



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Industrial

“PROPUESTA DE APLICACIÓN DEL ESTUDIO DEL TRABAJO PARA INCREMENTAR LA PRODUCTIVIDAD EN LAS PRUEBAS DE LIXIVIACIÓN EN BOTELLAS EN UN LABORATORIO METALÚRGICO DE UNA EMPRESA MINERA”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Industrial

Autor:

Jose Daniel Vargas Celi

Asesor:

Ing. Carlos Enrique Mendoza Ocaña

Trujillo - Perú

2020

DEDICATORIA

Dedico este proyecto en primer lugar, a Dios por darme fortalezas en cada objetivo planteado en mi vida, por estar allí en cada momento especial para continuar sin desfallecer en ningún momento.

A mi Madre y Padre, por haberme formado con los mejores principios, por darme su apoyo incondicional y motivarme siempre a seguir hasta lograr mis metas.

A mi esposa, hijo y a mi gran amigo que me acompaña desde el cielo, por haber estado presente siempre, siendo ellos mis acompañantes en los proyectos que uno se plantea a futuro y por ayudarme en todo lo que estuviera a su alcance.

A todos ustedes dedico este proyecto, por ser parte importante en mi vida y hacer que todo esto fuera posible.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, que siempre está presente en mi vida en todo momento, en las etapas difíciles de la vida como así también en las gratificantes, gracias por siempre darme esa fortaleza.

A mis padres y esposa, quienes siempre me apoyaron para lograr mis objetivos planteados.

A mi hijo que es mi inspiración y el amor de mi vida.

A mi fiel amigo que sé que te encuentras y encontraras a mi lado toda mi vida.

Al Ing. Carlos Enrique Mendoza Ocaña, por guiarme y asesorarme en cada etapa de mi proyecto planteado, y haber adquirido nuevos conocimientos que han sido importantes para poder culminar mi investigación.

Tabla de contenidos

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO.....	3
ÍNDICE DE TABLAS.....	5
ÍNDICE DE FIGURAS.....	6
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	8
RESUMEN.....	9
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	10
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....	24
CAPÍTULO III. RESULTADOS.....	30
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	76
REFERENCIAS.....	79
ANEXOS.....	80

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Costos actuales por cada botella lixiviada _____	41
Tabla 2. Eficiencia abril 2019 – agosto 2019 _____	42
Tabla 3. Sobrecostos abril 2019 – agosto 2019 _____	43
Tabla 4. Eficacia de producción _____	44
Tabla 5 Productividad abril 2019 – agosto 2019 _____	44
Tabla 6. Lluvia de ideas – baja productividad en el proceso de lixiviación en botellas ____	48
Tabla 7. Causas de baja productividad en el proceso de lixiviación en botellas de un laboratorio _____	49
Tabla 8. Causas a priorizar _____	50
Tabla 9. Tiempo estándar - Diagnostico actual Julio 2019 _____	533
Tabla 10. Técnica de interrogatorio _____	577
Tabla 11. Tiempo estándar - ensayos Setiembre 2019 _____	611
Tabla 12. Eficiencia de ensayos para la propuesta aplicación del estudio del trabajo ____	644
Tabla 13. Eficiencia de ensayos para la propuesta aplicación del estudio del trabajo ____	655
Tabla 14. Eficacia de ensayos para la propuesta aplicación del estudio del trabajo ____	655
Tabla 15. Productividad de ensayos para la propuesta aplicación del estudio del trabajo	666
Tabla 16. Resumen del antes y después de los indicadores de productividad _____	666
Tabla 17. Evaluación de la factibilidad _____	69
Tabla 18. Comparativo de sobrecostos en cinco meses _____	70
Tabla 19. Fuente de información para cálculo del WACC _____	71
Tabla 20. Flujo de caja _____	722
Tabla 21. Cálculo del VAN _____	722
Tabla 22. Cálculo de la TIR _____	733
Tabla 23. Cálculo de Costo – Beneficio _____	733

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de flujo de muestras	30
Figura 2. Proceso de las pruebas de lixiviación en botellas	31
Figura 3. Diagrama de flujo del proceso de preparación mecánica	33
Figura 4. Diagrama de flujo de cargado de botellas.	35
Figura 5. Medición de pH	36
Figura 6. Agregado de cianuro de sodio.	37
Figura 7. Rodillos de agitación	37
Figura 8. Análisis de cianuro libre	38
Figura 9. Envío de muestras líquidas	39
Figura 10. Botellas programadas (planificadas) vs botellas procesadas	42
Figura 11. Sobrecostos operativos	43
Figura 12. Diagrama de flujo de las pruebas de lixiviación en botellas.	45
Figura 13. Proceso de lixiviación en botellas	46
Figura 14. Plano de área de lixiviación	47
Figura 15. Diagrama de Ishikawa – productividad en el proceso de lixiviación en botellas	48
Figura 16. Gráfico de prioridad	50
Figura 17. Principales factores de la baja productividad en las pruebas de lixiviación en botellas	51
Figura 18. Diagrama de operaciones DOP etapa de monitoreo diagnóstico actual - Julio 2019	52
Figura 19. Cursograma analítico - diagnóstico actual - etapa de monitoreo - julio 2019	544
Figura 20. Diagrama de recorrido - diagnóstico actual - etapa de monitoreo - julio 2019	555
Figura 21. Diagrama de recorrido - diagnóstico actual - etapa de monitoreo - septiembre 2019	59
Figura 22. Diagrama de operaciones DOP etapa de monitoreo ensayos aplicación estudio del trabajo septiembre 2019	600
Figura 23. Cursograma analítico ensayos de aplicación de estudio de trabajo- etapa de monitoreo 20 botellas de lixiviación - mes setiembre 2019	622
Figura 24. Indicadores de resumen de Actividades en la etapa de monitoreo	633

Figura 25. Botellas procesadas (ensayos de la propuesta de aplicación de estudio del trabajo)	644
Figura 26. Propuesta en base al estudio de métodos	677
Figura 27. Hoja de instrucciones	68
Figura 28. Pruebas de normalidad	744
Figura 29. Pruebas de muestras emparejadas	755

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Tiempo estándar _____	18
Ecuación 2. Productividad _____	19
Ecuación 3. Productividad _____	19
Ecuación 4. Eficiencia _____	19
Ecuación 4. Eficacia _____	20
Ecuación 6. WACC _____	71
Ecuación 7. VAN _____	72
Ecuación 8. TIR _____	73

RESUMEN

La presente investigación aplicada tiene como objetivo general el desarrollo de la propuesta de aplicación del estudio de trabajo para incrementar la productividad en las pruebas de lixiviación en botellas en un laboratorio metalúrgico. El tipo de investigación es aplicada y el diseño pre experimental. La población estuvo formada por todas las pruebas de lixiviación en botellas y la muestra por las pruebas durante un periodo de diez meses. Inicialmente se desarrolló el diagnóstico de la situación actual donde se calculó y observó una baja productividad debido la repetición de las pruebas como consecuencia generaban sobrecostos. Se identificó las causas de la baja productividad mediante herramientas de la calidad siendo las principales: los métodos de trabajo, inadecuada distribución del área, tiempos improductivos en las operaciones y traslados innecesarios. Se elaboró la propuesta en base a las etapas del estudio de métodos donde se seleccionó la etapa crítica de monitoreo y se registró cada una de sus actividades realizando el estudio de tiempos. Se examinó y estableció la propuesta donde se realizó los ensayos y se evaluó los resultados obtenidos. En conclusión, en base a los resultados se comprobó el incremento de la productividad en 7.3%. Al realizar una estimación del ahorro obtenemos un ahorro de \$42,000 al año debido a la reducción en la repetición de pruebas de 11 a 2 promedio mensual. Se estimó una inversión total de \$21,737 que consiste en la reestructuración del área y capacitación. En el análisis financiero se determina una TIR de 127% y un VAN de \$ 76,502.48, por lo tanto, la propuesta es viable económicamente y las herramientas las adecuadas para incrementar la productividad en las pruebas de lixiviación en botellas.

Palabras clave: *estudio del trabajo, estudio de tiempos, estudio de métodos, productividad, lixiviación, distribución del área.*

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

El consumo creciente del oro ha llevado desarrollar métodos en los procesos cada vez más efectivos. El proceso para extraer el mineral de cualquier yacimiento comprende una serie de etapas que suponen inversiones y costos de operación, que tienen que ser soportados por el valor del producto obtenido. América latina se ha convertido desde la década de los noventas, en la región más importante del mundo en la captación de inversiones para la exploración y desarrollo de la minería de oro.

Según Andina (2020), la producción de oro en el Perú no fue muy significativa hasta principios de los años 90, cuando empezó la producción de tajos abiertos de oro en el país. Perú se encuentra según el ranking de los principales productores de oro en el mundo.

La aplicación de nuevas tecnologías, como la lixiviación de oro en pilas a cielo abierto es la tecnología más económica para el tratamiento de este tipo de minerales. En el proceso hidrometalúrgico de la lixiviación se tiene importantes implicaciones económicas, no solo porque la recuperación del metal está controlada por el rendimiento de esta etapa sino también por el consumo de reactivos dentro del proceso. Por otra parte, el método de lixiviación condiciona fuertemente, las etapas precedentes y posteriores.

Actualmente en una empresa minera en el área de laboratorio metalúrgico para evaluar los parámetros de lixiviación a nivel macro y optimizar la recuperación de oro se realiza las pruebas de lixiviación en botellas con el objetivo de obtener información preliminar sobre el consumo total de reactivos así mismo obtener el porcentaje de

recuperación de Oro y dar una orientación respecto al mineral en base a su comportamiento que tendrá en las operaciones.

Las pruebas de lixiviación en botellas es un proceso hidrometalúrgico que consiste en la disolución de los metales en las muestras de mineral mediante un agente lixivante dentro de un mecanismo de agitación, con el objetivo principal en nuestro caso de observar la extracción de oro en el mineral. El proceso de las pruebas de lixiviación en botellas inicia con la recepción de las muestras de mineral que son procesadas en el área de preparación mecánica y luego ingresan al proceso de lixiviación en botellas que se compone de una serie de etapas que incluyen actividades operativas.

A partir de lo señalado anteriormente, en las pruebas de lixiviación en botellas se observa una baja productividad, en el diagnóstico inicial de la investigación se utilizó herramientas de calidad para su evaluación, observando deficiencia y falta de estandarización en los métodos de trabajo, tiempos de operación y distribución de equipos e instalaciones, las cuales al ser consideradas como causas importantes al ser solucionadas se incrementaría la productividad.

Al finalizar las pruebas de lixiviación en botellas de los resultados obtenidos se realiza el reporte del balance metalúrgico para luego dar paso al informe final, debido a las deficiencias antes mencionadas se observa una baja productividad como consecuencia se observa un retraso en la entrega de los informes finales a las áreas pertinentes. En ese contexto señalado es que surge la necesidad de realizar la presente investigación en base a la propuesta de aplicación del estudio del trabajo con el objetivo de incrementar la productividad en las pruebas de lixiviación en botellas.

Para una mejor explicación del trabajo de investigación, citamos a los siguientes autores a nivel de antecedentes, donde:

Alva, A. (2019), en su investigación “Mejora de métodos de trabajo en la productividad del ciclo de carguío y acarreo de minerales tajo La Quinua-Yanacocha.”

El objetivo fue determinar la influencia de la mejora de métodos en la productividad. El tipo de investigación fue aplicada. Se utilizaron las técnicas de la observación, la encuesta y el análisis documental como técnicas para la recolección de información, los instrumentos empleados fueron un cuestionario y diversos formatos de registro de información. Como resultado la productividad se incrementó en 87,5 %.

Calua, F. (2019), en su investigación “Propuesta de minimización de tiempos improproductivos para una mayor producción en carguío y acarreo en Cía. Minera Coimolache S.A. Cajamarca.” Su objetivo principal fue obtener mayor productividad mediante una propuesta de minimización de tiempos improproductivos. La investigación presentó un enfoque cuantitativo, diseño no experimental, descriptivo. La población estuvo formada por las operaciones de carguío y acarreo. La muestra estuvo formada por las unidades de acarreo y carguío de la mina. Como resultado se generó un ahorro de \$ 174 por día en los equipos de acarreo y carguío. Del mismo modo S/ 14 en el pago de un operador.

Castro, D. (2018), en su trabajo denominado “Aplicación del método de estudio de tiempos para actualizar el tiempo estándar de perforación en la fase de extracción minera” El objetivo de la investigación fue actualizar el tiempo estándar de perforación en la fase de extracción de oro y plata mediante la aplicación del estudio de tiempos en la fase de extracción. El diseño de la investigación fue no experimental, descriptivo. La muestra estuvo formada por 384 datos de tiempos con el fin de obtener el tiempo estándar. Las técnicas empleadas fueron el análisis documental, la observación y la

encuesta. Como resultado el tiempo estándar disminuyó de 211 minutos/malla a 156.97 minutos/malla.

Chappa, M. (2018), en su tesis “Implementación de una nueva tecnología para mejorar la productividad de una empresa metalúrgica”, Lima – 2018. Se buscó incrementar la productividad mediante la implementación de una nueva tecnología. Presentó un enfoque mixto, utilizado como instrumento una encuesta. El nivel de investigación fue proyectivo. Como resultado se formuló una propuesta de una nueva tecnología que mejoraría la productividad en un 12%.

Flor, C. (2017), en su investigación “Propuesta de mejora en los procesos de recepción de muestras de concentrados para el Incremento de la productividad. Caso de una empresa de servicios que certifica la ley de composición en los minerales.” Lima. El objetivo principal fue mejorar la productividad de un proceso clave dentro de una empresa dedicada analizar concentrado de minerales. Se encontró que el tiempo de entrega de las muestras. Como resultado la productividad se incrementó en 89.57 %.

Vega, J. (2019), en su tesis “Incremento de la productividad en el tonelaje movido mediante la aplicación de la mejora de métodos en una empresa minera.” Tuvo como objetivo incrementar la productividad por medio de la mejora de métodos de trabajo. El tipo de investigación fue proyectiva, la población y la muestra fueron iguales y estuvo conformada por todos los tiempos improductivos en el carguío y acarreo de las palas y de los camiones. Como conclusión se obtuvo que la aplicación de la mejora de métodos la productividad aumentó de 5,525 Tn/Hr-Pala a 125 Tn/Hr-Pala y de 17.05 Tn/Hr-Camión respectivamente a 768.05 Tn/Hr-Camión.

Las definiciones conceptuales para el desarrollo de la investigación son las siguientes:

Estudio del Trabajo la cual se basa en las técnicas de estudio de métodos y medidas

del trabajo que utilizaremos para examinar el trabajo que realiza el personal técnico en las pruebas de lixiviación en botellas, con el fin de investigar los factores críticos que influyen en la eficacia y en la economía con el objetivo de mejorarlo. (Caso, A. 2006, p.14)

Según Caso (2006) el estudio del trabajo es la aplicación de técnicas como el estudio de métodos y la medición del trabajo que tiene como objetivo el incremento de la productividad.

En conclusión, el estudio de métodos y medida del trabajo están relacionados entre sí, con el fin de reducir el contenido de trabajo en una tarea u operación y fijar los tiempos para la realización de la tarea.

Estudio de Métodos

Según Caso (2006) el estudio de métodos es el registro y la observación crítica y sistemática de los métodos ya existentes para llevar a cabo un trabajo u operación, el objetivo es idear y aplicar métodos más sencillos y eficaces es decir simplificar el trabajo con el fin aumentar la productividad eliminando movimientos o tareas innecesarios por consiguiente reducir los costos.

El objetivo del estudio de métodos es aumentar los beneficios del área, con el fin de disminuir costos analizando:

Materias primas, herramientas

Espacios, instalaciones, áreas de trabajo

Tiempos

Esfuerzos (físicos o mentales) a fin de utilizar racionalmente los medios disponibles.

En el estudio de métodos según Kanawaty, G., (1993), se siguen ocho etapas las que en nuestra investigación se operacionalizan de la siguiente manera:

Etapas 1 Seleccionar: Se selecciona una de las etapas de las pruebas de lixiviación en botellas en base a resultados obtenidos por el método de selección ponderada, en nuestro caso la etapa de monitoreo es la seleccionada por ser una de las principales causas críticas que generan la baja productividad por consiguiente sobrecostos en el área.

Etapas 2 Registrar: Se registra por observación los hechos relevantes en la etapa seleccionada y se recolecta la información necesaria para efectuar el análisis posterior mediante instrumentos y técnicas para observar los sucesos en las pruebas.

Etapas 3 Examinar: Se examina de forma detallada la etapa seleccionada por intermedio de la técnica del interrogatorio, se observa la metodología de trabajo que realiza el técnico, así como también el área donde se realiza la operación en el cual se observa el espacio de trabajo, distribución de equipos, recorrido del personal. Es decir, la secuencia de cómo se realiza la etapa de monitoreo y sus métodos, es importante saber si se está realizando las actividades de la mejor manera y de forma eficiente con el fin de que se cree un método estandarizado y se cumpla el objetivo propuesto.

