8	1267,7
22/03/2018	3,5	611,5	4,1	1367,8
23/03/2018	3,4	593,8	4,1	1367,8
27/03/2018	3,7	647,0	4,4	1467,8
28/03/2018	3,7	655,8	4,3	1435,5
29/03/2018	3,8	664,7	4,5	1501,2

Fuente: elaboración propia.

Discusión

Para la determinación de cloruros en el agua de calidad filtrada se utiliza el método de titulación de precipitación de Mohr.

La argentometría utilizada, se inicia haciendo una titulación en blanco para hacer la corrección que se deba aplicar a los resultados de la valoración y para determinar la cantidad de cloruros presentes en la muestra. En dicha valoración se utiliza como indicador el cromato de potasio cuya función es aunarse al primer exceso del ion plata formando el cromato argéntico y logrando un precipitado de color rojo anaranjado, indicando dicho precipitado que se llega al momento en que los iones cloruros se acaban por la formación de cloruro de plata en solución y, por tanto, el ion plata toma los iones cromato debido a que el cloruro de plata es menos soluble que el cromato de plata. [35]

Para su cálculo, se tiene que:

$$Cl^{-} = \frac{V_1 \times N \times 35,45 \left(\frac{PM}{carga} \right) \times 1000}{V_2}$$

Ec. 4-1. Cálculo cloruros [25]

V1 = volumen de nitrato de plata consumido durante la valoración en mililitros

V2 = volumen de muestra, en mililitros

N = normalidad del nitrato de plata empleado durante la valoración

Peq Cl⁻ = 35,45 g/mol

En la determinación de la dureza, en primer lugar, se tampona la muestra y se agita con delicadeza bajo campana por la emanación de vapores. Se adiciona el indicador negro de eriocromo y se forman inmediatamente complejos de color rosado, de los cuales el más estable es el magnesio. Finalmente, se titula con la sal disódica de ácido tetraacético (EDTA) obteniéndose un color azul indicando el punto final, en donde los complejos de Calcio y Magnesio se rompen y por lo tanto queda libre el indicador; el que adquiere el color respecto al pH del medio. [15] [26]

Para su cálculo, se tiene que:

$$Dureza = \frac{V_1 \times N \times 50,04 \left(\frac{PM}{carga} \right) \times 1000}{V_2}$$

Ec. 4-2. Cálculo de dureza [15]

V1 = volumen de EDTA consumido durante la valoración, en ml.

V2 = volumen de muestra usada, en ml

N = normalidad EDTA

Peq CaCO₃ = 50,04 g/mol

Discusión

La tabla 3-3. Resultados titulación de cloruros y dureza, indican además de los mencionados, los datos en cuanto a gastos de valorante.

Los resultados para cloruros se mantienen por sobre los 600 [mg/L] de cloruros en agua filtrada, con excepciones del día 19, 20 y 23 de marzo; donde se presentan <600 [mg/L]. Por lo tanto, no se cumple con lo detallado en el Anexo I Calidades de Agua del Contrato de Operación y Mantenimiento asociado al mantenimiento de la planta. Dado que éste especifica un valor actual de 200,000 [mg/L] y un volumen máximo permitido de <600 [mg/L] de cloruros, presentes en el agua filtrada para ser dirigida a las dependencias de Acciona Agua donde es tratada y recirculada a las mineras que necesitan el recurso hídrico para sus procesos. Los cloruros no cumplen con lo establecido en el contrato, y esto se asocia a que el RIL proviene de una pulpa de hierro la que para su obtención es necesario aplicar altas concentraciones de cloruros, como medio de lixiviación.

La dureza del agua se expresa normalmente como cantidad equivalente de carbonato de Calcio. Se considera que ésta, es causada por iones metálicos divalentes capaces de reaccionar con ciertos aniones formando incrustaciones [15]. Se puede apreciar en la tabla que la dureza se mantiene en un rango de los 1268,0 [mg/L] de CaCO₃ hasta los 1501,2 [mg/L] de CaCO₃ en el agua filtrada. Dicho parámetro no se encuentra especificado en el Anexo I Calidades de Agua del Contrato de Operación y Mantenimiento asociado al mantenimiento de la planta. Por lo tanto, no existe una mayor relevancia en sus resultados.

3.1.4. Metales

A continuación, se detallan en la tabla 3-4. Los resultados de las concentraciones en [mg/L] de cationes y aniones que se hayan presentes en el agua de calidad filtrada. Cabe mencionar que se utiliza la misma metodología de análisis para cada metal a estudiar.

