



Escuela de Postgrado GERENS

Maestría en Gestión Minera

MGM - Promoción 2017

Estrategias para minimizar el cash cost en una operación minera subterránea

Trabajo de investigación presentado de acuerdo a los reglamentos de la Escuela de Postgrado GERENS para obtener el grado de Maestro en Gestión Minera, por:

Edwin Escobar Vera

Roger Oswaldo Ccahuana Figueroa

Edgar Raúl Villodas Carbajal

Freddy Jhonson Arpasi Flores

Asesora: Mg. Gaby Palacios V.

Lima, diciembre del 2020.

© E. Escobar; R. Ccahuana; E. Villodas; F. Arpasi,

2020

Todos los derechos reservados.

A mis padres, hermanos con mucho cariño y amor por el apoyo incondicional día a día.

Edwin Escobar Vera

A la “Generación del Bicentenario”, por su lucha por un Perú libre de corrupción.

Roger Oswaldo Ccahuana Figueroa

A mis padres, hermanos, esposa e hijos por el apoyo de siempre.

Edgar Raúl Villodas Carbajal

Con inmenso cariño y eterna gratitud a mis padres.

Freddy Jhonson Arpasi Flores

AGRADECIMIENTOS

A la profesora Mg. Gaby Palacios, por su orientación y dedicación para que este trabajo cumpla con los objetivos trazados.

A los profesores de la Escuela de Postgrado GERENS, principalmente a la profesora Ana Rosa Adaniya por sus observaciones teóricas que nos sirvieron de mucho para concluir nuestro trabajo de investigación.

A todas aquellas personas que indirectamente nos ayudaron a culminar este trabajo de investigación y que muchas veces constituyen un invalorable apoyo.

Resumen Ejecutivo

El presente estudio analiza las estrategias para minimizar el cash cost en una operación minera subterránea, tomando como unidad de análisis la unidad minera Morococha ubicada en el distrito de Morococha, provincia de Yauli y departamento de Junín – Perú, perteneciente a la empresa Pan American Silver Corp. por los periodos 2012 al 2017, la cual tiene como producto principal plata y como subproductos plomo, zinc, cobre y oro.

Se analizaron los costos de producción del área de operaciones mina que representa el 55% de la estructura general de costos de la unidad minera. Durante el periodo previo, del 2008 al 2012, la unidad minera estaba incrementando el cash cost, el cual pasó de 2.84 \$/oz en el año 2008 a 23.48 \$/oz en el año 2012, por lo cual era necesario aplicar estrategias para reducir el cash cost.

La principal estrategia identificada fue el cambio de método de explotación cut & fill convencional a sub level stoping adaptado a las estructuras del yacimiento, con variantes en la preparación, que involucran alternativas de optimización en mano de obra, equipos, materiales y servicios de contratistas, lo que implicó realizar inversiones en la mecanización, así como mejorar la gestión de recursos humanos, gestión de contratistas y gestión de seguridad; con lo cual se generaron resultados sólidos tanto operativos como financieros.

En términos financieros la empresa logró bajar el cash cost hasta menos de 5.34 \$/oz en el año 2017 con un precio de 17.05 \$/oz Ag, comparado con el año base 2012 que tuvo como resultado 23.48 \$/oz, con un precio de 31.15 \$/oz Ag. En términos operativos, el cambio de método de minado permitió incrementar la producción y se logró cubrir la capacidad instalada de la planta concentradora de 2,500 toneladas por día.

Finalmente, los resultados fueron corroborados mediante un análisis estadístico aplicando el modelo de costos con función cuadrática, que fue el que mejor explicó el cambio de método de minado de pasar de cut & fill a sub level stoping, demostrando que fue una estrategia de costos efectiva que logró disminuir el cash cost de manera significativa en el año 2017 pudiendo medirse el impacto directo al demostrar una reducción de 37.74 \$/ton.

Palabras clave: cash cost, gestión, estrategia, métodos de explotación, ley de corte, shotcrete.

Abstract

This work analyzes the strategies applied in order to minimize cash cost in Morococha underground mining operation, between 2012 and 2017. Morococha mine is under Pan American Silver Corp. management and it's located in the Morococha district in Yauli, Junín in central Peru. Morococha mine produces silver, and, as by-products, lead, zinc, copper and gold.

Production costs of the mine were found to represent 55% of the total cost structure of the mine. In the previous period, from 2008 to 2012, cash cost increased from 2.84 \$/oz in 2008 to 23.48\$/oz in 2012. Strategies to reduce cash cost were therefore necessary.

The main identified strategy was changing from cut-and-fill mining method to sub level stoping; best suited for the mining deposit structures.

Variations in preparation and optimizations in labor, equipment, materials and contractor services were also carried on. The latter required investment in mechanization, as well as improving human resource management, contractor management and safety management. Substantial operational and financial results were achieved. The Company managed to lower the cash cost to less than 5.3 \$/oz in 2017, with a 17 \$/oz price for silver; in comparison to 2012 base year 23.7 \$/oz results and a 31.15 \$/oz price for silver. Operationally, the exploitation method change managed to increase production and to cover the 2,500 ton/day installed capacity of the processing plant.

Finally, the results were tested through a statistical analysis consisting in the quadratic function cost model, which most accurately evaluated the change in the mining method from cut and fill to sub level stoping, and evidenced its effectiveness as a cost strategy; which in turn significantly decreased cash cost in 2017, at a \$ 37.74 / ton decrease.

ÍNDICE

Resumen Ejecutivo	5
Abstract	7
Lista de figuras	10
Lista de tablas	12
Lista de anexos	14
Capítulo 1: Introducción	15
1.1 Definición del problema	15
1.2 Objetivos del trabajo de Investigación	15
1.2.1 Objetivo general	15
1.2.2 Objetivos específicos	15
1.3 Preguntas de investigación	15
1.4 Justificación del estudio	16
1.5 Deficiencias/vacíos actuales en el conocimiento del problema	16
Capítulo 2: Marco conceptual	18
2.1 Gestión de costos	18
2.2 Estrategias de reducción de costos	18
2.3 Cash cost	22
2.4 Modelo conceptual	23
2.5 Definición de variables	24
2.6 Método de investigación	25
2.7 Diseño del procesamiento y análisis de datos	25
2.7.1 Unidad de análisis y muestra	25
2.7.2 Estructura de la base de datos	25
Capítulo 3: Identificación de factores que influyen en el cash cost	27
3.1 Descripción de la empresa y Unidad Minera	27
3.2 Descripción del proceso productivo	31
3.2.1 Método de explotación cut & fill	33
3.3 Alcance del estudio	34
3.4 Análisis de la data 2012 - 2017	36

3.4.1	Reporte de costos de producción unidad minera	36	
3.4.2	Reporte de producción mina	38	
3.4.3	Reporte de costos de producción mina	43	
3.4.3.1	Costo mano de obra		44
3.4.3.2	Costo de materiales		47
3.4.3.3	Indicadores de desempeño (KPI)	50	
3.4.3.4	Costo de contratistas		54
3.4.4	Producción de Onzas de Plata	56	
3.4.5.	Producción de mineral principal, coproducto y subproducto		58
3.4.6.	Ley de corte	60	
3.4.7.	Precio de metales	61	
3.4.8.	Definición de cash cost	64	
3.4.9.	Cálculo del cash cost	65	
3.5	Factores identificados en la reducción del cash cost	67	
Capítulo 4: Identificación de Estrategias para minimizar el cash cost			69
4.1	Identificación de estrategias	72	
4.1.1	Implementación del método de explotación sublevel stoping con variante en la preparación.	72	
4.1.2	Cambio de método de explotación	75	
4.1.3	Implementación de la planta de concreto	77	
4.1.4	Capex de sostenimiento	78	
4.1.4.1.	Adquisición de equipos mecanizados	80	
4.1.4.2.	Construcción de infraestructura y desarrollo de mina		81
4.1.5	Gestión de contratistas	82	
4.1.6	Gestión de recursos humanos	85	
4.1.7	Gestión de seguridad	85	
4.1.8	Gestion financiera	89	
4.1.9	Análisis y resultado del cash cost	94	
4.2	Análisis estadístico del costo de producción	97	
4.2.1	Relación entre el costo total y producción	99	
4.2.2	Correlación entre el costo total y toneladas producidas		100
4.2.3	Regresión de costos con función cuadrática	102	
4.2.4	Regresión de costos de función cuadrática con quiebre estructural		107

4.2.4 Analisis de sensibilidad de costos por metodo de explotacion según modelo matemático. 110

Capítulo 5: Conclusiones y Recomendaciones 113

Lista de figuras

Figura 1 - Modelo conceptual	23
Figura 2 - Distribución de costos por áreas 2012	23
Figura 3 - Geología local mina Morococha	28
Figura 4 – Cadena de valor de un negocio minero	30
Figura 5 – Estadística de costos (US \$/tn)	36
Figura 6 – Estadísticas de producción tonnes milled (kt)	38
Figura 7 – Producción por tipo de método de explotación (Tms)	40
Figura 8 – Producción por método de sublevel stoping (Tms)	41
Figura 9 – Costos de producción área de mina (mls de US\$)	43
Figura 10 – Costos de mano de obra (mls de US\$)	44
Figura 11 – Cantidad personal área de mina	45
Figura 12 – Indicador de productividad (tn/hg)	46
Figura 13 – Costo de materiales 2012 (US\$)	47
Figura 14 – Costo de materiales (US \$)	48
Figura 15 – Consumo de petróleo (gln)	49
Figura 16 – Consumo de explosivos (kg)	50
Figura 17 – Indicadores de voladura	52

Figura 18 – Costo de contratistas (mlls de US\$)	55
Figura 19 – Valorización acumulada por actividades 2012 (mlls de US\$)	55
Figura 20 – Aporte de onzas Ag por unidad minera	56
Figura 21 – Ventas por producto principal Ag y subproductos Zn, Pb, Cu y Au	59
Figura 22 – Ley de Ag y Cu	61
Figura 23 – Precio Ag y Au (US \$/oz)	62
Figura 24 – Precio de los metales comunes (US \$/Tn)	63
Figura 25 – Gastos generales de empresas contratistas (US \$)	82
Figura 26 – Valorización acumulada por actividades 2017 (US \$)	83
Figura 27 – Índice de frecuencia	86
Figura 28 – Índice de severidad	87
Figura 29 – Índice de accidentabilidad	88
Figura 30 – Ingresos por año (mlls de US\$)	91
Figura 31 – Costo total por año (mlls de US\$)	92
Figura 32 – Inversiones por año (mlls de US\$)	92
Figura 33 – Margen operativo por año (mlls de US\$)	93
Figura 34 – Cash cost por año	96
Figura 35. Cash cost sin subproductos por año	97
Figura 36 – Gráfico de dispersión – costo total de mina vs toneladas producidas	99
Figura 37 – Modelo de costos cut & fill y sublevel stoping	111

Lista de tablas

Tabla 1 - Resumen de estudios previos	21
Tabla 2 - Evolución en el tiempo de Pan American Silver Corp.	27
Tabla 3 - Costo unitario método cut & fill 2012	33
Tabla 4 - Detalle de costos operativos 2012 – 2017	37
Tabla 5 - Producción por método de minado (Tms)	39
Tabla 6 - Avance en desarrollo, exploración y preparación mina (m)	41
Tabla 7 - Reservas y recursos (mls de toneladas)	42
Tabla 8 - Costo por naturaleza de gasto área mina 2012	43
Tabla 9 – Personal compañía y contratista	45
Tabla 10 – Consumo de materiales de sostenimiento	49
Tabla 11 – Consumo de diésel (gln)	52
Tabla 12 – Consumo de madera (pie2)	53
Tabla 13 – Consumo de pernos (unid.)	53
Tabla 14 – Producción de Ag (oz)	57
Tabla 15 – Producción de producto principal y subproductos	59
Tabla 16 – Precio promedio anual de los principales metales US\$/oz	64
Tabla 17 – Cash Cost	64

Tabla 18 – Calculo de cash cost	66
Tabla 19 – Línea de tiempo de las estrategias aplicadas en la unidad minera	69
Tabla 20 – Benchmarking método de minado sublevel stoping 2016 (US\$/tn)	73
Tabla 21 – Costo unitario método sublevel stoping 2016 (US\$/tn)	75
Tabla 22 – Capex de sostenimiento	79
Tabla 23 – Flujo operativo según Reporte PBR 2012 – 2017	90
Tabla 24 - Matriz de correlación tomando toda la muestra	99
Tabla 25 - Matriz de correlación considerando los 12 primeros meses de la muestra (antes del cambio del método de explotación)	100
Tabla 26 - Matriz de correlación considerando la muestra a partir del mes 13 (ocurrido el cambio tecnológico)	100
Tabla 27 - Prueba de multicolinealidad	101
Tabla 28 – Resultados de la regresión del Modelo de función cuadrática	102
Tabla 29– Prueba Ramsey RESET del Modelo de función cuadrática	102
Tabla 30 – Resultado prueba de heterocedasticidad	103
Tabla 31 – Resultado prueba normalidad de residuos	103
Tabla 32 – Resultado prueba de autocorrelación	104
Tabla 33 – Resultado prueba de quiebre estructural	105
Tabla 34 – Resultado modelo con una sola dummy aditiva	106
Tabla 35 – Resultado modelo con dummy aditiva y multiplicativa	107
Tabla 36 – Resultado del modelo con impacto directo en la reducción de costos	108

Lista de anexos

Anexo 1 – Diseño de Método de minado cut & fill convencional	116
Anexo 2 – Diseño de método de minado cut & fill semi mecanizado	117
Anexo 3 – Vista General de Planta de Concreto	118
Anexo 4 – Diseño de método de minado sublevel stoping	119
Anexo 5 – Secuencia de minado sublevel stoping	120

Capítulo 1: Introducción

1.1 Definición del problema

La industria minera es una industria basada en el control de costos como factor endógeno controlable, debido a que el precio es un factor exógeno no controlable.

La finalidad de este estudio es identificar y analizar los factores que impactan el cash cost en una operación minera subterránea y analizar si las estrategias aplicadas en la unidad minera Morococha podrían ser implementadas en otras operaciones mineras subterráneas.

1.2 Objetivos del trabajo de Investigación

1.2.1 Objetivo general

Identificar y analizar los factores que influyen en el resultado del cash cost y las estrategias aplicadas para reducir los costos en operaciones mineras subterráneas.

1.2.2 Objetivos específicos

- Identificar los factores más importantes que influyen en los costos en una operación minera subterránea.
- Determinar el nivel de impacto de cada uno de los factores en la reducción de costos.
- Identificar las estrategias aplicadas que permiten la reducción de costos en una operación minera subterránea.

1.3 Preguntas de investigación

- ¿Cuáles son los principales factores que influyen en la reducción de costos de operación?
- ¿Cuál es el nivel de impacto de cada una de estas variables identificadas?
- ¿Cuáles fueron las estrategias aplicadas en la unidad minera del caso de estudio para la reducción de costos?

1.4 Justificación del estudio

En la industria minera, la gestión de costos es una estrategia competitiva para lograr resultados positivos en un sector que depende directamente de los precios de los metales.

El objetivo de la gestión de costos es la administración eficiente de los recursos que utilizan las empresas mineras para cumplir sus objetivos y generar valor económico para sus accionistas, la aplicación de estrategias para lograr esta reducción es un proceso continuo de búsqueda de estrategias que permitan reducir los costos operativos.

En una coyuntura de precios bajos, para la continuidad de las operaciones mineras es importante controlar los costos, con la finalidad de seguir manteniendo niveles aceptables de cash cost, que permitan la generación de valor para la compañía.

El trabajo de investigación se desarrolló únicamente en la unidad minera Morococha debido a que es una operación minera muy peculiar por la geometría del yacimiento; respecto a las otras unidades mineras del país, principalmente por haber obtenido el cash cost negativo en el año 2017, motivo por lo cual se analizarán los principales factores y estrategias aplicadas para la reducción de los costos de operación en los años previos a este resultado.

1.5 Deficiencias/vacíos actuales en el conocimiento del problema

Para poder reducir los costos de operación se debe identificar los factores más importantes que influyen en los costos operativos, para luego aplicar una serie de estrategias que permitan tomar decisiones que pueden cambiar el futuro de la operación.

Muchas veces, los casos de éxito no fueron planificados totalmente, por lo cual, cuando se quiere replicar una buena práctica, una limitante es la falta de documentación de los casos de éxito, los que incluyen las decisiones gerenciales tomadas en los momentos oportunos y que se ven reflejadas en una mejora en los costos operativos, siendo la señal que estamos ante un caso de éxito que debe ser

analizado. Por lo que, el análisis y el entendimiento de las estrategias nos va a permitir documentar y replicar estas experiencias en otras operaciones mineras subterráneas con la finalidad de mejorar los resultados de la empresa.

Capítulo 2: Marco conceptual

En el presente capítulo se describirán los estudios previos relacionados con el cash cost aplicados a operaciones mineras, especialmente subterráneas.

La gestión, análisis, reducción y optimización de costos ha sido motivo de estudio constante por diversos autores, cada uno de ellos hace énfasis en diversos factores modificadores con los cuales se crean y proponen estrategias para reducir costos.

A continuación, se presentan los estudios previos sobre este tema.

2.1 Gestión de costos

La gestión de costos es la estrategia competitiva que mayor valor genera a las empresas mineras. Los costos suelen ser factores controlables para lograr resultados positivos, puesto que el precio es un dato que depende de la cotización internacional de los metales.

2.2 Estrategias de reducción de costos

C. Musingwini (2016), explica que la aplicación de técnicas de optimización genéricas y específicas para la industria minera está profundamente arraigada en la disciplina de la investigación de operaciones; indica que la aplicación de técnicas de investigación de operaciones para la optimización en la industria minera comenzó a principios de la década de 1960. Desde entonces, se han aplicado técnicas de optimización para resolver problemas de planificación minera muy diferentes; la planificación minera desempeña un papel importante en la cadena de valor de la mina, ya que las operaciones se miden en función de los objetivos planificados para evaluar el rendimiento operativo. Se espera que, un plan de mina optimizado sea lo suficientemente robusto para garantizar que los resultados reales sean cercanos o iguales a los objetivos planificados, siempre que las variaciones debidas al bajo rendimiento sean mínimas.

A pesar de la proliferación de técnicas de optimización en la planificación de minas, la optimización en la planificación de minas subterráneas está menos desarrollada y

aplicada que en la planificación de minas a cielo abierto; esto se debe al hecho de que la optimización en la planificación de minas subterráneas es mucho más compleja que la optimización a cielo abierto.

La optimización en la planificación de minas subterráneas se ha ejecutado en cuatro áreas amplias, a saber: diseños de cámaras de explotación, protección de tajeros/cámaras, programación de producción, selección y utilización de equipos.

Alford, Brazil & Lee (2007), los autores indican que un problema importante en el desarrollo de la optimización de una mina subterránea es que, existe una amplia gama de estrategias de minería, de tal modo que cada depósito tiene una solución especializada. Esto hace que un enfoque general, para el diseño óptimo de las minas subterráneas sea una tarea compleja, y que actualmente es respaldada por una cantidad bastante pequeña de investigación; inevitablemente, el problema de optimización se ha descompuesto en subproblemas manejables. Identificaron una serie de subproblemas de optimización importantes en el diseño de minas subterráneas y se describen los modelos y las técnicas de solución tales como: optimización de la perforación infill, determinación de la ley de corte, optimización de tajeros, proyectos de interconexión de desarrollos mineros, diseño de rampa, programación de tajeros y proceso integrado.

Mendieta Britto, L. A. (2015), en su estudio para la optimización de costos operativos en la Unidad Cerro Chico hace énfasis en tres factores: implementación del sostenimiento mecanizado con shotcrete, malla y Split set, la cual reemplaza al sostenimiento con madera, implementación del método de minado Bench & Fill la cual reemplaza a la explotación de corte y relleno tradicional, reducción del consumo de cemento al mejorar la dosificación en el relleno hidráulico sin comprometer su resistencia. Con la optimización de estos tres factores logra una reducción de 9.38 US\$/t en el costo de producción.

Cueva O. (2009), indica que para eliminar costos se debe hacer un diagnóstico de los actuales procesos e identificar los cuellos de botella. Para esto presenta una metodología para identificar áreas de reducción de costos: elegir el rubro de costeo general, elegir el rubro de costeo específico que se reducirá, Identificar los factores involucrados en la generación del rubro de costo elegido, detectar las causas generadoras de costos – 5M – con relación a cada factor involucrado y elaboración y ejecución de un plan de acción de reducción del rubro de costo elegido.

Jáuregui Aquino, O. A. (2011), hace especial énfasis en la optimización de las operaciones unitarias de minado y la reducción de los costos operativos de la perforación y voladura. Para esto identifica tres grandes problemas: perforación deficiente, falta de paralelismo, espaciamiento irregular, longitudes variables, intercepción o cruce y diámetro insuficiente, consumo excesivo de explosivos, la ineficiente administración de explosivos por parte de logística a mina; a través de la optimización de los estándares de las operaciones unitarias de perforación y voladura, se logró una reducción del costo unitario total de mina en 1.51 US \$/t, es decir una reducción del 7%. Esto representa una reducción del 3.1% del cash cost total de la empresa minera.

Harrison J.C. (1999), presenta el caso de estudio de reducción de costos e incremento de producción en la mina de Sao Bento en el estado de Minas Gerais, Brasil. Las principales actividades llevadas a cabo son: cambio del método de minado, renovación de equipos de mina, implementación de sistemas de bonificación, mejora de las condiciones de trabajo, incremento de la capacidad de izaje del pique, mejora de la cultura de seguridad, ingeniería y planificación y optimización de la planta. Con esto, la reducción de costos fue de 360 US \$/oz a 266 US \$/oz con posibilidades de llegar hasta 235 US \$/oz.

Peña, M.R. (1993), presenta nuevas alternativas para la reducción de costos enfocadas principalmente en perforación y voladura. Sugiere una metodología llamada corte escalonado, para galerías, chimeneas y tajeos de producción; esta

metodología tiene como ventajas: menor carga concentrada en el arranque, menor longitud de perforación, menor demanda de explosivos, buena fragmentación, fácil ejecución de malla de perforación y recomienda el uso de detonadores eléctricos de alta precisión. Sin embargo, no indica el ahorro logrado por esta metodología en el costo unitario.

En la tabla 1, se observa el resumen de los estudios que se han realizado por diferentes autores con la finalidad de optimizar las operaciones mineras subterráneas y mejorar su desempeño.

Tabla 1

Resumen de estudios previos

Autor	Título	Parámetros
C. Musingwini (2016)	Optimisation in underground mine planning - developments and opportunities	<ol style="list-style-type: none"> 1. Diseño de cámaras de explotación 2. Protección de tajeos 3. Programación de producción 4. Selección y utilización de equipos
Christopher Alford, Marcus Brazil and David H. Lee (2007)	Optimisation in Underground Mining	<ol style="list-style-type: none"> 1. Optimización de la perforación Infill 2. Determinación de la ley de corte 3. Optimización de tajeos 4. Proyecto de interconexión de desarrollos mineros 5. Diseño de pampa 6. Programación de tajeos 7. Proceso integrado
Mendieta Britto, L. A. (2015)	Optimización de Costos Operativos en la Unidad Cerro Chico	<ol style="list-style-type: none"> 1. Implementación del sostenimiento mecanizado 2. Implementación del método de minado bench & fill 3. Reducción de consumo de cemento en el relleno hidráulico
Cueva O. (2009)	Modelo de Reducción de Costos en el Sector Minero	<ol style="list-style-type: none"> 1. Elegir el rubro de costeo general 2. Elegir el rubro de costeo específico que se reducirá 3. Identificar los factores involucrados en la generación del rubro de costo elegido 4. Detectar las causas generadoras de costos 5. Elaboración y ejecución de un plan de acción de reducción del rubro de costo elegido

Jáuregui Aquino, O. A. (2011)	Reducción de los costos operativos en mina, mediante la optimización de los estándares de las operaciones unitarias de perforación y voladura	<ol style="list-style-type: none"> 1. Perforación deficiente 2. Consumo excesivo de explosivos 3. La ineficiente administración de explosivos
Harrison J.C. (1999)	Estudio de Caso: Esfuerzos para Reducir Costos y Aumentar Producción en una Compañía Minera	<ol style="list-style-type: none"> 1. Cambio de método de minado 2. Renovación de Equipos de Mina 3. Incrementar capacidad de izaje de pique 4. Optimización de la planta de procesos
Peña, M.R. (1993)	Nuevas alternativas para la Reducción de Costos en Perforación y Voladura en minería Subterránea y en minería a Cielo Abierto	<ol style="list-style-type: none"> 1. Método de minado 2. Perforación 3. Voladura

Fuente: One mine.org

Elaboración: propia

2.3 Cash cost

De acuerdo con la metodología propuesta por Wood Mackenzie, el cash cost es el costo total, expresado en unidades del metal principal, en que se incurre para transformar el metal contenido en el mineral en un producto refinado. Al comparar el cash cost con la cotización internacional del metal, se puede determinar si la empresa está generando efectivo o en su defecto generando pérdidas.

El cash cost C1 es la suma de todos los costos directos de la operación: costos de extracción, costos de tratamiento, flete, fundición, refinación, gastos de administración, menos los créditos por sub productos expresado en US \$/unidad del metal principal; el cash cost C2 es la suma de todos los costos del C1, más la depreciación y amortización; el cash cost C3 es la suma de los costos totales C2, más los costos indirectos y costos financieros netos.

2.4 Modelo conceptual

Las estrategias para minimizar el cash cost, han sido enfocadas únicamente en los costos de producción de mina; en la figura 1 se tiene identificado las variables independientes y la variable dependiente.

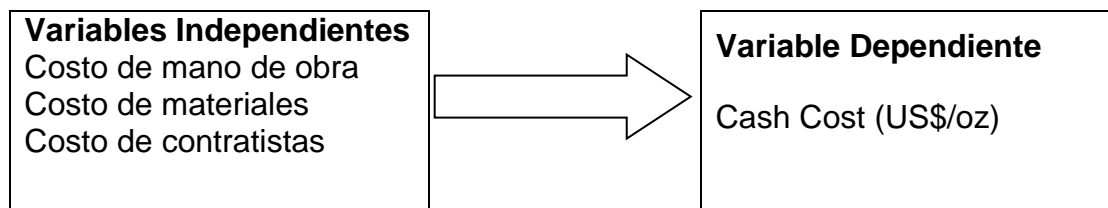


Figura 1. Modelo conceptual

En la figura 2, se puede observar que los costos de mina representan el 55% del costo total.

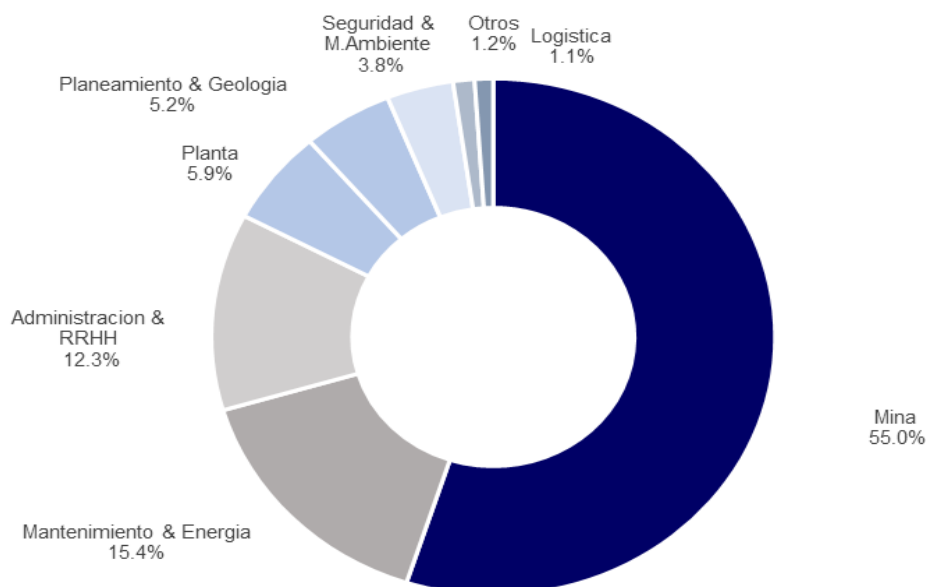


Figura 2. Distribución de costos por áreas año 2012

2.5 Definición de variables

- **Cash cost:** Costo total expresado en unidades del metal principal, en que se incurre para transformar el metal contenido en el mineral en un producto refinado.
- **Estrategia:** Esquema que contiene la determinación de los objetivos o propósitos de largo plazo de la empresa y los cursos de acción a seguir. Es la manera de organizar los recursos.
- **Operación minera:** Todas y cada una de las actividades que tengan por objeto el desarrollo de la minería.
- **Costos directos de mina:** Son aquellos costos directamente relacionados a la producción del mineral hasta antes de su ingreso a la planta. Incluye la mano de obra, los suministros, la tercerización (exploración, desarrollo y preparación de la mina) y otros gastos diversos relacionados a la operación minera.
- **Costos de molienda y concentración:** Son todos los costos incurridos por el tratamiento del mineral hasta obtener el concentrado o metal fino. Incluye el chancado, molienda, flotación, filtración entre otros.
- **Fletes de transporte del concentrado:** Es el costo en que se incurre para poder trasladar el concentrado o metal fino desde las instalaciones de la unidad minera hasta las instalaciones de la refinería y/o fundición.
- **Gastos de administración:** Son aquellos costos del soporte administrativo – logístico, la cual opera varias unidades mineras desde la sede central en Lima.
- **Costos de venta:** son los costos necesarios para poder comercializar el producto final.
- **Otros:** otros costos que puedan surgir durante el desarrollo del trabajo y que sean materia de análisis.

2.6 Método de investigación

Para el presente estudio se ha aplicado el método de investigación descriptivo cuantitativo, el diseño de la investigación es longitudinal y abarca un periodo de 6 años desde el 2012 al 2017; la unidad de análisis es la operación minera Morococha, siendo un caso de estudio por los resultados alcanzados en la operación minera en la reducción de sus costos. Con este estudio se busca entender a profundidad el comportamiento del cash cost en una operación minera subterránea.

