

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**FACTIBILIDAD DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE
ASPERSORES PARA LA REDUCCIÓN DEL CONSUMO DE AGUA EN
VÍAS DE ACARREO DE UNA MINA A TAJO ABIERTO**

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero de Minas

AUTOR:

Joseph Alonso Velazco Quevedo

ASESOR:

Maribel Giovana Guzmán Córdova

Lima, Diciembre, 2019

Resumen

En el presente trabajo se desarrolla la viabilidad técnico-económica para la implementación del sistema de riego con aspersores de gran alcance en una unidad minera a tajo abierto ubicada en el sur del Perú. En la zona de influencia de la unidad minera se evidencia la baja frecuencia de lluvias y temperaturas altas en épocas secas. Esta condición causó una disminución del espejo de agua en una laguna que provee agua fresca a la unidad minera. Debido a esta situación se tomó la iniciativa e interés en desarrollar un estudio enfocado a disminuir el consumo de agua en las actividades de regadío de vías dentro del tajo. Para el análisis se toma una vía referencial que va desde el fondo del tajo hasta un depósito de desmonte. Este tramo es de alto tránsito de camiones de gran capacidad y sólo se puede regar con agua. La vía nos servirá para realizar un análisis y comparación del consumo de agua en el regadío de vías con cisternas de gran capacidad y los aspersores de gran alcance.

Para la evaluación técnica; primero, se realiza un análisis de agua fresca en la unidad minera; segundo, se hace un análisis de agua en mina cuyo consumo principal se da en el regadío de vías con cisternas de gran capacidad; tercero, se realiza la evaluación del consumo de agua utilizando aspersores de gran alcance en la vía referencial; por último, se hace una comparación del consumo de agua entre las cisternas de gran capacidad y aspersores de gran alcance. Para la evaluación económica, se realiza un análisis de sensibilidad de 15 años tomando en cuenta los costos de inversión (CAPEX) y costos de operación (OPEX) de las cisternas de gran capacidad y el sistema de aspersores. Además, se considera el Valor Presente Neto (VPN) para la evaluación y comparación de ambos sistemas de regadío.

Agradecimientos

A Dios por ser mi guía y fortaleza; a mis padres Andrés y Alberta por su paciencia y ejemplo de vida; a mis hermanos Andrés, Virginia, Ruth por el aliento en los momentos que más lo necesitaba; a mi hija Rominna por ser el motivo infinito para seguir adelante; a mi novia, por ser mi compañera incondicional.

A los ingenieros Javier Salazar, Edgar Peña, Jesús Cruces, Josué Vílchez y David Chuquillanqui por sus consejos y enseñanzas en Cujone. A la Dra. Maribel Guzmán por su apoyo en el desarrollo de esta tesis con sus ideas y comentarios. A Darwin Galván, Bryan Velarde, Yousef Villanueva, Jonathan Navarro, José Grande, Juan Carlos Chanjí por compartir momentos y su amistad en mi etapa universitaria. Al sur del Perú, tierra hermosa que me vio nacer, crecer y es el motivo de mi vocación.

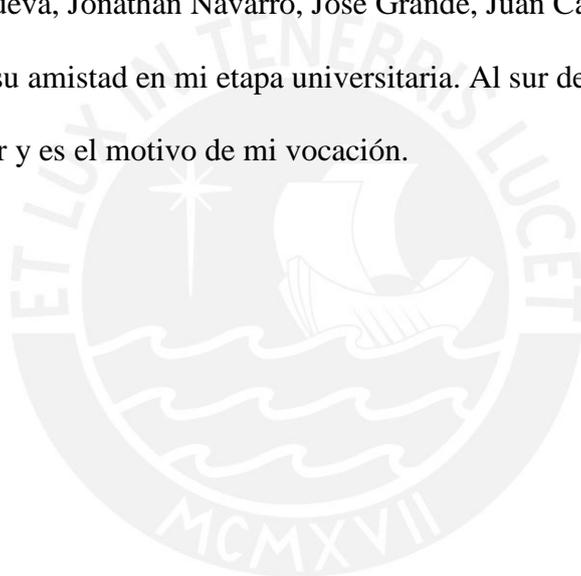
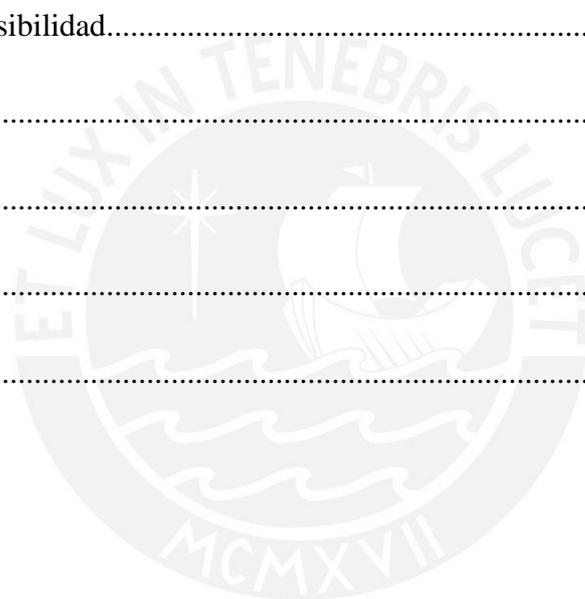


Tabla de contenidos

Resumen	ii
Agradecimientos	iii
Índice de Figuras	vi
Índice de Tablas	viii
Memoria Descriptiva	1
Capítulo 1 Introducción	1
1.1 Justificación	1
1.2 Objetivos.....	3
1.3 Alcances.....	3
Capítulo 2 Generalidades de la Mina.....	6
2.1 Descripción de la Mina.....	6
2.2 Operaciones Unitarias.....	9
2.3 Parámetros de Diseño	14
Capítulo 3 Marco Teórico	17
3.1 Riego por Aspersión	17
3.2 Aspectos Económicos.....	24
3.3 Aspectos Operativos	26
Capítulo 4 Análisis Técnico.....	28
4.1 Alcances del Análisis Técnico.....	28

4.2 Análisis de Agua Fresca en la Unidad Minera	28
4.3 Análisis del Agua en la Mina	31
4.4 Análisis de Consumo de Agua en Regadío de Vías de Acarreo.....	34
4.5 Comparación de Resultados	40
Capítulo 5 Análisis Económico.....	44
5.1 Costos de Inversión (CAPEX).....	44
5.2 Costos de Operación (OPEX).....	45
5.3 Análisis de Sensibilidad.....	47
Conclusiones	52
Recomendaciones	54
Bibliografía	55
Anexos	57



Índice de Figuras

<i>Figura 1.</i> Nivel de espejo de agua de la laguna del 2005 al 2017	1
<i>Figura 2.</i> Emisión de polvo en el tajo con cisternas de regadío	2
<i>Figura 3.</i> Trazo de la vía para la evaluación con los aspersores y cisterna.....	4
<i>Figura 4.</i> Rocas antiguas del pórfido de cobre	7
<i>Figura 5.</i> Pulsos del pórfido de cobre.....	7
<i>Figura 6.</i> Alteración hidrotermal del pórfido de cobre.....	8
<i>Figura 7.</i> Pórfido de cobre antes del minado y tajo actual	9
<i>Figura 8.</i> Aplicación de parámetros de perforación	10
<i>Figura 9.</i> Aplicación de parámetros de voladura.....	12
<i>Figura 10.</i> Pala eléctrica y cargador LeTorneau en el tajo.....	13
<i>Figura 11.</i> Acarreo con faja transportadora y camiones de gran capacidad en rampa.....	14
<i>Figura 12.</i> Medidas de accesos principales de mina	16
<i>Figura 13.</i> Producción de agua fresca de la unidad minera de 2015 y 2016.....	29
<i>Figura 14.</i> Consumo de agua fresca de la unidad minera de 2015 y 2016.....	30
<i>Figura 15.</i> Consumo de agua de la unidad minera de 2015 y 2016, sin considerar el proceso de concentración	31
<i>Figura 16.</i> Producción de agua en mina de 2015 y 2016	32
<i>Figura 17.</i> Consumo de agua en mina de 2015 y 2016	33
<i>Figura 18.</i> Fases y rutas de las cisternas para el regadío de vías en el tajo.....	34
<i>Figura 19.</i> Cantidad de cargas diarias en una cisterna en un mes	35
<i>Figura 20.</i> Trazo para la implementación de aspersores y ubicación de tanques (T1 y T2) ...	37
<i>Figura 21.</i> Diseño y prueba piloto de riego con aspersores	39
<i>Figura 22.</i> Comparación de riego con aspersores y cisterna.....	42
<i>Figura 23.</i> Consumo de agua de los aspersores según la cantidad de veces de riego por día	42

<i>Figura 24.</i> OPEX para la cisterna de regadío	46
<i>Figura 25.</i> Costos en 15 años para el funcionamiento de una cisterna.....	49
<i>Figura 26.</i> Costos en 15 años para el funcionamiento del sistema de los aspersores.....	49
<i>Figura 27.</i> Flujo económico para las dos alternativas para el regadío de vías	51



Índice de Tablas

Tabla 1	<i>Consumo de agua en la unidad minera</i>	2
Tabla 2	<i>Caudal de producción de agua fresca de la unidad minera de 2015 y 2016</i>	28
Tabla 3	<i>Caudal de consumo de agua fresca de la unidad minera de 2015 y 2016</i>	30
Tabla 4	<i>Caudal de producción de agua en mina de 2015 y 2016</i>	32
Tabla 5	<i>Caudal de consumo de agua en mina de 2015 y 2016</i>	33
Tabla 6	<i>Consumo agua en el regadío de vías de acarreo en litros</i>	34
Tabla 7	<i>Resultados de tiempos y recorridos de una cisterna</i>	35
Tabla 8	<i>Datos requeridos por las empresas especializadas</i>	38
Tabla 9	<i>Datos técnicos proporcionados por cada empresa especializada</i>	38
Tabla 10	<i>Resumen de los datos obtenidos de la prueba piloto de aspersores</i>	39
Tabla 11	<i>Tiempos de aplicación de un aspersor en las alternativas E1, E2 y E3</i>	40
Tabla 12	<i>Consumo de agua para alternativas E1, E2 y E3</i>	41
Tabla 13	<i>Resumen del reemplazo de cisternas de gran capacidad</i>	44
Tabla 14	<i>Resumen de CAPEX del sistema de aspersores regadío</i>	45
Tabla 15	<i>Resumen de OPEX de una cisterna de gran capacidad</i>	46
Tabla 16	<i>Resumen de OPEX del sistema aspersores</i>	47
Tabla 17	<i>Valor Presente Neto para cada alternativa de regadío de vías en el tajo</i>	50

Memoria Descriptiva

Capítulo 1 Introducción

1.1 Justificación

Deleite (2018) indica que el uso correcto y racional del agua en minería es de suma importancia para la viabilidad de un proyecto o para la continuidad de una operación en marcha, ya que es un tema delicado entre la empresa y la población de las zonas de influencia directa. Además, dentro de las tendencias que cambiarán en la minería en los próximos años se encuentra, el gestionar el agua de manera adecuada, ya que las leyes van disminuyendo y se procesa más material para tener el mismo concentrado. A la luz de esta demanda adicional de agua, las empresas tienen el desafío de encontrar formas innovadoras para reducir la cantidad de agua en cada uno de sus procesos (p.34-38).

Para la unidad minera, una de las principales proveedoras de agua para sus operaciones es una laguna la cual en sus cuatro últimos años ha disminuido su cota de espejo de agua en 3.5 m debido a la poca precipitación en época de invierno en la cordillera. En la Figura 1 se muestra el comportamiento de las lluvias en los últimos 12 años.

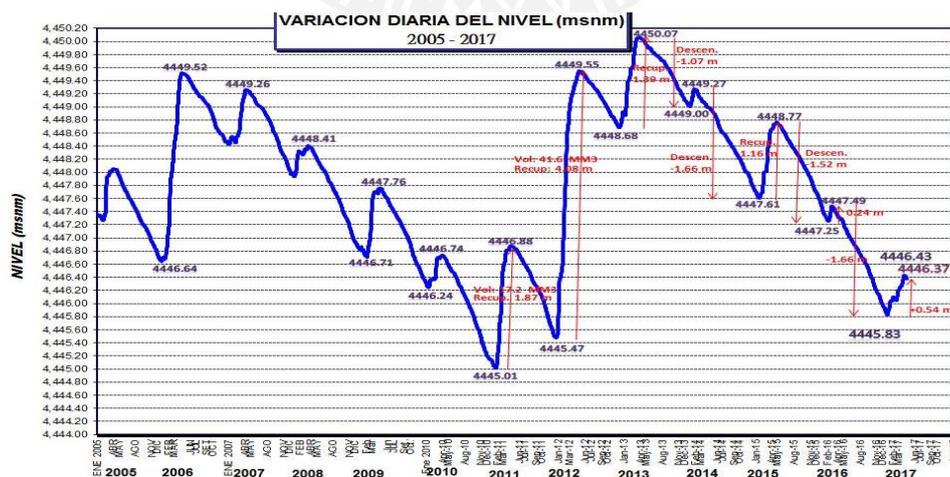


Figura 1. Nivel de espejo de agua de la laguna del 2005 al 2017

Figura tomada de la unidad minera.

Para la unidad minera, el uso agua se utiliza mayormente para el procesamiento del mineral pero también en una cantidad considerable en el regadío de vías dentro del tajo para el control y reducción de la emisión de polvo. En la Tabla 1 se muestra el consumo de agua en la unidad minera.

Tabla 1

Consumo de agua en la unidad minera

Área	Caudal (L/s)
Mina (regadío de vías)	59
Concentradora	826
Campamentos	23
Lixiviación	40
Evaporación	3

Nota. Mina corresponde a 42 L/s de agua fresca y 17 L/s de agua recuperada por filtraciones. Concentradora, campamentos, lixiviación y evaporación corresponde sólo al consumo de agua fresca. Datos tomados de la unidad minera.

El regadío de vías dentro del tajo actualmente se realiza con cisternas de gran capacidad, no obstante se vio que es un gasto considerable de 59 L/s y, además, no se está controlando el polvo de manera adecuada. En la Figura 2 se puede observar el escenario actual del control de polvo en el tajo, con cisternas de gran capacidad.



Figura 2. Emisión de polvo en el tajo con cisternas de regadío

Foto tomada en la unidad minera.

Thompson y Visser (2007) indicaron que existen dos posibles alternativas para disminuir la emisión de polvo y consumo de agua: la alternativa química y la de aspersores de

gran alcance. En la alternativa química se encuentra el empleo de sales, resinas de petróleo y emulsiones orgánicas cuyas condiciones de clima de operatividad son ideales y, además, son muy costosas (p.438). Actualmente se están aplicando en el tajo, el empleo de sales y resinas de petróleo en vías de acarreo, no teniendo resultados favorables. En la alternativa de aspersores, existen aplicaciones en minería como el regadío de depósitos de relaves, pads de lixiviación y vías de acarreo en el tajo. En la presente tesis se hará una evaluación enfocada en el consumo de agua de los aspersores de gran alcance en una vía referencial de acarreo y, además, se hará una evaluación económica de la aplicación de la misma respecto a las cisternas de gran capacidad.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo principal.

- Reducir el consumo de agua implementando un sistema de aspersores de gran alcance regando vías de acarreo de alto tránsito para camiones de gran capacidad.

1.2.2 Objetivos secundarios.

- Evaluar los costos de inversión (CAPEX) y costos de operación (OPEX) del funcionamiento del sistema de aspersores versus el regadío con cisternas de gran capacidad.
- Realizar un análisis de sensibilidad de 15 años considerando el CAPEX y OPEX evaluando el Valor Presente Neto (VPN).
- Mejorar el control de la emisión de polvo con el sistema de aspersores.

1.3 Alcances

Se tomó una vía referencial que va desde el fondo o nivel inferior de la mina hasta un botadero del tajo. Se consideró esta vía debido al alto tránsito de camiones de gran capacidad. El regadío de vías de acarreo en el tajo se da por sectores que ocupan cada cisterna de gran

capacidad. La longitud de esta vía es de 6,600 m y tiene un ancho de 40 m. En la Figura 3 se muestra el trazo de la vía que es evaluado el regadío con el sistema de aspersores y cisterna.

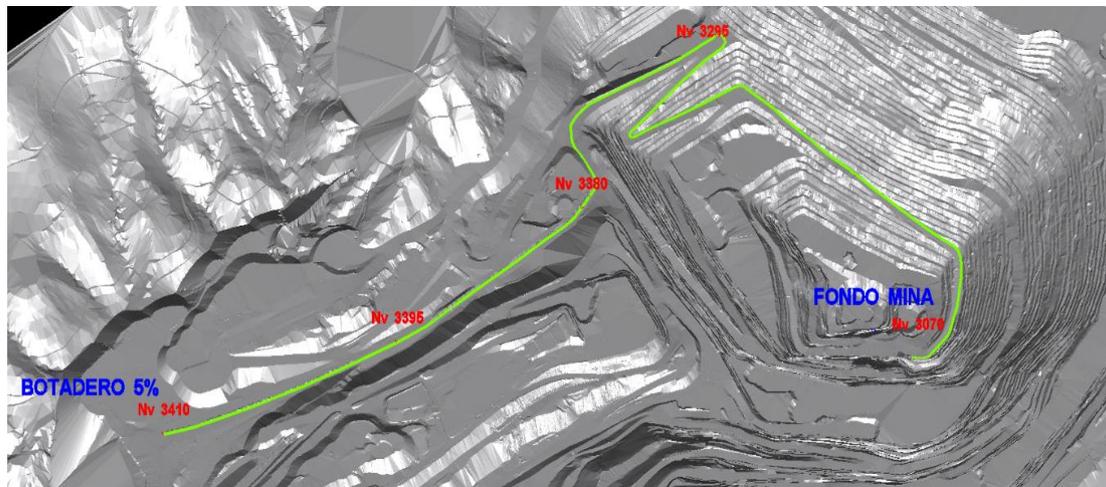


Figura 3. Trazo de la vía para la evaluación con los aspersores y cisterna

Imagen tomada de la unidad minera.