Etapas 4 Establecer: Se propone un método más eficiente para disminuir los errores en las pruebas de lixiviación en botellas. El método para realizar los ensayos tiene como objetivo el incremento de la productividad mediante la estandarización y mejora de métodos de trabajo en la etapa de monitoreo, así como también reducir los tiempos en esta etapa (eliminar actividades improductivas) y agilizar la operación mediante la reubicación de equipos además de ampliar la zona de análisis para un trabajo más efectivo.

Etapa 5 Evaluar: Se evaluar el nuevo método comparándolo con el actual, en el caso de las pruebas de lixiviación al realizar los ensayos con el nuevo método basado en el estudio del trabajo se verifica el incremento de la productividad por consiguiente la reducción de costos por pruebas repetidas.

Etapa 6 Definir: Se define el método reciente y propone de la forma más clara, se explica los beneficios que pueden conllevar aplicarlo. Con el fin de incrementar la productividad en las pruebas de lixiviación en botellas.

Etapa 7 Implementar: Se evalúa los resultados obtenidos en los ensayos y se presenta a la jefatura del área la propuesta de aplicación mediante el estudio del trabajo para el incremento de la productividad en las pruebas de lixiviación en botellas.

Etapa 8 Controlar: De ser aprobada por la jefatura la propuesta de aplicación de estudio del trabajo se estandarizará y se crearan los procedimientos para aplicar la mejora continua en las pruebas de lixiviación en botellas.

Medida del Trabajo

Según Caso (2006) en la definición de la medida del trabajo es la aplicación de técnicas para determinar el tiempo que invierte un trabajador calificado en una determinada tarea, efectuándola según el procedimiento establecido. Sirve para investigar, reducir y eliminar si es posible el tiempo improductivo. Además, sirve para fijar tiempos estándares de ejecución de una tarea, que podrá ser utilizado para nuestra investigación:

Evaluar el desempeño del trabajador en las pruebas de lixiviación en botellas en un periodo de tiempo.

Planificar las necesidades del trabajador en la operación.

Calcular la capacidad disponible.

Determinar los costos de producción, en base a la productividad relacionada a la medida del trabajo.

Evaluar los procedimientos de trabajo.

Realizar diagramas de operaciones.

En nuestra investigación el tiempo de la prueba se puede acrecentar por los métodos de trabajo, sobrecarga de las pruebas de lixiviación, distribución del área y zonas de reducido espacio para poder realizar la labor de forma eficiente por consiguiente se produce una baja la productividad.

Por lo tanto, el objetivo de la medida del trabajo es estandarizar la realización del trabajo en las pruebas de lixiviación en botellas para obtener mejores resultados.

Las técnicas utilizadas en la medida del trabajo se basan en el procedimiento técnico empleado en calcular el tiempo de ejecución de una tarea llamado tiempo estándar, que es el tiempo que necesita un trabajador para realizar la tarea. (Caso,2006, p.19)

Estudio de Tiempos

El estudio de tiempos es una técnica de medida del trabajo empleada para registrar los tiempos y los ritmos de trabajo correspondientes a los elementos de una tarea definida, realizada en condiciones determinadas, para analizar los datos a fin de averiguar el tiempo requerido para efectuar una tarea de acuerdo con una norma de ejecución preestablecida (Caso ,2006, p.53)

En base a los descrito por Caso (2006), el criterio de selección de la tarea es conocer el motivo por el cual se elige, en el caso de nuestro tema de investigación es la baja productividad.

Como indica Caso (2006) una vez elegido la tarea se procede a medir con cronometro, en nuestro tema de investigación se realiza los siguientes pasos:

Obtener y registrar la información que se tiene sobre la prueba de lixiviación en botellas, operaciones y condiciones de trabajo que influyan en su desempeño.

Divide la prueba en etapas para poder tener una mejor visión del proceso de lixiviación en botellas.

Determina el número de botellas como muestra para utilizar el mejor método para la ejecución de las pruebas.

Medir el tiempo que tarda el técnico con mayor experiencia en el área, para ejecutar la etapa crítica de las pruebas de lixiviación en botellas.

Observar el ritmo de como ejecuta el técnico las pruebas de lixiviación en botellas en la etapa de estudio.

Se calcula el tiempo estándar.

Tiempo estándar o tiempo tipo

El tiempo tipo o estándar de una tarea será la suma de los tiempos tipo de todos los elementos que la componen, donde cuenta la frecuencia con que se presenta cada actividad, más el suplemento por contingencias. En otras palabras: Es el tiempo estándar de ejecución de una tarea al ritmo estándar. (Kanawaty, 1998, p. 343)

$$\Sigma T_{\text{tipo}} = \text{Tiempo Estandar}$$

Ecuación 1. Tiempo estándar

Productividad.

La productividad se define como el grado de eficiencia del uso de los recursos (trabajo, capital, tierra, materiales, energía, información) en la producción de diversos bienes y

servicios. La obtención de una mayor productividad significa la utilización de la misma cantidad de recursos, o lograr una mayor producción en volumen o calidad con el mismo insumo.

“La productividad es el grado de aprovechamiento (rendimiento) de los recursos disponibles para alcanzar objetivos predeterminados. La productividad mide el grado de eficiencia con que se han utilizado los recursos para lograr los resultados específicos deseados” (García, C. 2005, p.9)

$$\text{Productividad} = \frac{\text{Producción}}{\text{Recursos}}$$

Ecuación 2. Productividad

Es usual ver la productividad a través de dos componentes: eficiencia y eficacia.

“La eficacia implica la obtención de los resultados deseados y puede ser un reflejo de cantidades, calidad percibida o ambos. La eficiencia se logra cuando se obtiene un resultado deseado con el mínimo de insumos: es decir se genera cantidad y calidad y se incrementa la productividad. De ello se desprende que la eficacia es hacer lo correcto y la eficiencia es hacer las cosas correctamente con el mínimo de recursos.” (García, 2011, pág. 19).

$$\text{Productividad} = \text{Eficiencia} \times \text{Eficacia}$$

Ecuación 3. Productividad

El indicador para medir la eficiencia que se utilizará en la investigación es el siguiente:

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Botellas programadas} - \text{Botellas reprocesadas}}{\text{Botellas Programadas}}$$

Ecuación 4. Eficiencia

Para medir la eficacia se empleará la siguiente expresión:

$$\text{Eficacia} = \frac{\text{Costo de producción planificado} - \text{Costos de sobreproducción}}{\text{Costos de producción planificado}}$$

Ecuación 5. Eficacia

Técnicas y Herramientas para el análisis del Estudio del Trabajo

Para mejorar un trabajo se debe saber exactamente en que consiste rara vez se tiene la certeza de conocer todos los detalles de la tarea. Por lo tanto, se deben observar los detalles y registrarlos. De esta forma se inicia el estudio de las diferentes técnicas que sirven para registrar y analizar cada uno de los niveles de trabajos. (García, C. 2005, p.42)

Diagrama de Procesos

Según García, C. (2005) esta herramienta de análisis se representa gráficamente mediante símbolos los pasos que se siguen en una secuencia de actividades que constituyen un proceso. En nuestra investigación realizamos los diagramas de procesos en diferentes operaciones para analizar detalladamente cada etapa en las pruebas de lixiviación en botellas. Para esto es conveniente clasificar las acciones en cinco categorías: operaciones, transportes, inspecciones, retrasos o demoras y almacenajes.

Diagrama de operaciones del proceso (DOP)

Según Gutarra, F. (2015), es la representación gráfica de la secuencia de las operaciones e inspecciones realizadas; este diagrama facilita una rápida visualización del proceso a fin de simplificarlo. El DOP representa en lo posible el proceso ideal, normalmente es utilizado en operaciones secuenciales.

El DOP se utiliza en la presente investigación para visualizar la etapa de monitoreo en la situación actual y luego en el ensayo posterior de las pruebas de lixiviación en botellas.

Cursograma Analítico

Kanawaty (1996), afirma que es un diagrama que muestra el flujo del proceso señalando todas las actividades sujetas a examinar, mediante el símbolo que corresponda que tienen lugar durante el proceso: operaciones, transportes, inspecciones, retrasos o demoras y almacenajes.

En el caso de nuestra investigación se usa el cursograma analítico para observar la etapa de monitoreo en la situación actual y luego en el ensayo posterior de las pruebas de lixiviación en botellas.

Diagrama de recorrido (DR)

Gutarra, F. (2015), menciona que es la representación objetiva de la trayectoria del proceso en el plano a escala del área de trabajo, este diagrama es útil para mejorar. En el caso de nuestra investigación mejorar en la distribución del área de trabajo. Al elaborar el diagrama de recorrido en el área de lixiviación se debe identificar cada etapa de la prueba así mismo se deben utilizar símbolos como flechas cada cierto tramo para indicar la dirección del recorrido.

Herramientas de calidad

Tormenta de ideas

Es la técnica para conocer las causas de un problema mediante la generación de ideas por parte del personal involucrado en una tarea, en el caso de nuestra investigación el problema es la baja productividad en las pruebas de lixiviación en botellas se realiza

latencia con el personal técnico encargado del área de lixiviación. Por último, se evaluó cada una de las causas eliminando duplicados o irrelevancias.

Diagrama de Ishikawa o Causa-efecto

Es el diagrama que nos permite evaluar o analizar las causas raíces de un problema, en nuestra investigación el objetivo es observar las causas que generan la baja productividad en las pruebas de lixiviación en botellas.

Selección Ponderada

Es un método de selección cualitativo que nos determina un reducido conjunto de factores como prioritarios entre una lista más amplia, en el caso de nuestra investigación se determinó por este método los factores críticos que generan la baja productividad en las pruebas de lixiviación en botellas.

El método se utilizó seleccionando todas las causas que generan la baja productividad y se estableció una escala de valoración que fue revisado por el personal técnico del área dándole valor a cada una de las causas. En base a los resultados se construye una tabla y se realiza el gráfico de prioridades para verificar las principales causas que generan la baja productividad en las pruebas de lixiviación en botellas.

Técnica de interrogatorio

Según Kanawaty (1996), es el medio para examinar la actividad mediante una serie de preguntas. Las preguntas que se realizan se basan en el propósito, lugar, sucesión, persona y medios. Al aplicar la técnica del interrogatorio en nuestra investigación se observa la forma como se realiza la etapa de monitoreo que es la etapa crítica de las pruebas de lixiviación en botellas.

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es el efecto de la aplicación del estudio del trabajo en la productividad en las pruebas de lixiviación en un laboratorio metalúrgico?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Determinar el efecto de la aplicación del estudio del trabajo en la productividad en las pruebas de lixiviación en botellas en un laboratorio metalúrgico.

1.3.2. Objetivos específicos

Realizar el diagnóstico de la situación actual.

Realizar la propuesta de aplicación del estudio del trabajo para incrementar la productividad en las pruebas de lixiviación en botellas.

Realizar la evaluación económica de la propuesta.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

La aplicación del estudio del trabajo incrementará la productividad en las pruebas de lixiviación en un laboratorio metalúrgico.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

Por la orientación

Es una investigación aplicada debido a que es práctica, pues sus resultados son utilizados inmediatamente en la solución de los problemas. Esta investigación normalmente identifica la situación problema y busca, dentro de las posibles soluciones, aquella que pueda ser la más adecuada para el contexto específico. (Vara, 2012, p.202).

Por lo tanto, la presente investigación es aplicada, dado que se propone aplicar los métodos y medidas del estudio del trabajo en las pruebas de lixiviación en botellas.

Por el diseño

El diseño de la presente investigación es pre experimental, ya que como mencionan Hernández, Fernández y Baptista (2010) “debido a que se manipula deliberadamente, la variable independiente para analizar los efectos que se generarían sobre la variable dependiente”, la finalidad de la presente investigación es obtener evidencia de la relación causa y efecto al manipular la variable independiente, así mismo el estudio es de carácter propositivo por cuanto se limita a la propuesta de aplicación del estudio del trabajo.

En el diseño pre-experimental se utiliza un grupo para comparar los efectos de una variable independiente. Pero en esta modalidad, la variable independiente se manipula en situaciones reales con grupos pre-formados (Ej. Áreas de trabajo). El hecho de trabajar con grupos verdaderos y no con grupos artificialmente creados favorece la extrapolación de los resultados a situaciones similares. (Vara, A. 2012, p.213)

Identificación de variables y operacionalización

Variable independiente (VI): Estudio del trabajo

Según Valderrama, S. (2005), el estudio del trabajo busca mejorar las operaciones y trabajos realizados, con el objetivo de conseguir el máximo aprovechamiento de todos los recursos, buscando mejorar la productividad. Analizando las operaciones considerando todos los elementos que inciden sobre su resultado.

Variable dependiente (VD): Productividad

La productividad es la relación entre los productos obtenidos y los recursos utilizados. La productividad se puede medir en relación la eficiencia y eficacia. La Eficiencia en la operación es la relación entre números de botellas lixiviadas entre el número de botellas programadas. La Eficacia está relacionada con el logro de los objetivos planeados, es decir con la realización de actividades que permitan alcanzar las metas establecidas. (Oliveria Da Silva, R. 2002, p. 20).

2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)

Población: La población está conformada por todas las pruebas realizadas de lixiviación en botellas.

Muestra: Se utilizó el muestreo no probabilístico, tomando como muestra a las pruebas realizadas de lixiviación en botellas en el periodo de diez meses. Cinco meses para el pre ensayo y cinco meses para post ensayos.

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

La técnica de recolección utilizada fue la observación directa y el análisis documental, donde se recopiló la información sobre las consecuencias y efectos que se generen por la propuesta además de los tiempos que se toman en realizar las actividades.

Instrumentos de recolección de datos

Los instrumentos que se utilizaron en la variable independiente y en la dependiente fueron los siguientes:

Ficha de observación

Cursograma analítico para el método de trabajo, formato de tiempo estándar y formato de medición de la productividad

Cronómetro

Se utilizará este instrumento para conocer el tiempo transcurrido en mediciones oportunas sobre el indicador tiempo de en cada etapa de las pruebas de lixiviación en botellas.

Métodos de análisis de datos

Luego de haber obtenido los datos, se realizó el procesamiento y análisis de los mismos para poder responder nuestra pregunta inicial, y así poder aceptar o rechazar las hipótesis planteadas en la investigación. El análisis a realizar será cuantitativo por lo tanto la medición de las variables se proceden a realizar en una base de datos para el estudio del trabajo y los costos operativos. Los datos obtenidos de los instrumentos elaborados, fueron procesados como sigue:

Análisis descriptivo

Con el fin de recolectar, procesar, presentar y analizar un conjunto de datos obtenidos por cada uno de los indicadores. Se elaboró una base de datos de ambas variables con

la finalidad del análisis de resultados para su posterior interpretación (Microsoft Excel). Además, se emplearán gráficos, tablas entre otros para analizar el comportamiento de la variable independiente y dependiente frente a los posibles cambios

Análisis inferencial

En esta etapa se realizó la prueba de hipótesis mediante la prueba T- Student, previo análisis de normalidad de los datos de la productividad, se hará uso del software del SPSS.

Validez y confiabilidad del instrumento

En esta investigación, para validar los instrumentos de recolección de datos, se realizó la prueba de juicio de expertos. Para lo cual se coordinó con los técnicos del área de lixiviación, los cuales desempeñan la labor diaria del proceso.

La confiabilidad se obtuvo a través del instrumento para medir el tiempo (cronómetro) el cual tiene una alta confiabilidad. El cual es determinada por su ficha técnica.

Estas técnicas e instrumentos se utilizarán para medir la variable de:

Productividad cuyas dimensiones son la eficiencia y eficacia, su indicador es el siguiente:

$$\text{Productividad} = \text{Eficiencia} \times \text{Eficacia}$$

Ecuación 3. Productividad

2.4. Procedimiento

Para ejecutar la presente investigación, se realizó un diagnóstico situacional actual de las pruebas de lixiviación en botellas donde se identificó las diferentes etapas del proceso. Se realizó los cálculos de productividad por consiguiente se obtiene los costos

generados dentro del periodo de los primeros cinco meses. Se observó una baja productividad debido a la repetición de las pruebas lo cual genera sobrecostos. Luego, se lleva a cabo la propuesta de aplicación del estudio del trabajo inicialmente se examinó las pruebas de lixiviación en botellas observando cada una de sus etapas y las actividades que la componen. Se procede a utilizar la técnica de lluvia de ideas para identificar las causas de la baja productividad.

En base a las principales causas identificadas se utiliza el método de la selección ponderada y se prioriza las causas críticas. Se identifica la etapa de monitoreo como la etapa crítica principal en las pruebas de lixiviación en botellas se procede a desarrollar el estudio de métodos y sus ocho etapas básicas. Se seleccionó la etapa de monitoreo y se registra las mediciones de tiempos de las actividades que la comprenden, se examinó mediante la técnica del interrogatorio para observar la forma como se está desarrollando, mediante las respuestas obtenidas se establece la propuesta de solución y se realiza los ensayos correspondientes por cinco meses con el objetivo de incrementar la productividad.

Finalmente, con los resultados obtenidos en el pre ensayo y post ensayos se evalúan los resultados obtenidos, verificando un incremento de la productividad por consiguiente la reducción de costos. Se evalúa la factibilidad económica y se estima la inversión total del proyecto.

