

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Industrial

“IMPLEMENTACIÓN DE MEJORA EN EL PROCESO DE FLOTACIÓN BASADA EN EL CICLO DE DEMING PARA REDUCIR EL CONSUMO DE REACTIVOS EN UNA PLANTA CONCENTRADORA DE PLOMO Y ZINC”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Industrial

Autor:

Cipriano Elver Pablo Zevallos

Asesor:

Mg. Elmer Aguilar Briones

Cajamarca - Perú

2020



DEDICATORIA

Posiblemente en este momento no entiendan mis palabras,
pero para cuando crezcan, quiero que se den cuenta de lo que
significan para mí. Son la razón de que me levante cada día
esforzarme por su presente y futuro.
Par ustedes Benjamín y Leonela con mucho cariño.

AGRADECIMIENTO

Tus esfuerzos son impresionantes y tu amor para mí es invaluable. Junto con mi padre me has educado, me has proporcionado todo y cada cosa que he necesitado. Tus enseñanzas las aplico cada día.
¡Muchas Gracias Mama!

INDICE

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	3
ÍNDICE DE TABLAS.....	6
ÍNDICE DE FIGURAS.....	7
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	8
RESUMEN.....	9
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	10
1.1. Realidad Problemática.....	10
1.2. Formulación del Problema	12
1.2.1. Problema General.....	12
1.3. Objetivos	13
1.3.1. Objetivo General	13
1.3.2. Objetivos Específicos	13
1.4. Hipótesis.....	14
1.4.1. Hipótesis General.....	14
CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA	15
2.1. Tipo de investigación	15
2.2. Diseño de investigación.....	15
2.3. Lugar y periodo realizado.....	15
2.4. Instrumentos y técnicas de recolección de datos	15
2.5. Definición de variables.....	16
2.6. Procedimiento	16
2.7. Procesamiento de datos	18
2.8. Consideraciones éticas	19
CAPÍTULO 3. RESULTADOS.....	22
3.1. Diagnóstico general de la Empresa	22
3.1.1. Misión.....	24
3.1.2. Visión	24
3.1.3. Principales procesos	24
3.1.4. Productos que extrae la empresa	26
3.1.5. Estructura económica	27
3.1.6. Producción de minerales.....	28
3.2. Resultado del diagnóstico Situacional del área de estudio	29
3.2.1. Mapa de procesos	29

3.2.2.	Diagnóstico Situacional del Proceso de Flotación Pb-Zn.....	31
3.2.3.	Diagrama de Pareto de consumo de reactivos.....	34
3.2.4.	Diagrama de Ishikawa	38
3.2.5.	Flujogramas de proceso	41
3.2.6.	Diagrama analítico de procesos de flotación	43
3.2.7.	Diagrama de recorrido	46
3.2.8.	Resultado de la Matriz de operacionalización antes de las mejoras	47
3.3.	Resultado de la implementación de mejoras.....	56
3.3.1.	Acción de mejora n° 1: Implementación de Programa de Capacitación	56
3.3.2.	Acción de mejora n° 2: Implementación de un sistema de control automático tipo ratio para dosificación de sulfato de cobre y cianuro de sodio.	61
3.3.3.	Acción de mejora n° 3: Implementación de Controles Operativos	64
3.3.4.	Acción de mejora n° 4: Nuevo procedimiento Escrito de Trabajo para la manipulación de reactivos sulfato de cobre y cianuro de sodio	67
3.3.5.	Acción de mejora n° 5, Implementación de Dashboards de control de Costos operativos.....	71
3.3.6.	Resultados de la Matriz de operacionalización luego de la mejora y comparativo	72
3.4.	Resultado de análisis de costos y beneficios económicos de las acciones de mejora	83
3.4.1.	Costos Incurridos en el Proyecto.....	83
3.4.2.	Beneficios después de implementar las mejoras	83
3.4.3.	Análisis Financiero.....	84
CAPÍTULO 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES		87
4.1.	Discusión	87
4.2.	Conclusiones.....	90
REFERENCIAS.....		92
ANEXOS		94

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Matriz de consistencia	20
Tabla 2: Datos Generales	22
Tabla 3 Indicadores de producción de mineral: Cobre	27
Tabla 4: Tratamiento de Minerales	28
Tabla 5: Indicadores de producción de mineral	28
Tabla 6: Análisis de Pareto.....	36
Tabla 7 Análisis de Pareto de la problemática general	40
Tabla 8 Diagrama analítico de proceso de producción	43
Tabla 9: Resultado Operacionalización de variable independiente antes de la mejora.....	49
Tabla 10 Consumos de cianuro de sodio inicial	51
Tabla 11 Consumos de sulfato de cobre inicial	51
Tabla 12: Resultado Operacionalización de variable dependiente antes de la mejora	55
Tabla 13 Formato para el registro de participantes de las actividades de capacitación	57
Tabla 14 Cronograma de actividades de capacitación	58
Tabla 15: Resultado operacionalización de variable independiente luego de la mejora	74
Tabla 16 Consumos de cianuro de sodio final.....	76
Tabla 17 Consumos de sulfato de cobre final.....	76
Tabla 18: Resultado operacionalización de variable dependiente luego de la mejora	80
Tabla 19: Resultados antes y después de la operacionalización de la variable independiente	81
Tabla 20: Resultados antes y después de la operacionalización de la variable dependiente	82
Tabla 21 Costos de las mejoras	83
Tabla 22 Beneficios de las mejoras	84
Tabla 23: Evaluación económica (expresando en soles).....	85
Tabla 24 Indicadores económicos.....	86

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ciclo de Deming planteado	18
Figura 2: Ubicación de la planta concentradora en la Provincia de Pasco.....	23
Figura 3: Exploración de nuevos yacimientos en la Provincia de Pasco	24
Figura 4: Exteriores del campo para trabajadores	25
Figura 5: Transporte de materiales extraídos	25
Figura 6: Personal en el área de trabajo	26
Figura 7: Mapa de procesos de SMEB	30
Figura 8: Maquina del área de flotación de minerales	32
Figura 9: Ambientes de trabajo para la dosificación de reactivos	32
Figura 10: Equipos para el proceso de dosificación de reactivos	33
Figura.10: Diagrama de Pareto para costos unitarios de planta concentradora	35
Figura.11: Diagrama de Pareto para costos totales de planta de suministro	37
Figura.12 Diagrama de Ishikawa.....	39
Figura.13 Diagrama de Pareto.....	41
Figura 14 Flujograma típico Planta Concentradora Pb - Zn	41
Figura.15: Flujograma de procesos para la flotación de reactivos	42
Figura 16: Diagrama de recorrido para la flotación de minerales	46
Figura 18 Temas de capacitación para el personal	60
Figura 19 Equipo ACS355.....	61
Figura 19: Desarrollo HMI – ABB System 800 xA	62
Figura 20: Flujo de ingreso a flotación de minerales.....	63
Figura 21 Variador de Velocidad para Bombas de dosificación de reactivos.....	63
Figura 22: Instalación de flujómetros de dosificación de reactivos.....	64
Figura 23 Equipo Courier 5X SL	65
Figura 24 Equipo Courier 5X SL instalado en una planta	65
Figura 25 Pantalla de control del equipo Courier 5X SL.....	66
Figura 26 Implementación de Dashboard de control de costos operativos	71
Figura 28 Beneficio de las mejoras	84

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Cálculo del tonelaje concentrado inicial	47
Ecuación 2 Cálculo del relave de minerales inicial	48
Ecuación 3 Cálculo del recuperación de minerales inicial.....	48
Ecuación 4 Cálculo del consumo mensual inicial	50
Ecuación 5 Cálculo del consumo de energía inicial	52
Ecuación 6 Cálculo del empleo de horas hombre mensual inicial	53
Ecuación 7 Cálculo del costo de consumo de reactivos mensual inicial	53
Ecuación 8 Cálculo del costo de energía eléctrica inicial	54
Ecuación 9 Cálculo del costo de mano de obra inicial	54
Ecuación 10 Cálculo del tonelaje concentrado final.....	72
Ecuación 11 Cálculo del relave de minerales final.....	73
Ecuación 12 Cálculo del recuperación de minerales final	73
Ecuación 13 Cálculo del consumo de reactivos mensual final.....	75
Ecuación 14 Cálculo del consumo de energía final.....	77
Ecuación 15 Cálculo de empleo de horas hombre final	78
Ecuación 16 Cálculo del costo del consumo mensual final	78
Ecuación 17 Cálculo del costo de energía eléctrica final.....	79
Ecuación 18 Cálculo del costo mano de obra final.....	79

RESUMEN

El consumo de reactivos es una sección importante en el proceso de tratamiento del plomo y zinc, minerales que aportan gran valor a nuestra balanza comercial. El alto consumo de reactivos implica grandes gastos para las empresas mineras, lo que genera pérdidas en el mediano y largo plazo. La presente investigación tiene como finalidad determinar en qué medida la implementación de mejora basada en el ciclo de Deming reduce el consumo de reactivos en una planta procesadora de plomo y zinc de una empresa del sector minero. Dicho objetivo es posible mediante el diagnóstico de la situación inicial, la implementación de las mejoras, la medición y comparación de los resultados antes y después de los cambios y la evaluación económica de dicha implementación. La investigación realizada fue de enfoque cuantitativo, de naturaleza aplicada, con un diseño cuasi experimental; la población fue la totalidad de procesos realizados en la Sociedad Minera El Brocal S.A.A. y la muestra se determinó por el proceso de flotación en las plantas de SMEB. Para la implementación de la mejora se empleó la metodología proporcionada por el ciclo de Deming, en donde se utilizaron instrumentos como formularios, diagramas de flujo de los procesos, fichas de entrada, reporte de consumo de reactivos, y registro de la información producto de la observación directa.

Los resultados mostraron que se redujo el consumo de reactivos entre 10 % (de 300 a 270 toneladas) para el sulfato de cobre y 12 % (de 120 a 105 toneladas) para el cianuro de sodio. Además, se disminuyó el empleo de horas hombre en 12.5 % (de 2880 a 2520 horas) y el consumo de electricidad en 17% (de 7200 a 6000 KWH). La evaluación económica demostró que la implementación genera beneficios a la empresa, dado que es viable y sostenible. Se calculó una inversión inicial del proyecto completo en USD 200,000 dólares, los ahorros mensuales fueron de USD 113,039 dólares. Dichos montos determinaron un valor actual neto (VAN) de USD 1'164,832.58 dólares y una TIR mensual de 20.95%.

Palabras Clave: Ciclo de Deming, Flotación, Reactivos, Sostenible, Ahorro.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad Problemática

Para 2019, las perspectivas señalan que la economía global continuará debilitándose, y para las economías emergentes y los países productores de materias primas habrá expectativa en el desenlace que tengan las negociaciones comerciales entre Estados Unidos y China. En el Perú, los retos de los sectores público y privado apuntarán a trabajar en un clima de consensos y con una agenda común que permitirá afirmar la ruta del desarrollo, para emprender las reformas que signifiquen para la población más empleo, infraestructura y servicios básicos de calidad.

En el plano local la compañía “Sociedad Minera El Brocal”, desea estabilizar un tratamiento de mineral superior a 20,000 TM diario, y mantener un EBITDA > US\$ 100 Millones, para ello es necesario mejorar la eficiencia en todos los procesos de la compañía, sin embargo la presente investigación se centra principalmente en los procesos de planta, puntualmente en el proceso de flotación, esto debido a que el costo de reactivos en las plantas concentradoras de Pb-Zn típicamente representan el 25-30% del costo total de planta, de este porcentaje el uso de Sulfato de Cobre y Cianuro de Sodio representan el 70 % del costo total de reactivos, que comúnmente se usan en este tipo de plantas, el ratio de dosificación de estos reactivos obedecen a un cálculo teórico que involucra, entre otras variables, el tonelaje de alimentación y ley de cabeza (% Zn y % Fe). Sin embargo, debido a diversas circunstancias en SMEB la ratio es controlado manualmente en el campo por el operador de acuerdo a los resultados de lecturas puntuales obtenidos en los distintos procesos de molienda y flotación.

Este problema fue resuelto desde una propuesta de aplicación de mejora continua basado en el Ciclo de Deming, en el proceso de tratamiento de minerales para reducir el consumo de reactivos, como lo muestra Mijahuanca y Castañeda (2018) y Suca (2017), o mediante el uso de tecnologías como el caso de Colqui (2017) y Galindo (2016). Los modelos propuestos para la solución del problema presentan el siguiente orden de complejidad: el uso de equipos modernos y sistemas de control para mejorar el proceso de tratamiento planteado por Mijahuanca y Castañeda (2018) y Suca (2017); el modelo de evaluación por pruebas de

laboratorio propuesto por Colqui (2017) y el modelo de optimización de circuito de flotación de minerales propuesto por Mamani (2017).

El estudio fue realizado siguiendo el modelo de análisis de la situación actual de la empresa y del procesamiento de los minerales a través de un esquema similar al de Majihuanca y Castañeda (2018), sus propuestas son evaluadas y ajustadas en la medida se aproxime al caso. La propuesta de mejora en el proceso de tratamiento de minerales desarrollada en la investigación consiste en la visualización de las condiciones de campo, la recolección de datos considerando indicadores claves, el análisis de la información con diagramas de Ishikawa y Pareto y la producción de la propuesta. La investigación se aleja del análisis de químicos en laboratorio y del desarrollo de software, propuestas de Colqui (2017) y Sánchez y Villavicencio (2013), pues resulta más conveniente una propuesta de mejora desde los recursos ya existentes.

1.2. Formulación del Problema

1.2.1. Problema General

¿En qué medida la implementación de mejora en el proceso de flotación basada en el ciclo de Deming reduce el consumo de reactivos en una planta procesadora de plomo y zinc de una empresa de rubro minero?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Determinar en qué medida la implementación de mejora basada en el ciclo de Deming reduce el consumo de reactivos en una planta procesadora de plomo y zinc de una empresa del sector minero.

1.3.2. Objetivos Específicos

Realizar un diagnóstico situacional actual del proceso de flotación de minerales e identificar los factores críticos que impactan en el consumo inicial de reactivos en una planta procesadora de plomo y zinc de una empresa del rubro minero.

Implementar las mejoras en el proceso de flotación basadas en el ciclo de Deming para la reducción del consumo de reactivos en una planta concentradora de plomo y zinc.

Medir y comparar los resultados de la implementación de mejora basada en el Ciclo de Deming.

Evaluar el impacto económico de la implementación resaltando los indicadores claves de inversión.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis General

La implementación de mejora basada en el ciclo de Deming reduciría el consumo de reactivos en una planta procesadora de plomo y zinc de una empresa del rubro minero

CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

Esta investigación fue elaborada de acuerdo con Hernandez, Fernandez y Baptista (2010) a partir de un enfoque cuantitativo, el cual permite observar, analizar y validar los datos referentes a medidas de uso en los reactivos, procesos, indicadores y costos. Es de naturaleza aplicada, de manera que propone resolver un problema real en una situación y localidad específica, buscando operativizar lo que se sostiene en el presente trabajo. Asimismo, el presente estudio está diseñado de manera cuasi-experimental de manera que se ha influenciado en una variable independiente (propuesta de mejora) con la finalidad de reducir el consumo de reactivos.

2.2. Diseño de investigación

El diseño según Baena (2014) la investigación es de enfoque cuasi-experimental de la investigación nos permitirá influir en una propuesta de mejora en el proceso de tratamiento de minerales teniendo como resultado una reducción en el consumo de reactivos en la planta procesadora de plomo y zinc para el año 2019.

2.3. Lugar y periodo realizado

El estudio se realizó en la planta concentradora de la Sociedad Minera El Brocal S.A.A., Proyecto ubicado en la Unidad Minera Colquijirca - Planta Concentradora Huaraucaca, distrito de Tinyahuarco, Cerro de Pasco, el cual contempla Plantas de Chancado Primario, Secundario, Terciario, Planta de Lavado y la ampliación de las Plantas de Molienda y Flotación, Planta de Reactivos y Planta de Cal. Las aplicaciones y análisis de datos se llevaron a cabo para el año 2019.

2.4. Instrumentos y técnicas de recolección de datos

En lo que respecta al uso de técnicas, tenemos que estas se fundamentan en la tabulación de cuadros y porcentajes, comprensión de gráficos, y la revisión de reportes y memorias de la Sociedad Minera El Brocal S.A.A.; mientras que los instrumentos

principales utilizados fueron formularios, diagramas de flujo de los procesos, fichas de entrada, reporte de consumo de reactivos, y registro de la información producto de la observación directa del tratamiento de los minerales.

2.5. Definición de variables

La investigación establece variables que cumplen un papel fundamental en el desarrollo del procesamiento de los minerales:

- Variable dependiente: Consumo de reactivos en la planta procesadora de Plomo y Zinc.
- Variable independiente: Proceso de flotación basado en el ciclo de Deming.
- Indicadores: Porcentaje de reducción de consumos, costos operativos, productividad de la planta.

2.6. Procedimiento

El procedimiento llevado a cabo en la aplicación se basa en la metodología de mejora continua Ciclo de Deming, Según Walton (2004) y contempla las siguientes etapas generales:

a) Planear

- Visualización de las condiciones de campo: Se procede a realizar un exhaustivo análisis de la dinámica en la cual se desenvuelve el procesamiento de los minerales antes y después de su interacción con los reactivos en el proceso de flotación.
- Recolección de datos: Se obtuvieron directamente de la empresa Sociedad Minera El Brocal SAC, la cual facilitó de buena fe los cuadros y documentos necesarios que permitan constatar con exactitud las medidas y resultados logrados en el procesamiento integral de los minerales.
- Análisis de la información: Se evalúan los resultados obtenidos según la información brindada y se verifica la efectividad de la propuesta de mejora.

b) Hacer

- Realizar la ejecución, desarrollo y/o implementación de las mejoras seleccionadas para cada tipo de debilidad encontrada en la evaluación previa.
- Realizar una adecuada supervisión de la implementación, teniendo en cuenta los tiempos y costos del proyecto.

c) Verificar

- Realizar el monitoreo del cumplimiento de la implementación de la mejora.
- En esta etapa se mide progresivamente los indicadores, observando la variación de estos conformes se va realizando las actividades de los planes de acción, siendo estas las acciones tomadas e implementadas, los procesos, manuales, guías de verificación, capacitaciones, entre otros hacen notar que la metodología ha tenido impacto en la empresa y los colaboradores.

d) Actuar

- En esta etapa se informa a la empresa sobre los resultados obtenidos en el cual se obtuvieron resultados esperados, es por ello que se le entrega a la gerencia los planes de mejora continua, con lo cual ella realizará el aseguramiento de la mejora. También se le entrega los formatos de procedimiento con las cuales se trabajó las tres etapas previas.

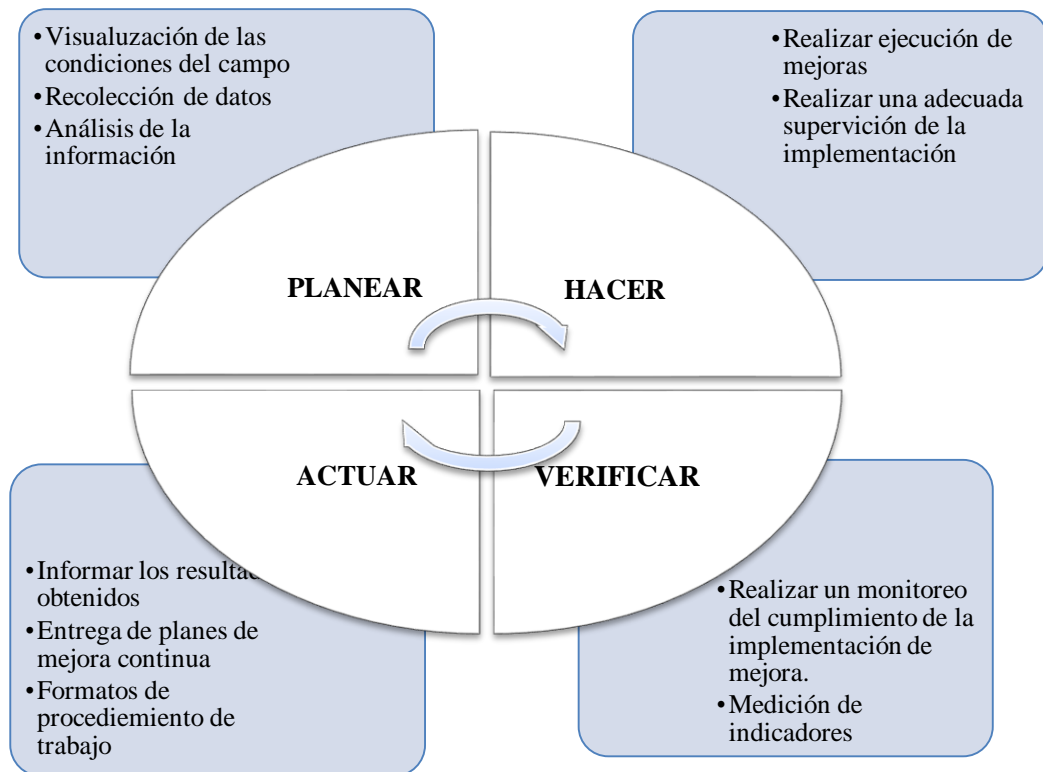


Figura 1 Ciclo de Deming planteado

2.7. Procesamiento de datos

Para el procesamiento de los datos se cuenta principalmente con el software Microsoft Excel, el cual permite sistematizar, analizar y evaluar los datos obtenidos en los procesos desarrollados. Dentro del análisis se podrá observar la variación de las variables dependientes e independientes a través de los indicadores propuestos; ello mediante cuadros y gráficos ofrecidos por el software en mención. De esta manera, la efectividad de la propuesta de mejora en el procesamiento de minerales para la reducción del consumo de reactivos podrá ser verificable.

2.8. Consideraciones éticas

La información presentada se ha obtenido de la empresa Sociedad Minera El Brocal S.A.A con el objetivo de utilizarla para exclusivos fines académicos, significando una fuente fidedigna y responsable. Asimismo, el texto es resultado de la elaboración propia teniendo como base fuentes académicas sólidas que se presentan en la sección correspondiente.