Para analizar la factibilidad de la implementación del sistema de aspersores se ha tenido en consideración los siguientes alcances:

- Para el estudio del análisis de la producción y consumo de agua de toda la unidad minera y sólo del área de mina, se trabajó con información de los años 2015 y 2016, proporcionada por la Gerencia de Recursos Hídricos (ver Anexo A).
 - Para el análisis del consumo de agua de la cisterna se realizó el conteo interdiario de llenado de la cisterna equivalente a todo un mes.
 - Para determinar la cantidad de agua que se necesita para el control de polvo en una cisterna se realizó un trabajo de campo tomando tiempos y distancias. Con estos datos, se pudo calcular el área efectiva y ciclo de regado.
 - Se realizaron pruebas de campo con aspersores pequeños en el tajo para determinar la cantidad de agua necesaria para el control de la emisión de polvo y ciclos de regadío.
- Para los costos de inversión (CAPEX) del sistema de aspersores se consideró la

cotización a empresas especializadas. Para la cisterna de gran capacidad se consideró la inversión proyectada por planeamiento mina.

- Para los costos de operación (OPEX) de sistema de aspersores se consideró el *Know How* de las empresas especializadas. En el caso de la cisterna, se consideró la información de los costos de repuestos, mantenimiento, llantas y combustible, principalmente, proporcionados por Dispatch.



Capítulo 2 Generalidades de la Mina

2.1 Descripción de la Mina

2.1.1 Ubicación y clima.

Tumialán (2003) indica que la mina a tajo abierto en estudio es un pórfido de cobre que se encuentra ubicada en el flanco andino de la cordillera occidental de los Andes en el desierto de Atacama al sur del Perú a una altitud entre 3,100 y 3,850 msnm (p. 136).

Según la Gerencia de Recursos Hídricos de la unidad minera, la temperatura oscila entre -2 C° y 26 C° , su humedad relativa es de 44%, su velocidad de aire máxima es de 27 km/h y existe una precipitación anual de 127 mm (Ver Anexo B); además, el periodo de lluvia se produce entre los meses de diciembre y marzo. Es importante mencionar que en los últimos cuatro años no hubo mucha presencia de lluvia por la zona.

2.1.2 Geología.

Tumialán (2003) indicó que es un yacimiento tipo pórfido de baja ley, de gran tonelaje y de forma irregular disseminado ubicada en la sub-provincia cuprífera del pacífico sur en el Batolito de la Costa. Las rocas más antiguas en el área de esta mina son la andesita basáltica y la riolita porfirítica. La andesita basáltica tiene una coloración oscura debido a la biotita, probablemente de origen hidrotermal, anfibolita y al piroxeno que han sido identificados. Existe un cuerpo intrusivo que es un stock de latita porfirítica cuarzosa, además existe algunos feldespatos altamente alterados. Los contactos entre la latita y los volcánicos pre-mineral son de andesita basáltica (p. 141). En la figura 4 se observa la forma inicial del yacimiento y su primera intrusión de latita porfirítica (LP).

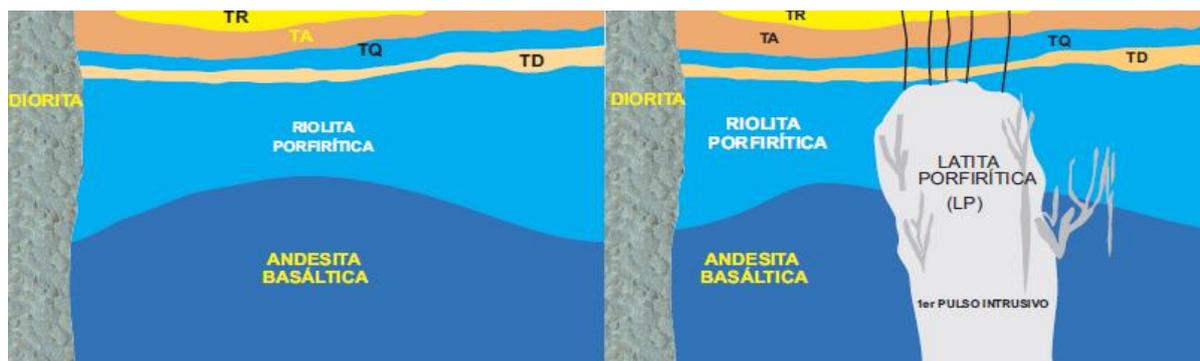


Figura 4. Rocas antiguas del pórfido de cobre

Tomado de “Compendio de Yacimientos Minerales del Perú” por Tumialán (Perú), 2003.

Tumialán (2003) y el Área de Geología de la unidad minera indicaron que el segundo cuerpo de latita porfírica originó cuerpos de brecha que rodean dicha intrusión, con leyes de cobre de 0.4 % Cu a 0.1 % Cu. Con esta intrusión se emplazaron también diques de latita porfírica. Las brechas consisten en clastos redondeados a sub-redondeados alterados, mineralizados en volcánicos con una matriz fresca de latita porfírica. Localmente la matriz puede ser silicificada o parcialmente compuesta de geodas, conteniendo incrustaciones de cuarzo. El tercer pulso fue de latita porfírica con alteración débil sin mineralización de cobre. En la Figura 5 se observa el segundo pulso con mineralización y tercer pulso sin mineralización de latita porfírica.

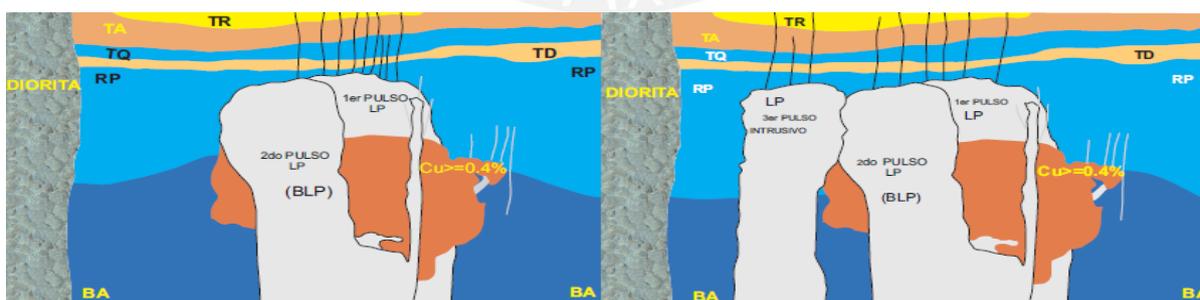


Figura 5. Pulsos del pórfido de cobre

Tomado de “Compendio de Yacimientos Minerales” por Tumialán (Perú), 2003.

Casi en forma simultánea a la intrusión de latita porfírica hubo alteración hipógena Potásica de mayor temperatura, fílica y propilítica de menor temperatura y mineralización del yacimiento. Las alteraciones hidrotermales tienen una extensión de 4 km de diámetro que

están representadas por alteración potásica en profundidad con el ensamble de biotita, magnetita, clorita, anhidrita y alteración fílica-potásica; alteración fílica con ensamble de cuarzo, sericita, piritita; alteración fílica-propilítica; y alteración propilítica con el ensamble epidota, calcita, piritita y clorita cobre (p. 145). En la Figura 6 se muestra la alteración hidrotermal y mineralización del yacimiento por aguas meteóricas.

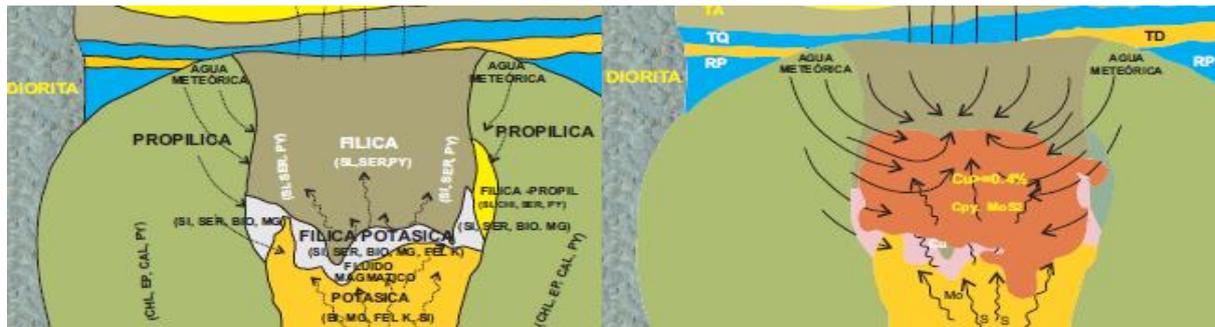


Figura 6. Alteración hidrotermal del pórfido de cobre

Tomado de "Compendio de Yacimientos Minerales" por Tumialán (Perú), 2003.

2.13 Mineralogía.

El Área de Geología de la unidad minera indica que la zona de mineralización tiene una extensión 2.2 por 1 km. La mineralización es típica por su forma regular, homogeneidad de ley, cuyas reservas son de 1.242 millones de toneladas a una ley de 0.56 % Cu.

Tumialán (2003) indicó que la zona lixiviada, de la superficie a 120 m, fue a causa de la disolución de cobre por aguas ácidas generadas por la reacción del agua de lluvia sobre la piritita. En el área de la mina la capa lixiviada es visible en las riolitas que es dominada por limonita, goethita, jarosita y pirolusita. En la zona de óxidos, de 15 m de espesor, se formó por las percolaciones hacia abajo del agua subterránea conteniendo cobre en solución por cambio de pH, el cual resultó en la precipitación de óxidos, hidróxidos, carbonatos y silicatos de cobre. La mineralogía consiste de crisocola, malaquita, calcantita, más cobre nativo, cuprita y tenorita, estas ocupadas principalmente como manchas y fracturas (p. 145). Además menciona que la zona enriquecida es definida mineralógicamente por la predominancia de

sulfuros secundarios con calcosina, bornita, digenita y covelita. En la zona primaria se encuentran minerales como calcopirita y calcosina que pueden coexistir en forma masiva. La situación típica de encontrar calcopirita es en venas de cuarzo con calcosinas en fracturas (p. 146). En la Figura 7 se observa la zona mineralizada antes y después del minado.

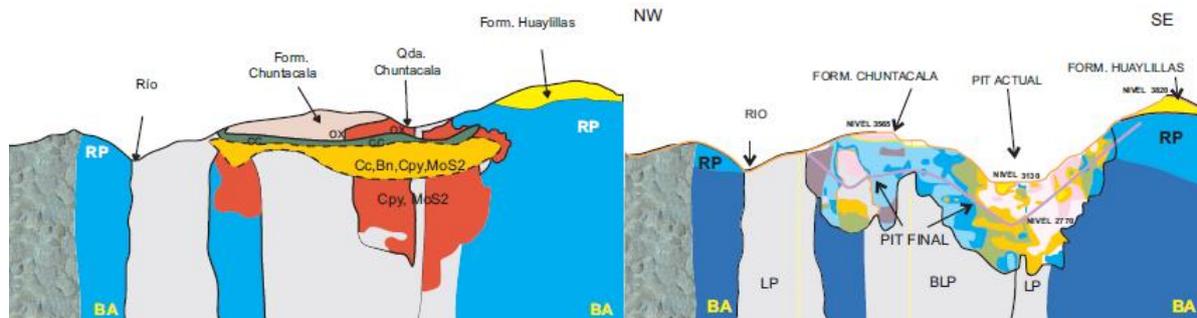


Figura 7. Pórfido de cobre antes del minado y tajo actual

Tomado de “Compendio de Yacimientos Minerales” por Tumialán (Perú), 2003.

2.2 Operaciones Unitarias

2.2.1 Perforación.

EXSA (2005) mencionó que la perforación es la primera operación en la preparación de una voladura. Su propósito es abrir en la roca huecos cilíndricos destinados a alojar el explosivo y sus accesorios de iniciación. Estos huecos también son denominados taladros, barrenos, hoyos o *blastholes*. Esta actividad se basa en principios mecánicos de percusión y rotación, cuyos efectos de golpe y fricción producen el astillamiento y trituración de la roca en un área equivalente al diámetro de la broca de perforación y hasta una profundidad dada por la longitud del barreno utilizado. La eficiencia en perforación consiste en lograr la máxima penetración al menor costo (p. 79).

En el Área de Perforación y Voladura de la unidad minera coordinan dos tipos de perforación: producción y precorte. Los taladros de producción tienen un diámetro de 12 1/4”, una sobre perforación de 1 m y el espaciamiento de taladros son equidistantes entre sí en forma de triángulo. No son equidistantes en los ajustes por cresta o topografía original,

además el espaciamiento depende del tipo de material (mineral o desmonte), dureza (*Work Index*) y tipo de roca principalmente. Los taladros de precorte tiene un diámetro 5", la distancia entre taladros es de 1.5 m, una dirección de 90 ° y 75 ° dependiendo la estabilidad del talud y no tiene sobre perforación. En la Figura 8 se observa un ejemplo aplicativo de los parámetros de perforación.

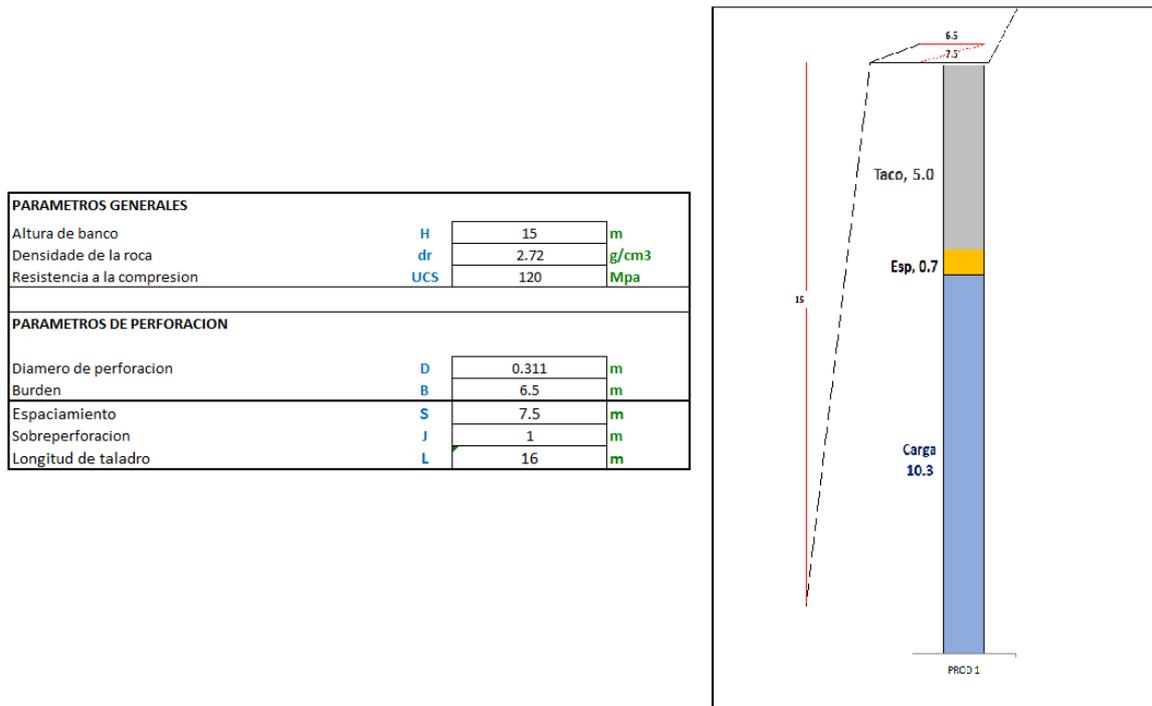


Figura 8. Aplicación de parámetros de perforación

Tomado del Departamento de Asistencia Técnica de EXSA que opera en la unidad minera.

A continuación se detallan los equipos de perforación que posee la mina:

Los equipos de precorte

- Dos perforadoras Sandvick DR560.
- Una perforadora ROC L8.

Los equipos de producción

- Una perforadora CAT MD6640.

- Dos perforadora P&H 120A.
- Dos perforadoras P&H 320XPC.
- Una perforadora Bucyrus 49 RIII.
- Una perforadora Bucyrus 49 HR.

2.2.2 Voladura.

Según el Ministerio de Energía y Minas (2015), el proceso de voladura comprende el carguío de los taladros. Estos son cargados con una sustancia explosiva que al detonar origina una onda de choque que libera gases a una alta presión y temperatura. El efecto es de una forma substancialmente instantánea, para arrancar, fracturar y remover una cantidad de material según los parámetros de diseño de la voladura misma (p. 166).

Según el Departamento de Asistencia Técnica de EXSA, el carguío de taladros depende del tipo de roca, densidad, resistencia de compresión, espaciamento y burden. Con estos parámetros se estiman el tipo de explosivo, el taco de diseño, la cámara intermedia de aire y densidad del gasificante para el esponjamiento del material volado. Para la detonación se utiliza en cada taladro un detonador electrónico y un detonador no eléctrico que trabaja como detonador de seguridad por si el detonador electrónico no detona, es conocido también como *back up*. En la Figura 9 se observa un ejemplo aplicativo de los parámetros de voladura.