Para el desarrollo del trabajo, se ha recopilado información de los costos de producción mensuales y acumulados del 2012 al 2017, para luego hacer el análisis y comparativo mes a mes de las diferentes variaciones. Se ha analizado cuales fueron las acciones y estrategias tomadas en la reducción de costos.

2.7 Diseño del procesamiento y análisis de datos

2.7.1 Unidad de análisis y muestra

La unidad de análisis es una operación minera subterránea y el tipo de muestra elegido es la variación mensual del cash cost durante los años 2012 al 2017 (muestreo longitudinal).

2.7.2 Estructura de la base de datos

La base de datos contiene todos los costos en los que se ha incurrido durante los años 2012 al 2017 durante la operación de la unidad minera Morococha, los datos se muestran clasificados por naturaleza del gasto y por tipo de gasto de las diferentes áreas. También se muestra el tonelaje tratado, así como las leyes de cabeza del mineral, los productos obtenidos, precio de los metales y las ventas respectivas.

Con la información contenida en la base de datos se procedió a calcular el cash cost mes a mes, para poder visualizar la variación y analizar sus diferentes variables y el impacto de cada uno en el resultado final.

También se revisaron los reportes anuales de los años anteriores al 2018, las cuales son de acceso público y fueron revisadas para establecer los antecedentes de la

operación minera y así tener la historia previa a la implementación de las mejoras obtenidas en el periodo 2012 - 2017.

Capítulo 3: Identificación de factores que influyen en el cash cost

3.1 Descripción de la empresa y Unidad Minera

La empresa se fundó el 07 de marzo de 1979 como Pan American Energy Corporation, en setiembre de 1984 cambia de nombre Pan American Minerals Corp., y adquiere los proyectos Waterloo y Hog Heaven (USA), finalmente en 1995 cambia de nombre a Pan American Silver Corp., con la cual define su núcleo de negocio principal, se enfoca en la producción de plata; después de más de dos décadas de producción y crecimiento financiero Pan American Silver Corp., es la primera empresa minera productora de plata primaria del mundo, con seis minas de plata operativas en México, Perú, Bolivia y Argentina; también cuenta con un gran portafolio de yacimientos minerales y proyectos de desarrollo.

Pan American Silver Corp., posee y opera 10 minas ubicadas en México, Perú, Canadá, Bolivia y Argentina. Además, es dueña de la mina Escobal en Guatemala que actualmente no está operando. En Perú las minas en operación son Morococha, Huarón, La Arena y Shahuindo.

Por otro lado, Pan American Silver Corp., posee las siguientes propiedades avanzadas en desarrollo de etapas: Waterloo (California, EE. UU.), La Bolsa (Sonora, México) y Pico Machay (Huancavelica, Perú).

La unidad minera del presente estudio es la mina subterránea Morococha; la unidad minera se encuentra ubicada en el departamento de Junín, Perú, a 142 km al este de la ciudad de Lima y a 38 km al oeste de la ciudad de la Oroya; la empresa produce y comercializa concentrados finos de plata y metales afines como plomo, zinc y cobre procedentes de la explotación de la mina.

En setiembre del 2003, Pan American Silver Corp., adquiere los derechos de Sociedad Minera Corona, las unidades Anticona y Manuelita a través de la compra de la Cía. Minera Argentum S.A.; y de la unidad Minera Morococha a través de la compra de la empresa Minera Natividad S.A. En marzo de 2005, Cía. Minera

Argentum S.A se fusiona con la empresa Minera Natividad S.A., quedando Cía. Minera Argentum S.A. como titular de las unidades Mineras Anticona, Manuelita y Morococha; en la tabla 2 podemos apreciar la evolución en el tiempo de Pan American Silver Corp.

Tabla 2

Evolución en el tiempo de Pan American Silver Corp.

Año	Hito
1979	Pan American Energy Corporation
1984	Cambia de nombre a: Pan American Minerals Corp.
1994	Adquiere proyectos Waterloo y Hog Reaven
1995	Cambia de nombre a: Pan American Silver Corp. Adquirió Mina Quiruvilca
1998	Adquirió Mina Colorada
2000	Adquirió Mina Huarón
2003	Adquirió Proyecto de plata Álamo Dorado
2004	Adquirió Mina Morococha
2006	Adquirió Mina Manantial Espejo e inicia construcción de la mina
2009	Compró Proyecto Navidad
2012	Compró Mina Dolores a Minefinders Corporation Ltd. vendió la Mina Quiruvilca
2014	Expansión de la Mina Colorada
2018	Adquisición de los activos de Tahoe Resources

Fuente: Reportes Anuales de Pan American Silver Corp.

Elaboración: Propia

El yacimiento está ubicado en el flanco este de la cordillera occidental de la cordillera de los andes. Las rocas hospedantes para la mineralización en el Distrito de Morococha comprenden una secuencia de esquistos, rocas volcánicas y sedimentos predominantemente carbonatados del paleozoico al mesozoico de unos 2,000 metros de espesor, cortados por una serie de intrusiones del terciario superior. Las estructuras que albergan la mayor parte de la mineralización de la veta en el Distrito de Morococha tienen una dirección dominante de noreste a este-noreste (ver figura 3).

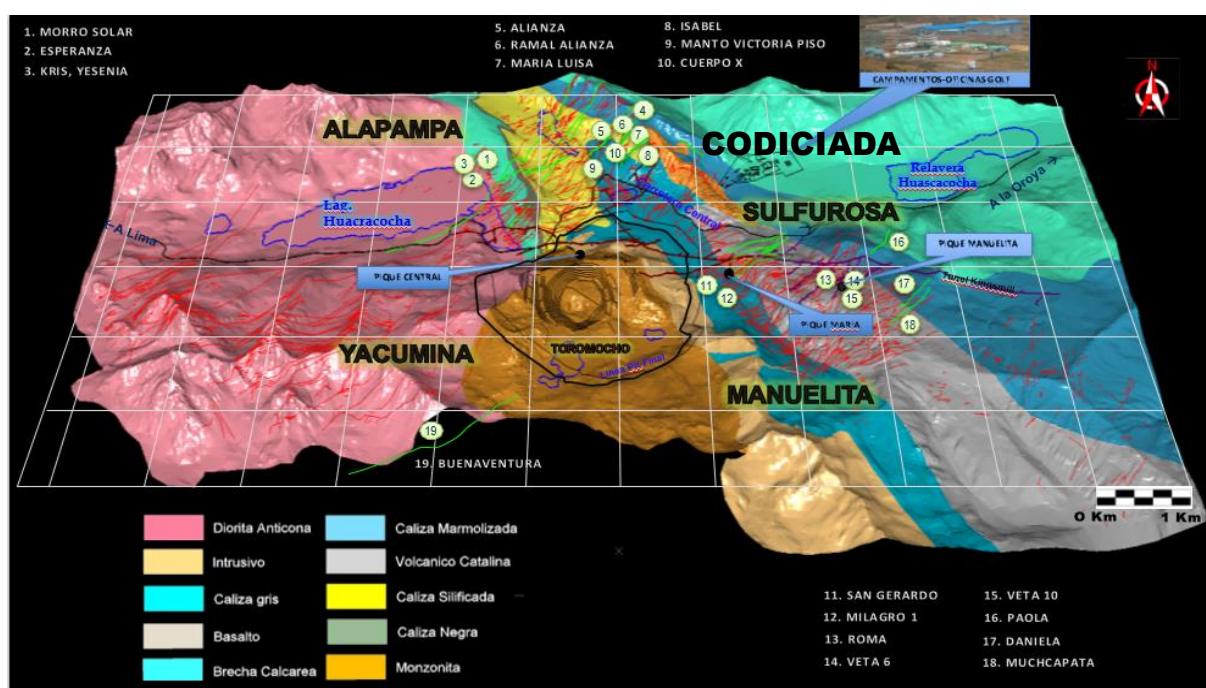


Figura 3. Geología local mina Morococha

El ambiente estructural del área está dominado por pliegues que tienen una dirección hacia el noroeste, el rasgo más importante es el anticlinal asociado al domo de Yauli que divide el distrito aproximadamente por la mitad. Los volcánicos del Mitú están hacia el núcleo, con las calizas del Pucará al este y otros sedimentos al oeste. La compresión continua dio lugar a cizallas tempranas con rumbo hacia el noroeste; el ascenso de la intrusión de la monzonita de cuarzo produjo un arqueamiento del domo de Yauli y una fase asociada a fallas tensionales con rumbo perpendicular (noreste-suroeste) al eje del anticlinal. Esto último, es el conjunto de fallas más fuertemente mineralizado y representa la mayoría de la mineralización alojada en fallas en el Distrito de Morococha.

La mineralización de las vetas se formó a lo largo del sistema de vetas tensionales de rumbo noreste. Con la excepción de una unidad de aglomerado del grupo Mitú superior y las brechas sedimentarias en el Pucará superior e inferior; las volcánicas del Mitú, la diorita Anticona y gran parte de la secuencia sedimentaria son buenos huéspedes de vetas. La mineralización asociada con las vetas es principalmente de relleno de fracturas por su naturaleza, excepto en algunos horizontes favorables donde se puede tener lugar un reemplazamiento irregular hacia las cajas de la veta.

La mineralización de reemplazamiento en mantos está generalmente restringida a horizontes estratigráficos donde la composición de las litologías favorables se cruza con vetas mineralizadas o son proximales a intrusivos pre-minerales. Parte de la mineralización de reemplazo ocurre como chimeneas irregulares controladas estructuralmente dentro de horizontes estratigráficos generalmente favorables. Los cuerpos de skarn relacionados con el contacto del intrusivo son comunes en el Pucará, generalmente en áreas de intrusivos pre-minerales, dando lugar a la silicificación relacionada con el contacto y / o alteración de los calcosilicatos. En su mayor parte, estos skarns son generalmente pequeños e irregulares, con mineralización de sulfuro diseminada en lugar de mineralización masiva de sulfuros.

Los minerales comerciales más abundantes son: calcopirita, tetraedrita, enargita, esfalerita y galena. La calcosita y covelita son minerales supergénicos. La molibdenita está ampliamente distribuida en vetillas de cuarzo en los stocks San Francisco y Gertrudis. Minerales de ganga más abundantes son pirita, magnetita y cuarzo.

Las operaciones mineras subterráneas se explotan por el método cut & fill mecanizado y convencional. La selección del método de explotación depende de la ubicación, el ancho, la orientación y las condiciones del macizo rocoso de la veta a explotar.

El transporte de mineral hacia la planta de beneficio se realiza mediante volquetes de 30 toneladas, en la zona de Manuelita (ver figura 3) la extracción de mineral se realiza mediante un pique, luego era transportado con locomotoras con capacidad de 13 toneladas hacia una tolva principal donde finalmente era transportado con volquetes hacia la planta de beneficio.

Morococha, cuenta con una planta de beneficio de flotación convencional, que procesa un promedio de 2,000 toneladas por día de mineral polimetálico, obteniendo concentrados de plomo, cobre y zinc con contenidos de plata y oro.

La distribución de la producción de plata es típicamente entre 60% y 65% para los concentrados de cobre, entre 21% y 28% para los concentrados de plomo, y entre 12% y 15% a los concentrados de zinc.

Morococha produce anualmente entre 2.5 y 2.7 millones de onzas de plata esto representa el 9% de producción total de Pan American Silver Corp. (Fuente: Reporte Anual 2017)

3.2 Descripción del proceso productivo

Las operaciones mineras son el corazón del negocio minero. En ella se incluyen los procesos más importantes para transformar el recurso natural en un producto minero o metalúrgico. Una visión moderna de las operaciones exige tener en cuenta los eslabonamientos que deben existir entre los procesos desde la geología de exploración de recursos hasta la transformación en concentrados y la producción de metal puro.

El proceso productivo de una unidad minera en operación, lo podemos dividir en cuatro etapas, siendo la primera etapa la exploración, a partir de ello se hace la explotación, luego viene beneficio y finalmente la comercialización (ver figura 4).



Figura 4. Cadena de valor de un negocio minero

La exploración tiene como objetivo incrementar las reservas para ellos se realizan trabajos de perforación diamantina y laboreo subterráneo (cruceos, galerías).

El proceso de explotación tiene como objetivo maximizar la productividad empleado recursos escasos como mano de obra, equipos y este se define principalmente en función al método de explotación estas actividades unitarias o ciclo de minado inicia por la perforación, voladura, ventilación, limpieza, sostenimiento, relleno, carguío y transporte.

En el 2012 las operaciones mineras subterráneas en Morococha principalmente se explotaron por métodos convencionales en su gran mayoría de las estructuras mineralizadas y en un pequeño porcentaje por métodos mecanizados en estructuras tipo manto y/o cuerpos.

En el proceso de beneficio la planta tiene una capacidad de 2,000 toneladas por día opera un molino de capacidad de 803,000 toneladas por año utilizando tecnología de flotación selectiva inducida por espuma para producir plata en concentrados de zinc, plomo y cobre con contenidos de plata y oro.

Finalmente, la comercialización cumple un rol estratégico en la cadena de valor de del modelo de negocios mineros actual, para el mercado global este modelo tiene como objetivo el mejor aprovechamiento de los recursos naturales no renovables para satisfacer la demanda de productor minero de las diferentes industrias, permitiendo el beneficio económico para las empresas mineras sus "stakeholders" y su entorno, bajo un estricto respeto ambiental y con un comportamiento empresarial socialmente responsable.

El área de comercialización debe trabajar con una definición clara de sus funciones y responsabilidades, interactuar con las otras áreas de la empresa, generando optimas relaciones de comunicación y retroalimentación.

Según la ley de la oferta y demanda, en el corto plazo el principal responsable de la determinación del precio de los commodities es la demanda.

De esta forma, en el corto plazo el aumento de la demanda se advierte indirectamente a través de una disminución de los inventarios; mientras que lo contrario ocurre con la oferta.

3.2.1 Método de explotación cut & fill

La selección del método de explotación depende básicamente de las condiciones del yacimiento siendo los parámetros más importantes; buzamiento, ancho de veta y calidad de roca.

Según los parámetros citados; en la zona Manuelita y Codiciada se explotó por el método de cut & fill convencional utilizando relleno hidráulico como parte del ciclo de minado (ver anexo1), para la perforación se utilizó perforadoras convencionales tipo Jack-leg y/o stopper; para la limpieza se utilizó winches eléctricos de 15 HP a través de ellos es transportado hacia los ore pass ubicados en el eje central del tajo.

El método de explotación cut & fill semi mecanizado (ver anexo 2) se utiliza en vetas de potencia mayor a 2m, principalmente consiste en desarrollar rampas auxiliares y accesos hacia la zona mineralizada, siendo la primera actividad la perforación para ello se utiliza jumbos eléctrico hidráulicos con barra de perforación de 14 pies de longitud.

La limpieza y acarreo se realiza con equipos tipo LDH con capacidad de 2.2 y 4.2 yd³ recorriendo una distancia máxima de 150 m desde el tajo hacia las cámaras de carguío y ore pass.

El sostenimiento es definido según las condiciones geomecánicas del macizo rocoso, en este tipo de minado se utiliza shotcrete con espesor de 2 pulgadas y pernos hydrabolt de 7 pies de forma sistemática distribuidos a 1.5m x 1.5m de espaciamiento con la finalidad de asegurar el autosoporte y garantizar la seguridad de los trabajadores.

El método de minado tiene las siguientes ventajas y desventajas:

Ventajas

- Alto grado de flexibilidad para el minado.
- Alta recuperación y baja dilución.
- Se puede emplear la variante del breasting cuando la calidad de roca es mala y/o pobre.

Desventajas

- Baja productividad
- Alto costo de explotación
- Alto costo de sostenimiento (shotcrete y perno de anclaje)

En la tabla 3, se describen los costos unitarios propios del método de explotación

Tabla 3

Costo unitario método cut & fill 2012

Descripción	Costo unitario (\$/Ton)
Mano de obra	7.00
Explosivo	2.74
Barra de perforación	0.42
Equipo de perforación	0.26
Herramientas y otros	0.04
Implementos de seguridad	1.02
Sostenimiento	4.60
Transporte mina - planta	6.17
Servicios auxiliares	0.00
Limpieza y relleno	3.17
Costo preparación	5.32
Costo desarrollo	6.19
Costo administrativo	0.32
Total	37.25

Fuente: Pan American Silver Corp.

El costo unitario expresado en \$/ton se define como costo operativo, no incluye los costos de las áreas de soporte, principalmente el mayor costo representa mano de obra debido a la baja productividad (ton/hgdía), seguido por los costos de desarrollo, transporte, preparación y sostenimiento por el consumo de shotcrete.

3.3 Alcance del estudio

El alcance del presente estudio es el análisis de los costos operativos del área de operaciones mina. Como se observa en la figura 2, los costos totales de producción

representan el 55%, siendo el grupo de costos más importantes de la operación, en segundo lugar, están los costos del área de mantenimiento, luego le siguen los costos de energía, administración y recursos humanos. Los costos del área de operaciones mina analizados abarcan los años 2012 al 2017.

El modelo de gestión de costos está clasificado por naturaleza de gasto donde son agrupados en tres rubros principales: mano de obra, materiales y contratistas; para entender mejor esta clasificación detallaremos cada uno de ellos.

Mano de Obra: son costos fijos que contemplan pagos por remuneraciones, beneficios y leyes sociales; así mismo contempla bonos por asistencia perfecta, bonos por seguridad y pago de horas extras que incluye a todo nivel (obrero, empleado y funcionario).

Materiales: son costos variables que dependen exclusivamente de nivel producción y desarrollo de mina, dichos materiales son controlados en base a indicadores operativos para cada actividad de las operaciones unitarias, cabe mencionar que el área de productividad efectúa mensualmente un análisis de materiales de alta rotación para establecer planes de acción, dentro de los materiales de mayor consumo podemos nombrar el diésel, explosivos, materiales empleados en el sostenimiento y otros materiales utilizados en servicios mina.

Contratistas: son costos fijos y variables como resultado de los trabajos realizados por empresas contratistas en las diferentes etapas de las operaciones unitarias (sostenimiento, transporte, perforación y servicios), cabe resaltar que en esta etapa se trabajan según el contrato establecido por el contratista y la compañía, está modalidad son por precios unitarios, alquiler de equipos y otros servicios; con la finalidad de dar soporte y sostenibilidad a las operaciones.

Los costos de mina son comparados y medidos con el presupuesto aprobado del año en curso, con el fin de tener un mayor control y buscar oportunidades de mejora en los procesos de minado.

3.4 Análisis de la data 2012 - 2017

Para el presente estudio se ha realizado una revisión de la información de seis años 2012 - 2017 donde se analizaron los costos de producción, costos de operación y costos administrativos Lima, finalmente se analizó el comportamiento del cash cost, onzas pagables y precios de los metales (Ag, Zn, Pb, Cu y Au) durante el periodo de estudio.

3.4.1 Reporte de costos de producción unidad minera

A lo largo de los años la gestión de costos en la operación minera consistía en controlar los costos de producción y gastos administrativos con la finalidad de llevar un control estricto de la gestión de operaciones para generar margen de utilidad respecto a los ingresos por ventas de la producción de onzas de plata y concentrados de Zn, Pb y Cu.

La industria minera tiene como fin supremo generar resultados financieros positivos por ello, el liderazgo de costos siempre debe ser el principal driver, en un negocio minero el gran desafío es estabilizar la producción para bajar la volatilidad y variabilidad; para ello debemos llevar un sistema de gestión riguroso con KPI's que permitan medir, controlar y gestionar los costos.

En la unidad minera Morococha en el 2012 el costo unitario de producción estuvo en 127.07 \$/ton, con lo cual no tuvo margen de utilidad debido que los costos de producción, procesamiento y gastos administrativos fueron superiores a los ingresos por ventas, siendo uno de los factores principales de este resultado era el método de explotación (convencional), como consecuencia de ello los costos eran muy elevados con margen negativo.

Debido a estos resultados la empresa decidió apostar por la innovación y tecnología, esto le permitió dar el salto en la optimización de los procesos de mina, donde lograron mejorar los indicadores de productividad y seguridad de la unidad minera.

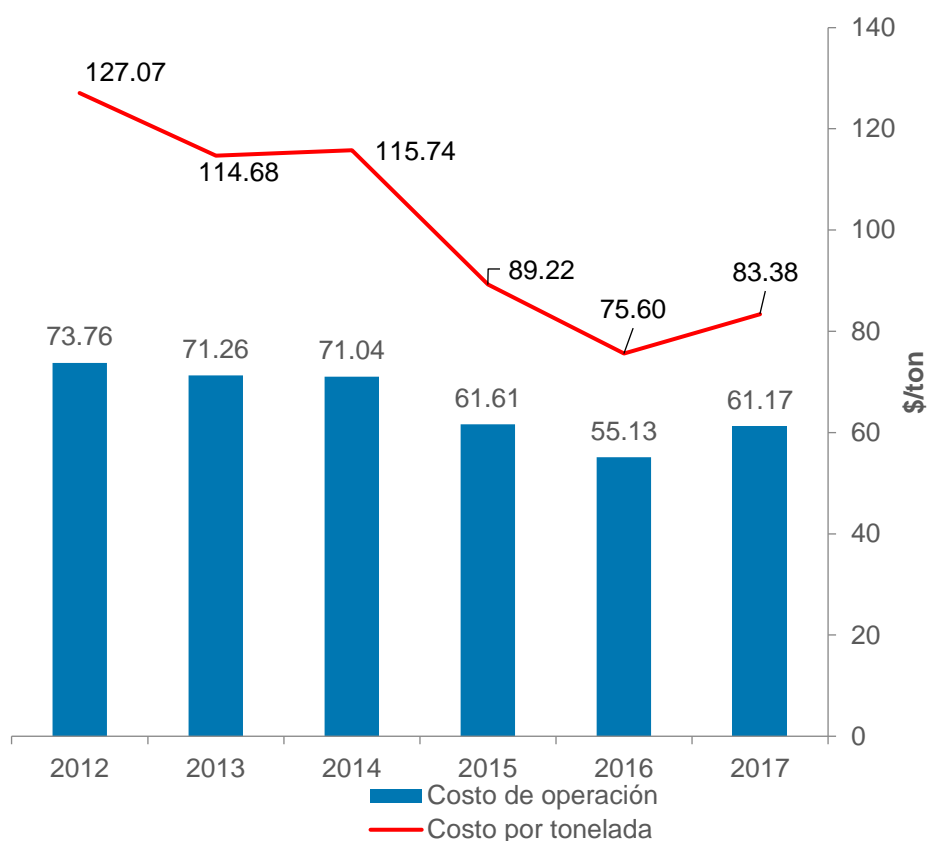


Figura 5. Estadísticas de Costos (\$/ton)

En la Figura 5 se observa la estadística de costos de producción y costo por tonelada a lo largo de los 6 años, donde se puede notar la disminución en este periodo de tiempo en menos 17%.

En la tabla 4, se muestra el detalle de los costos de operación y gastos administrativos, donde se puede apreciar una reducción de costos, principalmente en el área de mina y en administración por la reducción de personal obrero y empleado.

Tabla 4

Detalle de costos operativos 2012-2017

	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Tonnes Milled	580,479	621,323	613,781	690,529	729,161	733,584
Costs						
Mine	\$36,596,510	\$32,711,504	\$31,777,976	\$27,010,411	\$22,520,777	\$25,703,133
Processing	\$3,957,468	\$4,096,386	\$3,987,496	\$3,791,244	\$3,528,124	\$3,665,091
Planning & Engineering	\$1,808,885	\$1,516,745	\$1,628,392	\$1,192,410	\$1,045,055	\$1,246,587
Geology	\$1,633,169	\$1,139,068	\$1,514,706	\$1,429,116	\$1,009,458	\$1,208,422
Safety & Environ	\$2,458,465	\$2,645,594	\$2,156,566	\$1,669,391	\$1,163,423	\$1,719,840
General Maintenance	\$5,883,867	\$7,206,091	\$7,630,061	\$7,425,233	\$7,624,395	\$8,358,765
Electric System	\$4,297,308	\$3,864,740	\$5,091,372	\$5,390,154	\$5,314,911	\$5,697,313
Camp Administration	\$8,619,872	\$9,005,971	\$8,770,253	\$7,731,850	\$6,368,657	\$6,875,036
Production Costs	\$65,255,544	\$62,186,099	\$62,556,822	\$55,639,809	\$48,574,800	\$54,474,187
Cost per tonne	\$112.42	\$100.09	\$101.92	\$80.58	\$66.62	\$74.26
Transaction Costs	\$85,849	\$75,333	\$68,805	\$63,860	\$41,387	\$51,923
Mining Concessions	\$61,696	\$63,370	\$90,238	\$68,193	\$63,879	\$63,209
Administrative						
Insurance+Legal +PAMA	\$2,508,562	\$2,320,491	\$1,990,622	\$1,920,465	\$2,376,106	\$1,941,346
Management Fee Perú	\$3,686,723	\$3,982,630	\$4,112,578	\$3,554,337	\$3,860,711	\$4,261,873
Management Fee Canada	\$321,079	\$350,882	\$421,018	\$362,065	\$210,919	\$373,074
Shipping & Selling	\$1,839,391	\$2,277,557	\$1,797,091	\$0	\$0	\$0
Ocean Freight	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Operation's Costs	\$73,758,844	\$71,256,363	\$71,037,174	\$61,608,729	\$55,127,802	\$61,165,612
Cost Lima per tonne	\$14.65	\$14.60	\$13.82	\$8.64	\$8.99	\$9.12
Total cost per tonne	\$127.07	\$114.68	\$115.74	\$89.22	\$75.60	\$83.38

Fuente: Reporte Anual Pan American Silver Corp.

3.4.2 Reporte de producción mina

En el periodo de estudio 2012 – 2017; se observa el incremento de la producción de mineral (tms), principalmente a la mecanización de las operaciones a lo largo de los seis años, cabe mencionar que durante el año 2012 la producción de mineral se explotaba por el método cut & fill, el 2013 se implementó el método de sublevel stoping con variante en la preparación en 24% principalmente en las vetas Isabel, Elizabeth, Alianza, Morro Solar y Morro Victoria; en el año 2017 se llegó a implementar al 100% en toda las vetas de producción, este cambio permitió incrementar el volumen de producción.

La producción se incrementó en 26% considerando el 2012 como año base, el porcentaje de crecimiento no es significativo por el cambio de método de explotación lo cual podría parecer no tener mayor impacto en el resultado operativo, sin

embargo, la productividad promedio con el método convencional era de 1.12 tms/hg día; luego del cambio de método se incrementaron hasta en 3.4 tms/hg día

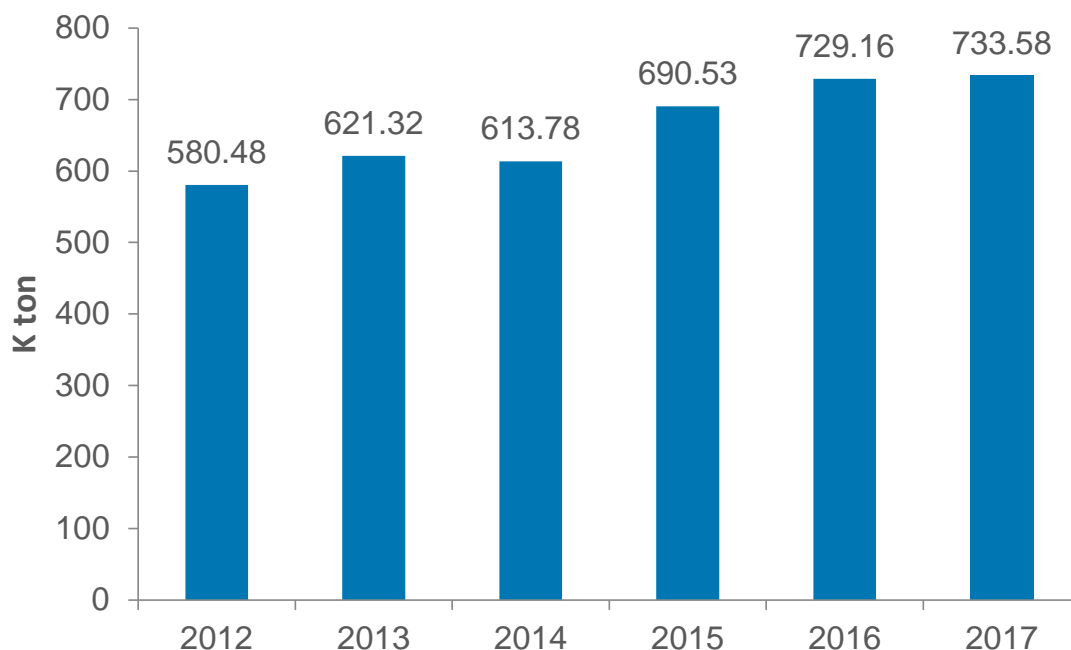


Figura 6. Estadísticas de Producción en Tonnes Milled (kt)

En la figura 6, se puede apreciar el incremento de la producción desde el año 2013 hasta el 2017, lo cual permitió copar la capacidad de planta (2500 TPD)

La producción de mineral con el cambio de método de explotación tuvo un incremento significativo durante los seis años para cubrir la capacidad de planta 2,500 TMD, impactando directamente en la producción de onzas pagables de Ag, y créditos por sub productos (Zn, Pb, Cu y Au).

En el 2012 el método de explotación empleado fue cut & fill, para ello se usaban perforadoras neumáticas, carros mineros, locomotoras, palas neumáticas y scoops diésel de 1.5, 2.2 y 4.2 yd³, el aporte de la producción fue 100%.

En el 2013 el aporte de la producción fue 65 % por el método cut & fill de las zonas Codiciada, Alapampa, Manuelita, Sulfurosa y Yacumina mientras el 24% por el método sublevel stoping de las vetas Isabel, Elizabeth y Alianza; el 11 % fue explotado por el método breasting en la zona de Manuelita y Sulfurosa.

En el 2014 el aporte de la producción fue 57% por el método cut & fill de las zonas Codiciada, Alapampa, Manuelita, Sulfurosa y Yacumina el 16 % por método sublevel stoping en las vetas de Morro Solar, Lorena y Manto X; el 27% fue explotado por el método breasting en la zona de Manuelita y Sulfurosa.