A continuación, se presenta la matriz de consistencia que detalla de manera conjunta los problemas planteados, los objetivos de la investigación, las hipótesis a demostrar, las variables de tratamiento, y la metodología empleada. La información se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 1: *Matriz de consistencia*

Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables	Metodología
Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	Variable independiente	1. Tipo: Aplicada, Cuantitativo 2. Enfoque: Cuantitativo; 3. Nivel: Explicativa; 4. Diseño: Cuasi-experimental 5. Método: Deductivo-Inductivo 6. Unidad de análisis: Área de reactivos en la planta de tratamiento de una empresa del rubro minero. 7. Técnicas: Observación directa, análisis documental; 8. Instrumentos: Fichas de consumo de reactivos, diagramas de flujos, bases de datos, registros de producción
¿En qué medida la implementación de mejora en el proceso de flotación basada en el ciclo de Deming reduce el consumo de reactivos en una planta procesadora de plomo y zinc de una empresa de rubro minero?	Determinar en qué medida la implementación de mejora basada en el ciclo de Deming reduce el consumo de reactivos en una planta procesadora de plomo y zinc de una empresa del sector minero.	La implementación de mejora basada en el ciclo de Deming reduciría el consumo de reactivos en una planta procesadora de Plomo y Zinc de una empresa del rubro minero	Proceso de flotación basado en el Ciclo de Deming	
	Objetivos específicos		Variable dependiente	
	Identificar los factores críticos que impactan en el consumo actual de reactivos en una planta procesadora de Plomo y Zinc de una empresa del rubro minero.			
	Implementar las mejoras en el proceso de flotación basadas en el ciclo de Deming reduciría el consumo de reactivos en una planta procesadora de plomo y zinc de una empresa del rubro minero.		Consumo de reactivos en la planta procesadora de Plomo y Zinc	

	<p>Medir y comparar los resultados de la implementación de mejora basada en el Ciclo de Deming al reducir el consumo de reactivos en una planta procesadora de plomo y zinc de una empresa del rubro minero</p>			
	<p>Evaluar el impacto económico de la implementación resaltando los indicadores claves de inversión al reducir el consumo de reactivos en una planta procesadora de plomo y zinc de una empresa del rubro minero</p>			

Elaboración propia

CAPÍTULO 3. RESULTADOS

3.1. Diagnóstico general de la Empresa

Para el inicio del análisis de la propuesta de mejora, se procede a presentar los datos generales de la empresa a evaluar, en este caso la Sociedad Minera El Brocal, en la siguiente tabla:

Tabla 2: *Datos Generales*

DENOMINACIÓN	Sociedad Minera El Brocal S.A.A
OFICINA PRINCIPAL	Calle las Begonias 415, piso 19, San Isidro, Lima, Perú
TELÉFONO	(511) 419 2500
PÁGINA WEB	www.elbrocal.pe

Fuente: Memoria Anual El Brocal 2018

La compañía se constituyó con un plazo indeterminado de operaciones en la ciudad de Lima, el 7 de mayo de 1956, cuya escritura pública fue extendida ante el notario de Lima Doctor Ricardo Ortiz de Zevallos. En la Junta Obligatoria Anual de Accionistas del 20 de febrero de 2003, se acordó adaptar la empresa al régimen de Sociedad Anónima abierta. La última modificación parcial del estatuto fue realizada el 11 de noviembre de 2016, otorgada ante el notario público de Lima, doctor Aníbal Corvetto Romero, e inscrita en el asiento B0007 de la partida 06002957 del Registro de Personas Jurídicas de la Oficina Registral de Lima. El 10 de abril de 2000 se obtuvo la certificación de la inscripción de las acciones de capital social, en la sección Valores Mobiliarios de Emisión de la CONASEV (Superintendencia del Mercado de Valores, SMV).

La planta concentradora recibe los minerales provenientes de las minas Tajo Norte o Marcapunta Norte para realizar procesos de chancado, clasificación, molienda, acondicionamiento, flotación y filtrado. Se encuentra ubicada en Huaraucaca a 7.5 Km del tajo abierto, cuenta con una capacidad de tratamiento de 18 000 toneladas métricas por día.

Otro aspecto importante a considerar es la ubicación en donde se concentrarán las actividades, para esto también se cuenta con la información proporcionada por la misma empresa. A continuación, se adjunta el mapa de ubicación:

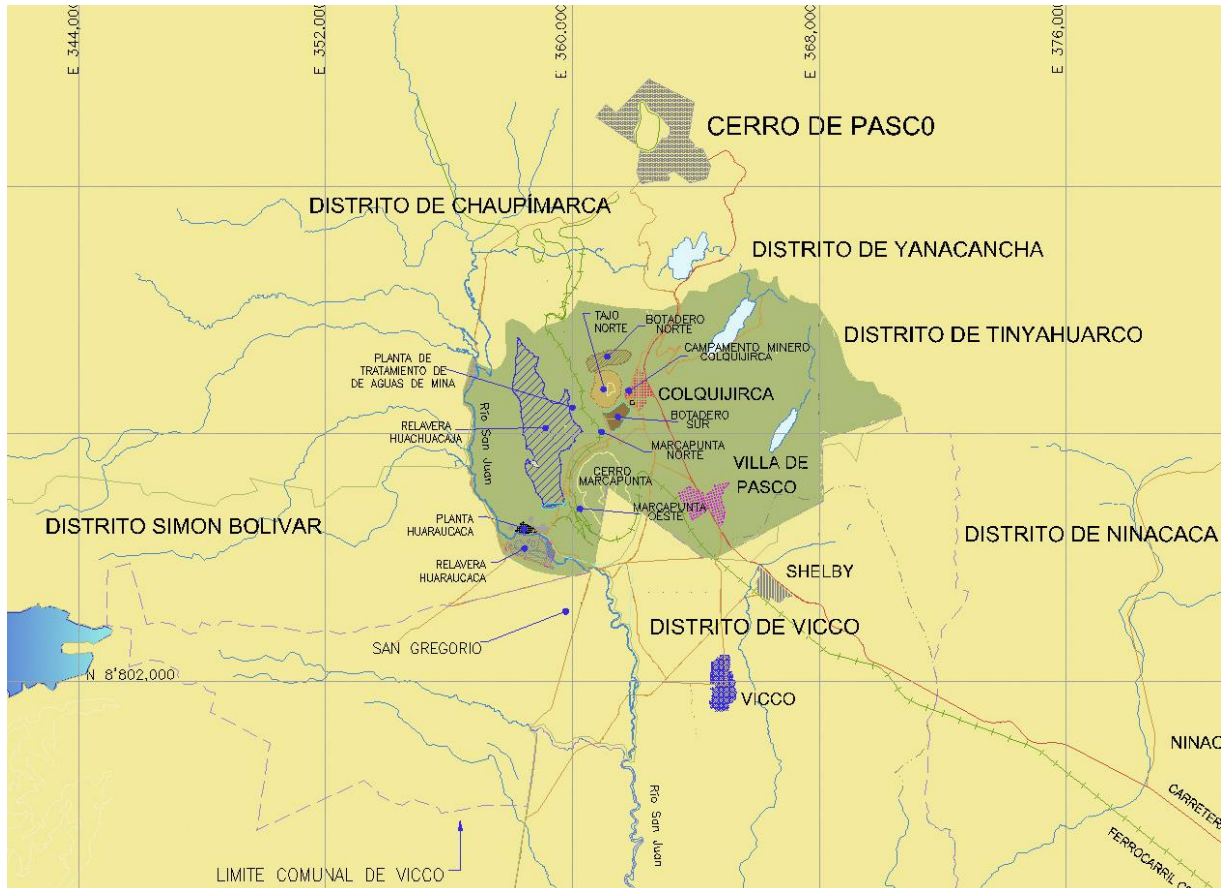


Figura 2: Ubicación de la planta concentradora en la Provincia de Pasco

Fuente: Sociedad Minera El Brocal (2019)

Las operaciones se desarrollan en los siguientes lugares:

- Unidad minera de Colquijirca
- Planta concentradora de Huaraucaca

Ambas ubicaciones se localizan en el distrito de Tinyahuarco, provincia de Pasco, departamento y región de Pasco.

3.1.1. Misión

Producir concentrados minerales y metales, garantizando la creación de valor para los accionistas. Realizar actividades de exploración, asegurando la continuidad del proceso de explotación del mineral, generando oportunidades de desarrollo para nuestros colaboradores y las comunidades del entorno. Mantener el compromiso de operar y desarrollar nuestros proyectos con innovación, eficacia, seguridad, responsabilidad social y ambiental, y buen gobierno corporativo.

3.1.2. Visión

El Brocal es una empresa minero metalúrgica moderna, la cual opera con rentabilidad en sus inversiones; cuenta con amplios recursos y reservas de mineral que garantizan su sostenibilidad y crecimiento en el mediano y largo plazo, a partir de nuevas operaciones mineras que opera con responsabilidad para con su entorno.

3.1.3. Principales procesos

Como ya se mencionó anteriormente, la compañía se encarga a la actividad minera, lo cual implica distintos procesos productivos, tales como la exploración de nuevos yacimientos, la extracción de minerales, el procesamiento de los mismos, la manipulación de maquinarias, entre otros. Para graficar dichas operaciones se muestran las siguientes imágenes brindadas por la empresa:



Figura 3: Exploración de nuevos yacimientos en la Provincia de Pasco

Fuente: Sociedad Minera El Brocal (2019)

Como se observa en la figura anterior, la empresa se encuentra en la constante búsqueda de nuevos yacimientos mineros o zonas que puedan albergar importantes minerales para la industria a nivel mundial, para ello hace uso de la más alta tecnología, posteriormente realiza análisis topográfico de la zona e identifica los tipos de minerales que alberga. Se puede mencionar además que la empresa cuenta con instalaciones adecuadas para el desarrollo de la actividad minera, considerando la protección contra los efectos del clima, para ello se muestra la siguiente figura:



Figura 4: Exteriores del campo para trabajadores

Fuente: Sociedad Minera El Brocal (2019)

En la figura anterior se muestra el área correspondiente para la estancia de los trabajadores durante el proceso de extracción y tratamiento de minerales, por lo que se dispone de instalaciones cómodas, además de buses y autos para el transporte del personal. Dado que se recolecta gran cantidad de minerales en la zona, la empresa cuenta con la comunicación adecuada y los medios de transporte necesarios para este tipo de trabajos, como referencia se muestran la siguiente imagen:



Figura 5: Transporte de materiales extraídos

Fuente: Sociedad Minera El Brocal (2019)

En las anteriores imágenes se observa la coordinación por parte del personal para el transporte de materiales. Se cuenta con equipos de telecomunicaciones y radio de largo alcance, los cuales se mantienen operativos en alturas y a pesar de las complicaciones de la zona; adicionalmente, los vehículos resisten altas cargas de peso y su diseño les permite atravesar los caminos. A continuación, se presenta al personal operativo en las plantas mientras realizan sus labores.



Figura 6: Personal en el área de trabajo

Fuente: Sociedad Minera El Brocal (2019)

En la figura anterior se observa al personal operativo en el campo en donde se desarrolla, ellos cuentan con la implementación necesaria para sus labores, tales como casco de seguridad, lentes, mascarilla de respiración, entre otros; además de estar claramente identificados con un fotocheck, el cual indica sus datos personales y el sector al cual corresponden.

3.1.4. Productos que extrae la empresa

Entre los principales productos que se extraen de la mina, se encuentran:

- Plomo
- Cobre
- Zinc
- Plata

El cobre es un elemento sustancial en el proceso de industrialización, por lo que su producción es de gran interés para las empresas, además que el mercado internacional constantemente se encuentra en su búsqueda, considerando la creciente subida de los precios de dicho elemento a nivel mundial. Para detallar la extracción de cobre de la empresa se muestra la siguiente tabla:

Tabla 3 *Indicadores de producción de mineral: Cobre*

ÍTEM	UNIDAD	2018	2017	2016
MARCAPUNTA NORTE				
Mineral	TMS	3'149.004	2'540.038	2'606.258
Cu	%	1,75	2,02	2,18
Ag	oz/TM	0,73	0,69	0,51

Fuente: Memoria Anual El Brocal 2019

En la tabla anterior se aprecia la producción de la planta Marca Punta Norte respecto al cobre, la cual se ha incrementado considerablemente desde el 2016 hasta el 2018, en donde se superan las 3,149 toneladas métricas del producto seco; adicionalmente, se muestra la producción de plata en onzas por tonelada.

3.1.5. Estructura económica

El capital social de la empresa, al 31 de diciembre de 2018, es de S/ 1, 091'799.982,00 (unos mil noventa y unos millones setecientos noventa y nueve mil novecientos ochenta y dos y 00/100 soles), monto íntegramente suscrito y pagado, representado por 155'971.426 (ciento cincuenta y cinco millones novecientos setenta y un mil cuatrocientos veintiséis) acciones comunes de un valor nominal de S/7,00 (siete y 00/100 soles) cada una. El brocal cuenta con dos valores inscritos en el Registro Público del Mercado de Valores de Lima:

- Acciones Comunes (Brocal C1).
- Acciones de Inversión (Brocal I1).

El valor de mercado de las acciones al 31 de diciembre de 2018 asciende a S/ 6,02 por acción común, con una frecuencia de negociación de 20.00 por ciento; y S/ 4,16 por acción de inversión, con una frecuencia de negociación de 5.00 por ciento. La Compañía de Minas Buenaventura S.A.A. posee de manera directa e indirecta el 99,99996% del capital social de

Inversiones Colquijirca S.A, entidad que a su vez es dueña del 58,25% de las acciones representativas del capital social de El Brocal. La participación directa e indirecta de “Compañía de Minas Buenaventura S.A.A.” en El Brocal, al 31 de diciembre de 2018, asciende a 61,43%.

3.1.6. Producción de minerales

La cantidad de productos extraídos durante los tres últimos años se muestran en las siguientes tablas:

Tabla 4: *Tratamiento de Minerales*

PRODUCTO	MINERAL	2018	2017	2016
MINERAL DE CABEZA				
Producción Pb/Zn	TMS	3'429.618	3' 169.908	3'513.959
Producción Cu	TMS	3'204.261	2'517, 673	2'597.926
Producción Total	TMS	6'633.879	5'687.581	6'111.885

Fuente: Memoria Anual El Brocal 2018

Como se muestra en la tabla la producción total de 3'429.618 toneladas métricas secas de plomo y zinc y 3'204.261 toneladas métricas secas de cobre lo que constituye un total de 6'633.879 TMS en el complejo metalúrgico en Huaraucaca para el año 2018.

Concentración de minerales:

Tabla 5: *Indicadores de producción de mineral*

PRODUCTO	MINERAL	2018	2017	2016
MINERAL DE CABEZA				
Ley: Pb	%	1.11	1.13	0.77
Ley: Ag	%	1.13	1.32	0.88
Ley: Zn	%	2.30	2.74	2.67
Concentrado Pb	TMS	41,861	41,748	27,938
Recuperación Pb	%	53.9	56.7	47.6
Recuperación Ag	%	41.9	46.5	34.0

Fuente: Memoria Anual El Brocal 2018

En la tabla anterior se aprecia la producción de Plomo de la unidad minera. El total del concentrado de plomo extraído para el último periodo (2018) fue de 41,861 Toneladas métricas secas, y la recuperación de Pb en 53.9%.

3.2. Resultado del diagnóstico Situacional del área de estudio

Para realizar el diagnóstico situacional de la compañía se utilizó la herramienta de mejora continua basado en el Ciclo Deming, cuya metodología es PHVA.

3.2.1. Mapa de procesos

Como parte del proceso de mejora que se propone implementar en la compañía, es necesario mostrar los diagramas de proceso de la unidad minera, estos procesos son descritos en la siguiente figura:

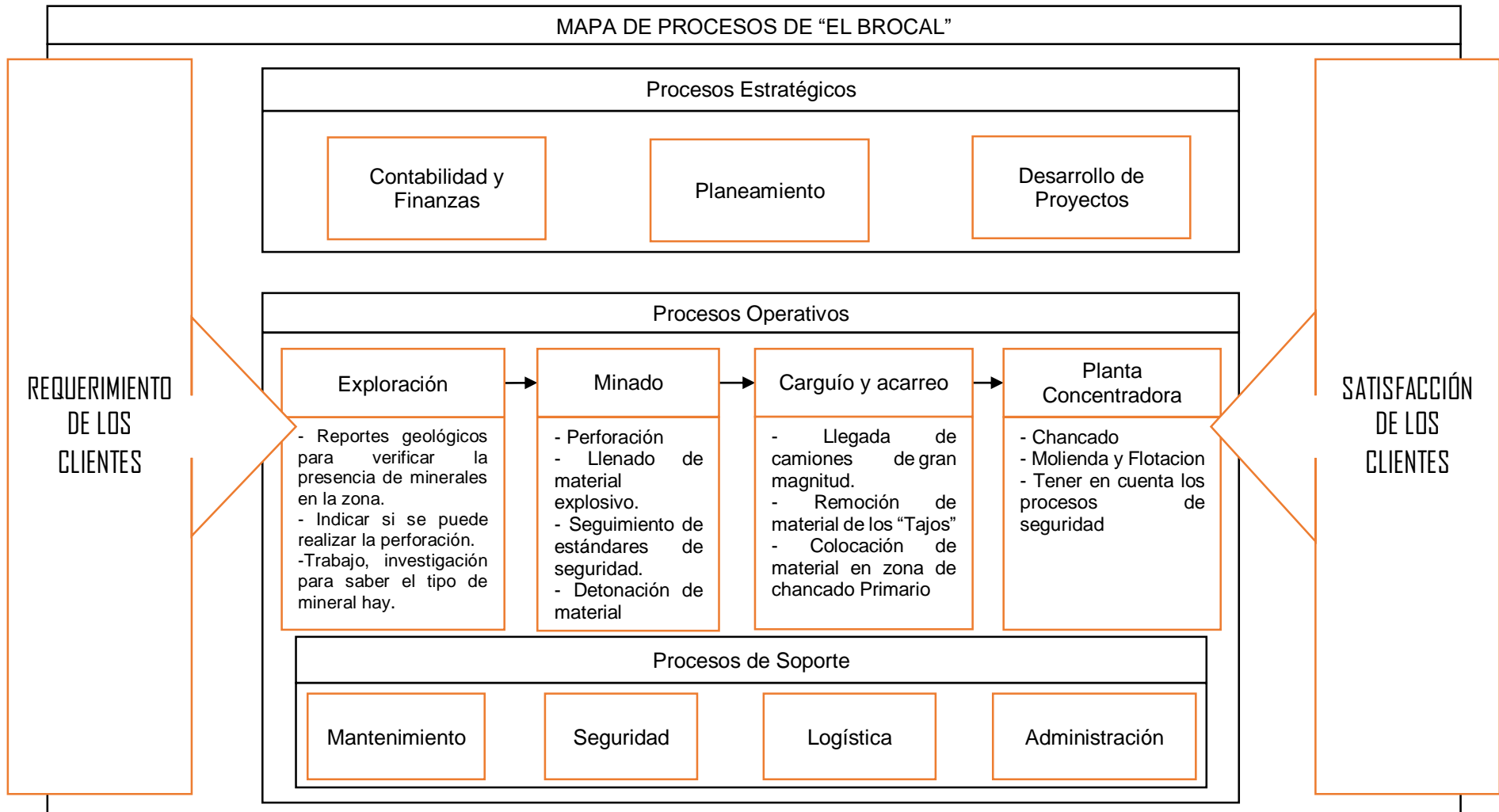


Figura 7: Mapa de procesos de SMEB
 Elaboración propia

En la figura anterior se muestra diagrama de procesos para el área en análisis del Brocal, en donde se consideran los procesos estratégicos, los procesos administrativos y los procesos de soporte. En primer lugar, se presentan los procesos estratégicos tales como la Planeamiento (que es la creación del plan para la mejora), Contabilidad y Finanzas y el área de desarrollo de proyectos.

Luego se encuentran los lineamientos para el proceso operativo el cual se basa en cuatro actividades: la exploración (para el hallazgo de nuevos minerales a través de exploración geológica, identificación de nuevas áreas de perforación y la investigación), el minado (actividades de perforación, explotación y deterioro de minerales), el acarreo de minerales (como la llegada de camiones, la remoción de materiales y la colocación de elementos para chancado primario), y por último el proceso de planta concentradora (en donde se deben considerar los subprocesos de molienda y flotación); todos estos procedimientos deben ser cumplidos a cabalidad para el éxito de la propuesta de mejora. En la parte final de la gráfica se muestran los procesos adicionales a considerar (que también son el mantenimiento, logística, seguridad y la administración).

3.2.2. Diagnóstico Situacional del Proceso de Flotación Pb-Zn

Sociedad Minera el Brocal se encuentra dedicado a la extracción y tratamiento de minerales para su exportación, entre los más importantes y representativos se encuentran la plata, el cobre, el plomo, el zinc, entre otros. Para el tratamiento de dichos minerales existen muchos procesos (el empleo o utilidad de cada uno dependerá de las condiciones tecnológicas y económicas de la empresa), pero en el área en análisis de la empresa, se ha tomado el proceso de flotación de minerales para el tratamiento de los mismos. Como parte del diagnóstico situacional, se muestran las condiciones actuales del área a través de las siguientes figuras:



Figura 8: Maquina del área de flotación de minerales

Elaboración propia

En la figura anterior se muestra una sección del área de tratamiento de minerales, como se observa existe una sistematización para el tratamiento y un orden bastante claro, si bien es cierto el proceso se encuentra bastante organizado y controlado, es importante considerar que para la supervisión de dichas actividades es necesario la presencia del ser humano, por lo que en esa línea pueden encontrarse las mejoras. Ahora, para analizar el ambiente de trabajo, se presenta la siguiente figura:



Figura 9: Ambientes de trabajo para la dosificación de reactivos

Elaboración propia

Como se muestra en la figura anterior, los ambientes de trabajo para el control y dosificación de reactivos son bastante amplios, iluminados y con comodidad para realizar las labores, a pesar de ellos, el aspecto a mejorar en este punto sería la limpieza y la señalización de algunos elementos que pueden resultar peligrosos. A continuación, se presenta otra vista del área:



Figura 10: Equipos para el proceso de dosificación de reactivos
Elaboración propia

En la figura anterior se observa los equipos que se emplea para el proceso de dosificación de reactivos para el proceso de flotación, la cual se encuentra en el área superior, de la edificación. La pulpa obtenida de la molienda es alimentada en primer término a un circuito de flotación para obtener concentrados de Plomo/Plata y luego se pasa por un segundo circuito de flotación para obtener concentrados de Zinc/Plata. En esta fase se aplican los reactivos apropiados para lograr la separación deseada de los minerales. Como se puede notar los equipos cuentan con algunos años de antigüedad, por lo que su renovación y/o integración permitiría mejorar el proceso actual de dosificación de reactivos.