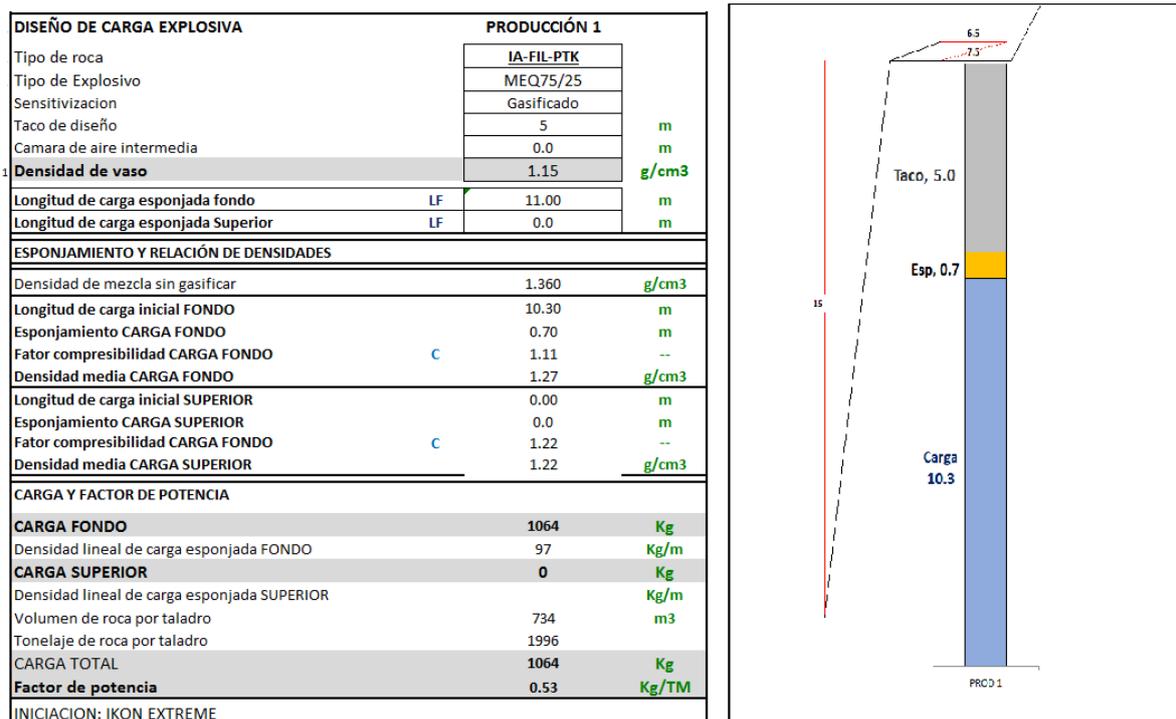


Figura 9. Aplicación de parámetros de voladura

Tomado del Departamento de Asistencia Técnica de EXSA que opera en la unidad minera.

2.23 Carguío.

ISEM (2017) indica que el proceso de carguío consiste en retirar el material volado desde la frente de trabajo y el traspaso del material al equipo de transporte dispuesto para el traslado. En el Área de Operaciones Mina de la unidad minera el carguío está a cargo de seis palas eléctricas y dos cargadores frontales. Tres palas están en la parte alta (Fase 8) para el desbroce donde existen gran tránsito de camiones. Una pala se encuentran en la parte central de la mina (Fase 7) en la zona de óxidos para descubrir mineral primario y dos se encuentran en el fondo de mina (Fase 5 y 6) zona de mineral primario, secundario y brechas. Los cargadores frontales se encuentran dispuestas para el minado de spills o, cuando lo requiere el Área de Planeamiento, en los stocks de mineral. En la Figura 10 se observa el trabajo de los equipos de carguío.



Figura 10. Pala eléctrica y cargador LeTorneau en el tajo

Fotos tomadas en la unidad minera.

A continuación se detallan los equipos de carguío de la mina:

- Una pala eléctrica P&H 2800XPB.
- Una pala eléctrica P&H 4100A.
- Una pala eléctrica P&H 4100 XPC.
- Dos palas eléctricas Bucyrus 495HR.
- Una pala eléctrica Bucyrus 495BII.
- Dos cargadores frontales LeTorneau.

2.2.4 Acarreo.

ISEM (2017) indica que el acarreo consiste en el transporte del material a su lugar de destino como la planta, stocks o botaderos. En el Área de Operaciones Mina de la unidad minera el acarreo se da a través de camiones de gran capacidad y la faja transportadora dentro del tajo. La empresa tiene 46 camiones de gran capacidad entre ellos están los camiones *Komatsu 980E* de 400 t y *Caterpillar 797F* de 360 t que son utilizados para el desbroce, por otro lado los camiones *Komatsu 930E* de 300 t son para la zona de fondo de mina donde se encuentra el mineral. Para los *spills* y *stocks* se utilizan los *Caterpillar 793C* y los *Komatsu 830E* ambos de 220 t.

La faja transportadora se encuentra dentro del tajo donde los camiones descargan el mineral a una chancadora primaria y lo llevan a la planta concentradora que está a 10 km

aproximadamente del tajo. En la Figura 11 se observa el acarreo con la faja transportadora y los camiones de gran capacidad.



Figura 11. Acarreo con faja transportadora y camiones de gran capacidad en rampa

Fotos tomadas en la unidad minera.

A continuación se detallan los equipos de acarreo de la mina:

- Cuatro camiones KOMATSU 980E
- Dieciocho camiones CAT 797F
- Diecisiete camiones KOMATSU 930E
- Cuatro camiones CAT 793 C y D
- Tres camiones KOMATSU 830 E

2.3 Parámetros de Diseño

2.3.1 Ancho de accesos.

Delgado (2008) mencionó que los accesos son por donde realizan el transporte habitual de material de la explotación, es decir, por lo que circulan las unidades de acarreo. Además existen rampas para el acceso de un nivel a otro en el tajo. Ambas tienen un tratamiento y diseño distinto, la primera puede tener hasta dos sentidos y es de marcha rápida mientras que la segunda es limitada y más lenta la marcha de los camiones debido a su pendiente. La pendiente no debe superar el 20 % por razones mecánicas de los equipos (p. 34). En el caso

de la mina, las rampas tienen una pendiente de 10 % tanto en las rampas de diseño como las rampas operativas.

2.3.2 Rampas y accesos.

Delgado (2008) mencionó que el ancho de los accesos se encuentra en función de los camiones más grandes de manera que sea suficiente para la continuidad del transporte con seguridad. Generalmente se diseñan los accesos con dos pistas o carriles para optimizar el espacio disponible. Además es necesario dejar en ambos lados un ancho equivalente a la mitad del ancho del camión por temas de seguridad. La altura de la berma de seguridad debe ser la mitad o más de la altura de la llanta para que pueda servir de contención y su ancho de la berma debe ser más del doble de la altura (p. 39). La fórmula que se aplica para el ancho de accesos es la siguiente:

$$A = a * (0.5 + 1.5N) \quad (2.1)$$

Donde

A=Ancho total de acceso

a=Ancho de camión de mayor dimensión

N=Cantidad de pistas

Aplicando la fórmula (2.1) al caso de la mina según las especificaciones del equipo de acarreo *Komatsu 980E* su ancho es de 9.56 m y es de doble vía. Por lo tanto el ancho de vía resulta para este caso en aproximadamente 40 metros. En la Figura 12 se observa los parámetros de accesos de la mina.

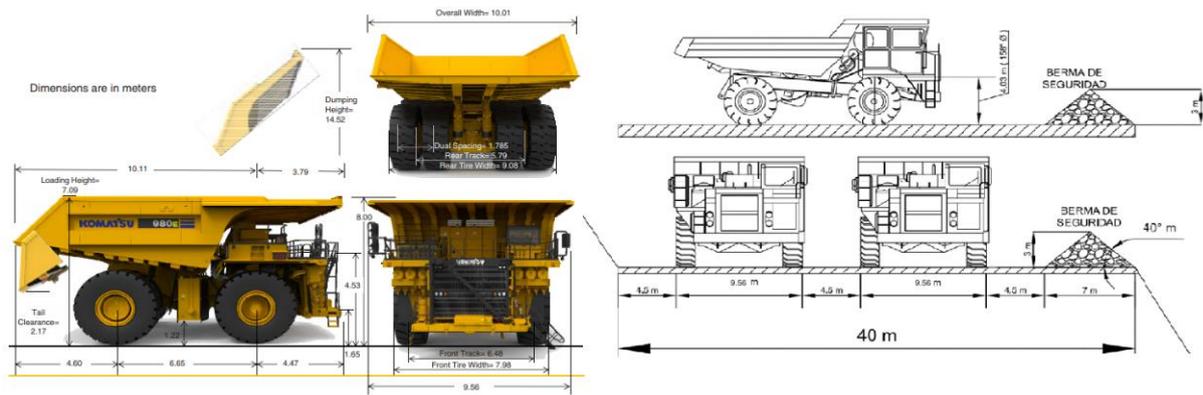


Figura 12. Medidas de accesos principales de mina

Imagen tomada de la unidad minera (derecha) y catálogo de Komatsu en <https://www.komatsuamerica.com/-/media/2017-redesign/equipment-brochures/trucks/electric/980e-4.pdf> (izquierda).



Capítulo 3 Marco Teórico

3.1 Riego por Aspersión

3.1.1 Conceptos básicos.

Conceptos generales. Los conceptos son tomados según lo indicaron Fernández, Oyonarte, García, Yruela, Morillo, Milla, Ávila y Gavilán (2010). Los más importantes son los que se muestran a continuación.

Caudal (Q). Es el volumen de agua que pasa a través de una tubería en un determinado tiempo (p. 6).

Presión (P). Es la fuerza ejercida sobre una superficie determinada. Sirve para la conducción del agua desde un punto de almacenamiento hasta los emisores. Para que un volumen de agua pueda transitar debe tener una cierta presión (p. 6).

Pérdidas por carga. Es la pérdida de presión por rozamiento que se da por el diámetro de la tubería, longitud de la tubería y tipo de material (p. 8).

Elevación del agua. Fernández et al. (2010) indicaron que la elevación del agua sirve para darle una presión natural producida por su propio peso. Si esto no es suficiente para llegar al punto de emisión, el punto se debe elevar o, en todo caso, dotarla de una presión adicional con una bomba hidráulica. Normalmente las bombas emplean motores eléctricos o de combustión interna. En la mayoría de los casos las bombas actúan en dos fases: aspiración e impulsión (p. 8).

Fase de aspiración. Es el agua que se eleva desde su nivel hasta el eje de la bomba, siendo conducida por la tubería de aspiración. A esta altura se denomina la altura geométrica de aspiración (H_a) (p. 9).

Fase de impulsión. El agua es conducida desde la bomba hasta su destino final, siendo conducida por la tubería de impulsión. La bomba debe elevar el agua hasta el punto más alto

de la instalación y además darle la presión necesaria para que salga por los emisores. A esta altura se denomina la altura geométrica de impulsión (H_i) (p. 9). Asimismo la altura manométrica total (H_t) es la suma de la altura geométrica de aspiración (H_a), altura geométrica de impulsión (H_i) y la altura de presión en los aspersores (p.10).

Sistema de bombas. Fernández et al. (2010) indicaron que las bombas son utilizadas para impulsar el agua a su destino con el aumento de la velocidad provocada por el movimiento giratorio de un rodete o impulsor, formado por palas (p. 10). Según el ingreso de agua a la bomba se clasifican en bomba centrífuga y axial. Por otro lado, en función de la disposición del eje de la bomba, se diferencian bombas de eje horizontal y bombas de eje vertical. Cada una de estas se explicará a continuación:

Bomba Centrífuga. Es cuando el agua entra por el centro del rodete y es impulsada en la dirección radial (p. 10).

Bomba Axial. Es cuando el agua entra por el centro del rodete y es impulsada en la misma dirección (p. 10).

Bombas de eje horizontal. Se utilizan para elevar aguas superficiales o de pozos poco profundos (5 a 10 metros). Se sitúan por encima del nivel de la superficie del agua y mantienen constantemente llena la tubería de aspiración (p. 11).

Bombas de eje vertical. Se utilizan para bombear agua de los pozos que normalmente son estrechos y profundos. La bomba se encuentra sumergida en el agua mientras que el motor se sitúa en la superficie (p.12).

Potencia del motor. Fernández et al. (2010) mencionaron que el motor es el encargado de suministrar la energía a la bomba para poder elevar el caudal a una altura manométrica determinada. Para poder suministrar la energía necesaria a la bomba, el motor requiere una determinada potencia (p. 14). La fórmula de la potencia en Kilovatios (kV) es como se escribe a continuación.

$$P = \frac{0.0098 * Q * Ht}{Rb * Rm} \quad (3.1)$$

Donde

P= Potencia (kV, kilovatios)

Q= Volumen (L/s)

Ht =Altura manométrica total (m)

Rb= Rendimiento de la bomba (%)

Rm=Rendimiento del motor (%)

3.12 Fundamentos básicos.

Riego por aspersión. Fernández et al. (2010) indicaron que el riego por aspersión es un método el cual el agua se aplica sobre la superficie en forma de lluvia. El agua sale a gran velocidad y cubre la superficie del suelo hasta capas más profundas (p. 19).

Red de distribución. Fernández et al. (2010) mencionaron que la red de distribución es el conjunto de tuberías que llevan el agua hasta los aspersores que van regando franjas de suelo de forma consecutiva hasta que se completa el área a regar (p. 21). Los principales componentes para la distribución son los siguientes.

Tuberías. Son los elementos encargados de llevar el agua desde el punto de toma hasta el punto de aplicación del riego. Para la aplicación en riego de aspersores de alta presión se

utilizan tuberías *High Density Polyethylene (HDPE)* que se caracterizan por su alta duración, anticorrosivas, económicas y fácil unión (p. 23).

Porta aspersores. Son elementos de unión entre el aspersor y la línea principal de impulsión. Es un tubo con un estabilizador para mantener al aspersor fijo, firme y evitar la vibración (p. 24).

Elementos de uniones o derivación. Son piezas que se utilizan para los cambios de dirección, cambios de diámetros y extremos de las tuberías. Entre los más importantes tenemos a las tes, cruces, reducciones y tapones (p. 25).

Elementos de medida y control. Son elementos para medir el caudal, volumen y presión. Para ello se emplean caudalímetros, contadores volumétricos y manómetros (p. 25).

Aspersores. Fernández et al. (2010) mencionaron que los aspersores son los encargados de distribuir el agua en forma de lluvia sobre la superficie del suelo. Provistos de boquillas donde sale el agua a presión con movimiento giratorio. Su alcance depende de la presión y del tipo de aspersor (p. 26).

Aspersores de impacto. Son los aspersores de giro que se consiguen mediante un brazo oscilante que se desplaza y vuelve a su posición inicial. La velocidad de giro es relativamente pequeña, por lo que se les considera aspersores de giro lento (p. 26).

Aspersores sectoriales. Son aquellos que tienen la opción de girar sólo en un sector circular. Están dotados de un tope que se gradúa dependiendo de la zona a regar. Actualmente existen en el mercado aspersores sectoriales con un ángulo de 90°, 180°, 270° y 360° (p. 27).

Aspersores de alta presión. Son aspersores cuya presión de funcionamiento es superior a los 4 bar. Suelen ser de gran tamaño y se les conocen como “cañones” (p. 28).

Sistemas de riego fijo. Son aquellos sistemas que mantienen inmóviles todos los elementos que componen de la instalación donde los aspersores mojan una superficie fija o llamados también sistemas de cobertura total. (p.31)

3.13 Criterios de diseño por aspersión.

Fernández et al. (2010) mencionaron que el diseño de una instalación permite conocer la capacidad del sistema y su adaptación para el riego. El proceso de diseño comienza reuniendo información como cantidad y calidad de agua, clima, topografía y dimensiones de la zona a regar. Con toda esta información se define las características generales del sistema, se procede a la planificación y cálculo hidráulico. Este proceso determina las dimensiones de los componentes de instalación con los cálculos de diámetros de tuberías, caudales, presiones y características del sistema de bombeo (p.37). Los parámetros más importantes son los que se definen a continuación.

Necesidad neta de riego (NN). Es la cantidad de agua que hay que aplicar para un objetivo determinado como regar las vías para controlar el polvo (p.40).

Necesidad bruta de riego (NB). Es la cantidad de agua que hay que aplicar considerando pérdidas que se ocasionan durante el riego como el viento y evaporación instantánea (p. 40). La necesidad bruta de riego se obtiene con la siguiente fórmula:

$$NB = \frac{NN}{E} * 100 \quad (3.2)$$

Donde

NB= Necesidad bruta de riego (mm/día)

NN= Necesidad neta de riego (mm/día)

E=Eficiencia del sistema

Lluvia media (LM). Es la intensidad de lluvia que se aplica en un área suponiendo que el agua se reparte de manera completamente uniforme (p. 42). La lluvia media se obtiene con la siguiente fórmula:

$$LM = \frac{Q}{A} \quad (3.3)$$

Donde

LM= Lluvia media (mm/h)

Q= Caudal (L/h)

A= Superficie (m²)

Tiempo de riego (TR). Es el tiempo que debe estar funcionando la instalación para aplicar las necesidades brutas de riego (p. 43). El tiempo de riego se obtiene con la siguiente fórmula:

$$TR = \frac{NB}{LM} \quad (3.4)$$

Donde

TR= Tiempo de riego (h)

NB= Necesidad bruta de riego (mm)

LM= Lluvia media (mm/h)

3.14 Manejo de riego por aspersión.

Fernández et al. (2010) mencionaron que el manejo correcto del riego por aspersión se da por la uniformidad del riego principalmente. Para ello será necesario conocer la frecuencia y la duración de los riegos. La persona encargada de hacer la evaluación estimará las necesidades netas y brutas de riego (p. 49).

Pérdidas por evaporación y arrastre del viento. Son aquellas que se dan por el arrastre de gotas por efecto del viento y evaporación. En situaciones de poco viento las pérdidas

estarán en torno al 5 %, en situaciones de viento moderado, mayor a 4 m/s ó 14 km/h, las pérdidas estarán próximas al 10 % (p. 55).