En el 2015 el aporte de la producción fue 26% por el método cut & fill de las zonas Codiciada y Alapampa; 47% por método sublevel stoping en los mantos Esperanza y Victoria; las vetas Ramal Alianza, Manuelita, Paola, Muchcapata y San Gerardo; el 27% por el método breasting.

En el 2016 el aporte de la producción fue 10 % por el método cut & fill de las zonas Manuelita, mientras el 78% por método sublevel stoping en las vetas Milet, Kris, Yesenia, Jasmin y Veta 10; el 12% por el método breasting.

Durante el 2017 la producción se explotó por el método sub level stoping en 100% de las vetas, Melisa, Carolina, Roma, Veta 5, veta 6, veta 11 y Manto Rosita; principalmente con equipos de perforación tipo simba, raptor y scoop de 4.2 y 6 yd³ para la limpieza de mineral, con el cambio del método de explotación se logró bajar los costos de minado y se mejoró la productividad en los procesos de explotación.

En la tabla 5, se puede ver la producción por método de explotación, siendo el método sublevel stoping de mayor impacto en los 3 últimos años.

Tabla 5.

Producción por método de explotación (Tms)

Método de Minado	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Sublevel Stopping	0.0	146,573	100,814	325,349	567,193	733,584
%	0%	24%	16%	47%	78%	100%
Cut & fill	580,479	406,807	348,677	181,537	72,596	0.0
%	100%	65%	57%	26%	10%	0%
Breasting	0.0	67,943	164,290	183,643	89,372	0.0
%	0%	11%	27%	27%	12%	0%
Total	580,479	621,323	613,781	690,529	729,161	733,584

Fuente: Pan American Silver Corp.

Elaboración: Propia

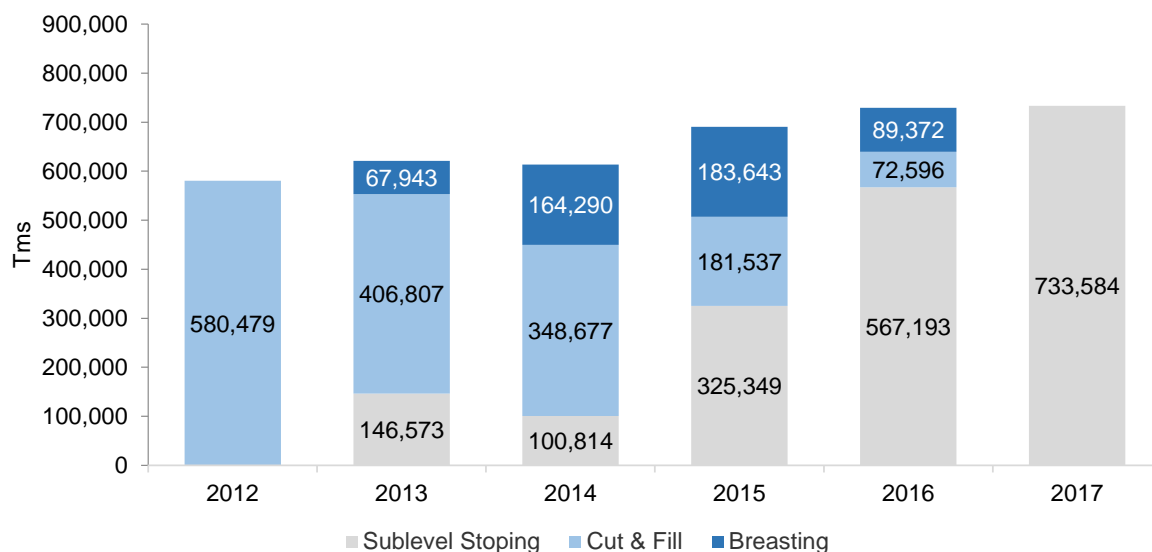


Figura 7. Producción por tipo de método de explotación (tms)

En la figura 7, se puede ver que durante el año 2012 solamente se aplicó el método de cut & fill, sin embargo, este método se fue reemplazando progresivamente en los siguientes años, por otro lado, el método de sublevel stoping tuvo un crecimiento muy significativo llegando a utilizarse al 100 % en el año 2017 (ver tabla 6).

Por otro lado, en la figura 8, se puede observar que la producción por el método de sublevel stoping crece significativamente en el año 2015 con una tendencia positiva llegando al año 2017 al 100 % en todas las estructuras de explotación.

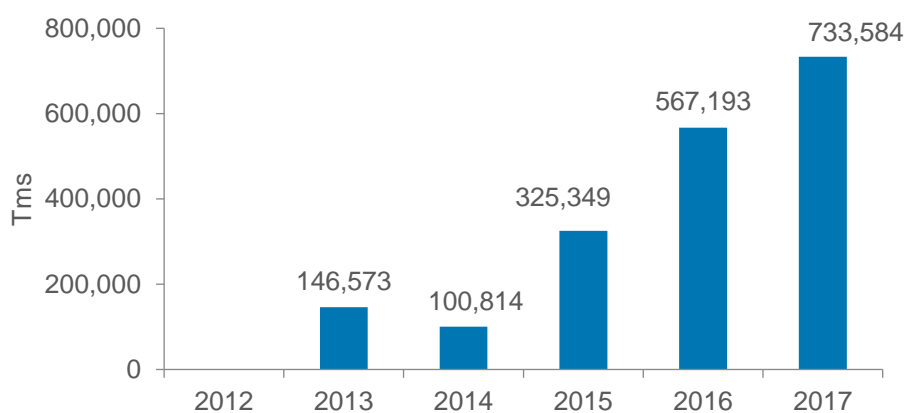


Figura 8. Producción por método de Sublevel Stopping (Tms)

Así también, en la tabla 6 podemos ver los metros ejecutados en exploración, desarrollo y preparación, que tienen como finalidad la preparación de los tajos de explotación.

Tabla 6

Avance en desarrollo, exploración y preparación mina (m)

Fase	2,012	2,013	2,014	2,015	2,016	2,017
Exploración	2,470	752	517	1,473	426	875
Desarrollo	7,888	9,178	9,564	7,847	6,937	4,969
Preparación	8,218	8,158	9,756	8,080	10,998	16,335
Total	18,576	18,089	19,837	17,400	18,361	22,179

Fuente: Pan American Silver Corp.

Elaboración propia

Con respecto al laboreo minero, los metros ejecutados en labores de exploración, preparación y desarrollo tuvieron como resultado en promedio 18,453 m durante los primeros cinco años y en el año 2017 tuvo un incremento de 3,800 metros esto principalmente por la profundización de la mina utilizando equipos mecanizados en las actividades de perforación, limpieza y sostenimiento.

Tabla 7

Reservas y recursos (mlls de toneladas)

Año	Recursos			Reservas	
	Indicado	Inferido	Medido	Probable	Probado
2010	1.43	7.13	1.23	3.01	4.25
2011	2.10	7.50	1.40	3.10	4.00
2012	1.30	5.30	1.00	2.70	2.80
2013	1.10	8.00	0.80	2.70	2.70
2014	1.00	6.50	0.50	2.70	2.40
2015	0.60	4.80	0.30	1.90	2.30
2016	1.10	3.90	0.40	2.20	2.60
2017	0.50	4.40	0.30	2.90	3.00

Fuente: Reporte Anual Pan American Silver Corp.

Los recursos y reservas son la base de un negocio minero, la cantidad y calidad definirán la vida de la mina, cabe resaltar que es muy importante tener modelos

geológicos estimados, con la finalidad de cuantificar recursos y reservas, un modelo geológico más confiable requiere más información de sondajes (infill y ore control), tener poca información resultarían ser menos confiable y con alto riesgo para el proceso.

Según los datos mostrados en la tabla 7, podemos estimar la vida de la mina en promedio de 7 años a nivel de reserva y 6 años a nivel de recursos, con una producción anual de 750,000 tms.

3.4.3 Reporte de costos de producción mina

Los costos operativos (OPEX) del área de mina se clasifican por naturaleza de gasto en tres rubros: mano de obra, materiales y contratistas; dichos costos son agrupados y clasificados de acuerdo al mayor contable presentado por el área de finanzas y contabilidad, el área de operaciones mina representa el 55% de los costos totales de la unidad minera comparado con las áreas de soporte en 45%, razón por la cual se realizó el análisis a detalle de los tres niveles clasificados por naturaleza de gasto (ver figura 2).

En la figura 9, podemos ver una tendencia negativa desde el año 2012 con respecto al 2017, esta reducción representa el 30% respecto al año base donde el mayor impacto se da en la gestión de contratistas, control de materiales y reducción de mano de obra.

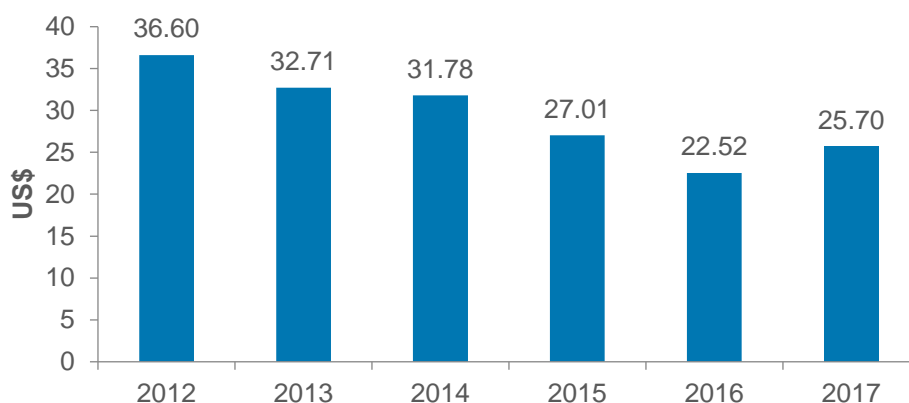


Figura 9. Costos de producción mina (mlns de US\$)

Tabla 8

Costo por naturaleza de gasto área mina 2012

	US\$	%
Mano de obra	10,544,351	29%
Materiales	6,686,456	18%
Contratistas	19,365,703	53%
Total	36,606,510	100%

Fuente: Pan American Silver Corp.

Elaboración: Propia

En la tabla 8 se puede observar la estructura de costos por naturaleza de gasto del área de mina, siendo el mayor costo los contratistas, para un mejor entendimiento se detalla a continuación cada uno de ellos.

3.4.3.1 Costo mano de obra

En la industria minera los costos de mano de obra son costos fijos que incluyen el pago de salarios, beneficios sociales y legales, los costos de mano de obra representaron el 29% (ver tabla 8) del costo total en el año 2012, sin embargo, la reducción fue gradual durante los seis años siguientes, debido principalmente al cambio del método de minado y reducción de personal por implementación del sistema de trabajo 5 x 2 a los empleados profesionales en las distintas áreas operativas de la unidad minera.

Los métodos de explotación fueron convencionales y semi mecanizados, donde se requería mayor cantidad de trabajadores para desarrollar las actividades mineras, lo que conllevaba a tener una baja productividad, alta tasa de accidentes con mayor riesgo para el personal que laboraba en las diferentes actividades que contempla el ciclo de producción, con el uso de tecnología y la optimización de los procesos los indicadores en términos de producción fueron mayores y respecto a los indicadores de seguridad estos fueron reducidos de manera muy significativa.

Durante los años 2012 al 2017 el costo de mano de obra disminuyó progresivamente, para ello el año 2014 la empresa tomó la decisión de reducir 279 trabajadores, para ello tuvo una negociación con los trabajadores por tener contrato

estable, dicha reducción estaba relacionada con el cambio de método de minado sublevel stoping, el impacto de esta decisión se vio reflejada en los costos de mano de obra en el año 2015 (ver figura 10).

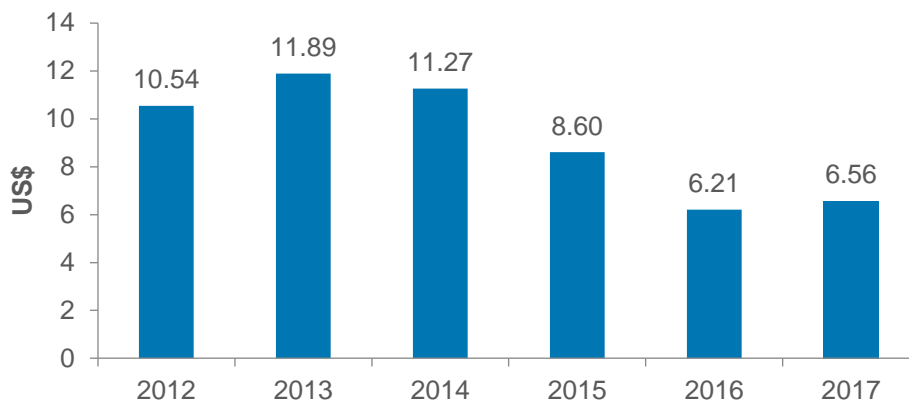


Figura 10. Costos de Mano de Obra (mls de US\$)

Con el cambio de método de minado la cantidad de personal se ha reducido en 366 trabajadores durante los años 2012 y 2017 (ver figura 11).

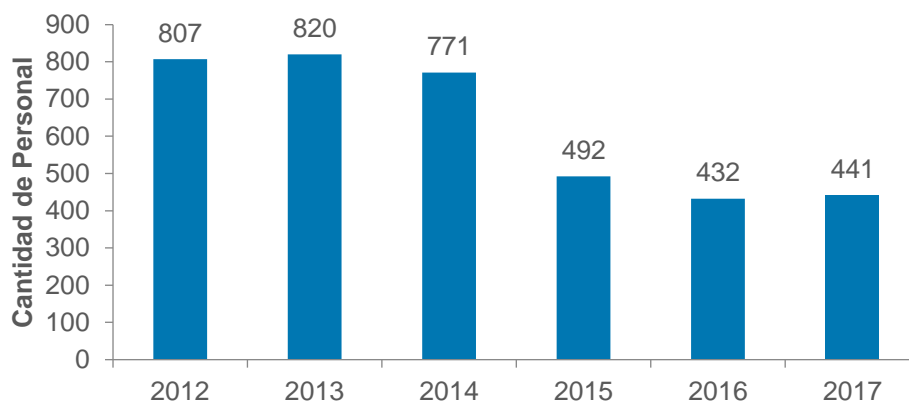


Figura 11. Cantidad de personal mina

A nivel general de la unidad minera, la cantidad de personal durante los seis años se ha reducido en 45%, esto fue principalmente por la mecanización de los procesos e implementación del sistema de cinco días trabajados por dos días de descanso, especialmente a empleados y funcionarios que trabajan en las áreas de

administración, recursos humanos, logística, mantenimiento eléctrico, mecánico, geología, mina, planta y planeamiento (ver tabla 9); reduciendo directamente en el pago de planilla, cabe precisar que el régimen laboral hasta el año 2012 fue de 14 días trabajados por 7 de descanso en toda la unidad minera.

Tabla 9

Personal compañía y contratista

Personal	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Funcionario	13	13	12	10	14	14
Empleado	381	381	537	450	430	499
Obrero	798	805	588	305	290	298
Total	1,192	1,199	1,137	765	734	811
Contratistas	960	412	478	381	567	476
Total, general	2,152	1,611	1,615	1,146	1,301	1,287

Fuente: Pan American Silver Corp.

Elaboración: Propia

En la tabla 9, se puede apreciar que hay una reducción de personal en la categoría de obreros y por otro lado un incremento en los empleados en el año 2015, este cambio se dio básicamente, como una estrategia de asegurar la continuidad de la operación pasando a los obreros que tenían como puesto de operadores de equipo pesado a empleados, lo que permitió minimizar el impacto en la producción durante los días de paralización por parte del sindicato de obreros en los pliegos de reclamo.

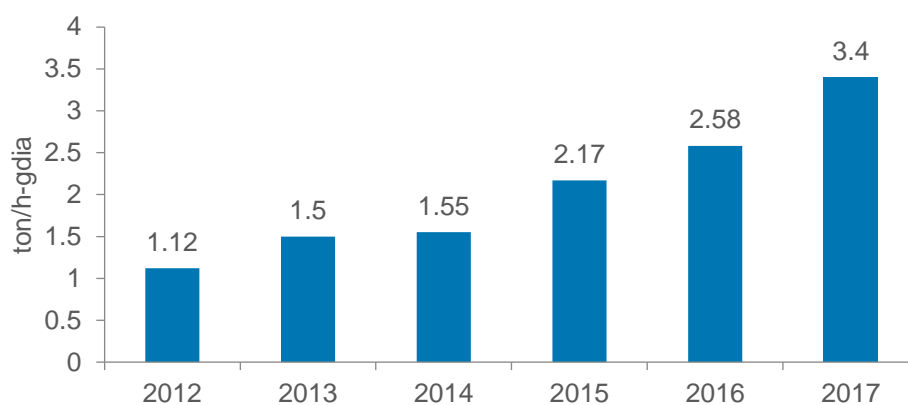


Figura 12. Indicador de productividad (Tms/hgdía)

En la figura 12, se puede observar la mejora en gestión de los indicadores de productividad y esto fue como resultado de la correcta gestión del personal de toda la unidad minera, con el objetivo de medir las toneladas producidas versus la cantidad de personal que labora en toda las áreas operativas y administrativas, se puede apreciar que hay un incremento del 67%, lo que indica que la producción fue alcanzada con menor cantidad de trabajadores.

3.4.3.2 Costo de materiales

Los costos de materiales en el año 2012 representan el 18 % (ver tabla 8) del costo total de mina, en los tres primeros años los costos fueron mayores respecto a los siguientes años (ver figura 13), debido al consumo de materiales por el método de minado convencional que se emplearon en las diferentes estructuras del yacimiento.

Los materiales de alta rotación que generaron mayores costos fueron explosivos, petróleo, aceros de perforación, madera y materiales empleados en el sostenimiento con shotcrete (concreto lanzado conformado por cemento, agregados, aditivos, agua y elementos de refuerzo; los cuales son aplicados neumáticamente y compactados dinámicamente a alta velocidad sobre una superficie), estos materiales se pueden observar en la figura 13.

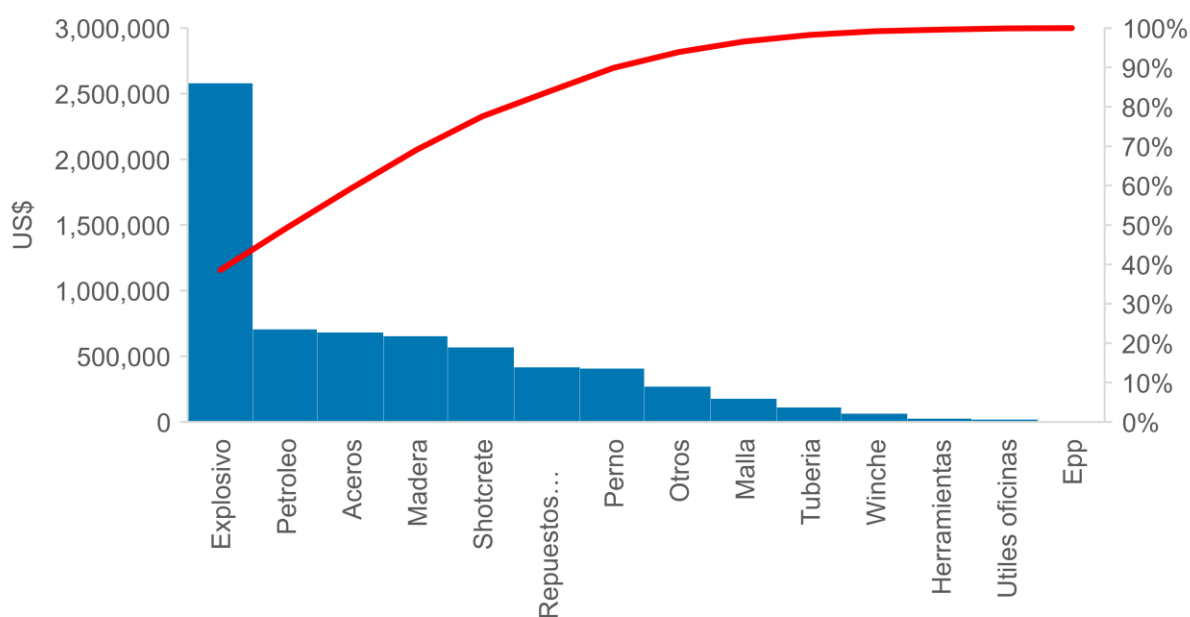


Figura 13. Costo de Materiales 2012 (US\$)

Por otro lado, las empresas contratistas que dependían de la operación minera tuvieron acceso al consumo de materiales los cuales estuvieron incluidos en los precios unitarios según el contrato establecido.

En el 2015 se estandarizaron los nuevos contratos con algunos proveedores para evitar erosión de valor por ejemplo el explosivo se consume al 100% a un solo proveedor de igual manera el consumo de diésel que tiene un consumo alto en los equipos LDH, volquetes y equipo pesados.

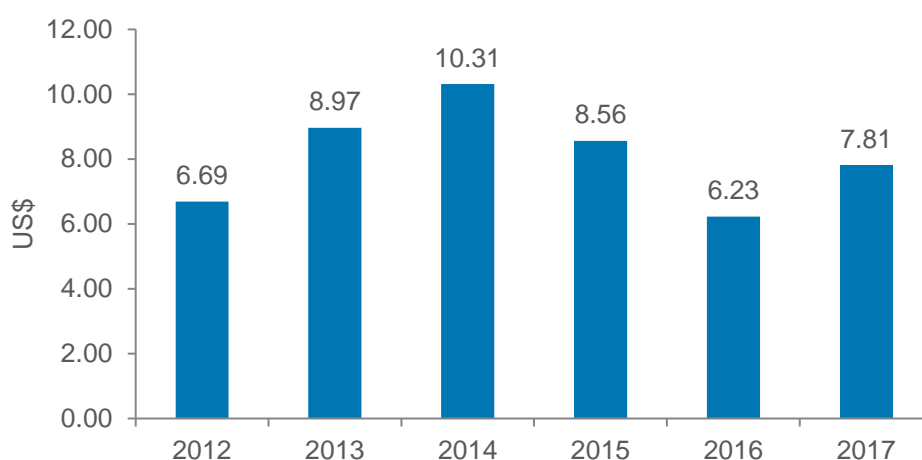


Figura 14. Costo de Materiales (mls de US\$)

En la figura 15, se aprecia el consumo de petróleo, se utiliza principalmente en los equipos de limpieza LDH designados en la producción y desarrollo de mina; durante los tres últimos años 2015 - 2017, el consumo de petróleo tuvo mayor costo en comparación a los años anteriores, este incremento explica el reemplazo de equipos de mayor capacidad (Scoop RG1300, R1600G) con capacidades de 4.2 y 6.1 yd³, es importante mencionar que la flota de equipos de limpieza en los tres primeros años fue de 2.2 y 4.2 yd³.

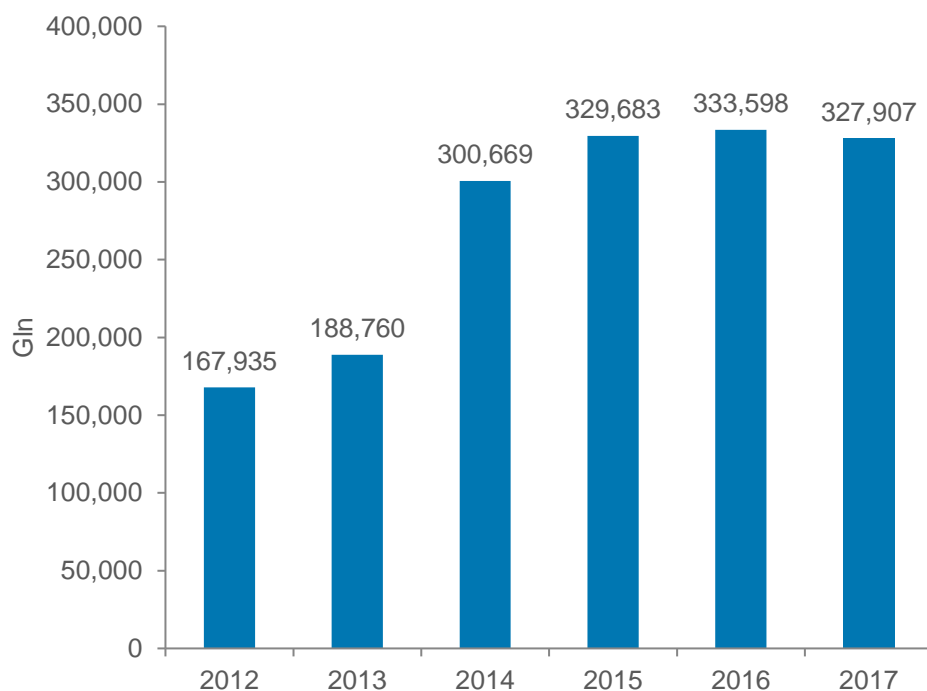


Figura 15. Consumo de petróleo (Gln)

En la tabla 10 se puede observar el consumo de materiales en el sostenimiento, la madera fue usada principalmente en las zonas de Manuelita, Yacumina y Sulfurosa, debido al método convencional de minado empleado en dichas zonas; a partir del 2015 se emplea en el sostenimiento pernos tipo split set, hydrabolt, y malla electrosoldada; reduciendo el consumo de madera, lo que contribuyó a una minería ambientalmente más responsable.

Tabla 10

Consumo de materiales de sostenimiento

Material	Unidad	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Madera	Pies2	582,547	230,206	761,595	484,586	259,025	208,469
Malla	m2	40,053	51,342	115,655	101,102	89,466	76,912
Perno	Unidad	101,528	100,125	130,000	134,688	133,982	138,059

Fuente: Pan American Silver Corp.

Elaboración: Propia

Por otro lado, se optimizó el sistema de ventilación con la construcción de chimeneas tipo Raise Boring, con ello se mejoró la ventilación en las labores de desarrollo, preparación y explotación esto permitió reemplazar el uso de dinamita por el **ANFO** (Nitrato de amonio y Diesel) en un 60% del consumo, impactando directamente en el costo, debido a que el precio era más bajo en comparación con la dinamita.

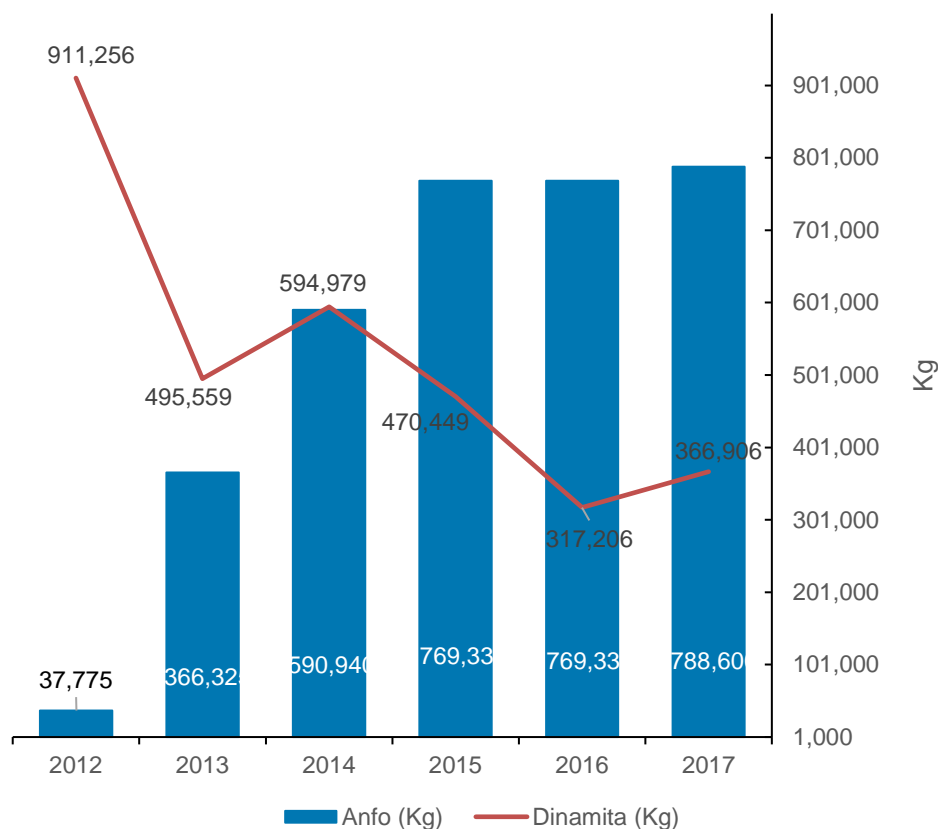


Figura 16. Consumo de explosivos (Kg)

En la figura 16, se puede apreciar notablemente que el consumo de ANFO tiene una tendencia positiva desde el año 2014, mientras el consumo de dinamita tiene un descenso en el mismo año, generando ahorro por este cambio en el proceso de voladura.

3.4.3.3 Indicadores de desempeño (KPI)

Los KPI, son indicadores de medición basado en el desempeño de gestión en el contexto de una operación minera, existen indicadores de insumo, de procesos y de resultados los cuales están integrados dentro del proceso minero, en el presente

trabajo mostraremos los principales indicadores de consumo que nos permitirá medir la cantidad de materiales por tonelada de mineral producida.

Indicadores de voladura

En minería subterránea existen dos indicadores principales de voladura para medir el consumo la eficiencia del avance y rotura en labores de preparación, desarrollo y explotación, estos KPI están expresados en kg/m y kg/ton.

Para mejorar la eficiencia en los metros ejecutados se implementaron algunos controles como son: malla estándar de perforación según sección de labor y calidad de roca, voladura controlada, capacitación y entrenamiento al personal encargado del carguío, estas medidas ayudan a mejorar la granulometría y evitar sobre rotura en las labores de preparación y desarrollo.

El éxito de la voladura depende de la perforación en 70% y en el carguío de explosivos en 30%; por lo tanto, estos factores son muy importantes a tener en cuenta, de no hacerlo llevaría a tener mayores costos en las actividades de sostenimiento, limpieza, carguío, transporte y un aspecto muy vital es evitar accidentes por caída de roca.