Tabla 3-4. Resultados de concentración de metales en agua filtrada

METALES [mg/L]					
Fecha	Sulfatos	Hierro	Aluminio	Boro	Cobre
01/03/2018	1080	0,18	0,041	1,42	0,080
02/03/2018	1205	0,22	0,035	1,40	0,028
05/03/2018	990	0,31	0,051	1,63	0,098
06/03/2018	1122	0,15	0,023	1,42	0,056
07/03/2018	1199	0,18	0,052	1,80	0,040
08/03/2018	1154	0,13	0,065	1,34	0,051
09/03/2018	1119	0,28	0,051	1,41	0,071
12/03/2018	1193	0,20	0,070	1,08	0,027
13/03/2018	1125	0,20	0,024	1,41	0,063
14/03/2018	1236	0,22	0,042	1,46	0,088
15/03/2018	1023	0,25	0,071	1,48	0,139
16/03/2018	1040	0,23	0,032	1,55	0,074
19/03/2018	1086	0,30	0,069	1,50	0,088
20/03/2018	1075	0,32	0,041	1,55	0,066
21/03/2018	58	0,15	0,076	1,33	0,062
22/03/2018	1065	0,26	0,099	1,38	0,089
23/03/2018	59	0,26	0,162	1,49	0,058
27/03/2018	1204	0,10	0,120	1,35	0,053
28/03/2018	1292	0,94	0,377	1,28	0,350
29/03/2018	1101	0,80	0,233	1,30	0,128

Fuente: elaboración propia

Discusión

Para el análisis de los metales, se utiliza un mismo método. Esto debido a la precisión y exactitud que son necesarios en este análisis.

Todos los metales analizados en el RIL; Hierro, Aluminio, Boro y Cobre cumplen satisfactoriamente con la norma exigida.

El Anexo I Calidades de Agua del Contrato de Operación y Mantenimiento asociado al mantenimiento de la planta. No menciona a los sulfatos, pero su análisis es debidamente realizado. Manteniéndose en un rango de 990 [mg/L] a 1292 [mg/L] de sulfatos en el agua filtrada.

3.1.5. Sólidos suspendidos totales (SST)

Tabla 3-5. Resultados SST en agua filtrada

SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES		
Fecha	Límite máx. permitido (mg/L)	Resultado (mg/L)
01/03/2018	<30	9,8
02/03/2018	<30	3,6
05/03/2018	<30	14,9
06/03/2018	<30	4,0
07/03/2018	<30	10,1
08/03/2018	<30	6,0
09/03/2018	<30	8,1
12/03/2018	<30	6,6
13/03/2018	<30	8,0
14/03/2018	<30	13,9
15/03/2018	<30	25,3
16/03/2018	<30	11,6
19/03/2018	<30	5,3
20/03/2018	<30	15,3
21/03/2018	<30	10,1
22/03/2018	<30	13,0
23/03/2018	<30	9,0
27/03/2018	<30	6,9
28/03/2018	<30	69,0
29/03/2018	<30	17,5

Fuente: elaboración propia

Una vez los filtros cumplen el tiempo de desecación, en estufa durante 2 horas aproximadamente. Y luego que han alcanzado temperatura ambiente en desecador (30 min aproximadamente) son pesados en balanza analítica y se procede con los cálculos.

$$SST \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(P_1 - P_0) * 1000}{V}$$

Ec. 4-3. Cálculo SST [16]

P_0 = peso del disco de fibra de vidrio sin el contenido, en [mg]

P_1 = peso del disco de fibra de vidrio con residuo seco, en [mg]

V = volumen de muestra, en [mL]

Discusión

La información derivada de la tabla 3-5. Indica que se presentan dos casos con una elevada cantidad sólidos suspendidos totales que superan los límites, siendo el día 15 donde se encuentran 25,3 [mg/L] y el día 28 de marzo donde presenta una excesiva cantidad de 69,0 [mg/L], los cuales escapan de los límites máximos permitido.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se lleva a cabo la caracterización del RIL cada día de lunes a viernes en el período de un mes aproximadamente, bajo las mismas condiciones durante este tiempo. Respetando siempre el mismo horario, orden y tiempos al momento de realizar los análisis. Se logra entonces, en este trabajo, cumplir con cada uno de los objetivos propuestos. Siendo viable cada análisis y parámetro a estudiar dado a la periodicidad entregando resultados similares en éstos día a día.

Se recomienda dar prioridad y crear un orden para el manejo de la toma de muestras y traslado de las mismas. Establecer un límite de pH, ejercer un plan extra de monitoreo para la turbidez debido a que existen altas concentraciones de sólidos suspendidos totales. El parámetro dureza, como ya se menciona anteriormente no se encuentra especificado en el Anexo I de Calidades de Agua del Contrato de Operación y Mantenimiento asociado al mantenimiento de la planta. Se recomienda añadirlo con límites asociados al pH del RIL, el cual posee valores elevados y, por lo tanto, la dureza también. Un alto pH, temperatura y concentraciones de Calcio pueden provocar formación de sarro que es la acumulación de iones alrededor de las paredes interiores de las tuberías, con el tiempo esta acumulación restringe el diámetro de las tuberías, ahogando el flujo, pudiendo provocar, por ejemplo: aumento de presión dentro del sistema.