3.2.3. Diagrama de Pareto de consumo de reactivos

En primer lugar, se procede a mostrar el diagrama de Pareto para el consumo de reactivos que utiliza la empresa en el proceso de flotación de Pb-Zn, este diagrama será útil para determinar la causa principal a atacar del problema general, además de influir sobre la causa que más afecta el cual deberá solucionar gran parte del problema acontecido. Para dichos fines se presentan las siguientes figuras:

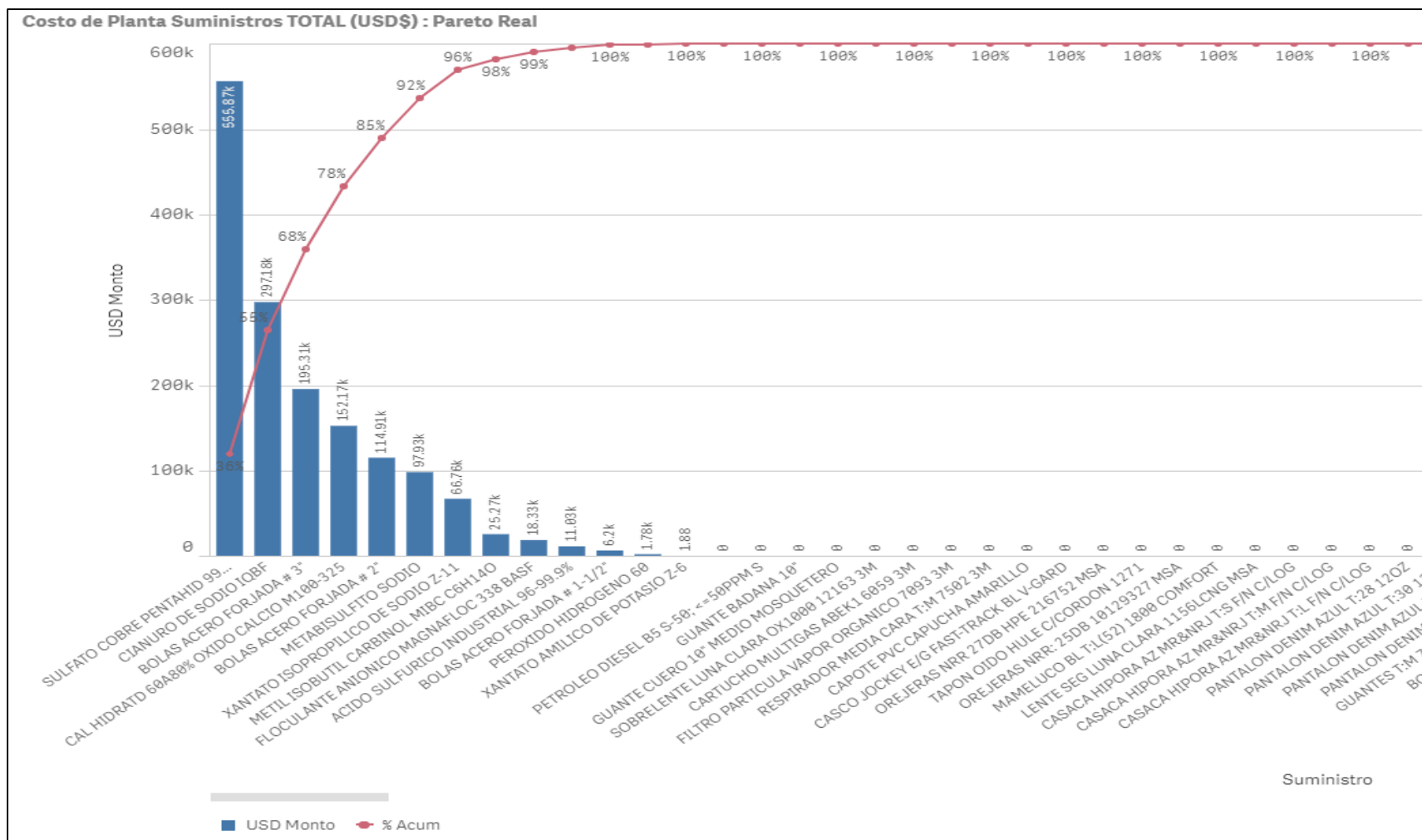


Figura.11: Diagrama de Pareto para costos unitarios de planta concentradora

Elaboración propia

En la figura anterior se muestra el diagrama de Pareto para el análisis de los costos de Planta del mes de Junio 2019, en donde el elemento que posee una mayor cantidad e influencia es el sulfato de cobre, el cual representa el 9.8% (US\$ 555.87K) del costo total de planta (US\$ 5.29M), luego el cianuro de sodio que representa el 5.3%, y entre estos dos materiales se explica el 56% de los costos total de suministros de planta (US\$1.517M) para el tratamiento de Pb-Zn, para alcanzar el 80% de se adicionan Bolas de acero, Cal hidratada. Metabilsufito y Xantato.

A continuación, se presenta el análisis de Pareto para el monto que se gasta en cada uno de los insumos empleados para el proceso de flotación, lo cual se muestra a través de la siguiente tabla:

Tabla 6: *Análisis de Pareto*

Nº	Descripción de Partida	Costo Junio 2019	Frecuencia Relativa	Frecuencia Acumulada
1	SULFATO COBRE PENTAHID 99% CRISTAL X25KG	\$555,870.85	36.63%	36.63%
2	CIANURO DE SODIO IQBF	\$297,179.24	19.58%	56.21%
3	BOLAS ACERO FORJADA # 3"	\$195,311.14	12.87%	69.09%
4	CAL HIDRATD 60A80% OXIDO CALCIO M100-325	\$132,871.55	8.76%	77.84%
5	BOLAS ACERO FORJADA # 2"	\$114,906.50	7.57%	85.41%
6	METABISULFITO SODIO	\$97,926.71	6.45%	91.87%
7	XANTATO ISOPROPILICO DE SODIO Z-11	\$66,755.66	4.40%	96.27%
8	METIL ISOBUTIL CARBINOL MIBC C6H14O	\$25,267.41	1.67%	97.93%
9	MALLA URETANO TH48-30X0.30 SS DERRICK	\$17,945.80	1.18%	99.11%
10	DECK SUPERIOR 1203F635RA POLYDECK	\$7,242.18	0.48%	99.59%
11	BOLAS ACERO FORJADA # 1-1/2"	\$6,203.73	0.41%	100.00%
	TOTAL	\$1,517,480.77	100%	

Elaboración propia

Como se aprecia en la tabla anterior, el costo más alto se encuentra representado por el sulfato de cobre que alcanza un costo total de USD \$555,870.85 dólares y representa el 36.63% de los costos totales, luego se ubica el cianuro de sodio con un costo de USD\$297,179.24 dólares, con el 19.58% de los costos, luego en las bolas de acero forjadas con USD \$195,311.14 dólares y representa el 12.87% de los costos, a continuación se encuentra la cal hidratada con un monto de USD \$ 132,871.55 dólares, que representa el 8.76% del total y con las bolas de acero forjadas #2 (USD \$114,906.50 dólares y 7.57%) se alcanza el 85.41% de los costos totales en insumos para el proceso de flotación, que son de

USD \$1'517,480.77 dólares. Otros elementos de menor cuantía son el metabisulfito (6.45%), el xantato isopropilico (4.4%), el metil isobutil (1.67%), la malla de uretano (1.18%), el deck superior (0.48%) y las bolas forjadas de #1 ½ (0.41%). A continuación se muestra el diagrama de Pareto de dicho resultado.

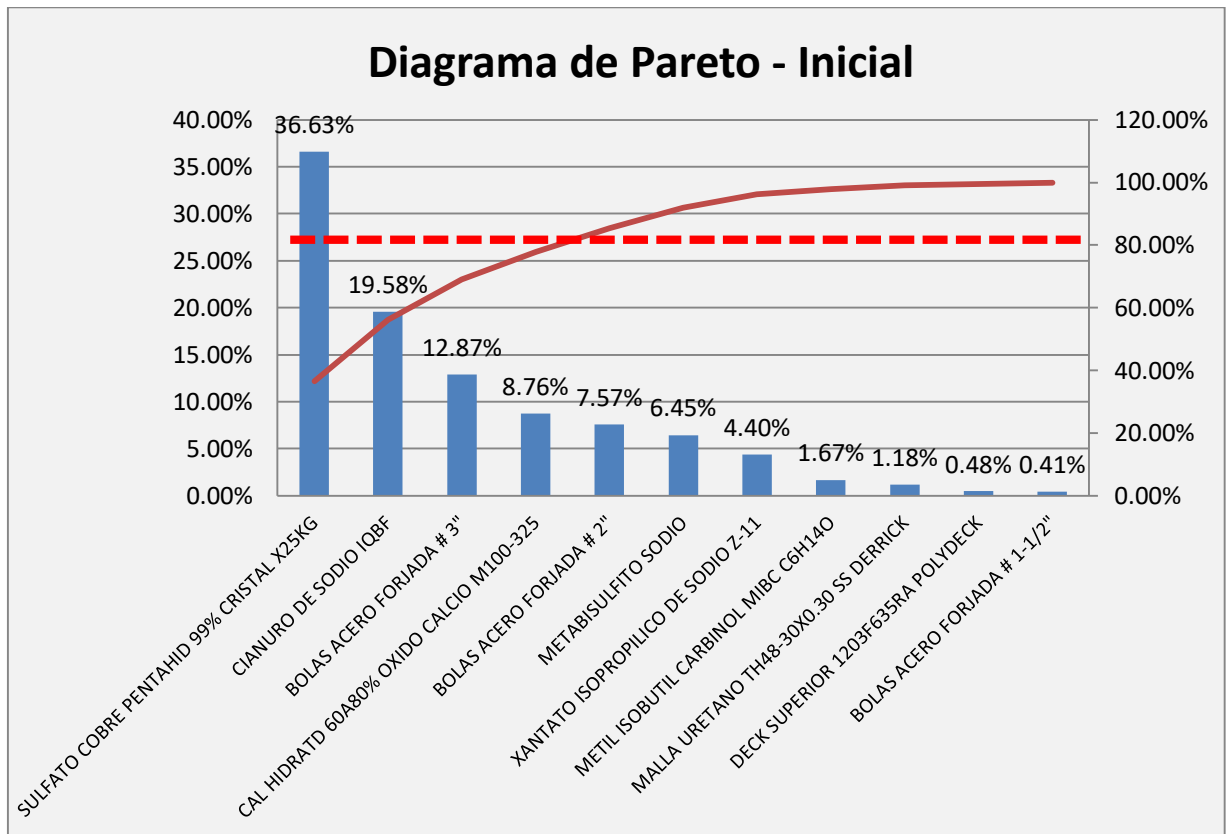


Figura.12: Diagrama de Pareto para costos totales de planta de suministro

Elaboración propia

3.2.4. Diagrama de Ishikawa

De acuerdo con El Brocal (2019) la compañía pretende incrementar la producción a 25,000 TMS/ día, como productor de Plomo- Zinc y Cobre. Actualmente se procesan aproximadamente 20,000 toneladas de minerales y se estima que con una inversión adicional se logre estabilizar a 21500 TMS para el año 2020.

En la compañía El Brocal se utilizan reactivos como Cianuro de Sodio, Sulfato de Cobre, Meta bisulfito, Colector y Espumante para el tratamiento de minerales en las plantas de procesos (Pb/ZN), la dosificación de estos reactivos obedece a un ratio teórico calculado en base a diferentes parámetros operativos, sin embargo, el ratio es ajustado manualmente en el campo de acuerdo a los resultados de calidad obtenidos en los distintos procesos de molienda y flotación, debido al control manual de la dosificación de los reactivos, estos dependen de la disponibilidad, acción y pericia del operador, por lo tanto, hay mucha variabilidad en Planta.

Del mismo modo se ha identificado que cuando se detiene una línea de producción, los reactivos no están enlazados a los procesos aguas arriba por lo que en muchas oportunidades los reactivos no son controlados, y no se tiene registro de la cantidad de reactivo desperdiciado. Por lo indicado, se ha identificado la oportunidad de implementar un sistema de control y monitoreo de dosificación de los principales reactivos para monitorear en tiempo real y optimizar el uso del mismo. Luego de explicar la situación de la empresa, se presenta a continuación el diagrama de Ishikawa de la problemática encontrada, las cuales mencionan un problema mayor como consecuencia de dichas acciones.

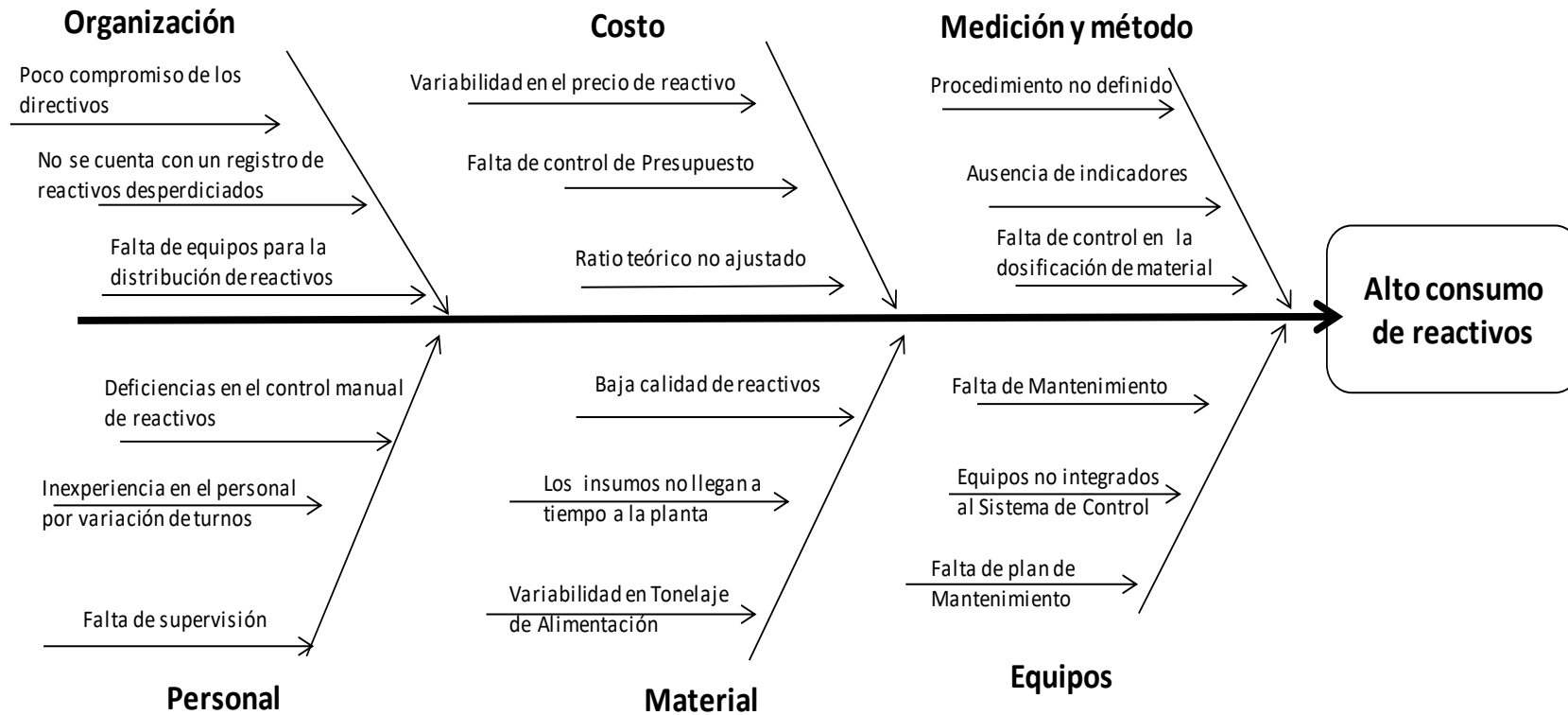


Figura.13 Diagrama de Ishikawa
 Elaboración propia.

Luego se procedió a realizar una encuesta con expertos en el tema, en la cual se cuestionó sobre la importancia de las causas encontradas del problema principal a abordar, en este sentido se presenta el análisis de Pareto por cada una de las causas mencionadas en el anterior diagrama, las cuales han sido sumadas y ponderadas en la siguiente tabla:

Tabla 7 *Análisis de Pareto de la problemática general*

Descripción de Partida	E1	E2	E3	E4	E5	Punt.	Frecuencia Relativa	Frecuencia Acumulada
Falta de control en la dosificación	5	5	5	5	5	25	20%	20%
Ausencia de indicadores e instrumentos	5	5	5	5	4	24	20%	40%
Procedimiento no definido	5	5	5	5	4	24	20%	60%
Inexperiencia del personal	5	5	5	5	4	24	20%	80%
Variabilidad de Tonelaje	1	1	1	1	0	4	3%	83%
Productos defectuosos	1	1	1	0	1	4	3%	86%
Alto gasto por reemplazo de molino	1	1	1	1	0	4	3%	89%
Reparaciones por cortes de rocas	1	1	0	0	1	3	2%	92%
No se cuenta con un registro de reactivos desperdiciados	1	0	0	1	0	2	2%	93%
Falta de tanques para la distribución de reactivos	0	1	0	0	1	2	2%	95%
Los insumos no llegan a tiempo a la planta	1	0	0	1	0	2	2%	97%
Falta de reparación en estructuras	0	1	1	0	0	2	2%	98%
Falta de supervisión ante pérdidas o desapariciones	1	0	0	0	0	1	1%	99%
Deficiencias en el control manual de reactivos	0	1	0	0	0	1	1%	100%
Pagos por penalidades en reparaciones temporales	0	0	0	0	0	0	0%	100%
Poco compromiso de los directivos	0	0	0	0	0	0	0%	100%
Fisuramiento de placas por sobrecarga	0	0	0	0	0	0	0%	100%
Incremento de costo en piezas por desgaste	0	0	0	0	0	0	0%	100%
TOTAL						122	100%	

Fuente: Elaboración propia

Como se muestra en la tabla anterior, los expertos en el tema han puntuado del 1 al 5 las causas mostradas en el diagrama de Ishikawa; luego de la puntuación las causas reconocidas como más importantes han sido: la falta de control en la dosificación, la ausencia de indicadores, y la falta de un procedimiento no definido. Entonces estos son los problemas a atacar para la solución del problema general que es el alto consumo de reactivos por parte de la empresa. A continuación, se presenta el diagrama de Pareto donde se grafica la puntuación:

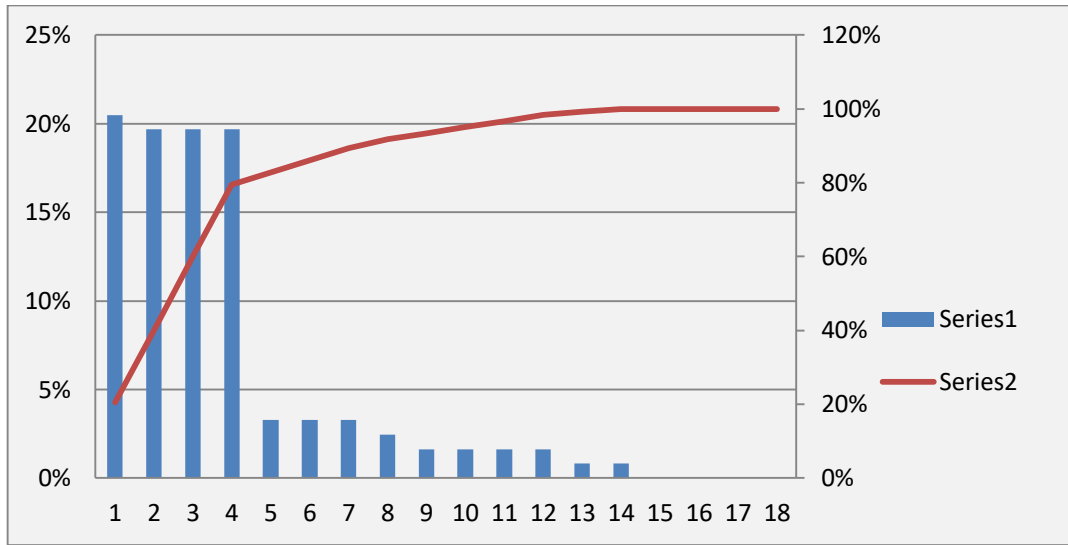


Figura.14 Diagrama de Pareto

Elaboración propia

3.2.5. Flujogramas de proceso

En esta sección se presenta el diagrama del procedimiento de molienda, que se da inicio con el uso del reactivo. Para una explicación didáctica del tema, se presenta la siguiente figura que explica los pasos a seguir para el procedimiento de manera general:

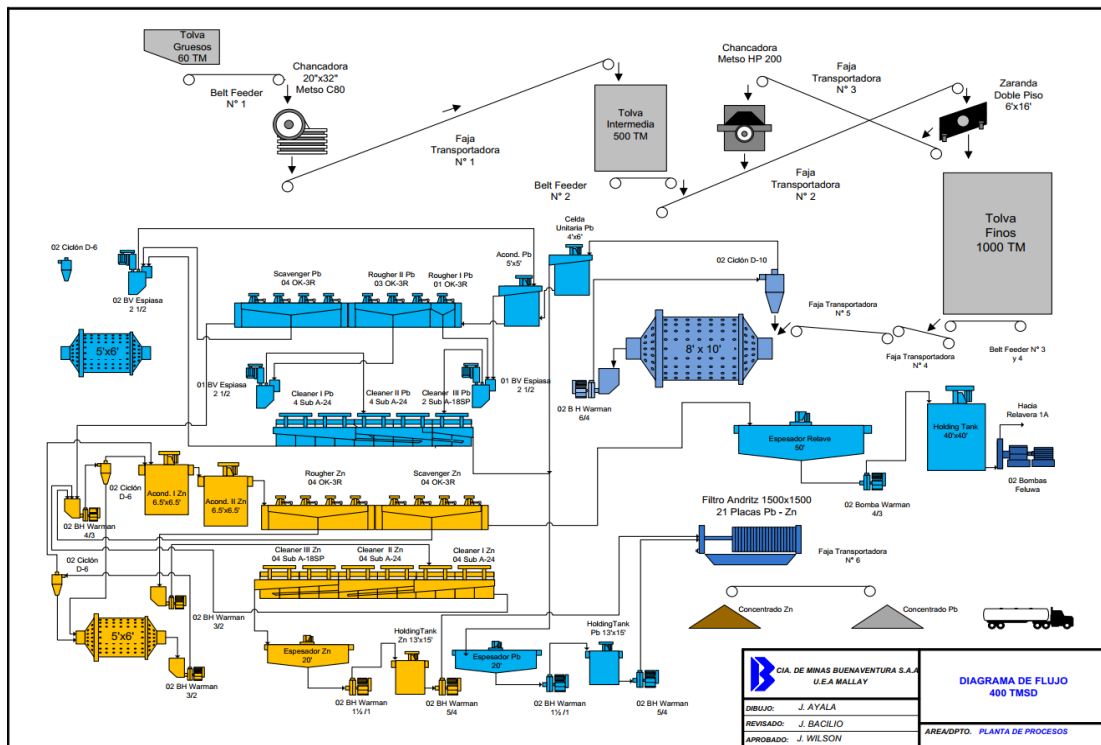


Figura 15 Flujograma típico Planta Concentradora Pb - Zn

Elaboración propia

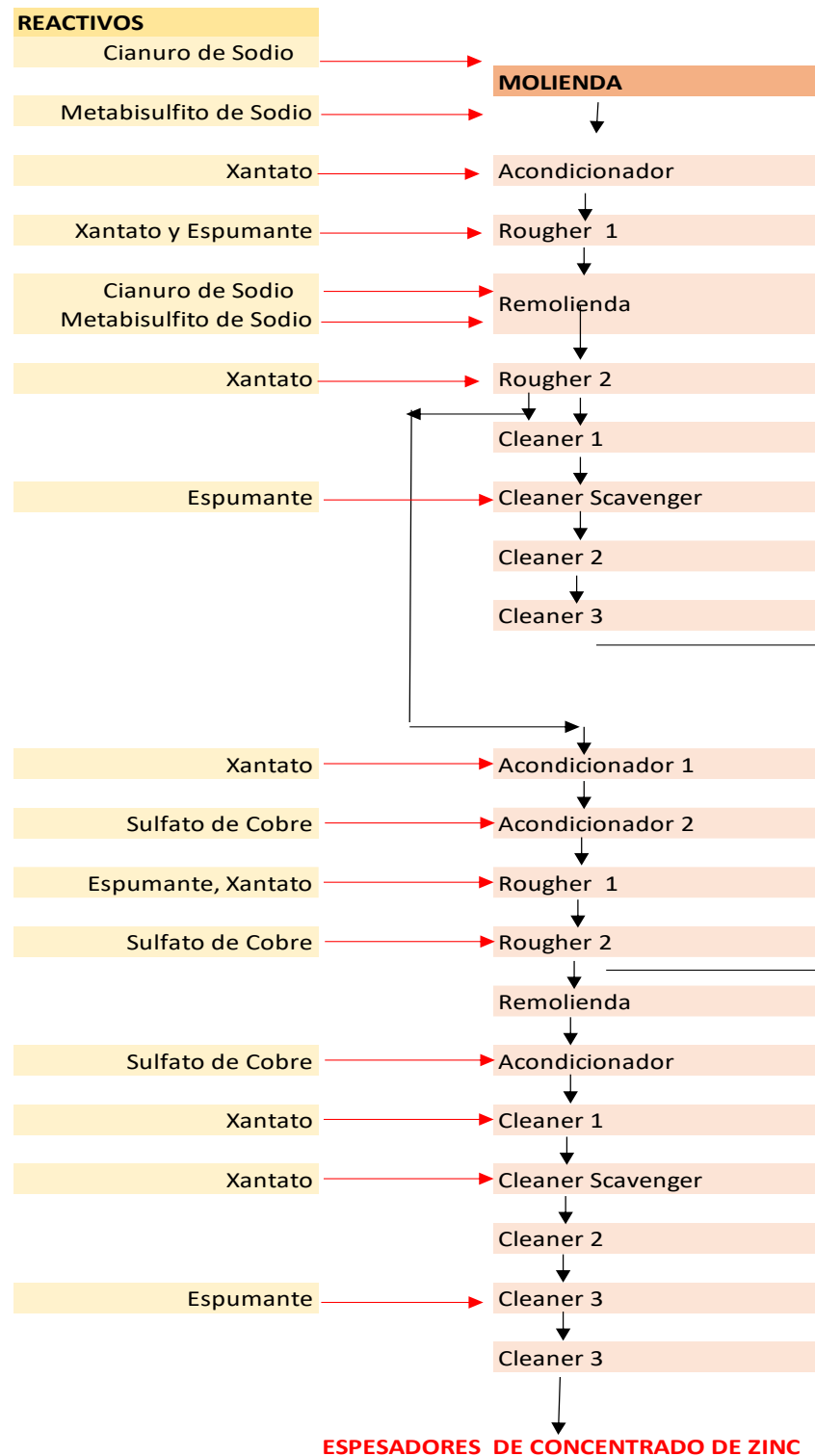


Figura.16: Flujograma de procesos para la flotación de reactivos
Elaboración propia

Como se aprecia en la figura anterior, dentro del proceso de Molienda , se realiza la dosificación de Cianuro de Sodio y metabisulfito de Sodio principalmente para depreciar el Hierro, en la siguiente etapa de acondicionamiento se dosifica Xantato y espumante para dar inicio a la flotación de plomo en celdas Rougher 1, las colas pasan nuevamente a un circuito de remolienda, para reducción de tamaño ,antes del siguiente nivel se pasa a los espumantes por un proceso de limpiado o también conocido como Cleaner I , II y II. En seguida se da inicio al proceso de flotación de Zinc, la pulpa pasa por dos secciones de acondicionado, donde se adiciona Sulfato de cobre, Xantato y Espumante, posteriormente a dos procesos de rougher, para nuevamente seguir una remolienda, y acondicionamiento. A la par, el espumante pasa por otro proceso de limpieza. Cuando estos procesos se han terminado en los espesadores de concentrado de Zinc y Plomo.

3.2.6. Diagrama analítico de procesos de flotación

En este apartado se procede a mostrar el diagrama analítico para los procesos de producción a seguir dentro de la propuesta de mejora en el sistema de flotación de reactivos. Para dichos fines se muestra la siguiente tabla que desarrollo los lineamientos necesarios:

Diagrama DAP							
Diagrama Núm.:		Hoja N° de		Resumen			
Objeto:		Actividad		Actual	Propuesta	Economía	
		Operación		19			
Actividad: Molienda		Transporte		0			
Método: Actual/Propuesto		Espera		0			
Lugar:		Inspección		0			
Operario (s):		Almacenamiento		0			
Ficha núm.:		Distancia (m)		--			
		Tiempo (min-hombre)		298			
Descripción	Cantidad	Tiempo	Símbolo				Observaciones
			○	□	⇒	▽	
Acondicionador	300	45					
Rougher 1	250	37.5					
Remolienda		20					
Rougher 2	250	37.5					
Cleaner 1	34	5.1					
Cleaner Scavenger	34	5.1					
Cleaner 2	16.8	2.52					
Cleaner 3	16.8	2.52					
Acondicionador 1	300	45					
Acondicionador 2	300	45					
Rougher 1	250	37.5					
Rougher 2	250	37.5					
Remolienda	34	5.1					
Acondicionador	34	5.1					
Cleaner 1	16.8	2.52					
Cleaner Scavenger	16.8	2.52					
Cleaner 2	16.8	2.52					
Cleaner 3	16.8	2.52					
Cleaner 3	16.8	2.52					
Total		298	19	0	0	0	0

Elaboración propia.

En la tabla mostrada anteriormente, se presenta el DAP del proceso de producción de reactivos en la planta procesadora, en primer lugar, se observa un espacio para el llenado de elementos importantes como el objeto, el método a emplear, el lugar y el operario. En la sección adyacente, se presenta un área de resumen para los datos actuales y propuestos de la operación, el transporte, la espera, la inspección y el almacenamiento.

Luego en la parte central se observa los procesos a seguir para el tratamiento de los minerales, la cantidad de insumos que serán asignados a cada uno y el tiempo de espera para completar el proceso, junto a cada uno de las casillas de los símbolos que representa cada actividad, se han designado un lugar para las observaciones en caso suceda algún inconveniente.

3.2.7. Diagrama de recorrido

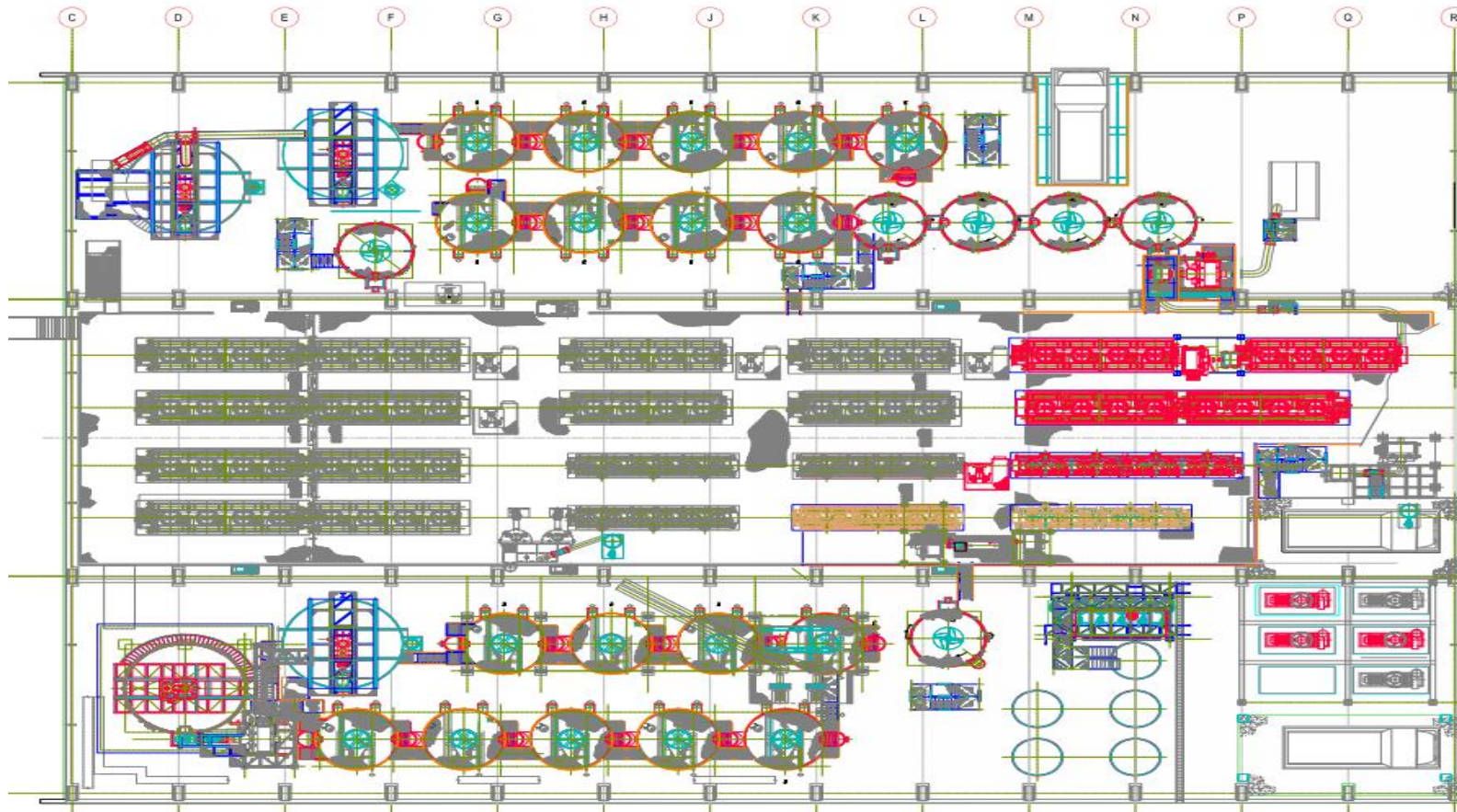


Figura 17: *Diagrama de recorrido para la flotación de minerales*
Elaboración propia.

En la figura anterior se observa el diagrama de recorrido para el proceso de dosificación de reactivos como parte de la flotación de minerales, el cual se desarrolla dentro de las áreas mostradas en la sección de diagnóstico situacional del proceso (dónde se presentaron las fotografías). Aquí se observa la distribución de las maquinarias y los pasos a seguir en cada una de ellas, además de identificar las labores donde intervienen los trabajadores.

3.2.8. Resultado de la Matriz de operacionalización antes de las mejoras

Cálculo de los resultados antes de la mejora- Diagnostico

Luego de la observación directa en la realidad se pudo determinar los índices de uso para el consumo de minerales en la planta, tanto para la variable independiente como para la dependiente. Dichos datos se muestran en las siguientes líneas:

Tonelaje de concentrados producidos de Plomo y Zinc:

Para el cálculo de los concentrados producidos de plomo y zinc en la planta de tratamiento de minerales se empleó la siguiente fórmula de uso general:

Ecuación 1 Cálculo del tonelaje concentrado inicial

$$\text{Peso concentrado} = (\text{peso húmedo}) - (\text{peso húmedo} \times \% \text{ de humedad})$$

Entonces para el caso del plomo se efectuó la siguiente operación:

$$\text{Peso concentrado} = 1,333 - (10\% * 1,333) = 1,200$$

Por lo que se determina que el peso concentrado del mineral de plomo para el análisis es de 1200 TM. Situación similar se observa para el zinc:

$$\text{Peso concentrado} = 3,333 - (10\% * 3,333) = 3,000$$

Por lo que se determina que el peso concentrado del mineral de zinc para el análisis es de 3000 TM.

Porcentaje de mineral en relave de Plomo y Zinc

Los porcentajes para el relave o desecho del mineral se determinan mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 2 Cálculo del relave de minerales inicial

$$\frac{\textit{Mineral desperdiciado}}{\textit{Total del mineral}}$$

Entonces se procede, con los datos proporcionados por la empresa, a calcular dicho porcentaje para el plomo, en donde se obtuvo un desperdicio de 480 toneladas:

$$\frac{480}{2400} = 20\%$$

Entonces se obtiene un porcentaje de relave para el plomo de 20%. Situación análoga se muestra para el análisis del zinc, en donde se obtuvo un desperdicio de 1999.98 toneladas:

$$\frac{1999.98}{6666.6} = 30\%$$

Por lo tanto, se determina un porcentaje de relave para el zinc del 30%

Porcentaje de recuperación de concentrados de Plomo y Zinc

Los porcentajes de recuperación del mineral se determinan mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 3 Cálculo del recuperación de minerales inicial

$$\frac{\textit{Mineral recuperado}}{\textit{Total del mineral}}$$

Ahora, con los datos proporcionados por la empresa, a calcular dicho porcentaje para el plomo, en donde se obtuvo una recuperación de 1200 toneladas:

$$\frac{1200}{2400} = 50\%$$

Entonces se obtiene un porcentaje de relave para el plomo de 50%. Situación análoga se muestra para el análisis del zinc, en donde se obtuvo una recuperación de 3000 toneladas:

$$\frac{3000}{6666.6} = 55\%$$

Por lo tanto, se determina un porcentaje de relave para el zinc del 60%

Dichos resultados, de manera resumida, se muestran la siguiente tabla de operacionalización de las variables:

Tabla 9: *Resultado Operacionalización de variable independiente antes de la mejora*

Variable independiente	Definición conceptual	Dimensión	Indicadores	Resultado
Propuesta de mejora en Flotación de minerales	La flotación es una técnica de concentración de minerales en húmedo, en la que se aprovechan las propiedades físico-químicas superficiales de las partículas para efectuar la selección. La mejora en el proceso de flotación consiste en cuantificar el rendimiento del proceso en aspectos como recuperación de concentrados y relaves en minerales como Pb y Zn (Artica y Rivera, 2015)	Flotación	Tonelaje de concentrados producidos Pb y Zn	1200 TM de Pb
				3000 TM de Zn
			Porcentaje de mineral en relave Pb y Zn	20 % de Pb
				30 % de Zn
				50 % en Pb
			Porcentaje de Recuperación de concentrados Pb y Zn	55 % en Zn

Elaboración propia

Respecto a la variable dependiente, se lograron determinar los siguientes indicadores y sus respectivos resultados:

Ratio de consumo de reactivo

El total del cálculo mensual para el sulfato de cobre y el cianuro de sodio determina por la sumatoria de los valores encontrados en el consumo diario, lo cual puede ser reflejado mediante la siguiente formula:

Ecuación 4 Cálculo del consumo mensual inicial

$$\sum_{t=1}^N (\text{Consumo diario})$$

En este sentido, se muestran las siguientes tablas donde se observa el consumo detallado para el consumo de plomo y el zinc a través de las siguientes tablas:

Tabla 10 *Consumos de cianuro de sodio inicial*

Fecha	Tonelaje	Ratio Teórico		Consumo inicial (Kg)	Gasto inicial (\$)
1/06/2019	13194.2076	0.3282	328.34408	4332.24	\$ 10,613.99
2/06/2019	13007.1993	0.3282	333.06478	4332.24	\$ 10,613.99
3/06/2019	8172.5992	0.3282	530.09329	4332.24	\$ 10,613.99
4/06/2019	13639.7858	0.3282	317.61789	4332.24	\$ 10,613.99
5/06/2019	11019.7662	0.3282	393.13357	4332.24	\$ 10,613.99
6/06/2019	12433.3579	0.3282	348.43685	4332.24	\$ 10,613.99
7/06/2019	12688.8552	0.3282	341.42087	4332.24	\$ 10,613.99
8/06/2019	10229.1957	0.3282	423.51717	4332.24	\$ 10,613.99
9/06/2019	13118.6766	0.3282	330.23453	4332.24	\$ 10,613.99
10/06/2019	12225.17	0.3282	354.37053	4332.24	\$ 10,613.99
11/06/2019	12841.6726	0.3282	337.35792	4332.24	\$ 10,613.99
12/06/2019	13303.0513	0.3282	325.65762	4332.24	\$ 10,613.99
13/06/2019	13487.5973	0.3282	321.20176	4332.24	\$ 10,613.99
14/06/2019	13473.8151	0.3282	321.53031	4332.24	\$ 10,613.99
15/06/2019	13256.7198	0.3282	326.79577	4332.24	\$ 10,613.99
16/06/2019	12108.0376	0.3282	357.79869	4332.24	\$ 10,613.99
17/06/2019	5519.244	0.3282	784.93359	4332.24	\$ 10,613.99
18/06/2019	12949.4685	0.3282	334.54964	4332.24	\$ 10,613.99
19/06/2019	12176.9696	0.3282	355.77325	4332.24	\$ 10,613.99
20/06/2019	13215.0591	0.3282	327.826	4332.24	\$ 10,613.99
21/06/2019	12733.2486	0.3282	340.23054	4332.24	\$ 10,613.99
22/06/2019	10544.2203	0.3282	410.86395	4332.24	\$ 10,613.99
23/06/2019	7584.4981	0.3282	571.19666	4332.24	\$ 10,613.99
24/06/2019	13527.3949	0.3282	320.25678	4332.24	\$ 10,613.99
25/06/2019	12538.6093	0.3282	345.512	4332.24	\$ 10,613.99
26/06/2019	4306.0331	0.3282	1006.0861	4332.24	\$ 10,613.99
27/06/2019	12204.7729	0.3282	354.96277	4332.24	\$ 10,613.99
28/06/2019	8200.2002	0.3282	528.30905	4332.24	\$ 10,613.99
			Total	121,302.72	\$ 297,191.66

Fuente:

Como se observa en la tabla anterior, el total del consumo antes de la implementación de mejora durante un mes del concentrado cianuro de sodio equivale a 120 TN.

A continuación, se presenta un análisis similar para el sulfato de cobre con la siguiente tabla:

Tabla 11 *Consumos de sulfato de cobre inicial*

Fecha	Tonelaje	Ratio Teórico	Consumo inicial (Kg)	Gasto inicial (\$)
1/06/2019	13194.2076	0.834	10968.2628	\$ 19,852.56
2/06/2019	13007.1993	0.834	10968.2628	\$ 19,852.56
3/06/2019	8172.5992	0.834	10968.2628	\$ 19,852.56
4/06/2019	13639.7858	0.834	10968.2628	\$ 19,852.56
5/06/2019	11019.7662	0.834	10968.2628	\$ 19,852.56
6/06/2019	12433.3579	0.834	10968.2628	\$ 19,852.56
7/06/2019	12688.8552	0.834	10968.2628	\$ 19,852.56
8/06/2019	10229.1957	0.834	10968.2628	\$ 19,852.56
9/06/2019	13118.6766	0.834	10968.2628	\$ 19,852.56
10/06/2019	12225.17	0.834	10968.2628	\$ 19,852.56
11/06/2019	12841.6726	0.834	10968.2628	\$ 19,852.56
12/06/2019	13303.0513	0.834	10968.2628	\$ 19,852.56
13/06/2019	13487.5973	0.834	10968.2628	\$ 19,852.56
14/06/2019	13473.8151	0.834	10968.2628	\$ 19,852.56
15/06/2019	13256.7198	0.834	10968.2628	\$ 19,852.56
16/06/2019	12108.0376	0.834	10968.2628	\$ 19,852.56
17/06/2019	5519.244	0.834	10968.2628	\$ 19,852.56
18/06/2019	12949.4685	0.834	10968.2628	\$ 19,852.56
19/06/2019	12176.9696	0.834	10968.2628	\$ 19,852.56
20/06/2019	13215.0591	0.834	10968.2628	\$ 19,852.56
21/06/2019	12733.2486	0.834	10968.2628	\$ 19,852.56
22/06/2019	10544.2203	0.834	10968.2628	\$ 19,852.56
23/06/2019	7584.4981	0.834	10968.2628	\$ 19,852.56
24/06/2019	13527.3949	0.834	10968.2628	\$ 19,852.56
25/06/2019	12538.6093	0.834	10968.2628	\$ 19,852.56
26/06/2019	4306.0331	0.834	10968.2628	\$ 19,852.56
27/06/2019	12204.7729	0.834	10968.2628	\$ 19,852.56
28/06/2019	8200.2002	0.834	10968.2628	\$ 19,852.56
		Total	307,111.36	\$ 555,871.56

Fuente:

En la tabla anterior se observa que el total de consumo durante un mes antes de la implementación de mejoras para el sulfato de cobre equivale a 300 TN.

Consumo de energía

El cálculo del consumo de energía para el procesamiento de los minerales se realizó mediante la suma de los valores hallados en cada día, por lo cual se procede a emplear la siguiente fórmula:

Ecuación 5 Cálculo del consumo de energía inicial

$$\sum_{t=1}^N (\text{consumo de energía diario})$$

El total de consumo en el área de tratamiento de reactivos fue un dato dado por la compañía, lo cual equivale a 7200 KWH

Horas hombre

El cálculo del empleo de horas hombre para el procesamiento de los minerales se realizó mediante la suma de los valores hallados en cada día, por lo cual se procede a emplear la siguiente fórmula:

Ecuación 6 Cálculo del empleo de horas hombre mensual inicial

$$\sum_{t=1}^N (\text{empleo de horas hombre diario})$$

El total del empleo de horas hombre en el área de tratamiento de reactivos fue un dato dado por la compañía, lo cual equivale a 2880 horas de empleo de trabajadores.