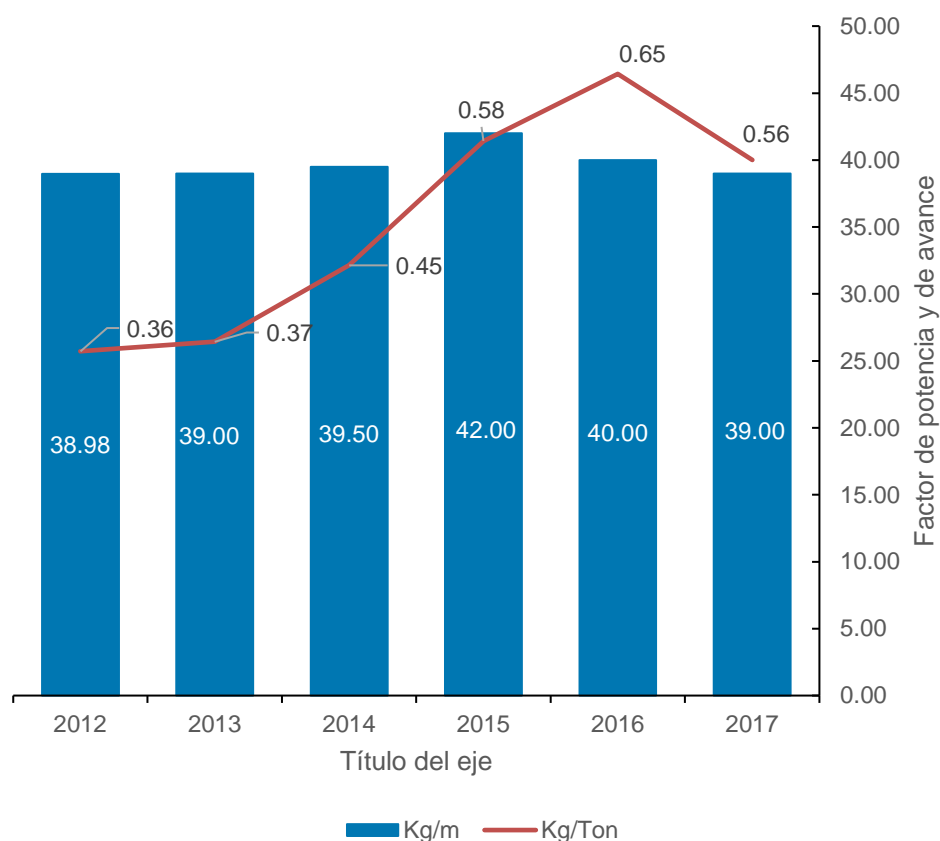


Figura 17. Indicadores de voladura

En la figura 17, se observa una tendencia positiva en el factor de potencia, debido al mayor volumen producido por el método de sublevel stoping, respecto al factor de avance, el indicador también tiene una línea positiva, básicamente por el mayor metraje ejecutado en las labores de preparación y desarrollo.

Tabla 11

Consumo de diésel (gln)

	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Tms	580,479	621,323	613,781	690,529	729,161	733,584
Gln	167,935	188,760	300,669	329,683	333,598	327,907
Gln/Ton	0.29	0.30	0.49	0.48	0.46	0.45

Fuente: Pan American Silver Corp.

Elaboración propia

En la tabla 11, se muestra el incremento del consumo de petróleo, esto se dio debido al cambio de capacidad de los equipos LDH, utilizado en la limpieza de tajos de producción y desarrollo de mina.

Tabla 12

Consumo de madera (pie²)

	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Tms	580,479	621,323	613,781	690,529	729,161	733,584
Pies	582,547	230,206	761,595	484,586	259,025	208,469
Pies2/Ton	1.00	0.37	1.24	0.70	0.36	0.28

Fuente: Pan American Silver Corp.

Elaboración: Propia

En la tabla 12, se muestra el consumo de madera, el mismo que tiene un efecto importante en los últimos años, por el cambio de método de minado fue reemplazado por el uso de malla y shotcrete.

Tabla 13

Consumo de pernos (unid.)

	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Tms	580,479	621,323	613,781	690,529	729,161	733,584
Pernos	101,528	100,125	130,000	134,688	133,982	138,059
Pernos/Ton	0.17	0.16	0.21	0.20	0.18	0.19

Fuente: Pan American Silver Corp.

Elaboración: Propia

En la tabla 13, se aprecia el consumo de pernos de sostenimiento, la optimización del sostenimiento tuvo impacto directo por el equipo mecanizado small bolter para sostenimiento de labores de preparación y desarrollo.

3.4.3.4 Costo de contratistas

Los altos costos en el rubro de empresas contratistas que forman parte de la gran cadena productiva representa el 53% (ver tabla 8) del costo total de mina, en los años 2012 y 2013 fueron debido a que la producción y el desarrollo de la mina estuvo ejecutado por empresas contratistas en un 90%, dichos pagos se valorizaron por precios unitarios y pago por gastos generales como costo fijo según el contrato establecido para cada contratista.

Durante los años 2012 al 2014, las operaciones fueron ejecutadas por diez empresas contratistas en promedio, en conjunto todas estuvieron directamente involucradas en la operación, dichas empresas tuvieron el encargo de garantizar la producción de mineral, desarrollo, transporte y servicios mina para dar sostenibilidad al LOM de la mina. Los gastos generales en las empresas contratistas fueron 20.5% y 10% de utilidades los cuáles se pagaban como costo fijo.

En el 2014 se creó el área de contratos con la finalidad de optimizar los servicios de las empresas contratistas y reducir los costos operativos, con esta estrategia se logró reducir los gastos fijos en diversas actividades relacionadas a las operaciones mineras.

En el 2015 se logró bajar 15% respecto al año 2014, donde principalmente se tercerizó el servicio de transporte de mineral, mantenimiento de vías y sostenimiento.

En la figura 18 se puede observar la evolución del costo de contratistas en el período 2012 – 2017.

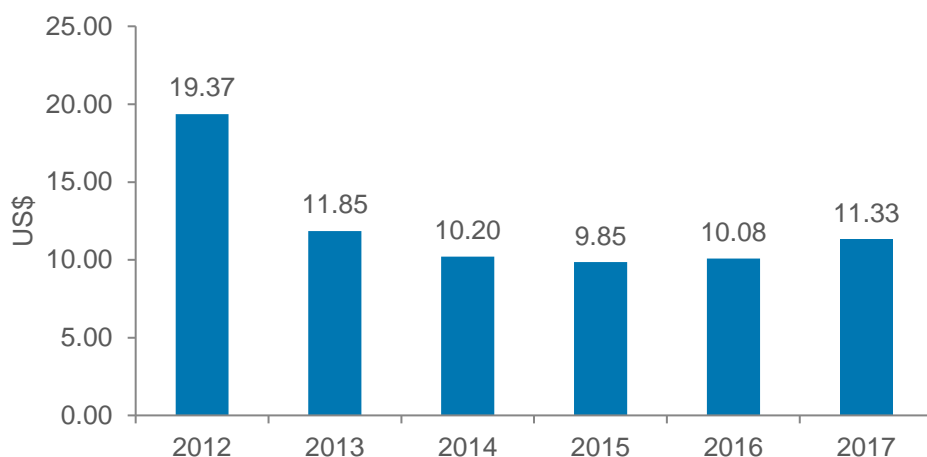


Figura 18. Costo de contratistas (mls de US\$)

En la figura 19, se muestra el costo acumulado del año 2012 por actividades, donde desarrollo de mina y transporte son las actividades de mayor costo, debido que estos trabajos estuvieron a cargo de empresas contratistas.

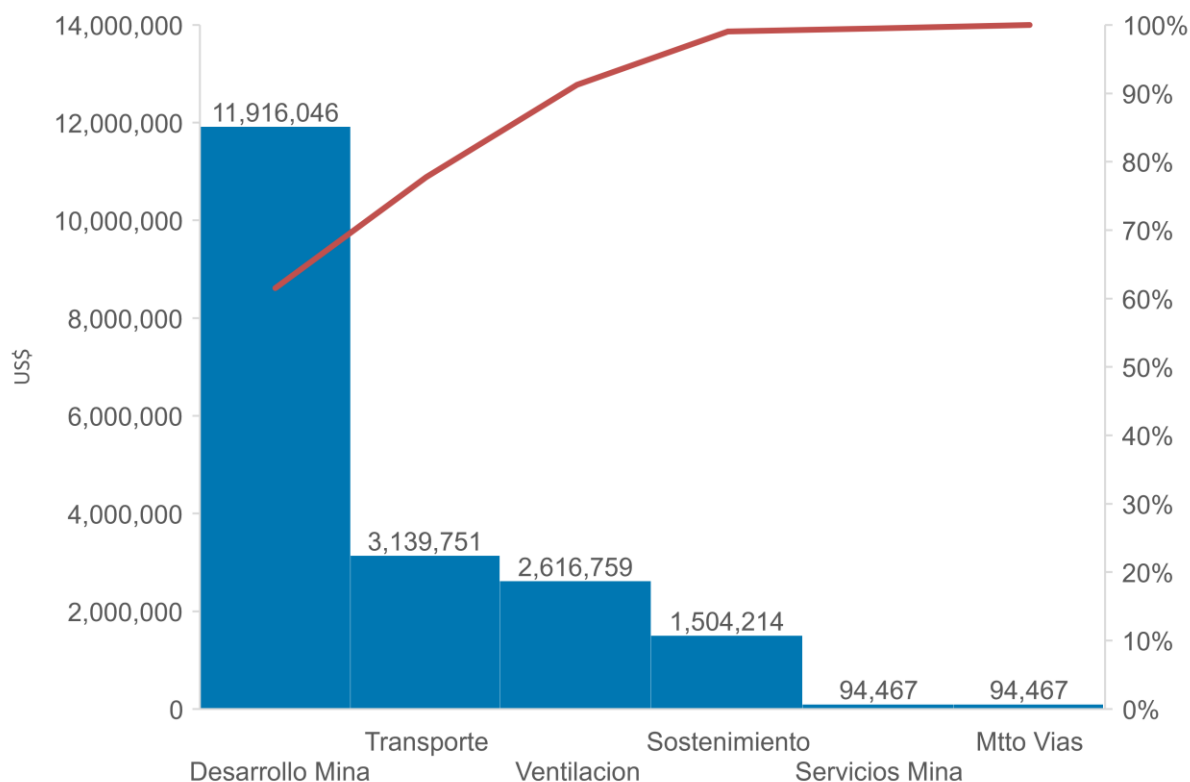


Figura 19. Valorización acumulada por actividades 2012 (mls de US\$)

3.4.4 Producción de Onzas de Plata

En el año 2017, Perú se mantuvo en el segundo lugar como potencia argentífera en el mundo, por detrás de México, acumulando una producción de 147.5 millones de onzas de plata con una participación de 17.3%; la unidad minera Morococha ocupó el puesto 12 en la producción de plata a nivel nacional, representando el 2.30% (2.63 mlls de onzas de plata.)

La producción de Pan American Silver Corp., en el año 2017 fue de 25.6 millones de onzas; la unidad minera Morococha produce como producto principal onzas de plata (Ag) y como subproductos produce concentrados zinc, plomo, cobre y onzas de oro (Au).

La unidad Morococha, en los años 2012 al 2017 aportó el 9% en promedio (ver figura 20) de la producción total de Pan American Silver Corp. representando en promedio 2.4 millones de onzas finas al año, dicha producción depende de factores externos como el precio en el mercado, términos comerciales y factores internos como la ley de cabeza, recuperación metalúrgica y tratamiento de mineral.

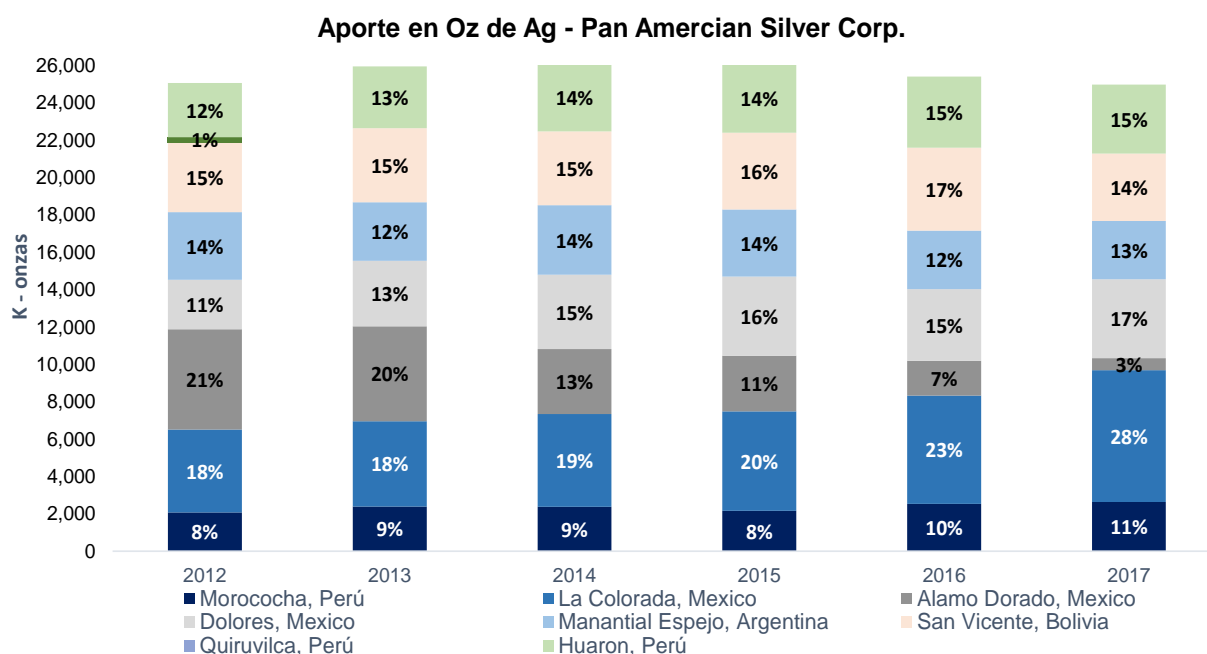


Figura 20. Aporte de onzas de Ag por unidad minera

Tabla 14

Producción de Ag (oz)

	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Tonnes	580,479	621,323	613,781	690,529	729,161	733,584
Ag g/t	142.66	149.23	151.84	124.16	135.34	137.43
Zn%	2.83	3.20	3.60	2.83	3.15	3.01
Pb%	0.94	0.90	1.12	0.71	0.75	0.78
Cu%	0.42	0.49	0.76	1.52	1.44	1.20
Au g/t	0.38	0.43	0.50	0.41	0.22	0.28
Ag Recovery	84.90	87.92	86.39	85.25	88.42	89.23
Zn Recovery	78.77	83.23	77.22	64.05	73.20	79.60
Pb Recovery	71.72	73.56	73.97	58.99	59.96	66.65
Cu Recovery	66.22	71.71	72.21	85.77	82.58	83.87
Au Recovery	43.45	33.33	32.08	38.08	41.21	44.60
Silver Ounces Produced	2,260,497	2,597,559	2,568,523	2,346,603	2,754,065	2,854,139
Zinc Tonnes Produced	12,936	16,435	17,120	12,320	16,751	17,484
Lead Tonnes Produced	3,907	4,084	5,142	2,774	3,187	3,754
Copper Tonnes Produced	1,630	2,196	3,339	8,840	8,388	7,196
Gold Ounces Produced	3,081	2,872	3,168	3,494	2,317	3,822

Fuente: Reporte Anual Pan American Silver Corp.

En la tabla 14, se puede observar que, en el año 2013, la producción de onzas de plata fue 13% más que el 2012 debido al aumento de la ley cabeza de plata, y mayor recuperación, la producción de metales básicos también se benefició con buena recuperación, lo que resultó en un aumento de la producción de zinc y cobre.

En el 2014, la producción de onzas fue 1% menos que el año anterior; sin embargo, el incremento de la producción de cobre fue de 52% y la producción de zinc fue de 4%.

En el 2015, la producción de onzas de plata fue 9 % menos que el año 2014, una las causas fue la baja ley de cabeza, así mismo durante los últimos 4 meses una de las zonas de alta ley de cobre (Manto esperanza), se vio afectado por la inundación de toda la mina, como resultado la producción de zinc disminuyó en 28% y 46% en plomo, sin embargo, la producción de cobre fue de 8,200 toneladas duplicando la producción del año anterior.

El 2016, se tuvo un incremento en la ley de cabeza, una mejora en la recuperación incrementó en 17% las onzas de plata, la producción de zinc y plomo se incrementaron en 36% y 15% respectivamente, mientras que la producción de cobre disminuyó en 5% menos que el año anterior.

El 2017, la ley de cabeza no presentó variación significativa, una ligera mejora en la recuperación, la producción de zinc y plomo se incrementaron en 4% y 15% respectivamente, mientras que la producción de cobre disminuyó en 17% menos que el año anterior.

3.4.5. Producción de mineral principal, coproducto y subproducto

El núcleo principal de negocio de Pan American Silver Corp. es la producción de plata, Morococha contribuye con el 9% de la producción de onzas de Ag, siendo así el producto principal de negocio a consecuencia de ello el cash cost se calcula con este metal, no obstante, también aporta ingresos por la venta de sub productos como son (cobre, plomo, zinc y oro) lo que contribuye a genera mayor ingreso en los estados financieros de la organización.

En la tabla 14, se aprecia la producción del producto principal y de los subproductos.

Tabla 15

Producción de producto principal y sub productos

Processing	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Tonnes Milled	580,479	621,323	613,781	690,529	729,161	733,584
Ag g/t	142.66	149.23	151.84	124.16	135.34	137.43
Zn%	2.83	3.20	3.60	2.83	3.15	3.01
Pb%	0.94	0.90	1.12	0.71	0.75	0.78
Cu%	0.42	0.49	0.76	1.52	1.44	1.20
Au g/t	0.38	0.43	0.50	0.41	0.22	0.28
Silver Ounces	2,260,497	2,597,559	2,568,523	2,346,603	2,754,065	2,854,139
Zinc Tonnes	12,936	16,435	17,120	12,320	16,751	17,484
Lead Tonnes	3,907	4,084	5,142	2,774	3,187	3,754
Copper Tonnes	1,630	2,196	3,339	8,840	8,388	7,196
Gold Ounces	3,081	2,872	3,168	3,494	2,317	3,822

Fuente: Reporte Anual Pan American Silver Corp.

En la figura 21, se puede apreciar que el ingreso por ventas del producto principal tuvo una reducción de 57% a 31% debido a la reducción de la ley de cabeza de plata sin embargo los ingresos por cobre como co- producto se observa un incremento de 12% al 32%, principalmente por el aporte de del manto Esperanza.

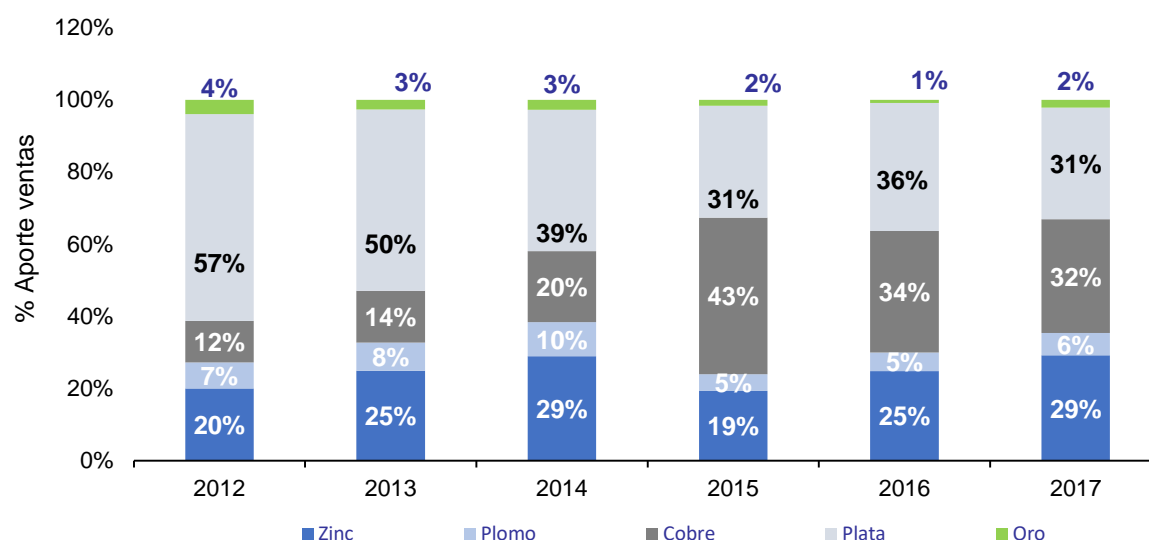


Figura 21. Ventas por producto principal (Ag) y sub productos (Zn, Pb, Cu y Au)

3.4.6. Ley de corte

“Según Rendu, 2014, La ley de corte se puede expresar de manera general como la mínima cantidad de metal que debe estar contenido en una tonelada de material antes de enviarse a la planta, logrando diferenciar entre el material que debe ser enviado a la planta y el que debe ser enviado a los botaderos, buscando la maximización de los ingresos recibidos en un periodo de tiempo” (J. Arteaga, 2015). En ese sentido las operaciones mineras buscan maximizar estratégicamente la rentabilidad y el flujo de caja para respaldar una mina productiva y segura. Sin embargo, a menudo se dedica menos tiempo y esfuerzo para determinar la ley de corte de preferencia que formará la base de una mina sostenible. La selección de una ley de corte debe considerar los objetivos corporativos estratégicos generales, que podrían incluir maximizar el valor actual neto, la base de reservas, el flujo de caja inicial y la sostenibilidad de las fluctuaciones de costos. También debe considerar combinar la geografía y la variación espacial de la distribución de leyes en el yacimiento.

En Morococha la producción de onzas de plata se define según el programa de producción anual en función a la estimación de reservas y recursos minerales; a partir de ello se elabora el plan de producción anual de acuerdo al budget presentado a los directores de la organización, podemos apreciar que, la ley de cabeza promedio en el año 2014 fue 151.84 gr/ton (ver fig. 22), básicamente por la explotación de las estructuras: Ramal Alianza, Morro Solar, Rosalvina, Veta11 y Veta Roma, que tienen altos contenidos de plata, en el 2015 la ley de cabeza es la más baja esto debido que se explotó el Manto Esperanza con alto contenido de cobre con leyes promedio de 1.52% de Cu.

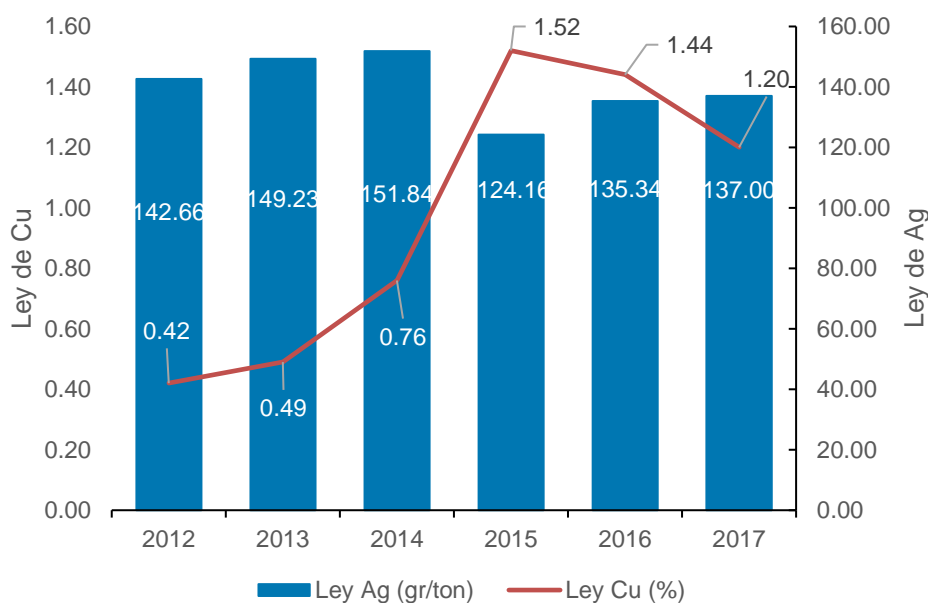


Figura 22. Ley de Ag & Cu

La metodología para estimar la ley de cabeza, se realiza por muestreo representativo en cada stock pile de mineral, el área de geología es el encargado de determinar la ley de cabeza, como una oportunidad de mejora para tener mayor control sobre las leyes de mineral se establecieron canchas de mineral clasificadas por tipo de estructuras donde se puede ver las leyes y la procedencia del mineral (tajo y/o avance) esto con la finalidad de mantener una ley estable de acuerdo al programa de producción del mes y deber estar dentro de los parámetros para el tratamiento metalúrgico .

3.4.7. Precio de metales

El Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (Osinergmin, 2016) informa que en los años 2011 y 2012:

(...) se dio el fin del boom de los 'commodities', explicado principalmente por la desaceleración de la economía china y su cambio de estrategia de desarrollo basado en la demanda externa a uno impulsado por la demanda interna.

(En la figura 23) se aprecia cómo entre el 2012 y 2013 se produjo la transición del periodo de altos precios mineros, a una etapa con una clara tendencia decreciente en los precios, interrumpido por periodos de escasez (principalmente en el caso de

los metales básicos) debido al cierre de minas o interrupciones en la producción de estas. (Osinermin, 2016, pág. 4)

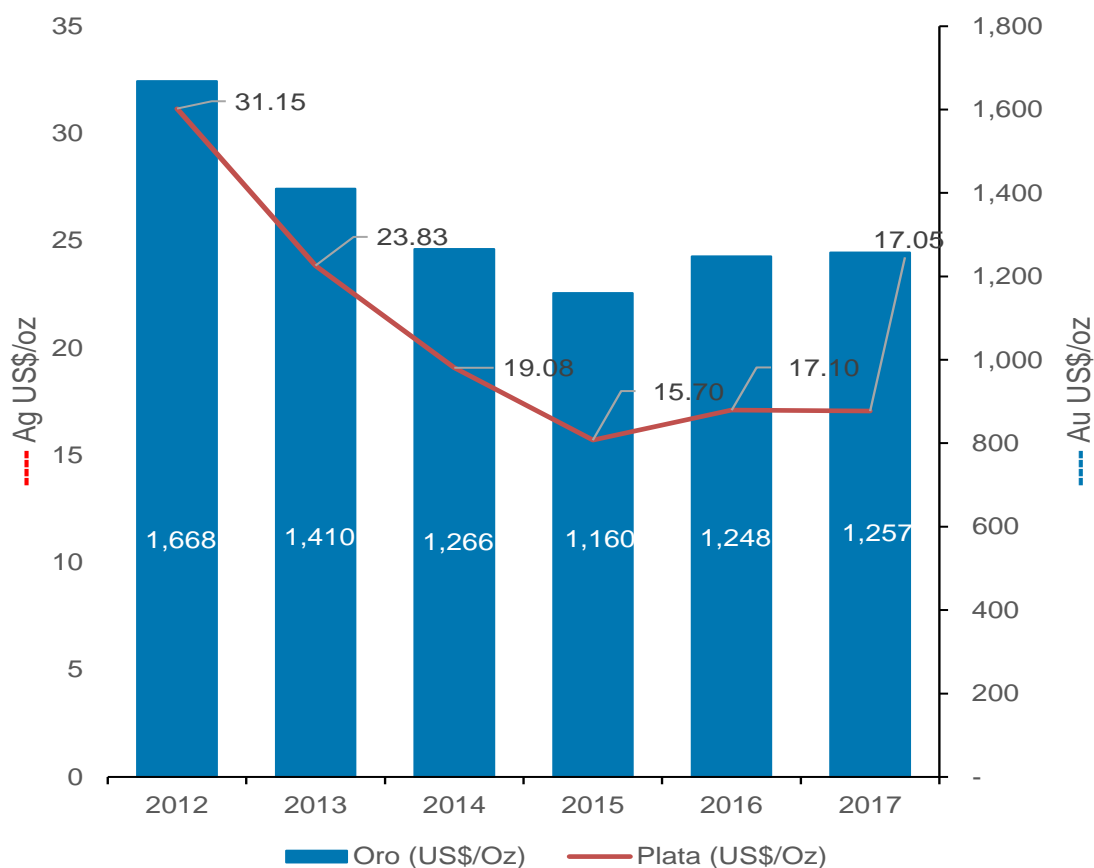


Figura 23. Precio Ag y Au (\$/oz)

En la figura 24 recogemos data de Osinermin (2016):

Es posible realizar una diferenciación entre la dinámica de los precios de los metales preciosos (oro y plata) y de aquellos que no lo son, detallando así que los primeros son adquiridos como reserva de valor y compiten con otros activos financieros que cumplen el mismo propósito; mientras el precio de los segundos está bastante ligado al desempeño y expectativas sobre la economía global. Particularmente, en el caso de los metales preciosos, si bien los precios del oro y de la plata siguieron una tendencia semejante en su caída, el primero tuvo un mejor desempeño, debido a una preferencia manifiesta de la inversión en este metal. (Osinermin, 2016, pág. 5)

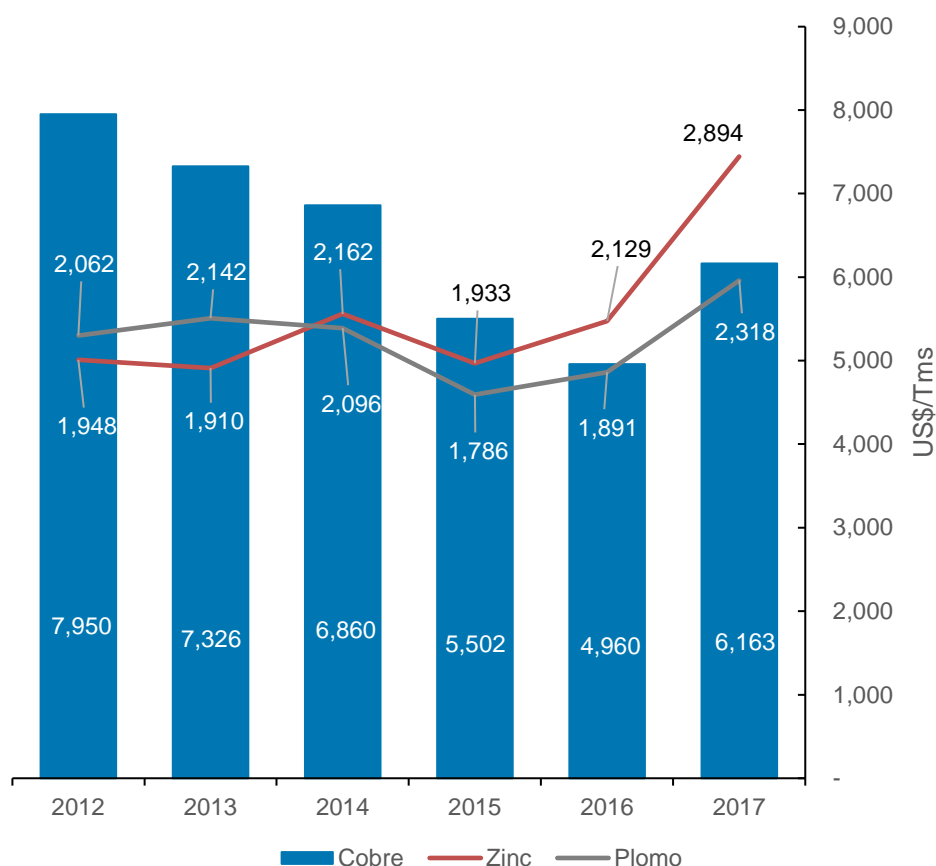


Figura 24. Precio de los metales comunes (\$/Tms)

Si se analizan los precios promedios anuales de los metales en la tabla 15, en el año 2012 éstos crecieron, en su mayoría, a altas tasas anuales, como es el caso de la plata, oro, zinc y cobre; “a ellos siguieron años de menores precios, interrumpidos por episodios de escasez (lo que genera precios más altos), como fue el caso del zinc en el 2014” (Osinermin, 2016)

Posteriormente, en el año 2015 se presentó una caída generalizada de los precios, donde se destaca la caída de los precios de la plata, oro, plomo, zinc y cobre (menos 19.8%). Por otro lado, en el año 2017 se observó una recuperación de los precios de los metales, originada principalmente por el mejor desempeño de la economía de China, junto con la debilidad del dólar y la aplicación de intereses negativos por los bancos centrales de Japón y la Eurozona; además por la demanda especulativa de metales en la segunda economía mundial (China).