Lámina de agua aplicada (La). Es la cantidad de agua de cada aspersor de la zona evaluada que se riega (p. 56). La lámina de agua aplicada se obtiene con la siguiente fórmula:

$$La = \frac{Q}{A} * T \quad (3.5)$$

Donde

La= Lámina de agua aplicada (mm)

Q= Caudal (L/min)

A= Superficie (m²)

T=Tiempo de evaluación (min)

3.15 Redes colectivas.

Fernández et al. (2010) mencionaron que una red colectiva de riego es un sistema de distribución de agua. Para diseñar la forma y dimensiones de una red colectiva es preciso tener información detallada sobre varios aspectos, entre los que destacan la disponibilidad, topografía de la zona regable y el tipo de suelo (p. 73). La alimentación de la red colectiva puede efectuarse por dos maneras:

Mediante una impulsión. Es la que tiene un sistema de bombeo la cual tiene presión necesaria para permitir el riego de forma correcta (p. 74).

Regulando desde un depósito. Se da por un depósito, tanque o pozo que está a una cota suficiente y tiene capacidad para atender las máximas necesidades (p. 75).

3.2 Aspectos Económicos

3.2.1 Costos de inversión (CAPEX).

Salazar (2018) indicó que los costos de inversión o gastos de capital son fondos utilizados por una empresa para adquirir, actualizar y mantener activos físicos como equipos. Se utiliza para emprender nuevos proyectos o inversiones de la empresa. Asimismo Iglesias (2018) mencionó que es todo lo comprado o invertido en bienes físicos que aumenten nuestra capacidad productiva y que, ahora, son propiedad de la corporación. También se incluyen los gastos de renovación de los activos para la expansión de su vida útil.

3.2.2 Costos de operación (OPEX).

Numes (2018) indica que los costos de operación hacen referencia a la cantidad de dinero destinado a mantener en funcionamiento los bienes de una empresa, sobre todo, sus equipamientos e instalaciones, es decir, es el dinero invertido continuamente en mantener el funcionamiento de un determinado sistema.

3.2.3 Benchmarking.

Spendolini (1994) mencionó que el *Benchmarking* es un proceso para evaluar los productos, servicios y procesos de organizaciones que tienen las mejores prácticas con el objetivo de realizar mejoras organizacionales (p. 11). Trejo (1996) indicó que el objetivo del *Benchmarking* es el aprendizaje de nuevas técnicas, métodos e ideas que involucran empresas de cualquier tipo que cuenten con prácticas de innovación o aplicación de tecnologías que puedan adaptarse a los procesos o servicios de la empresa (p. 11).

3.2.4 Análisis de sensibilidad.

Sullivan, Wicks y Lexhoj (2004) mencionaron que el análisis de sensibilidad es una metodología para obtener información de un proyecto sobre el potencial para la toma de decisiones. La sensibilidad se define de manera más específica como la magnitud relativa del

cambio en uno o más factores que revertiría la decisión entre las alternativas de un proyecto o decisión (p. 450).

3.2.5 Valor presente neto (VPN).

Sullivan et al. (2004) indicaron que el método del Valor Presente Neto (VPN) se basa en el concepto del valor equivalente de todos los flujos de efectivo a un punto de inicio en el tiempo (p. 154). Por otro lado, Chan (2009) menciona que para aplicar el criterio del VPN para un solo proyecto, primero se debe determinar el tasa de retorno que indica cuánto desea ganar la compañía por su inversión, luego se determina un periodo de evaluación, a continuación se determina una cantidad de salida o entrada neta por cada periodo y, por último, se determina el Valor Presente Neto (VPN) que es la suma del valor presente de cada periodo de evaluación (p.169). La fórmula del Valor Presente Neto (VPN) se muestra a continuación:

$$VPN = \sum_{i=0}^n \frac{FE_n}{(1+i)^n} \quad (3.6)$$

Donde

VPN =Valor Presente Neto

FE = Flujo de efectivo en el periodo n

i = Tasa de retorno de la empresa

n =Periodo de evaluación del proyecto

3.2.6 Tasa mínima atractiva de retorno (TMAR).

La tasa de retorno aplicada para la factibilidad es la Tasa Mínima Atractiva de Retorno (TMAR). Sullivan et al. (2004) mencionaron que TMAR lo establece la Gerencia de Proyectos que en teoría se conoce como la tasa por superar. Se elige para maximizar el bienestar económico de una organización (p. 151).

3.3 Aspectos Operativos

3.3.1 Parámetros temporales.

Delgado (2008) indicó que los parámetros a utilizar en la distribución temporal de la máquina en cada tarea son los siguientes:

Tiempo cronológico o calendario (TCR). Son las horas correspondientes a un determinado periodo de tiempo que pueden ser días, meses o años (p. 48).

Tiempo hábil (HH). Son las horas en la actividad productiva o en tareas de mantenimiento de sus elementos del equipo (p. 48).

Tiempo inhábil (HI). Son las horas que el trabajo suspende sus actividades productivas ajenas a la operación ya sea por factores ambientales o sociales (p. 48).

Tiempo de operación (HOP). Son las horas entregadas al operador para cumplir cualquier tarea que se le encomiende (p. 48).

Tiempo efectivo (HEF). Son las horas entregadas al operador cumpliendo la tarea encomendada (p. 48).

Tiempo de pérdida operacional (HPE). Son las horas que el equipo no puede operar por abastecimiento de combustible o lubricación (p. 49).

Tiempo reserva (HRE). Son las horas que el equipo puede operar pero no lo hace por falta de operador o no está en el plan de trabajo (p. 49).

Tiempo de mantenimiento (HMT). Son las horas en la que ocurre una eventualidad mecánica por una falla del sistema o equipo (p. 49).

3.3.2 Índices operacionales

Índice de utilización (UT). Delgado (2008) indicó que es la fracción del tiempo en la cual el equipo es operado ya que está en condiciones de cumplir su objetivo o físicamente disponible (p. 50). La fórmula para este índice operacional es como se muestra a continuación:

$$UT(\%) = \left(\frac{HOP}{HOP + HRE} \right) * 100 \quad (3.7)$$

Donde

UT=Índice de Utilización

HOP=Tiempo de operación

HRE=Tiempo de reserva

Disponibilidad Física (DF). Delgado (2008) menciona que es la fracción del total de horas en la cual el equipo se encuentra en condiciones físicas de cumplir su tarea (p.50). La fórmula para este índice operacional es como se muestra a continuación:

$$DF(\%) = \left(\frac{HOP + HRE}{HH} \right) * 100 \quad (3.8)$$

Donde

DF=Disponibilidad Física

HOP=Tiempo de operación

HRE=Tiempo de reserva

HH=Tiempo hábil

Capítulo 4 Análisis Técnico

4.1 Alcances del Análisis Técnico

Para el análisis técnico, se hizo un estudio de producción y consumo de agua fresca en la unidad minera para conocer el impacto que representaría la implementación del sistema de aspersores. Este análisis se hizo con la información del recursos hídricos de los años 2015 y 2016 (ver Anexo A). La información proporcionada es del control diario de caudalímetros ubicados en los puntos donde se toma y distribuye el agua en toda la unidad minera.

4.2 Análisis de Agua Fresca en la Unidad Minera

4.2.1 Análisis de la producción de agua fresca en la unidad minera.

Los principales abastecedores de agua fresca para la unidad minera son una laguna (L1), tres pozos subterráneos (P1, P2 y P3) y dos efluentes (E1, E1). Esta producción abastece para la planta concentradora, operación mina, el proceso de lixiviación, los campamentos y talleres. En la Tabla 2 se muestra el caudal de producción de agua según su origen que ocupa la unidad minera.

Tabla 2

Caudal de producción de agua fresca de la unidad minera de 2015 y 2016

Origen	Detallado	Caudal (L/s)
Laguna	L1	290
Pozos	P1	212
	P2	432
Efluentes	E1	20
	E2	20

Nota. Datos tomados de la unidad minera.

En la Figura 13 se puede observar la distribución en porcentaje de la producción de agua fresca de la unidad minera de los años 2015 y 2016. Los pozos y la laguna representan la mayor parte de la producción de agua fresca con 66 % y 30 %, respectivamente.

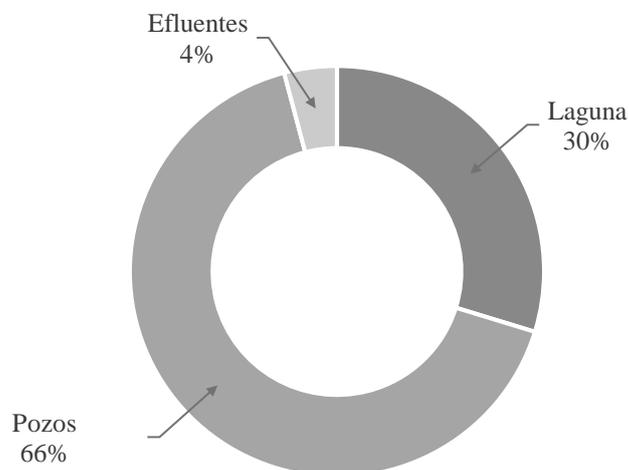


Figura 13. Producción de agua fresca de la unidad minera de 2015 y 2016

Datos tomados de la unidad minera.

4.2.2 Análisis de consumo de agua fresca en la unidad minera.

El principal consumo de agua fresca en la unidad minera se da en la planta concentradora con el procesamiento de 90,000 tpd de mineral, en el tajo con el regadío de vías para el control de polvo provocado por el tránsito de camiones, abastecimiento de dos campamentos, talleres de mina, proceso de lixiviación y pérdidas por evaporación. En la Tabla 3 se muestra el consumo de agua fresca según el uso que le da la unidad minera para sus operaciones.

Tabla 3

Caudal del consumo de agua fresca de la unidad minera de 2015 y 2016

Destino	Caudal (L/s)
Mina	42
Concentradora	826
Campamentos	23
Lixiviación	40
Evaporación	3

Nota. Datos tomados de la unidad minera.

En la Figura 14 se puede observar la distribución en porcentaje del consumo de agua fresca de la unidad minera; planta concentradora con 88 %, operaciones mina con 5 %, proceso de lixiviación con 4 % y campamentos con 3 %. La evaporación se considera nula (0 %).

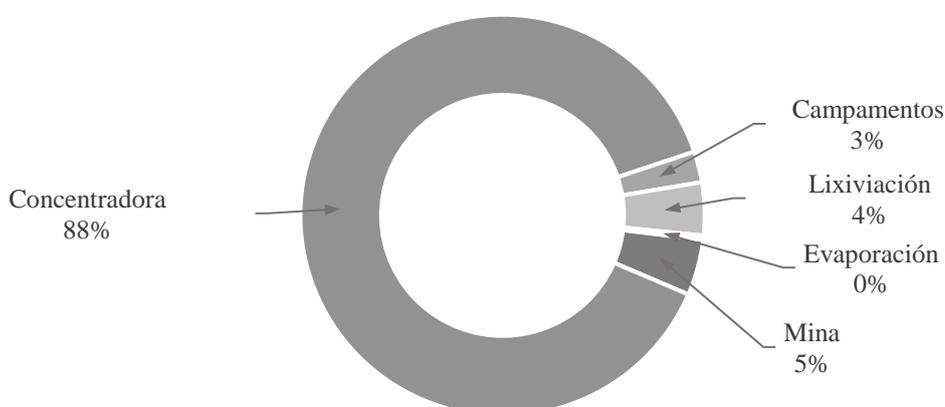


Figura 14. Consumo de agua fresca de la unidad minera de 2015 y 2016

Datos tomados de la unidad minera.

En la Figura 15 no se considera la planta concentradora. Se puede observar que operaciones mina tienen el mayor consumo con 39 % que cubre principalmente el regadío de vías, luego está el proceso de lixivación con un porcentaje de 37 % que es utilizado para regar las pilas de óxidos de cobre con un abastecimiento de 120,000 t/mes, finalmente se

encuentra campamentos con 21 % que abastece de agua fresca a más de 1,300 familias cuyos familiares trabajan en la unidad minera.

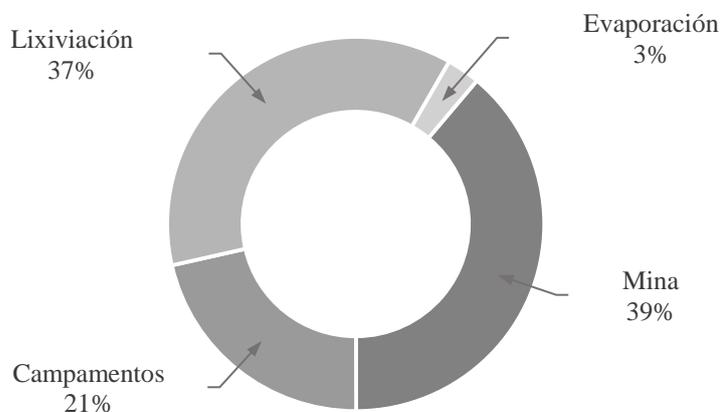


Figura 15. Consumo de agua de la unidad minera de 2015 y 2016, sin considerar el proceso de concentración

Datos tomados de la unidad minera.

43 Análisis del Agua en la Mina

43.1 Análisis de producción de agua en la mina.

Cabe resaltar que el análisis del acápite 4.2 corresponde a la producción y consumo de agua fresca en toda la unidad minera. En el análisis del acápite 4.2 se concluye que para operaciones mina se ocupa 42 L/s de consumo de agua fresca. No obstante en el tajo existen captaciones debido a las filtraciones del nivel freático que se depositan en el fondo del tajo que son bombeados a los tanques y pozos que nos sirve para abastecer a las cisternas para el regadío de vías de acarreo, consumo de las oficinas en mina y el uso de talleres mina. En la Tabla 4 se muestra la producción de agua en la mina según su origen de los años 2015 y 2016.

Tabla 4

Caudal de producción de agua en la mina de 2015 y 2016

Origen del agua	Caudal(L/s)
Agua fresca	42
Agua recuperada	19
Total	61

Nota. Datos tomados de la unidad minera.

En la Figura 16 se puede observar que el agua fresca representa el 69 %, por otro lado el agua que se recupera de las filtraciones representa el 31 %. Cabe mencionar que casi toda el agua existe en mina, se va en el regadío de vías de acarreo.

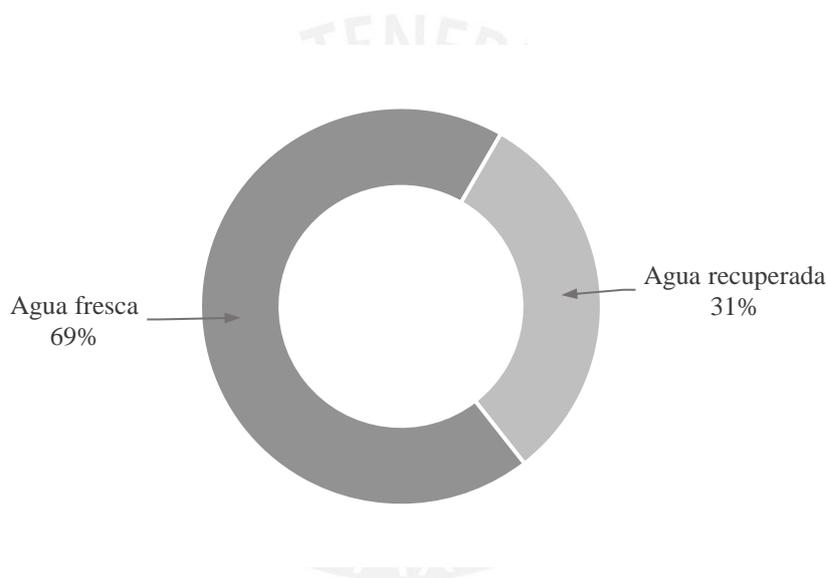


Figura 16. Producción de agua en mina de 2015 y 2016

Datos tomados de la unidad minera.

4.3.2 Análisis de consumo de agua en la mina.

El uso de agua en operaciones mina se da en el regadío de vías para el control de la emisión de polvo en el tajo y consumo de las oficinas que se encuentran en la mina. Estas son abastecidas por depósitos o tanques tubulares que están ubicadas en diferentes zonas de la mina para su uso. En la Tabla 5 se muestra el consumo de agua en la mina de los años 2015 y 2016.

Tabla 5

Caudal de consumo de agua en mina de 2015 y 2016

Destino del agua	Caudal (L/s)
Regadío de vías	59
Oficinas	2
Total	61

Nota. Datos tomados de la unidad minera.

En la Figura 17 se puede observar que el principal uso de agua en la mina se da en el regadío de vías de acarreo con un valor de hasta 97 %.

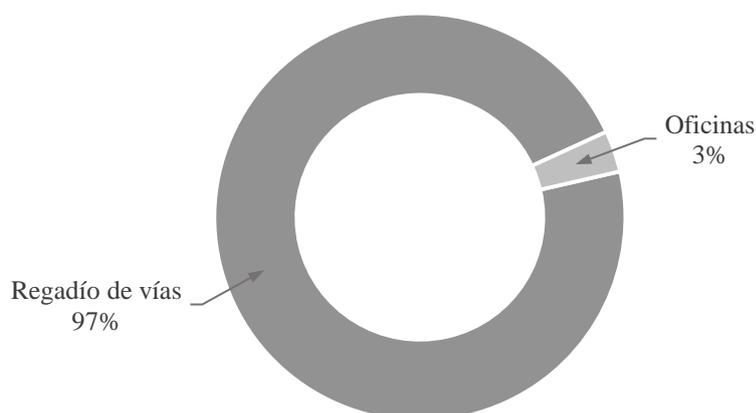


Figura 17. Consumo de agua en mina de 2015 y 2016

Datos tomados de la unidad minera.