Costo del consumo de reactivos

El costo mensual de los reactivos queda determinado por la suma de los costos incurridos de manera diaria, lo cual se respalda en la siguiente fórmula:

Ecuación 7 Cálculo del costo de consumo de reactivos mensual inicial

$$\sum_{t=1}^N (\text{Costo unitario} * \text{consumo diario})$$

Para el caso del costo del consumo mensual para el cianuro de sodio se determinó:

$$\sum_{n=1}^{28} (4332.24 * 2.45) = 297,191.66$$

En el caso del costo del consumo mensual para el sulfato de cobre se determinó:

$$\sum_{n=1}^{28} (10968 * 1.81) = 297,191.66$$

Adicionalmente, como se observó en las últimas columnas de las tablas anteriores, el consumo para cada reactivo de manera mensual alcanzó la suma de US\$ 550,000 para el sulfato cobre y US\$ 300,000 para el cianuro de sodio.

Costos indirectos (energía y mano de obra)

Para el caso del consumo de energía eléctrica, se consideró el precio unitario en \$ 0.10 dólares por cada KWH consumido en la planta de tratamiento de minerales, por lo que se considera la siguiente fórmula para el cálculo:

Ecuación 8 Cálculo del costo de energía eléctrica inicial

$$\sum_{t=1}^N (\text{Consumo mensual} \times \$/KWH)$$

Aplicando los valores a la formula mencionada anteriormente, se obtiene que:

$$\sum_{n=1}^{28} (7200 * 0.10) = 720$$

Por lo tanto, se calculó un costo por consumo de energía eléctrica inicial de US\$ 720.00 dólares.

Para el cálculo de la mano de obra se realizó un procedimiento similar; es decir, dado que se tienen las horas hombre empleadas, se multiplicó por el costo unitario de dicho factor (\$ 12 dólares por hora). Esto se detalla en la siguiente formula:

Ecuación 9 Cálculo del costo de mano de obra inicial

$$\sum_{t=1}^N (\text{Horas de mano de obra}) \times (\$/h)$$

Aplicando los valores a la formula mencionada anteriormente, se obtiene que:

$$\sum_{n=1}^{28} (2880 \times 12) = 34,560$$

Por lo tanto, se calculó un costo por consumo de energía eléctrica inicial de US\$ 34,560 en mano de obra directa

Luego, se procede a mostrar dichos resultados en la siguiente tabla de operacionalización de la variable dependiente:

Tabla 12: *Resultado Operacionalización de variable dependiente antes de la mejora*

Variable Dependiente	Definición conceptual	Dimensión	Indicadores	Resultado (MES)		
Consumo de reactivos	El uso o consumo de reactivos tiene la función de alterar las propiedades fisicoquímicas del sistema sólido-líquido-gas, esto con el objetivo de preparar la superficie de los minerales para la absorción o desorción de un determinado reactivo y así, mejorar la eficiencia de proceso de flotación (Soto, 2017).	Consumo	Ratio de consumo de reactivo (Cianuro de Sodio y Sulfato de Cobre)	300 TN de Sulfato de Cobre		
				120 TN de CN		
			Consumo de Energía	7200 KWH		
			Horas Hombre	2880 HH		
		Costos		Costo de Consumo de Reactivos		US\$ 550,000 en Sulfato Cobre
						US\$ 300,000 en Cianuro de Sodio
				Costos Indirectos (Energía y MO)		US\$ 720.00
						US\$ 34,560 en MOD

Elaboración propia

3.3. Resultado de la implementación de mejoras

Luego de realizar la identificación de causas por la cual se tiene elevado consumo de reactivos, a continuación, se plantean distintas mejoras, las cuales detallaremos individualmente.

- Implementación de un programa de capacitación (12 operarios)
- Implementación de un sistema de control automático (Basado en DCS ABB 800xA) para dosificación de sulfato de cobre y cianuro de sodio.
- Implementación de controles operativos mediante lectura en línea de leyes de minerales
- Mejora de procedimiento PETS (Flotación, específicamente dosificación) de Cianuro (ejemplo).
- Implementación de Dashboards de control de costos operativos

Ahora, se procede a plantear las mejoras en cada punto, en primer lugar, se tocará el tema de las capacitaciones a los trabajadores del área para la mejor ejecución de sus actividades.

3.3.1. Acción de mejora n° 1: Implementación de Programa de Capacitación

La propuesta de mejora incluye un programa de capacitación dirigido al conjunto de trabajadores que laboran en la empresa Sociedad Minera El Brocal S.A.A. con el objetivo de brindarles protección en sus operaciones y ofrecerles herramientas de prevención para su seguridad y salud en el trabajo. Las capacitaciones influyen positivamente en la reducción de accidentes e incidentes que se producen en la empresa en el mediano y largo plazo, dado que los trabajadores inician un proceso de entendimiento y aplicación de hábitos que les permita ser responsables de su propio cuidado y colaborar con la seguridad de sus compañeros.

Las capacitaciones deben enmarcarse en lo expuesto por la normativa nacional y en la mejora del proceso de flotación de reactivos. Se ejecutará un total de 8 capacitaciones sobre los diferentes subprocesos de la empresa El Brocal. En las actividades se debe retocar el hecho de que son los trabajadores quienes sufrirán las consecuencias de los accidentes y que la

intervención de la empresa representará una pérdida económica y social si no se ponen en práctica los conocimientos ofrecidos.

También, se expone resumidamente que el total de trabajadores que participarán en cada una de las actividades de capacitación son 12 y las capacitaciones se desarrollarán una cada semana para no influir negativamente en los horarios de los trabajadores y garantizar la asistencia completa. A continuación, se muestra el formato para el registro y control de asistencia de los trabajadores:

Tabla 13 *Formato para el registro de participantes de las actividades de capacitación*

		FICHA DE REGISTRO			Fecha: __/__/__	
		ASISTENCIA A CAPACITACIÓN				
Sociedad Minera El Brocal: Área de flotación de reactivos						
Empresa Capacitadora:				Duración:		
Tema:				Firma:		
Expositor:						
Nº	Nombre	DNI	Hora	Cargo	Firma	
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						

Elaboración propia

En la tabla anterior se presentó el formato para el registro de asistencia a las capacitaciones, el cual contempla aspectos como la fecha, la duración de la charla, el tema a tratar, el expositor y los datos de los asistentes (tales como nombre, DNI, firma, cargo y hora de llegada). Seguidamente, se establecen los temas a desarrollar en función de los subprocesos

a los que responderá el personal trabajador; además, se detallará la semana en la que se desarrollará cada tema, para lo cual se considera un lapso de tiempo de 8 semanas. La asistencia de los trabajadores a las capacitaciones es fundamental para alcanzar los objetivos planteados por la propuesta de mejora.

Tabla 14 *Cronograma de actividades de capacitación*

N°	Capacitaciones para el proceso de mejora	Semana							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	Capacitación en el proceso de perforación y voladura	■							
2	Actividad de carga y transporte de minerales		■						
3	Actividad de carga y transporte de desmote			■					
4	Procesamiento de chancado del mineral				■				
5	Capacitación en el proceso de molienda					■			
6	Procesamiento de flotación						■		
7	Actividades de espesado, filtrado y despacho							■	
8	Tratamiento de relaves								■

Elaboración propia

Para la correcta realización de las actividades de capacitación, se ofrecen algunos alcances sobre la naturaleza de los 8 subprocesos que serán abordados cada semana. El proceso metalúrgico se desarrolla a través de las etapas de:

- **Perforación y voladura:** Proceso que se realiza en la mina y consiste en la utilización de perforadoras que realizan taladros de 6.5 metros de profundidad y 6.75” de diámetro en una malla de 5x5 metros. Una vez realizada la perforación se procede a insertar explosivos y activarlos, de manera en que la roca queda removida y se amplía el campo de trabajo.
- **Carguío y transporte del mineral:** Proceso que se realiza en la mina y consiste en el transporte del material mineral, donde diariamente se producen 6,000 toneladas métricas del mineral, con una composición promedio que incluye 6% de Zn, 2.5% de Pb y 3.8% de Oz/TM-Ag, las cuales son removidas con una excavadora ágil que

permite una mayor selectividad del objeto a transportar; la excavadora deposita los minerales en los volquetes de 35 toneladas métricas de carga útil, las cuales transportaran el insumo por una distancia de 8 Km hasta la planta concentradora.

- Carguío y transporte de desmonte: Proceso que se realiza en la mina y consiste en el transporte de desmonte diario de 42,000 toneladas métricas, para lo cual se utiliza una pala con capacidad de cuchara de 10 m³ que deposita el desmonte en camiones con una capacidad de carga útil de 30 toneladas métricas; estos vehículos transportan el desmonte por 1.8 Km hasta el botadero.
- Chancado: Proceso que se realiza en la planta de tratamiento y consiste en el ingreso del material a un circuito de chancado dividido en tres etapas donde se efectúa la trituración del mineral. El mineral que ingresa a la planta posee un tamaño inferior a 12" y luego del proceso de chancado alcanza un tamaño de ½", el resultado obtenido es transportado al circuito de molienda a través de una faja transportadora.
- Molienda: Proceso que se realiza en la planta de tratamiento y consiste en el procesamiento del mineral chancado a través de la molienda, con lo cual el mineral alcanza su forma granulada con un tamaño de 74 -100 micrones. El resultado más fino de este proceso es trasladado para su tratamiento mediante flotación.
- Flotación: Proceso que se realiza en la planta de tratamiento y consiste en el tratamiento obtenido por la molienda del mineral, donde primero será trasladada a un circuito que generará un concentrado de plomo y plata, luego se trasladará a un circuito donde se obtendrá un concentrado de zinc y plata. En la fase de flotación es donde se aplican los reactivos necesarios para lograr la separación de los minerales.
- Espesado, filtrado y despachado: Proceso realizado en la planta de tratamiento, consiste en la eliminación de la humedad en los concentrados obtenidos, para lo cual se utilizan operaciones de espesado y filtrado con maquinaria específica. La producción diaria promedio de este proceso es de 125 toneladas métricas de

concentrado de zinc y plata, los cuales son transportados vía ferrocarril hasta los puertos del Callao o las refinerías de la Oroya y Cajamarquilla.

- **Relaves:** Es el residuo de los procesos de flotación y filtrado, donde se obtienen minerales no valiosos en zinc, plomo y plata, los cuales son puestos a disposición a fin de contribuir al cuidado del medioambiente. El proceso de la planta acumula un aproximado de 4,425 toneladas métricas de relave, los cuales se acumulan en espacios especialmente diseñados para asegurar su estabilidad química y física. Además, se menciona que el agua sobrante del proceso de relave es reciclada al proceso metalúrgico inicial.

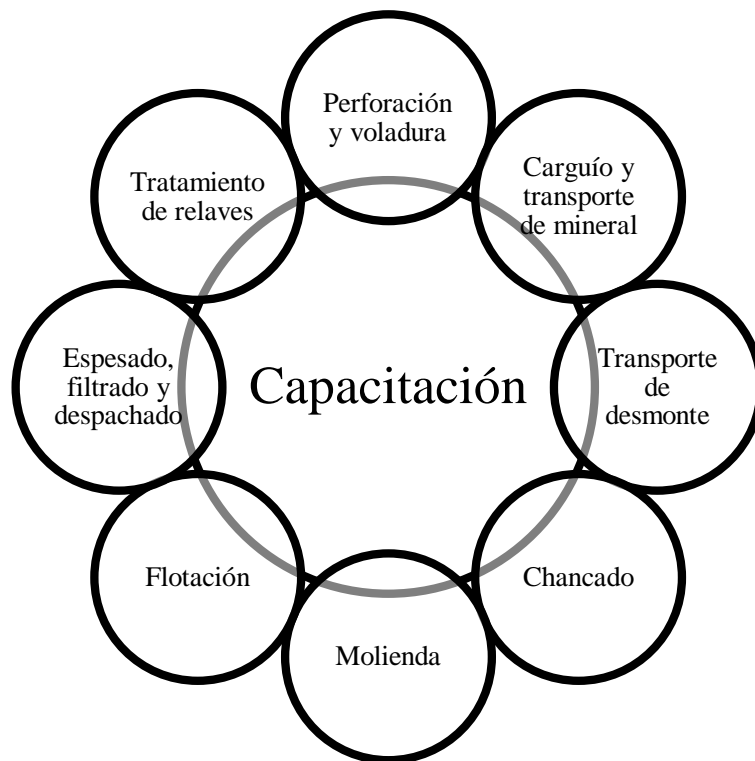


Figura 18 Temas de capacitación para el personal

Elaboración propia

3.3.2. Acción de mejora n° 2: Implementación de un sistema de control automático tipo ratio para dosificación de sulfato de cobre y cianuro de sodio.

En segundo lugar, se realizó la implementación de un sistema de control automatizado el cual incluyó la instalación de Variadores de velocidad, e instrumentación para el área de dosificación de reactivos. Para dichos fines se realizó la compra de 32 Variadores de Velocidad ACS355, 8 flujómetros de la marca E+H, y 8 sensores de nivel, del mismo modo se realizó la instalación de los equipos e integración al sistema de control DCS (System 800xA 6,1) para el desarrollo de lógica de control y pantallas de operación.



Figura 19 Equipo ACS355

Fuente: BK & Tecnología (2019)

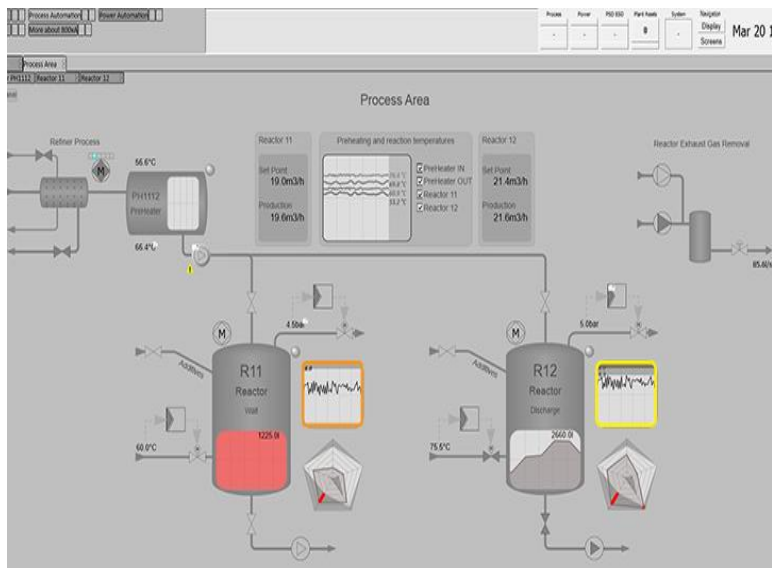


Figura 20: Desarrollo HMI – ABB System 800 xA

Control Tipo Ratio

El control proporcional (Tipo Ratio) es un tipo especial de control por retroalimentación donde dos perturbaciones son medidas y mantenidas en proporción constante una respecto a la otra. Este tipo de control se utiliza con frecuencia en control de caudal de diversos corrientes, los dos medidos, pero solo uno controlado.

Como se puede observar en la figura 20, para nuestro caso el control tipo ratio considerara el flujo de ingreso a flotación (Tonelaje de Alimentación a planta) vs el flujo de dosificación de reactivos (Sulfato de Cobre y Cianuro), de este modo se garantiza en todo momento una dosificación de reactivos optima

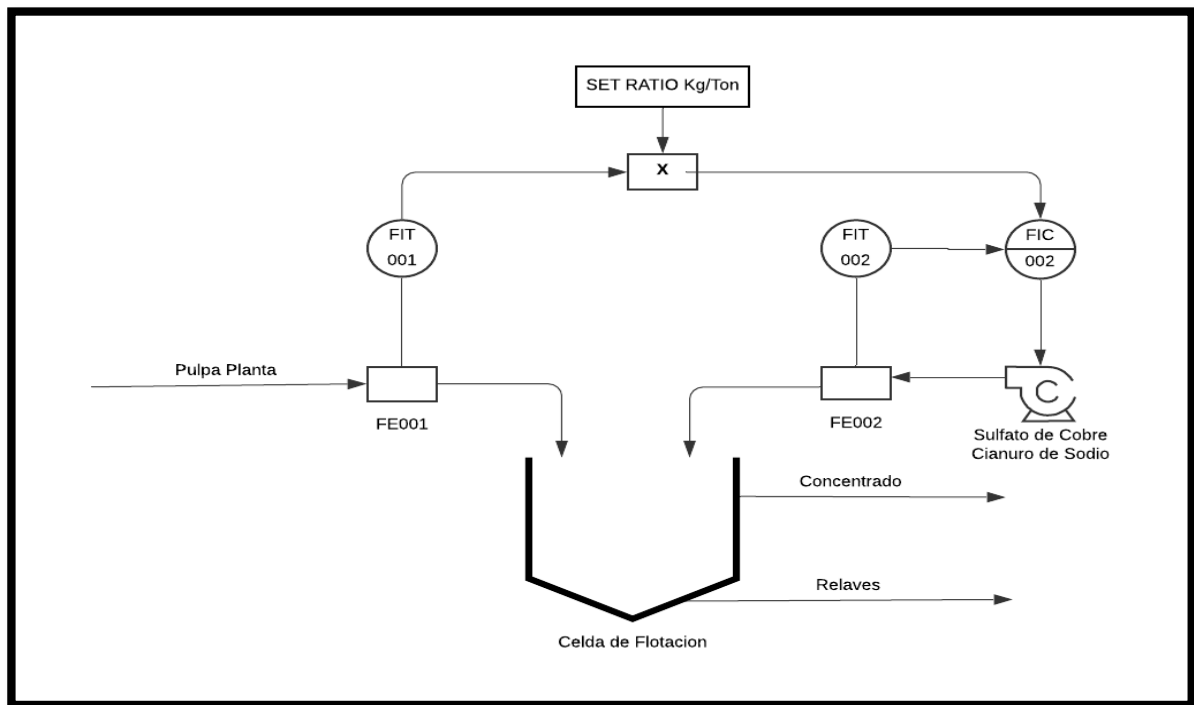


Figura 21: Flujo de ingreso a flotación de minerales

Elaboracion Propia

Los Equipos instalados fueron:

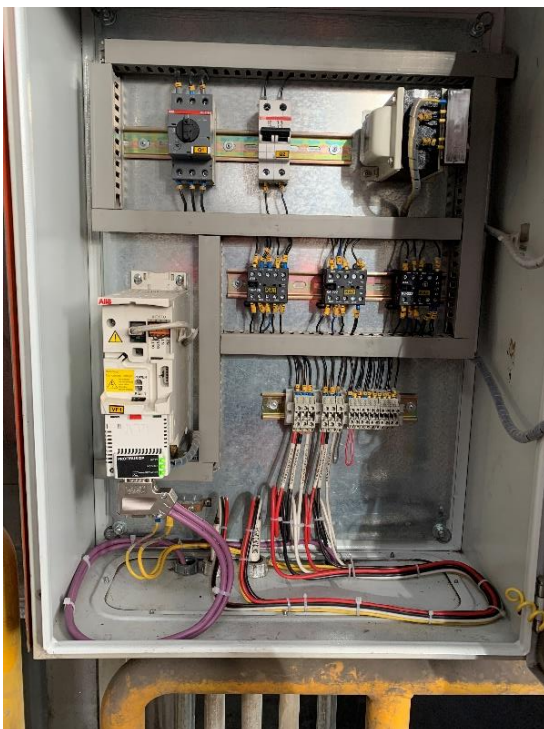


Figura 22 Variador de Velocidad para Bombas de dosificación de reactivos



Figura 23: Instalación de flujómetros de dosificación de reactivos

3.3.3. Acción de mejora n° 3: Implementación de Controles Operativos

En tercer lugar, como parte del proceso de mejora para la dosificación de reactivos en el proceso de flotación, se realizó la integración de un analizador de leyes Courier 5X SL de la marca Outotec. Dicho dispositivo ha sido diseñado para medir en línea las concentraciones de ocho elementos (Pb, Zn, Cu, Au, Ag, Mn, S, %Sol) que se programan para su distribución. Su gran precisión y adaptabilidad ha permitido que este equipo se sitúe como uno de los preferidos para la industria minera. El diseño y funcionamiento del Courier 5X SL cumple con los estándares internacionales de calidad para cumplir con las normas de seguridad necesarias en el país. Otra de las virtudes que posee dicho elemento es la automatización de funcionamiento y el control de interfaces, lo que le permite ser controlado de manera remota por algún dispositivo electrónico, sin la necesidad de contar imperiosamente con un trabajador. A continuación, se muestra una figura referencial del equipo armado:



Figura 24 Equipo Courier 5X SL

Fuente: Outotec (2015)

Luego de realizar la integración del equipo, se desarrolló controles operativos e integración hacia Sala de Control principal, desde dicho punto se realiza el monitoreo de leyes de cabeza de Pb, Zn, Fe y Cu, mediante el cual se realizará el cálculo teórico de cantidad óptima de dosificación de reactivos en línea.



Figura 25 Equipo Courier 5X SL instalado en una planta

Fuente: Outotec (2015)

En la figura anterior se aprecia la utilidad de contar con un sistema de monitoreo, regulación y dosificación, el cual posee pantallas para apreciar el control que se realiza de los reactivos que se están tratando. Mediante dicho proceso se podrá supervisar el correcto funcionamiento de los equipos con el personal capacitado. Ahora se muestra una imagen referencial del contenido de una de las pantallas que muestra el uso y dosificación de los elementos que transcurren por ella.