Para establecer nuevos límites de concentración y parámetros se recomienda un estudio más profundo en cuanto a calidades de agua. Y por consiguiente una modificación necesaria del Anexo I de Calidades de Agua del Contrato de Operación y Mantenimiento asociado al mantenimiento de la planta, para mantenerla en condiciones óptimas hacia el futuro. Ya que, las calidades de agua son “ofrecidas” por los fabricantes de los filtros instalados en la planta de filtrado de Puerto Punta Totoralillo. No hay un estudio previo puesto que no se contaba con muestras patrón. La planta de filtrado en base a esto compra un sistema de filtrado fundamentado en láminas de cerámico, y según software y diseño; se establecen calidades de agua filtrada en el valor actual y estimando un máximo permisible (en el peor de los casos). Pero no se rigen por ninguna norma de agua de RIL, dado que es un proceso interno de Agua de Procesos, por lo cual las calidades de agua y rangos, lo definen los fabricantes.

BIBLIOGRAFÍA

1. ESSAL. Tratamiento de Residuos Industriales Líquidos. [en línea] < <https://www.essal.cl/servicios/tratamiento-riles>> [consulta : 27 diciembre 2018]
2. CONSTRUCCIÓN MINERA. Plantas Desalinizadoras en la Minería: Alternativas Para el uso del Agua. [en línea] < <http://www.construccionminera.cl/plantas-desalinizadoras-en-la-mineria-alternativas-para-el-uso-del-agua/#.XHSdsFwzbIX>> [consulta: 4 junio 2018]
3. PORTAL MINERO; Residuos Líquidos en La Minería: ¿un recurso? [en línea]. <<http://www.portalminero.com/pages/viewpage.action?pageId=52266363>>. Chile, junio 2012. [consulta: 4 junio 2018]
4. CHILE Consejo Nacional de Producción Limpia. Capítulo II Principios y Herramientas. [en línea] < http://www.ucipfg.com/Repositorio/MAES/MAES-01/Unidad_2/Cap_2_GesRes.pdf> [consulta: 4 junio 2018]
5. GOBIERNO DE CHILE. NORMA DE EMISIÓN D.S. MINSEGPRES N°90/00. Superintendencia de Servicios Sanitarios. [en línea] <https://www.camara.cl/pdf.aspx?prmID=133126&prmTIPO=DOCUMENTOCO MISION> [consulta: 16 enero 2019]
6. MINERÍA CHILENA. Riles Mineros: Desafíos Regulatorios y Tecnológicos, 9 de diciembre 2015. [en línea] <<http://www.mch.cl/reportajes/riles-mineros-desafios-regulatorios-y-tecnologicos/>> [consulta: 20 febrero 2019]
7. CAP MINERÍA. Operaciones y Productos, Valle de Copiapó Planta Magnetita. Chile 2018. [en línea] <<http://www.capmineria.cl/capmineria/planta-magnetita/2018-09-25/111131.html>> [consulta: 25 febrero 2019]
8. CAP MINERÍA. Operaciones y Productos, Valle de Copiapó Mina Cerro Negro Norte. Chile 2018. [en línea] <<http://www.capmineria.cl/capmineria/mina-cerro-negro-norte/2018-09-25/111013.html>> [consulta: 25 febrero 2019]
9. CAP MINERÍA. Operaciones y Productos, Valle de Copiapó Puerto Punta Totalillo. Chile 2018. [en línea] <<http://www.capmineria.cl/capmineria/puerto-punta-totalillo/2018-09-25/111700.html>> [consulta: 25 febrero 2019]

10. MINERÍA CHILENA. Cerro Negro Norte de CAP Apuesta por la Innovación. Chile 12 enero 2015. [en línea] <<http://www.mch.cl/reportajes/cerro-negro-norte-de-cap-mineria-apuesta-por-la-innovacion/>> [consulta: junio 2018]

11. El Espectrofotómetro, Espectrofotometría uv visible, noviembre 2017. [en línea] <<https://elespectrofotometro.com/espectrofotometria-uv-visible/>> [consulta: junio 2018]

12. HACH. ELICROM, Manual de Usuario DR 3900. Edición 5, abril 2013. [en línea] <<http://www.elicrom.com/content/DR%203900-MANUAL-JH.pdf>> [consulta: julio 2018]

13. ELICROM. Equipos y Reactivos, multiparámetro HQ40d descripción del producto, Manual. [en línea] <<http://www.elicrom.com/multiparametro-hq40d/>> [consulta: junio 2018]

14. INFORME DE LABORATORIO UNIVERSIDAD CENTRAL, BOGOTA D.C. Determinación de pH. [en línea] <http://www.academia.edu/8726850/INFORME_DE_LABORATORIO_DETERMINACION_DE_PH> [consulta: 16 enero 2019]

15. MARÍA ELENA PEREZ DE ARCE. Apuntes Laboratorio de Análisis Industrial I; Análisis de Agua, dureza y alcalinidad. 2017