Para la validación de la hipótesis “La aplicación del estudio del trabajo incrementará la productividad en las pruebas de lixiviación en botellas en un laboratorio metalúrgico”, se aplicó la prueba de comparación de medias t de Student.

Aspectos éticos

La presente investigación se realizó en base al respeto de la información obtenida y así también los valores en la que se fundamentó el desarrollo del proyecto.

El uso de la información con fines académicos.

Discreción por la información obtenida, no alterando la realidad.

Obtención de datos válidos y confiables mediante los instrumentos de medición.

No se incluirán los nombres de los colaboradores, así como también la confidencialidad de ellos en la medición de datos.

El consentimiento informado es indispensable para el cumplimiento de las normas éticas con las personas que participaran en el estudio.

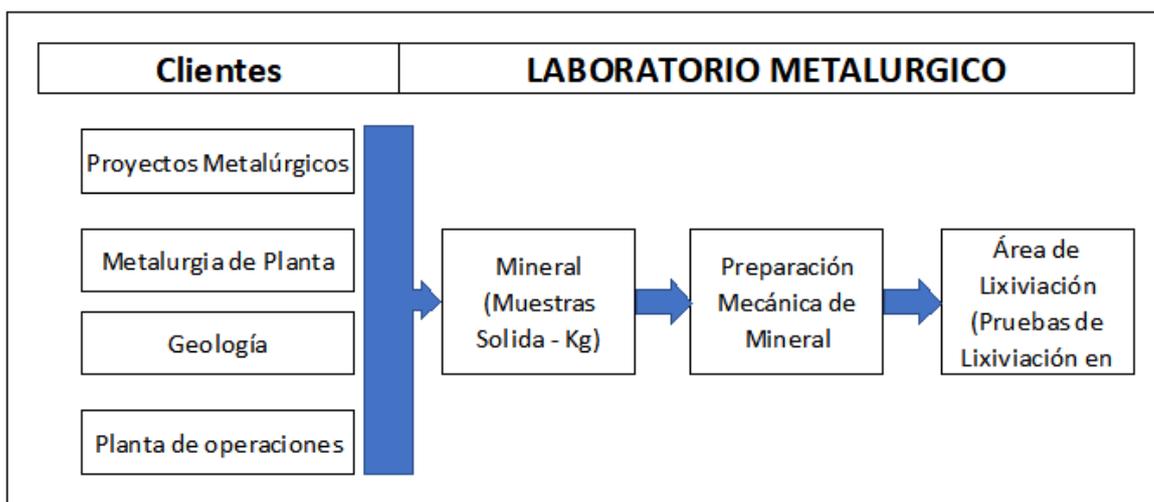
CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1 Diagnóstico de la Situación Actual

El estudio se realizó a un laboratorio metalúrgico de una empresa minera, a las pruebas de lixiviación en botellas, el objetivo de las pruebas es observar el comportamiento del mineral frente a la lixiviación con el producto químico cianuro de sodio (agente lixivante) y así observar la recuperación de oro, evaluar la cinética de extracción, determinar el consumo de reactivos para luego realizar los reportes de balance metalúrgico y por último un informe final.

Figura 1

Diagrama de flujo de muestras

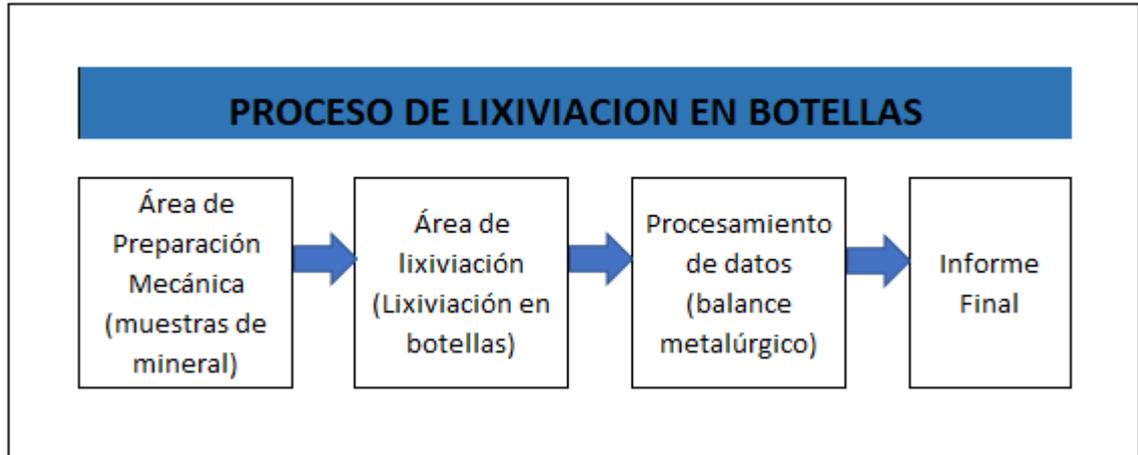


Nota: Las muestras de mineral que se utilizan para el proceso de lixiviación en botellas son entregadas a laboratorio por los clientes internos como se muestran en la figura anterior.

Los resultados obtenidos en las pruebas de lixiviación en botellas de laboratorio metalúrgico son la culminación de un número de etapas y actividades, la calidad del resultado depende de la calidad de operación en cada una de estas etapas.

Figura 2

Proceso de las pruebas de lixiviación en botellas



Nota: El estudio realizado a las pruebas de lixiviación en botellas se realiza en base al análisis de la problemática, en el cual se presenta baja productividad, deficiencia en los métodos de trabajo (operativos), tiempos de operación, distribución de equipos por lo cual se ha visto afectado en los costos y en el tiempo de entrega de los informes finales.

Descripción del Proceso de las pruebas de Lixiviación en Botellas

Área de preparación mecánica de muestras

El área de laboratorio metalúrgico trabaja bajo un sistema de producción en el cual las pruebas de lixiviación en botellas se inician en el área de preparación mecánica del mineral (figura 2) que es donde el mineral es preparado para obtener una muestra representativa para las diferentes pruebas que se realizan en el laboratorio metalúrgico. Es importante considerar que la preparación mecánica de muestras es un “proceso irreversible” una muestra mal preparada (no representativa o contaminada), sin importar el método de análisis, generará un resultado erróneo.

En el área de preparación mecánica se inicia el proceso en diferentes etapas:

Recepción y codificación de muestras: Se recibe las muestras de los clientes internos que ingresan al área de laboratorio metalúrgico.

Planificación de pruebas: Tiene como propósito identificar y describir las pruebas que se van a implementar y ejecutar.

Secado de muestras: Operación que se realiza con la finalidad de eliminar la humedad de muestra mediante la aplicación de calor.

Chancado: Operación mecánica que consiste en la reducción de tamaño de los fragmentos de roca que componen una muestra mineral. Así logramos la liberación de las especies que van a analizarse y/o someterse a pruebas metalúrgicas.

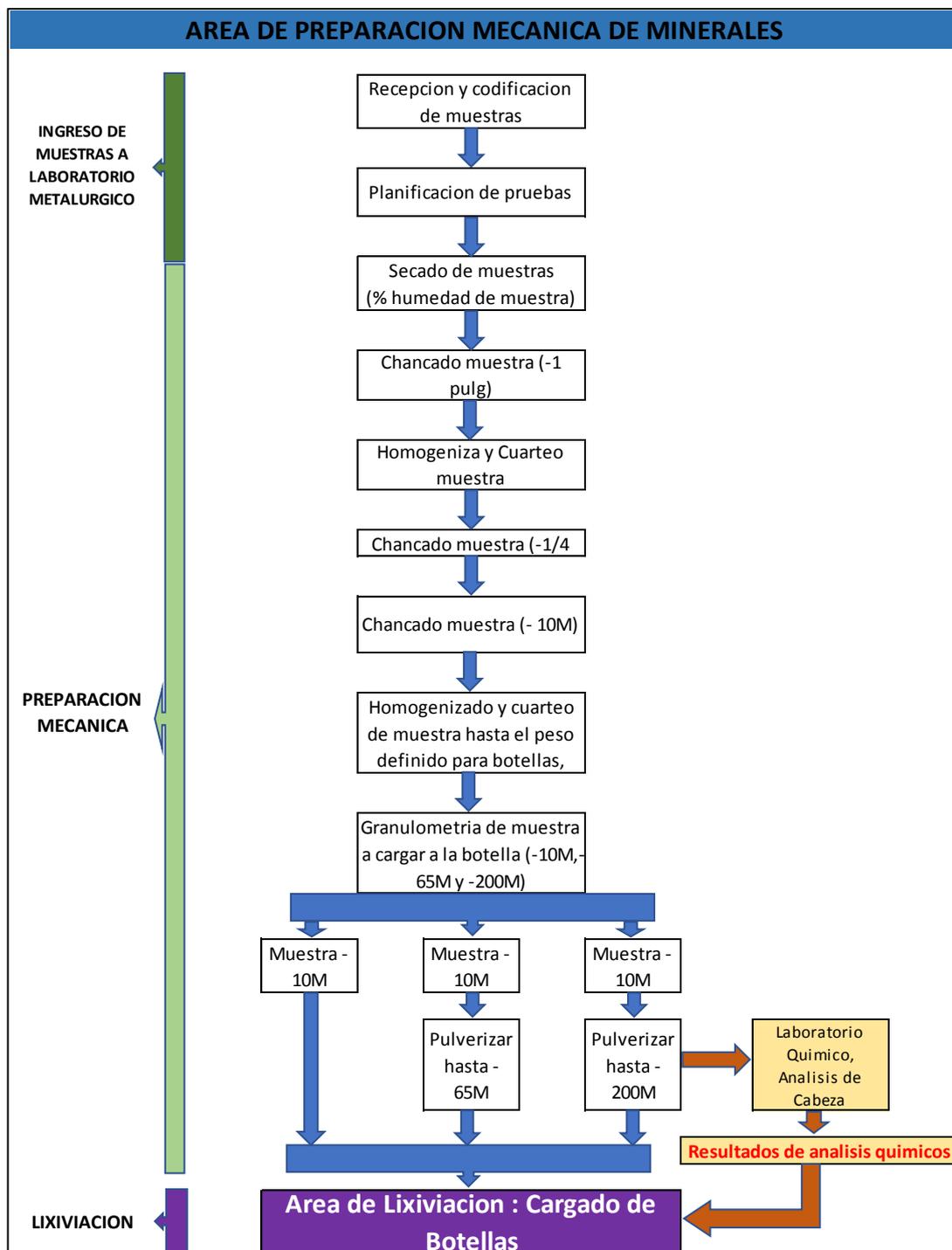
Homogenizado y cuarteo: Operación que consiste en mezclar todo el material con la finalidad de conseguir un producto uniforme. El objetivo obtener una muestra representativa.

Pulverizado: Operación mecánica mediante el cual se disminuye el tamaño de las partículas de mineral a un tamaño muy fino.

Al obtener la muestra representativa se realizan las pruebas en base a lo planificado, una de las pruebas que desarrolla en el laboratorio metalúrgico es la de lixiviación en botellas. Además, paralelamente se envía esta muestra inicial a laboratorio químico, con el fin de obtener resultados del análisis de cabeza, estos resultados son importante dado que son la base porque nos indican las concentraciones iniciales de los elementos metálicos de las muestras que ingresan a las pruebas de lixiviación en botellas

Figura 3

Diagrama de flujo del proceso de preparación mecánica



Nota: Se observa en el diagrama de flujo el proceso de preparación mecánica que inicia con el ingreso del mineral al laboratorio metalúrgico para finalmente ingresar al área de lixiviación en el cargado de botellas.

Área de Lixiviación

En el área de lixiviación se realiza las pruebas de lixiviación en botellas cuyo objetivo es que mediante los resultados obtenidos se calcule el porcentaje de extracción del metal, el consumo de los reactivos químicos óxido de calcio (Cal) y cianuro de sodio. Es importante considerar que la prueba de lixiviación en botellas es un “proceso irreversible” un error en la prueba generará un resultado erróneo por lo tanto el proceso se repite como consecuencia la productividad decrece por consiguiente se genera sobrecostos en el área y retrasos en la entrega de informes.

Por lo tanto, los objetivos principales de la lixiviación en botellas son:

Porcentaje de Extracción del metal (se calcula en base a resultados de análisis químicos).

Consumo de Óxido de calcio o Cal (sumatoria de consumo por botella en toda la prueba).

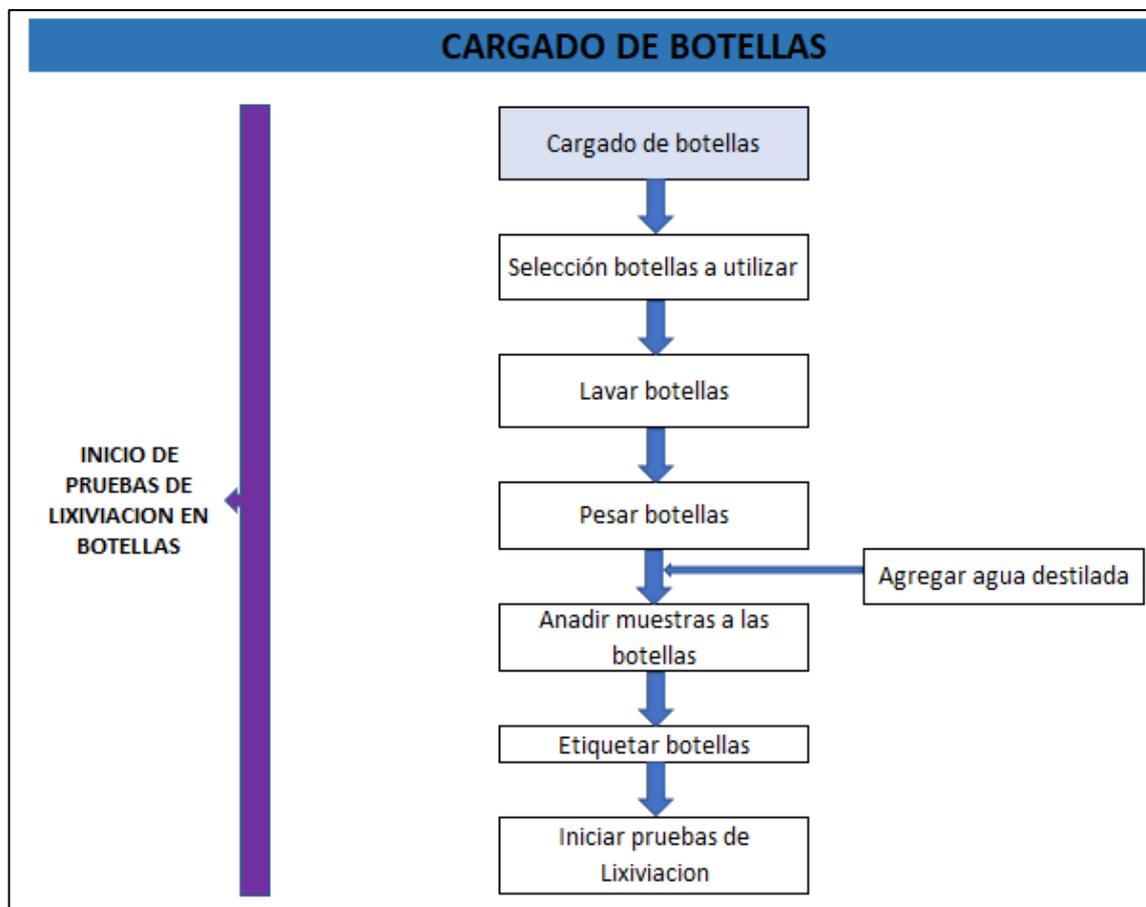
Consumo de Cianuro de sodio (sumatoria de consumo por botella en toda la prueba).

El proceso de lixiviación en botellas consta de las siguientes etapas; los cuales se detallan a continuación:

Preparación y cargado de botellas

Figura 4

Diagrama de flujo de cargado de botellas.



Nota: La figura anterior muestra el diagrama de flujo de cargado de botellas que consiste en codificar, registrar, cargar el mineral en sus diferentes tamaños de partícula, cargar con agua en relación 1.5 liquido/solido. Se utilizan botellas chicas (4 litros) para muestras de 500g; cargados al tamaño de partícula establecido.

Planificación de pruebas

La planificación de las pruebas de lixiviación en botellas depende del protocolo que se maneja en el área, esto depende del resultado del análisis químico inicial de la muestra de ingreso o análisis de cabeza. En base a este protocolo se determina el tamaño de partícula, la concentración de cianuro y el número de botellas por muestra que se procesara.

Alcalinización

Inicia con la medición de pH natural (Figura 5) del contenido en la botella (muestra + agua), esta etapa consiste en elevar el pH mediante la adición de cal hasta llevarlo a un pH alcalino, esta etapa puede contar con varios ciclos antes de iniciar la prueba. El pH puede disminuir en el transcurso de la prueba por lo tanto la adición puede realizarse cada vez que se realiza el monitoreo. Al finalizar la prueba se suma todo el consumo de cal para observar todo el gasto que se realizó de este reactivo químico.

Figura 5

Medición de pH



Nota: La figura anterior muestra el proceso de medición de pH de una muestra.