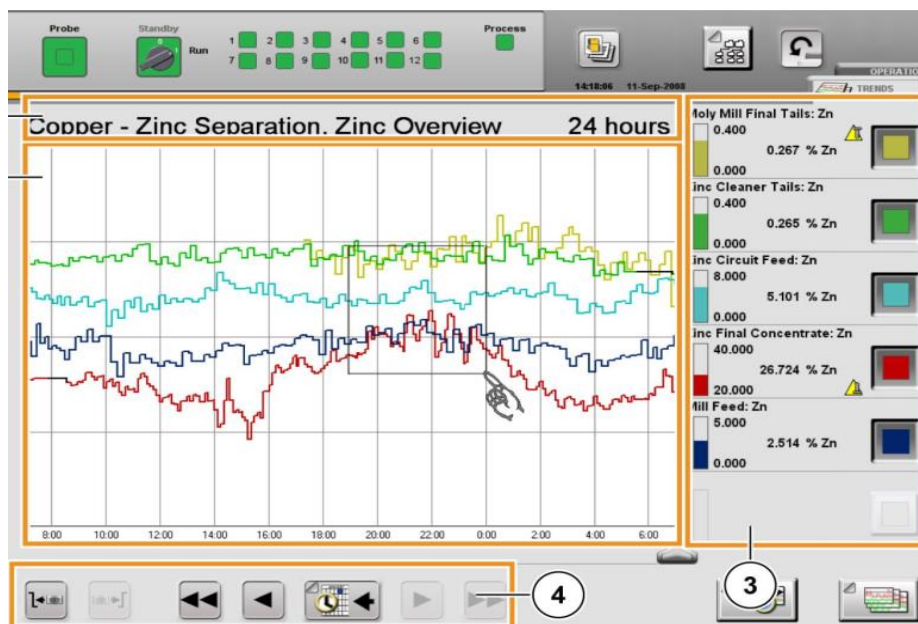


Figura 26 Pantalla de control del equipo Courier 5X SL

Fuente: Outotec (2015)

Para el empleo de dicho equipo el equipo debe contar con la protección necesaria tanto para los oídos, los ojos, la cabeza, guantes en las manos, ropa de seguridad y botas con protección. Además, se deben considerar los siguientes aspectos para el funcionamiento de la máquina de forma segura:

- Todas las cubiertas deben encontrarse bloqueadas y en su lugar
- No se debe abrir el gabinete eléctrico
- No limpiar, abrir las tuvieras y no ajustar los componentes del analizador si éste se encuentra funcionando.
- Realizar las actividades de mantenimiento programado para evitar el deterioro.
- Si se detecta fuga de aire cierre las válvulas.

- Seguir las instrucciones del manual para evitar la radiación ionizante del equipo (recordar que posee un mecanismo de rayos X)

3.3.4. Acción de mejora n° 4: Nuevo procedimiento Escrito de Trabajo para la manipulación de reactivos sulfato de cobre y cianuro de sodio

A continuación, se presenta la mejora en el procedimiento escrito de trabajo:

Procedimiento Escrito de Trabajo: Manipulación de Reactivos (Sulfato de Cobre y Cianuro de Sodio)

Código PETS: 0X-PETS-SMEB-0XX

Área: Flotación de reactivos

1. PERSONAL

- 1.1. Supervisor de área de Flotación
- 1.2. 01 operador de Equipo de dosificación
- 1.3. 01 ayudante de Equipo dosificación

2. EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL

- 2.1. Mameluco con cinta reflectiva.
- 2.2. Mameluco descartable – key guard.
- 2.3. Casco.
- 2.4. Barbiquejo.
- 2.5. Lentes de seguridad.
- 2.6. Full Face.
- 2.7. Protector de oídos.
- 2.8. Respirador
- 2.9. Guantes de Jebe o neopreno.
- 2.10. Botas de jebe con punta de acero.
- 2.11. Correa con porta lámpara.
- 2.12. Lámpara.

3. EQUIPOS / HERRAMIENTAS / MATERIALES

- 3.1. Plataforma para reactivos (equipada).
- 3.2. Distribuidor de reactivos
- 3.3. Telemando
- 3.4. Reservorios (para derrames).
- 3.5. Baldes de 20 Lt.
- 3.6. Cordón Absorbente.
- 3.7. Lava Ojos portátil.

4. PRE REQUISITOS DE COMPETENCIA

- 4.1. Capacitación en el uso obligatorio de los EPP en el manejo de reactivo cianuro de sodio y sulfato de cobre.
- 4.2. Manejo adecuado de reactivo de cianuro de sodio y sulfato de cobre.
- 4.3. Curso de manejo defensivo.
- 4.4. Licencia interna de manejo de equipos emitida por SMEB.

5. RESTRICCIONES

- 5.1. Por ningún motivo se debe manipular el reactivo (cianuro de sodio o sulfato de cobre) sin contar con el EPP completo y en buen estado.
- 5.2. En caso se sufra lesiones por salpicadura de reactivo (cianuro de sodio sulfato de cobre), NO FROTARSE la vista, se debe enjuagar con abundante agua. Luego comunicar al supervisor inmediato.
- 5.3. Está prohibido emplear reactivo en el sostenimiento de labores sin contar con la autorización del área correspondiente.
- 5.4. Antes y después de utilizar el reactivo (cianuro de sodio o sulfato de cobre), el equipo de dosificación y demás partes del sistema se deben limpiar por completo con abundante agua. El no hacerlo provoca taponamientos en la línea de flujo del reactivo.

6. PROCEDIMIENTO

- 6.1. DURANTE EL ABASTECIMIENTO DE REACTIVO CIANURO DE SODIO

- 6.1.1. El personal realizará la inspección y verificación del equipo para el abastecimiento de reactivo cianuro de sodio, rellenando el formato correspondiente.
 - 6.1.2. Verificar el estado de sus EPP'S y usar de manera adecuada.
 - 6.1.3. Verificar e inspeccionar que las herramientas estén en buen estado.
 - 6.1.4. Señalizar el área de trabajo delimitando el área con el fin de no exponer a terceros.
 - 6.1.5. Activar el equipo considerando el uso, en todo momento, de guantes, lentes y la careta FULL FACE para evitar lesiones por salpicaduras a la vista.
 - 6.1.6. Finalizada la descarga de reactivo de cianuro de sodio, se deberá cerrar la válvula de manera que no presente chorreo o goteo de reactivo al suelo o al cuerpo.
 - 6.1.7. Finalmente, dejar apagado la palanca del equipo posicionado en forma vertical (hacia arriba).
- 6.2. DURANTE EL LANZADO CON REACTIVO SULFATO DE COBRE
- 6.2.1. El personal realizará la inspección y verificación de la labor rellenando el formato correspondiente para el reactivo de sulfato de cobre.
 - 6.2.2. Verificar el estado de sus EPP'S, usar en todo momento guantes, caretas FULL FACE para evitar lesiones por salpicaduras a la vista, y el mameluco descartable Key Guard.
 - 6.2.3. Verificación de herramientas, equipo y realizar un uso adecuado.
 - 6.2.4. Señalizar el área de trabajo delimitando el área con el fin de no exponer a terceros.
 - 6.2.5. Activar la máquina para la dosificación del reactivo, se debe priorizar que la distribución sea constante.
 - 6.2.6. La dosificación de reactivo debe ser la señalada por los manuales de uso, ya sea en forma de gotera o en control de calidad por lts/m³.
 - 6.2.7. Luego, continuar con la vigilancia en el proceso de dosificación del sulfato de cobre desde la fuente hacia su destino de forma continua.
 - 6.2.8.

6.2.9. Cuando se presenta alguna anomalía, se debe dejar apagada la maquina por unos minutos (aproximadamente 10), y luego de ese tiempo se debe continuar con el procedimiento.

7. FORMATOS A CONSIDERAR

- 7.1. Formato para el uso de las maquinarias de dosificación de reactivos MMDR-024-2019-SMEB
- 7.2. Formato para el correcto uso y dosificación del reactivo cianuro de sodio FURCNA-025-2019-SMEB
- 7.3. Formato para el correcto uso y dosificación del reactivo sulfato de cobre FURCU-026-2019-SMEB
- 7.4. Formato para el uso de elementos de protección personal por parte de los trabajadores del área de dosificación de reactivos FUEPP-013-2019-SMEB
- 7.5. Manual para la flotación de reactivos MPFR-006-2019-SMEB.

8. EQUIPO DE TRABAJO

- 8.1. Nombres y Apellidos..... Supervisor.
- 8.2. Nombres y Apellidos..... Operador de Equipo.
- 8.3. Nombres y Apellidos..... Ayudante de operador de Equipo.

9. RESPONSABLES

ELABORADO POR	REVISADO POR	REVISADO POR	APROBADO POR
Supervisor del área	Jefe de operaciones	Jefe de SMEB	Gerente de obra
Apellidos y nombres	Apellidos y nombres	Apellidos y nombres	Apellidos y nombres
Fecha: __/__/2019			Fecha: __/__/2019

3.3.5. Acción de mejora n° 5, Implementación de Dashboards de control de Costos operativos

Se realizó la implementación de una herramienta BI, el cual nos permite ver en tiempo real el consumo de reactivos y costo operativos, esta herramienta se implementó con el apoyo del área de TI, la implementación contemplo la integración de Base de datos SQL y BI Qlik Sense

Como se puede observar en la figura 24, el portal de costos de Planta nos muestra todos los costos incurridos mes a mes, en este Dashboards podemos ver tiempo real el consume de reactivos, costos de energía y mano de obra.

Para la implementación de este Dashboards, se tiene como base de datos principal el ERP de SAP desde el cual se realizan todas las consultas y presentarlo en un cubo de información.

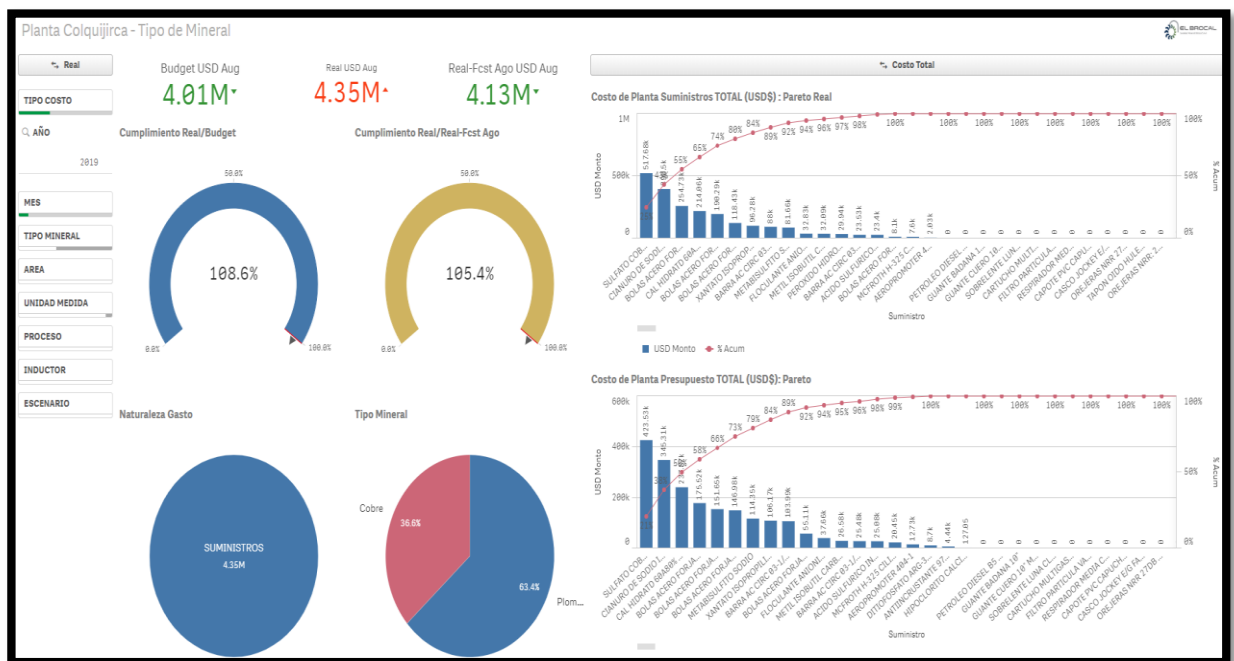


Figura 27 Implementación de Dashboards de control de costos operativos

3.3.6. Resultados de la Matriz de operacionalización luego de la mejora y comparativo

En las siguientes tablas se observará de manera detallada las variaciones dada la implementación de mejora en el proceso de flotación basado en el ciclo de Deming. En primer lugar se procederá a analizar la variación del escenario antes y después de la variable independiente.

Cálculo de los resultados luego de la mejora

Luego de la observación directa en la realidad se pudo determinar los índices de uso para el consumo de minerales en la planta, tanto para la variable independiente como para la dependiente. Dichos datos se muestran en las siguientes líneas:

Ecuación 10 Cálculo del tonelaje concentrado final

$$\text{Peso concentrado} = (\text{peso húmedo}) - (\text{peso húmedo} \times \% \text{ de humedad})$$

En el caso del plomo se determinó lo siguiente:

$$\text{Peso concentrado} = 1,350 - (10\% * 1,350) = 1,215$$

Por lo que se determina que el peso concentrado del mineral de plomo para el análisis es de 1215 TM. Situación similar se observa para el zinc:

$$\text{Peso concentrado} = 3,377 - (10\% * 3,377) = 3,040$$

Por lo que se determina que el peso concentrado del mineral de zinc para el análisis es de 3040 TM.

Porcentaje de mineral en relave de Plomo y Zinc

Los porcentajes para el relave o desecho del mineral se determinan mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 11 Cálculo del relave de minerales final

$$\frac{\textit{Mineral desperdiciado}}{\textit{Total del mineral}}$$

Entonces se procede, con los datos proporcionados por la empresa, a calcular dicho porcentaje para el plomo, en donde se obtuvo un desperdicio de 376.92 toneladas:

$$\frac{376.92}{2094} = 18\%$$

Entonces se obtiene un porcentaje de mineral en relave para el plomo de 18%. Situación análoga se muestra para el análisis del zinc, en donde se obtuvo un desperdicio de 1323.86 toneladas:

$$\frac{1323.86}{4903.2} = 27\%$$

Por lo tanto, se determina un porcentaje de mineral en relave para el zinc del 27%

Porcentaje de recuperación de concentrados de Plomo y Zinc

Los porcentajes de recuperación del mineral se determinan mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 12 Cálculo del recuperación de minerales final

$$\frac{\textit{Mineral recuperado}}{\textit{Total del mineral}}$$

Ahora, con los datos proporcionados por la empresa, a calcular dicho porcentaje para el plomo, en donde se obtuvo 1215 toneladas de concentrado:

$$\frac{1215}{2094} = 58\%$$

Entonces se obtiene un porcentaje de recuperación para el plomo de 58%. Situación análoga se muestra para el análisis del zinc, en donde se obtuvo 3040 toneladas de concentrado:

$$\frac{3040}{4903.2} = 62\%$$

Por lo tanto, se determina un porcentaje de recuperación para el zinc de 62%

Dichos resultados, de manera resumida, se muestran la siguiente tabla de operacionalización de las variables:

Tabla 15: *Resultado operacionalización de variable independiente luego de la mejora*

Variable independiente	Definición conceptual	Dimensión	Indicadores	Resultado
Propuesta de mejora en Flotación de minerales	La flotación es una técnica de concentración de minerales en húmedo, en la que se aprovechan las propiedades físico-químicas superficiales de las partículas para efectuar la selección. La mejora en el proceso de flotación consiste en cuantificar el rendimiento del proceso en aspectos como recuperación de concentrados y relaves en minerales como Pb y Zn (Artica y Rivera, 2015)	Flotación	Tonelaje de concentrados producidos Pb y Zn	1215 TM de Pb
				3040 TM de Zn
			Porcentaje de mineral en relave Pb y Zn	18 % de Pb
				27 % de Zn
				58 % en Pb
	Porcentaje de Recuperación de concentrados Pb y Zn	62 % en Zn		

Elaboración propia

Respecto a la variable dependiente, se lograron determinar los siguientes indicadores y sus respectivos resultados:

Ratio de consumo de reactivo

El total del cálculo mensual para el sulfato de cobre y el cianuro de sodio determina por la sumatoria de los valores encontrados en el consumo diario, lo cual puede ser reflejado mediante la siguiente formula:

Ecuación 13 Cálculo del consumo de reactivos mensual final

$$\sum_{t=1}^N (\text{Consumo diario})$$

En este sentido, se muestran las siguientes tablas donde se observa el consumo detallado para el consumo de plomo y el zinc a través de las siguientes tablas:

Tabla 16 *Consumos de cianuro de sodio final*

Fecha	Tonelaje	Ratio Teórico	Consumo final (Kg)	Costo final (\$)
1/06/2019	13194.2076	0.3282	4330.338934	\$ 10,609.33
2/06/2019	13007.1993	0.3282	4268.96281	\$ 10,458.96
3/06/2019	8172.5992	0.3282	2682.247057	\$ 6,571.51
4/06/2019	13639.7858	0.3282	4476.5777	\$ 10,967.62
5/06/2019	11019.7662	0.3282	3616.687267	\$ 8,860.88
6/06/2019	12433.3579	0.3282	4080.628063	\$ 9,997.54
7/06/2019	12688.8552	0.3282	4164.482277	\$ 10,202.98
8/06/2019	10229.1957	0.3282	3357.222029	\$ 8,225.19
9/06/2019	13118.6766	0.3282	4305.54966	\$ 10,548.60
10/06/2019	12225.17	0.3282	4012.300794	\$ 9,830.14
11/06/2019	12841.6726	0.3282	4214.636947	\$ 10,325.86
12/06/2019	13303.0513	0.3282	4366.061437	\$ 10,696.85
13/06/2019	13487.5973	0.3282	4426.629434	\$ 10,845.24
14/06/2019	13473.8151	0.3282	4422.106116	\$ 10,834.16
15/06/2019	13256.7198	0.3282	4350.855438	\$ 10,659.60
16/06/2019	12108.0376	0.3282	3973.85794	\$ 9,735.95
17/06/2019	5519.244	0.3282	1811.415881	\$ 4,437.97
18/06/2019	12949.4685	0.3282	4250.015562	\$ 10,412.54
19/06/2019	12176.9696	0.3282	3996.481423	\$ 9,791.38
20/06/2019	13215.0591	0.3282	4337.182397	\$ 10,626.10
21/06/2019	12733.2486	0.3282	4179.052191	\$ 10,238.68
22/06/2019	10544.2203	0.3282	3460.613102	\$ 8,478.50
23/06/2019	7584.4981	0.3282	2489.232276	\$ 6,098.62
24/06/2019	13527.3949	0.3282	4439.691006	\$ 10,877.24
25/06/2019	12538.6093	0.3282	4115.171572	\$ 10,082.17
26/06/2019	4306.0331	0.3282	1413.240063	\$ 3,462.44
27/06/2019	12204.7729	0.3282	4005.606466	\$ 9,813.74
28/06/2019	8200.2002	0.3282	2691.305706	\$ 6,593.70
		TOTAL	106,238.15	\$ 260,283.47

Fuente: Elaboración Propia

Como se observa en la tabla anterior, el total del consumo antes de la implementación de mejora durante un mes del concentrado cianuro de sodio equivale a 106 TN.

A continuación, se presenta un análisis similar para el sulfato de cobre con la siguiente tabla:

Tabla 17 *Consumos de sulfato de cobre final*

Fecha	Tonelaje	Ratio Teórico	Consumo final (Kg)	Costo final (\$)
1/06/2019	13194.2076	0.834	11003.96914	\$ 19,917.18
2/06/2019	13007.1993	0.834	10848.00422	\$ 19,634.89
3/06/2019	8172.5992	0.834	6815.947733	\$ 12,336.87
4/06/2019	13639.7858	0.834	11375.58136	\$ 20,589.80
5/06/2019	11019.7662	0.834	9190.485011	\$ 16,634.78
6/06/2019	12433.3579	0.834	10369.42049	\$ 18,768.65
7/06/2019	12688.8552	0.834	10582.50524	\$ 19,154.33
8/06/2019	10229.1957	0.834	8531.149214	\$ 15,441.38
9/06/2019	13118.6766	0.834	10940.97628	\$ 19,803.17
10/06/2019	12225.17	0.834	10195.79178	\$ 18,454.38
11/06/2019	12841.6726	0.834	10709.95495	\$ 19,385.02
12/06/2019	13303.0513	0.834	11094.74478	\$ 20,081.49
13/06/2019	13487.5973	0.834	11248.65615	\$ 20,360.07
14/06/2019	13473.8151	0.834	11237.16179	\$ 20,339.26
15/06/2019	13256.7198	0.834	11056.10431	\$ 20,011.55
16/06/2019	12108.0376	0.834	10098.10336	\$ 18,277.57
17/06/2019	5519.244	0.834	4603.049496	\$ 8,331.52
18/06/2019	12949.4685	0.834	10799.85673	\$ 19,547.74
19/06/2019	12176.9696	0.834	10155.59265	\$ 18,381.62
20/06/2019	13215.0591	0.834	11021.35929	\$ 19,948.66
21/06/2019	12733.2486	0.834	10619.52933	\$ 19,221.35
22/06/2019	10544.2203	0.834	8793.87973	\$ 15,916.92
23/06/2019	7584.4981	0.834	6325.471415	\$ 11,449.10
24/06/2019	13527.3949	0.834	11281.84735	\$ 20,420.14
25/06/2019	12538.6093	0.834	10457.20016	\$ 18,927.53
26/06/2019	4306.0331	0.834	3591.231605	\$ 6,500.13
27/06/2019	12204.7729	0.834	10178.7806	\$ 18,423.59
28/06/2019	8200.2002	0.834	6838.966967	\$ 12,378.53
		Total	269,965.32	\$ 488,637.23

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla anterior se observa que el total de consumo durante un mes antes de la implementación de mejoras para el sulfato de cobre equivale a 296 TN.

Consumo de energía

El cálculo del consumo de energía para el procesamiento de los minerales se realizó mediante la suma de los valores hallados en cada día, por lo cual se procede a emplear la siguiente fórmula:

Ecuación 14 Cálculo del consumo de energía final

$$\sum_{t=1}^N (\text{consumo de energía diario})$$

El total de consumo en el área de tratamiento de reactivos fue un dato dado por la compañía, lo cual equivale a 6000 KWH

Horas hombre

El cálculo del empleo de horas hombre para el procesamiento de los minerales se realizó mediante la suma de los valores hallados en cada día, por lo cual se procede a emplear la siguiente fórmula:

Ecuación 15 Cálculo de empleo de horas hombre final

$$\sum_{t=1}^N (\text{empleo de horas hombre diario})$$

El total del empleo de horas hombre en el área de tratamiento de reactivos fue un dato dado por la compañía, lo cual equivale a 2520 horas de empleo de trabajadores.

Costo del consumo de reactivos

El costo mensual de los reactivos queda determinado por la suma de los costos incurridos de manera diaria, lo cual se respalda en la siguiente fórmula:

Ecuación 16 Cálculo del costo del consumo mensual final

$$\sum_{t=1}^N (\text{Consumo mensual} * \text{costo unitario})$$

Para el caso del costo del consumo mensual para el cianuro de sodio se determinó:

$$\sum_{n=1}^1 (106,238.15 \times 2.45) = 260,283$$

En el caso del costo del consumo mensual para el sulfato de cobre se determinó:

$$\sum_{n=1}^1 (269,9056 * 1.81) = 488,637.23$$

Adicionalmente, como se observó en las últimas columnas de las tablas anteriores, el consumo para cada reactivo de manera mensual alcanzó la suma de US\$ 480,000 dólares para el sulfato cobre y US\$ 260,000 dólares para el cianuro de sodio.