16. MARÍA ELENA PEREZ DE ARCE. Apuntes Laboratorio de Análisis Industrial I; determinación de sólidos. 2017.

17. MARÍA ELENA PEREZ DE ARCE. Apuntes Laboratorio de Análisis Cuantitativo; Valoraciones de Precipitación. 2016.

18. HACH; Manual de procedimientos TNT 865 sulfatos. [en línea] <[HCPE865A_Druckf_schwarz.pdf](#)> [consulta: julio 2018]

19. HACH; Manual de procedimientos TNT 858 fierro. [en línea] <[HCPE858A_Druckf_schwarz.pdf](#)> [consulta: julio 2018]

20. HACH; Manual de procedimientos TNT 848 aluminio. [en línea] <[HCPE848B_Druckf_schwarz.pdf](#)> [consulta: julio 2018]

21. HACH; Manual de procedimientos TNT 860 cobre. [en línea] <[860_A_TNT_plus_GB_F_E.pdf](#)> [consulta: julio 2018]

22. ACCIONA AGUA, Instrucción Técnica Determinación de pH. Referencias “procedimiento 4500 –H⁺ B. Electrometric Method, Standar Methods 22nd edition”. Versión 01, mayo 2016.
23. ACCIONA AGUA, Instrucción Técnica Determinación de Conductividad. Referencias “procedimiento basado en 2510 B. Conductivity Laboratory Method, Standar Methods 22nd edition”. Versión 01, mayo 2016.
24. ACCIONA AGUA, Instrucción Técnica Determinación de la Turbiedad. Referencias “hoja de datos turbidímetro portátil 2100Q – 2100Q IS. HACH LANGE”. Versión 01, mayo 2016.
25. ACCIONA AGUA, Instrucción Técnica Determinación de Cloruros. Referencias “4500 – Cl⁻ A. Standar Methods”. Versión 01, mayo 2016.
26. ACCIONA AGUA, Instrucción Técnica Determinación de la Dureza. Referencias “2340 C. Standar Methods”. Versión 01, mayo 2016.
27. ACCIONA AGUA. Instrucción Técnica Determinacion de Sulfato. Referencias “Procedimientos TNT 865 HACH.; PR-MA-02 Manejo de Residuos Peligrosos”. versión 02, octubre 2016.
28. ACCIONA AGUA, Instrucción Técnica Determinación de Hierro. Referencia “procedimiento TNT 858 HACH.; PR-MA-02 Manejo de Residuos Peligrosos”. Versión 02, octubre 2016.
29. ACCIONA AGUA, Instrucción Técnica Determinación de Aluminio. Referencia “procedimiento TNT 848 aluminio HACH.; PR-MA-02 Manejo de Residuos Peligrosos”. Versión 02, octubre 2016.
30. ACCIONA AGUA, Instrucción Técnica Determinación Boro. Referencia “manual usuario LCK 307.; PR-MA-02 Manejo de Residuos Peligrosos”. Versión 03, octubre 2016.
31. HACH, Manual usuario TNT 860 cobre; PR-MA-02 Manejo de Residuos Peligrosos”. Versión 03, octubre 2016.
32. PROYECTO CAP MINERÍA PLANTA MAGNETITA. [en línea] < <file:///C:/Users/CAROLINA/Downloads/CristianValdes.pdf> > [consulta: última vez 26 febrero 2019].

33. UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA, PROYECTO DE TESIS; Validación de Tres Métodos Analíticos Para la Determinación del Boro Por Espectrofotometría Visible. Arequipa - Perú 2018. [en línea] <
<http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/6281/QUMpooscr.pdf?sequence=3>> [consulta: última vez 26 febrero 2019].
34. ACCIONA AGUA, Instrucción Técnica Determinación Sólidos Suspendidos Totales. Referencia “Procedimiento 2540 D. Sólidos Suspendidos Totales 103°-105°, Standar Methods. Versión 01, mayo 2016.
35. JORGE EDUARDO GARCIA MOMPOTES; ANDRES FERNANDO SARRIA; CHARLOT BRIGITT, Determinación De Cloruros Por Los Métodos: Mohr, Fajans Y Volhard. Facultad de ciencias básicas, Programa de Química, Universidad Santiago de Cali. Septiembre de 2014. [en línea] <
<https://es.scribd.com/document/243134706/DETERMINACION-DE-CLORUROS-POR-LOS-METODOS-DE-MOHR-FAJANS-Y-VOLHARD-docx>> [consulta: última vez 26 febrero 2019].
36. GOOGLE.http://www.expoambiental.cl/presentaciones_ambiental_2015/file/vier nes/hidrico/Ramon-Arbos-Desalacion-una-solucion-global-a-la-escasez-de-agua.pdf

ANEXOS

Imágenes de los registros analíticos de laboratorio control de calidad de agua filtrada, tomadas durante la caracterización del RIL, de lunes a viernes en un período de un mes aproximadamente a partir del 1 de marzo del 2018 hasta el 29 de marzo del mismo año.

