

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**“ANÁLISIS ECONÓMICO CONCEPTUAL DEL
APROVECHAMIENTO DE UN DEPÓSITO DE RELAVES
CON CONTENIDO DE ORO MEDIANTE UN PROCESO DE
CONCENTRACIÓN GRAVIMÉTRICO”**

Trabajo de investigación para obtener el grado académico de
Bachiller en Ciencias con mención en Ingeniería de Minas

AUTORES:

Erick Jorge Alberto Yauri Esquivel

Angel David Alvarez Saldaña

ASESORA

Dra. GUZMAN CORDOVA, MARIBEL GIOVANA

setiembre, 2020

ÍNDICE

RESUMEN	1
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	3
1.1. JUSTIFICACIÓN	4
1.1.1. JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA	5
1.1.2. JUSTIFICACIÓN TÉCNICA.....	5
1.1.3. JUSTIFICACIÓN SOCIAL.....	6
1.1.4. JUSTIFICACIÓN AMBIENTAL.....	6
1.2. ANTECEDENTES.....	6
1.2.1. ANTECEDENTES NACIONALES	6
1.2.2. ANTECEDENTES INTERNACIONALES.....	8
1.3. OBJETIVOS	8
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	8
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	9
1.4. HIPÓTESIS.....	9
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.....	10
2.1. ASPECTO ECONÓMICO	11
2.1.1. VAN	11
2.1.2. TIR	12
2.1.3. BENEFICIO-COSTO	12
2.1.4. PERIODO DE RECUPERACIÓN INVERSIÓN.....	13
2.1.5. LEY DE CUT-OFF.....	14
2.1.6. COSTOS DE PRODUCCIÓN	17
2.2. ASPECTO TÉCNICO.....	18
2.2.1. BALANCE METALÚRGICO	18
2.2.2. GRAVIMETRÍA	20
2.3. VARIABLES DE INFLUENCIA EN EL PROCESO DE CONCENTRACIÓN.....	23
CAPÍTULO 3. METODOLOGIA	25
DIAGRAMA DE FLUJO	25
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	26
3.2. NIVEL DE INVESTIGACIÓN	26
3.3. METODOLOGÍA PROPUESTA.....	26
CAPÍTULO 4. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA	35
4.1. CARACTERIZACIÓN DEL RELAVE.....	35
4.1.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICA DEL RELAVE.....	35
4.1.2. CARACTERIZACIÓN GRANULOMETRÍA	36
4.1.3. DESCRIPCIÓN DE PARÁMETROS METALÚRGICOS.....	36
4.2. RECOPIACIÓN DE VARIABLES INDEPENDIENTES	37

4.2.1.	RECUPERACIÓN METALÚRGICA	37
4.2.2.	COSTOS TOTAL	37
4.2.3.	TABLA RESUMEN REC-COSTO OPERATIVO: BREAK EVEN CUT OFF	42
4.3.	ANÁLISIS ECONÓMICO VINCULADO A VARIABLES TÉCNICAS	46
4.3.1.	ANÁLISIS VAN	47
4.3.2.	ANÁLISIS TIR.....	48
4.3.3.	ANÁLISIS BC	49
4.3.4.	ANÁLISIS PRI.....	50
4.4.	SELECCIÓN DE CASO CON MAYOR VALOR AL PROYECTO	51
4.5.	EVALUACIÓN A NUEVA CAPACIDAD DE PROCESAMIENTO	51
4.6.	RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS ECONÓMICOS	53
4.6.1.	COMPARACIÓN DE VALORES ÓPTIMOS DEPENDIENTES A LA CAPACIDAD DE PROCESAMIENTO	53
4.6.2.	CASO ÓPTIMO	54
4.7.	PUNTOS CLAVE DE MEJORA DEL PROYECTO	55
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y OBSERVACIONES		57
5.1.	CONCLUSIONES	57
5.2.	RECOMENDACIONES	58
BIBLIOGRAFÍA.....		59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Cartera de Proyectos Invertidos en el Perú	4
Figura 2.	Enfoques de Evaluación Analizados por Grupos de Influencia Directa.....	5
Figura 3.	Reporte Anual de Minsur Clasificado en Recursos y Reservas	7
Figura 4.	Equipos y Maquinaria procesando relaves del proyecto B2 Minsur	7
Figura 5.	Instalaciones de Minera del Valle Central Dedicadas al Procesamiento de Relaves	8
Figura 6.	Principales Stakeholders Clasificados Según su Grupo de Influencia	9
Figura 7.	Escenarios operativos de la Ley de Corte	16
Figura 8.	Ciclo de minado en una operación minera.....	18
Figura 9.	Criterio de concentración de Taggart.....	21
Figura 10.	Ciclo operativo de un concentrador Knelson	22
Figura 11.	Ciclo operativo de un concentrador Falcon.....	23
Figura 12.	Regresión multivariable 3D- Curvas de nivel.....	33
Figura 13.	Indicador VAN para diferente ley cut off a partir de la sensibilidad	56
Figura 14.	Indicador TIR para diferente ley cut off a partir de la sensibilidad	56

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Costos operativos por densidad de flujo, malla y fuerza.....	28
Tabla 2.	Recuperaciones metalúrgicas por densidad de flujo, malla y fuerza.....	28
Tabla 3.	Balance metalúrgico del proceso.....	29
Tabla 4.	Flujo de caja del proyecto.....	30
Tabla 5.	Análisis TIR en función de la densidad, malla y fuerza	31
Tabla 6.	Análisis VAN en función de la densidad,malla y fuerza	31
Tabla 7.	Análisis BC en función de la densidad,malla y fuerza.....	32
Tabla 8.	Análisis PRI en función de la densidad, malla y fuerza.....	32
Tabla 9.	Variables como punto de mejora	34
Tabla 10.	Características del relave	35
Tabla 11.	Distribución mineralógica del relave	35
Tabla 12.	Evaluación a diferentes densidades de flujo.....	36
Tabla 13.	Recuperaciones metalúrgicas a diferentes densidades de flujo trabajada	37
Tabla 14.	Costos fijos y variables incurridos en la evaluación	38
Tabla 15.	Cotizaciones de costos por servicios, Perú 2019.....	38
Tabla 16.	Consumo de agua generado por el concentrador y demanda en el proceso	39
Tabla 17.	Demanda de agua en el proceso.....	39
Tabla 18.	Rendimientos y potencia de molino necesarios para cada capacidad de Planta	39
Tabla 19.	Costo total para una capacidad de 150TMD.....	40
Tabla 20.	Costo total para una capacidad de 250TMD.....	40
Tabla 21.	Costo total para una capacidad de 350TMD.....	41
Tabla 22.	Costo total para una capacidad de 450TMD.....	41
Tabla 23.	Break Even Cut off para una capacidad de 150TMD.....	42
Tabla 24.	Break Even Cut off para una capacidad de 250TMD	43
Tabla 25.	Break Even Cut off para una capacidad de 350TMD.....	44
Tabla 26.	Break Even Cut off para una capacidad de 450TMD	45
Tabla 27.	Análisis VAN para una capacidad de 350TMD	47
Tabla 28.	Análisis TIR para una capacidad de 350TMD.....	48
Tabla 29.	Análisis BC para una capacidad de 350TMD	49
Tabla 30.	Análisis PRI para una capacidad de 350TMD	50
Tabla 31.	Cinco mejores y peores casos del análisis a una capacidad de 350 TPD.....	51
Tabla 32.	CAPEX total de equipos para diferente capacidad de planta.....	52
Tabla 33.	Cinco mejores y peores casos del análisis a una capacidad de 150 TPD.....	52
Tabla 34.	Cinco mejores y peores casos del análisis a una capacidad de 250 TPD.....	52