Cianuración

Actividad que consiste en agregar la cantidad requerida de cianuro de sodio (agente lixivante) por la prueba, la cual es calculada para cada botella. Al igual que la cal, el sumatorio total del consumo del reactivo es un dato importante al final de la prueba de lixiviación en botellas. (Figura 6)

Figura 6

Agregado de cianuro de sodio.



Nota: La figura anterior muestra el proceso de agregado de cianuro de sodio

Inicio del proceso de Lixiviación

La etapa donde inicia la prueba de lixiviación en botellas es en los rodillos horizontales en el cual se mantiene en agitación. Por intermedio de la agitación el agente lixivante (cianuro de sodio) en solución alcalina (pH elevado por adición de cal) inicia a disolución del metal.

Figura 7

Rodillos de agitación



Nota: La figura anterior muestra el proceso rodillo de agitación

Monitoreo de botellas

En las pruebas de lixiviación donde se mantiene los controles operativos es la etapa de monitoreo donde se realiza la medición de parámetros operativos: pH (medición con pH metro) y cianuro libre (análisis volumétrico). Por lo tanto, se reponen los reactivos químicos como la cal (Alcalinización) y Cianuro de sodio (Cianuración) para cumplir con los parámetros establecidos en la prueba, es decir mantener el pH alcalino y la concentración de cianuro libre. Es por eso que se extrae una muestra líquida según el tiempo indicado en la prueba y se envía a laboratorio químico para observar el comportamiento de la disolución de los metales en el tiempo.

Figura 8

Análisis de cianuro libre



Nota: La figura anterior muestra el proceso de análisis de cianuro libre

Envío de muestras líquidas

Las muestras líquidas extraídas en los monitoreos del proceso de lixiviación en botellas se envía a laboratorio químico.

El primer día (arranque de prueba) se tiene cuatro monitoreos, se envía tres muestras líquidas por botella.

Segundo día (24 horas) se envía 1 muestra por botella.

Tercer día (48 horas) se envía 1 muestra por botella.

Cuarto día (72 horas, ultimo) se envía 1 muestra por botella además de otros análisis finales.

Por lo tanto, tenemos 6 muestras por botella lixiviada, el análisis químico se realiza en laboratorio analítico.

Figura 9

Envío de muestras líquidas



Nota: La figura anterior muestra el proceso de envío de muestras líquidas

Filtración, secado, pulverizado y envío.

Una vez culminada la prueba (72 horas de lixiviación) se realiza la separación sólido-líquido contenida en la botella por intermedio de filtros al vacío donde se retira la solución líquida para poder obtener el sólido final de la botella es decir la muestra de mineral (muestra de cola). Esta muestra de cola es secada en hornos, una vez secada

se pulveriza (preparación mecánica) para luego ser enviada a laboratorio químico y obtener los resultados finales.

Balance Metalúrgico

Una vez que tenemos los resultados finales es decir el análisis inicial o de cabeza de la muestra sólida, el análisis final de la muestra sólida de cola y todos los análisis de las soluciones líquidas en toda la prueba, se procesa los datos y se procede a realizar los balances metalúrgicos.

En el balance metalúrgico se observa los resultados de los objetivos de las pruebas de lixiviación en botellas: consumo de cal, consumo de cianuro de sodio y extracción del metal.

Si el proceso de lixiviación se realizó de forma adecuada los resultados del balance coinciden, si los resultados no concuerdan es aquí donde se repite la prueba por lo tanto se repite todo el ciclo de las pruebas lixiviación en botellas, es aquí donde la productividad decrece por lo tanto se producen los sobrecostos en el área.

Costos operacionales actuales en el área de laboratorio metalúrgico en las pruebas de lixiviación en botellas.

En base a todo el proceso de las pruebas de lixiviación en botellas, tenemos los siguientes costos actuales que se generan por cada botella que es lixiviada.

Tabla 1

Costos actuales por cada botella lixiviada

Lixiviación en botellas	\$/ Botella
Proceso de preparación mecánica del mineral (5\$ / Kg)	75
Proceso operativo de lixiviación en botellas	170
Análisis químicos	
Análisis de cabeza	65.39
Análisis de solución Au, Ag, y Cu (2, 4, 8, 24, 48, 72 horas)	11.4
Análisis de solución final Au, Ag, Cu, ICP, Hg	13.8
Análisis de cola	62.89
Total	\$ 398.48

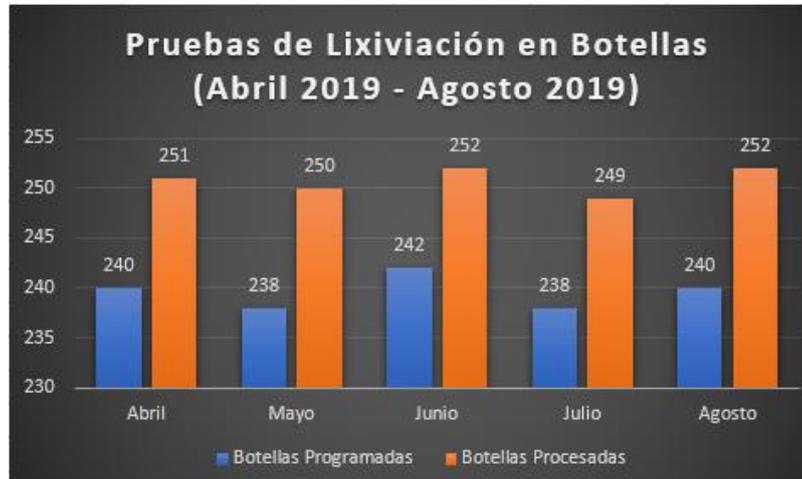
Nota: La tabla anterior muestra los costos actuales que se generan por cada botella lixiviada.

Realizando una sumatoria total tenemos que el costo por botella procesada es de 398.48 dólares.

En base al historial se obtuvo los resultados del número de pruebas realizadas en un periodo de 5 meses (abril 2019- agosto 2019), el número de botellas procesadas versus las programadas.

Figura 10

Botellas programadas (planificadas) vs botellas procesadas



Nota: En la figura podemos observar que el promedio de las botellas programadas (planificadas) es de 240 al mes, pero se procesan más de lo programado, esto debido a que se repitieron pruebas lo cual ocasiona que la productividad decrezca por consiguiente genera un sobrecosto al área.

Cálculo de la productividad actual.

Tabla 2

Eficiencia abril 2019 – agosto 2019

Mes	Botellas procesadas	Botellas programadas	Botellas reprocesadas	Eficiencia
Abril	251	240	11	95.42%
Mayo	250	238	12	94.96%
Junio	252	242	10	95.87%
Julio	249	238	11	95.38%
Agosto	252	240	12	95.00%
Promedio	250.8	239.6	11.2	95.32%

Nota: La tabla anterior muestra la Eficiencia abril 2019 – agosto 2019.

Tabla 3

Sobrecostos abril 2019 – agosto 2019

Mes	Costo pruebas procesadas (\$)	Costo de pruebas programadas (\$)	Sobrecostos por reprocesos (\$)
Abril	100018.5	95635.2	4383.3
Mayo	99620.0	94838.2	4781.8
Junio	100417.0	96432.2	3984.8
Julio	99221.5	94838.2	4383.3
Agosto	100417.0	95635.2	4781.8
Promedio	99938.8	95475.8	4463.0

Nota: La tabla anterior muestra los Sobrecostos abril 2019 – agosto 2019.

En la tabla anterior podemos observar los sobrecostos generados por la repetición de las pruebas de lixiviación en botellas por mes.

Figura 11.

Sobrecostos operativos



Nota: La figura anterior muestra los sobrecostos operativos.

Tabla 4

Eficacia de producción

Mes	Costo producción total (\$)	Costo producción planificado (\$)	Costos de sobreproducción (\$)	Eficacia
Abril	115421.3	110000	5421.3	95.07%
Mayo	114961.5	110000	4961.5	95.49%
Junio	115881.2	110000	5881.2	94.65%
Julio	114501.6	110000	4501.6	95.91%
Agosto	115881.1	110000	5881.2	94.65%
Promedio	115329.3	110000	5329.3	95.16%

Nota: La tabla anterior muestra la Eficacia de producción.

Tabla 5

Productividad abril 2019 – agosto 2019

Mes	Eficiencia	Eficacia	Productividad
Abril	95.42%	95.07%	90.71%
Mayo	94.96%	95.49%	90.67%
Junio	95.87%	94.65%	90.74%
Julio	95.38%	95.91%	91.47%
Agosto	95.00%	94.65%	89.92%
Promedio	95.32%	95.16%	90.71%

Nota: Podemos observar que la productividad actual es de es de 90.71%

3.2 Propuesta de Aplicación del estudio del trabajo para incrementar la productividad en las pruebas de lixiviación en botellas.

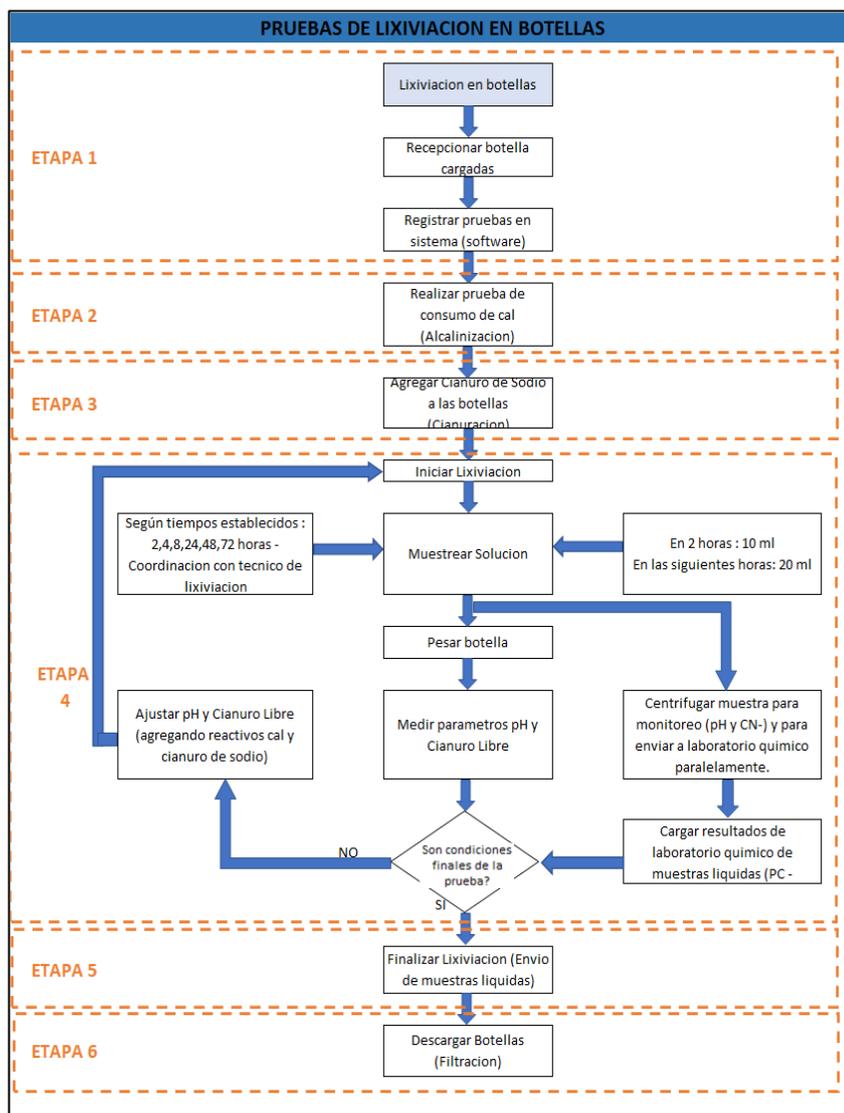
Para realizar la propuesta de aplicación del estudio del trabajo se examinó el proceso en su conjunto.

3.2.1. Diagrama de flujo de las pruebas de lixiviación en botellas.

Se identificaron las etapas que comprenden las pruebas de lixiviación en botellas para su respectivo análisis.

Figura 12

Diagrama de flujo de las pruebas de lixiviación en botellas



Nota: La figura anterior muestra el diagrama de flujo de las pruebas de lixiviación en botellas

Figura 13

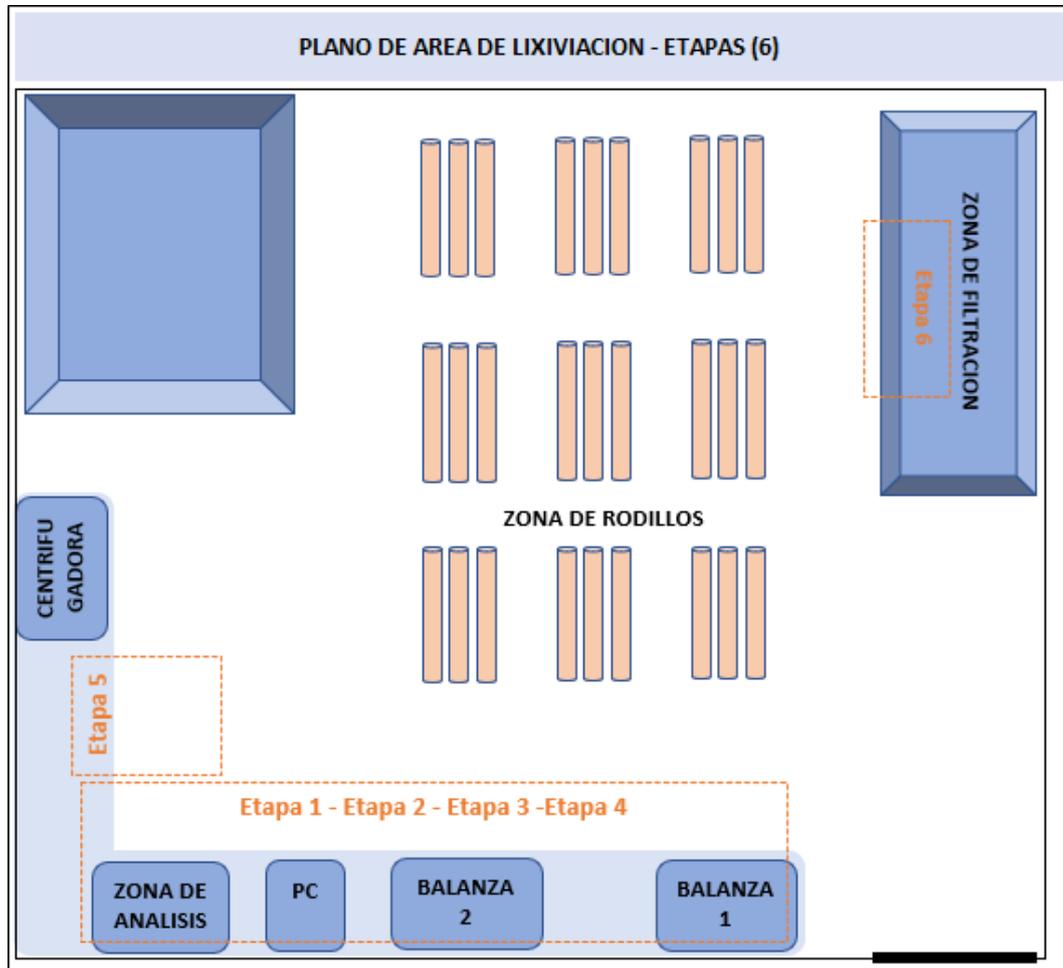
Proceso de lixiviación en botellas

Proceso de Lixiviación en Botellas		
		Actividades
INICIO DE PRUEBA	ETAPA 1 Cargado de botellas	Recepcionar Muestra Cargar muestra de mineral a la botella Agregar Agua Registrar datos al sistema
	ETAPA 2 Alcalinización	Medición de pH natural Agregar Cal Colocar botellas en rodillo giratorios Retirar botellas de rodillos giratorios Medir pH natural Ajustar pH agregando Cal
	ETAPA 3 Cianuración	Agregar Cianuro de Sodio Registrar datos al sistema Colocar botellas en rodillo giratorios
OPERACIÓN DE LA PRUEBA	ETAPA 4 Monitoreo	Transporte de botellas a zona de analisis Destapar botellas Sedimentacion de muestra Preparar y codificar tubos de ensayo Muestrear solucion (tubos de ensayo) Centrifugar muestras Medir parametros (pH , Cianuro libre) + Lavado de materiales de vidrio para analisis Regristo de resultados (PC) Ajustar de Valores (pH,Cianuro Libre) Pesar Botella Ajustar volumen de agua (pizeta) Cerrar botellas Transportar a rodillo + Colocar botellas en rodillos
	ETAPA 5 Envío de muestras	Centrifugar tubos de ensayo Colocar tapa a tubos de ensayo Registrar en el sistema para envió a laboratorio químico Enviar tubos de ensayo a laboratorio químico
FINALIZACION DE LA PRUEBA	ETAPA 6 Filtración	Llevar botellas a el área de filtración Filtrar botellas lixiviadas Retirar muestra solida Colocar muestra solida en los hornos

Nota: Se examinó el flujo del proceso de las pruebas de lixiviación en botellas observando sus seis etapas, que se subdividen en un número de actividades.