Jueves 1 marzo 2018

acciona

Agua _PR_LAB-04-AnAF Registro Analítico Laboratorio Control de Calidad de Agua Filtrada

Nombre Muestra	Agua Filtrada		
Fecha	01-03-18		
Hora	8:48		

	medición	resultado	unidad
pH	6,72		
Temperatura	23,4		°C
Conductividad	1170		uS/cm
Turbidez	21,4		NTU
Cloruro	4,0	709	mg/L
Dureza	4,1	1368	ppm CaCO3
Sulfato	1080		mg/L
Hierro	0,18		mg/L
Aluminio	0,041		mg/L
Boro	1,42		mg/L
Manganeso	0,324		mg/L
Cobre	0,080		mg/L
SST	9,35		mg/L

Filtro SST



Filtro+solido	Filtro
9,1042	0,0964

Viernes 2 marzo 2018

acciona

Agua _PR_LAB-04-AnAF Registro Analítico Laboratorio Control de Calidad de Agua Filtrada

Nombre Muestra	Agua Filtrada		
Fecha	02-03-18		
Hora	9:03		

	medición	resultado	unidad
pH	6,88		
Temperatura	24,3		°C
Conductividad	4172		uS/cm
Turbidez	9,49		NTU
Cloruro	3,75	665	mg/L
Dureza	4,2	1401	ppm CaCO3
Sulfato	1205		mg/L
Hierro	0,22		mg/L
Aluminio	0,035		mg/L
Boro	1,40		mg/L
Manganeso	0,328		mg/L
Cobre	0,028		mg/L
SST	3,63		mg/L

Filtro SST



Filtro+solido	Filtro
0,0988	0,0959

Lunes 5 marzo 2018

acciona

Agua

PR_LAB-04-AnAF

Registro Análítico Laboratorio Control de Calidad de Agua Filtrada

Nombre Muestra

Agua Filtrada

Fecha

05-03-18

Hora

9:51

	medición	resultado	unidad
pH	6.73		
Temperatura	25.3		°C
Conductividad	4160		uS/cm
Turbidez	34.3		NTU
Cloruro	3.8	674	mg/L
Dureza	4.3	1435	ppm CaCO3
			mg/L
Sulfato	980		mg/L
Hierro	0.31		mg/L
Aluminio	0.051		mg/L
Boro	1.63		mg/L
Manganeso	0.638		mg/L
Cobre	0.078		mg/L
SST	14.88		mg/L

Filtro SST

Filtro+solido

0.1080

Filtro

0.0961

Martes 6 marzo 2018

acciona

Agua

PR_LAB-04-AnAF

Registro Análítico Laboratorio Control de Calidad de Agua Filtrada

Nombre Muestra

Agua Filtrada

Fecha

06-03-18

Hora

7:18

	medición	resultado	unidad
pH	6.63		
Temperatura	22.9		°C
Conductividad	4060		uS/cm
Turbidez	11		NTU
Cloruro	3.8	638	mg/L
Dureza	4.2	1401	ppm CaCO3
			mg/L
Sulfato	1122		mg/L
Hierro	0.15		mg/L
Aluminio	0.023		mg/L
Boro	1.42		mg/L
Manganeso	0.457		mg/L
Cobre	0.056		mg/L
SST	4.0		mg/L

Filtro SST

Filtro+solido

0.1011

Filtro

0.0939

Miércoles 7 marzo 2018

acciona

Agua

PR_LAB-04-AnAF

Registro Análítico Laboratorio Control de Calidad de Agua Filtrada

Nombre Muestra

Agua Filtrada

Fecha

07-03-18

Hora

8:45

	medición	resultado	unidad
pH	6.67		
Temperatura	23.5		°C
Conductividad	4240		uS/cm
Turbidez	22.0		NTU
Cloruro	3.8	691.3	mg/L
Dureza	4.4	1466	ppm CaCO3
			mg/L
Sulfato	1199		mg/L
Hierro	0.18		mg/L
Aluminio	0.052		mg/L
Boro	1.80		mg/L
Manganeso	0.367		mg/L
Cobre	0.040		mg/L
SST	10.13		mg/L

Filtro SST

Filtro+solido

0.1046

Filtro

0.0965

Jueves 8 marzo 2018

acciona

Agua _PR_LAB-04-AnAF Registro Analítico Laboratorio Control de Calidad de Agua Filtrada

Nombre Muestra

Agua Filtrada

Fecha

08-03-18

Hora

10:44

	medición	resultado	unidad
pH	6.93		
Temperatura	23.4		°C
Conductividad	4100		uS/cm
Turbidez	19.5		NTU
Cloruro	3.65	647	mg/L
Dureza	4.1	1407	ppm CaCO3
Sulfato	1.54		mg/L
Hierro	0.13		mg/L
Aluminio	0.005		mg/L
Boro	1.34		mg/L
Manganeso	0.231		mg/L
Cobre	0.051		mg/L
SST	6.00		mg/L