Tabla 35. Cinco mejores y peores casos del análisis a una capacidad de 450 TPD.....	53
Tabla 36. Valores óptimos por capacidad de Planta.....	53
Tabla 37. Variación respecto a una capacidad de 350TMD	54
Tabla 38. Análisis a relación de leyes de 1.9 a 2.4 gr/TM respecto al caso optimo	56

RESUMEN

Dado el panorama actual que vive el Perú, es fundamental incentivar la realización de nuevos proyectos que permitan agregar valor a las empresas enfocado al reaprovechamiento de relaves, sobre todo, cuando el sector minero se encuentra afectado por diversos problemas sociales vinculados a pasivos ambientales.

En base a lo mencionado, este trabajo se encuentra enfocado en evaluar la viabilidad económica a manera conceptual utilizando una metodología holística propuesta para la recuperación de oro libre en un depósito de relaves. Para ello, se utilizará aspectos económicos, como es el uso de indicadores económicos y ley de corte, y técnicos, como el análisis de parámetros operativo en la concentración de minerales, que permitirán evaluar el desarrollo del proyecto.

La metodología propuesta busca encontrar el caso óptimo que genere el valor económico máximo al proyecto vinculado a parámetros operativos. Para ello, esta se encuentra esquematizada de la siguiente manera: a) caracterización de relaves, b) selección de variables independiente, c) procesamiento de data, d) análisis económico, e) selección de caso óptimo, f) evaluación a una nueva capacidad de procesamiento, g) comparación de casos óptimos y h) determinación de puntos clave de mejora del proyecto.

Para poder corroborar la viabilidad económica del retratamiento de relaves auríferos utilizando la metodología propuesta, en el presente trabajo, se utilizó como caso base los datos experimentales obtenidos del retratamiento de relaves con una ley promedio de 16.32 gr/tm ubicados en la zona de Limbani Puno, en la comunidad de Canu Canu, presentados por Javier Antonio Morales Valdivia. Los cuales fueron procesados para poder establecer los costos de capital y operativos mediante el uso bench marking, análisis de mercado, regresiones multivariables, entre otros; para 4 diferentes capacidades de procesamiento: 150, 250, 350, 450 TPD asumiendo 620000 toneladas de reservas.

A partir de la aplicación de la metodología se analizaron alrededor de 189 casos para cada capacidad de procesamiento, del cual se obtuvo que el caso óptimo que genera mayor valor al proyecto se da a una capacidad de 450 TPD trabajando a una densidad 1.465 gr/cm³, fuerza en el concentrador centrífugo de 90G y a una malla de 200 con una ley de corte de 1.128 gr/tm. A partir de ello, se realizó una análisis de sensibilidad con lo cual se obtuvo que

el proyecto era rentable a una ley superior de 1.9 gr/tm en los relaves, con un VAN \$64,881.23, TIR 23.24%.

El trabajo consta de 5 capítulos, los cuales serán descritos a continuación.

Capítulo I: En este capítulo se hace mención a la justificación técnica, económica, social y ambiental de la investigación, avocando a los principales objetivos en la cual pretende enfocarse.

Capítulo II: En este capítulo se enfoca a desarrollar la estrategia experimental pretendida a utilizar en el Marco Teórico, definiendo las variables dependientes/independientes utilizadas en la metodología.

Capítulo III: En este capítulo se disgrega la metodología empleada en la investigación, la cual posee 2 etapas: técnico y económico.

Capítulo IV: En este capítulo se realiza la aplicación de la metodología, con lo cual se consigue obtener el caso óptimo.

Capítulo V: En este capítulo se realiza las conclusiones, recomendaciones y observaciones entorno a la aplicación de metodología holística propuesta y el caso de estudio.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

Uno de los temas de mayor controversia que se han debatido tanto nacional e internacionalmente es la explotación de los recursos no renovables y el impacto negativo que conlleva su explotación sin un planeamiento estratégico a priori. Es así, que uno de los principales autores más criticados y afectados económicamente es la actividad minera; no obstante, en la actualidad, existen diferentes normas y leyes que permiten tener una extracción más amigable con el medio ambiente, minimizando los impactos que pueda producir la industria minera.

Es así que el reaprovechamiento de relaves, con leyes que para su época eran inviables, pero que para la actualidad son factibles, surge como una idea innovadora que permite generar una mayor rentabilidad a las empresas en producción, sino también incentivar la inversión en el tratamiento de los residuos mineros, con lo cual se lograría reducir los inventarios de los pasivos ambientales mineros como también mejorar el control y monitoreo de estos.

Sin embargo, no todos relaves poseen las características necesarias para poder ser reprocesados como es la ley mínima, porcentaje de contaminantes, tonelaje, granulometría entre otros. Es así, que nace la necesidad de realizar un análisis económico previo vinculado a los parámetros metalúrgicos de recuperación utilizados en los concentradores gravimétricos para el retrainamiento, principalmente, enfocados en relaves auríferos.

El análisis conceptual económico del retratamiento de relaves auríferos se basa en los tres pilares importantes, los cuales son los siguientes: económico, técnico, social y ambiental.