Tabla 16

Precio promedio anual de los principales metales US\$/oz

Metal	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Plata *	31.15	23.83	19.08	15.70	17.10	17.05
Oro *	1,668	1,410	1,266	1,159	1,251	1,258
Zinc	1,948	1,910	2,162	1,933	2,129	2,894
Plomo	2,062	2,142	2,096	1,786	1,891	2,318
Cobre	7,950	7,326	6,860	5,502	4,960	6,163

Nota: (*) El precio esta expresado en US\$/TM, a excepción del oro y plata (US\$/oz)

Fuente: Reporte Anual Pan American Silver Corp.

3.4.8. Definición de cash cost

Los costos C1 (cash cost) son una métrica estándar utilizada en la minería del cobre como punto de referencia para denotar los costos en efectivo básicos para ejecutar una operación minera y permitir una comparación en toda la industria. Aunque los productores no están obligados a adherirse estrictamente a ninguna convención, la definición más aceptada es la metodología de Wood Mackenzie.

Tabla 17

Cash cost

C3	C2	C1	Costos de extracción
			Costos de tratamiento
			Flete, fundición y refinación (TC/RC)
			Gastos de administración
			(-) Subproductos
			Depreciación y amortización
			Costos indirectos
			Costos financieros netos

Fuente: Wood Mackenzie

Para el cálculo del cash cost en Pan American Silver Corp., se utiliza la siguiente fórmula resumida del cuadro anterior.

$$\text{Cash Cost} = \frac{\text{Costos en Efectivo}}{\text{Onzas de Plata Pagables}}$$

Fuente: Pan American Silver Corp.

Donde el costo en efectivo incluye los costos operativos (mina, procesamiento, gastos administrativos, fundición y costos de refinería y cargos por embarques, regalías y menos los créditos por subproductos (oro, zinc, plomo, cobre).

Cabe precisar que el cash cost (C1) calculado bajo esta fórmula utiliza las onzas pagables para la división y cuenta los ingresos por otros subproductos como un descuento o crédito al costo de producción.

Para este análisis se utiliza información oficial según el mayor contable de costos y el tratamiento de mineral de forma mensual, cabe precisar que las variables a controlar son los costos de producción, ley de cabeza, recuperación y por otro lado las ventas (NSR) están en función a los términos comerciales que estipulan los cargos de tratamiento y precio promedio de mercado, por lo tanto, la gestión del negocio está en las operaciones mineras (mine on site).

El resultado del cash cost nos permite tomar decisiones operativas de manera rápida y cumplir con el presupuesto establecido.

3.4.9. Cálculo del cash cost

Para el cálculo del cash se consideró el reporte del PBR (Production Basic Report) que es un reporte interno de la empresa, donde las variables más importantes para el cálculo son los costos de operación, créditos por los sub productos y las onzas pagables de plata como producto principal.

A continuación, se muestra la tabla 18 donde se realiza el cálculo del cash cost.

Tabla 18

Cálculo del cash cost

	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Mining Operations						
Tonnes Milled	580,479	621,323	613,781	690,529	729,161	733,584
Ag g/t	142.66	149.23	151.84	124.16	135.34	137.43
Zn%	2.83	3.20	3.60	2.83	3.15	3.01
Pb%	0.94	0.90	1.12	0.71	0.75	0.78
Cu%	0.42	0.49	0.76	1.52	1.44	1.20
Au g/t	0.38	0.43	0.50	0.41	0.22	0.28
Ag Recovery	84.90	87.92	86.39	85.25	88.42	89.23
Zn Recovery	78.77	83.23	77.22	64.05	73.20	79.60
Pb Recovery	71.72	73.56	73.97	58.99	59.96	66.65
Cu Recovery	66.22	71.71	72.21	85.77	82.58	83.87
Au Recovery	43.45	33.33	32.08	38.08	41.21	44.60
Silver Ounces Produced	2,260,497	2,597,559	2,568,523	2,346,603	2,754,065	2,854,139
Zinc Tonnes Produced	12,936	16,435	17,120	12,320	16,751	17,484
Lead Tonnes Produced	3,907	4,084	5,142	2,774	3,187	3,754
Copper Tonnes Produced	1,630	2,196	3,339	8,840	8,388	7,196
Gold Ounces Produced	3,081	2,872	3,168	3,494	2,317	3,822
<u>Payable Production</u>						
Silver Ounces	1,927,027	2,221,184	2,184,538	2,005,529	2,310,098	2,404,917
Zinc Tonnes	10,739	13,730	14,240	10,185	13,953	14,672
Lead Tonnes	3,668	3,833	4,836	2,599	3,001	3,526
Copper Tonnes	1,523	2,060	3,051	8,032	7,556	6,769
Gold Ounces	2,482	2,013	2,345	1,491	794	2,265
Materials	6,686,456	8,968,112	10,310,181	8,556,818	6,226,610	7,807,234
Payroll Costs	10,544,351	11,891,472	11,265,981	8,603,832	6,213,687	6,564,781
Contractors	19,365,703	11,851,920	10,201,814	9,849,761	10,080,479	11,331,118
Mine Otros - Miscellaneous	-442,911	-288,836	-42,220	-57,176	-25,822	-57,118
<u>Mine</u>	36,596,510	32,711,504	31,777,976	27,010,411	22,520,777	25,703,133
Processing	3,957,468	4,096,386	3,987,496	3,791,244	3,528,124	3,665,091
Planning & Engineering	1,808,885	1,516,745	1,628,392	1,192,410	1,045,055	1,246,587
Geology	1,633,169	1,139,068	1,514,706	1,429,116	1,009,458	1,208,422
Safety & Environ	2,458,465	2,645,594	2,156,566	1,669,391	1,163,423	1,719,840
General Maintenance	5,883,867	7,206,091	7,630,061	7,425,233	7,624,395	8,358,765
Electric System	4,297,308	3,864,740	5,091,372	5,390,154	5,314,911	5,697,313
Camp Administration	8,619,872	9,005,971	8,770,253	7,731,850	6,368,657	6,875,036
<u>Production Costs</u>	65,255,544	62,186,099	62,556,822	55,639,809	48,574,800	54,474,187
Transaction Costs	85,849	75,333	68,805	63,860	41,387	51,923
Mining Concessions	61,696	63,370	90,238	68,193	63,879	63,209
Administrative Insurance+Legal +PAMA	2,508,562	2,320,491	1,990,622	1,920,465	2,376,106	1,941,346
Management Fee Perú	3,686,723	3,982,630	4,112,578	3,554,337	3,860,711	4,261,873

Management Fee Canada	321,079	350,882	421,018	362,065	210,919	373,074
Shipping & Selling	1,839,391	2,277,557	1,797,091			
<u>Operation's Costs</u>	73,758,844	71,256,363	71,037,174	61,608,729	55,127,802	61,165,612
Miscellaneous Costs	-270,138	-541,892	-1,133,425	-786,607	-601,375	-630,057
<u>Production Costs</u>	73,488,706	70,714,471	69,903,750	60,822,122	54,526,427	60,535,555
TC / RC Costs	15,716,594	19,725,654	20,268,279	34,480,361	26,115,603	19,627,511
Mining Royalties + IEM	789,845	816,632	839,232	656,884	1,275,926	2,296,320
<u>Subtotal Cash Costs</u>	89,995,145	91,256,756	91,011,261	95,959,367	81,917,956	82,459,387
Zinc Credit	-20,916,427	-26,176,827	-30,814,519	-19,479,049	-29,089,468	-42,703,321
Lead Credit	-7,545,604	-8,211,901	-10,154,434	-4,618,233	-5,599,297	-8,207,424
Copper Credit	-12,121,899	-15,022,971	-20,799,098	-44,007,273	-36,523,821	-41,524,564
Gold Credit	-4,165,831	-2,833,221	-2,966,711	-1,727,975	-972,422	-2,860,504
<u>Cash Costs</u>	45,245,385	39,011,837	26,276,500	26,126,837	9,732,948	-12,836,427
<u>Cash Cost per Ounce</u>	23.48	17.56	12.03	13.03	4.21	-5.34

Fuente: Reporte Anual Pan American Silver Corp.

Según la tabla 18, podemos ver que los créditos por cobre se incrementan en los tres últimos años principalmente por la ley del manto Esperanza, por otro lado, también el zinc tiene tendencia positiva respecto a los ingresos, sin embargo, los costos de operación se redujeron en los tres últimos años, lo que conllevó a una reducción del cash cost durante el periodo de estudio.

3.5 Factores identificados en la reducción del cash cost

Los principales factores que influyeron en la reducción de costos en la unidad minera Morococha fueron los siguientes:

- Método de explotación: fue uno de los factores más importantes que se identificó durante la etapa de investigación, que consistió en el cambio de método de minado de cut & fill hacia sublevel stoping siendo el principal factor en la reducción del cash cost (ver tabla 19).
- Gestión de contratistas: Reduciendo la participación de empresas contratistas en las principales actividades de explotación y desarrollo (ver figura 19).
- Gestión de recursos humanos: Cambio de sistema de trabajo del personal empleado y funcionario de 14x7 a 5x2, recategorización de personal obrero a empleados (ver tabla 9)

- Materiales utilizados en mina: Reemplazo de la dinamita por el ANFO, lo que permitió una reducción del 60 % del consumo de la dinamita, con lo cual se generó un ahorro en costos por diferencias de precios en menos 155% por cada kilo consumido.

Capítulo 4: Identificación de Estrategias para minimizar el cash cost

En la industria minera, la gestión de costos es la estrategia competitiva que mayor garantía puede ofrecer para lograr resultados positivos en un sector que depende directamente de los precios de los metales.

Según el análisis del presente caso, en el periodo de estudio durante los años 2015 y 2017 se generaron resultados sólidos operativos y financieros en la unidad minera de Morococha. En términos de rentabilidad el cash cost en el 2012 fue 23.48 US \$/oz y el año 2017 fue menos 5.34 US \$/oz a un precio de 17.1 US \$/oz de plata por debajo del promedio de los cuatro últimos años fue 22.4 US \$/oz.

Para ello se establecieron planes estratégicos en optimización de los recursos como personal, equipos, servicios e infraestructura adecuada, en el periodo 2013 al 2016 (ver tabla 19).

Tabla 19

Línea de tiempo de las estrategias aplicadas en la unidad minera

Año	Estrategia
2012	<ul style="list-style-type: none"> • Método de explotación cut & fill.
2013	<ul style="list-style-type: none"> • Reemplazo de contratistas por personal de compañía en labores de desarrollo y producción. • Inicio de prueba piloto del método sublevel stoping con variante en la preparación en las vetas Isabel, Elizabeth y Alianza). • Implementación de bonos de seguridad y producción. • Implementación del sistema de trabajo 5 x 2 para los empleados en las áreas de soporte (administración y operaciones).
2014	<ul style="list-style-type: none"> • Segunda prueba piloto del método sublevel stoping con variante en la preparación en las vetas Morro Solar, Lorena y Manto X.
2015	<ul style="list-style-type: none"> • Implementación de la planta de concreto para optimizar el sostenimiento con shotcrete. • Implementación del método sublevel stoping en 47% del total de la producción (Manto Esperanza, Victoria, Ramal Alianza, Manuelita, Paola, Muchcapata y San Gerardo). • Reemplazo de dinamita por ANFO. • Implementación del área de contratos.
2016	<ul style="list-style-type: none"> • Incremento de la producción por el método sublevel stoping en 78% (Veta Milet, Kris, Yesenia, Jasmín y Veta 10).
2017	<ul style="list-style-type: none"> • Incremento de la producción por el método sublevel stoping en 100% (Manto Rosita, Veta Melisa, Carolina, Roma, Veta 5, Veta 6 y Veta 11).

Fuente: Pan American Silver Corp.

Elaboración: Propia

En la parte administrativa se implementó el sistema de trabajo de 5 x 2, cinco días trabajados por dos días de descanso para reducir un grupo de empleados que vienen laborando en las áreas de soporte principalmente las áreas administrativas, reducción de contratistas involucrados directamente en el desarrollo de mina, aprovechando la mano de obra del personal que dejaron la explotación convencional que significa para la empresa costo fijo.

En la gestión operativa se rediseñó el método de minado convencional de alto costo, inversiones en la mecanización lo que resultó en costos estructurales más bajos en toda la fase unitaria de operación.

Este resultado para Morococha no fue solamente debido a los mayores precios de la plata, sino también refleja reducción significativa en los costos operativos que resultó de un esfuerzo de varios años para repensar y reconfigurar en operaciones de menor costo a través de estrategias que la empresa fue aplicando de manera progresiva. Para la reducción de costos se requiere crear valor a través de la excelencia en el descubrimiento, la ingeniería, la innovación y el desarrollo sostenible.

4.1

4.1 Identificación de estrategias

4.1.1 Implementación del método de explotación sublevel stoping con variante en la preparación.

Desde el año 2013, la unidad Morococha viene explotando por el método de sublevel stoping con variante en la preparación, dicho método está orientado básicamente a incrementar el volumen de producción, reducción de costos y reducir los índices de accidentabilidad por caída de rocas.

El diseño del minado contempla ejecutar una rampa principal de 4m x 4 m con gradiente de menos 13% para definir los bancos de 10m, así mismo se realizan accesos de 3.5m x 3.5m con gradiente de 5% para crear los subniveles en el piso superior e inferior, la perforación se realiza de acuerdo con el diseño entregado por parte del área de planeamiento e ingeniería, utilizando equipos Raptor y Simba SD-1 que permiten perforar taladros negativos y positivos.

La limpieza y extracción de mineral se realiza desde el subnivel base, utilizando scoop diésel de 4.2 yd³ con telemando, dichos materiales son acarreados hasta los echaderos principales (tolvas hidráulicas) luego son transportados con volquetes de 25 ton para ser llevados hacia la planta concentradora.

Una vez realizada la limpieza de mineral se utiliza relleno detrítico proveniente de los desarrollos y preparaciones para continuar con el ciclo de minado.

La importancia de aplicar sublevel stoping con variante en la preparación en vetas angostas se define por obtener lo siguiente:

- Mayor Productividad.
- Menor costo de operación.
- Recuperación de mineral superior al 90%.
- Producción sostenible debido que el minado permite desarrollar el ciclo de minado de manera continua en los blocks de producción.
- Menor exposición al personal durante la limpieza.

La diferencia del método aplicado en la unidad Morococha respecto a otras compañías mineras de similares características, se sitúa que el diseño es de adecuación propia, debido a los parámetros de las vetas como ancho, buzamiento (76°); durante la implementación se realizó pruebas de minado donde se logró determinar una variante en la preparación del diseño del método tradicional sublevel stoping en vetas angostas, el método aplicado consiste en explotar bloques de 25m de longitud desde los extremos hacia la parte central, para luego ser rellenado con desmonte y continuando con la secuencia de minado, dejando pilares naturales de 5m en los tramos de estructuras de baja ley lo que permite seguir con la explotación del siguiente block, una de las ventajas del método sublevel stoping con variante en la preparación es que no se realiza el bypass para la extracción de mineral, lo que permite reducir costos en la preparación de labores. (ver anexo 5)

En la tabla 20 se puede apreciar la diferencia entre los parámetros de diseño en las diferentes operaciones mineras, resaltando que el diseño es propio de cada compañía en estudio.

Tabla 20

Benchmarking método de minado sublevel stoping en Perú – 2016

Empresa	Unidad	Método de minado	Altura de banco	Tipo de roca	Ancho de veta	Sección de labor	Costo de producción
Volcán Compañía Minera SA	Andaychahua	Sublevel Stoping	15 m	25-35 RMR	2.80m	RA: 4m x 4m, SN: 3.5m x 3.5m	20.93 \$/Ton
Hochschild Mining PLC	Inmaculada	Sublevel Stoping	16 m	40-50 RMR	5.80m	RA: 4m x 4m, BP: 4m x 4m, SN: 3.5m x 3.5m	23.14 \$/ton
Compañía Minera Raura SA	Raura	Sublevel Stoping	20 m	53 RMR	3.50m	RA: 4m x 4m, BP: 4m x 4m, SN: 3.5m x 3.5m	21.93 \$/Ton
Pan American Silver Corp.	Morococha	Sublevel Stoping con variante en la preparación	12 m	45-50 RMR	1.09m	RA: 4m x 4m, ACC: 3.5m x 3.5m, SN: 3.5m x 3.5m	26.29 \$/Ton
Compañía de Minas Buenaventura SAA	Uchucchacua	Sublevel Stoping	10 m	51-60 RMR	3.00m	RA: 4m x 4m, BP: 3.5m x 3.5m, VE: 3.5m x 3.5m, SN: 3.5m x 3.5m	13.87 \$/Ton

Fuente: Seminario de Taladros Largos Atlas Copco 2016

Elaboración: Propia

En la tabla 20, se observa el benchmarking entre las principales unidades mineras del país, donde uno de los parámetros claves en el diseño es el ancho de veta, claramente se puede apreciar que Pan American Silver Corp. tiene las vetas más angosta respecto a las otras compañías, esta variable influye directamente en el ancho de minado donde la dilución es un factor muy importante a controlar y evitar que la ley de cabeza disminuya, este parámetro es propio del yacimiento que obliga ser más eficiente en el cumplimiento del diseño de minado.

4.1.2 Cambio de método de explotación

Con el cambio del método de explotación sublevel stoping con variante en la preparación, en la unidad Morococha una las estrategias fue buscar una variante en este tipo de minado, donde el costo de preparación fue 1.43 \$/ton, esto explica que toda la preparación de los subniveles se avanzaron sobre una estructura mineralizada de 0.8m hasta 1.2m de potencia, con leyes promedio de 140 gr/ton de Ag, 3.1% Zinc, 0.87% de Pb y 0.97% de Cu, este costo de preparación y sostenimiento fue cubierto por el valor del mineral extraído.

Por otro lado, el método tradicional de sublevel stoping que se aplica en muchas operaciones en la minería peruana, consiste en realizar labores paralelas al subnivel y ventanas cada 50m para realizar la limpieza de mineral, en Morococha es un caso peculiar donde no se ejecutó este laboreo para la explotación, el minado se realizó en bloques con una longitud de 25m cada uno y dejando pilares en zonas no económicas como pilares naturales y control del macizo rocoso.

El uso del explosivo ANFO (nitrato de amonio y diésel) tiene impacto directo en el costo de voladura, por otro lado, el costo de relleno también es bajo debido a que el desmonte es utilizado de las labores de desarrollo y preparación.

Tabla 21

Costo unitario método sublevel stoping 2016 (US\$/Ton)

Costos unitarios	\$/Ton
Costo de perforación	5.35
Costo de voladura	1.44
Costo limpieza y acarreo	5.76
Costo de preparación	1.43
Costo de desarrollo	5.50
Costo relleno detrítico	3.88
Costo servicios	1.61
Costos administrativos	1.32
Total	26.29

Fuente: Pan American Silver Corp.

Como resultado de la gestión de operaciones los costos de producción disminuyeron de forma considerable debido principalmente al cambio de método de explotación y reingeniería en los procesos de mina como la perforación, sostenimiento, voladura, limpieza y extracción; estos cambios tuvieron impacto directo en el incremento de la productividad minera (ver tabla 21).

En virtud de este cambio se reemplazaron algunos materiales que tienen mayor impacto en el costo de mina, donde se puede nombrar el cambio de dinamita por el uso del ANFO, madera por pernos mecánicos, del mismo modo en el sostenimiento se utilizó el shotcrete para acelerar el ciclo de minado y relleno consolidado lo que permite recuperar los pilares económicos en un 100% (Manto Esperanza) y dejar estabilizado el macizo rocoso.

Otro aspecto que considerar es el cambio de equipos convencionales por equipos mecanizados en las actividades de perforación, sostenimiento y limpieza, incrementando la productividad ton-hg día y el rendimiento de los equipos mecanizados.

4.1.3 Implementación de la planta de concreto

Como una estrategia para optimizar el sostenimiento con shotcrete de vía seca hacia vía húmeda, nace la necesidad de contar con una planta de concreto para producir shotcrete y darle mayor rapidez al ciclo unitario de las labores de preparación, avance y explotación por el método de minado tipo breasting principalmente en las estructuras tipo manto y/o cuerpos mineralizados; además la planta produjo relleno consolidado, especialmente para el método de minado de sublevel stoping en el manto esperanza, este mecanismo permitió la recuperación de mineral al 100%.

Para lo cual realizaron una licitación, con la finalidad de seleccionar a la empresa especializada para el suministro de shotcrete y concreto; dicho contrato era mínimo por tres años que incluía construcción de infraestructura, equipos, laboratorio, mano de obra, impuestos y utilidades; la empresa que ganó la licitación fue **ROBOCON SERVICIOS S.A.C.** La planta de concreto es de fabricación nacional de las empresas Fysem Ingenieros S.A.C. y Tecnomecánica Servicios S.A.C., básicamente consta de una planta pesadora de 50 m³/h, automatizada con consola de mando y un mezclador pivotante de 4 m³ de capacidad.

La empresa ganadora realizó una inversión para la ejecución de este contrato por un monto de US\$ 500,000 aproximadamente, cabe mencionar que estos equipos no son propiedad de la compañía; se tiene un contrato a precios unitarios (US\$/m³), la producción de shotcrete y concreto está en función a especificaciones técnicas de diseño requeridas por la operación minera.

- Determinación de la humedad de acuerdo con la Norma Técnica Peruana NTP 339.185 y/o ASTM C 566.
- Determinación del peso específico y absorción de acuerdo con la Norma Técnica Peruana NTP 400.022 y/o ASTM C-128.
- Muestreo de la mezcla de acuerdo con la Norma Técnica Peruana NTP 339.036 y/o ASTM C-172.
- Determinación de la resistencia a la compresión de testigos en moldes plásticos de 6 x 12” muestreados en planta e interior de mina, ensayadas de acuerdo con la Norma Técnica Peruana NTP 339.034 y/o ASTM C-39.

Con la construcción de la planta de concreto, se permitió generar las siguientes ventajas:

- Recuperación del mineral al 100% por el método de minado sublevel stoping utilizando relleno consolidado, específicamente en los cuerpos mineralizados.
- Mayor avance en el ciclo unitario del proceso minero utilizando shotcrete, generando mayor desarrollo y preparación en el laboreo minero.
- Minimizar el riesgo por caída de roca debido a la exposición del personal en la línea de fuego, el sostenimiento se realiza con equipo robot tipo Alpha en un primer caso hasta alcanzar la resistencia mínima de 250 Mpa.
- Mecanización del sostenimiento para garantizar el ciclo de minado y ser sostenible la producción y desarrollo de mina al mismo tiempo.
- Menor costo de producción respecto al tipo de sostenimiento vía seca.

4.1.4 Capex de sostenimiento

También llamado inversiones en bienes de capital o capital expenditures (por sus siglas en inglés) son las inversiones que se realizan con la finalidad de mantener las operaciones existentes a los niveles de producción actuales.

En el caso específico de la unidad Morococha hay una inversión permanente que puede ser llamada corriente para mantener el nivel de producción, esto es imprescindible para renovar algunos equipos, reemplazo de equipos que cumplen su vida útil y mejoras en infraestructura; esta inversión se justifica con retorno en los resultados financieros (ver tabla 22).

En el año 2012 el CAPEX de sostenimiento fue \$ 21.03 millones, el gasto de capital fue principalmente para mejoras en la infraestructura de desarrollo de mina a largo plazo, exploración con perforación diamantina (35,000 m) en las vetas de: Morro Solar, Alianza, Gordiano, Victoria, Manto Victoria Piso, Daniela, Muchcapata, Don Pedro, Desarrollo de 1,100 m en el cruce 500 en la zona Yacumina , para explorar las vetas Cuña, California y Buenaventura, desarrollo de rampa 1,684 m en la zona

de Alapampa y Codiciada, construcción taller de equipo pesado nivel 310 Codiciada, adquisición de ventiladores, bombas y locomotoras.

Además, la compañía invirtió \$ 6.4 millones en capital la construcción de nuevas instalaciones en la zona Golf (campamentos, talleres, almacenes, comedor principal y oficinas).

En el año 2013 el CAPEX de sostenimiento fue \$ 17.6 millones, debido a la construcción 2400 m en el crucero 500 en la zona Yacumina , para explorar las vetas Cuña, California y Buenaventura, desarrollo del crucero 400 para integrar hacia la rampa 728, desarrollo de rampas en la zona de Alapampa y Codiciada, construcción de chimeneas RB para mejorar el sistema de ventilación, adquisición de motores para scoop y trabajos de exploración con perforación diamantina (29,000 m) en las vetas de: Morro Solar, Lorena, Elizabeth y Daniela.

En el año 2014 el CAPEX de sostenimiento se totalizó \$ 10.2 millones, la mayoría de los gastos de capital fueron en el desarrollo de la mina en la zona Alapampa, construcción chimenea para ventilación RB y ore pass, exploración con perforación diamantina (16,000 m) en las vetas Alianza y Morro Solar, mejoras de planta, reparación y compra de equipos.

En el año 2015 el CAPEX de sostenimiento fue \$ 6.4 millones, debido a la reducción de exploración con perforación diamantina metros, reparaciones de equipos, ampliación de comunicación radial en interior mina, construcción de chimeneas RB, desarrollo profundización y construcción del sistema de bombeo nivel 510 zona Manuelita.

En el año 2016 el CAPEX de sostenimiento se totalizó \$ 6.4 millones, debido al aumento del desarrollo de exploración cerca de la mina, adquisiciones de equipos, construcción de chimeneas RB y desarrollo en la profundización nivel 510 de la zona Manuelita.

En el año 2017 el CAPEX de sostenimiento se totalizó \$ 16.6 millones, debido al aumento de la exploración cercana a la mina, las adquisiciones de equipos: Scoop, jumbos para perforación de taladros largos, compra de ventiladores, construcción de chimenea RB y desarrollo en la zona Manuelita.

Cabe mencionar que las inversiones durante el periodo de estudio fueron CAPEX de sostenimiento para mantener el nivel de producción de la mina.

Tabla 22

Capex de sostenimiento

	2012 (US'000)	2013 (US'000)	2014 (US'000)	2015 (US'000)	2016 (US'000)	2017 (US'000)
Geología	3,300	3,000	1,600	1,500	908	2,176
Mina	11,404	7,489	3,181	2,143	4,624	6,381
Planta	1,928	1,935	2,793	678	25	325
Mantenimiento & Energía	1,373	1,927	1,830	1,480	810	1,577
Sistemas	155	380	90	123	40	20
Seguridad & Medio Ambiente	480	397	140	35	0	148
Administración	2,022	2,491	290	260	0	0
Reclamaciones	368	0	281	200	0	0
Laboratorio	0	0	0	0	0	58
TOTAL	21,030	17,619	10,205	6,420	6,407	10,685

Fuente: Reporte Anual Pan American Silver Corp. 2012 - 2017

A continuación, explicaremos las principales inversiones que se realizaron en el proceso de mecanización de las operaciones mineras.

4.1.4.1. Adquisición de equipos mecanizados

Con el cambio de política de minado de cut & fill a sublevel stoping con variante en la preparación, se dejó de usar las perforadoras tradicionales neumáticas hacia equipos de perforación tipo jumbos, bolter, simba y/o raptor. Los equipos modelo simba y/o raptor son diseñados para realizar perforaciones tipo vertical y radial según el buzamiento de las estructuras, el costo de estos equipos en promedio es entre US\$ 300,000 y US\$ 800,000 respectivamente. Los equipos de perforación tipo jumbos son utilizados para realizar perforaciones horizontales específicamente en la etapa de preparación y desarrollo de labores mineras, dando pase a los equipos de taladros largos según el ciclo de minado.

Respecto a los equipos de sostenimiento small bolter el costo asciende en promedio a US\$ 525,000 sin embargo la productividad supera los 150 pernos instalados por día, de esa manera garantizaron el desarrollo, preparación y explotación de mina.

Por otro lado, se reemplazó la flota de equipos de limpieza específicamente equipos LDH scoop de 2.2 yd³ hacia 4.2 y 6 yd³ respectivamente, con este cambio se mejoró la productividad. Los costos de los equipos superan los US\$ 480,000 y US\$ 580,000.