Filtro SST

Filtro+solido

0.1029

Filtro

0.0984

Viernes 9 marzo 2018

acciona

Agua _PR_LAB-04-AnAF Registro Analítico Laboratorio Control de Calidad de Agua Filtrada

Nombre Muestra

Agua Filtrada

Fecha

09-03-18

Hora

09:43

	medición	resultado	unidad
pH	6.62		
Temperatura	26.1		°C
Conductividad	4060		uS/cm
Turbidez	31.4		NTU
Cloruro	3.6	638	mg/L
Dureza	3.8	1268	ppm CaCO3
Sulfato	1.18		mg/L
Hierro	0.28		mg/L
Aluminio	0.051		mg/L
Boro	2.38	1.41	mg/L
Manganeso	0.308		mg/L
Cobre	0.071		mg/L
SST	8.13		mg/L

Filtro SST

Filtro+solido

0.1047

Filtro

0.0982

Lunes 12 marzo 2018

acciona

Agua _PR_LAB-04-AnAF Registro Analítico Laboratorio Control de Calidad de Agua Filtrada

Nombre Muestra

Agua Filtrada

Fecha

12-03-18

Hora

9:18

	medición	resultado	unidad
pH	7.15		
Temperatura	23.2		°C
Conductividad	4060		uS/cm
Turbidez	21.7		NTU
Cloruro	3.2	656	mg/L
Dureza	4.2	1401	ppm CaCO3
Sulfato	1.83		mg/L
Hierro	0.20		mg/L
Aluminio	0.030		mg/L
Boro	1.08		mg/L
Manganeso	0.448		mg/L
Cobre	0.027		mg/L
SST	6.63		mg/L

Filtro SST

Filtro+solido

0.1032

Filtro

0.0979

Martes 13 marzo 2018

acciona

agua _PR_LAB-04-AnAF Registro Análítico Laboratorio Control de Calidad de Agua Filtrada

Nombre Muestra	Agua Filtrada		
Fecha	13-03-18		
Hora	9:28		

	medición	resultado	unidad
pH	6.80		
Temperatura	23.3		°C
Conductividad	4190		uS/cm
Turbidez	12.4		NTU
Cloruro	3.35	664.7	mg/L
Dureza	4.1	1362.8	ppm CaCO3
Sulfato	1125		mg/L
Hierro	0.20		mg/L
Aluminio	0.024		mg/L
Boro	1.41		mg/L
Manganeso	0.474		mg/L
Cobre	0.063		mg/L
SST	9.00		mg/L

Filtro SST



Filtro+solido	Filtro
0.1002	0.0998

Miércoles 14 marzo 2018

acciona

agua _PR_LAB-04-AnAF Registro Análítico Laboratorio Control de Calidad de Agua Filtrada

Nombre Muestra	Agua Filtrada		
Fecha	14-03-18		
Hora	09:22		

	medición	resultado	unidad
pH	6.60		
Temperatura	20.3		°C
Conductividad	3840.0		uS/cm
Turbidez	23.2		NTU
Cloruro	3.7	656	mg/L
Dureza	4.6	1535	ppm CaCO3
Sulfato	1236		mg/L
Hierro	0.22		mg/L
Aluminio	0.042		mg/L
Boro	1.46		mg/L
Manganeso	0.422		mg/L
Cobre	0.038		mg/L
SST	13.88		mg/L

Filtro SST



Filtro+solido	Filtro
0.1053	0.0947

Jueves 15 marzo 2018

acciona

agua _PR_LAB-04-AnAF Registro Análítico Laboratorio Control de Calidad de Agua Filtrada

Nombre Muestra	Agua Filtrada		
Fecha	15-03-18		
Hora	09:08		

	medición	resultado	unidad
pH	6.82		
Temperatura	14.4		°C
Conductividad	3820		uS/cm
Turbidez	51.2		NTU
Cloruro	3.75	664.7	mg/L
Dureza	4.5	1501.2	ppm CaCO3
Sulfato	1023		mg/L
Hierro	0.25		mg/L
Aluminio	0.071		mg/L
Boro	1.48		mg/L
Manganeso	0.441		mg/L
Cobre	0.139		mg/L
SST	25.3		mg/L

Filtro SST



Filtro+solido	Filtro
0.1152	0.0948

Viernes 16 marzo 2018

acciona
Agua _PR_LAB-04-AnAF Registro Analítico Laboratorio Control de Calidad de Agua Filtrada

Nombre Muestra	Agua Filtrada		
Fecha	16-03-18		
Hora	08:40		

	medición	resultado	unidad
pH	6.73		
Temperatura	26.8		°C
Conductividad	308.0		uS/cm
Turbidez	21.9		NTU
Cloruro	4.0	309	mg/L
Dureza	4.4	1463.8	ppm CaCO3
Sulfato	1040		mg/L
Hierro	0.13		mg/L
Aluminio	0.032		mg/L
Boro	1.55		mg/L
Manganeso	0.46		mg/L
Cobre	0.074		mg/L
SST	11.63		mg/L