En el enfoque económico no solo se basa en la necesidad de acrecentar la rentabilidad de la empresa incrementando la recuperación sino también a la obligación de generar nuevos proyectos de inversión, con el objetivo de reactivar la economía nacional, más aún cuando los precios de los metales se ven afectados por alta incertidumbre que se vive a nivel nacional y mundial.

Como enfoque técnico se cuenta con las metodologías clásicas para el retrainamiento de relaves auríferos el cual consta principalmente de 3 etapas: remolienda, separación de fino y gruesos, y finalmente la concentración utilizando equipos Falcón o Nelson. Lo cual

hace posible incrementar la recuperación de minerales precios, principalmente, a partir de sulfuros como la pirita y arsenopirita.

Finalmente, el enfoque social y ambiental se encuentra muy enraizados entre sí, ello se evidencia en los recientes problemas socio-políticos, los cuales se basan en el impacto negativo, principalmente social y ambiental, que genera la minera. Es por ello, que se tiene la obligación promover el retrainamiento de relaves con el fin de reducir el número de inventarios mineros con el objetivo de reducir el impacto visual y promover el bienestar social. Más aun cuando el proceso metalúrgico propuesto es amigable con el medio ambiente a comparación de otros procesos de concentración.

1.1. JUSTIFICACIÓN

Dado el panorama crítico actual que vive el sector minero en el país debido a diversos problemas sociales, es necesario plantear nuevas soluciones y alternativas que reactiven al sector minero, por ende, a la economía peruana. Es así que nace la idea de investigar y estudiar la recuperación de sulfuros a partir del retratamiento de relaves dado el gran tonelaje de pasivos mineros con leyes, que para la actualidad hacen viable su retratamiento como también la necesidad de aumentar la factibilidad de proyectos ya existentes como nuevos y, sobre todo, agregándoles valor a los proyectos que se encuentran en la etapa de producción.

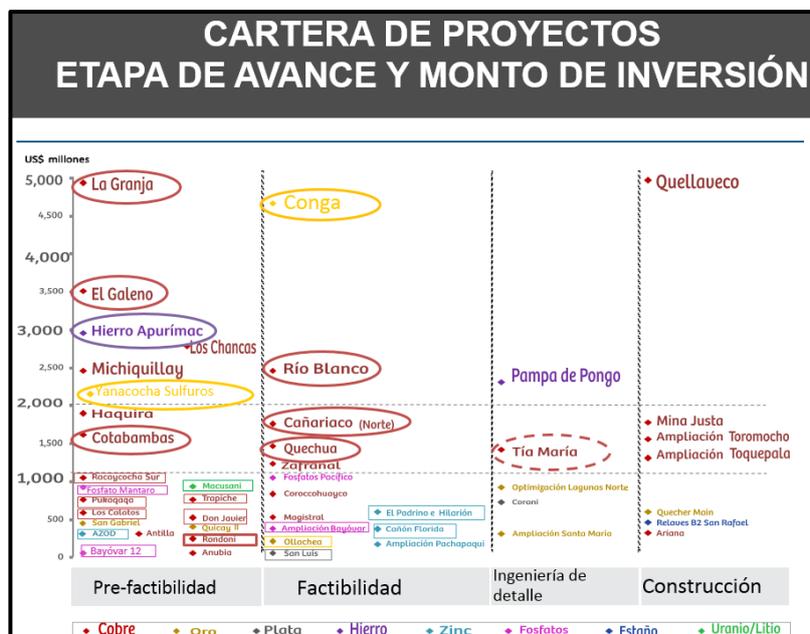


Figura 1. Cartera de Proyectos Invertidos en el Perú
Fuente: Fernando Gala (2019) "Evaluación y desarrollo de proyectos mineros"

1.1.1. JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA

El valor de un yacimiento depende de la generación de flujo de caja neto, el cual debe entenderse como el valor del mineral menos los costos mineros

$$Utilidad = Valor Mineral - Costos - Impuestos \dots (1)$$

$$Valor Mineral = Ley * Recuperación * Precio \dots (2)$$

Por lo tanto, poder maximizar las ganancias es necesario o reducir los costos y/o aumentar el valor del mineral. El ultimo parámetro es posible maximizarlo solo si se aumenta la recuperación dado que las otras variables, ley y precio, están fuera del alcance operativo. En cuanto a los costos, principalmente variables, se encuentran centrados en los procesos operativos los cuales pueden ser reducidos variando los parámetros operativos con el objetivo de encontrar el punto óptimo entre el % de recuperación y los costos operativos que me brinden la mayor utilidad.

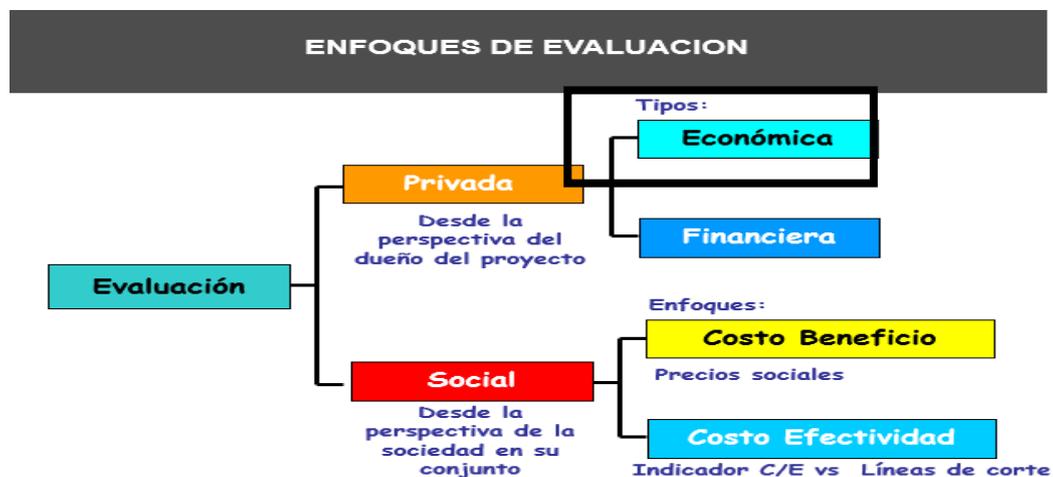


Figura 2. Enfoques de Evaluación Analizados por Grupos de Influencia Directa
Fuente: Fernando Gala (2019) "Evaluación de proyectos mineros"

1.1.2. JUSTIFICACIÓN TÉCNICA

Para el proceso de reaprovechamiento de relaves se realizarán variaciones en los procesos unitarios de recuperación para minerales con contenido de oro, con el objetivo de obtener un mayor contenido del elemento en cuestión.