El reemplazo de los equipos de perforación y sostenimiento tienen impacto directo en la productividad y en la reducción de costo de explotación para contribuir en los resultados financieros de la unidad minera.

4.1.4.2. Construcción de infraestructura y desarrollo de mina

La infraestructura en las operaciones mineras es clave para ser eficiente en la reducción de costos, el desarrollo de estos trabajos está en función al planeamiento de mediano y largo plazo del negocio minero, en la unidad Mococho podemos nombrar algunas oportunidades de mejoras que se realizó desde el año 2012 hacia el 2017.

El desarrollo de labores mineras es considerado activo intangible de una empresa, a lo largo de los años se construyeron labores principales tipo rampas, cruceros, cámaras para el sistema de bombeo, subestaciones eléctricas, talleres para equipo pesado, comedores, labores de profundización y rehabilitación de pique con el objetivo de garantizar el LOM de la mina, dichos trabajos están relacionados con el modelo geológico y el planeamiento de minado.

Por otro lado, el 2015 optimizaron el sistema de ventilación con la construcción de chimeneas tipo Raise Boring de 572m con una inversión de US\$ 580,000 para mejorar el circuito de ventilación en toda la operación minera, con ello se garantizó los parámetros mínimos de calidad y velocidad de aire (25 m/min) para el personal propio y equipos diésel según los requerimientos de la legislación minera, bajo estos estándares la empresa obtuvo la autorización para el uso del ANFO en labores de desarrollo y explotación, por parte del MINEM.

Finalmente, otra de las mejoras en el ciclo operativo fue la implementación de 10 tolvas hidráulicas con una inversión de US\$ 100,000 para evitar el doble manipuleo de los equipos de LDH durante el carguío en cámaras de acumulación, la construcción de tolvas permitió acelerar el ciclo de extracción de mineral mediante los volquetes de 25 toneladas hacia la planta concentradora, los costos de cada tolva demanda una inversión de US\$ 10,000 aproximadamente pero el ahorro de horas de trabajo de los equipos representa el 28 % aproximadamente durante una jordana de trabajo.

Según la Tabla 22 se puede apreciar que el 50% de las inversiones corresponde a desarrollo de mina e infraestructura en cada periodo de año, básicamente por capex de sostenimiento para mantener el nivel de producción en la operación minera.

4.1.5 Gestión de contratistas

Como estrategia para reducir el costo en contratistas se estableció planes de reducción de costo e incremento de productividad, el 95% de los trabajos de preparación y desarrollo de mina estuvieron ejecutados por empresas contratistas donde gran parte de los costos fijos estuvieron estipulados dentro del contrato, además los gastos generales fueron 20.5% y 10% de utilidades incluido en las partidas de precios unitarios, por otro lado, todos los trabajos de preparación, desarrollo y explotación se ejecutaron con precios unitarios, frente a ello se realizó un análisis económico y se decidió eliminar estas actividades por empresas contratistas para ser ejecutadas por el personal de compañía al 100%, dicho cambio permitió incrementar la productividad e incremento en la producción y desarrollo de mina.

Como parte de la estrategia fue crear el área de contratos, siendo su responsabilidad la de optimizar, uniformizar y centralizar los contratos de las empresas que prestan servicios en las operaciones de mina

Cabe mencionar que los años 2012 el área de mina trabajó con 14 empresas contratistas que prestaban servicios en las diferentes actividades de las operaciones mineras, dentro de ellas 02 empresas ejecutaron las actividades de explotación y desarrollo minero las cuales representaron el mayor costo por los trabajos

realizados, mientras las demás prestaron servicios de transporte, alquiler de equipos y trabajos especiales; sin embargo este número se redujo el año 2013 en 10 empresa, mientras que desde el año 2014 al 2017 se trabajó con 8 empresas contratistas ninguna de ellas involucradas en producción y desarrollo , las actividades que representaron el mayor costo fueron transporte de mineral, sostenimiento, construcción de raise boring y alquiler de equipos para las actividades de perforación, limpieza y sistema de bombeo.

Como resultado de esta estrategia en el año 2013 los gastos generales se redujeron en \$2'324,866 anualmente con respecto al año 2012, cabe mencionar que los siguientes años disminuyeron progresivamente por reducción del número de empresas especializadas, en el 2015 con la implementación del área de contratos se tuvo un mejor control de los contratos por los servicios prestados. (ver figura 25).

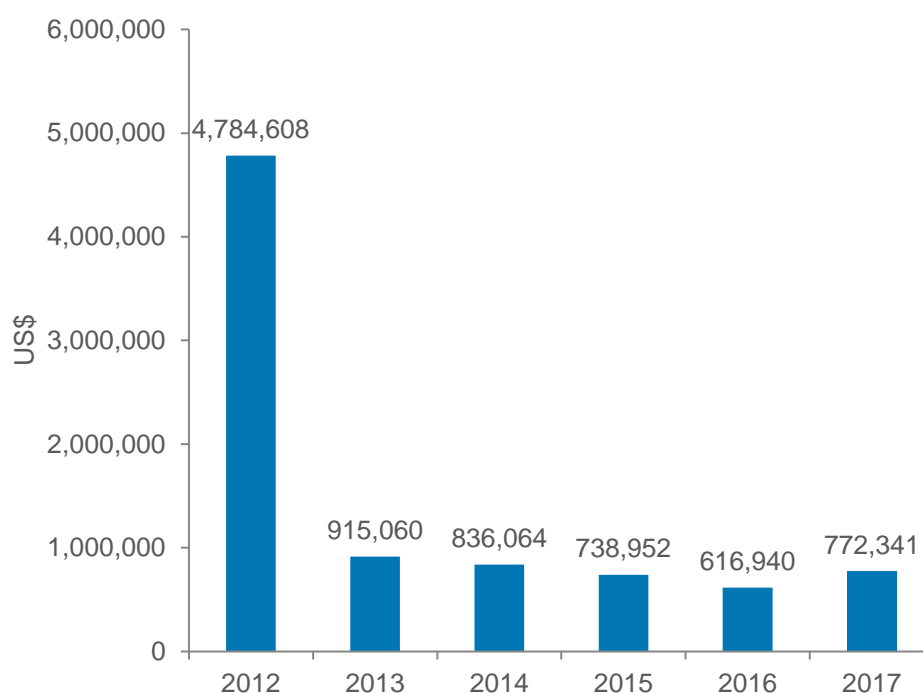


Figura 25. Gastos Generales de Empresas Contratistas (US\$)

En el 2017 las actividades que demandaron mayores gastos fueron las actividades de sostenimiento, transporte, bombeo y otros, las dos primeras estuvieron en función

al programa de producción y desarrollo de mina, mientras el sistema de bombeo estuvo en función de los proyectos de profundización, dichos costos fueron considerados en el presupuesto anual.

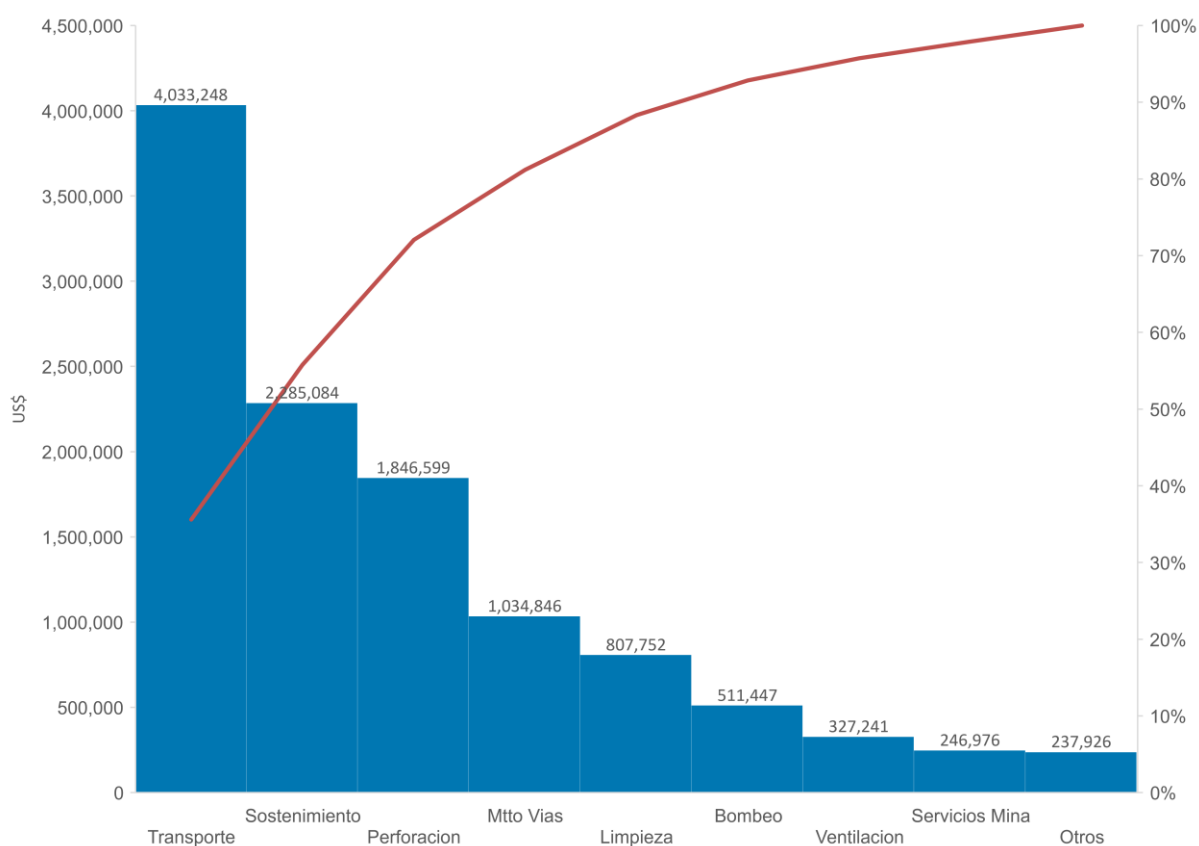


Figura 26. Valorización acumulada por actividades 2017 (US\$)

En la figura 26, se puede apreciar que el mayor costo corresponde al transporte, seguido por el sostenimiento y perforación, en el caso del transporte se trabajó con precios unitarios, dicho incremento fue por el aumento de producción e incremento de precios unitarios, el sostenimiento está directamente relacionado al consumo de shotcrete en la operación minera, llegando a superar los 2000 m³ mensual; por otro lado los aceros utilizados en la perforación fue tercerizado a precio unitario con el objetivo de llevar un mejor control en el consumo de brocas y barras de perforación.

4.1.6 Gestión de recursos humanos

El año 2012 la empresa trabajó bajo el sistema de 14 x 7 a todo nivel, que incluían a los trabajadores obreros y empleados, en el 2013 como estrategia para reducir costos de planilla, la empresa decidió implementar el sistema de trabajo 5 x 2 en las áreas de administración, planeamiento, geología, logística, planta, mantenimiento y operaciones mina, dicho sistema fue aplicado principalmente a los empleados profesionales, como resultado del cambio de sistema se logró reducir 200 personas en toda la unidad minera, este cambio nace de la necesidad de ahorrar costo fijos por mano de obra, por otro lado es preciso indicar que el 80 % de trabajadores radicaban en las ciudades de Lima y Huancayo lo que facilitó efectuar el cambio de sistema de trabajo, el ahorro de costos se refleja en la reducción del personal, sin embargo otro de los ahorros fue dejar de pagar las horas extras y feriados durante el todo el año.

Por otro lado, el año 2013 la empresa implementó el bono de seguridad del 9% y asistencia perfecta 5% del salario básico a todos los trabajadores en su conjunto, desde los obreros hasta los funcionarios, dicha estrategia permitió motivar a los trabajadores a reducir los accidentes incapacitantes y evitar ausentismo durante los días de trabajo, logrando alcanzar las metas de producción y seguridad mensualmente, cabe indicar que el bono de seguridad se aplicó por zonas de operación, de no lograr el objetivo este quedaría sin efecto.

Con la implementación de los bonos se tuvo baja rotación de personal en todas las áreas operativas, logrando involucrar a los trabajadores y cumplir las metas de producción.

4.1.7 Gestión de seguridad

La gestión de seguridad en la unidad minera Morococha tuvo impacto directo en el resultado operativo y financiero de la organización, durante los últimos años se trabajó en el cambio de los procesos, siempre pensando en retirar al personal de la línea de fuego y mecanizar las operaciones en todos los procesos unitarios.

Para promover la participación y compromiso de los trabajadores, se implementó tres programas: el primero llamado "lidera" dirigido a los supervisores, con la

finalidad de mejorar sus habilidades blandas y el segundo programa “motivación y autoestima por la seguridad” dirigido a todos los trabajadores a cargo de psicólogas especialistas en motivación y por ultimo un programa de “disciplina operativa” para mejorar el comportamiento de la supervisión a través del liderazgo visible y demostrado de los trabajadores en el cumplimiento de los procedimientos.

Por otro lado, la gestión de seguridad de la unidad minera cuenta con su propio sistema denominado “@ctúa Pas”, donde el objetivo principal es gestionar los riesgos en todo el proceso productivo a través de diferentes herramientas de control de riesgo propias de la organización.

Con la mecanización las operaciones en todos los procesos unitarios y sumado a la implementación de estos programas, los indicadores principales de seguridad fueron calculados basados en 1´000,000 de horas hombre trabajadas disminuyendo a lo largo de los seis de años de estudio tal como se puede observar en los siguientes gráficos.

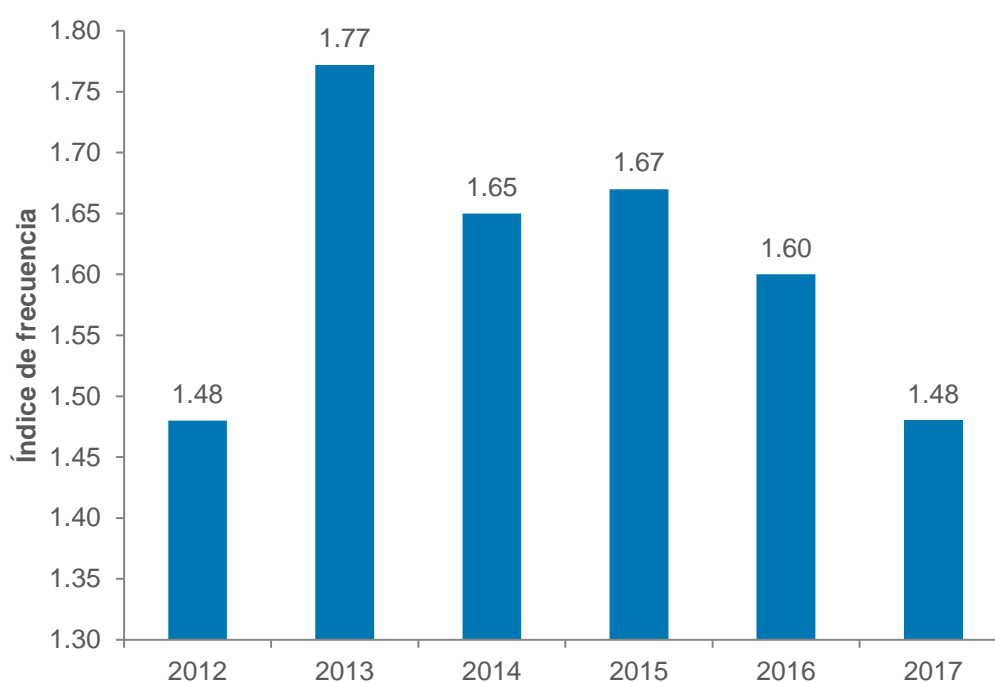


Figura 27. Índice de frecuencia

El índice de frecuencia está relacionado directamente por el número de accidentes incapacitantes y mortales ocurridos en el periodo de un año, la estrategia para

reducir este indicador tiene relación directa con la mecanización de los procesos unitarios acompañado de un programa de seguridad “actuó seguro” con el objetivo de crear una cultura de seguridad y evitar accidentes que es un tema primordial para la organización (ver figura 27).

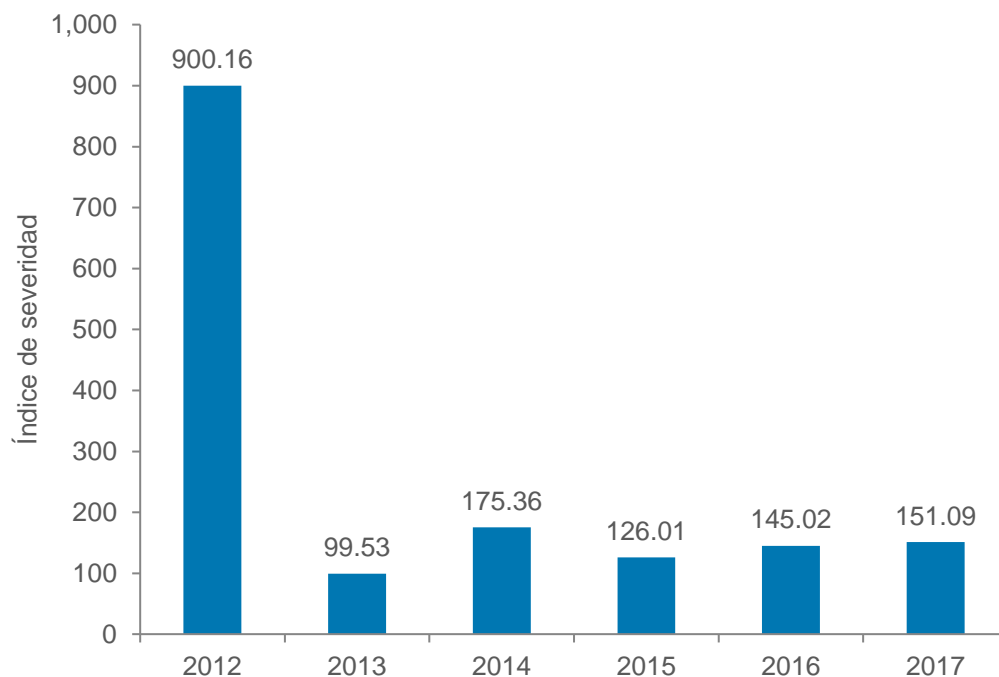


Figura 28. Índice de severidad

El índice de severidad está relacionado por el número de días perdidos por accidentes y las horas hombre trabajadas para ello se establecieron controles orientados a los riesgos altos y los resultados nos muestran una disminución en los tres últimos años a consecuencia de la reducción de accidentes sobre todo el área de operaciones mina (ver figura 28).

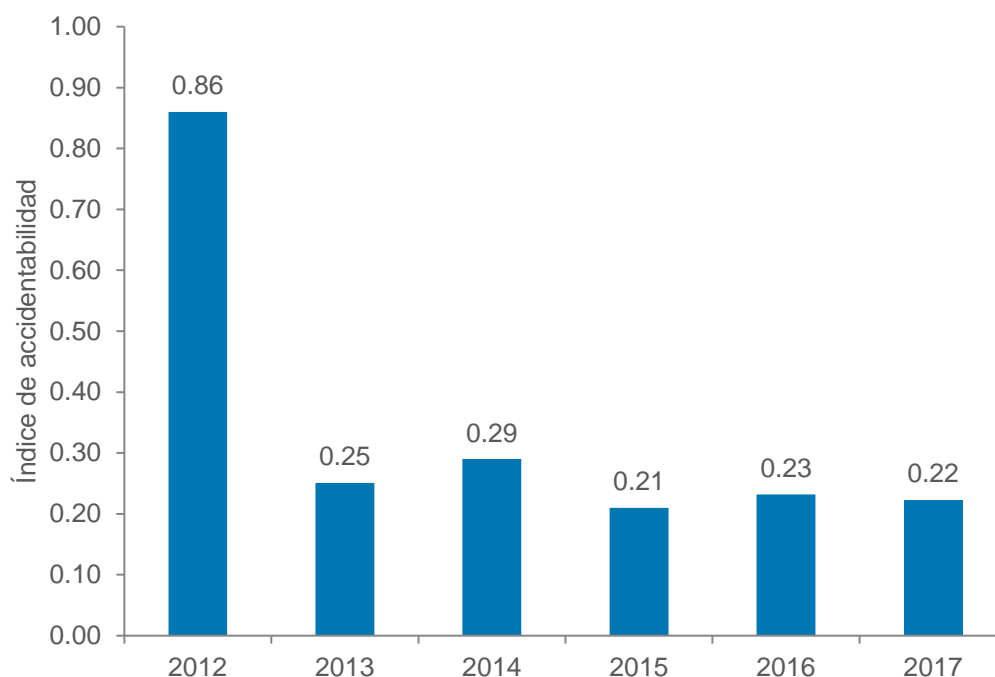


Figura 29. Índice de accidentabilidad

Los esfuerzos por mejorar los indicadores de seguridad en el año 2017 fueron conocidos por el Instituto de Seguridad Minera (ISEM) quién reconoció a la empresa como la más segura, ocupando el primer lugar en la “Categoría Subterránea”, siendo otorgado dicho reconocimiento por el esfuerzo y dedicación del equipo, que constantemente trabajaba para garantizar la seguridad en todas sus operaciones, cabe mencionar que la unidad Morococha no registró accidentes fatales entre los años 2012 y 2017.

El año 2016 la eficacia en la prevención de accidentes y el uso adecuado de herramientas de gestión de riesgos, hicieron posible que la unidad Morococha pueda obtener el premio “**Chairman’s Safety Award 2015**” que entrega Pan American Silver Corp, con el objetivo de reconocer la cultura de seguridad de sus colaboradores.

Morococha demostró que el tema de seguridad de los colaboradores está por encima de cualquier ganancia a través de las estrategias implementadas y reconoció a sus trabajadores como el recurso más valioso de una empresa líder en el sector minero, así mismo demostró seguir desarrollando planes y estrategias que permitieron reducir los accidentes laborales a cero (ver figura 29).

Por ejemplo, la estrategia del bono de seguridad consistía en el pago del 9% del salario básico por no presentar accidentes incapacitantes durante el mes.

En el periodo del 2012 al 2017 la estrategia implementada del bono de seguridad permitió que no sucedieran casos de accidentes mortales, que sumado al método de sublevel stoping contribuyó con una menor exposición del personal en la operación, reduciendo el índice de frecuencia de 1.77 a 1.48.

4.1.8 Gestion financiera

El reporte base de producción que utiliza la empresa es el PBR (Production Base Report), por sus siglas en inglés, es una herramienta gerencial para los gerentes y los operadores de tal forma que puedan entender la rentabilidad del negocio, y evaluar el rendimiento de la operación en relación a expectativas y presupuesto.

El PBR es la fuente oficial de las siguientes estadísticas y ratios estadísticas de producción NSR (Net Smelter Return), costo de producción, margen por tonelada y cash cost (ver figura 22).

La diferencia principal entre los estados financieros y el PBR son las siguientes:

- En el PBR se asume que lo producido es vendido en el mes.
- La producción (ventas) en el PBR son valorizadas en base a precios promedios de mercado.
- El costo de producción del PBR es en base a lo producido en el mes.
- Las regalías son calculadas en base a la producción del mes.
- No se incluyen castigos a la valorización de inventarios.

En definitiva, en el PBR no se manejan números finales, se manejan estimados en base a la producción mensual. El objetivo es tener una herramienta para manejar la operación en el día a día en base a condiciones de mercado actual, y comparar con el presupuesto.

Tabla 23

Flujo operativo según reporte PBR 2012-2017

Production Basis Report	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Tonnes Milled	580,479	621,323	613,781	690,529	729,161	733,584
Net Smelter Return						
Zinc Concentrate	\$20,643,242	\$24,176,935	\$25,228,205	\$14,132,159	\$24,800,532	\$41,362,468
Lead Concentrate	\$20,821,412	\$17,837,453	\$18,739,310	\$9,550,215	\$11,053,612	\$15,716,331
Copper Concentrate	\$47,581,176	\$42,700,242	\$42,101,234	\$45,602,125	\$51,342,542	\$60,886,985
Unbudgeted Tenders	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Special Mining Tax (IEM)	\$0	(\$4,692)	(\$35,211)	\$0	(\$363,118)	(\$1,047,609)
Mining Royalties	(\$789,845)	(\$811,940)	(\$804,021)	(\$656,884)	(\$912,809)	(\$1,248,711)
Shipping & Selling				(\$2,477,405)	(\$1,619,973)	(\$1,327,989)
Total NSR	\$88,255,986	\$83,897,998	\$85,229,518	\$66,150,211	\$84,300,787	\$114,341,475
Costs						
Mine	\$36,596,510	\$32,711,504	\$31,777,976	\$27,010,411	\$22,520,777	\$25,703,133
Processing	\$3,957,468	\$4,096,386	\$3,987,496	\$3,791,244	\$3,528,124	\$3,665,091
Planning & Engineering	\$1,808,885	\$1,516,745	\$1,628,392	\$1,192,410	\$1,045,055	\$1,246,587
Geology	\$1,633,169	\$1,139,068	\$1,514,706	\$1,429,116	\$1,009,458	\$1,208,422
Safety & Environ	\$2,458,465	\$2,645,594	\$2,156,566	\$1,669,391	\$1,163,423	\$1,719,840
General Maintenance	\$5,883,867	\$7,206,091	\$7,630,061	\$7,425,233	\$7,624,395	\$8,358,765
Electric System	\$4,297,308	\$3,864,740	\$5,091,372	\$5,390,154	\$5,314,911	\$5,697,313
Camp Administration	\$8,619,872	\$9,005,971	\$8,770,253	\$7,731,850	\$6,368,657	\$6,875,036
Production Costs	\$65,255,544	\$62,186,099	\$62,556,822	\$55,639,809	\$48,574,799	\$54,474,188
Transaction Costs	\$85,849	\$75,333	\$68,805	\$63,860	\$41,387	\$51,923
Mining Concessions	\$61,696	\$63,370	\$90,238	\$68,193	\$63,879	\$63,209
Administrative Insurance+Legal +PAMA	\$2,508,562	\$2,320,491	\$1,990,622	\$1,920,465	\$2,376,106	\$1,941,346
Management Fee Perú	\$3,686,723	\$3,982,630	\$4,112,578	\$3,554,337	\$3,860,711	\$4,261,873
Management Fee Canada	\$321,079	\$350,882	\$421,018	\$362,065	\$210,919	\$373,074
Shipping & Selling	\$1,839,391	\$2,277,557	\$1,797,091	(\$786,607)	\$0	
Miscellaneous Costs					(\$601,375)	(\$630,057)
Operation's Costs	\$73,758,844	\$71,256,363	\$71,037,174	\$60,822,123	\$54,526,427	\$60,535,556
Production Basis Margin	\$14,497,142	\$12,641,635	\$14,192,343	\$5,328,089	\$29,774,360	\$53,805,920
Miscellaneous Costs	(\$270,138)	(\$541,892)	(\$1,133,425)	\$1,293,286	\$3,854,695	\$1,769,038
Capital Spending	\$21,030,008	\$17,619,443	\$10,204,701	\$6,419,546	\$6,407,406	\$10,685,369
Reclamation Expenditures	\$0	\$334,419	\$155,622	\$168,189	\$172,542	\$0
Margin	(\$6,262,728)	(\$4,770,335)	\$4,965,445	(\$2,552,933)	\$19,339,717	\$41,351,512

Fuente. Reporte Anual Pan American Silver Corp.

En la Tabla 23, podemos observar que durante los 4 primeros años el margen de utilidad fue negativo, los costos de operación fueron muy altos y los ingresos fueron relativamente inferiores, sin embargo, durante los años 2016 y 2017 fueron

superiores respecto al presupuesto debido a que los ingresos por ventas fueron muy superiores respecto a los costos de operación, cabe resaltar que el factor determinante fue el cambio de política de método de minado y la recuperación metalúrgica, por otro lado fue importante mejorar las leyes de los concentrados, estas estrategias tuvieron impacto económico directo en el estado de resultado de la compañía.