En la Tabla 6 se muestra el consumo diario, semanal, mensual y anual en litros que se emplea para el regadío de vías con un caudal de 59 L/s. Esta actividad es muy importante para el control de polvo en el tajo.

Tabla 6

Consumo de agua en el regadío de vías de acarreo en litros

Periodo	Consumo (L)
Diario	5'097,600
Semanal	35'683,200
Mensual	152'928,000
Anual	1'835'136,000

Nota. Datos tomados de la unidad minera. El cuadro muestra el consumo de las 4 cisternas de regadío.

4.4 Análisis de Consumo de Agua en Regadío de Vías de Acarreo.

4.4.1 Análisis del consumo de agua con cisternas de gran capacidad.

En el tajo operan una cisterna *Komatsu 830* y tres cisternas *Caterpillar 785* con una capacidad de 30,000 galones o 133,562 litros cada uno, para el riego de vías para el control de polvo. Estas se encuentran distribuidas en dos cisternas en la parte alta (Fase 8), una en la parte central (Fase 6 y 7) y una en el fondo de mina (Fase 5) hacia los botaderos. En la Figura 18 se observa la ubicación de las fases y las rutas (líneas de colores) de cada cisterna para el riego de vías de acarreo.

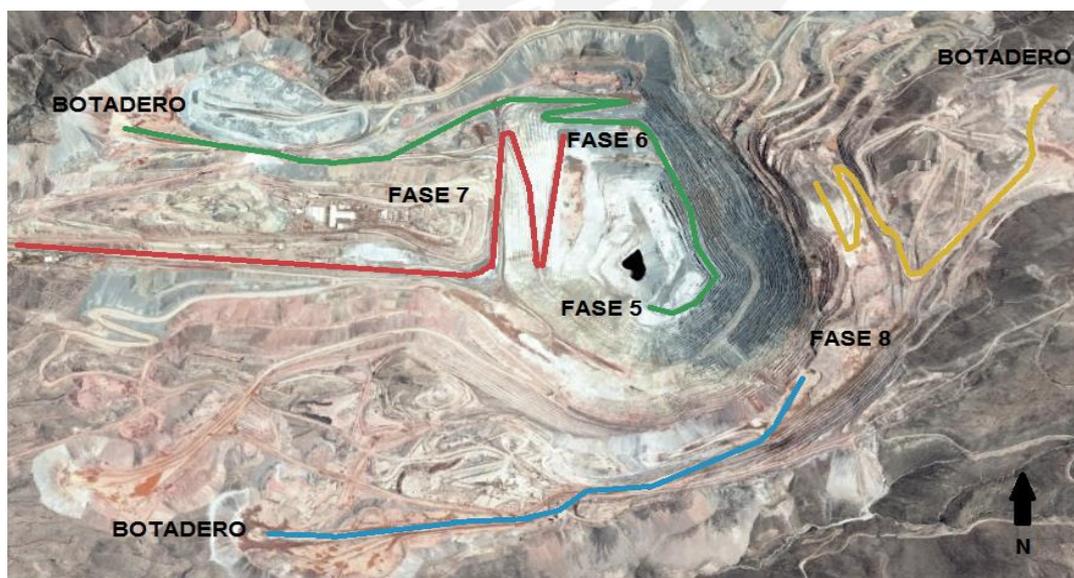


Figura 18. Fases y rutas de las cisternas para el regadío de vías en el tajo

Foto satelital tomada de "Google Earth Pro".

Para el análisis del consumo de agua en el año 2017 y determinar algunos índices operativos de las cisternas se hicieron pruebas de campo. Se escogió la ruta que va del fondo de mina a un botadero (ver línea verde de la Figura 18), que corresponde a una ruta de una cisterna.

Para determinar el consumo de agua, se tomó la lectura de la cantidad de veces que llenó la cisterna durante el día y la noche (ver Anexo C) por el periodo de 30 días como muestra en la Figura 19. Se obtiene un promedio de 6 cargas de día y 7 cargas de noche teniendo un total de 13 cargas diarias. Esto equivale a 390,000 galones o 1'476,310 de litros de agua diarios que hace un caudal de 17 L/s para una cisterna.

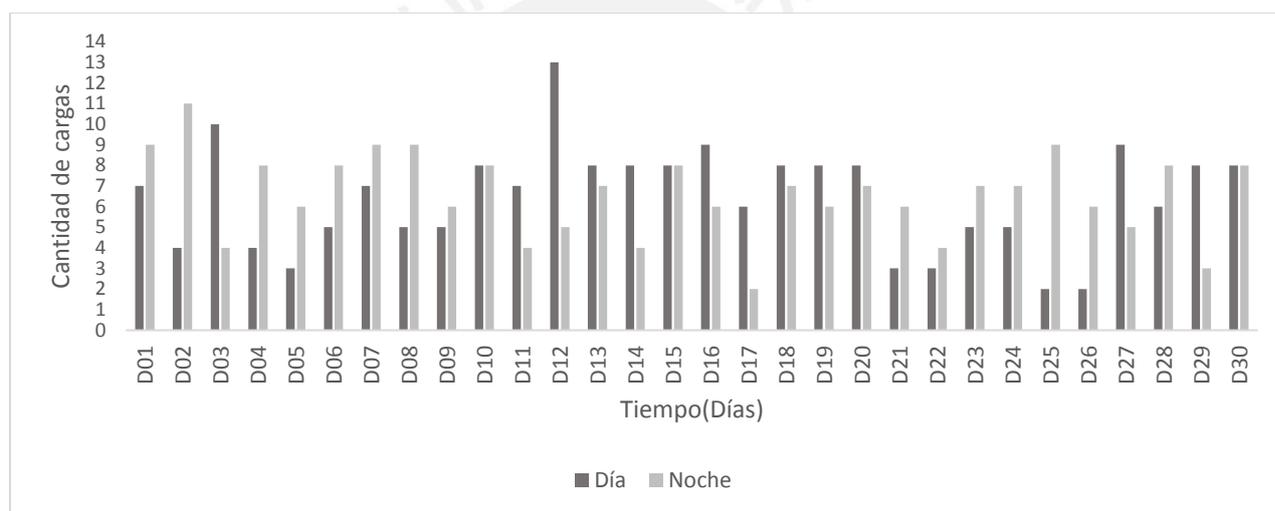


Figura 19. Cantidad de cargas diarias en una cisterna en un mes

Datos tomados de la unidad minera.

Para determinar los índices operacionales de la cisterna se hizo un trabajo de campo que consistió en subir a la cisterna y tomar los siguientes datos: tiempo total recorrido (TT), tiempo efectivo de regadío de vías (TR) y la distancia total recorrida (DT). Primero se llenó el tanque a su máxima capacidad de 30,000 galones o 113,562 litros, luego se inició la marcha anotando el inicio y fin del odómetro para obtener la distancia total recorrida. El tiempo de recorrido y el tiempo de regadío se hicieron manualmente con un cronómetro. Se

tomaron dos viajes los cuales se hicieron de ida y vuelta. En la Tabla 7 se muestra los datos obtenidos de esta evaluación.

Tabla 7

Resultados de tiempos y recorridos de una cisterna

Equipo	Capacidad		Odómetro(Mi)		Distancia		Tiempo (min)	
	Gal	L	Inicial	Final	Mi	Km	Recorrido	Regado
793C	30,000.0	113,562.0	99,610.1	99,617.8	7.7	12.4	35.0	28.2
793C	30,000.0	113,562.0	99,618.2	99,626.3	8.1	13.0	40.0	29.0
Promedio	30,000.0	113,562.0			7.9	12.7	37.5	28.6

Nota. Datos tomados de la unidad minera. Se considera que gal=3.7854 L y km = 0.62137 mi.

Si consideramos constante la velocidad de la cisterna, como es en realidad para tener un riego uniforme, se tiene que el tiempo es directamente proporcional a la distancia por Movimiento Rectilíneo Uniforme (MRU). Entonces el tiempo de regado será proporcional a la distancia de regado teniendo un valor de 9.69 km ó 9,690 m del total recorrido. Además se sabe que el ancho de la vía es de 40 m por lo que su área total o superficie regada es de 387,600 m². Asimismo con el promedio de la Tabla 7 se puede determinar el caudal que es 3,970 L/min. Con la fórmula (3.5) se determinó la lámina de agua en una pasada de 28.6 min y se obtuvo 0.29 mm. Si consideramos todas las pasadas diarias que son 13 cargas, entonces tendremos una lámina de agua de 3.8 mm aproximadamente.

En la prueba de campo también se determinó el tiempo de llenado de la cisterna en los tanques y el traslado al punto donde va a regar es de 14 min teniendo un ciclo de 52 min aproximadamente. El tiempo de mantenimiento (HMT) programado en la cisterna es 72 h/mes ó 2.5 horas por día (ver Anexo D); el tiempo efectivo (HEF) de una cisterna es de 6.2 horas diarias en la cual se considera tiempo efectivo de riego; el tiempo de operación (HOP) es de 11.2 horas diarias en la cual se considera el tiempo de todo el recorrido, tiempo de llenado de la cisterna y el tiempo de traslado a la zona donde se va a regar; el tiempo de

reserva (HRE) es de 10 horas; el tiempo hábil (HH) es la suma del HOP, HRE y HMT que tiene un valor cercano a 24 horas. Con el HH, HOP, HEF y el HRE se puede determinar el Índice de Utilización (UT) y la Disponibilidad Física (DF) con las fórmulas (3.7) y (3.8) respectivamente. El Índice de Utilización calculada es de 53 % y el de Disponibilidad Física es de 89 %. Con estos valores se puede calcular el tiempo efectivo de trabajo multiplicando el tiempo total (24 horas) con la UT y DF teniendo 11.3 horas diarias efectivas del riego con cisterna de gran capacidad.

4.4.2 Análisis del consumo de agua con el sistema de aspersores.

Por tratarse de un tema de factibilidad se consultó 4 empresas (E1, E2, E3 Y E4) especializadas en riego de gran alcance. Para esto se determinó una zona crítica en la emisión de polvo con alto tránsito de camiones de gran capacidad. Esta ruta va del fondo de mina (Fase 05) hasta un botadero (Ver línea verde de la Figura 18). Esta ruta tiene una longitud de 6,600 m y un ancho de 40 m. En la Figura 20 se observa el trazo de la zona a colocar el sistema de aspersores y la ubicación de los tanques (T1 y T2) que abastecerán a los aspersores en el tajo.



Figura 20. Trazo para la implementación de aspersores y ubicación de tanques (T1 y T2)

Foto tomada en la unidad minera.

Para que las empresas especializadas puedan darnos su alternativa técnico-económica para la línea planteada, se entregó información que se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8

Datos requeridos por las empresas especializadas

Requerimiento	Unidad	Dato
Temperatura Máxima	C	26
Temperatura Mínima	C	-2
Toma de agua	Tanque	2
Velocidad de viento	km/h	27
Altura de berma	m	3
Ancho de vía	m	40
Longitud de vía	m	6,600
Línea de Electricidad	kV	7
Calidad del agua	Condición	Buena

Nota. Datos tomados de la unidad minera.

En la Tabla 9 muestra el resumen de la información técnico-económica entregada por las empresas especializadas y que se evaluó para nuestro trabajo (Ver Anexo E).

Tabla 9

Datos técnicos proporcionados por cada empresa especializada

Ítem	Unidad	E1	E2	E3	E4
País		Chile	Perú	Australia	India
Marca aspersor		Komet	Sime	Propia	Propia
Alcance del aspersor	m	40	40	45	40
Presión del aspersor	bar	4.2	6	6	5
Espacio entre aspersor	m	55	72	50	88
Caudal	L/s	10	9	12.5	10
Ángulo de elevación	grados	Regulable	23	Regulable	Regulable
Cantidad de aspersores	unidades	120	92	132	75

Nota. Datos tomados de las propuestas de las empresas especializadas. El ángulo de elevación se toma desde el nivel de la berma por lo que todos los aspersores estarán direccionados sobre el camión de acarreo.

Para determinar el tiempo de aplicación y frecuencia con los aspersores para el control de polvo, se hizo una prueba piloto con un análisis cualitativo (observación). Este piloto

consistió en regar con aspersores de menor alcance un área total de 2,670 m². En la Figura 21 se puede observar el diseño piloto y además se muestra el riego en campo de la prueba en campo de los dos ramales.

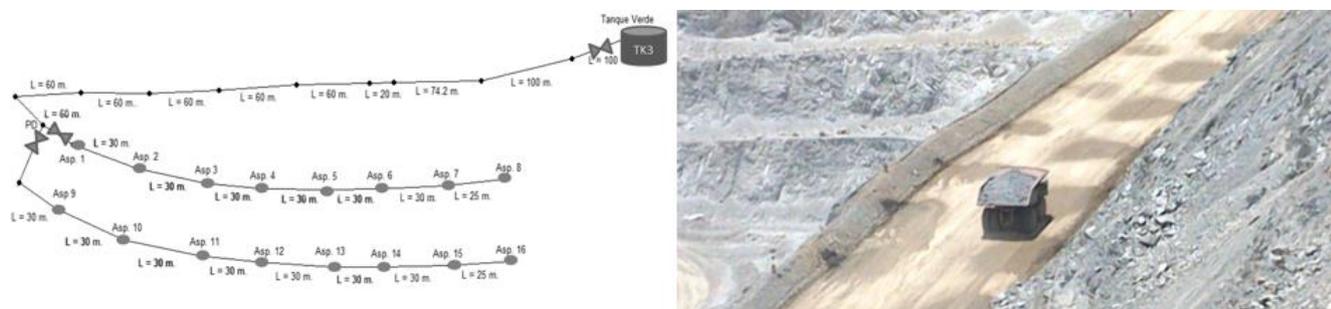


Figura 21. Diseño y prueba piloto de riego con aspersores

Foto tomada en la unidad minera .

El resumen de los resultados del ciclo de riego, tiempo de aplicación de riego por aspersor y volumen de agua aplicado se muestran en la Tabla 10 (Ver Anexo F). Además se calcula el caudal (Q) y la lámina de riego con la fórmula (3.5).

Tabla 10

Resumen de los datos obtenidos de la prueba piloto de aspersores

Área(m2)	Ciclo(min)	Volumen(L)	Riego(min)	Caudal(L/min)	Lámina(mm)
2,669	41	1,601	2	800.5	0.60

Datos tomados de la Unidad Minera

Cabe resaltar que se está tomando referencia a la clasificación de nivel de polvo por experiencia referido al Thompsom et al (2007) (Ver Anexo G). Se está considerando el grado uno que tiene menor a 2.5 mg/m³ de partículas de polvo. Además estos valores están dentro de lo permitido en el D.S.Nº 023-2017-EM en higiene ocupacional que tiene un límite de 2.85 mg/m³ para 12 horas de trabajo.

Según el procedimiento del regadío de vías en la mina, el riego debe ser intercalado, por lo que la alternativa E4 queda descartada debido a que su diseño no intercala el riego, es

decir, siempre riega la misma zona. Esto puede provocar erosión e irregularidades en las zonas donde no se va a regar que puede ocasionar costos negativos en el desgaste de llantas prematuramente.

Los aspersores para el proyecto tendrán un alcance de 40 m que corresponde al ancho de vía de camiones. El área que abarca cada aspersor a regar es un semicírculo de 2,513 m². El tiempo de aplicación va a depender de cada alternativa propuesta para obtener una lámina de riego de 0.6 mm como en la prueba piloto ya que los caudales de cada propuesta son diferentes. En la Tabla 11 se calcula los tiempos de aplicación de cada aspersor para tener una lámina de 0.6 mm aplicando la formula (3.5).

Tabla 11

Tiempos de aplicación de un aspersor en las alternativas E1, E2 y E3

Ítem	Unidad	E1	E2	E3
Caudal aspersor	L/s	10	9	13
	L/min	600	546	750
Lámina de agua	mm	0.6	0.6	0.6
Área (un sector)	m ²	2,513	2,513	2,513
Tiempo de aplicación (un sector)	min	2.5	2.8	2.0

Datos tomados de la unidad minera.

Para conocer la cantidad de veces que se va regar durante el día se toma como referencia las horas efectivas de riego de la cisterna, 11.3 horas ó 678 min, y el ciclo de riego de los aspersores es 41 mm. Para tener un funcionamiento equivalente en horas efectivas de la cisterna, el sistema de aspersores debe regar 16 veces diariamente, este se obtuvo de dividir los minutos efectivos de riego de la cisterna entre el ciclo que toma el riego con los aspersores.

4.5 Comparación de Resultados

Para poder comparar resultados nos basaremos en el caudal mensual del regadío con la cisterna en la vía que se escogió para el análisis que es de 17 L/s. El consumo de agua del sistema de aspersores dependerá de la cantidad de veces que se riegue por día que tiene que

ser mayor o igual a 16 veces. En la Tabla 12 se muestra el detalle del consumo de agua en litros y caudal diario por la aplicación de cada alternativa si se riega 16 veces diariamente.

Tabla 12

Consumo de agua para alternativas E1, E2 y E3

Ítem	Unidad	E1	E2	E3
Caudal aspensor	L/min	600	546	750
	L/s	10	9	13
Tiempo de un sector con aspensor	Min	2.5	2.8	2.0
Tiempo diario con aspensor	Min	40	44	32
Aspersores en total	Unidades	120	92	132
Aspersores regando	Unidades	60	46	66
Consumo de agua con aspersores	L	1'447,488	1'109,741	1'592,237
Consumo de agua con cisterna	L	1'476,310	1'476,310	1'476,310
Caudal con aspersores	L/s	16.8	12.8	18.4
Caudal con cisterna	L/s	17.1	17.1	17.1
Variación		-2 %	-33 %	7 %

Datos tomados de la unidad minera. Se considera para 16 riegos con aspersores diarias equivalente a 13 riegos diarios con la cisterna.