Para aumentar la eficiencia en la fase de recuperación se propone el uso de equipos concentradores tipo Knelson o Falcon, como también, de un molino de bolas. Es así, que con la ayuda de fuerzas centrifugas y a partir de una concentración en base al peso específico se espera obtener una mayor efectividad en la fase de recuperación mineral.

1.1.3. JUSTIFICACIÓN SOCIAL

Las relaciones comunitarias en el Perú juegan un rol importante para las operaciones mineras. De esta manera, el que una empresa empieza a reaprovechar de mejor manera sus relaves y generé activos económicos no solo satisface a la empresa minera, si no, al entorno de la operación. Por tanto, influye directamente con las comunidades generando mayores oportunidades y un menor impacto ambiental.

1.1.4. JUSTIFICACIÓN AMBIENTAL

En el Perú se cuenta con una data histórica del MINEM actualizada al año 2019 de 8448 pasivos ambientales mineros, de los cuales se encontró que 3.95 % corresponde a “Relaves” con un mayor % en los departamentos de Pasco, Lima y Puno (**MINEM: 2019**). De esta manera, es necesario establecer directrices para prevenir, mitigar y disminuir los posibles efectos que el proceso en planta pueda tener con su entorno: comunidades, recursos naturales y/o patrimonio cultural; con un enfoque principal en la reducción de pasivos ambientales mineros.

1.2. ANTECEDENTES

1.2.1. ANTECEDENTES NACIONALES

En el Perú se tiene 9 mil pasivos ambientales documentados hasta el año 2014, los cuales con un adecuado tratamiento tecnológico pueden generar una mayor rentabilidad para la empresa minera o para una empresa externa trate estos relaves. De esta manera, los relaves pasarían a convertirse en un activo económico para las empresas mineras, generando no solo beneficios económicos para las empresas involucradas en el proceso, si no, un beneficio a todos los entornos adyacentes a las operaciones mineras. Sin embargo, en el Perú se cuenta con poca experiencia en los temas de recuperación de relaves; no

obstante, existen empresas mineras que están desarrollando e implementando dichos conceptos para aumentar su producción y rentabilidad como es el caso de MINSUR.

-Reaprovechamiento de Relaves B2

La unidad minera San Rafael perteneciente a la empresa MINSUR cuenta con el proyecto de reaprovechamiento de un contenido de 7'600,000 TM relaves en su depósito B2. Los relaves dentro de la estructura tienen una ley promedio de 1.05% de estaño, de esta manera, permitirá el incremento de producción de toneladas de estaño fino anuales a 45,000 Ton con una vida útil de 9 años. **(Memoria Anual Minsur 2018: 13)**

Tabla. Recursos del Proyecto B2

Clase	Cut-Off Sn %	Kt	Sn %	Contenido Sn t
Medido	0.30	3,886.3	1.10	42,800
Indicado	0.30	3,703.5	1.00	37,100
Total Medido + Indicado		7,589.8	1.05	79,900
Inferido	0.30	97.3	1.33	1,300
Total Recursos		7,687.2	1.06	81,200

Tabla. Reservas del Proyecto B2

Clase	Cut-Off Sn %	Kt	Sn %	Contenido Sn t
Probado	0.44	3,900.0	1.08	42,100
Probable	0.44	3,706.3	0.98	36,300
Total Reservas		7,606.3	1.03	78,400

*Figura 3. Reporte Anual de Minsur Clasificado en Recursos y Reservas
Fuente: Reporte Anual Minsur (2018)*



*Figura 4. Equipos y Maquinaria procesando relaves del proyecto B2 Minsur
Fuente: Revista Rumbo Minero(2018)*

1.2.2. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

La idea de generar un activo económico a partir de un pasivo ambiental (relave) no es un proyecto “innovador”. Uno de los proyectos con una experiencia de más de 26 años en el rubro mencionado es la Minera Valle Central, propiedad de Amerigo Resources. Esta empresa de capital canadiense se dedica al reaprovechamiento de relaves con contenido de Cobre y Molibdeno (Mo) provenientes de la empresa Codelco-Chile División El Teniente. Sin embargo, la empresa no solo se encuentra enfocada en los relaves provenientes de El Teniente, si no, también en los 718 depósitos de relaves en este país. Un mercado libre para hacer una gana-gana entre proveedores de relaves y los que lo procesan. Como data histórica se cuenta que alcanzo las 400,000 Ton de cobre y 111 millones de libras de molibdeno. Sin embargo, para el 2019 se espera incrementar su producción con la inauguración de su nueva planta para el procesamiento de relaves finos. **(Minera del Valle Central, 2019)**



*Figura 5. Instalaciones de Minera del Valle Central Dedicadas al Procesamiento de Relaves
Fuente: Página oficial Minera del Valle Central(2019)*

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

El objetivo principal de esta investigación es evaluar la viabilidad económica a manera conceptual utilizando una metodología holística para la recuperación de oro libre en un depósito de relaves utilizando procesos de concentración gravimétrica.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✚ Determinar la rentabilidad económica del proyecto en la empresa mediante un análisis de indicadores financieros.
- ✚ Evaluar la sensibilidad económica vinculada a parámetros metalúrgicos de recuperación y leyes en los residuos mineros.
- ✚ Proponer una metodología holística para la evaluación de la viabilidad económica de un proyecto de retratamiento de relaves.

1.4. HIPÓTESIS

La recuperación de oro libre es viable económica y ambientalmente a partir del retratamiento a un depósito de relaves, el cual posee oro en libre en su ensamble mineralógico.



Figura 6. Principales Stakeholders Clasificados Según su Grupo de Influencia
Fuente: José Jurado -Consultoría Innova Suppliers

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

Debido a la alta influencia de los parámetros técnicos como económicos en los cuales está basado el proyecto, se aborda estos dos incisos como los más predominantes en el marco teórico, el cual se presentará a continuación:

En cuanto al enfoque económico el proyecto está basado en el uso de indicadores económicos de VAN, TIR, B/C y PRI, que permiten medir la rentabilidad de un proyecto de reaprovechamiento de un depósito de relaves a partir de la variación de la capacidad de procesamiento.