Costos indirectos (energía y mano de obra)

Para el caso del consumo de energía eléctrica, se consideró el precio unitario en \$ 0.10 dólares por cada KWH consumido en la planta de tratamiento de minerales, por lo que se considera la siguiente fórmula para el cálculo:

Ecuación 17 Cálculo del costo de energía eléctrica final

$$\sum_{t=1}^N (\text{Consumo mensual} \times \$/KWH)$$

Aplicando los valores a la formula mencionada anteriormente, se obtiene que:

$$\sum_{n=1}^{28} (6000 * 0.10) = 600$$

Por lo tanto se calculó un costo por consumo de energía eléctrica final de US\$ 600.00 dólares

Para el cálculo de la mano de obra se realizó un procedimiento similar; es decir, dado que se tienen las horas hombre empleadas, se multiplicó por el costo unitario de dicho factor (\$ 12 dólares por hora). Esto se detalla en la siguiente formula:

Ecuación 18 Cálculo del costo mano de obra final

$$\sum_{t=1}^N (\text{Horas de mano de obra}) \times (\$/h)$$

Aplicando los valores a la formula mencionada anteriormente, se obtiene que:

$$\sum_{n=1}^{28} (25200 \times 12) = 30,240$$

Por lo tanto se calculó un costo por consumo de energía eléctrica final de US\$ 30,240 en mano de obra directa

Luego, se procede a mostrar dichos resultados en la siguiente tabla de operacionalización de la variable dependiente:

Tabla 18: *Resultado operacionalización de variable dependiente luego de la mejora*

Variable Dependiente	Definición conceptual	Dimensión	Indicadores	Resultado (MES)	
Consumo de reactivos	El uso o consumo de reactivos tiene la función de alterar las propiedades fisicoquímicas del sistema sólido-líquido-gas, esto con el objetivo de preparar la superficie de los minerales para la absorción o desorción de un determinado reactivo y así, mejorar la eficiencia de proceso de flotación (Soto, 2017).	Consumo	Ratio de consumo de reactivo (Cianuro de Sodio y Sulfato de Cobre)	300 TN de Sulfato de Cobre	
				120 TN de CN	
			Consumo de Energía	7200 KWH	
			Horas Hombre	2880 HH	
		Costos		Costo de Consumo de Reactivos	US\$ 550,000 en Sulfato Cobre
					US\$ 300,000 en Cianuro de Sodio
				Costos Indirectos (Energía y MO)	US\$ 720.00
					US\$ 8640 en MOD

Elaboración propia

Escenario comparativo

Tabla 19: Resultados antes y después de la operacionalización de la variable independiente

Variable Independiente	Dimensión	Indicadores	Resultados		
			Antes	Después	Variación
Flotación	Flotación	Tonelaje de concentrados producidos Pb y Zn	1200 TM de Pb	1215 TM de Pb	+1%
			3000 TM de Zn	3040 TM de Zn	+1%
		Porcentaje de mineral en relave Pb y Zn	20 % de Pb	18% en Pb	-2%
			30 % de Zn	27 % en Zn	-3%
		Porcentaje de Recuperación de concentrados Pb y Zn	50 % en Pb	58 % en Pb	+8%
			55 % en Zn	60 % en Zn	+5%

Elaboración propia

En la tabla anterior se muestran los valores finales en los escenarios antes y después de la propuesta de mejora en la flotación de minerales, donde se precisan los indicadores Tonelaje de concentrados producidos Pb y Zn se muestra una variación de (+1%), Porcentaje de mineral en relave Pb y Zn en (-3%), Porcentaje de Recuperación de concentrados Pb y Zn en (+8%) y (5%), respectivamente, evidenciándose así las variaciones en cada uno de los indicadores planteados.

A continuación se muestran los cambios referidos a la variable dependiente, a saber, el consumo de reactivos a través de la siguiente tabla:

Tabla 20: *Resultados antes y después de la operacionalización de la variable dependiente*

Variable dependiente	Dimensión	Indicadores	Resultado		
			Antes	Después	Variación
Consumo de reactivos	Consumo	Ratio de consumo de reactivo (Cianuro de Sodio y Sulfato de Cobre)	300 TN de Sulfato de Cobre	270 TN de Sulfato de Cobre	-10%
			120 TN de CN	105 TN de CN	-12%
		Horas Hombre	2880 H	2520 H	- 12.5%
		Energía	7200 KWH	6000 KWH	-17%
	Costos Operativos	Costo de Reactivos	US\$ 550,000 en Sulfato de Cobre	US\$ 480,000 en Sulfato de Cobre	-12%
			US\$ 300,000 en Cianuro de Sodio	US\$ 260,000 en Cianuro de Sodio	-13%
		Horas Hombre	US\$ 34,560.00	US\$ 30,240.00	-12.5%
		Energía	US\$ 720.00	US\$ 600.00	-17%

Elaboración propia

En la tabla anterior se muestran los valores finales en los escenarios antes y después de la propuesta de mejora para reducir el consumo de reactivos en una planta procesadora de plomo y zinc, donde se precisan los indicadores de Ratio de consumo de reactivo (Cianuro de Sodio y Sulfato de Cobre) en -10% y -12%, Costo de consumo de reactivos (Cianuro de Sodio y Sulfato de Cobre) en -12% y -13%, respectivamente, evidenciándose así las variaciones en cada uno de los indicadores planteados.

3.4. Resultado de análisis de costos y beneficios económicos de las acciones de mejora

Para realizar el análisis de Costos – Beneficio, se ha considerado todos los costos incurridos en el proyecto y los ingresos reales, los cuales se detallan a continuación:

3.4.1. Costos Incurridos en el Proyecto

Los Costos incurridos en el proyecto fueron:

Tabla 21 *Costos de las mejoras*

Ítem	Descripción	Unid. Medida	Cant.	Precio unitario	Costo total
1	INSTRUMENTOS				\$159,600.00
	Flujometros	Und.	8	\$2,750.00	\$ 22,000.00
	Sensor de Nivel	Und.	8	\$3,200.00	\$ 25,600.00
	Variadores de Velocidad	Und.	32	\$3,500.00	\$112,000.00
2	CONSTRUCCIÓN				\$ 40,4800.00
	INSTALACION				\$ 25,000.00
	Canalización y cableado	Glb.	1	\$25,000.00	\$25,000.00
	INTEGRACIÓN				\$ 10,000.00
	Integración electrónica	Und.	1	\$10,000.00	\$ 10,000.00
	COMISIONAMIENTO Y PUESTA EN MARCHA				\$5,480.00
	Comisionamiento	Und.	1	\$5,480.00	\$5,480.00
TOTAL					USD \$ 200,080.00
EN SOLES (T.C. 3.331)					S/ 622,264.80

Elaboración propia

Para la implementación del proyecto se tuvieron varios contratistas, los cuales estuvieron encargados de cada etapa del proyecto, y el control de costos se realizó etapa por etapa con el propósito de controlar el presupuesto asignado para este alcance.

3.4.2. Beneficios después de implementar las mejoras

Los ingresos reportados están presentados en la siguiente tabla:

Tabla 22 Beneficios de las mejoras

Ítem	Descripción	Unid. Medida	Costo – Junio	Costo – Septiembre	Ahorro
1	REACTIVOS				\$108,599.85
	Sulfato de Cobre	\$.	\$555,870.85	\$481,250.00	\$74,620.85
	Cianuro de Sodio	\$	\$297,179.00	\$263,200.00	\$ 33.979.00
2	OTROS				\$ 4,440.00
	MANO DE OBRA				
	HH en Flotación	\$.	\$34,560.00	\$30,240.00	\$4,320.00
	ENERGIA				
	KWH Energía	\$	\$720.00	\$600.00	\$ 120.00
TOTAL					USD \$ 113,039.85

Elaboración propia

El ahorro significativo se dio debido a la implementación del control tipo ratio, como se puede observar en la figura anterior, después de la implementación del control automático el consumo de reactivos fue optimizado de acuerdo al tonelaje tratado en planta.

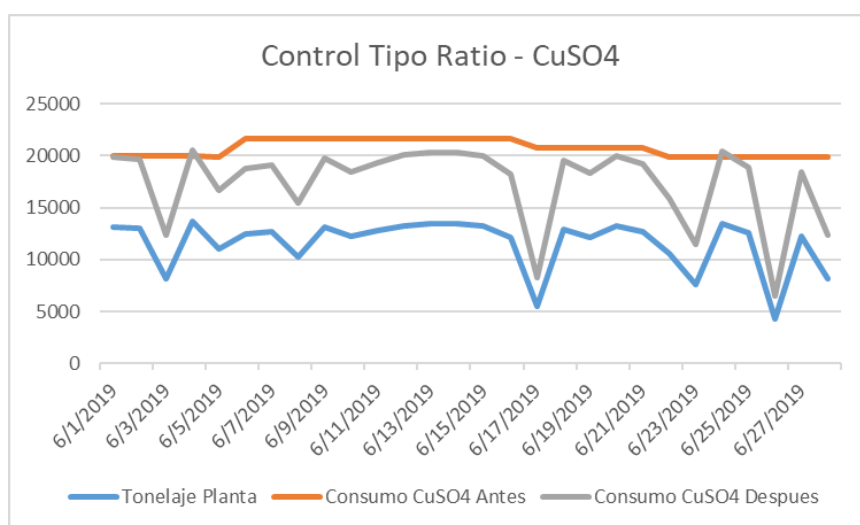


Figura 28 Beneficio de las mejoras

3.4.3. Análisis Financiero

Para el análisis financiero, se utilizó la técnica costo – beneficio el cual incluye la elaboración de indicadores como VAN, TIR, PAYBACK, entre otros, lo cual se aprecia en las siguientes tablas:

Tabla 23: Evaluación económica (expresando en Dolares)

Descripción	Parcial	Abr-19	Set-19	Oct-19	Nov-19	Dic-19	Ene-20	Feb-20	Mar-20	Abr-20	May-20	Jun-20	Jul-20	Ago-20	Set-20	Oct-20	Nov-20	Dic-20
INGRESOS		-	104,143	104,143	104,143	104,143	104,143	104,143	104,143	104,143	104,143	104,143	104,143	104,143	104,143	104,143	104,143	104,143
Ahorro de uso de reactivo CN de Sodio	36,908	-	36,908	36,908	36,908	36,908	36,908	36,908	36,908	36,908	36,908	36,908	36,908	36,908	36,908	36,908	36,908	36,908
Ahorro de uso de reactivo Sulfato de Cobre	67,234		67,234	67,234	67,234	67,234	67,234	67,234	67,234	67,234	67,234	67,234	67,234	67,234	67,234	67,234	67,234	67,234
EGRESOS		200,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000
Adquisición de Instrumentación y Construcción	200,000	200,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mantenimiento	10,000		10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000
Resultado	-	-200,000	94,143	94,143	94,143	94,143	94,143	94,143	94,143	94,143	94,143	94,143	94,143	94,143	94,143	94,143	94,143	94,143
Acumulado	-	-200,000	-105,858	-11,715	82,428	176,570	270,713	364,855	458,998	553,140	647,283	741,425	835,568	929,710	1,023,853	1,117,995	1,212,138	1,306,280

Elaboración propia

En la tabla anterior se presenta el flujo de ingresos y egresos de la propuesta de mejora, en donde se observa que al final del periodo de diciembre 2020, se ha generado un ahorro acumulado de USD \$ 1'306,280 dólares, lo cual es beneficioso para la empresa y demuestra la viabilidad de la implementación planteada en el proceso de flotación. Adicionalmente, respecto al análisis financiero de la propuesta, se ha procedido al cálculo de indicadores como el VAN, TIR, periodo de recupero y ROI. Dicho análisis se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 24 *Indicadores económicos*

Índices Económicos	Resultado
Inversión (USD): Considerando el proyecto completo	200,000
VAN (USD)	1,164,832.58
TIR Mensual (%)	20.95%
Periodo de Pago (meses)	5.00
ROI (%)	582.42%
Tasa de Descuento	10%

Elaboración propia

Como se observa en la anterior tabla, se han desarrollado los índices económicos de la propuesta de mejora, los cuales sostiene que ante una inversión inicial de USD \$ 200,000 dólares, se alcanza un valor actual neto (VAN) de USD \$ 1'164,832.58 dólares, con una tasa interna de retorno (TIR) de 20.95 %. Además, es importante resaltar que la inversión realizada se recupera en el 5^{to} mes de actividades. Con los índices mencionados, se puede concluir que la propuesta, además de generar beneficios a la empresa, es sostenible y rentable económicamente.

CAPÍTULO 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

En la presente sección se realiza la discusión de resultados, en la cual se comparan los obtenidos resultados con los hallazgos encontrados por otros autores que también han investigado el tema de consumo de reactivos. Se constatan los beneficios o alcances logrados con la implementación de mejoras en todos los casos. A continuación, se presenta dicha discusión, dividiéndola entre trabajos internacionales y nacionales.

A nivel internacional se menciona el trabajo efectuado por Venegas (2018), en donde se alcanzó, luego de la implementación de las mejoras, una disminución del consumo del reactivo de aproximadamente el 15 %, lo cual permite mantener rangos favorables un aumento de la producción en el tratamiento de los minerales. Un porcentaje de disminución menor se obtuvo en la investigación realizada por Lobos (2018); luego de las mejoras realizadas en el tratamiento de minerales, el consumo de reactivos se redujo en 8 %. En comparación con nuestros resultados, se puede mencionar que el consumo de reactivos para el tratamiento del cobre y plomo disminuyó en 10% para el sulfato de cobre y 12 % para el cianuro de sodio. Evidentemente, con la disminución del consumo en cantidad, el costo de la adquisición de los reactivos también se redujo, lo cual se evidencia en un costo de 12% menos para el gasto en sulfato y 13% menos en cianuro.

Desde una perspectiva económica se cuenta con el trabajo de Romero (2016) donde se obtuvo una mejora en la rentabilidad, en tanto que los beneficios de la implementación fueron de USD 64,526 dólares y costo de la ejecución fue USD 23,383 dólares, con una tasa de costo beneficio de 1.75. En el caso de nuestra investigación el costo total de la implementación fue de USD 200,000 dólares y se obtiene un beneficio anual de USD 1'306,280 dólares, es decir una tasa de costo beneficio de 6.513, cifra altamente superior al resultado anterior. Otro análisis similar se observa en Bonzi (2016), luego de las mejoras la rentabilidad alcanzado una tasa interna de retorno (TIR) de 62.5 % al mes y una ganancia expresada en VAN de USD \$3.11 millones de dólares al año; análogamente, en

nuestra investigación se alcanzó una tasa interna de retorno mensual de 20.95 % y un VAN de USD 1'306,280 dólares al finalizar el primer año.

A nivel nacional se cuenta con el trabajo realizado por Mijahuanca y Castañeda (2018) quienes lograron una disminución en el consumo de reactivos para el tratamiento de minerales del 15%, gracias al empleo de la herramienta "Setpoint". De manera similar en la investigación de Suca (2017) se obtuvo una reducción en el porcentaje de uso de los reactivos del 25 %, en Galindo (2016) se observa que dicho consumo de 65.3 gramos/tonelada y luego de la implementación de mejora este indicador se redujo a 56.3 gramos/tonelada, es decir hubo una disminución del 16 %. El cambio más impactante se encontró en el trabajo de Sánchez y Villavicencio (2013), quienes alcanzaron una disminución del consumo de reactivos químicos tóxicos en las operaciones de circuitos de flotación de 59,231.76 a 12,848.49 Kg/mes, lo cual presenta el 78.31 %. En la presente investigación se determinó que antes de la implementación de las mejoras se consumía 300 toneladas para de sulfato de cobre y 120 toneladas del cianuro de sodio para el tratamiento del plomo y zinc; luego de la implementación de mejora dichos valores se redujeron considerablemente, el consumo para el sulfato de cobre paso a ser de 270 toneladas, (10% menos) y 105 toneladas para el cianuro de sodio (12 % menos).

Para el caso de El Brocal, en primer lugar, se tuvo que realizar un plan estratégico para la compañía con un enfoque específico de reducción de costos mediante las técnicas de mejora continua, con ello se obtuvieron los siguientes resultados:

- Reducción de consumo de reactivos entre 10 % (de 300 a 270 toneladas) para el sulfato de cobre y 12 % (de 120 a 105 toneladas) para el cianuro de sodio.
- Disminución de empleo de horas hombre en 12.5 % (de 2880 a 2520 horas) y el consumo de electricidad en 17% (de 7200 a 6000 KWH).

La evaluación económica demostró que la implementación genera beneficios a la empresa, dado que es viable y sostenible. Se calculó una inversión inicial del proyecto completo en USD 200,000 dólares, los ahorros mensuales fueron de USD 113,039 dólares. Dichos

montos determinaron un valor actual neto (VAN) de USD 1'164,832.58 dólares y una TIR mensual de 20.95%.

Con ello se pudo demostrar que la técnica de mejora continua basada en ciclo Deming, es muy fácil de aplicar, para este caso se definió de la siguiente manera

Planear: Identificación de oportunidad de mejora, planteamiento de soluciones y definición de cronograma de trabajo

Hacer: Implementación de mejoras y seguimiento del proyecto

Verificar: Estabilización del proceso con las mejoras implementadas y se realizó la comparación de resultados antes y después.

Ajustar: Monitoreo de beneficios, ajuste de proyecto y plan de mejora continua.

En la ejecución del presente proyecto se identificó algunas variables secundarias propias del proceso metalúrgico que no pueden ser controladas con la implementación de un control tipo ratio, para los siguientes pasos, como parte del proceso de mejorar continua es necesario incluir teoría metalúrgica con cálculos avanzados para optimizar el consumo de reactivos en un 5 % adicional

Es prácticamente imposible controlar los obstáculos de la economía mundial que provocan cambios en los precios de los minerales, pero las compañías mineras pueden controlar la forma en que operan. Las organizaciones ahora se están enfocando en la *reducción de costos operativos mineros*, mediante el uso de tecnología.

Las herramientas de la visibilidad de producción ayudan a supervisar las operaciones mineras desde el tajo hasta el puerto y se pueden usar para tener una visión automática de todo el proceso unificando los sistemas de reporte con un tablero creado de acuerdo a las necesidades de la organización. Éstos ayudan a informar sobre el rendimiento de la compañía en tiempo real.

4.2. Conclusiones

En este apartado se mencionan las conclusiones a las que se ha llegado en esta investigación, las cuales guardan relación con los objetivos e hipótesis planteadas al inicio del trabajo. De manera general se concluye, dado los resultados posteriores, que la implementación de una mejora basada en el ciclo de Deming reduce entre 10 % y 12 % el consumo de reactivos (sulfato de cobre y cianuro de sodio, respectivamente) en una planta procesadora de plomo y zinc de una empresa del sector minero. A continuación, se mencionan las conclusiones referidas a los objetivos específicos:

- Como parte del primer objetivo específico, se logró determinar la situación inicial del proceso de flotación de minerales, el cual atraviesa por la exploración, el minado, el carguío y el acarreo a la planta concentradora, para ello se mostraron los ambientes de trabajo para la dosificación de reactivos. Se identificaron los puntos críticos que son el alto consumo de sulfato de cobre, que representa un costo del 36.63% del total (USD 555,870 dólares) y cianuro de sodio los cuales impactan en el costo del consumo inicial de reactivos que significa el 19.58 % (USD 297,179 dólares).
- Se logró implementar las mejoras en el proceso de flotación de minerales como parte del segundo objetivo específico, las cuales se basaron en el ciclo de Deming. Estas consistieron en un programa de capacitación del personal para la dosificación de reactivos, se implementó un sistema de control automático tipo ratio para la dosificación del sulfato de cobre y el cianuro de sodio, se efectuaron controles operativos, se brindó un nuevo procedimiento escrito de trabajo para la manipulación de reactivos e instauraron equipos Dashboards o paneles de indicadores para el control.
- Dentro del tercer objetivo específico se midieron y se compararon los resultados antes y después de la implementación de la mejora. Se logró una disminución de 10 % (de 300 a 270 toneladas) y 12 % (de 120 a 105 toneladas) para el consumo del sulfato de cobra y el cianuro de sodio, se obtuvo una reducción de 12.5 % en el empleo de horas

hombre (de 2880 a 2520 horas), para la energía se redujo el consumo en 17% (de 7200 a 6000 KWH).

- Como parte del cuarto objetivo específico se mostró el impacto económico positivo de la implementación de mejora. Se calculó una inversión inicial del proyecto completo en USD 200,000 dólares, los ahorros mensuales fueron de USD 113,039 dólares. Dichos montos determinaron un valor actual neto (VAN) de USD 1'164,832.58 dólares, una tasa TIR mensual de 20.95%, lo que menciona una sostenibilidad y viabilidad económica de la propuesta.

REFERENCIAS

- Artica, M., & Rivera, J. (2015). *Optimización del proceso de flotación de la calcopirita en presencia de la pirita en la pulpa en la concentradora Amistad Cía. minera Argentum*. Huancayo, Perú: Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Baena Paz, G. (2014). *Metodología de la Investigación*. Mexico D.F.: Grupo Editorial Patria.
- BK & Tecnologia. (2019). Recuperado el 13 de 09 de 2019, de <https://bk-tecnologia.com/block/automatizacion-y-control-de-procesos/>
- Bonzi Ríos, J. (2016). *Propuestas de mejora de la utilización efectiva en base a disponibilidad de la flota de carguío y transporte en minera Los Pelambres*. Santiago de Chile: Universidad de Chile.
- Colqui Limaylla, J. (2017). *Evaluación del colector PQ-6293 en la flotación de minerales sulfurados de plomo-plata en la empresa Buenaventura Unidad Mallay 2017*. Cerro de Pasco : Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión .
- Deming, E. (1989). *Calidad, productividad y competitividad: la salida de la crisis*. Madrid, España: Ediciones Diez Santos.
- Galindo Romero, M. (2016). *Aplicacion del sistema software PI System en el control de los parámetros de flotación de los minerales sulfurados de cobre*. Lima,Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Hernandez, R., Fernandez, C., & Baptista, P. (2010). *Metodologia de la investigacion* . Mexico D.F.: Mac Graw-Hill Internacional Editores S.A.
- Lobos Machuca, L. (2015). *Evaluación del uso de NaSH en el circuito de flotación selectiva de molibdeno de los pelambres* . Santiago de Chile, Chile: Universidad de Chile.
- Mijahuanca Villalobos, H., & Castañeda Mendoza, I. (2018). *Diseño de un sistema de supervisión y control, para la dosificación de reactivos en las celdas de flotación de planta Alpamarca-Pasco*. Lambayeque: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.
- Outotec. (2015). *Courier 5X SL - N.º doc. OU500573604, Español 2015*. Espoo, Finlandia: www.outotec.com.
- Romero Duran, E. (2016). *Optimización de los procesos productivos en la empresa minera Firstmetal S.A*. Guayaquil, Ecuador: Universidad de Guayaquil.