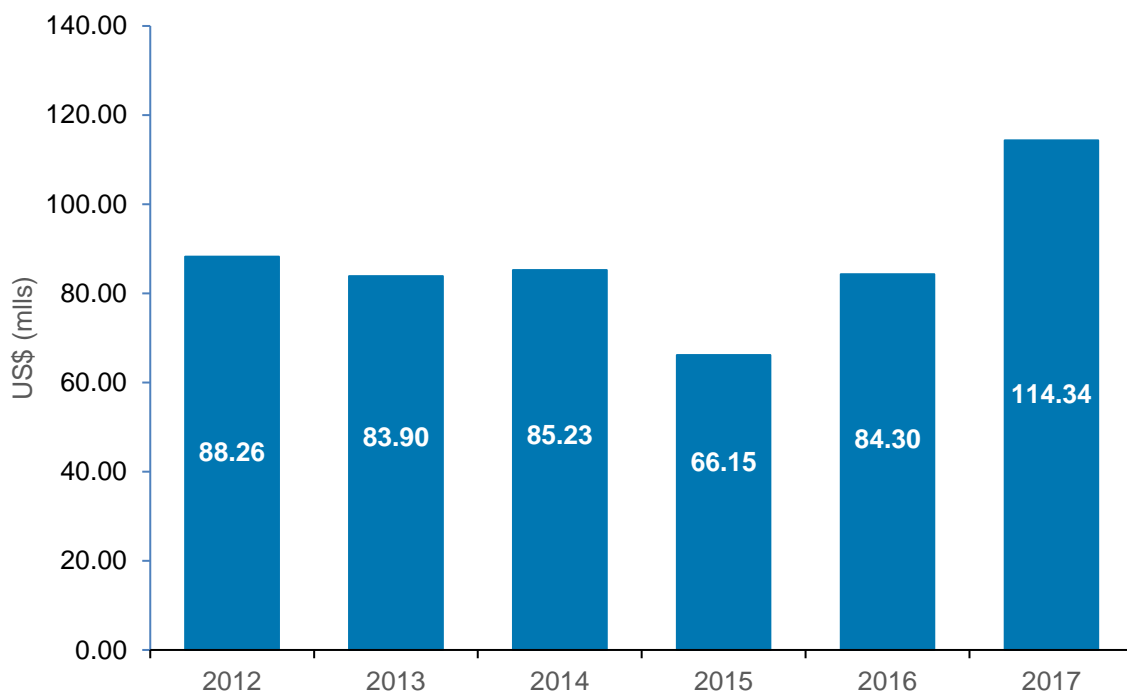


Figura 30. Ingresos por año (mls de US\$)

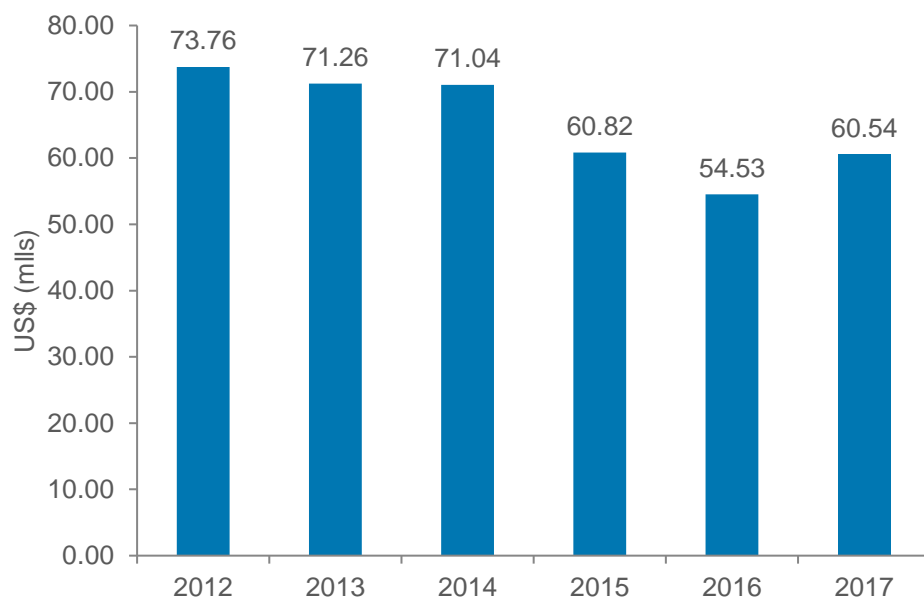


Figura 31. Costo total por año (mills de US\$)

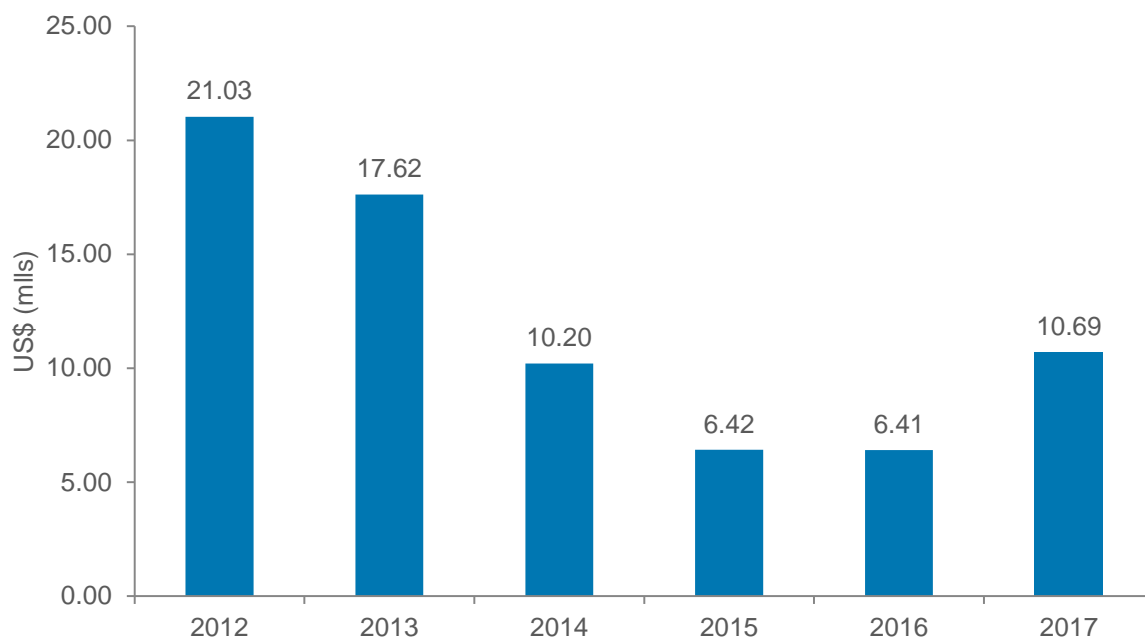


Figura 32. Inversiones por año (mills de US\$)

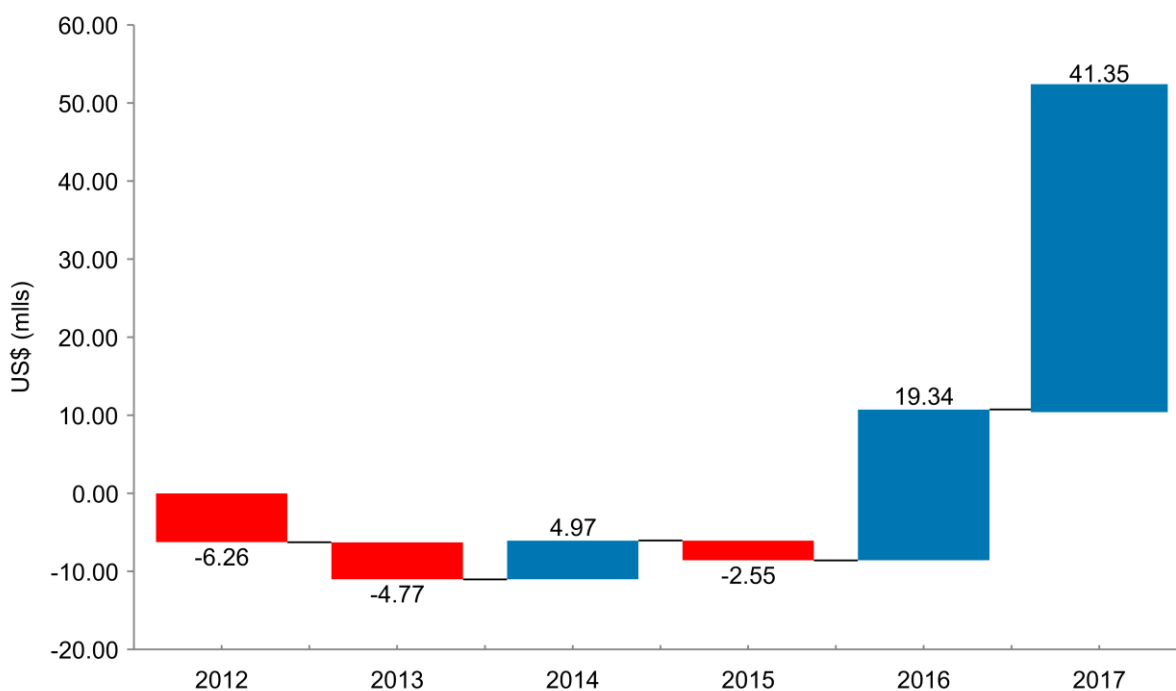


Figura 33. Margen operativo por año (mlls de US\$)

El resultado del flujo operativo de la unidad Morococha durante los seis años de operación tiene márgenes negativos en los primeros años y margen positivo en los dos últimos años, lo cual se explica según el desempeño de cada año de operación (ver figura 33).

El 2012 se tuvo un margen negativo de 6.26 millones de (US\$) principalmente debido a los mayores costos de operación y la inversión en capex fue superior a los ingresos por ventas a pesar de que la plata (Ag) tuvo un buen precio en el mercado (31.15 \$/oz) sin embargo, sería un año con resultado negativo.

El 2013 también se tuvo un margen negativo de 4.77 millones de (US\$) principalmente debido a mayores costos de operación y la inversión en capex fue superior a los ingresos por ventas a pesar de que la plata (Ag) tuvo un buen precio en el mercado (23.83 \$/oz); sin embargo, sería otro año con resultado negativo.

El 2014 se tuvo un margen positivo de 4.97 millones de (US\$) principalmente debido a la reducción del capex de 10.20 millones de (US\$) respecto al año anterior lo cual tendría efecto positivo en el resultado de la operación.

El 2015 también se tuvo un margen negativo de 2.55 millones de (US\$) principalmente debido a menores ingresos por ventas con una reducción de 19.08 millones de (US\$) respecto al año anterior, a pesar de hacer un esfuerzo en la reducción del costo operativo y el capex, pero el precio de la plata (Ag) en el mercado se vería afectado llegando a (15.7 \$/oz) lo que sería otro año con resultado negativo.

El 2016 fue un año donde las estrategias aplicadas impactaron de manera directa en los resultado operativos, dando un margen positivo de 19.34 millones de (US\$) donde el impacto directo fue la reducción del costo operativo 6.29 millones de (US\$) respecto al anterior esto principalmente al cambio de política de minado de cut and fill hacia sublevel stoping en un 78 %, por otro lado los ingresos por ventas fueron superiores en 18.15 millones de (US\$) respecto al año anterior lo cual sería un año con resultados muy sólidos respecto a los años anteriores.

El 2017 fue un año importante, donde las estrategias aplicadas impactaron de manera directa en los resultados operativos, dando un margen positivo de 41.35 millones de (US\$) donde el impacto directo fue la reducción del costo operativo en 13.29 millones de (US\$) respecto al año 2012, esto principalmente al cambio de política de minado de cut and fill hacia sublevel stoping en un 100 % , por otro lado los ingresos por ventas fueron superiores en 30.04 millones de (US\$) respecto al año anterior debido al buen precio del zinc, plomo y cobre contribuyendo en las ventas por ingreso de los sub productos.

4.1.9 Análisis y resultado del cash cost

La reducción del cash cost a lo largo de los seis años se vio reflejado principalmente por la reducción de los costos en el área de operaciones mina, por otro lado, los ingresos fueron mayores por los créditos de los sub productos principalmente por el cobre que fue incrementándose en el año 2015.

En el año 2012 el cash cost fue \$23.48 por onza, incrementándose en 46% respecto al año anterior, debido a que los costos operativos fueron más altos en comparación con el 2011, esto principalmente a un incremento del 17% en el desarrollo de la mina en zonas de alta ley, los créditos por los sub productos se mantuvieron similar al año anterior principalmente por menores precios.

El 2013 cash cost fue \$17.56 por onza disminuyó en 25%, debido principalmente a una mayor producción de plata y una mayor producción por sub productos que fueron compensados en forma parcial por menores precios de los metales, mientras que los costos operativos se mantuvieron constantes en comparación con 2012.

El 2014 el cash cost fue \$12.03 por onza disminuyendo 31% como resultado de los costos operativos debido a la mecanización de las operaciones (cambio de método de explotación sublevel stoping en un 16%) y mayor crédito por la producción de cobre compensando las onzas de plata.

El 2015 el cash cost fue \$13.03 por onza incrementado en 8% como resultado de los costos operativos debido a la mecanización de las operaciones (cambio de método de explotación sublevel stoping en un 47%) y menor ley de cabeza impactando en menores créditos por la producción de zinc y plomo.

El 2016 el cash cost fue \$ 4.21 por onza disminuyendo en 68% respecto al año anterior, debido principalmente por tener costos unitarios (\$/ton) más bajos debido a la mecanización de las operaciones (cambio de método de sublevel stoping en un 78%) y mayor crédito por la producción de zinc y plomo principalmente por el buen precio de estos metales.

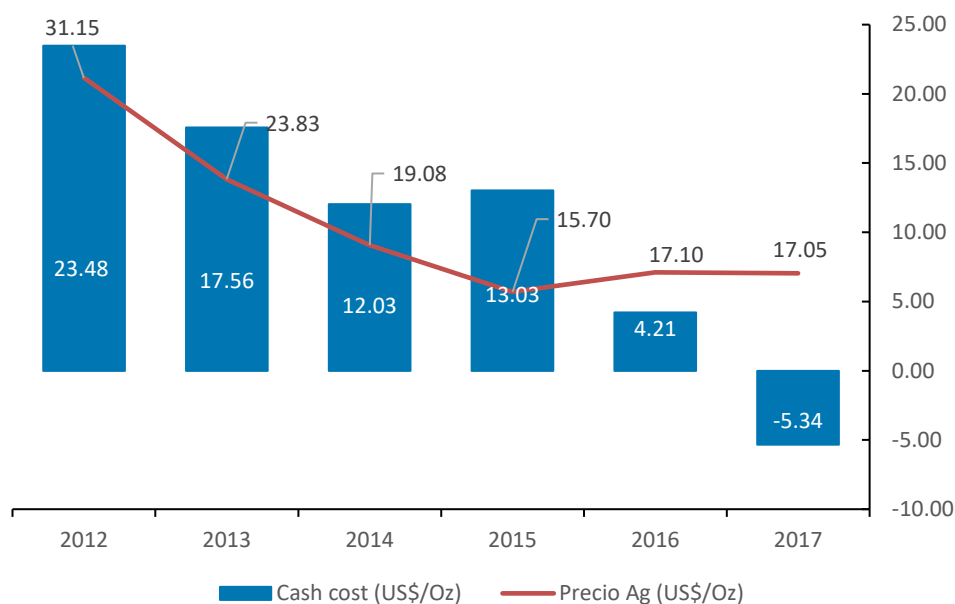


Figura 34. Cash cost por año

El año 2017 el cash cost fue menos \$ 5.34 por onza, fue un resultado importante durante los 17 años de operación, principalmente por tener costos unitarios (\$/ton) más bajos, por el cambio de método de explotación sublevel stoping y mayores créditos por la producción de zinc y plomo principalmente por el buen precio de estos metales (ver figura 24).

El cash cost negativo fue producto del trabajo continuo de seis años, donde la empresa realizó reingeniería en los procesos de mina con el objetivo de bajar los costos de operación, por otro lado, los ingresos por los sub productos fueron mayores que los costos de producción, acompañado del buen precio de dichos de los metales (Pb, Cu, Zn) lo que generó mayor margen de utilidad, lo cual llevó a la compañía a generar flujo de caja de \$41.35 millones (EBITDA).

Así mismo se ha analizado el cash cost sin considerar el ingreso por los subproductos, con la finalidad de determinar el impacto por los créditos de cobre, plomo, zinc y oro; observándose que el cash cost se encuentra por encima de la cotización de la plata (ver figura 35).

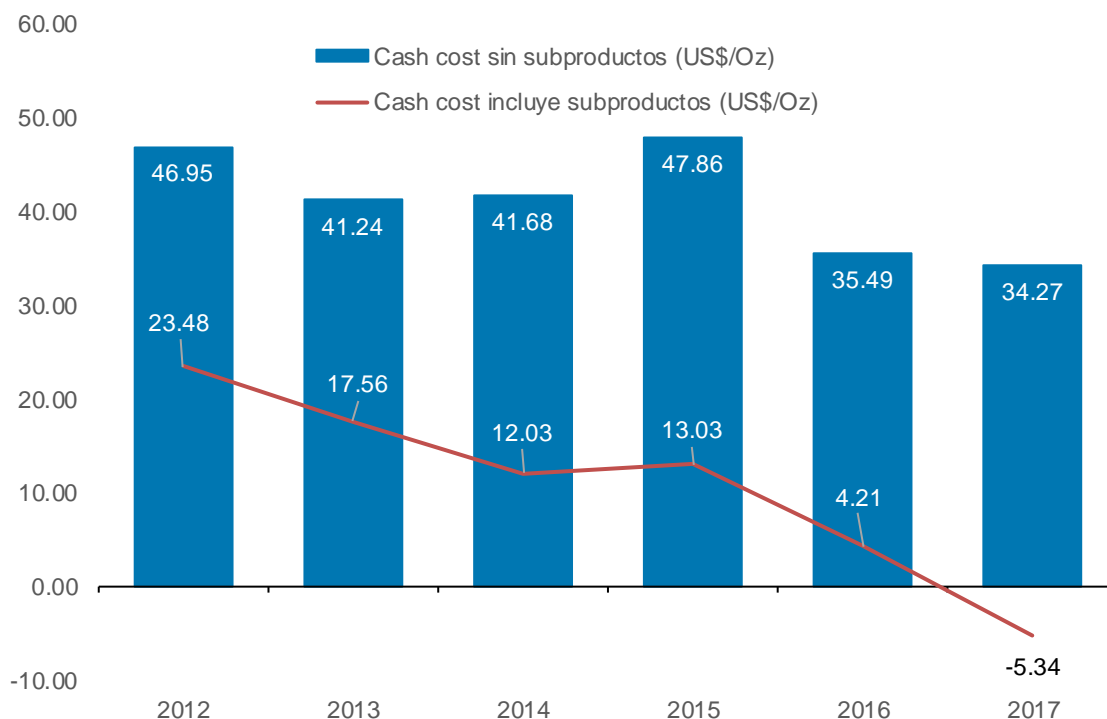


Figura 35. Cash cost sin subproductos por año

En el gráfico 35 se puede observar una comparación del cash cost considerando los ingresos obtenidos por la venta de sub productos desde el año 2012 hasta el año 2017 disminuyendo de 23.48 US\$/oz hasta menos 5.34 US\$/oz, de manera similar se observa el cash cost sin considerar los créditos por sub productos, logrando disminuir desde el año 2012 hasta el año 2017 de 46.95 US\$/oz hasta 34.27 US\$/oz, a pesar de la variación de los precios de los metales la empresa logró estabilizar el costo que fue eficiente y predecible para los siguientes años, a través de la implementación de cambios orgánicos en operaciones mina, como el cambio en el método de minado.

4.2 Análisis estadístico del costo de producción

Para demostrar la reducción de costos de producción a lo largo de los seis años de operación producto del cambio del método de explotación se realizó un análisis estadístico utilizando un modelo matemático con variables econométricas a fin de confirmar la estrategia de reducción de costos, para ello se elaboró una matriz de datos de los años 2012 al 2017, donde se analizaron las variables de entrada: el

costo de minado por método de explotación y producción por método de minado y como variable de resultado el cash cost.

Para el análisis de datos se elaboró un modelo matemático que establece la relación funcional que existe entre la variable independiente, en nuestro caso la producción de mineral y la variable dependiente costos de producción, para la gestión de datos y el análisis se utilizó el software estadístico **Stata**, bajo este análisis se demostró que la política de cambio de minado de cut and fill hacia sublevel stoping tuvo impacto directo en la reducción de costos de producción.

Como análisis previo, se procedió a probar varios posibles modelos econométricos que podrían ser usados para explicar la dinámica de los costos en función a la producción y a la introducción de la nueva tecnología a la mina (método de explotación por sublevel stoping), para lo cual se realizaron tres tipos de regresiones.

En un primer caso fue asumiendo costos de función lineal, es decir el costo total de producción de la mina está en función al volumen de toneladas producidas, y a la tecnología usada (cut and fill o sublevel stoping), según los resultados de la regresión la hipótesis se rechaza debido que el valor de "Prob>F" es 0.0009 menor a 0.05 lo cual indicaría que el modelo no es correcto.

En el segundo caso la regresión fue asumiendo costos de función cúbica la cual considera que la relación entre los costos totales y la producción es un polinomio de tercer grado, lo cual quiere decir que los costos totales no solo están explicados por las toneladas producidas, sino también por las toneladas al cuadrado y las toneladas al cubo, el resultado de esta prueba es que la forma funcional no sería la correcta, pues el valor de "Prob>F" es 0.0222 menor que 0.05, por lo cual se rechaza la hipótesis nula.

En el tercer caso la regresión fue asumiendo costos de función cuadrática, es decir, que los costos totales están en función de las toneladas producidas y las toneladas producidas al cuadrado, como resultado de esta prueba se obtiene el valor de "Prob>F" es 0.1338 mayor que 0.05, lo cual se interpreta como el NO RECHAZO de la hipótesis nula, que indica que el modelo no tiene variables omitidas, siendo este último el modelo el más apropiado y fue el utilizado para nuestro caso de estudio.

Una vez identificado el modelo, se realizó el análisis para explicar la dinámica de los costos en función a la producción y a la introducción de la nueva tecnología a la mina (método de explotación sublevel stoping).

En términos econométricos, el modelo es de la siguiente forma:

$$CT = a + b1*Q + b2*Q^2 + b4*DUMMY + e$$

Donde:

CT = costo total (incluye costo de capital CAPEX + costos de mano de obra)

Q = tonelaje

DUMMY = variable de control cuyo valor es uno cuando se da el cambio de política de minado y cero cuando se mantiene el método antiguo.

e = término de error.

Si el parámetro b_4 es negativo y significativo, se confirmaría la hipótesis de que el cambio de política de minado sí ha mejorado la eficiencia de costos.

Si b_1 , b_2 son significativos, se confirma que los costos son cuadráticos.

4.2.1 Relación entre el costo total y producción

El objetivo de esta sección es tener una primera aproximación a la forma en la cual se relacionan las variables costo total de mina y tonelaje. Para ello, se utiliza la correlación y al gráfico de dispersión. En términos sencillos, la correlación mide la fuerza (mediante el valor) y la dirección (mediante el signo) de la relación lineal de dos variables. Por otro lado, un gráfico de dispersión no es más que un gráfico en las coordenadas cartesianas de los valores que toman las variables bajo análisis (ver figura 36).

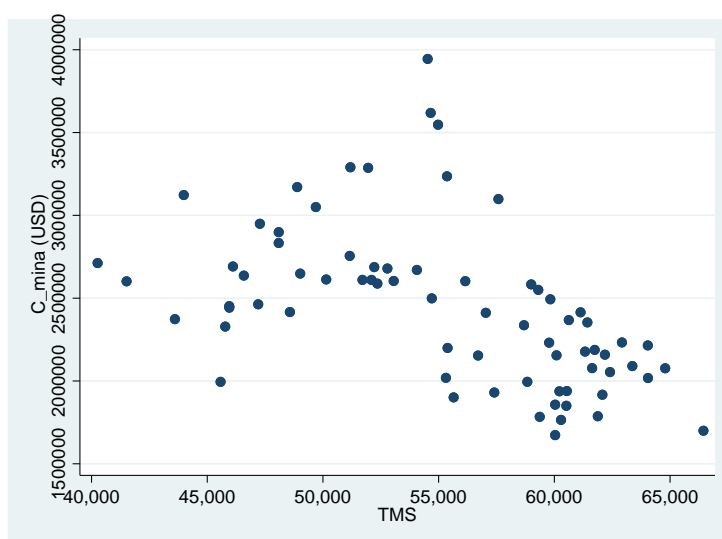


Figura 36. Gráfico de dispersión – costo total de mina vs toneladas producidas.

El gráfico anterior permite intuir el tipo de relación que existe las variables, donde se observa los valores de costo de mina y toneladas producidas, el gráfico indica que la relación entre estas variables no es lineal, sino más bien polinómica. Es decir, se observa una parte de la producción para la cual los costos son crecientes y otra parte para la cual los costos son decrecientes.

4.2.2 Correlación entre el costo total y toneladas producidas

Como puede observarse en la siguiente matriz, la relación entre el costo total y la producción (medida en toneladas) es negativa, lo cual se entendería como una relación inversa entre estas variables; es decir: “a mayor producción, menor costo total” (ver tabla 24).

Tabla 24

Matriz de correlación tomando toda la muestra

	C_mina~D	TMS
C_mina USD	1.0000	
TMS	-0.5050	1.0000

Fuente: Pan American Silver Corp.

Sin embargo, dado que, como se vio en el gráfico de dispersión, la dirección de la relación es distinta según el tramo que se analice, se opta por analizar la relación en dos tramos distintos: antes del cambio y después del cambio del método de explotación.

Así, en el primer tramo, antes del cambio del método de explotación de cut and fill hacia sublevel stoping, la relación entre la producción es directa: a mayor producción, mayor costo (Ver tabla 25).

Tabla 25

Matriz de correlación considerando los 12 primeros meses de la muestra (antes del cambio del método de explotación)

	C_mina~D	TMS
C_mina USD	1.0000	
TMS	0.7572	1.0000

Fuente: Pan American Silver Corp.

Por otro lado, una vez que se da el cambio tecnológico, a partir del décimo tercer mes, se observa que la relación entre producción y costo total es inversa, tal como se observa en la tabla siguiente (ver tabla 26).

Tabla 26

Matriz de correlación considerando la muestra a partir del mes 13 (ocurrido el cambio tecnológico)

	C_mina~D	TMS
C_mina USD	1.0000	
TMS	-0.5597	1.0000

Fuente: Pan American Silver Corp.

Según la tabla 26, se muestra un primer indicio de que el cambio de tecnología tendría un efecto “positivo” en los costos, al reducirlos.

4.2.3 Regresión de costos con función cuadrática

Debido a que el resultado de las corridas estadísticas realizadas para los modelos de función lineal y cúbica no fueron los más idóneos para representar la forma en la que la producción se relaciona con el costo de producción, y tomando también en cuenta el gráfico de dispersión, se optó por probar un modelo de costos cuadráticos. Es decir, especificar que los costos totales están en función de las toneladas producidas y las toneladas producidas al cuadrado.

$$CT = a + b_1 \cdot Q + b_2 \cdot Q^2 + e$$

Como puede observarse en la figura 45, en este modelo, cada una de las variables, evaluadas de manera individual, es una “buena” variable explicativa de los costos totales, pues los valores de “ $p > |t|$ ” son menores a 0.05. Asimismo, se observa que la bondad de ajuste de este modelo (Adj R-squared) es 34.30 % mayor que los otros dos casos analizados.

Tabla 27

Resultados de la regresión del modelo de función cuadrática

Source	SS	df	MS	Number of obs	=	72
Model	5.9493e+12	2	2.9747e+12	F(2,69)	=	19.53
				Prob > F	=	0
Residual	1.0507e+13	69	1.5228e+11	R-squared	=	0.3615
				Adj R-squared	=	0.3430
Total	1.6457e+13	71	2.3178e+11	Root MSE	=	3.9e+05

C_minaUSD	Coef.	Std. Err	t	P > t	[95% Conf. Interval]	
TMS	383.7005	124.5375	3.08	0.003	135.2551	632.1459
TMS_2	-0.0039123	0.0011535	-3.39	0.001	-0.0062136	-0.001611
_cons	-6655826	3325946	-2.00	0.049	-1.33e+07	-20744.63

Fuente: Pan American Silver Corp.

Adicionalmente, como en los casos anteriores, se opta por “testear” la “idoneidad” del modelo a través de la prueba Ramsey RESET donde se observa, el valor de “Prob>F” es mayor que 0.05, lo cual se interpreta como el NO RECHAZO de la hipótesis nula, que indica que el modelo no tiene variables omitidas. Es decir, esto podría ser tomado como otro indicio de que este modelo es el apropiado (ver tabla 28).

Tabla 28

Prueba Ramsey RESET del método de función cuadrática

<p>Ramsey RESET using powers of the fitted values of C_mina USD Ho: model has no omitted variables F (3, 66) = 1.93 Prob > F = 0.1338</p>

Fuente. Pan American Silver Corp.

Después del análisis realizado podemos concluir que el modelo sería de costos cuadráticos, el cual explicaría mejor el comportamiento de los costos de la unidad

minera y en el tiempo estudiado, sobre este último modelo se hicieron más test adicionales que buscaron seguir probando la idoneidad del modelo, para ver si es el mejor comportado, comprobando que el modelo responde bastante bien (ver tabla 29).

Prueba de multicolinealidad

Tabla 29

Prueba de multicolinealidad

Variable	VIF	1/VIF
TMS	296.45	0.003373
TMS_2	296.45	0.003373
Mean VIF	296.45	

Fuente: Pan American Silver Corp.

Se detecta que el VIF es mayor de 30 para ambas variables TMS y TMS_2.

Prueba de heterocedasticidad

Como la probabilidad es mayor que 0.05, no se rechaza la hipótesis nula de homocedasticidad, lo cual es lo deseado.

Tabla 30

Resultado prueba de heterocedasticidad

<p>White's test for Ho: homoskedasticity against Ha: unrestricted heteroskedasticity chi2 (4) = 7.92 Prob > chi2 = 0.0945</p>

Fuente: Pan American Silver Corp.

Prueba de normalidad de los residuos

Como las probabilidades son mayores que 0.05, no se rechaza la hipótesis nula de normalidad de los residuos, lo cual es lo deseado.

Tabla 31

Resultado prueba normalidad de residuos

sktest res1

Skewness / Kurtosis tests for Normality					
Variable	obs	Pr (Skewness)	Pr (Kurtosis)	-----joint-----	
				adj chi2 (2)	Prob > chi2
res1	72	0.0071	0.0466	9.56	0.0084

Fuente: Pan American Silver Corp.

Prueba de autocorrelación

Como la probabilidad es menor que 0.05 se rechaza la hipótesis nula de no correlación. Esto no sería lo deseado y se deberá "subsanan" esta deficiencia.

Tabla 32

Resultado prueba de autocorrelación

Breush - Godfrey LM test for autocorrelation

lags (p)	chi2	df	Prob > chi2
1	33.613	1	0.0000

H0: no serial correlation

Fuente: Pan American Silver Corp.

Prueba de quiebre estructural

La prueba de quiebre estructural, se interpreta si la variable dependiente (costos de mina) y la variable independiente (producción), es decir si en algún momento la relación entre la cantidad y los costos varían, por ejemplo aumentar una tonelada adicional de producción con cut and fill no genere el mismo costo que una unidad adicional cuando se usa sublevel stoping, en nuestro análisis se esperaría que a partir del mes 13 haya una reducción en los costos totales debido al cambio del método de minado, esto podría generar que los parámetros betas estimados sean distintos antes de dicho mes y después de dicho mes, Para probar se realiza la siguiente prueba de cambio estructural, la cual se interpreta de la siguiente manera: si “Prob>chi2” es mayor que 0.05 se acepta la hipótesis nula de que no existe quiebre estructural en el mes 13; caso contrario, no se acepta dicha hipótesis nula. Como se observa en la Ilustración 8, no se acepta la hipótesis de no cambio estructural, para ello se introduce dummies que reflejen el efecto del cambio de tecnología en los costos totales.