En cuanto al enfoque técnico, se trabaja con parámetros de equipos de concentradores gravimétricos (Knelson o Falcon); a fin de, tener una idea inicial de que tan factible es realizar concentración gravimétrica a un concentrado con alto peso específico se utiliza el criterio de Taggart. Sin embargo, este criterio no toma en cuenta las fuerzas centrífugas introducidas con las nuevas tecnologías de equipos concentradores (Knelson/Falcon); de manera, que al contar con equipos generadores de fuerza centrífuga que ayudan a retener el mineral de mayor peso específico sería un plus para proyectos que trabajen con estas condiciones.

Finalmente, para la optimización económica del proyecto con los indicadores propuestos se realizó diferentes tipos de análisis vinculadas a variables técnicas, capacidad de planta, leyes y recuperaciones.

Para fines académicos la metodología holística propuesta fue aplicada para una base de datos obtenida del retratamiento de relaves de Limbani (Puno), donde determinó una recuperación máxima del proceso gravimétrico variando la cantidad de pulpa, fuerza centrífuga y caudal entregado al proceso.

2.1. ASPECTO ECONÓMICO

2.1.1. VAN

Según Enrique Santa Cruz (2017), El VAN es un indicador que nos permite evaluar los posibles panoramas de una empresa en un futuro. Así mismo comenta: "El asunto es: ¿de qué manera el gerente de finanzas evalúa lo apropiado de la decisión de mudarse? Debe tener algún criterio, alguna guía que le diga que la decisión está bien o está mal. Para ello cuenta con criterios financieros que se traducen en indicadores. Hay un indicador de valor que señala si el valor de lo que voy a obtener haciendo la inversión supera precisamente a la inversión, que es precisamente el VAN"

Para David Wong Cam, el van o vpn de los flujos de caja son obtenidos de la siguiente manera:

$$VPN = -INV + \sum \frac{B_t}{(1 + COK)^t}$$

Donde:

INV=inversión

B_t = Beneficio neto

COK= Tasa de descuento adecuada

Bajo el análisis del VAN, de puede dar 3 escenarios:

- Van>0, el proyecto es rentable
- Van<0, el proyecto no es rentable
- Van=0, el proyecto es rentables

En este último escenario, en el cual el VAN es cero, a pesar que bajo este indicador el proyecto es viable, es importante tener en cuenta que este indicador asume una tasa de descuento estática, por ende, no se recomienda ejecutar el proyecto.

2.1.2. TIR

Para David Wong Cam, TIR tiene la característica de poder igualar la inversión con los beneficios totales, es decir VAN O VPN igual a cero. Por ende, el objetivo del TIR es poder hallar la tasa de descuento que logre este fin.

$$VPN = -INV + \sum \frac{B_t}{(1 + TIR)^t} = 0$$

Donde:

INV=inversión

B_t = Beneficio neto

TIR= Tasa de descuento

Bajo el análisis del TIR, se puede dar 3 escenarios:

- TIR>COK, los beneficios netos cubren la inversión, generando que el proyecto sea rentable
- TIR<COK, los beneficios netos no cubren la inversión, por ende, el proyecto no es rentable
- TIR<0, los beneficios no cubren la inversión, sin tener en cuenta el valor del dinero en el tiempo

2.1.3. BENEFICIO-COSTO

Para David Wong Cam, el indicador beneficio- costo hace referencia a la relación que existe entre la suma de todos los beneficios netos dividido por la inversión.

$$B/N = \frac{\sum \frac{B_t}{(1 + COK)^t}}{INV}$$

Donde:

INV=inversión

B_t = Beneficio neto

COK= Tasa de descuento adecuada

Bajo el análisis de B/C, se puede dar 2 escenarios

- $B/C > 1$, el proyecto es rentable
- $B/C < 1$, el proyecto no es rentable

En el caso de que $B/C = 1$, el indicador no definiría si el proyecto es rentable o no, sin embargo, este caso sería equivalente a tener un VAN=0.

Por otro lado, es necesario tener en cuenta, que en el caso de comparar proyectos bajo el criterio de B/C, este no toma en cuenta el tiempo de vida del proyecto.

2.1.4. PERIODO DE RECUPERACIÓN INVERSIÓN

El criterio PRI, mide el tiempo o periodo necesario para poder recuperar la inversión en función al flujo de caja y la inversión, teniendo en cuenta el valor del dinero en el tiempo. Este tiempo de recuperación es obtenido mediante el siguiente formula:

$$PRI = (r - 1) + \frac{INV - Fe_{r-1}}{Fe_r}$$

Donde:

INV=inversión

Fe_{r-1} = flujo de efectivo antes de la recuperación

Fe_r = flujo de efectivo en el año de recuperación

r= año de recuperación

Respecto a este criterio, Enrique Santa Cruz (2017) comenta los siguiente:” PRI depende mucho de la industria en la que se desarrolla la compañía”. Debido a ello, el especialista en finanzas sugiere que el criterio PRI debería ser acompañado por otros criterios económicos para que el análisis de viabilidad sea más confiable.

2.1.5. LEY DE CUT-OFF

El concepto de ley de corte es un componente fundamental en la preparación de estimaciones de reserva, diseños y programas de producción en el rubro minero.

Una ley o valor de corte se define como la ley o valor que se utiliza para diferenciar entre mineral y desmonte para un conjunto dado de condiciones, parámetros y marco de tiempo. En principio los costos que la LC debe cubrir son el proceso minero (producción + procesamiento + comercialización), es así, que se puede equiparar a la LC como un costo indispensable que convierte que una reserva minera sea económicamente viable. Además, esta permite la clasificación de dos materiales indispensables en toda operación minera de acuerdo a su ley (**Rendu 2014: 1-4**).

- Mena-> Mineral con una ley mayor o igual a la ley cut off
- Estéril -> Mineral con una ley menor a la ley cut off

No obstante, en algunas minas por practicidad a la Mena se le conoce como "Mineral" y al Estéril "Marginal"; el estéril o marginal en la mayoría de casos es llevado a botaderos o stock, es utilizado para el pallaqueo en planta o almacenado en una posible subida de precios del metal en valor.

Como tal, los criterios y procesos mediante los cuales se determina una ley o valor de corte a menudo serán diferentes entre las propiedades minerales, para diferentes situaciones dentro de una operación minera dada y en diferentes momentos.