Figura 14

Plano de área de lixiviación



Nota: El área de trabajo de las pruebas de lixiviación donde se realiza cada una de las etapas y actividades operacionales se muestra en el plano de la figura anterior.

Determinar y Analizar las Causas de la baja productividad.

Una vez identificadas las etapas y actividades del proceso de lixiviación en botellas se procedió a utilizar la técnica de la lluvia de ideas con el personal técnico para identificar las causas de la baja productividad. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla siguiente.

Tabla 6

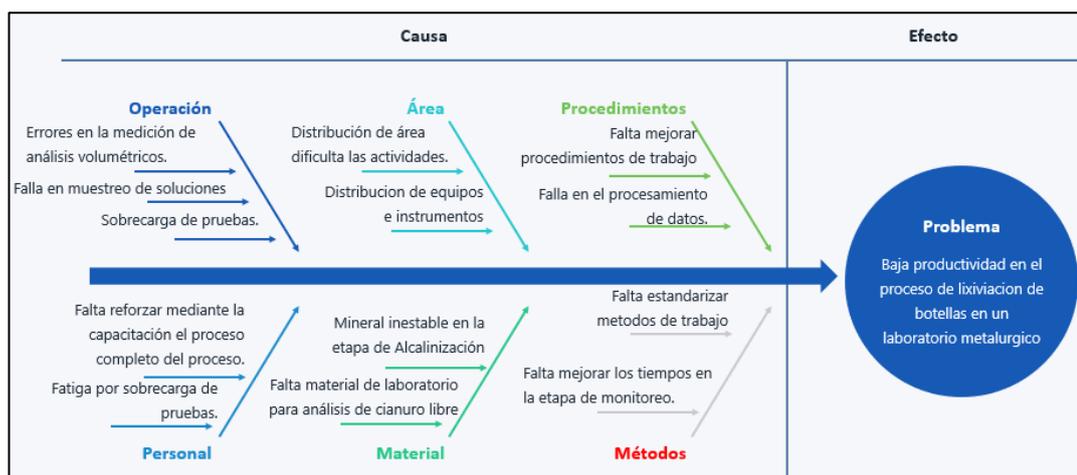
Lluvia de ideas – baja productividad en el proceso de lixiviación en botellas

N.º	Causas
1	Errores en la medición de análisis volumétricos
2	Falta mejorar los tiempos en la etapa de monitoreo
3	Sobrecarga de pruebas
4	Distribución del área dificulta las actividades
5	Distribución de equipos e instrumentos
6	Falta mejorar los procedimientos de trabajo
7	Falla en el procesamiento de datos
8	Fatiga por sobrecarga de pruebas
9	Falta reforzar el proceso operativo completo
10	Falta material de laboratorio para el análisis de cianuro libre
11	Mineral inestable en la etapa de alcalinización
12	Falta estandarizar métodos de trabajo
13	Falla en el muestreo de soluciones

Nota: La tabla anterior muestra la lluvia de ideas – baja productividad en el proceso de lixiviación en botellas

Figura 15

Diagrama de Ishikawa – productividad en el proceso de lixiviación en botellas



Nota: Para facilitar la comprensión y poder analizar las causas o problemas que producen la baja productividad en las pruebas de lixiviación en botellas, se realiza el diagrama causa-efecto o de Ishikawa.

Para priorizar los factores críticos que producen la baja productividad en las pruebas de lixiviación en botellas se utilizó el método de la selección ponderada (ver tabla siguiente). El personal técnico procedió a evaluar mediante puntuación cada una de las causas, en base a los resultados se realiza el grafico de prioridades (Anexo 1).

Tabla 7

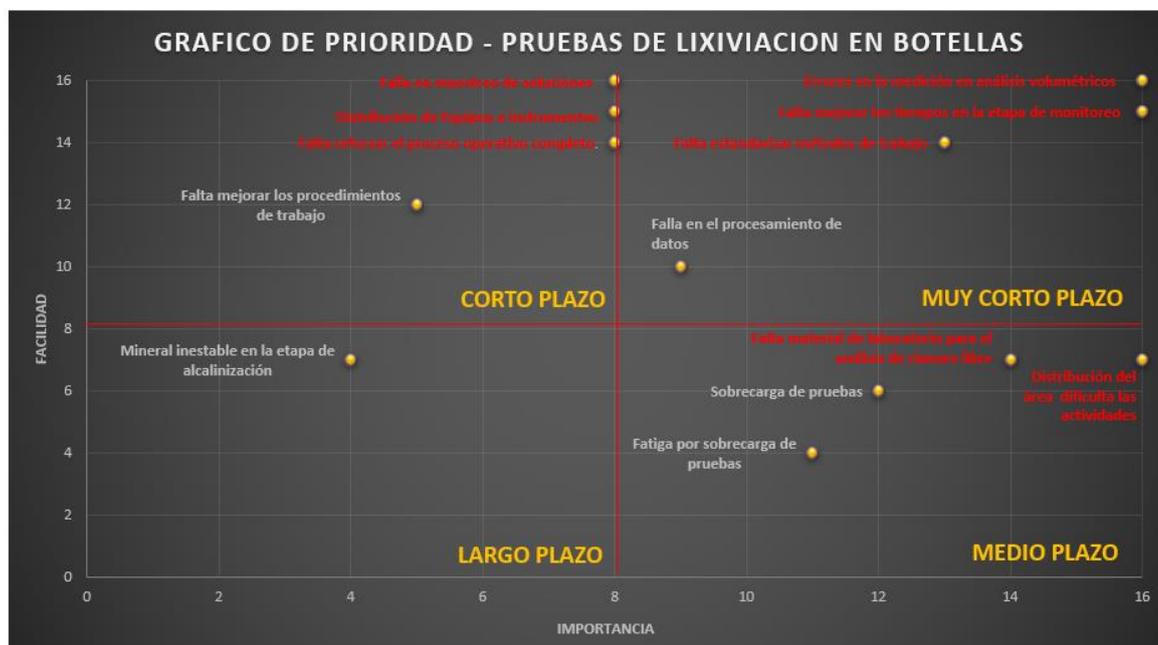
Causas de baja productividad en el proceso de lixiviación en botellas de un laboratorio

	Causas	Importancia					Facilidad				
		A	B	C	D	Su m	A	B	C	D	Su m
Operación	Errores en la medición de análisis volumétricos.	4	4	4	4	16	4	4	4	4	16
	Falta mejorar los tiempos en la etapa de monitoreo	4	4	4	4	16	4	3	4	4	15
	Sobrecarga de pruebas	3	4	2	3	12	2	1	2	1	6
Área	Distribución del área dificulta las actividades	4	4	4	4	16	2	2	1	2	7
	Distribución de Equipos e instrumentos	2	3	2	1	8	4	4	3	4	15
Procedimientos	Falta mejorar los procedimientos de trabajo	1	2	1	1	5	3	3	3	3	12
	Falla en el procesamiento de datos	2	3	2	2	9	3	3	2	2	10
Personal	Fatiga por sobrecarga de pruebas	2	3	3	3	11	1	1	1	1	4
	Falta reforzar el proceso operativo completo.	2	2	2	2	8	4	3	3	4	14
Material	Falta material de laboratorio para el análisis de cianuro libre	3	3	4	4	14	2	2	1	2	7
	Mineral inestable en la etapa de alcalinización	1	1	1	1	4	2	2	2	1	7
Métodos	Falta estandarizar métodos de trabajo	3	3	4	3	13	4	3	3	4	14
	Falla en muestreo de soluciones	2	2	2	2	8	4	4	4	4	16

Nota: De los resultados obtenidos se realizó el grafico de prioridades para determinar las actividades críticas en el proceso de las pruebas de lixiviación en botellas.

Figura 16

Gráfico de prioridad



Nota: Al analizar el gráfico de prioridades se observa que las principales causas de la baja productividad se deben a las siguientes causas a priorizar (ver tabla siguiente).

Tabla 8

Causas a priorizar

Proceso	Causa N°	Causas	Prioridad	Acciones
Operación	1	Errores en la medición de análisis volumétricos	Alta	Evaluar etapa de monitoreo
Operación	2	Falta mejorar los tiempos en la etapa de monitoreo	Alta	Evaluar etapa de monitoreo
Área	5	Distribución de Equipos e instrumentos	Alta	Redistribución del área
Métodos	12	Falta estandarizar métodos de trabajo	Alta	Capacitación
Área	4	Distribución del área dificulta las actividades	Media	Redistribución del área
Material	10	Falta material de laboratorio para el análisis de cianuro libre	Media	Evaluar etapa de monitoreo
Métodos	13	Falla en muestreo de soluciones	Media	Evaluar etapa de monitoreo
Personal	9	Falta reforzar el proceso operativo completo.	Baja	Capacitación

Nota: La tabla anterior muestra las causas a priorizar.

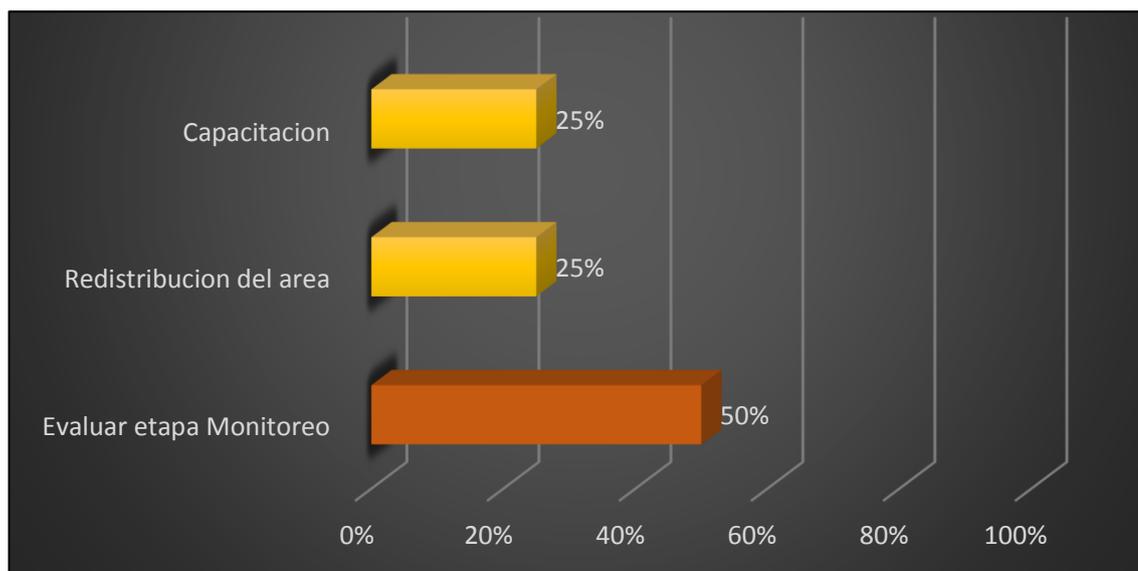
Para la propuesta de aplicación nos enfocamos en el estudio de métodos en las pruebas de lixiviación en botellas la cual se basa en las 8 etapas básicas:

Etapa 1 Selección:

Se seleccionó la etapa de monitoreo que está relacionada con la baja productividad en base a los resultados obtenidos en el método de selección ponderada (ver figura siguiente). Por lo tanto, se desarrolló en base a esta etapa la propuesta de aplicación del estudio del trabajo para incrementar la producción.

Figura 17

Principales factores de la baja productividad en las pruebas de lixiviación en botellas



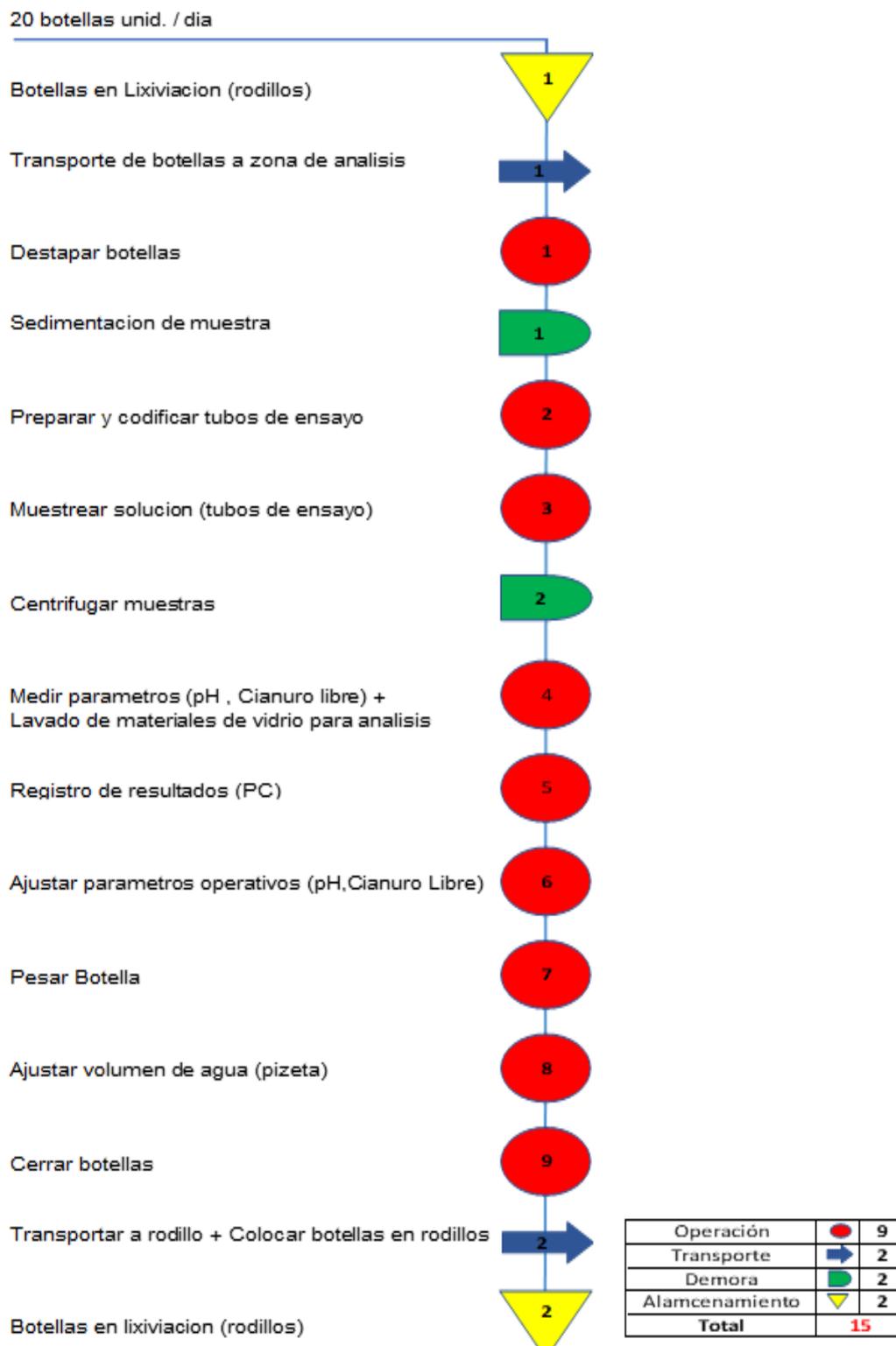
Nota: El Alcance para la investigación es de 20 botellas las cuales son procesadas diariamente además de ser acumulativas en el tiempo. Se cuenta con 1 Técnico por guardia (4 guardias) responsable de las pruebas de lixiviación en botellas.

Paso 2: Registrar

Una vez seleccionado la etapa de monitoreo e identificada sus actividades se observó las situaciones relevantes relacionadas a la labor y se procedió a registrar mediante técnicas del estudio del trabajo la información referente al método del trabajo actual.

Figura 18

Diagrama de operaciones DOP etapa de monitoreo diagnostico actual - Julio 2019



Nota: La figura anterior muestra el diagrama de operaciones DOP etapa de monitoreo diagnostico actual - Julio 2019

Se observa que la etapa de monitoreo consta de 15 actividades, se realizó las mediciones de tiempo de cada una de las actividades que comprende la etapa, la medida del trabajo se realiza al técnico con mayor experiencia en las pruebas de lixiviación. La medida de tiempos se toma en base al monitoreo de 20 botellas que son las que se procesan diariamente (acumulativo). Estas medidas se toman en el transcurso de un mes (Julio 2019) y se calculó el tiempo estándar. (Anexo 2).

Tabla 9

Tiempo estándar - Diagnostico actual Julio 2019

Actividad	TIEMPO ESTANDAR
Transporte de botellas a zona de análisis	1.59
Destapar botellas	1.07
Sedimentación de muestra	2.13
Preparar y codificar tubos de ensayo	2.16
Muestrear solución (tubos ensayo)	4.20
Centrifugar muestras	3.03
Medir parámetros (pH, Cianuro libre) + Lavado de materiales de vidrio para análisis	13.57
Registro de resultados (PC)	3.01
Ajustar de Valores (pH, Cianuro Libre)	4.36
Pesar Botella	2.58
Ajustar volumen de agua (pizeta)	3.44
Cerrar botellas	1.26
Transportar a rodillo + Colocar botellas en rodillos	1.53
TOTAL	46.55 min

Nota: En base a los resultados obtenidos, se desarrolló el cursograma analítico de la etapa de monitoreo. (ver figura siguiente).