En la Figura 22 se puede observar la alternativa E3 según su diseño y propuesta no cumple con el objetivo principal de ahorro de agua, por el contrario hay un gasto mayor en 7 % respecto al riego con la cisterna. En el caso de la alternativa E1 existe un ahorro mínimo de apenas 2 %. En la alternativa E2 existe un ahorro considerable del 37 % respecto al riego con la cisterna. Cabe resaltar que en este caso se comparan el sistema de aspersores y la cisterna.

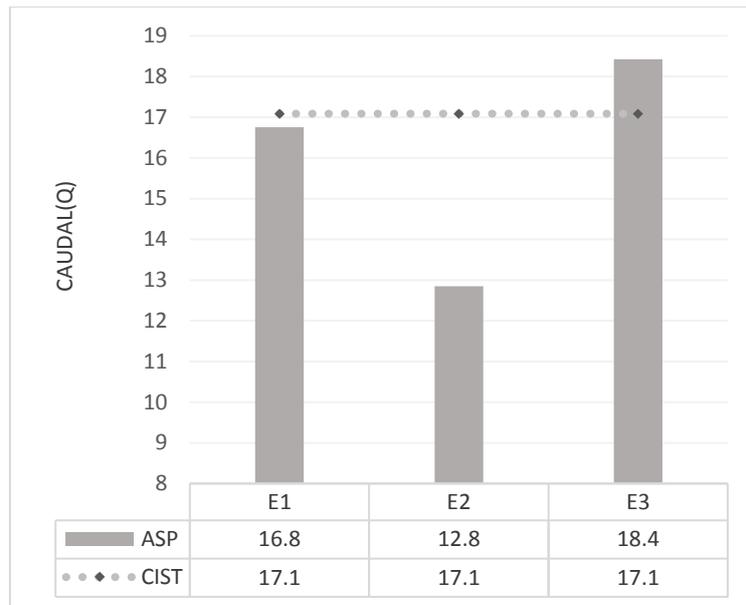


Figura 22. Comparación de riego con aspersores y cisterna

Datos tomados de la unidad minera. Se considera para 16 riegos con aspersores diarias equivalente a 13 riegos diarios con la cisterna.

Si se riega una mayor cantidad mayor a 16 veces, entonces se estará controlando mejor la emisión de polvo en el tajo respecto a la cisterna. En la Figura 23 se puede observar el comportamiento del riego con aspersores según la cantidad de veces por día.

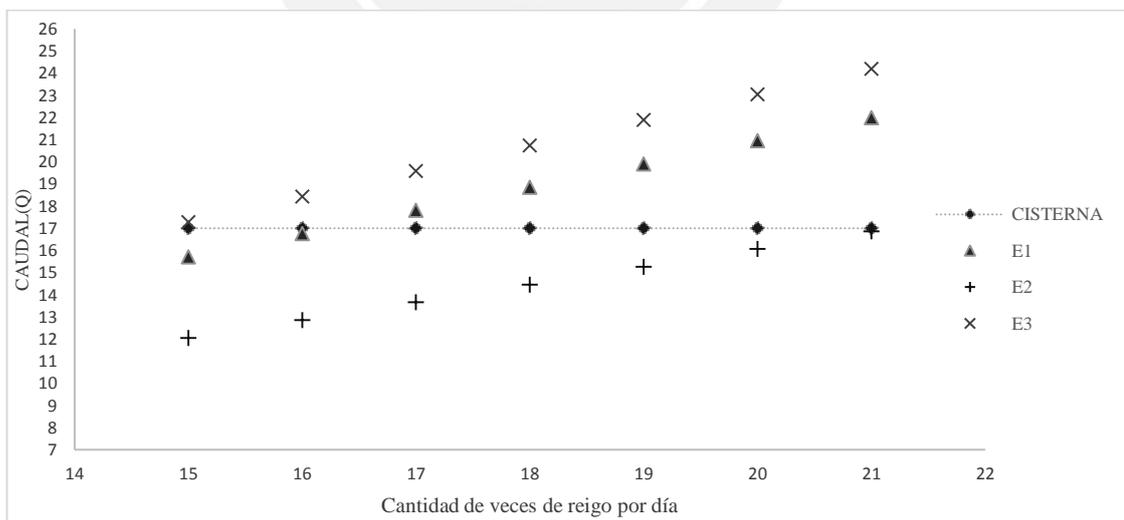


Figura 23. Consumo de agua de los aspersores según la cantidad de veces de riego por día

Datos tomados de la unidad minera.

El sistema de aspersores correspondiente a la alternativa E1 puede regar hasta 16 veces por día para tener un consumo igual al sistema de cisterna. La alternativa E2 puede regar hasta 21 veces por día controlando mejor la emisión de polvo. El sistema E2 posee el mejor performance a los requerimientos de ahorro de agua con mejor control de polvo en las vías de acarreo. Para los cálculos de análisis de sensibilidad se utilizará los costos de inversión (CAPEX) y costos de operación (OPEX) de la empresa E2.



Capítulo 5 Análisis Económico

5.1 Costos de Inversión (CAPEX)

5.1.1 Caso base: cisternas de gran capacidad.

De acuerdo al Área de Planeamiento, el costo de una cisterna de 30,000 galones de capacidad modelo Caterpillar 785 C, tiene un valor de 2'200,000 USD puesto en mina. Estos costos incluyen impuestos, costos de traslado y ensamble en mina. Para el análisis de sensibilidad se considera reemplazar la compra de una cisterna por un sistema de aspersores para no tener CAPEX adicional para el año de inversión de la implementación de sistema de aspersores. Según el cronograma del CAPEX tocaba reemplazar una cisterna en el año 2020 (Ver Anexo H). En la Tabla 13 se presenta el cronograma de inicio y fin de las cisternas según su tiempo de operación. El reemplazo de cada cisterna de gran capacidad es de 15 años.

Tabla 13

Resumen del reemplazo de cisternas de gran capacidad

Marca	Nombre	Ingreso	Duración		Reemplazo	Horas Diciembre 2016
			Años	Horas		
Komatsu 830E	TA64	1995	15	100,000	2010	128,837
Caterpillar 785	TA97	2009	15	100,000	2024	33,684
Caterpillar 785	TA98	2011	15	100,000	2026	24,661
Caterpillar 785	TA99	2014	15	100,000	2029	9,010

Datos tomados de la unidad minera.

5.1.2 Caso de estudio: sistema de aspersores.

Para el caso de la inversión del sistema de aspersores se considera la alternativa E2 cuyo consumo de agua es el menor. Los costos se concentran en obras civiles, obras eléctricas, una estación de bombeo, línea de impulsión, árbol de descarga, sistema de aspersión y servicio de instalación (Ver Anexo I). En la Tabla 14 se hace un resumen todo el CAPEX para la implementación del sistema de aspersores.

Tabla 14

Resumen de CAPEX del sistema de aspersores

Descripción	Precio (USD)
Obras civiles	15,700
Estación de Bombeo	39,916
Línea de Impulsión	289,133
Árbol de Descarga	31,385
Sistema de Riego por Aspersión	169,385
Servicio de Instalación	61,800
COSTO DIRECTO	607,320
Gastos Generales (8.5 %)	51,622
Utilidades (6 %)	36,439
SUB TOTAL	695,381
IGV 18 %	125,169
TOTAL DEL PRESUPUESTO	820,550

Datos tomados de la empresa.

El CAPEX considerado para el sistema de aspersores es de 820,550 USD. También se considera en el CAPEX cisternas para regar los pisos de pala ya que el sistema de aspersores no puede regar esta área. El CAPEX para esta cisterna es de 150,000 USD con una capacidad de 30,000 L.

5.2 Costos de Operación (OPEX)

5.2.1 Caso base: cisternas de gran capacidad.

Para el caso de la cisterna los costos se tomaron de la información de costos de Dispatch de los años 2015 y 2016. Los costos de operación en el caso de las cisternas se consideran repuestos, mantenimiento, llantas y combustible (Ver Anexo J). En la Tabla 15 se muestra el detalle del OPEX de una cisterna de gran capacidad.

Tabla 15

Resumen de OPEX de una cisterna de gran capacidad

Descripción	Costo (USD)
Repuestos	321,767
Mantenimiento	132,508
Llantas	74,204
Combustible	296,303
Otros (pagos, etc.)	85,890
Total anual	910,671

Datos tomados de la unidad minera.

En la Figura 24 se puede observar que el mayor costo corresponde a repuestos con 35 %, no obstante los costos sumados de combustible y llantas que son propios de la cisterna suman 41 %. No existirán con la implementación del sistema de aspersores estos costos.

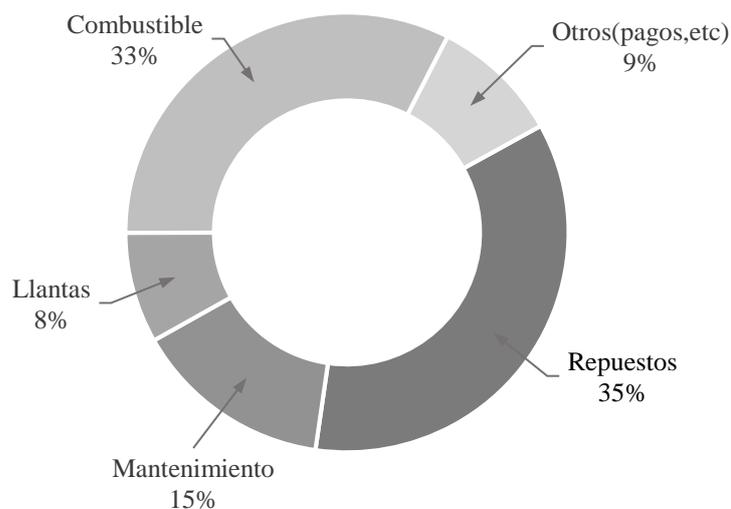


Figura 24. OPEX para la cisterna de regadío

Datos tomados de la unidad minera.

5.2.2 Caso de estudio: sistema de aspersores

Para el caso de los aspersores como es una evaluación de factibilidad se hizo un *benchmarking* con referencia al OPEX de las empresas especializadas donde ya se está

aplicando el riego por aspersores en vías de acarreo según la empresa especializada E2. En la Tabla 16 muestra la propuesta del OPEX de cada empresa especializada.

Tabla 16

Resumen de OPEX del sistema de aspersores

Empresa	OPEX
E1	10 % de CAPEX
E2	12 % de CAPEX
E3	15 % de CAPEX

Datos tomados de las empresas especializadas E1, E2 y E3.

Se puede observar en la Tabla 16 que los valores no varían mucho entre las empresas. Para el análisis de sensibilidad se tomará la alternativa E2. Estos costos de operación consideran el mantenimiento, energía utilizada para la operación y repuestos para los aspersores principalmente. El tiempo de vida de cada aspersor es de 6 años aproximadamente, según el proveedor.

5.3 Análisis de Sensibilidad

El análisis de sensibilidad se hará con los costos de inversión (CAPEX) y costos de operación (OPEX) para 15 años tanto para el caso de uso de cisterna como la implementación del sistema de aspersores. Para el caso de análisis de la cisterna, en el CAPEX se considera el reemplazo de una cisterna en el año 2020 y para el OPEX serán considerados los datos estimados en Dispatch mencionados en la Tabla 15. En la Figura 25 se muestra el cronograma de costos en los 15 años para el funcionamiento de las cisternas. Para el caso del sistema de aspersores, en el CAPEX se considera todo el sistema de aspersores y una cisterna pequeña para el regadío de pisos de pala y para el OPEX se considera el 12 % CAPEX como lo menciona la empresa E2, además se considera un 40 % del CAPEX de 150,000 USD para la cisterna pequeña. En la Figura 26 se muestra el cronograma de costos en los 15 años para

el funcionamiento del sistema de los aspersores. Cabe mencionar que se simula la implementación del sistema de aspersores desde el año 2018 para el análisis de sensibilidad.



		Caso base :Cisterna de gran capacidad															
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
		2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
Cisterna	CAPEX	CG															
	OPEX	CG															

LEYENDA	
CG	Cisterna grande

Figura 25. Costos en 15 años para el funcionamiento de una cisterna

Datos tomados de la unidad minera. En el CAPEX se considera el reemplazo de una cisterna en el año 2020. Para el OPEX el mantenimiento es aplicado en todos los años.

		Caso de estudio : Sistema de aspersores															
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
		2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
Aspersores	CAPEX	SA															
		CP															
	OPEX	CG															
		SA															
		CP															

LEYENDA	
SA	Sistema de aspersores
CP	Cisterna pequeña
CG	Cisterna grande

Figura 26. Costos en 15 años para el funcionamiento del sistema de los aspersores

Datos tomados de la unidad minera. En el CAPEX se considera la implementación del sistema de aspersores a partir del año 2018 y renovación cada 6 años. Asimismo se considera la compra de una cisterna pequeña a partir del año 2020 para el piso de palas de cada fase. Para el OPEX del sistema de aspersores se considera a partir del año 2018, para el caso de la cisterna grande se considera hasta el año 2020 y para la cisterna pequeña desde el 2020 en adelante reemplazando a la cisterna grande.

Considerando los costos de operación (CAPEX) y costos de operación (OPEX) en los cronogramas, se puede realizar un diagrama de las inversiones a 15 años. Se considera una tasa de retorno equivalente a la Tasa Mínima Atractiva de Retorno (TMAR). Para la empresa el TMAR de cualquier proyecto es de 15 %. En la Figura 27 se muestra el flujo de las dos alternativas de riego de sistemas de aspersores y cisterna con sus costos (Ver Anexo K). Si sacamos un Valor Presente Neto (VPN) de 15 años para cada alternativa como lo muestra la Tabla 17, se determina que hay un margen de 3'308,785 USD a favor del sistema de aspersores.

Tabla 17

VPN para cada alternativa de regadío de vías en el tajo

Alternativa	Valor Presente Neto (USD)
Cisterna	8,777,717
Aspersores	5,468,932
Margen	3,308,785

Datos tomados de unidad minera.

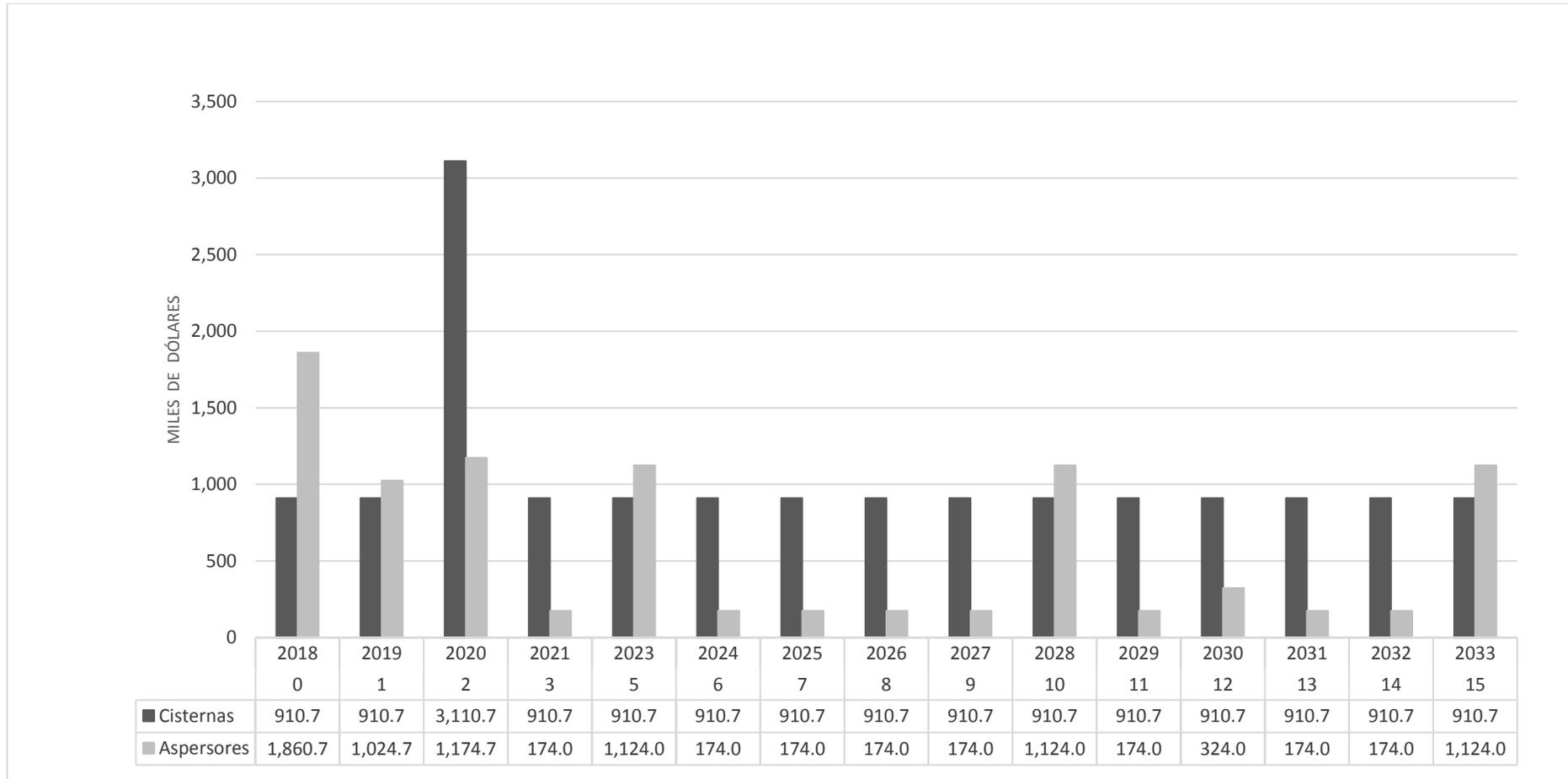


Figura 27. Flujo económico para las dos alternativas para el regadío de vías

Datos tomados de la unidad minera. Se considera un TMAR de 15 %. Ver el Anexo K para el detalle de costos de CAPEX y OPEX para cada alternativa.