Es así, que la LC es un estado neutro/optimo donde no existen perdidas ni ganancias hacia el productor minero, es decir, es la ley mínima que permite cubrir nuestros costos de explotación de mineral. Para definir una adecuada estimación de la LC se plantea la estrategia de operación por parte de la mina que evalúa los siguientes incisos. (**Rendu 2014: 17-20**)

- Capacidad de producción mina actual / potencial
- Capacidad de tratamiento actual / potencial
- Almacenaje de Estéril, tamaño de stock pile, capacidad de Leach Pad, y capacidad de Relavera
- Tipo de Relleno y disponibilidad
- Opciones de Procesamiento
- Manejo de materiales (transporte por ejemplo y sus variantes)

- Geoquímica y requerimientos de blending (mezclas)

Estos incisos son los principales generadores de los costos totales a evaluar en la ley de corte. A continuación, se define la fórmula de cut-off grade optimization presentada por K. Dagdelen en la reunión anual del SME en Reno, Nevada, 1993.

$$Cut - off\ grade = \frac{Costs}{Metal\ price \times Process\ Recovery} \dots (0)$$

- Costs: Costos por tonelaje (\$/Tn)
- Metal Price: Precio de metal (\$/oz; \$/gr; \$/lb)
- Process Recovery: Recuperación Total de los procesos Metalúrgicos

La determinación de la fórmula de la LC se da mediante términos económicos, la cual se explicará a continuación:

- 1) La ley de mineral a explotar genera un Valor mineral:

$$VM \left(\frac{\$}{TM} \right) = Ley \times Precio \times Rec. Tot \dots (1)$$

- 2) Todo proceso industrial genera costos de producción, y en el caso de la minería lo expresamos en CT (\$/TM)
- 3) Nuestro Margen Operativo se obtiene al restar nuestro Valor Mineral con los Costos producidos por la extracción:

$$MO \left(\frac{\$}{TM} \right) = VM \left(\frac{\$}{TM} \right) - CT \left(\frac{\$}{TM} \right) \dots (2)$$

- 4) El estado de equilibrio donde no existan perdidas ni ganancias se da en un Margen Operativo igual a cero:

Si $VM > CT$: Ganancias

Si $VM < CT$: Perdidas

Si $VM = CT$, no existen perdidas ni ganancias

5) Despejamos la Ec.2 y se obtiene la siguiente relación:

$$VM\left(\frac{\$}{TM}\right) = CT\left(\frac{\$}{TM}\right) \dots (3)$$

6) Reemplazamos nuestros valores de la Ec.1

$$Leyx PrecioxRec.Tot = CT \dots (4)$$

7) Despejamos para hallar la Ley Cut-off

$$Ley = \frac{CT}{PrecioxRec.Tot} \dots (5)$$

$$Cut - off \ grade = \frac{Costs}{Metal \ price \ x \ Process \ Recovery} \dots (0)$$

La siguiente relación matemática/ecuación Cut-off grade hace fundamento a la necesidad de generar valor mediante una extracción al cubrir nuestros costos de producción.

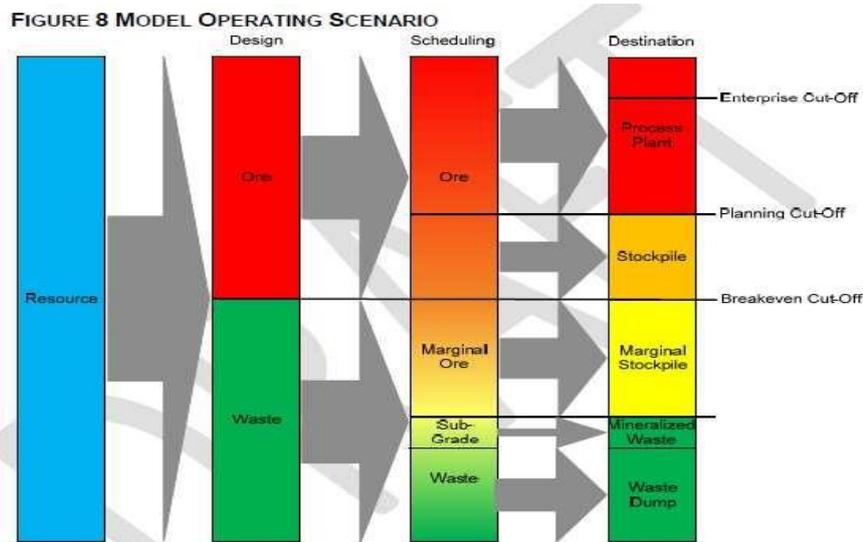


Figura 7. Escenarios operativos de la Ley de Corte
Fuente: Rendo (2014) "An introduction to cut-off grade estimation"

2.1.6. COSTOS DE PRODUCCIÓN

El rubro minero es un negocio de riesgo, que como se sabe depende de variables internos e externas a la empresa minera. En primer lugar, como el factor externo primordial que afecta a la industria es el precio de los metales que depende de los fundamentos de mercado a nivel mundial y no es gestionable por parte de la empresa. No obstante, al tener esta alta incertidumbre en los precios, el core del negocio minero se centra en la gestión adecuada de sus costos de producción, es decir, la empresa con menores costos de producción en un escenario de alta caída de los precios (COVID) será la que se mantendrá en el negocio debido a que sigue manteniendo un margen de ganancias. Es así, que se define que el Costo Total de una empresa es el costo de todos los recursos productivos que usa. Incluye todos los costos fijos y variables de la empresa. **(Max Schwarz 2012)**

- Costo fijo (CF): Costo de todos los insumos fijos de la empresa. No cambia cuando cambia la producción. Ejms:

Servicios Generales
Servicios Administrativos

- Costo variable (CV): Costo de todos los insumos variables de la empresa. Cambia según cambia la producción. Ejms:

Costo de Minado
Costo de Planta de Tratamiento

- Costo total (CT) = Costo fijo + Costo variable.