Figura 19

Cursograma analítico - diagnostico actual - etapa de monitoreo - julio 2019

CURSOGRAMA ANALITICO - DIAGNOSTICO ACTUAL - ETAPA DE MONITOREO - MES JULIO 2019 - GUARDIA B					
Objeto: Pruebas de lixivacion en botellas	Resumen				
	Actividad			Actual	
Actividad: Etapa de monitoreo Método: Actual/Propuesto Lugar: Laboratorio Metalurgico Operario (s): D. Vargas	Operación			9	
	Transporte			2	
	Inspeccion			0	
	Demora			2	
	Almacenamiento			2	
Total			15		
Distancia (m)			3.1		
Compuesto por: Aprobado por:	Fecha: 7/2019	Personal			Tecnico
		Total			1
Descripción	Cantidad	Tiempo	Distancia	Simbolo	
					
Botellas Lixivacion	20				
Transporte de botellas a zona de analisis	20	1.59	3.1		
Destapar botellas	20	1.07			
Sedimentacion de muestra	20	2.13			
Preparar y codificar tubos de ensayo	20	2.16			
Muestrear solucion (tubos de ensayo)	20	4.20			
Centrifugar muestras	20	3.03			
Medir parametros (pH , Cianuro libre) + Lavado de materiales de vidrio para analisis	20	13.57			
Regristo de resultados (PC)	20	3.01			
Ajustar de Valores (pH,Cianuro Libre)	20	4.36			
Pesar Botella	20	2.58			
Ajustar volumen de agua (pizeta)	20	3.44			
Cerrar botellas	20	1.26			
Transportar a rodillo + Colocar botellas en rodillos	20	1.53	3.1		
Inicio Lixivacion	20				
Total (min)		46.55			

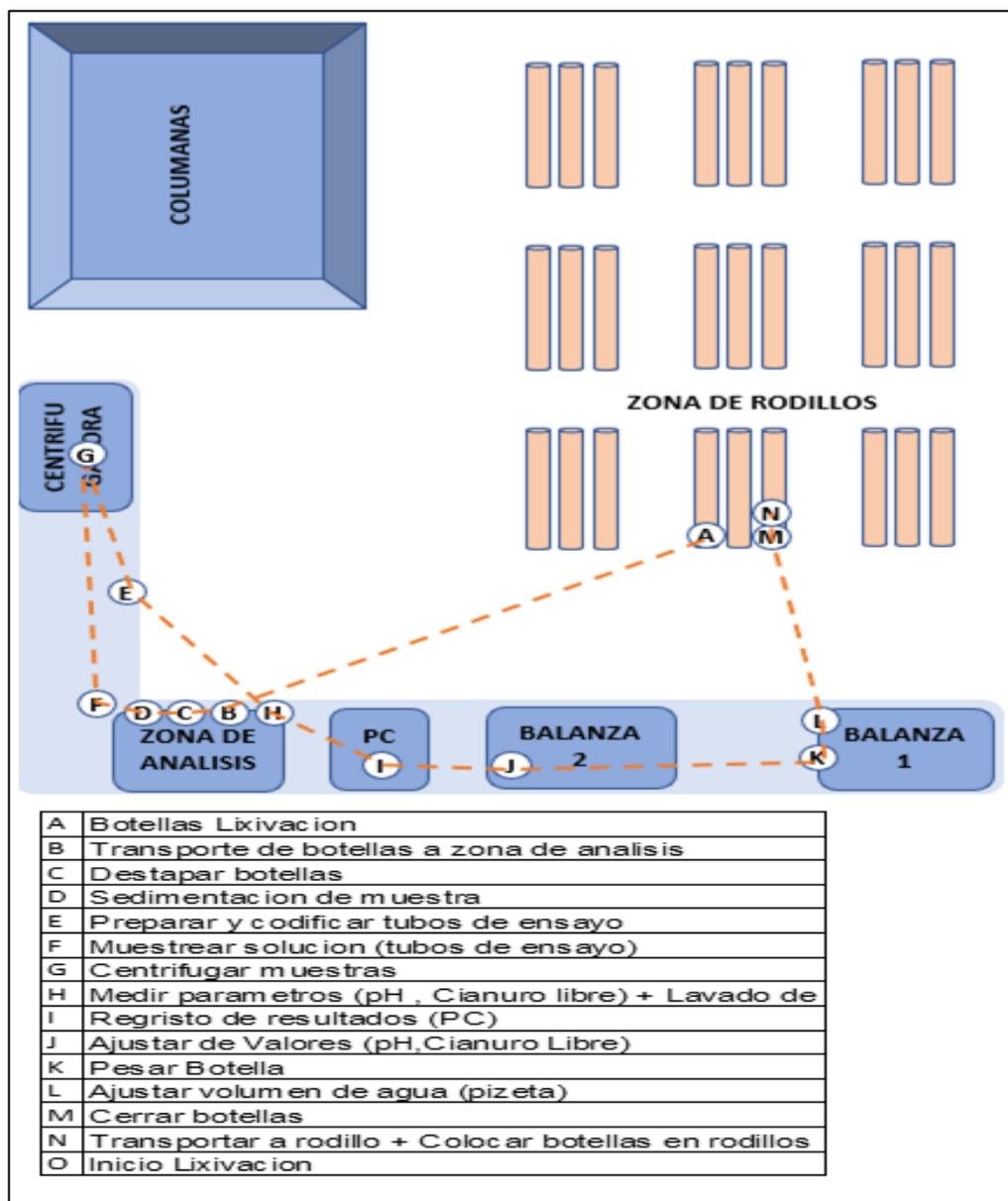
Nota: la figura anterior muestra el cursograma analítico - diagnostico actual - etapa de monitoreo - julio 2019

Según el cursograma analítico, se muestra que la actividad de medición de parámetros es la que más tiempo involucra en esta etapa (13.57 min) y la cual también se encuentra dentro de las causas que generan la baja productividad (selección ponderada) dado que en esta actividad se producen errores en el análisis volumétrico.

En la figura 20, se presenta la distribución actual que tiene el área de lixiviación y el recorrido en la etapa de monitoreo en base al cursograma analítico.

Figura 20

Diagrama de recorrido - diagnostico actual - etapa de monitoreo - julio 2019



Nota: la figura anterior muestra el diagrama de recorrido - diagnostico actual - etapa de monitoreo - julio 2019

Paso 3 Examinar

Con la información registrada y haciendo el uso correcto de las herramientas de registro, se procedió a examinar el modo y el método en que se realizan la etapa de monitoreo y sus actividades. Para esto, se utilizó la técnica del interrogatorio con la finalidad de mejorar y dar solución a esta etapa que generan un tiempo estándar de 46.55 minutos.

De esta manera al aplicar la técnica del interrogatorio a la etapa de monitoreo se pudo observar los problemas. Se realizó ensayos en las pruebas de lixiviación en base a las respuestas obtenidas.

Tabla 9

Técnica de interrogatorio

Prueba	Lixiviación en botellas
Etapa	Monitoreo
Lugar	Área de Lixiviación
Elaborado	Daniel Vargas Celi
Actividad	Descripción
¿Qué se hace?	<p>La etapa de monitoreo es donde se realiza los controles operativos de las pruebas según las horas establecidas dado que se va consumiendo los reactivos (cal y cianuro de sodio) es por eso que se realiza la medición de parámetros : pH (medición con pH metro) y cianuro libre (análisis volumétrico) Por lo tanto, se reponen los reactivos químicos como la cal(Alcalinización) y Cianuro de sodio (Cianuración) para cumplir con los parámetros establecidos en la prueba, es decir mantener el pH alcalino y la concentración establecida de cianuro libre. Es por eso que se extrae una muestra líquida según el tiempo indicado en la prueba que se envía a laboratorio químico.</p> <p>Retirar la botella de Rodillos: Para monitorear las botellas se moviliza las botellas 20 unid.) hacia zona de análisis, donde se colocan para la sedimentación.</p> <p>Muestrear la solución: A cada botella se succiona solución mediante una jeringa conectada a una manguera para extraer la solución y luego agregarlo a sus respectivos tubos de ensayo codificados.</p> <p>Medir parámetros: Se realiza la medición de pH y cianuro en libre a las muestras que se encuentran en los tubos de ensayo. Obtendremos resultados para luego realizar el ajuste del pH y cianuro libre con los reactivos químicos cal y Cianuro de sodio respectivamente.</p>
¿Como se hace?	<p>Registro de mediciones obtenidas: Se registra los datos obtenidos de los análisis en el sistema, en el cual visualizaremos el peso de los reactivos a reajustar.</p> <p>Reajuste de reactivos químicos: Se agrega a cada botella los reactivos químicos en base a los cálculos generados en el sistema. Los reactivos son cal y cianuro de sodio.</p> <p>Pesar la botella: Se pesa la botella en la balanza analítica para reponer el volumen extraído.</p> <p>Reposición de agua en la botella: Se repone con agua para que el peso de la botella se iguale al peso establecido al inicio de la prueba.</p> <p>Colocar las botellas en rodillos: Las botellas se colocan nuevamente en los rodillos para la agitación correspondiente e iniciar el proceso nuevamente según las horas indicadas por el procedimiento.</p>
¿Dónde se hace?	Área de lixiviación
¿Porque lo hacen así?	Se realiza en base al criterio de carácter técnico de como entiende el procedimiento de trabajo sin llegar a la estandarización.
¿Quiénes lo hacen así?	4 técnicos de lixiviación, 1 por guardia
¿Porque se hace de ese modo?	Por la experiencia en el puesto se realiza en base a criterio de cada trabajador.
¿Qué otra cosa podía hacerse?	Estandarizar y mejorar el método de trabajo actual en los 4 técnicos, redistribuir el área para reducir los tiempos de cada actividad.
¿Qué debería hacerse?	Se debería realizar ensayos en base a la prepueta de aplicación de estudio del trabajo.
¿Como debería hacerse?	<p>Debería estandarizarse las actividades de la etapa de monitoreo, examinar las actividades que se realizan para observar si es necesario eliminar algunas y mejorarlas.</p> <p>Redistribuir el área para agilizar el proceso de las pruebas.</p>

Nota. La tabla anterior muestra la técnica de interrogatorio aplicada en la empresa.

Paso 4: Establecer

Con las respuestas obtenidas de la técnica de interrogatorio, se realizó la propuesta de solución para la etapa de monitoreo, se desarrolló las herramientas necesarias para poder incrementar la productividad por consiguiente mejorar los métodos de trabajo en las pruebas de lixiviación en botellas.

A continuación, se detalla las acciones propuestas para los ensayos que se realizaron: El alcance es de 20 botellas (acumulativo en el tiempo), los ensayos tuvieron un periodo de duración de 5 meses.

Acciones a tomar:

Se Reubicaron los equipos como balanzas, computadora, titulador volumétrico, pH metro con el objetivo de tener un flujo continuo de la prueba.

Dentro de la reubicación se amplió la zona de análisis para realizar con mayor efectividad los análisis volumétricos y el espacio sea mayor para colocar las botellas en un orden secuencial.

Se reunió al personal para informar los métodos de cómo se realizará las actividades en los ensayos, basándose en los criterios del técnico de mayor experiencia se logró estandarizar parte de la operación.

Se realizo la nueva medida del trabajo al técnico con mayor experiencia en las pruebas de lixiviación en botellas para observar la variación de los tiempos estándar en las actividades y constatar la disminución de estos en la operación (setiembre 2019).

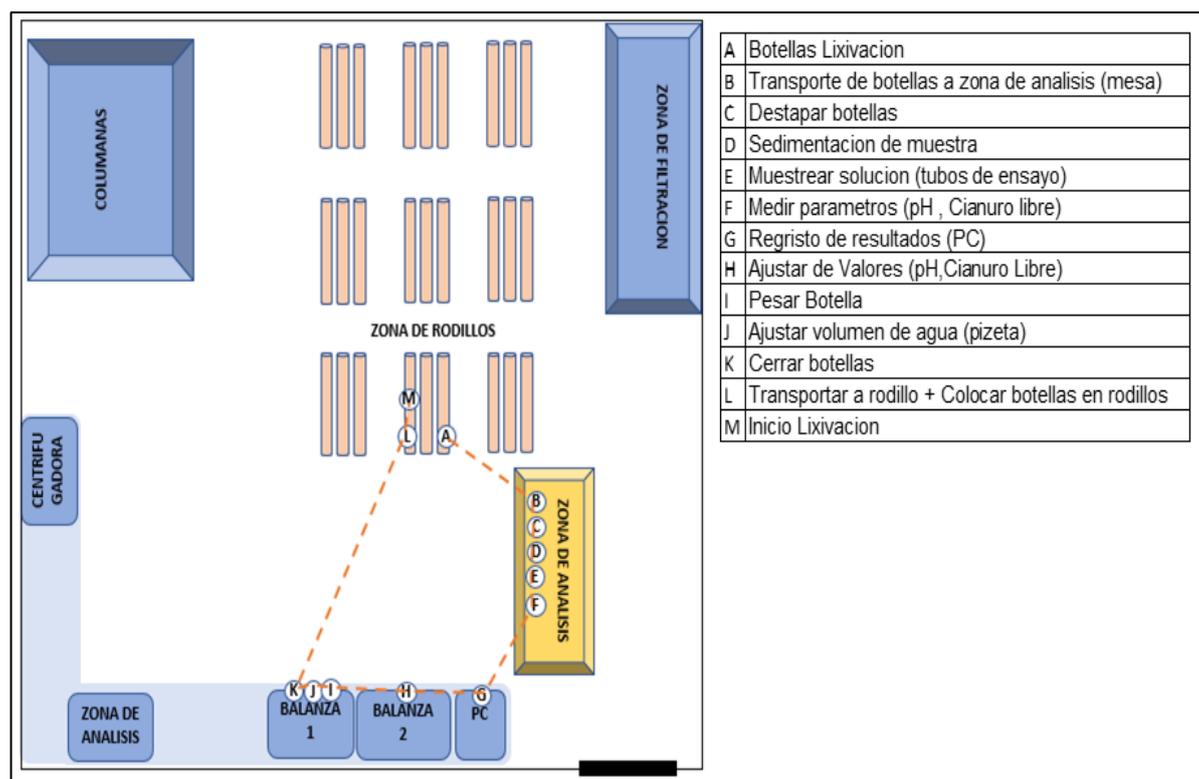
Se incremento el material de vidrio para agilizar los análisis volumétricos (un vaso de pírrex por botella) y se adiciono un dispensador de agua graduado para reponer el volumen de agua.

Ensayos en base las acciones propuestas.

Inicialmente se puede observar en el diagrama siguiente que el recorrido en la etapa de monitoreo se redujo dado que en los ensayos propuestos la distribución del área se realiza en base a un flujo continuo de la operación. La ampliación de la zona de análisis donde se encuentra los equipos de monitoreo facilita la colocación del grupo botellas en la zona de análisis además de los métodos propuestos por el personal, agilizando así las labores del técnico.