Conclusiones

La única alternativa que presenta ahorro de agua es la propuesta E2 hasta en 37 % en las pruebas piloto que realizamos en la mina. Si esto lo llevamos a nivel de toda la mina representaría un ahorro de 22 L/s de 59L/s que se usa en el regadío de vías. El caudal ahorrado casi equivale al uso que se da en los campamentos de la unidad minera que abastece a más de 1,300 familias con 23 L/s. El ahorro va disminuyendo según el aumento de las veces de riego con aspersores teniendo un tope de 21 riegos por día. Con las propuestas E1 y E3 no existe ahorro de agua en el tajo. El ahorro de 22 L/s representa el 8 % del total que se saca de la laguna (L1) si se regara con aspersores. Esto representa el 0.27 m de los 3.5 m del nivel de agua en la laguna L1 que disminuyó en los últimos 4 años.

Para los costos de operación (CAPEX), existe una diferencia de 1'139,329 USD, que representa el 52 % de la cisterna respecto al sistema de aspersores. Para los costos de operación (OPEX), existe una diferencia de 783,390 USD, que representa el 86 % de la cisterna respecto al sistema de aspersores. Para ambos costos se considera solo una cisterna de gran capacidad y, en la otra alternativa, se considera al sistema de aspersores y una cisterna pequeña. No obstante la renovación de cada sistema de regadío de vías es diferente en cada alternativa (Ver Figuras 25 y 26).

Existe un margen de 3'308,785 USD en una evaluación de 15 años en el Valor Presente Neto (VPN) a favor del sistema de aspersores. Esto se debe principalmente al 41 % de los costos de operación (OPEX) que corresponden al combustible y llantas en las cisternas de regadío (Ver Figuras 24 y 27). Estos insumos no se utilizarán en el regadío con el sistema de aspersores.

Actualmente el polvo no es controlado de manera adecuada con 13 ciclos con cisterna o su equivalente de 16 ciclos con el sistema de aspersores. Sin embargo si se riega una cantidad

mayor a 16 veces con el sistema de aspersores, habrá un mejor control de polvo. Si se desea ahorrar agua se debe regar hasta 21 ciclos y si se quiere controlar la emisión del polvo de día y noche, no debe pasar los 28 ciclos de regado con el sistema de aspersores.



Recomendaciones

Se debe considerar poner sensores de polvo en diferentes puntos de la mina como vías de acarreo y regar sólo las partes donde haya la emisión de polvo. Así el riego sería mucho más controlado y se regaría sólo las zonas en la cual se esté trabajando. El sistema analizado sólo considera riegos programados por ciclos.

Se recomienda colocar un sistema de aspersores en las zonas donde existe mucho tránsito de camiones y además en zonas no muy dinámicas en el planeamiento de minado como, por ejemplo, las zonas de desbroce por el movimiento de la línea de impulsión. La unidad minera tiene un potencial 18 km de colocar el sistema de aspersores, 6 km en la zona de alto tránsito de volquetes (Fase 5 y 6) y 11 km en la parte de desbroce de la mina (Fase 8).

El consumo de agua en el procesamiento de mineral en la planta concentradora, representa un 88 % del total agua consumida en los procesos mineros (Ver Figura 17), por lo que buscar alternativas para el ahorro de agua realizando proyectos de innovación en los procesos o, en todo caso, buscar alternativas como el agua de mar en el procesamiento de mineral, sería lo más conveniente.

Bibliografía

- Chan, P. (2009). Fundamentos de Ingeniería Económica. (2da ed.). Juárez, México: Pearson Educación de México, S.A. de C.V.
- Delgado, H. (2008). Apuntes del curso de planificación de minas. Antofagasta: Universidad de Antofagasta.
- Deloitte, (2018). Los 10 principales temas que forjarán la minería en el año venidero. Accedido el 23 de Octubre del 2018 de <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/mx/Documents/energy-resources/2018/Tendencias-en-Mineria-2018.pdf>
- EXSA (2005). Manual práctico de voladura. (4ta ed.) Lima.
- Fernández, R., Oyonarte, N., García, J., Yruela, M. C., Milla, M., Ávila, R. y Gavilán, P. (2010). Manual de riego para Agricultores, Módulo 3 Riego por aspersión. Andalucía, España: Editorial Signatura Ediciones de Andalucía, S.L.
- Iglesias, A. (2018) Concepto de Capex y Opex. Recuperado el 23 de Octubre del 2018 de <http://www.ticbeat.com/empresa-b2b/capex-vs-opex-que-significan-estos-terminos-y-en-cual-deberia-enfocarse-nuestra-empresa/>
- ISEM (2017). Como se relaciona el carguío y transporte con el resto de actividades para la extracción del mineral. Lima: Instituto de Seguridad Minera. Accedido el 23 de Octubre de <http://www.revistaseguridadminera.com/operaciones-mineras/el-carguio-y-transporte-y-su-relacion-con-otras-etapas-de-la-explotacion/>
- Komatsu America Corp (2016, Agosto). Electric Drive Truck 980E-4. Brochure Komatsu, p.13
- MinMinas (2015). Glosario técnico minero. Bogotá: Ministerio de Minas y energía. Accedido el 23 de Octubre de

<https://www.minminas.gov.co/documents/10180/698204/GLOSARIO+MINERO+FINANCIAS+29-05-2015.pdf/cb7c030a-5ddd-4fa9-9ec3-6de512822e96>

Numes, P. (2018). Concepto de OPEX. Recuperado el 23 de Octubre del 2018 de

<http://knoow.net/es/cieeconcom/gestion/opex/>

Salazar, B. (2018) ¿Qué es el CapEX? Recuperado el 23 de Octubre del 2018 de

<https://www.abcfianzas.com/emprendimiento/que-es-el-capex>

Spendolini, M. (1994). Benchmarking Book. Recuperado el 23 de Octubre del 2018 de

<http://www.librosonlinegratis.com/libro/304228/benchmarking-book>

Sullivan, W., Wicks, E. y Lexhoj, J. (2004). Ingeniería económica de Degarmo. (14ava Edición). Neucalpal de Juarez, México: Pearson Educación de México, S.A. de C.V.

Trejo, N. (1996). Benchmarking: una herramienta para el desarrollo sustentable. Sonora, Mexico: Editorial Universidad de Sonora. División de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Industrial.

Thompson, R. y Visser, A. (2007). Selection, performance and economic evaluation of dust palliatives on surface mine haul roads. Pretoria, South Africa: Editorial The Southern African Institute of Mining and Metallurgy.

Tumialán, H. (2003). Compendio de Yacimientos Minerales del Perú. (1ra ed.) Lima: INGEMMET.

Anexos



Anexo A

		L/s					
		L1	P1	P2	P3	E1	E1
PRODUCCIÓN 2015-2016(UM)	ENERO	280	259	421	0	29	21
	FEBRERO	288	251	416	0	79	0
	MARZO	287	187	449	0	55	0
	ABRIL	263	201	414	0	0	44
	MAYO	296	237	442	0	10	9
	JUNIO	287	175	464	0	3	25
	JULIO	294	203	408	0	0	38
	AGOSTO	290	206	405	0	64	0
	SEPTIEMBRE	300	179	418	0	0	29
	OCTUBRE	299	229	428	0	0	26
	NOVIEMBRE	298	180	489	0	0	35
	DICIEMBRE	295	237	435	0	0	15
	290	212	432	0	20	20	

Figura A1. Producción de agua, según su origen, mensual de los años 2015 y 2016

		L/s				
		Mina	Concentradora	Campamentos	Lixiviación	Pérdidas: Evap, etc.
CONSUMO 2015-2016(UM)	ENERO	60	822	25	42	3
	FEBRERO	22	800	19	34	2
	MARZO	31	776	21	37	3
	ABRIL	35	823	23	39	3
	MAYO	42	864	25	41	3
	JUNIO	45	832	26	43	3
	JULIO	31	843	23	43	3
	AGOSTO	32	737	23	42	4
	SEPTIEMBRE	39	819	25	41	4
	OCTUBRE	54	860	24	42	4
	NOVIEMBRE	54	881	25	39	4
	DICIEMBRE	64	852	24	38	4
	42	826	23	40	3	

Figura A2. Consumo de agua mensual de los años 2015 y 2016

		REGADIO DE VIAS(a.f.)	Oficinas(a.f)	Tanque 1	Tanque2	CONSUMO MINA
MINA 2015-2016	ENERO	58	2	0	7	67
	FEBRERO	20	2	0	5	26
	MARZO	30	1	0	20	51
	ABRIL	33	1	1	23	57
	MAYO	41	2	0	20	62
	JUNIO	44	1	8	13	66
	JULIO	28	2	17	12	58
	AGOSTO	28	4	20	11	62
	SETIEMBRE	36	3	19	11	68
	OCTUBRE	52	2	9	9	71
	NOVIEMBRE	51	3	13	9	76
	DICIEMBRE	62	2	4	7	74
	GASTO PROMEDIO(l/s)	40	2	7	12	61

Figura A3. Producción y consumo de agua mensual en mina de los años 2015 y 2016



Anexo B

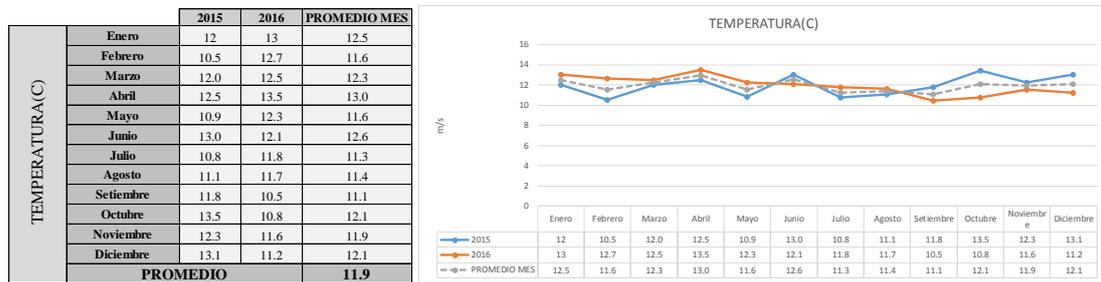


Figura B1. Comportamiento de la temperatura promedio en la mina 2015 y 2016

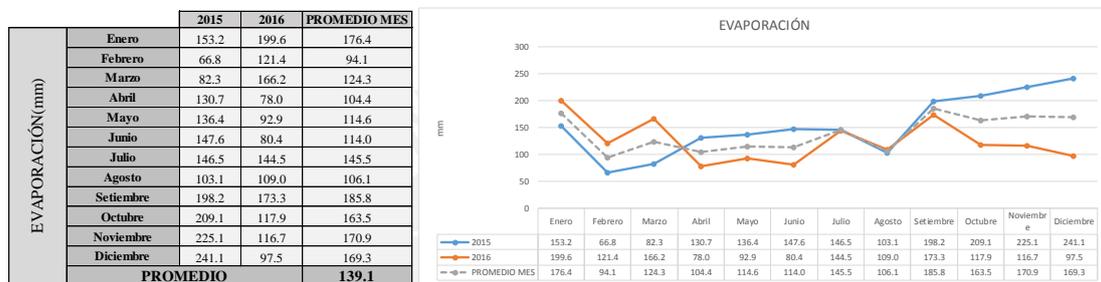


Figura B2. Comportamiento de la evaporación promedio en la mina 2015 y 2016



Figura B3. Comportamiento de la humedad relativa promedio en la mina 2015 y 2016

Anexo C

	TURNO	TK97	TK65	TK99	TK98
9-Sep-13	DIA	4	0	4	7
8-Sep-13	DIA	15	0	0	4
7-Sep-13	DIA	5	0	4	10
6-Sep-13	DIA	5	0	0	4
5-Sep-13	DIA	6	0	0	3
4-Sep-13	DIA	5	0	0	5
3-Sep-13	DIA	0	0	4.5	7
2-Sep-13	DIA	0	0	7	5
1-Sep-13	DIA	0	0	3	5
31-Aug-13	DIA	0	0	4	8
30-Aug-13	DIA	1	0	1	7
29-Aug-13	DIA	1	0	0	13
28-Aug-13	DIA	0	0	4	8
27-Aug-13	DIA	0	0	8	8
26-Aug-13	DIA	0	0	10	8
25-Aug-13	DIA	0	0	10	9
24-Aug-13	DIA	1	0	10	6
23-Aug-13	DIA	5	0	12	8
22-Aug-13	DIA	1	0	8	8
21-Aug-13	DIA	5	0	1	8
20-Aug-13	DIA	0	0	7	3
19-Aug-13	DIA	0	0	6	3
18-Aug-13	DIA	5	0	0	5
17-Aug-13	DIA	2	0	2	5
16-Aug-13	DIA	3	0	1	2
15-Aug-13	DIA	2	0	3	2
14-Aug-13	DIA	0	0	5	9
13-Aug-13	DIA	0	0	7	6
12-Aug-13	DIA	0	0	7	8
11-Aug-13	DIA	4	0	0	8

Figura C1. Cantidad de llenadas en la cisterna en el día en los 30 días evaluados

		TK97	TK65	TK99	TK98
9-Sep-13	NOCHE	0	0	3	9
8-Sep-13	NOCHE	2	0	0	11
7-Sep-13	NOCHE	4	0	1	4
6-Sep-13	NOCHE	4	0	0	8
5-Sep-13	NOCHE	4	0	1	6
4-Sep-13	NOCHE	7	0	0	8
3-Sep-13	NOCHE	6	0	0	9
2-Sep-13	NOCHE	1	0	10	9
1-Sep-13	NOCHE	0	0	7	6
31-Aug-13	NOCHE	0	0	3	8
30-Aug-13	NOCHE	3	0	3	4
29-Aug-13	NOCHE	7	0	0	5
28-Aug-13	NOCHE	1	0	5	7
27-Aug-13	NOCHE	0	0	5	4
26-Aug-13	NOCHE	1	0	3	8
25-Aug-13	NOCHE	0	0	7	6
24-Aug-13	NOCHE	0	0	7	2
23-Aug-13	NOCHE	0	0	4	7
22-Aug-13	NOCHE	0	0	2	6
21-Aug-13	NOCHE	0	0	5	7
20-Aug-13	NOCHE	0	0	3	6
19-Aug-13	NOCHE	0	0	9	4
18-Aug-13	NOCHE	3	0	8	7
17-Aug-13	NOCHE	11	0	0	7
16-Aug-13	NOCHE	0	0	10	9
15-Aug-13	NOCHE	0	0	6	6
14-Aug-13	NOCHE	0	0	5	5
13-Aug-13	NOCHE	0	0	6	8

Figura C2. Cantidad de llenadas en la cisterna en la noche en los 30 días evaluados

Anexo D

EQUIPOS		Total	Malogrado	Comentarios
VOLQ.	830	2		
	930	17	1	104 x 06 hrs - Eval. Equipo por sistema contra incendio
	980	4		
	793	4		
	797	18	1	136 x 10 hrs - PM
	Total	45	2	
PERF.	P&H	3		
	Caterpillar	1		
	Bucyrus	2	2	14 x 12 hrs - Eval. Control solenoide electroválvula propel RH (No llega voltaje), 13 x 08 hrs - PM 600
	DTH1 (Roc L8)	1		
	DTH3 (Sandvik II)	1		
	DX700	1		
	Total	10	2	
EQ. AUX.	Tractor Oruga	10		
	Tractor Rueda	9	1	832 x 08 hrs - PM 1000
	Motoniveladora	5	1	243 x 04 días - accidente
	Cargador Frontal	3	1	991 x 05 hrs - Cambio de uñas
	Tanque de Agua	4	1	98x 03 días - PM
	Excavadora	3		
	Gancho	2		
	Locomotoras	8		
	Hopper C	1		
		Total	45	4

Figura D1. Horas de mantenimiento preventivo programado (PM) mensualmente en el cuadro de equipos según su condición en el plan diario

TIEMPO CRONOLÓGICO(TCR)			
TIEMPO HÁBIL (HH)= Aprox 24 horas			TIEMPO INHÁBIL(HI)
HORAS OPERACIONALES (HOP)=11.2 horas	HORAS DE RESERVA(HRE)=10 horas	HORAS DE MANTENCIÓN (HMT)=2.5 horas	
HORAS OPERACIONALES EFECTIVAS (HEF)=6.2 horas	HORAS DE PÉRDIDAS OPERACIONALES (HPE)=5 horas		

Figura D2. Distribución del tiempo cronológico. Lo de amarillo son los parámetros calculados con la salida a campo en el caso de cisterna. Lo de gris es calculado por diferencia.