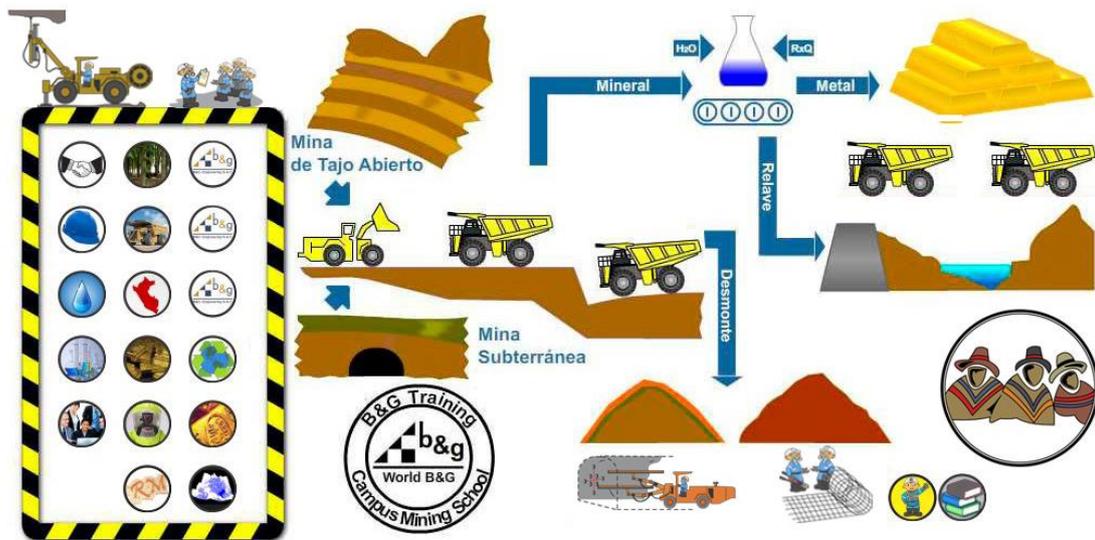
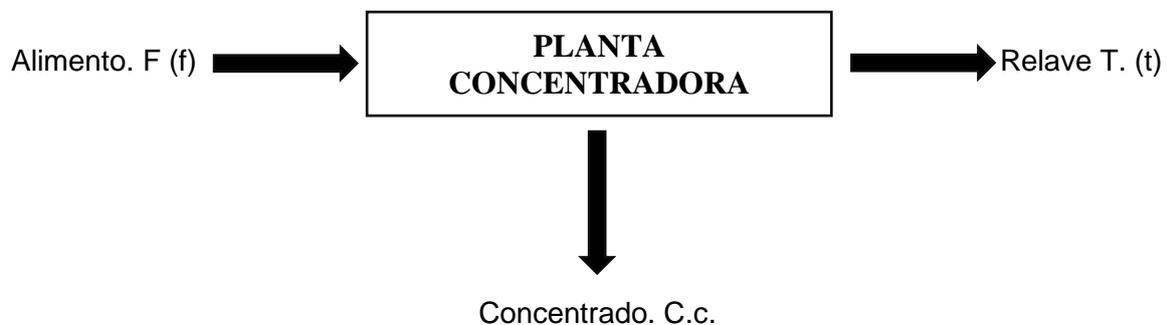


Figura 8. Ciclo de minado en una operación minera
 Fuente: Max Schawrs(2012) “Estructura de costos en operaciones mineras”

2.2. ASPECTO TÉCNICO

2.2.1. BALANCE METALÚRGICO

Todo material extraído por la explotación minera y posteriormente tratado mediante un proceso metalúrgico tiene productos con diferente % de Recuperación, Ratios de concentración, Ley; por tanto, es factible mostrar estos resultados mediante tablas que incluyen los cálculos y contenido metálico de los elementos valiosos en los productos, como lo anteriormente mencionado. A esta tabla resumen se le denomina como “Balance Metalúrgico”, la cual según recuperaciones, leyes y tonelajes marca la eficiencia del proceso metalúrgico utilizado **(Nataniel Linares G: año 2014)**.



A partir de nuestro flujo de tratamiento se obtienen los siguientes Balance de material y Balance de contenido metálico:

$$\text{Balance de material: } F = C + T \dots (1)$$

$$\text{Balance de metal: } Ff = Cc + Tt \dots (2)$$

- Donde f, c y t son las leyes
- Donde F,C y T son tonelajes

Al multiplicar la Ec1 por t y restarla a la Ec2

$$F(f - t) = C(c - t) \dots (3)$$

Donde el Ratio de concentración (F/C) queda definida por la siguiente ecuación:

$$\frac{F}{C} = \frac{c - t}{f - t} \dots (4)$$

La variable que mide la eficiencia y rendimiento del proceso es la Recuperación del contenido metálico, se define con la siguiente ecuación:

$$R = \frac{Cc}{Ff} \times 100 \dots (5)$$

Si se sustituye la ecuación 4 en la ecuación 5 se determina la eficiencia en base a las leyes:

$$R = \frac{f - t}{c - t} \times \frac{c}{f} \times 100 \dots (5)$$

Toda operación minera se enfoca en optimizar la recuperación de sus procesos para así mejorar el bien del valor mineral obteniendo unos mayores resultados económicos, no obstante, también es necesario llevar una adecuada gestión de los costos de procesamientos para optimizar la recuperación sin aumentar mucho los costos.

2.2.2. GRAVIMETRÍA

La Concentración gravimétrica es un método de procesamiento muy utilizado para separar partículas minerales con diferente peso específico debido a que se genera diferencias de movimiento por las fuerzas centrífugas u gravitatorias. Este método trata gran variedad de metales pesados, como la galena, hasta metales con bajo peso específico como el carbón.

La practicidad de estos métodos gravitatorias se vio desplazada con la aparición del proceso de flotación en la primera mitad del siglo. No obstante, en los últimos años su uso ha vuelto a tomar significancia en el rubro minero; específicamente, para concentrar menas de oro, estaño y otros minerales con una densidad alta.

El principal problema con estos métodos es con la concentración de partículas finas, en la cual sus fuerzas son mayores a la gravedad, fuerzas hidráulicas y viscosidad aplicadas, de esta manera al trabajar con rangos finos de tamaño el rendimiento del proceso tiende a disminuir. Sin embargo, los desarrollos tecnológicos de equipos de concentración permiten la separación de partículas finas debido a la variable de fuerza centrífuga aplicada al proceso **(Luis Faúndez 2015: 1-3)**.

Para una primera idea de la efectividad de separación de las partículas se utiliza el criterio de concentración (CC) sugerido por Taggart, que proporciona un indicio de la facilidad del proceso gravitacional sin considerar el parámetro de las formas de partículas minerales.