Filtro SST



Filtro+sólido	Filtro
0.1025	0.0932

Lunes 19 marzo 2018

acciona
Agua _PR_LAB-04-AnAF Registro Analítico Laboratorio Control de Calidad de Agua Filtrada

Nombre Muestra	Agua Filtrada		
Fecha	19-03-18		
Hora	10:25		

	medición	resultado	unidad
pH	7.35		
Temperatura	24.1		°C
Conductividad	351.0		uS/cm
Turbidez	27.06		NTU
Cloruro	3.3	584.9	mg/L
Dureza	4.2	1401.1	ppm CaCO3
Sulfato	1086		mg/L
Hierro	0.30		mg/L
Aluminio	0.069		mg/L
Boro	1.50		mg/L
Manganeso	0.38		mg/L
Cobre	0.088		mg/L
SST	5.25		mg/L

Filtro SST



Filtro+sólido	Filtro
0.1000	0.0988

Martes 20 marzo 2018

acciona
Agua _PR_LAB-04-AnAF Registro Analítico Laboratorio Control de Calidad de Agua Filtrada

Nombre Muestra	Agua Filtrada		
Fecha	20-03-18		
Hora	08:20		

	medición	resultado	unidad
pH	6.67		
Temperatura	23.3		°C
Conductividad	345.0		uS/cm
Turbidez	30.3		NTU
Cloruro	3.3	584.9	mg/L
Dureza	4.2	1401.1	ppm CaCO3
Sulfato	1035		mg/L
Hierro	0.320		mg/L
Aluminio	0.041		mg/L
Boro	1.55		mg/L
Manganeso	0.321		mg/L
Cobre	0.066		mg/L
SST	15.25		mg/L

Filtro SST



Filtro+sólido	Filtro
0.1077	0.0955

Miércoles 21 marzo 2018

acciona

Agua _PR_LAB-04-AnAF Registro Analítico Laboratorio Control de Calidad de Agua Filtrada

Nombre Muestra	Agua Filtrada		
Fecha	21-03-18		
Hora	08:31		

	medición	resultado	unidad
pH	8.86		
Temperatura	19.4		°C
Conductividad	3310		uS/cm
Turbidez	17.87		NTU
Cloruro	3.45	611.5	mg/L
Dureza	3.8	1267.7	ppm CaCO3
Sulfato	58.4		mg/L
Hierro	0.146		mg/L
Aluminio	0.076		mg/L
Boro	1.33		mg/L
Manganeso	0.244		mg/L
Cobre	0.062		mg/L
SST	10.125		mg/L

Filtro SST



Filtro+solido

Filtro

0.1022

0.0941

Jueves 22 marzo 2018

acciona

Agua _PR_LAB-04-AnAF Registro Analítico Laboratorio Control de Calidad de Agua Filtrada

Nombre Muestra	Agua Filtrada		
Fecha	22-03-18		
Hora	09:11		

	medición	resultado	unidad
pH	9.06		
Temperatura	20.0		°C
Conductividad	3370		uS/cm
Turbidez	22.37		NTU
Cloruro	3.45	611.5	mg/L
Dureza	4.1	1367.8	ppm CaCO3
Sulfato	1065		mg/L
Hierro	0.263		mg/L
Aluminio	0.099		mg/L
Boro	1.38		mg/L
Manganeso	0.165		mg/L
Cobre	0.089		mg/L
SST	13.0		mg/L

Filtro SST



Filtro+solido

Filtro

0.1052

0.0948

Viernes 23 marzo 2018

acciona

Agua _PR_LAB-04-AnAF Registro Analítico Laboratorio Control de Calidad de Agua Filtrada

Nombre Muestra	Agua Filtrada		
Fecha	23-03-18		
Hora	09:21		

	medición	resultado	unidad
pH	9.75		
Temperatura	21.4		°C
Conductividad	3430		uS/cm
Turbidez	18.8		NTU
Cloruro	3.35	593.8	mg/L
Dureza	4.1	1367.8	ppm CaCO3
Sulfato	59.0		mg/L
Hierro	0.255		mg/L
Aluminio	0.162		mg/L
Boro	1.49		mg/L
Manganeso	0.170		mg/L
Cobre	0.058		mg/L
SST	9.0		mg/L

Filtro SST



Filtro+solido

Filtro

0.1023

0.0951

Martes 26 marzo 2018

acciona

Agua _PR_LAB-04-AnAF Registro Analítico Laboratorio Control de Calidad de Agua Filtrada