Figura 21

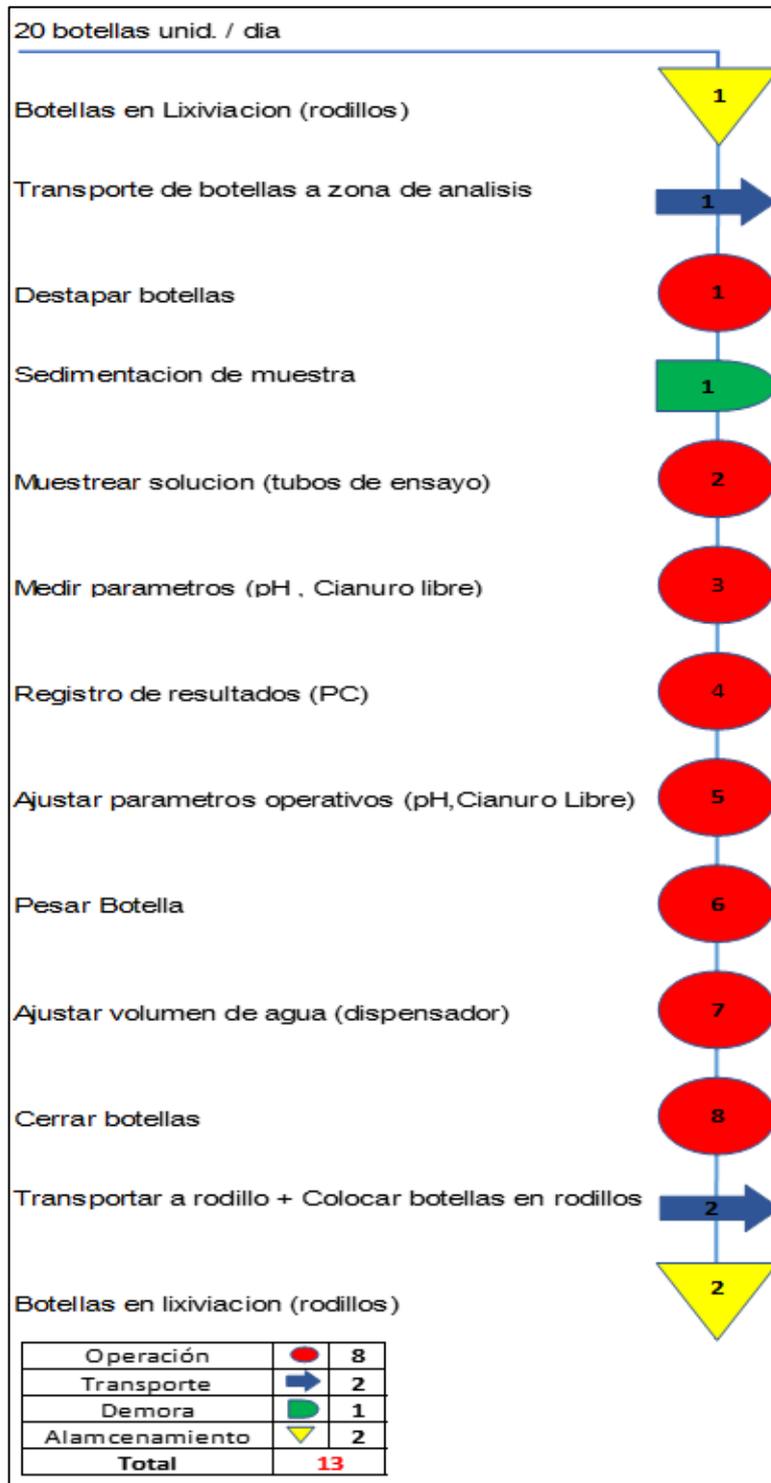
Diagrama de recorrido - diagnostico actual - etapa de monitoreo - septiembre 2019



Nota. La figura anterior muestra el diagrama de recorrido - diagnostico actual - etapa de monitoreo - septiembre 2019

Figura 22

Diagrama de operaciones DOP etapa de monitoreo ensayos aplicación estudio del trabajo septiembre 2019



Nota. La figura anterior muestra el diagrama de operaciones DOP etapa de monitoreo ensayos aplicación estudio del trabajo septiembre 2019

Se puede observar en la figura anterior se ha eliminado las actividades como preparar/codificar tubos de ensayo además de la centrifugación.

Tabla 11

Tiempo estándar - ensayos Setiembre 2019

Actividad	TIEMPO ESTANDAR
Transporte de botellas a zona de análisis (mesa)	1.12
Destapar botellas	1.02
Sedimentación de muestra	3.59
Muestrear solución (tubos ensayo)	3.58
Medir parámetros (pH, Cianuro libre)	8.44
Registro de resultados (PC)	3.24
Ajustar de Valores (pH, Cianuro Libre)	3.59
Pesar Botella	2.58
Ajustar volumen de agua (dispensador automático)	2.10
Cerrar botellas	1.33
Transportar a rodillo + Colocar botellas en rodillos	1.16
TOTAL	34.25 min

Nota. La tabla anterior muestra el tiempo estándar - ensayos Setiembre 2019

La medida del trabajo se realiza al técnico con mayor experiencia en el cargo (setiembre 2019) para observar la variación de los tiempos estándar en las actividades. El tiempo estándar calculado (Anexo 2) para realizar la etapa de monitoreo fue de 34.25 minutos.

En base a los resultados obtenidos se desarrolló el cursograma analítico de la etapa de monitoreo. (ver figura siguiente)

Figura 23

Cursograma analítico ensayos de aplicación de estudio de trabajo- etapa de monitoreo 20 botellas de lixiviación - mes setiembre 2019

CURSOGRAMA ANALITICO - ETAPA DE MONITOREO - MES SETIEMBRE 2019 - GUARDIA B					
Objeto: Pruebas de lixiviacion en botellas	Resumen				
	Actividad				Actual
Actividad: Etapa de monitoreo	Operación				8
Método: Actual/Propuesto	Transporte				2
Lugar: Laboratorio Metalurgico	Inspeccion				0
Operario (s): D. Vargas	Demora				1
	Almacenamiento				2
Ficha núm: 1	Total				13
Compuesto por:	Distancia (m)				1.2
Aprobado por:	Personal				Tecnico
Fecha: 9/2019	Total				1
Descripción	Cantidad	Tiempo	Distancia	Simbolo	
Botellas Lixivacion	20			●	
Transporte de botellas a zona de analisis (mesa)	20	1.12	1.2	→	
Destapar botellas	20	1.02		●	
Sedimentacion de muestra	20	3.59		●	
Muestrear solucion (tubos de ensayo)	20	3.58		●	
Medir parametros (pH , Cianuro libre)	20	8.44		●	
Regristo de resultados (PC)	20	3.24		●	
Ajustar de Valores (pH,Cianuro Libre)	20	3.59		●	
Pesar Botella	20	2.58		●	
Ajustar volumen de agua (dispensador)	20	2.10		●	
Cerrar botellas	20	1.33		●	
Transportar a rodillo + Colocar botellas en rodillos	20	1.16	1.2	→	
Inicio Lixivacion	20			●	
Total (min)		34.25			

Nota. La figura anterior muestra el cursograma analítico ensayos de aplicación de estudio de trabajo- etapa de monitoreo 20 botellas de lixiviación - mes setiembre 2019.

Finalmente, para la etapa de monitoreo el nuevo tiempo estándar es de 34.25 min, verificando que los ensayos realizados mediante la propuesta de aplicación del estudio del trabajo fueron efectivos.

Paso 5: Evaluar

Según lo observado al proponer la aplicación de las acciones en los ensayos por un periodo de 5 meses, se evaluó y se obtuvieron los siguientes resultados.

Figura 24

Indicadores de resumen de Actividades en la etapa de monitoreo

RESUMEN				
Actividades		Antes	Despues	Diferencia
Operación	●	9	8	1
Transporte	➔	2	2	0
Demora	⏸	2	1	1
Alamcenamiento	▼	2	2	0
Total		15	13	2

RESUMEN			
Operación	●	37.42	29.06
Transporte	➔	3.52	1.12
Demora	⏸	5.16	3.59
Alamcenamiento	▼	0	0
Total		46.55	34.25

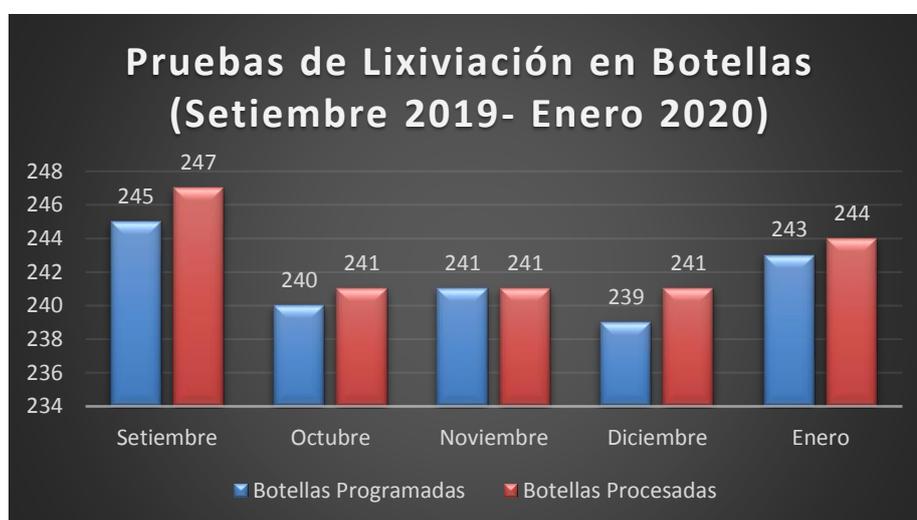
Nota. En la figura 24 se puede observar que en los ensayos se obtuvo una reducción de actividades y de tiempos.

Por lo tanto, la distribución de los equipos e instrumentos de trabajo, la ampliación de la zona de análisis y la metodología de trabajo para mejorar las actividades críticas de la etapa de monitoreo lograron impactar en la productividad.

En base a las acciones planteadas se calculó la productividad en los meses de ensayos de la propuesta de aplicación del estudio del trabajo

Figura 25

Botellas procesadas (ensayos de la propuesta de aplicación de estudio del trabajo)



Nota. Se observa que entre las botellas programadas con respecto a las procesadas existe una ligera variación.

Tabla 12

Eficiencia de ensayos para la propuesta aplicación del estudio del trabajo

Mes	Botellas procesadas	Botellas programadas	Botellas reprocesadas	Eficiencia
Setiembre	247	245	2	99.18%
Octubre	241	240	1	99.58%
Noviembre	241	241	0	100.00%
Diciembre	241	239	2	99.16%
Enero	244	243	1	99.59%
Promedio	242.8	241.6	1.2	99.50%

Nota. La tabla anterior muestra la eficiencia de ensayos para la propuesta aplicación del estudio del trabajo

Tabla 13

Eficiencia de ensayos para la propuesta aplicación del estudio del trabajo

Mes	Costo pruebas procesadas (\$)	Costo de pruebas programadas (\$)	Sobrecostos por reprocesos (\$)
Setiembre	98424.6	97627.6	797.0
Octubre	96033.7	95635.2	398.5
Noviembre	96033.7	96033.7	0.0
Diciembre	96033.7	95236.7	797.0
Enero	97229.1	96830.6	398.5
Promedio	96750.9	96272.8	478.2

Nota. La tabla anterior muestra la eficiencia de ensayos para la propuesta aplicación del estudio del trabajo

Tabla 14

Eficacia de ensayos para la propuesta aplicación del estudio del trabajo

Mes	Costo producción total (\$)	Costo producción planificado (\$)	Costos de sobreproducción (\$)	Eficacia
Setiembre	113581.9	110000	3581.9	96.74%
Octubre	110822.9	110000	822.9	99.25%
Noviembre	110822.9	110000	822.9	99.25%
Diciembre	110822.9	110000	822.9	99.25%
Enero	112202.4	110000	2202.4	98.00%
Promedio	111650.6	110000	1650.6	98.50%

Nota. La tabla anterior muestra la eficacia de ensayos para la propuesta aplicación del estudio del trabajo

Tabla 15

Productividad de ensayos para la propuesta aplicación del estudio del trabajo

Mes	Eficiencia	Eficacia	Productividad
Setiembre	99.18%	96.74%	95.95%
Octubre	99.58%	99.25%	98.84%
Noviembre	100.00%	99.25%	99.25%
Diciembre	99.16%	99.25%	98.42%
Enero	99.59%	98.00%	97.59%
Promedio	99.50%	98.50%	98.01%

Nota. La productividad después de la los ensayos de la propuesta de aplicación del estudio del trabajo resultó en 98.01%

Tabla 16

Resumen del antes y después de los indicadores de productividad

	Antes	Después
Eficiencia	95.32%	99.50%
Eficacia	95.16%	98.50%
Productividad	90.71%	98.01%
% de variación	7.30%	

Nota. La productividad después de los ensayos tuvo un incremento del 7.30 %.

Paso 6: Definir

Una vez culminado los ensayos y habiendo obtenido resultados positivos con la propuesta de aplicación de estudio del trabajo. Se propuso realizar los cambios en el método de trabajo para la etapa de monitoreo, para esto se explicó a detalle la propuesta en base a los ensayos realizados y los beneficios que con llevan:

Figura 26

Propuesta en base al estudio de métodos

PRUEBA		LIXIVIACION EN BOTELLAS		
ETAPA		MONITOREO		
LUGAR		AREA DE LIXIVIACION		
ELABORADO		Daniel Vargas Celi		
Proceso	Causas	Propuesta	Beneficios	
1	Operación	Errores en la medición de analisis volumetricos.	- Estandariza metodo de trabajo en el analisis volumetrico, en base lo acordado por el personal tecnico. Tomando como referencia al personal mas experimentado.	- Analisis volumetricos eficientes.
2	Operación	Falta mejorar los tiempos en la etapa de monitoreo	- El tiempo de sedimentacion se incrementa, al incrementarse se obtendra una solucion clarificada por lo tanto se elimina la actividad de centrifugado. - La codificacion de tubos de ensayo se realiza al iniciar el dia de trabajo , eliminado esta actividad.	- Reduccion de tiempos en las etapa de monitoreo. - Elimina actividades improductivas.
3	Área	Distribución de Equipos e instrumentos	- Colocar los instrumentos de medicion de parametros en la zona de analisis propuesta.	- Se agiliza la medicion de parametros. - Se reduce los tiempos en la etapa de monitoreo. - Analisis volumetricos eficientes.
4	Métodos	Falta estandarizar métodos de trabajo	- Se propone estandarizar los metodos de trabajo de cada una de las actividades.	- Reducir los errores que pueden suceder en la prueba.
5	Área	Distribución del área dificulta las actividades	- Se propone reubicar los rodillos de agitacion para mayor acercamiento a la zona de analisis. - Se propone ampliar la zona de analisis.	- Recorrido del personal en forma secuencial a la etapa de monitoreo, disminuyendo tiempos y recorrido. - Al ampliar la zona se logra colocar el grupo de botellas obteniendo un orden en el cual se agiliza los analisis volumetricos y medicion de parametros , se evita errores por confusion en toma de muestra. - Analisis volumetricos eficientes.
6	Material	Falta material de laboratorio para el análisis de cianuro libre	- Se incrementa el material de analisis para la medicion de cianuro libre para eliminar el lavado de material , que se realizaba paralelamente.	- Se reduce los tiempos en la etapa de monitoreo. - Se agiliza el analisis volumetrico. - Se evita errores en los analisis dado que se tiene un vaso de pyrex por botella. - Analisis volumetricos eficientes.
7	Métodos	Falla en muestreo de soluciones	- Estandariza metodos de trabajo en la toma de muestra en base lo acordado por el personal tecnico.	- Se mejora la eficiencia de trabajo en la etapa de monitoreo. - Analisis volumetricos eficientes.
8	Personal	Falta reforzar el proceso operativo completo.	- Se propone una capacitacion de todos el proceso con un instructor experto, para explicar todo el proceso de las pruebas de lixivacion en botellas, desde el inicio hasta la entrega de informes finales.	- Se logra concientizar en todo el proceso al personal, detallando el proceso, explicando sus objetivos, los calculos, los balances, el informe final y la entrega al area de proyectos.

Nota. La figura actual muestra la propuesta en base al estudio de métodos.

Figura 27

Hoja de instrucciones

PRUEBA	LIXIVIACION EN BOTELLAS
ETAPA	MONITOREO
LUGAR	AREA DE LIXIVIACION
ELABORADO	Daniel Vargas Celi
ACTIVIDAD	DESCRIPCION
Transporte de botellas a zona de analisis (mesa)	<i>Las botellas retiradas de los rodillos se transportan a la mesa de analisis la cual se encuentra a menor distancia y el area de trabajo (mesa amplia) permite colocar todas las botellas en orden.</i>
Destapar botellas	<i>Continuar el mismo metodo</i>
Sedimentacion de muestra	<i>Incrementar el tiempo de sedimentacion para obtener solucion clarificada, por lo tanto se obvia la actividad de centrifugacion.</i>
Muestrear solucion (tubos de ensayo)	<i>Muestrear la soluciones en base al tecnico con mas experiencia (estandarizar), ademas la codificacion de los tubos para las pruebas del dia se realiza al inicio de la guardia.</i>
Medir parametros (pH , Cianuro libre)	<i>Medir parametros en base a la metodologia del tecnico con mas experiencia(estandarizar), se incrementa el material de vidrio para los analisis volumetricos y el lavado del material se realiza al finalizar la prueba.</i>
Registro de resultados (PC)	<i>Continuar el mismo metodo</i>
Ajustar de Valores (pH,Cianuro Libre)	<i>Continuar el mismo metodo</i>
Pesar Botella	<i>Continuar el mismo metodo</i>
Ajustar volumen de agua (dispensador)	<i>Ajustar el volumen de agua con dispensador automatico.</i>
Cerrar botellas	<i>Continuar el mismo metodo</i>
Transportar a rodillo + Colocar botellas en rodillos	<i>Colocar las botellas en los rodillos la cual se encuentra a menor distancia.</i>

Nota. La figura actual muestra la hoja de instrucciones

Paso 7: Implementación

En base a los resultados de los ensayos realizados aplicando el estudio del trabajo, previa evaluación económica, se propone implementar:

Reestructuración y redistribución del área.

Estandarizar métodos de trabajo.

Capacitación de personal por un instructor experto.

El objetivo de la propuesta es incrementar la productividad por lo tanto el número de repeticiones en las pruebas las cuales generan sobrecostos decrecerá.

Paso 8: Controlar

De ser aprobada la propuesta de aplicación del estudio del trabajo en las pruebas de lixiviación en botellas se mantendrá controles en la operación para esto será necesario realizar inspecciones para observar el correcto cumplimiento de lo establecido.

3.3 Evaluación económica de la propuesta.

Para evaluar la factibilidad de la implementación del proyecto, según las herramientas y metodología propuesta, se ha estimado la inversión total del proyecto, la cual se muestra en la tabla 17 representando \$21,737.