Anexo E

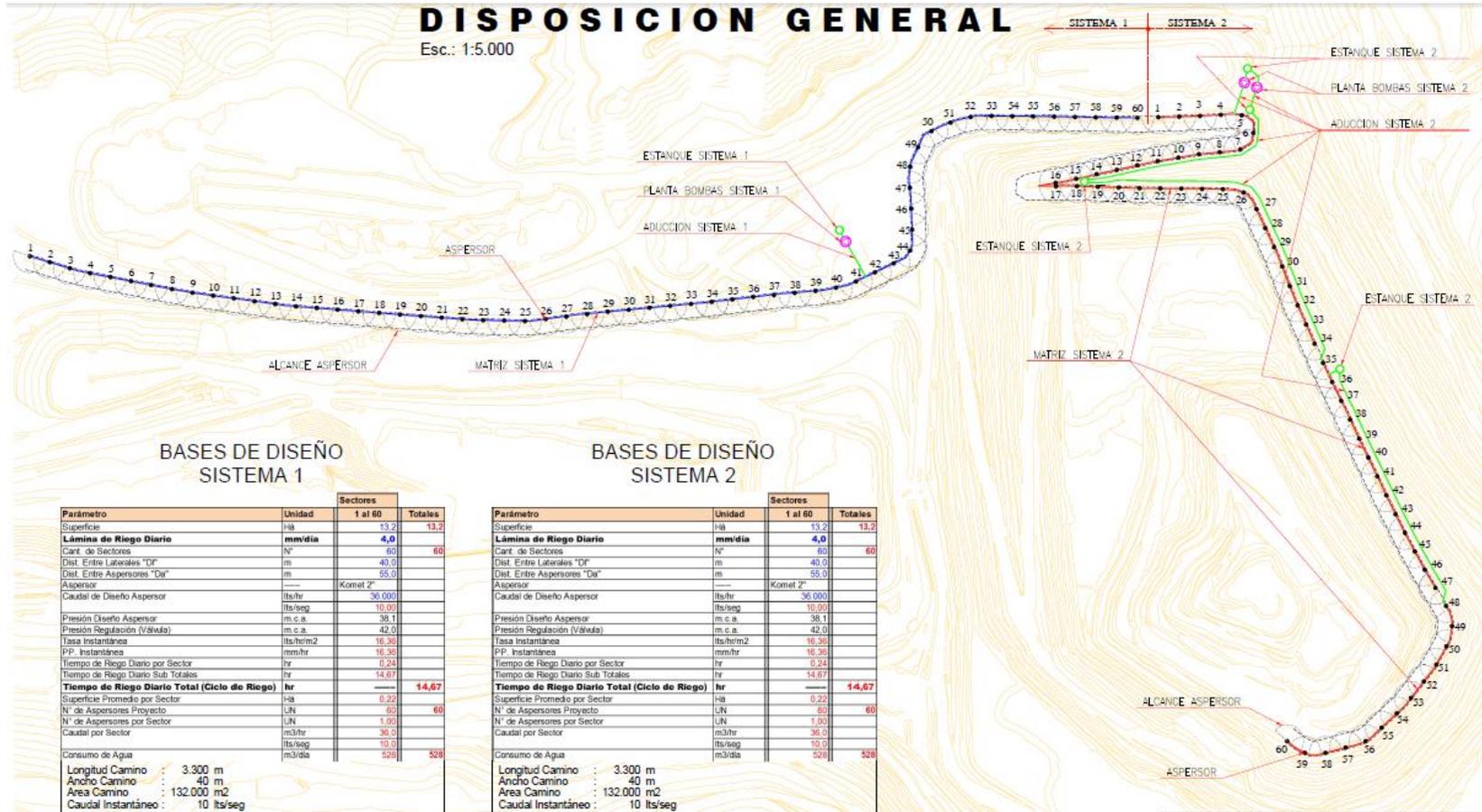


Figura E1. Propuesta técnica de la empresa E1

Sistema de Riego por Aspersión		
Aspersores SIME DUPLEX 2" (R=40m, Q=10lps, P=5Bar)	und.	92
Valvulas Hidraulicas 2" de mando electrico.DOROT	und.	92
Valvulas manuales y accesorios	und.	92
Tee BB 6"x6"x2"	und.	92
Sistema de Control Radio Frecuencia(para todo el sistema)TALGIL	gbl	1
Paneles Solares TALGIL	gbl	1

Figura E2. Propuesta técnica de la empresa E2

The sprinkler requirements are as follows:

- quality brand mining grade sprinklers
- 47m throw
- 360 degree rotation time of < 80 seconds

Using the proposed sprinklers we would achieve the following:

- 750 litres per minute @ 6 bar
- 3 sprinklers operate simultaneously
- 80 second operation per sprinkler per hour
- each sprinkler capable of delivering 0.51 litres per m² per application

Valves were specified as follows:

- quality ductile iron epoxy coated diaphragm valves
- 12v / 24v DC low power actuation
- Adjustable pressure reduction
- Standard control component filtering
- Low pressure loss <0.25 bar
- Long diaphragm life when working in pressure reduction

Control Items	Count
PLC, programing & general control items	1
Control box at each valve / sprinkler	132
Vehicle disabling at each valve (per vehicle)	30
Cable – plugged for easy installation	1070m

Figura E3. Propuesta técnica de la empresa E3

Sr.	Description
1	Electric motor driven Horizontal centrifugal Multi Stage pump set rated 132 m ³ /hr at 160 MWC complete with all accessories, coupled with 110 KW x 4 Pole make Drive Motor, Base Frame, Flexible coupling, Coupling Guard, Companion Flanges with Gaskets, Hardware & Foundation bolts - 2 Sets (1Working+1 Standby)
2	Required Manual Operated Valve - 1 Lot
3	Sprinkler Head with Solenoid Valve & Globe Valve. Sprinkler Discharge-37 Cum/Hr @ 5.0 Bar each - 75 Sets.
4	MCC for Pumps & PLC for Sprinkling Operation with Cables & Electricals - 1 Lot
5	Required Pipes, Pipe Fittings & Valves - 1 Lot
6	Required Level & Pressure measuring Instruments
7	Duplex Strainer at Pump Inlet - 1 No.

Figura E4. Propuesta técnica de la empresa E4

Anexo F

Frecuencia	Tiempo (Duración)		Volumen (L)	
	Ramal 1	Ramal 2	Ramal 1	Ramal 2
00:25		00:02		1270
	00:02		1482	
00:25		00:02		1270
	00:02		1482	
00:27		00:03		1905
	00:05		3705	
00:21		00:03		1905
	00:03		2223	
00:23		00:03		1905
	00:03		2223	
00:23		00:03		1905
	00:03		2223	
00:41	00:02		862	
		00:02		739
00:41	00:02		862	
		00:02		739

Figura F1. Evaluación en aspersores pequeños el control de polvo y ciclo de riego. Se consideró lo resaltado en amarillo ya que controlaba el polvo y su lamina de riego era la menor

Anexo G

Classification of the degree of haul road dust defect		
Typical dust defect photograph showing haul truck travelling past monitor point at 40 km/h descriptions	Dust defect degree and associated Hund peak dust levels (approx. mg/m ³ for 10 µm dust per haul truck pass)	Qualitative dust defect degree descriptions
	Degree 1: <3,50	Minimal dustiness
	Degree 2: 3,51 to 23,50	Dust just visible behind vehicle
	Degree 3: 23,51 to 45,00	Dust visible, no oncoming vehicle driver discomfort, good visibility.
	Degree 4: 45,01 to 57,50	Notable amount of dust, windows closed in oncoming vehicle, visibility just acceptable, overtaking hazardous.
	Degree 5: >57,51	Significant amount of dust, window closed in oncoming vehicle, visibility poor and hazardous, overtaking not possible.

Figura G1. Tabla visual para determinar control de polvo en vías de acarreo

Anexo H

Equipo	Marca	#	Inicio	Tiempo de Vida		Fin	Reemplazo	Horas al	Horómetro al	Horómetro al		Condición de Ingreso
	Modelo	Ident.	Oper.	Años	Horas	Ope.	Horas	31 Dic 2012	31 Dic. 2015	31 Dic. 2016	2017	
CISTERNAS	Komatsu 830E	TA64	1995	15	100,000	2010	115,000	116,425	128,837	133,961	22	CAPEX 2018
	Caterpillar 785	TA97	2009	15	100,000	2024	100,000		33,684	38,127	8	Proy. Tía María
	Caterpillar 785	TA98	2011	15	100,000	2026	100,000		24,661	30,552	6	LCV
	Caterpillar 785D	TA99	2014	15	100,000	2029	100,000		9,010	15,723	3	Adición Proy. 30-42

Figura H1. Cronograma de reemplazo de cisterna de regadío



Anexo I

PROPUESTA ECONOMICA

C1 - Estructura de Costos Referencial

PROYECTO "CONSTRUCCION DEL SISTEMA DE RIEGO DE ASPERSION POR BOMBEO						
Lugar	MOQUEGUA					Apr-17
ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	P. PARCIAL	P. TOTAL
1.0	Obras Civiles					15,700.00
1.1	Concreto	m3	10	1350.00	13500.00	
1.2	Encofrado y desonfrado de Base para arbol de bombeo (Enmallado F°1")	Glob	1	2200	2200.00	
2.0	Obras Electricas					0.00
2.1	NO ESTA CONSIDERADO (VER CONDICIONES DE CAMPO)					
3.0	Estacion de Bombeo					39,916.31
3.1	Bomba-Motor Estacionario Q 40 l/s, ADT 50m,60hp, Multietapa	und.	1		0.00	
3.2	Tablero de control arranque electronico 60hp (variador de frecuencia)	und.	1	14,500.00	14500.00	
3.3	Cerco metalico de proteccion Malla electrosodada de 2" y techo 2 aguas	Glob	1	25,416.31	25416.31	
3.3-1	LIMPIEZA DE TERRENO MANUAL	m2	150		39.14	
3.3-2	EXCAVACION CON MAQUINARIA PARA CIMIENTO CORRIDO	m3	29.76		57.65	
3.3-3	CONCRETO 1:10 +30% P.G. PARA CIMIENTOS CORRIDOS	m3	29.76		139.949	
3.3-4	CONCRETO 1:8+25% PM PARA SOBRECIMENTOS	m3	2.79		249.105	
3.3-5	FALSO PISO DE 4" DE CONCRETO 1:10	m2	150		26.46	
3.3-6	MURO SOGA LADRILLO CARAVISTA (hasta 50 cm del piso)	m2	31		83.36	
3.3-7	CERCO PERIMETRICO Y ARMADO DEL TECHO	kg	65		38.14	
3.3-8	SUMINISTRO Y COLOCADO DE PLANCHA DE ETERNIT DE 1.10 x 1.83 x 1.8 mm.	m2	150		26.25	
4.0	Linea de Impulsion					289,133.08
4.1	Tubería HDPE DN6" SDR11 NORMA ASTM F714	m.	8150	28.50	232275.00	
4.3	Valvulas de Aire 2" Doble Efecto Bridada	und.	15	1,250.00	18750.00	
4.4	Bridas 6" (Backing Ring Ductil)	und.	182	46.63	8486.66	
4.5	Stub-end 6" SDR 11 (Flange Adapter HDPE)	und.	182	74.65	13586.30	
4.6	Pernos Grado 8	und.	1456	3.52	5125.12	
4.7	Empaquetaduras	und.	182	5.00	910.00	
4.8	Accesorios Varios	Glob	1	10,000.00	10000.00	
5.0	Arbol de descarga					31,385.00
5.1	Tubería Acero SCH 40 ,6" Pulg según plano	m.	30	325.00	9750.00	
5.2	Codos de 45° DN6"	und.	2	220.00	440.00	
5.3	Codos de 90° DN6"	und.	2	200.00	400.00	
5.4	Manifol 2 ingresos DN6" SCH 40 (DESCARGA DE BOMBA 6")	und.	1	4,435.00	4435.00	
5.5	Valvulas de Aire 2" Doble Efecto Bridada	und.	2	1,250.00	2500.00	
5.6	Valvulas de Compuerta 6" tipo Masa BB	und.	3	1,285.00	3855.00	
5.7	Valvulas check 6" swing	und.	1	1,185.00	1185.00	
5.8	Junta de dilatacion 6"	und.	2	300.00	600.00	
5.9	Valvula de Alivio 4" BERMAD	und.	1	1,585.00	1585.00	
5.10	Medidor de Flujo Electromagnetico 6" Macrometer USA	und.	1	3,235.00	3235.00	
5.11	Accesorios Varios (Pernos, Bridas, etc)	Glob	1	3,400.00	3400.00	
6.0	Sistema de Riego por Aspersion					169,385.40
6.1	Aspersores SIME DUPLEX 2"(R-40m, Q=10lps, P=5Bar)	und.	92	330.00	30360.00	
6.2	Valvulas Hidraulicas 2" de mando electrico.DOROT	und.	92	400.00	36800.00	
6.3	Valvulas manuales y accesorios	und.	92	239.45	22029.40	
6.4	Tee BB 6"x6"x2"	und.	92	250.50	23046.00	
6.5	Sistema de Control Radio Frecuencia(para todo el sistema)TALGIL	gbl	1	48,500.00	48500.00	
6.6	Paneles Solares TALGIL	gbl	1	8,650.00	8650.00	
7.0	Servicio de Instalacion					61,800.00
7.1	Instalacion de linea de impulsion	Glob	1	40,000.00	40000.00	
7.2	Instalacion de arbol de bombeo	Glob	1	6,800.00	6800.00	
7.3	Instalacion de sistema de aspersion y control	Glob	1	15,000.00	15000.00	
COSTO DIRECTO (\$)						607,319.79

COSTO DIRECTO	\$607,319.79
GASTOS GENERALES (8.5%)	\$51,622.18
UTILIDADES (6%)	\$36,439.19
SUB TOTAL	\$695,381.16
IGV 18%	\$125,168.61
TOTAL DEL PRESUPUESTO (\$) INCLUIDO 18% IGV	\$820,549.77

IMPORTE TOTAL DE PROPUESTA ECONOMICA DETALLADA CON LA ESTRUCTURA DE COSTOS "OCHOCIENTOS VEINTE MIL QUINIENTOS CUARENTA Y NUEVE CON 77/100" DOLARES AMERICANOS INCLUIDOS LOS IMPUESTOS DE LEY

Figura II. CAPEX completo del sistema de aspersores.

Anexo J

REPUESTOS			
ITEMS	2105	2016	PROMEDIO
TORNILLOS ANCLAJE	5		68
HERRAMIENTAS DE MANO	68		68
REF EQUIPO LIGERO		94	94
MAT CONSUM MISCEL	456	196	326
PLACAS Y PERF ESTRUC	581	190	386
MAT ARQ ING CON FERR	334	495	415
REF EQUIPO DE TALLER	512		512
SOLD FUND Y ACCES	418	1332	875
CLAS MOLIENDA Y TRIT	1063		1063
GASES IND EXPL ARTIF	1275	1213	1244
CADENAS CABLES FERRE	2758	408	1583
TUBER Y VALV EN GRAL	2517	701	1609
BOMBAS Y REF EN GRAL	36	4211	2124
MATERIAL ELECTRICO	2820	2864	2842
EMPAQ PEGA POTO HULE	3545	7228	5387
PROD QUIM ACC LAB	7098		7098
MATERIALES SEGURIDAD	8305		8305
CHUM RETENES Y ROD	9910	14144	12027
FILTROS EN GENERAL	41167	32453	36810
COMPRAS DIRECTAS	67169	149726	108448
ACEITES Y GRASAS	145425	176706	161066
REF PARA MAQ PESADA	311041	407603	359327
REF EQ FUERA UNIDAD	521457	629461	575459
PLACAS DE ACERO A 36			
ADIT COMB Y LUBRI			

MANTENIMIENTO			
ITEMS	2015	2016	PROMEDIO
TE MANTTO MECANICO	54	38	46
MO MATTO MECANICO	25314	20333	22,823
MO CONTRATADOS	35807	35875	35,841
SERV CONTRAT OTROS	85837	8491	45,464
SERV CONTRATISTA REP	158970	72452	118,211
MO OPERACION	429494	185796	307,645

OTROS(PAGOS,ETC)			
ITEMS	2105	2016	PROMEDIO
TE HORA ADICIONAL	584	266	425
DESC SEMANAL TRABAJ	1685	3772	2728
SEPTIMO DIA	3895	4860	4378
DIAS DE FIESTA TRABA	22450	19431	20941
TURNOS CONTINUOS	61642	46140	53891
BENEFICIOS Y PRESTAC	218161	304234	261197

LLANTAS			
ITEMS	2105	2016	PROMEDIO
LLANTAS EQ PESADO	166535	427075	296815

COMBUSTIBLE			
ITEMS	2105	2016	PROMEDIO
DIESEL	1056990	1313432	1185211

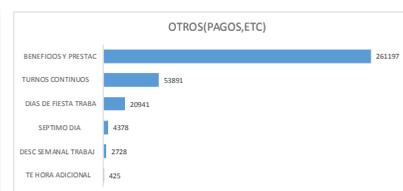


Figura J1. OPEX anual de todas las cisternas de regadío. Para la evaluación se dividió entre la cantidad total de cisternas que son cuatro.

Anexo K

		15 AÑOS															
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
		2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
CISTERNA	OPEX	910,671.03	910,671.03	910,671.03	910,671.03	910,671.03	910,671.03	910,671.03	910,671.03	910,671.03	910,671.03	910,671.03	910,671.03	910,671.03	910,671.03	910,671.03	910,671.03
	CAPEX	0.00	0.00	2,200,000.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	TOTAL	910,671.03	910,671.03	3,110,671.03	910,671.03	910,671.03	910,671.03	910,671.03	910,671.03	910,671.03	910,671.03	910,671.03	910,671.03	910,671.03	910,671.03	910,671.03	910,671.03
ASPERSORES	OPEX	910,671.03	1,024,671.03	1,024,671.03	174,000.00	174,000.00	174,000.00	174,000.00	174,000.00	174,000.00	174,000.00	174,000.00	174,000.00	174,000.00	174,000.00	174,000.00	174,000.00
	CAPEX	950,000.00	0.00	150,000.00	0.00	0.00	950,000.00	0.00	0.00	0.00	0.00	950,000.00	0.00	150,000.00	0.00	0.00	950,000.00
	TOTAL	1,860,671.03	1,024,671.03	1,174,671.03	174,000.00	174,000.00	1,124,000.00	174,000.00	174,000.00	174,000.00	174,000.00	1,124,000.00	174,000.00	324,000.00	174,000.00	174,000.00	1,124,000.00

Figura K1. Costos totales en dólares para determinar el VPN de la cisterna y aspersores