Tabla 33

Resultado prueba de quiebre estructural

Wald test a structural break: Known break date			
		Number of obs	72
Sample	1 - 72		
Break date	13		
Ho: No structural break			
	chi2 (2)	=	11.7300
	Prob > chi2	=	0.0028
Exogenous variables:		TMS c.TMS#c.TMS	
		TMS c.TMS#c.TMS	
Coefficients included in test:		_cons	

Fuente: Pan American Silver Corp.

4.2.4 Regresión de costos de función cuadrática con quiebre estructural

Según lo obtenido en el apartado anterior, se debe incluir una variable que permita observar los efectos del cambio de tecnología. Para ello, hay dos opciones: incluir una dummy aditiva y dummies multiplicativas.

Asimismo, se deberá corregir posible existencia de correlación serial. Para este último la alternativa es aplicar una regresión "Newey" la cual "corrige por heterocedasticidad y autocorrelación".

Modelo solo con dummy aditiva

$$CT = a + b1*Q + b2*Q^2 + b4*DUMMY + e$$

Los resultados de la regresión indican que los coeficientes son todos significativos, por el ejemplo, el coeficiente b4 es (-615206.9) esto ayuda a probar la hipótesis que se viene trabajando, si bien este modelo explica como el cambio tecnológico influye en la reducción de costos, también se podría hacer algunas consideraciones adicionales a las variables dummy para ver otros efectos.

Tabla 34

Resultado modelo con una sola dummy aditiva

. Newey C_mina TMS TMS_2 i.cambio_, lag(1)								
Regression with Newey - West standard errors maximum lag: 1						Number of obs	=	72
						F (3, 68)	=	19.99
						Prob > F	=	0.0000
C-minaUSD	Newey - West							
	Coef.	Std. Err.	t	P > t	[95% Conf. Interval]			
TMS	479.6208	106.6508	4.50	0.000	266.8025	692.4391		
TMS_2	-0.004644	0.000978	-4.75	0.000	-0.0065959	-0.0026911		
1.cambio_tec	-615206.9	170032.9	-3.62	0.001	-954502.3	-275911.5		
_cons	-9179483	2794875	-3.28	0.002	-1.48e+07	-3602396		

Fuente: Pan American Silver Corp.

Modelo solo con dummy aditiva y multiplicativa

Tabla 35

Resultado modelo con una dummy aditiva y multiplicativa

. Newey C_mina c.TMS#i.cambio_tec c.TMS#i.cambio_tec cambio_tec, lag (1)							
Regression with Newey - West standard errors				Number of obs		=	72
maximum lag: 1				F (5, 66)		=	37.57
				Prob > F		=	0.0000
C-minaUSD	Newey - West						
	Coef.	Std. Err.	t	P > t	[95% Conf. Interval]		
cambio_tec#c.TMS	0	-689.2805	327.0384	2.11	0.039	-1342.234	-36.32721
	1	314.194	131.293	2.39	0.020	52.05894	576.329
cambio_tec#c.TMS#c.TMS	0	.0079473	.0034759	2.29	0.025	.0010075	.0148871
	1	-.0031923	.0011969	2.67	0.010	-.0055819	-.0008027
cambio_tec		-2.27e+07	8490094	2.68	0.009	-3.97e+07	-5791906
_cons		1.76e+07	7552014	2.33	0.023	2536359	3.27e+07

Fuente: Pan American Silver Corp.

Todas las variables también resultan significativas, lo que nos interesa es observar el costo marginal, pues este corresponde al cash cost. Para ello, nos preguntamos “¿cuánto varía el costo total cuando varía la producción en una unidad?”. Como se observa en la siguiente ilustración, “cuando se pasa de producir mediante cut and fill a producir con sublevel stoping, los costos totales se ven disminuidos en promedio en 37 dólares por tonelada.

Tabla 36

Resultado modelo con impacto directo en la reducción de costos

margins cambio_tec, dydx (TMS)							
Average marginal effects						Number of obs =	72
Model VCE : Newey - West							
Expression : Fitted values, predict ()							
dy/dx wrt : TMS							
	dy/dx	Std. Err.	z	P > z	[95% Conf. Interva]		
TMS							
cambio_tec							
0	.	(not estimable)					
1	-37.74468	6.169478	-6.12	0.000	-49.83664	-25.65273	

Fuente. Pan American Silver Corp.

Según las regresiones realizadas podemos concluir que el modelo más idóneo es el de costos cuadráticos con quiebre estructural, es decir los costos totales están en función del nivel de producción y el nivel de producción al cuadrado, este modelo explicaría el comportamiento de los costos de la unidad minera en el periodo de tiempo estudiado, sobre este último se hicieron más test adicionales para seguir probando la idoneidad del modelo.

En resumen, podemos precisar que, para la unidad minera Morococha en el periodo de análisis como primer punto se determina que el modelo de costos ideal sería de función cuadrática, como segundo punto, el pasar de cut and fill hacia sublevel stoping efectivamente fue una estrategia de costo efectiva donde se logró disminuir los costos de la unidad minera logrando disminuir el cash cost de manera significativa en el año 2017. Como tercer punto, se puede medir el impacto directo respecto al cambio de tecnología, para nuestro caso se ve una reducción de 37.74 \$/ton.

4.2.4 Analisis de sensibilidad de costos por metodo de explotacion según modelo matemático.

Según el modelo propuesto de costos de función cuadrática, se realizó el análisis de sensibilidad para determinar cuál es el costo optimo comparado con el tonelaje de producción, para ello se utilizó los resultados del gráfico 47, para ser reemplazado en modelo matemático propuesto:

$$CT = a + b1*Q + b2*Q^2 + b4*DUMMY + e$$

Para efectos de análisis de utilizó los siguientes parámetros, considerando las toneladas tratadas, costo total de producción para cada método de minado, el análisis de costos se realizó para el año 2012, donde la producción total fue por el método de cut & fill al 100%, por otro lado, se utilizó los datos de producción del año 2017, período donde se implementó el método de sublevel stoping al 100%.

$$a=0$$

$$b1= 479.6208$$

$$b2= -0.0046435$$

$$b4= -615206.9$$

$$e= -9179483$$

$$DUMMY= 0 \text{ (Cut \& Fill)}$$

$$DUMMY= 1 \text{ (Sublevel stoping)}$$

$$CT= \text{Costo total}$$

$$Q= \text{Producción (tms)}$$

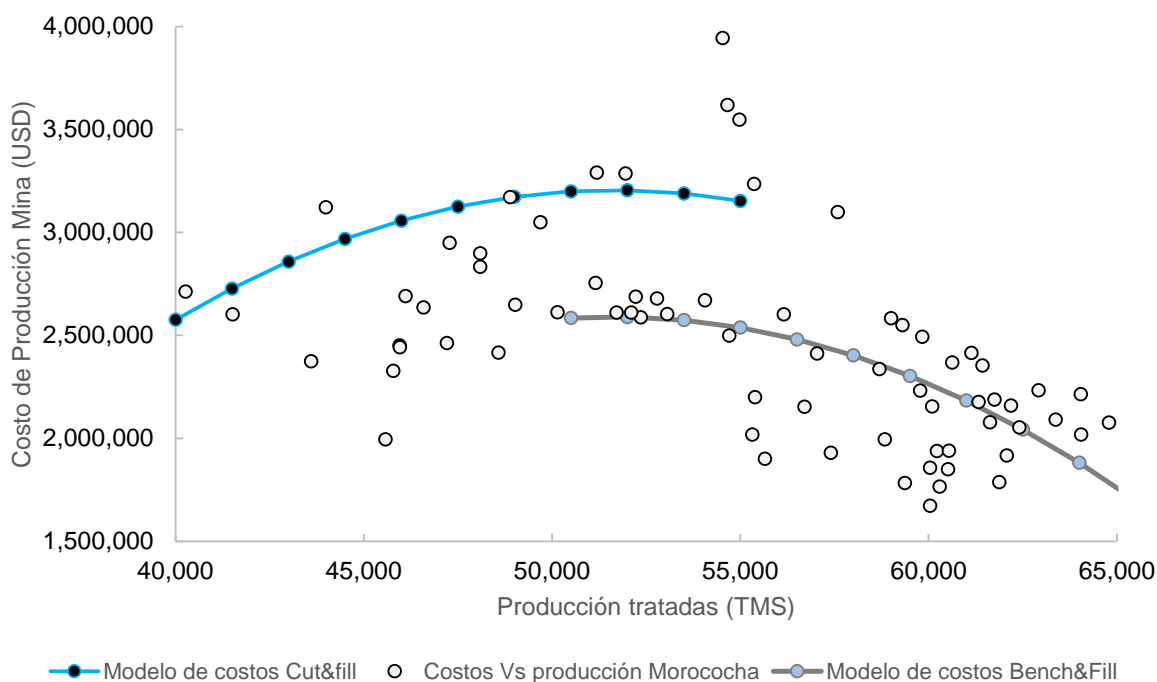


Figura 37. Modelo de costos cut & fill y sublevel stoping

Según la figura 37, podemos apreciar el comportamiento de la curva de costos para los dos métodos de explotación, para ello se reemplazó valores en el modelo matemático propuesto, claramente se puede observar que el método de sublevel stoping tiende a decrecer aceleradamente a medida que se incrementa el tonelaje, sin embargo, el método de cut & fill se observa que el pico más alto alcanza los USD 3,100,000 con una producción de 50,000 toneladas por mes; sin embargo se ve una disminución lenta de los costos en función al incremento de tonelaje, lo cual no sería sostenible en el tiempo debido a factores externos como son el precio de los metales y por otro lado ante una posible baja de las leyes de mineral, según la curva de costos podemos concluir que el método de minado cut & fill no generaría valor para la organización en el periodo de estudio.

Cabe precisar que durante el año 2012 periodo base de estudio, el costo de contratistas representó el 53% del costo total, mano de obra 29% y materiales 18% respectivamente, mientras el año 2017 el costo de contratistas representó el 44% del costo total, mientras materiales 30% y mano de obra 26%.

Según las cifras mostradas podemos concluir que en el caso de contratistas hubo una disminución de 9% debido a la reducción de contratista involucrados directamente en la producción y desarrollo minero, en mano de obra 3% de reducción debido al cambio de método de explotación, mientras los costos de materiales se incrementaron en 12 % debido al incremento de producción y recursos administrados 100 % por la compañía.

Como parte de la metodología del análisis estadístico, se propusieron y evaluaron tres modelos econométricos con la finalidad de encontrar el mejor modelo que pueda explicar las variables analizadas en el presente trabajo de investigación.

En el primer modelo se asumieron costos de función lineal, en el segundo modelo la regresión fue asumiendo costos de función cúbica y en el tercer modelo la regresión fue asumiendo costos de función cuadrática siendo este último el modelo más apropiado, donde el cambio del método de minado cut & fill hacia sublevel stoping fue el que tuvo impacto directo en el resultado del cash cost.

Capítulo 5: Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Conclusiones

- De acuerdo con los datos analizados, se identificó que el factor más importante para la reducción de costos fue el cambio de método de explotación convencional cut and fill al método mecanizado sublevel stoping adaptado al tipo de yacimiento de vetas angostas con potencia promedio de 1m y buzamiento de 76°, lo que quedó demostrado con el modelo matemático de función cuadrática
- También se identificó como otro factor la gestión de recursos humanos, se modificó el sistema de trabajo acumulativo de 14 x 7 a 5 x 2 para el personal profesional de administración, jefaturas de mina, planeamiento y geología; categorización de personal de obrero que pasó a empleado asumiendo nuevas responsabilidades operativas propios del método mecanizado, se implementaron bonos por desempeño en seguridad y cumplimiento de metas de producción.
- Otro factor importante fue el reemplazo de materiales por cambio de método de explotación, destacando principalmente el reemplazo de la dinamita por ANFO en el 60 % de labores de preparación, desarrollo y explotación, que disminuyó el costo unitario de mina de 37.25 \$/ton a 26.29 \$/ton.
- La empresa implementó el área de contratos, que optimizó la gestión de contratistas reduciendo los servicios involucrados en producción y desarrollo de mina, los cuales fueron asumidos por personal de la empresa; así como también se logró una reducción en el costo unitario del transporte y sostenimiento pasando los costos fijos de gastos generales a valor porcentual del costo unitario.
- La reducción del cash cost a lo largo de los seis años disminuyó de 23.48 \$/oz hasta menos 5.34 \$/oz principalmente por el cambio de método de explotación, asociado a mayores ingresos en las ventas de los subproductos cobre y zinc principalmente; a pesar de una disminución en los precios de mercado para la Ag y Cu.

- Según el modelo matemático de costos, la función propuesta fue una ecuación cuadrática, donde quedó demostrado que el factor más importante que impacto en el resultado del cash cost, fue el cambio de política de minado de pasar de cut and fill hacia sublevel stoping, fue una estrategia de costo efectivo lográndose disminuir los costos de la unidad minera y en consecuencia se disminuyó el cash cost de manera significativa durante los 6 años de estudio.
- La implementación del método sublevel stoping permitió reducir los índices de frecuencia de 1.77 a 1.48, severidad de 900.16 a 151.09 y accidentabilidad de 0.86 a 0.22; por menor exposición del personal en las diferentes fases de operación.
- Las políticas y estrategias en el área de seguridad, sumadas al cambio de método, permitieron que entre los años 2012 al 2017 no se produjeran accidentes mortales, así mismo, fue reconocida en el año 2017 por el Instituto de Seguridad Minera (ISEM) como la empresa más segura, ocupando el primer lugar en la Categoría Subterránea.

5.2 Recomendaciones

- Se presenta la oportunidad de continuar con el estudio en una siguiente etapa donde se pueda identificar las estrategias aplicadas de reducción de costos en las áreas de soporte, que permitiría reducir el cash cost.
- Implementar el área de Mejora Continua, con la finalidad de identificar e implementar las oportunidades de reducción de costos que permitan generar mayor valor económico.
- Evaluar equipos de perforación que permitan reducir las desviaciones durante la perforación para vetas angostas; con la finalidad de incrementar la altura de banco, lo cual permitiría reducir los costos en la preparación.
- Analizar la estrategia aplicada de los bonos de seguridad y producción, para determinar el impacto en la productividad.
- Los factores identificados en el presente estudio deben servir como base para futuras investigaciones de costos de empresas mineras subterráneas de similares características, tales como tipo de yacimiento, la gestión de recursos humanos, contratistas y materiales con la finalidad de ampliar el conocimiento de los factores que impactan en los costos de operaciones mineras subterráneas.

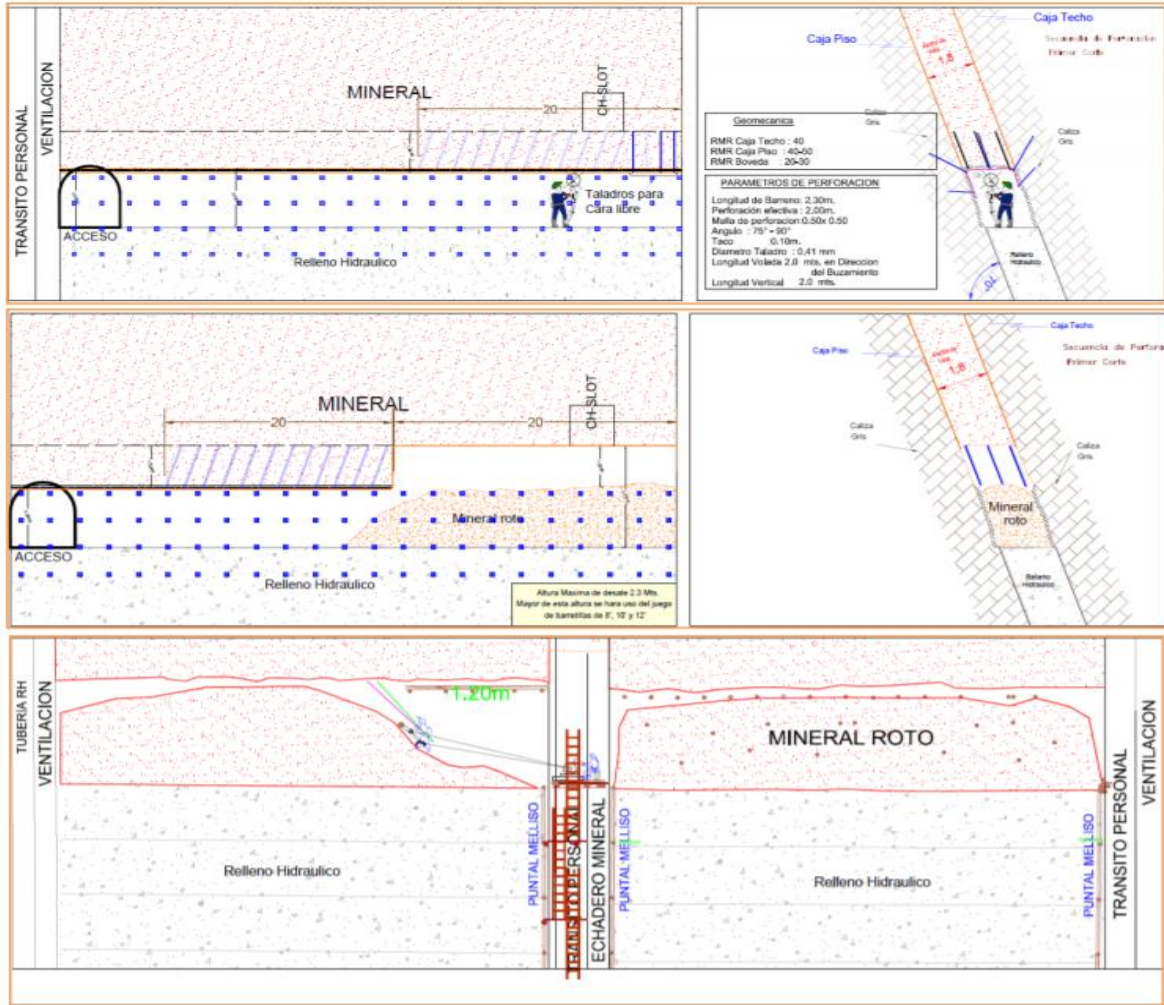
Referencias Bibliográfica

- Alford, C., Brazil, M., & Lee, D. H. (2007). Optimisation in Underground Mining. En A. Weintraub, C. Romero, T. Bjørndal, R. Epstein, & J. Miranda (Eds.), *Handbook Of Operations Research In Natural Resources* (pp. 561-577). Springer US.
https://doi.org/10.1007/978-0-387-71815-6_30
- Alvarez, T., & Renato, L. (2016). *Diseño y aplicación de Shotcrete para optimizar el sostenimiento en la Unidad Económica San Cristóbal—Minera Bateas* [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa].
<http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/3260>
- Arteaga Cuello, J. D. (2019). *Modelo de optimización estocástica de la ley de corte para depósitos polimetálicos* [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/56176>
- Cueva Arauzo, O. E. (2009). *Modelo de reducción de costos en el sector minero*.
<https://www.onemine.org/document/abstract.cfm?docid=228542>
- Harrison, J. C., & Da Silva, M. V. T. (1999, marzo 1). *Case Study Of Efforts to Reduce Costs and Increase Production At A Mid-Sized International Mining Company*. <https://www.onemine.org/document/abstract.cfm?docid=37709>
- Jáuregui Aquino, O. A. (2011). *Reducción de los costos operativos en mina, mediante la optimización de los estándares de las operaciones unitarias de perforación y voladura* [Tesis de Titulación, Pontificia Universidad Católica del Perú]. <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/696>

- Mendieta Britto, L. A. (2015). *Optimización de los costos operativos en la unidad Cerro Chico* [Tesis de Titulación, Pontificia Universidad Católica del Perú]. <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/5946>
- Musingwini, C. (2016). Optimization in underground mine planning—Developments and opportunities. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 116(9), 809-820. <https://doi.org/10.17159/2411-9717/2016/v116n9a1>
- Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (Perú). (2016). *Reporte de Análisis Económico Sectorial Minería: Mercado mundial, nacional, efectos derivados y visión de la minería* (N.º 6; RAES-Minería). Osinergmin. <https://www.gob.pe/institucion/osinergmin/informes-publicaciones/1298002-raes-mineria-n-6-mercado-mundial-nacional-efectos-derivados-y-vision-de-la-mineria>
- Peña W, M. R., Rosenstock, W., & Manturano, R. (1993). *Nuevas alternativas para la reducción de costos en perforación y voladura en minería subterránea y en minería a cielo abierto*. <https://www.onemine.org/document/abstract.cfm?docid=225494>

ANEXOS

Anexo 1 Diseño de método de minado cut & fill convencional



Anexo 2 Diseño de método de minado cut & fill semi mecanizado

I. INFRAESTRUCTURA

SECCIÓN LONGITUDINAL

SECCIÓN TRANSVERSAL

VISTA EN PLANTA

El desarrollo de labores para iniciar la explotación mediante Corte y Relleno Ascendente Mecanizado es la siguiente:

- Avance de Rampa negativa o positiva, realizado en la caja techo a una distancia de 35 m a 45m de la veta.
- Desde la rampa, se intercepta la veta con acceso con gradiente -18% y paulatinamente se hace el "rebatido", para continuar la explotación.
- Finalmente, el Tajeo queda listo para iniciar la explotación con perforación en "realce" o "breasting".

Secciones labores de desarrollo y preparación :

Rampa	:	4.0 x 4.0m
Accesos	:	4.0 x 4.0m.

II. SECUENCIA DE MINADO

2.1 GALERIA

En el desarrollo de la galería, se determina la calidad del macizo rocoso y de la veta; en los rangos de RMR menores a 40, se aplica el método de Corte y Relleno Ascendente con perforación horizontal o breasting. La perforación en realce, se realiza con máquinas jackleg y barras de perforación de 4', 6' y 8', brocas descartables de 41mm de diámetro. La altura de perforación entre el piso de relleno y la corona del tajeo debe estar entre 2.20 a 3.50m.

2.2 RELLENO DETRITICO

Desde el acceso, se rellena el máximo espacio abierto, para controlar la estabilidad en la explotación. El relleno se hace con el desmonte proveniente del avance de labores de desarrollo.

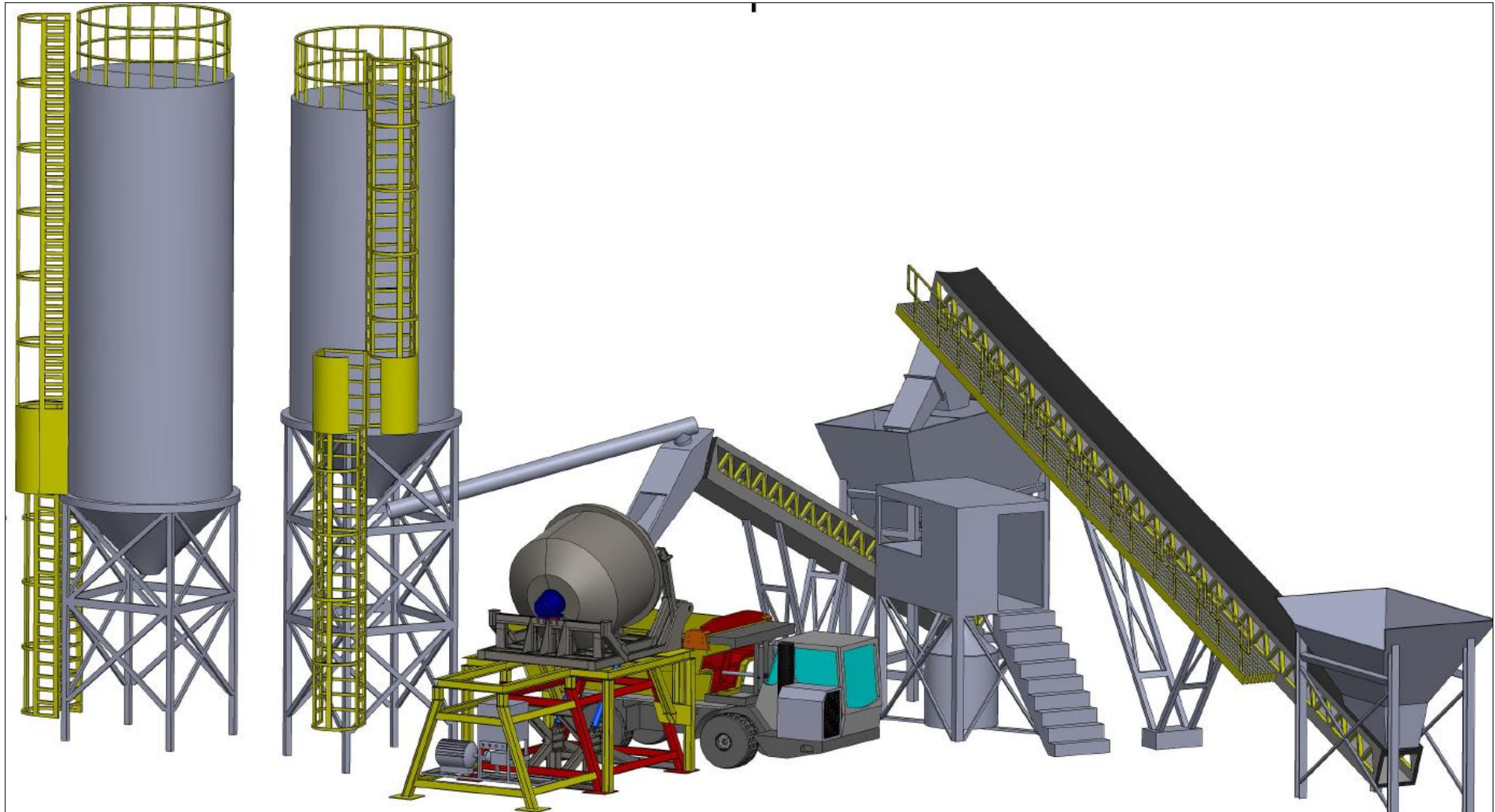
2.3 REALCE DE ACCESO

El siguiente paso es realizar el acceso para formar el frente de explotación. El ciclo de minado es el siguiente:
Perforación ==> Voladura ==> Ventilación ==> Shotcrete ==> Empernado con split set 5' ==> Limpieza.

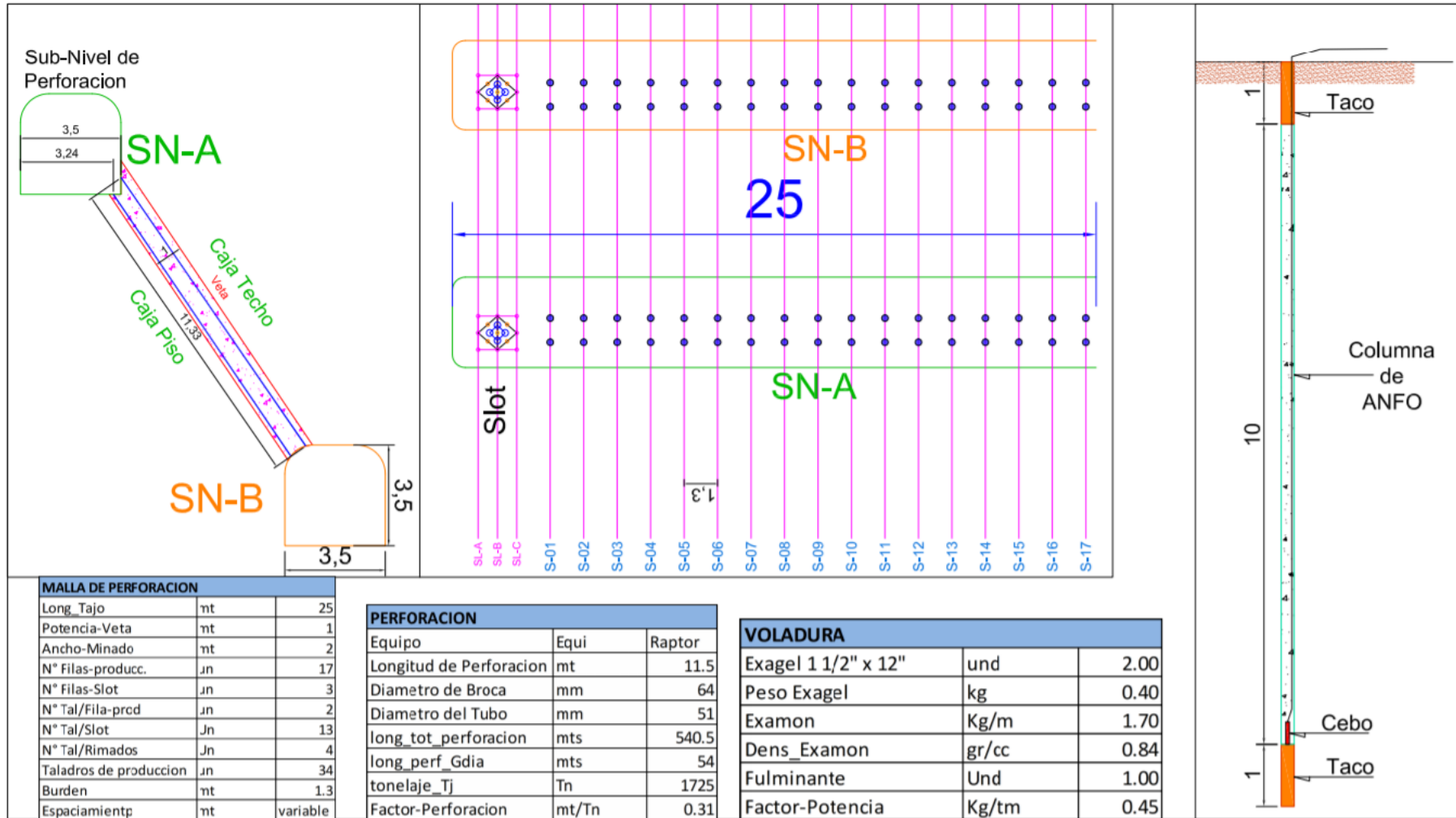
Se aclara que para el empernado, debe transcurrir 6 horas después del shotcrete.

2.4 LIMPIEZA Y SOSTENIMIENTO

El ciclo se repite hasta llegar al extremo del tajeo y posteriormente se repite el ciclo de minado.

Anexo 3 Vista General de la Planta de Concreto

Anexo 4 Diseño de método de minado sublevel stoping



Anexo 5 Secuencia de minado sublevel stoping