Nombre Muestra	Agua Filtrada		
Fecha	27-03-18		
Hora	11:03		

	medición	resultado	unidad
pH	9.45		
Temperatura	20.2		°C
Conductividad	3590		uS/cm
Turbidez	9.02		NTU
Cloruro	3.65	647.0	mg/L
Dureza	4.4	1467.8	ppm CaCO3
Sulfato	12.04		mg/L
Hierro	0.089		mg/L
Aluminio	0.120		mg/L
Boro	1.35		mg/L
Manganeso	0.237		mg/L
Cobre	0.053		mg/L
SST	6.875		mg/L

Filtro SST



Filtro+solido	Filtro
0.6019	0.0964

Miércoles 28 marzo

acciona

Agua _PR_LAB-04-AnAF Registro Analítico Laboratorio Control de Calidad de Agua Filtrada

Nombre Muestra	Agua Filtrada		
Fecha	28-03-18		
Hora	10:10		

	medición	resultado	unidad
pH	9.02		
Temperatura	19.9		°C
Conductividad	3600		uS/cm
Turbidez	113		NTU
Cloruro	3.7	655.8	mg/L
Dureza	4.3	1434.5	ppm CaCO3
Sulfato	12.92		mg/L
Hierro	0.935		mg/L
Aluminio	0.377		mg/L
Boro	1.28		mg/L
Manganeso	0.285		mg/L
Cobre	0.350		mg/L
SST	1.111	68	mg/L

Filtro SST



Filtro+solido	Filtro
0.1507	0.0955

Jueves 29 marzo 2018

acciona

Agua _PR_LAB-04-AnAF Registro Analítico Laboratorio Control de Calidad de Agua Filtrada

Nombre Muestra	Agua Filtrada		
Fecha	29-03-18		
Hora	17:45		

	medición	resultado	unidad
pH	9.08		
Temperatura	20.0		°C
Conductividad	3620		uS/cm
Turbidez	28.5		NTU
Cloruro	3.75	664.7	mg/L
Dureza	4.5	1501.2	ppm CaCO3
Sulfato	11.01		mg/L
Hierro	0.800		mg/L
Aluminio	0.233		mg/L
Boro	1.30		mg/L
Manganeso	0.279		mg/L
Cobre	0.128		mg/L
SST	17.5		mg/L

Filtro SST



Filtro+solido	Filtro
0.1104	0.0964

ANEXO 1 - CALIDADES DE AGUA

CONTRATO DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO
PLANTA DESALINIZADORA DE AGUA DE MAR VALLE DE
COPIAPO

CLEANAIRTECH SUDAMÉRICA S.A.
Y
ACCIONA AGUA S.A. AGENCIA EN CHILE

ANEXO 1
CALIDADES DE AGUA

Marzo de 2011

CONTRATO DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO1

Portada Anexo I

ANEXO 1 - CALIDADES DE AGUA

PARÁMETROS DE AGUA FILTRADA

Se define los parámetros de agua filtrada que se reciben en las conducciones y aquellos máximos que pueden manejarse sin impacto en la Operación y Mantenimiento de las conducciones y que establece el contrato sus condiciones de operación entre las partes, establecidos en la Tabla N°3 siguiente:

TABLA N°3

Item	Unidad	Valor Actual	Valor Máximo Permitido
Amoníaco	mg/l	0,250	0,500
Asbestos y Grises	mg/l	<10	<15
Aluminio Total	mg/l	3,510	<5
Ártenico Total	mg/l	5,120	0,500
Boro	mg/l	4,000	<10
Cálcio	mg/l	2,100	<5
Cromo	mg/l	0,750	<5
Cobalto Total	mg/l	5,020	<0,55
Cloruro Total	mg/l	9,148	<9,5
Clorato	mg/l	250,000	< 500
Cobalto	mg/l	0,050	<0,2
Cromo Total	mg/l	0,210	<5
Cromo Total	mg/l	0,290	<0,5
Cromo Hexavalente	mg/l	0,050	<0,2
Cromo Total	mg/l	0,050	<0,2
Diclorometano (DCA)	mg/l	0,100	<0,10
Enxofre Total	mg/l	2,700	<4
Residuo	mg/l	1,450	<5
Hierro	mg/l	2,000	<5
Hidrocarburos Pétro	mg/l	10,000	<15
Hidrocarburos Totales	mg/l	10,000	<15
Hidrocarburos Volátiles	mg/l	1,000	<1,5
Iones de Fenol	mg/l	<0,05	<0,15
Manganeso Total	mg/l	0,200	<0,24
Mercurio Total	mg/l	0,001	<0,005
Molibdeno Total	mg/l	0,050	<1
Nitrato	mg/l	0,050	<10
Nitrito	mg/l	0,050	<1
Nitruo Total	mg/l	0,050	<0,20
Potasio Total	mg/l	0,050	<0,1
Selenio Total	mg/l	0,001	0,005
Sólidos Sedimentables	mg/l	0,600	<2
Sólidos Suspensibles Totales	mg/l	22,000	<30
Sulfato Total	mg/l	0,100	<0,5
Turbidez	NTU	<5,50	<10
TDS	mg/l		<1500

CONTRATO DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO5

Parámetros de agua filtrada