- Sanchez Quispe, L., & Villavicencio Jaimes, E. (2013). *Evaluación sistematizada y procesos metalúrgicos para minerales sulfurados complejos de oro de la mina Coricancha*. Lima, Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Sociedad Minera El Brocal. (2019). Recuperado el 25 de 6 de 2019, de <http://www.elbrocal.pe/>
- Sociedad Minera El Brocal. (2019). *Memoria Anual 2018*. Lima, Perú: http://www.elbrocal.pe/facipub/upload/cont/1833/files/memoria_anual_2018_el_brocal_web_vf.pdf.
- Soto, D. (2017). *Evaluación del efecto blending en la recuperación de minerales de Cu-Mo con alto contenido de arcillas, en la etapa de flotación Rougher, y el efecto de reactivos en pruebas de laboratorio*. Bío Bío, Chile: Universidad de Concepción.
- Suca Pari, J. (2017). *Optimización del proceso de flotación para la recuperación de un preconcentrado de oro en minerales sulfurados de la minería Colibrí SAC. Caravelí-Arequipa*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.
- Venegas Gonzales, N. (2018). *Optimización consumo de NaSH, planta de flotación selectiva Los Pelambres*. Concepción, Chile: Universidad de Concepción.

ANEXOS

<i>Anexo n. ° 1. Acta de constitución del Proyecto.</i>	95
<i>Anexo n. ° 2. Reporte de Construcción .</i>	101
<i>Anexo n. ° 3. Informe de Comisionamiento</i>	104

Anexo n. ° 1. Acta de constitución del Proyecto.



SUPERINTENDENCIA DE PROYECTOS

ACTA DE CONSTITUCIÓN

UM EL BROCAL

**AUTOMATIZACIÓN DE DOSIFICACIÓN DE
REACTIVOS – PLANTA #02
AFE-20190015**

Preparado por:

Jefatura de Control de Procesos

Director de Proyecto : Elver Pablo – Jefe de Control de Procesos

Usuario (Cliente) : Delbi Molina – Superintendente de Procesos

Sponsor : Héctor Alzamora – Gerente de Procesos


ELVER PABLO ZEVALLOS
Jefe de Control de Procesos

CONTENIDO

1.	SITUACION ACTUAL Y NECESIDAD / OPORTUNIDAD DEL PROYECTO	3
2.	DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	3
3.	OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	3
4.	ALCANCES DEL PROYECTO	4
5.	JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	4
6.	ENTREGABLES DEL PROYECTO.....	5
7.	PRESUPUESTO PRELIMINAR DEL PROYECTO	5
8.	CRONOGRAMA DEL PROYECTO	5
9.	HABILITADORES DEL PROYECTO.....	6

Rev.	Preparado Por	Revisado Por	Aprobado Por	Fecha
B	E.P.	H. A.	H. A .	25-Mar-19
0	E.P.	H. A.	H. A .	28-Mar-19

AUTOMATIZACIÓN DE DOSIFICACIÓN DE REACTIVOS – PLANTA #02

1. SITUACION ACTUAL Y NECESIDAD / OPORTUNIDAD DEL PROYECTO

Actualmente SMEB usa diferentes reactivos como Cianuro de Sodio, Sulfato de Cobre, Meta bisulfito, Colector y Espumante, para el tratamiento de minerales en las plantas de procesos (Pb/ZN y Cu), la dosificación de estos reactivos obedece a un ratio teórico calculado en base a diferentes parámetros operativos (Tonelaje, Ley, Tipo de Mineral, pH, etc.), sin embargo el ratio es ajustado manualmente en el campo de acuerdo a los resultados de calidad obtenidos en los distintos procesos de molienda y flotación.

Debido al control manual de la dosificación de los reactivos, estos dependen de la disponibilidad, acción y pericia del operador, por lo tanto, hay mucha variabilidad entre turnos.

Del mismo modo se ha identificado que cuando se detiene una línea de producción, los reactivos no están enlazados a los procesos aguas arriba por lo que en muchas oportunidades los reactivos no son controlados, y no se tiene registro de la cantidad de reactivo desperdiciado.

Por lo indicado, se ha identificado la oportunidad de implementar un sistema de control y monitoreo de dosificación de los principales reactivos para monitorear en tiempo real y optimizar el uso del mismo.

El presupuesto anual de consumo de reactivos en Planta # 02 es de US\$ 12M, y se ha identificado que reduciendo la variabilidad y control de dosificación se puede obtener un alto retorno de inversión (Superior a 100%)

2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El presente proyecto consiste, principalmente, en implementar un sistema de monitoreo y control de dosificación de reactivos en planta # 02, para lo cual se está considerando la compra de flujómetros, sensores de nivel, integración de los variadores de velocidad, programación de sistema de control y desarrollo de pantallas en sala de operador de planta.

El proyecto tendrá una duración de 06 meses, debiendo finalizar en septiembre de 2019. Así mismo, comprende los siguientes aspectos:

1. Gestión de AGI del Proyecto
2. Ing. Básica – SOW /RFP
3. Procura
4. Construcción
5. Comisionamiento y Arranque
6. Cierre del Proyecto

3. OBJETIVOS DEL PROYECTO

OBJETIVO GENERAL

El objetivo principal del proyecto es la reducción 5% de costos de

	reactivos en planta # 02, mediante la automatización de dosificación de reactivos.
<i>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</i>	Implementar un sistema de control y monitoreo de dosificación de reactivos.
	Implementar interlocks de procesos para evitar el desperdicio de reactivos
	Culminar el proyecto dentro del límite de costo estimado.
	Culminar el proyecto dentro del límite de plazo estimado.

4. ALCANCES DEL PROYECTO

El alcance del producto del proyecto contempla lo siguiente:

- **Instalación de Instrumentación:** Se realizará la instalación de 8 Sensores de Flujo y Nivel en tanques de distribución de reactivos.
- **Integración de Variadores:** Se realizará la integración de 32 Variadores de Velocidad mediante la implementación de 4 Buses de Campo en Profibus DP
- **Canalización y cableado:** Se realizará la canalización y cableado entre los variadores de velocidad, fluxómetros, sensores de nivel y sistema de control.
- **Comisionamiento y puesta en marcha:** Como parte de la construcción se realizará las pruebas del sistema y calibración de instrumentos
- **Desarrollo de lógica y pantallas de operación:** Finalmente, se realizará el desarrollo de lógica de control y pantallas de operación en sala de control de operación de planta # 02
- **Cronograma de Desarrollo de Proyecto:** El proceso de implementación durará desde el 01 de Abril de 2019 hasta el 30 de setiembre de 2019.

5. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

La ejecución del presente proyecto le permitirá a SMEB contar con un sistema de control y monitoreo de dosificación e reactivos en Planta #02, de este modo debemos optimizar el consumo de los distintos reactivos de planta # 02, obteniendo una reducción de 5% (US\$ 600K) por año. lo que significa un ROI de 625% y un periodo de pago de 6 meses.

6. ENTREGABLES DEL PROYECTO

El alcance del proyecto contempla la ejecución de los siguientes entregables:

- **Sistema de monitoreo y control de reactivos:** El sistema comprende:
 - o SCADA de monitoreo y control de reactivos en planta #02
 - o Interlocks entre equipos de procesos y variadores de velocidad
 - o Instrumentación en tanques de reactivos
 - o Documentación (Planos y Manuales)

7. PRESUPUESTO PRELIMINAR DEL PROYECTO






CONCEPTO	INVERSIÓN (US\$)
1. Instrumentación (Nivel y Flujo)	50,000
2. Instalación y configuración de Variadores	115,000
3. Instalación y calibración de Instrumentos	20,000
4. Canalizado y Cableado	20,000
5. Desarrollo de Pantallas	5,000
TOTAL (2)	210,000
Notas:	
• Costos Estimados	




8. CRONOGRAMA DEL PROYECTO

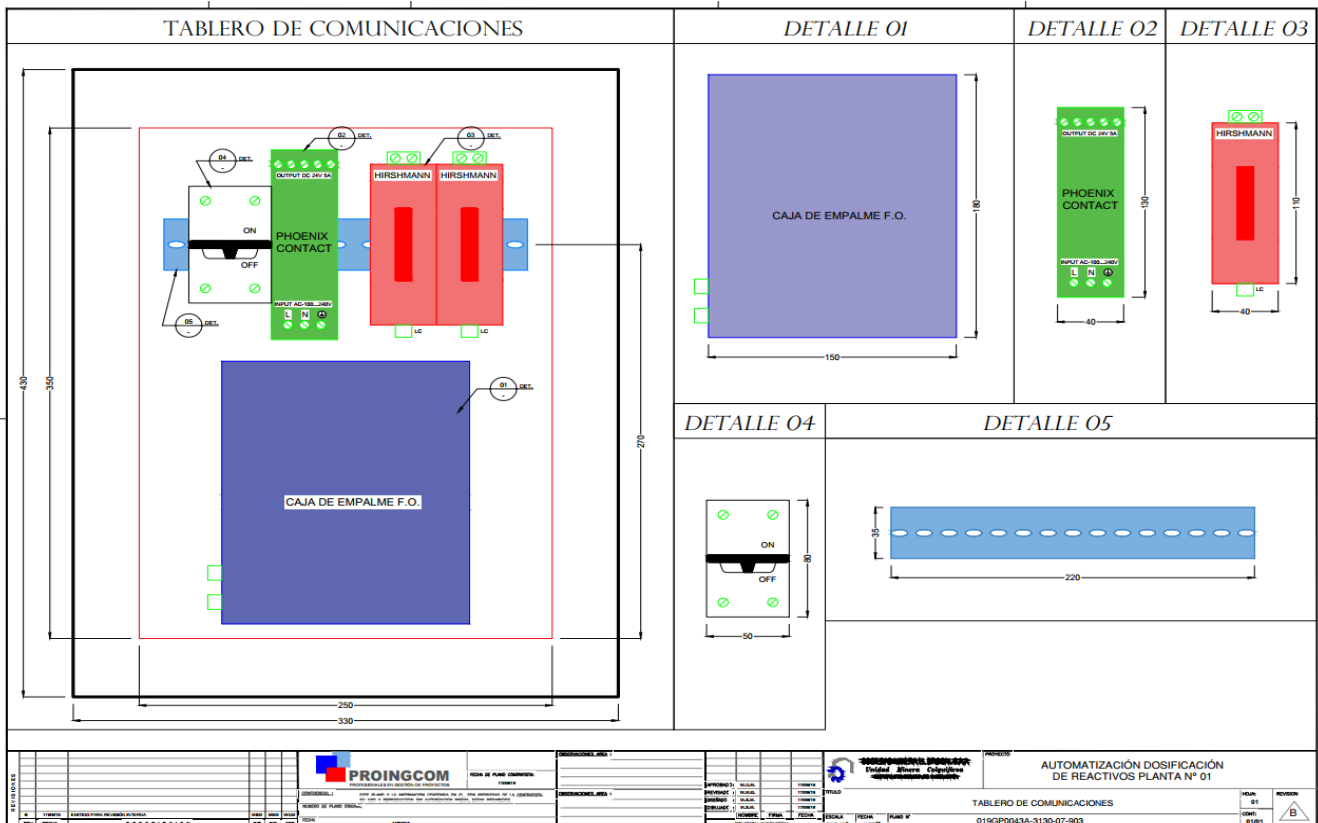
Inicio	Elaboración y Aprobación de AGI	02.04.19 – 22.04.19
Ejecución	Ing. Básica - SOW	22.04.19 – 22.05.19
	Procura	22.05.19 – 22.07.19
	Construcción	22.07.19 – 30.08.19
	Comisionamiento y StartUp	30.08.19 – 15.09.19
Cierre	Cierre del Proyecto	15.09.19 – 30.09.19


9. HABILITADORES DEL PROYECTO	
TIERRAS	N.A.
CIRA	NA
INSTRUMENTOS DE GESTION AMBIENTAL (IGA)	Superintendencia de MMAA
AUTORIZACIÓN DE CONSTRUCCIÓN	Superintendencia de Procesos
AUTORIZACIÓN DE FUNCIONAMIENTO	Superintendencia de Procesos
OTROS	NA

Anexo n.º 2. Reporte de Construcción.

 <p>EL BROCAL <small>Sociedad Miembra El Brocal S.A.A.</small></p>	<p>REPORTE DE TRABAJO. PROYECTO INTEGRACION DE VFD's EN RED PROFIBUS DP PLANTA 2</p>	 <p>PROINGCOM <small>PROFESIONALES EN GESTIÓN DE PROYECTOS</small></p> <p>CONTRATISTA</p>			
<p>EJECUTOR: <u>PROINGCOM S.A.C.</u> O.S. N° <u>480096334</u> FECHA: <u>12-oct-19</u></p>					
1. OBJETIVOS					
<p>Realizar el cableado, conexonado de una red Profibus DP, que permita la integración de VFD's concentrados en un Tablero de Comunicaciones que se enlazara via F.O. al sistema principal de control existente en planta.</p>					
2. MATERIALES, HERRAMIENTAS Y EQUIPOS.					
<p>a. MATERIALES</p> <p>Tuberías Conduit 3/4".</p> <p>Tuberías Flexible Conduit 3/4".</p> <p>Conectores Rectos 3/4", 1/2".</p> <p>Uniones Conduit.</p> <p>Cable Profibus DP - libre de Halógeno.</p> <p>Cable Fibra óptica 12 Hilos OM3 - Multimodo.</p> <p>Conectores DB9.</p> <p>Elementos para Fusión de F.O.</p>	<p>b. HERRAMIENTAS</p> <p>Terraño Manual.</p> <p>Herramientas Manuales.</p> <p>Andamios</p> <p>Taladro Eléctrico.</p>	<p>c. EQUIPOS</p> <p>Multímetro.</p> <p>OTDR.</p> <p>Fusionadora de F.O.</p>			
3. ACTIVIDADES					
<p>Principales Actividades:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.- Armado de Andamios para canalización con tuberías conduit. 2.- Canalización con tuberías conduit para Cable Profibus DP y Cable de Alimentación a TDC. 3.- Tendido de cable Profibus DP. 4.- Armado de TDC, montaje de soporte e instalación en campo. 5.- Conexonado de cable Profibus DP y Alimentación 6.- Canalización con tuberías conduit para Cable de F.O. 7.- Tendido de Cable de F.O. desde TDC hasta Sala de Servidores Planta 2. 8.- Instalación y acondicionamiento de 02 cajas de empalme de FO en gabinetes de Sala Servidores y Tablero de comunicación. 9.- Pruebas de Funcionamiento. 					
4. COMENTARIOS					
<p>COMENTARIOS:</p> <p>Se ejecutaron los trabajos de interconexión entre VFD's correctamente según ingeniería previa.</p> <p>Las actividades relacionadas a F.O. y mediciones realizadas con el OTDR al cable de FO fueron correctas.</p> <p>El trabajo se desarrollo con normalidad con las exigencias de seguridad y calidad sugeridas por el Cliente.</p>					
<p>OBSERVACIONES:</p> <p>_____</p> <p>_____</p>					
5. TIEMPO Y RECURSOS UTILIZADOS					
<p>Fecha de inicio: <u>20/09/2019</u></p> <p>Fecha de fin: <u>04/10/2019</u></p> <p>Personal:</p> <p><u>01 Supervisor (Con su respectivo Relievo)</u></p> <p><u>05 Téc. Electromecánicos / 01 Téc. Telecom.</u></p> <p><u>01 Supervisor SSOMA.</u></p>					
		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="background-color: #0056b3; color: white; padding: 2px;">SUPERVISOR CONTRATISTA</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center; padding: 5px;">  </td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;"> <p>Firma: _____</p> <p>Nombre: <u>Jonathan A. Mondragón G.</u></p> </td> </tr> </table>	SUPERVISOR CONTRATISTA		<p>Firma: _____</p> <p>Nombre: <u>Jonathan A. Mondragón G.</u></p>
SUPERVISOR CONTRATISTA					
					
<p>Firma: _____</p> <p>Nombre: <u>Jonathan A. Mondragón G.</u></p>					

	REPORTE DE TRABAJO. PROYECTO INTEGRACION DE VFD's EN RED PROFIBUS DP PLANTA 2	 PROFESIONALES EN GESTION DE PROYECTOS CONTRATISTA
OS N°: 4800096394		FECHA: 12-oct-19
1. FOTOGRAFIAS		
1	2	3
4	5	
2. DESCRIPCIÓN / COMENTARIOS Se adjunta fotos apreciandose los trabajos realizados. Canalización de Conduit. Tendido de Cables de F.O. - Profibus DP - Alimentación. Integración finalizada.		
		SUPERVISOR CONTRATISTA Firma:  Nombre: Jonathan A. Mondragón G.



	PROYECTO: “MEDICIÓN DE DISTRIBUCIÓN DE REACTIVOS PLANTA 1 Y 2”	
		Hoja: <input type="text" value="1"/> de: <input type="text" value="1"/>
VALORIZACIÓN FINAL		

INFORME N°4800096394-002-2019

Para. : Ing. Elver Pablo
Jefe de control de procesos.

De : Ing. Daniel Balbuena Chiang.
Residente de Obra – PROINGCOM S.A.C.

Asunto : Valorización Final.

Referencia : **“MEDICIÓN DE DISTRIBUCIÓN DE
REACTIVOS PLANTA 1 Y 2”**

Fecha : 04 de Noviembre del 2019


I. OBJETIVO

Revisión y conformidad del expediente de Valorización Final, por parte de SMEB, presentado por la empresa contratista PROINGCOM S.A.C. referido a la ejecución de la obra: **“MEDICIÓN DE DISTRIBUCIÓN DE REACTIVOS PLANTA 1 Y 2”**; ubicado en el Distrito de Tinyahuarco, Provincia y Departamento de Pasco.

II. ALCANCES

El alcance del presente informe abarca la documentación de los suministros y trabajos realizados en el proyecto **“MEDICIÓN DE DISTRIBUCIÓN DE REACTIVOS PLANTA 1 Y 2”**, que cubre:


Anexo n.º 3. Informe de Comisionamiento

 BK & TECNOLOGÍA <small>IMPONIENDO CALIDAD</small> DIVISION ELECTRICA	INTEGRACION EN PROFIBUS DP DE 35 VFDs EN LAZO DE CONTROL PID AL SCADA DE PROCESO	SMEB
	OS-4800099942	INFORME

INTEGRACION EN PROFIBUS DP DE 35 VFDs EN LAZO DE CONTROL PID AL SCADA DE PROCESO

ORDEN DE SERVICIO:		Fecha: 13/10/2019
DIRIGIDO A:	Elver Pablo	Firma.
DESARROLLADO POR:	James Moreno Castro	Firma.
	Neil Moreno Castro	Firma.
REVISADO POR:	Neil Moreno Castro	Firma.



 BK & TECNOLOGÍA <small>INGENIEROS CALIDAD</small> <small>DIVISION ELECTRICA</small>	INTEGRACION EN PROFIBUS DP DE 35 VFDs EN LAZO DE CONTROL PID AL SCADA DE PROCESO	SMEB	
	OS-4800099942	INFORME	Revisión: 1
			Fecha: 13/10/2019 Pagina 3 de 17

1. INTRODUCCION

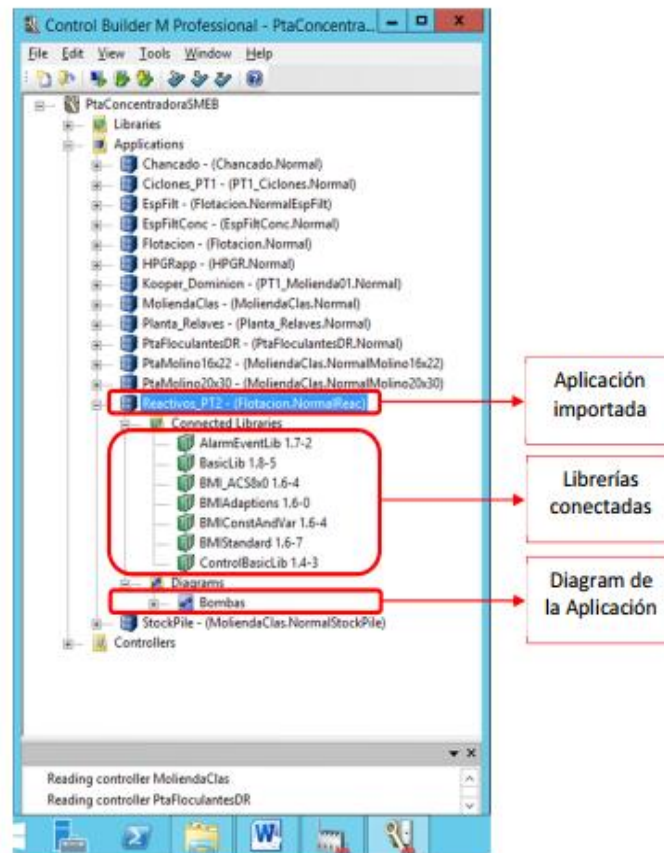
SMEB requiere integrar al área de Reactivos 35 VFDs en lazo de control PID, los VFDs serán integrados al SCADA de procesos, todos los VFDs son de la marca ABB y modelo ACS355. Luego de la integración se procederá a ingresar los aspectos visuales a las pantallas desarrolladas para el área de reactivos mencionada.


2. OBJETIVOS

- 2.1 Integrar 35 VFDs al SCADA de Procesos.
- 2.2 Incluir los aspectos visuales de los VFDs, Controlador PID y Flujo calculado a las pantallas de Proceso.

3. PROCEDIMIENTO

- 3.1 Se importó la aplicación **REACTIVOS_PT2** al Control Builder, esta aplicación contiene lógica de control de los 35 VFDs en lazo PID.



 BK & TECNOLOGÍA <small>INGENIEROS CALIDAD</small> <small>DIVISION ELECTRICA</small>	INTEGRACION EN PROFIBUS DP DE 35 VFDs EN LAZO DE CONTROL PID AL SCADA DE PROCESO	SMEB
	OS-4800099942	INFORME