Tabla 17

Evaluación de la factibilidad

Concepto	Detalle	Inversión
	Ampliación de zona de análisis	\$ 3,600.00
	Reestructurar zona de equipos	\$ 937.00
Reestructuración del área	Movimientos de rodillos de agitación	\$ 13,000.00
	Conexiones eléctricas	\$ 1,200.00
	Cambios en instalaciones de agua	\$ 1,800.00
Instructor de calidad en operaciones	Experto en mejora de procesos	\$ 1,000.00
	Material para la capacitación	\$ 200.00
Total		\$ 21,737.00

Nota. Evaluación de factibilidad realizada por el autor.

De igual manera la reducción de costos generada por las pruebas repetidas en los meses de ensayos se muestra en la tabla 18, obteniendo una reducción en los sobrecostos y consigo un ahorro al área significativo.

Tabla 18

Comparativo de sobrecostos en cinco meses

Antes de la propuesta	abr-19	may-19	jun-19	jul-20	ago-20	Promedio
Repetición de pruebas	11	12	10	11	12	11.2
Sobrecostos (\$)	4383.28	4781.76	3984.8	4383.28	4781.76	4462.976
Propuesta de Ensayos	Set-19	oct-19	nov-19	dic-19	ene-20	nov-19
Repetición de pruebas	2	4	2	3	1	2.4
Sobrecostos (\$)	796.96	1593.92	796.96	1195.44	398.48	956.352
Ahorro Total Promedio por mes						\$ 3,506.62

Nota. Comparativo de sobrecostos en cinco meses realizada por el autor.

Al realizar una estimación del ahorro que se generaría en el transcurso de un año para un promedio de 3500 dólares por mes obtendríamos un ahorro de aproximadamente 42 000 dólares al año. Este sería también la base para reducir costos de operación en las otras pruebas que se realizan en el área de lixiviación lo cual incrementaría la eficiencia en el proceso y por lo tanto la reducción generada por los costos operativos en el área en general.

Análisis económico financiero

En los siguientes cálculos se detallan los flujos tanto ahorros y egresos que tiene la empresa durante el periodo de 5 años, para esto es necesario el cálculo de la tasa de descuento (WACC) el cual nos va a permitir calcular el valor actual neto (VAN) y la tasa de interna de retorno (TIR).

Para poder desarrollar el flujo de caja, es necesario la obtención del WACC% (Costo del Capital Promedio Ponderado), para ello se requiere de los siguientes datos:

Tabla 19

Fuente de información para cálculo del WACC

Fuente de financiamiento	% Participación	Tasa Anual %	IM. Renta %
Patrimonio	60	16	30
Deudas (bancos)	40	12	

Nota. La tabla anterior muestra las fuentes de información para cálculo del WACC

WACC = $W_d * K_d * (1-t) + W_p * K_p$

Donde:

Wd : % participación de la deuda financiera.
 Kd : Tasa de la deuda financiera.
 T : Tasa de impuesto
 Wp : % participación del patrimonio.
 Kp : Tasa esperada por los accionistas.

Ecuación 6. WACC

$$\text{WACC (anual)} = (40\% * 12\%) * (1-30\%) + (60\% * 16\%) = 12.96\%$$

Flujo de caja

Se desarrolla el flujo de caja para la propuesta de aplicación del presente proyecto, durante el periodo de 5 años.

F0: Inversión inicial (periodo 0)

F1 al F5: Flujo neto anual (5 años)

K: Tasa de descuento anual: WACC: 12.96%

Tabla 20

Flujo de caja en dólares

	Años					
	0	1	2	3	4	5
Total de Ahorro Anual		42,079.44	42,079.44	42,079.44	42,079.44	42,079.44
Total de Egresos		14,000.00	14,100.00	14,200.00	14,300.00	14,400.00
Renovación de Materiales		2,000.00	2,100.00	2,200.00	2,300.00	2,400.00
Costo Operador Apoyo		12,000.00	12,000.00	12,000.00	12,000.00	12,000.00
Inversión	21,737.00					
Flujo Neto	-21737.00	28,079.44	27,979.44	27,879.44	27,779.44	27,679.44

Nota. La tabla anterior muestra el flujo de caja de la evaluación financiera.

Cálculo de valor actual neto (VAN):

$$VAN = F_0 + \frac{F_1}{(1+k)^1} + \frac{F_2}{(1+k)^2} + \frac{F_3}{(1+k)^3} + \frac{F_4}{(1+k)^4} + \frac{F_5}{(1+k)^5}$$

Ecuación 7. VAN

Tabla 21

Cálculo del VAN

VAN=	-21737	28079.44	27979.44	27879.44	27779.44	27679.44
		1.1296	1.27599616	1.441365262	1.6281662	1.83917654
VAN=	\$ 76502.48					

Nota. La tabla anterior muestra el cálculo de VAN.

VAN= \$ 76,502.48

Como VAN > 0, por lo tanto, el proyecto es aceptable.

Cálculo de la tasa interna de retorno (TIR):

$$0 = -\text{Inversión Inicial} + \frac{CF_1}{(1+i)^1} + \frac{CF_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{CF_n}{(1+i)^n}$$

Ecuación 8. TIR

Tabla 22

Cálculo de la TIR

0=	-21737	28079.44	27979.44	27879.44	27779.44	27679.44
		1	1	1	1	1
TIR = 127%						

Nota. La tabla anterior muestra el cálculo de la TIR.

TIR = 127 % > 12.96%

Como TIR > Tasa de descuento anual, por lo tanto, el proyecto es aceptable.

Tabla 23

Cálculo de Costo – Beneficio en dólares

(B) Valor actual de beneficios	148,147.68	
Valor Actual de Costos	49,908.21	21,737.00
(C) Costo total	71,654.21	
Beneficio / costo	2.07	

Nota. La tabla anterior muestra el cálculo de Costo – Beneficio

La razón Beneficio costo es de 2.07 dólares, esto quiere decir que por cada dólar invertido se está generando 2.07 dólares como ingresos.

3.3.1. Análisis inferencial

Prueba de hipótesis

Para la prueba de hipótesis, se realizó inicialmente la prueba de normalidad de Shapiro Wilk, por tratarse de datos menores que 30.

Las hipótesis planteadas para la prueba de normalidad fueron:

H0: Los datos de la productividad del laboratorio metalúrgico de una empresa minera siguen una distribución normal

H1: Los datos de la productividad del laboratorio metalúrgico de una empresa minera no siguen una distribución normal.

El software estadístico SPSS arrojó los resultados siguientes:

Figura 28

Pruebas de normalidad

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Diferencia	,210	5	,200*	,906	5	,443

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.
a. Corrección de significación de Lilliefors

Nota. Como se puede observar el nivel de significancia en la prueba Shapiro – Wilk, es mayor que 0.05, por lo que se acepta la hipótesis nula, es decir los datos de la productividad siguen una distribución normal.

A continuación, se procedió a realizar la prueba t-student para contrastar la hipótesis.

Las hipótesis utilizadas se muestran a continuación:

H0: La propuesta de aplicación mediante el estudio del trabajo no incrementará la productividad en las pruebas de lixiviación en botellas en el laboratorio metalúrgico.

H1: La propuesta de aplicación mediante el estudio del trabajo incrementará la productividad en las pruebas de lixiviación en botellas en el laboratorio metalúrgico.

Los resultados de la prueba t-student se muestran a continuación:

Figura 29

Pruebas de muestras emparejadas

		Prueba de muestras emparejadas								
		Diferencias emparejadas								
		Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)	
					Inferior	Superior				
Par 1	Antes - Después	-,0730800	,0129650	,0057981	-,0891782	-,0569818	-12,604	4	,000	

Nota. El nivel de significancia que resulta de la prueba t student 0.00 es menor que 0.05, lo que nos indica que se rechaza la hipótesis nula. Podemos concluir que la propuesta de aplicación basada en el estudio del trabajo incrementará la productividad la productividad en las pruebas de lixiviación en botellas en el laboratorio metalúrgico.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión

El estudio se realizó en un laboratorio metalúrgico y tuvo como objetivo principal el incremento de la productividad, mediante la propuesta de aplicación del estudio.

Debemos mencionar que a pesar de realizar una búsqueda exhaustiva de trabajos previos no se encontraron similares, sólo estudios elaborados en otras áreas de la minería, pero que de todas maneras sirvieron de base para esta investigación, es así que tenemos los trabajos de Vega (2019) y Alva (2019) quienes lograron incrementar la productividad en la zona de acarreo y carguío. Del mismo modo Calua (2019) quien obtuvo un ahorro de 174 dólares al día después de realizar la mejora. Con respecto a esta investigación se coincide en el incremento de la productividad, pero se observa que este trabajo se realizó en el área del laboratorio de lixiviación de un laboratorio metalúrgico, por ende, la dificultad de realizar una adecuada comparación.

Lo anterior es avalado por los autores Krajewski, Ritman y Malhotra (2015), que afirman que la mejora de los métodos de trabajo garantiza que las empresas cumplan con los pedidos de los clientes, teniendo una visión general del negocio e incrementando la productividad.

4.2 Conclusiones

En base a los resultados obtenidos podemos concluir:

Mediante la propuesta de aplicación del estudio del trabajo en las pruebas de lixiviación en botellas se logró incrementar la productividad en 7.3%.

Al diagnosticar la situación problemática de las pruebas de lixiviación en botellas en un laboratorio metalúrgico, se concluyó que los inadecuados métodos de trabajo, falta de estandarización de operaciones e inadecuada distribución de las instalaciones fueron los principales problemas. Del mismo modo el índice de productividad se determinó en 90.71%.

En la propuesta de aplicación del estudio del trabajo se examinó el proceso de las pruebas de lixiviación en botellas logrando identificar la etapa crítica del proceso, se planteó realizar ensayos en base al estudio de métodos y medida del trabajo además de la redistribución del área para conseguir reducir los tiempos de operación en la etapa crítica de monitoreo por lo tanto también en toda la prueba. También se estandarizo los métodos de trabajo en las actividades.

Con todo lo propuesto se logró facilitar al técnico el recorrido del área durante las pruebas de lixiviación en botellas por lo tanto agilizar el proceso obteniendo resultados como el de reducir las actividades en la etapa crítica de monitoreo de 15 a 13 por lo consiguiente la disminución del tiempo estándar de 46.55 a 34.25 minutos. Se logra incrementar la productividad en las pruebas de lixiviación en botellas en 98.01%.

En la evaluación económica nos dio como resultado una estimación del ahorro de 3500 dólares por mes. Así también para la implementación del proyecto en base a la

reestructuración del área y un capacitador experto además de las herramientas y metodología propuesta se ha estimado la inversión total \$21,737. En cuanto a indicadores financieros, el proyecto tiene una TIR de 127% y un VAN DE \$ 76,502.48, siendo viable financieramente.

Por lo tanto, mediante la propuesta de aplicación del estudio del trabajo se incrementó la productividad en las pruebas de lixiviación en botellas, en tanto a la implementación del proyecto se plantea para ser aprobado y ejecutado.

REFERENCIAS

- Alva, A. (2019). *Mejora de métodos de trabajo en la productividad del ciclo de carguío y acarreo de minerales tajo La Quinoa-Yanacocha*. Trujillo - Perú: Universidad Nacional de Trujillo.
- Andina. (12 de febrero de 2020). *Perú primeros lugares en ranking mundial de producción y reservas mineras*. Obtenido de <https://andina.pe/agencia/noticia-peru-primeros-lugares-ranking-mundial-produccion-y-reservas-mineras-784854.aspx>
- Calua, F. (2019). *Propuesta de minimización de tiempos improductivos para una mayor producción en carguío y acarreo en Cia. Minera Coimolache S.A.* Cajamarca - Perú: Universidad Nacional de Cajamarca.
- Caso, A. (2006). *Técnicas de medición del trabajo (2da edición)*. España: FC Editorial.
- Castro, D. (2018). *Aplicación del método de estudio de tiempos para actualizar el tiempo estándar de perforación en la fase de extracción Minera Arcata*. Cajamarca – Perú: Universidad Privada del Norte.
- Chappa, M. (2018). *Implementación de una nueva tecnología para mejorar la productividad de una empresa metalúrgica, Lima – 2018*. Lima - Perú: Universidad Norbert Wiener.
- Flor, C. (2017). *Propuesta de mejora en los procesos de recepción de muestras de concentrados para el incremento de la productividad. Caso de una empresa de servicios que certifica la ley de composición en los minerales*. Lima - Perú: Universidad San Ignacio de Loyola.
- García, C. (2005). *Estudio del trabajo. Ingeniería de métodos y medición del trabajo. (Segunda edición)*. México: Mc Graw Hill.
- Gutarra, F. (2015). *Introducción a la ingeniería industrial*. Huancayo - Perú: Editorial Universidad Continental.
- Hernández, Fernández y Baptista. (2010). *Metodología de la investigación (Quinta edición)*. México: Mcgraw-Hill.
- Kanawaty, G. (1993). *Introducción al estudio del trabajo. (4ta edición)*. Ginebra: Organización Internacional del Trabajo.
- Oliveria Da Silva, R. (2002). *Teorías de Administración*. España: Editorial International Thomson S.A.
- Valderrama, S. (2005). *Técnicas e instrumentos para obtención de datos en la investigación científica*. Lima - Perú: Editorial San Marcos.
- Vara, A. (2012). *Siete pasos para una tesis exitosa*. Lima - Perú: Editorial Universidad San Martín de Porres.
- Vega, J. (2019). *Incremento de la productividad en el tonelaje movido mediante la aplicación de la mejora de métodos en una empresa minera*. Lima - Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

ANEXOS

Anexo 1 - Método de la selección ponderada

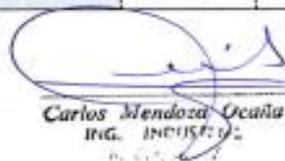
SELECCION DE CAUSAS

Causas de la baja productividad en las pruebas de lixiviación de botellas.

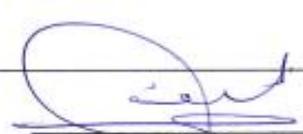
Escala de Valoración		
Importancia	Facilidad	
1	Baja importancia	Dificultad para aplicar
2	Importante	Baja facilidad de aplicar
3	Alta importancia	Mediana facilidad de aplicar
4	Muy alta importancia	Mayor facilidad de aplicar

Causas		IMPORTANCIA	FACILIDAD
1	Operación	Errores en la medición de análisis volumétricos.	
2		Falta mejorar los tiempos en la etapa de monitoreo	
3		Sobrecarga de pruebas	
4	Area	Distribución del área dificulta las actividades	
5		Distribución de Equipos e instrumentos	
6	Procedimientos	Falta mejorar los procedimientos de trabajo	
7		Falla en el procesamiento de datos	
8	Personal	Fatiga por sobrecarga de pruebas	
9		Falta reforzar el proceso operativo completo.	
10	Material	Falta material de laboratorio para el análisis de cianuro libre.	
11		Mineral inestable en la etapa de alcalinización	
12	Metodos	Falta estandarizar métodos de trabajo	
13		Falla en muestreo de soluciones	
TOTAL			

Elaboración (2019): Daniel Vargas



Carlos Mendoza Ocaña
ING. 180157192

MATRIZ DE EVALUACIÓN DE EXPERTOS				
Título de la investigación:	Propuesta de aplicación del estudio del trabajo para incrementar la productividad en las pruebas de lixiviación en botellas en un laboratorio metalúrgico de una empresa minera, 2019.			
Línea de investigación:	Desarrollo sostenible y gestión empresarial			
El instrumento de medición pertenece a la variable:	Productividad			
Mediante la matriz de evaluación de expertos, Ud. tiene la facultad de evaluar cada una de las preguntas marcando con una "x" en las columnas de SÍ o NO. Asimismo, le exhortamos en la corrección de los ítems, indicando sus observaciones y/o sugerencias, con la finalidad de mejorar la coherencia de las preguntas sobre la variable en estudio.				
Ítems	Preguntas	Aprecia		Observaciones
		SÍ	NO	
1	¿El instrumento de medición presenta el diseño adecuado?	x		
2	¿El instrumento de recolección de datos tiene relación con el título de la investigación?	x		
3	¿En el instrumento de recolección de datos se mencionan las variables de investigación?	x		
4	¿El instrumento de recolección de datos facilitará el logro de los objetivos de la investigación?	x		
5	¿El instrumento de recolección de datos se relaciona con las variables de estudio?	x		
6	¿La redacción de las preguntas tienen un sentido coherente y no están sesgadas?	x		
7	¿Cada una de las preguntas del instrumento de medición se relaciona con cada uno de los elementos de los indicadores?	x		
8	¿El diseño del instrumento de medición facilitará el análisis y procesamiento de datos?	x		
9	¿Son entendibles las alternativas de respuesta del instrumento de medición?	x		
10	¿El instrumento de medición será accesible a la población sujeto de estudio?	x		
11	¿El instrumento de medición es claro, preciso y sencillo de responder para, de esta manera, obtener los datos requeridos?	x		
Sugerencias:				
Nombre completo: Carlos Enrique Mendoza Ocaña DNI: 17806063 Grado: Maestro		 Firma del Experto Carlos Enrique Mendoza Ocaña ING. INDUSTRIAL n. C. 41227		