Se define con la siguiente expresión

$$CC = \frac{Dh - Df}{Dl - Df}$$

Donde:

- Dh= Densidad del mineral pesado
- Dl = Densidad del mineral liviano
- Df = Densidad del agua

CC	Significado
> 2,5	Separación eficiente hasta 200 mallas
2,5 – 1,75	Separación eficiente hasta 100 mallas
1,75 – 1,50	Separación posible hasta 10 mallas, sin embargo es difícil
1,50 – 1,20	Separación posible hasta ¼", sin embargo es difícil

Figura 9. Criterio de concentración de Taggart

Fuente: Nataniel Linares (2014) "Procesamiento de Minerales-Mineralurgia II"

Estas asunciones de Taggart que provienen con base a experiencia industrial sin tomar en cuenta la forma de partículas pueden ser útiles o perjudiciales para definir eficiencias de procesos. De la tabla se observa que la eficiencia disminuye a fracciones inferiores de 200 mallas (74 μ m) y la dificultad que conlleva. No obstante, las asunciones de Taggart fueron tomadas en base a fuerzas gravitatorias, es decir, que actualmente al contar con equipos capaces de producir fuerza centrífuga se estaría ampliando el rango de eficiencia a materiales más finos e ultrafinos.

Actualmente, con la introducción de la aceleración-fuerza centrífuga a los equipos se generó un nuevo plus de una separación de partículas finas mediante procesos de concentración gravimétrica. Esta fuerza tiene su origen en la velocidad rotacional del equipo, que permite formar el campo centrífugo que actúa sobre las partículas en la pared del cono. Para que el proceso mediante fuerzas centrífugas sea óptimo se requiere un tamaño uniforme (evitar la concentración de partículas de mayor tamaño que otra), para permitir que el movimiento rotación de las fuerzas centrífugas dependa de las densidades de estas y concentra las partículas minerales de mayor peso específico (**Luis Faúndez 2015: 5-6**).

Concentradores Gravimétricos:

- Concentrador Knelson:

Este equipo tiene como objetivo principal la recuperación del oro libre de procedencia aluvial, como también de oro fino producto de la molienda. Su parte principal del equipo es el rotor (pequeño depósito donde se concentrará el material, tiene una forma concéntrica y en su sección lateral posee pequeños agujeros. Además, posee un radio de concentración de 100 a 1, lo que nos indica que el material introducido en forma de pulpa por la parte superior se empezará a concentrar de mayor peso específico a menor peso

específico, generando así una zonación dentro del rotor (el cual posee una especie de rifles para realizar este proceso). Es decir, los minerales de menor peso específico van desplazando a los de mayor peso específico de abajo hacia arriba; generando así la salida de la ganga o rechazo por la parte superior del rotor (arriba) **(Luis Faúndez 2015: 17)**.

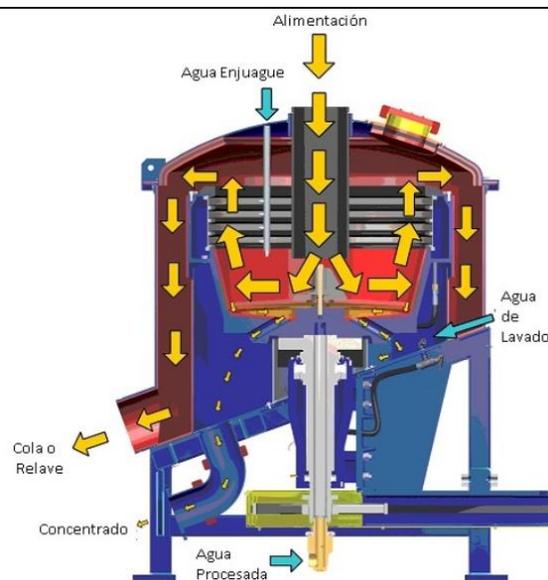


Figura 10. Ciclo operativo de un concentrador Knelson
Fuente: Luis Faundez (2015) "Concentración gravitacional aurífera"

- Concentrador Falcon:

Este equipo tiene como objetivo principal la recuperación de oro libre procedencia aluvial y de molienda. Este equipo tiene la capacidad de someter al material de trabajo a un campo de 300 gravedades como máximo y posee una caja reguladora que es capaz de controlar la fuerza centrífuga entregada. Asimismo, tiene la cualidad de recuperar una mayor cantidad de partículas finas que otros métodos de concentración **(Luis Faúndez 2015: 18)**.

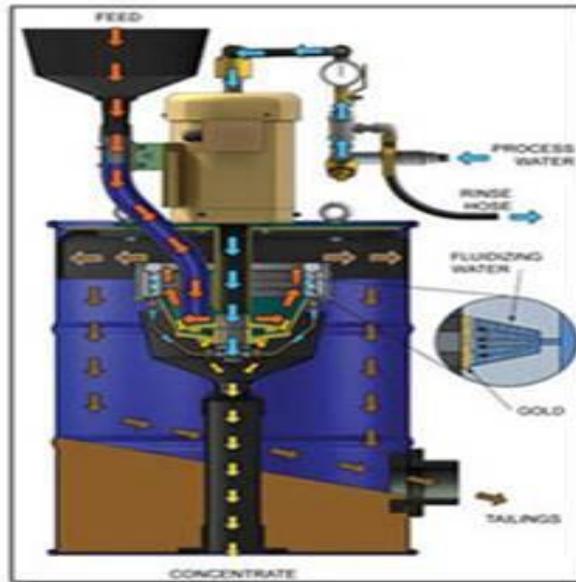


Figura 11. Ciclo operativo de un concentrador Falcon
Fuente: Luis Faundez (2015) "Concentración gravitacional aurífera"

2.3. VARIABLES DE INFLUENCIA EN EL PROCESO DE CONCENTRACIÓN

- Mineral Aurífero

Mineral aurífero con contenido de oro presente como oro nativo, sulfuros de oro, óxidos de oro o reemplazamiento.

- Relave Aurífero

Conjunto de materiales/desechos con contenido de sólidos que presenta partículas de oro en su estructura, como también puede encontrarse de forma nativa. Es producto de procesos metalúrgicos/concentración de minerales constituido por ganga mineral con mezcla de roca y agua.

- %Sólidos

Relación numérica/porcentual de la cantidad másica de sólidos presentes en un relave. Durante los procesos de concentración se utilizará 30% y 60% de porcentaje de sólidos.

- Granulometría

Medición que permite obtener la distribución de tamaños de las partículas de una muestra, este cálculo ayuda a determinar y conocer cuanto material particulado de acuerdo a cada tamaño tienes en tu muestra.

- %Humedad

Valor numérico/porcentual que define la cantidad presente de agua en una muestra.

- Tipo de concentrador gravimétrico

El concentrador que se utilizara para realizar la concentración gravimétrica es el tipo Falcon Icon, que permite un tratamiento de 2tn/hr de procesamiento.

- Densidad de flujo de alimentación

Densidad de flujo de material el cual ingresa al equipo concentrador.

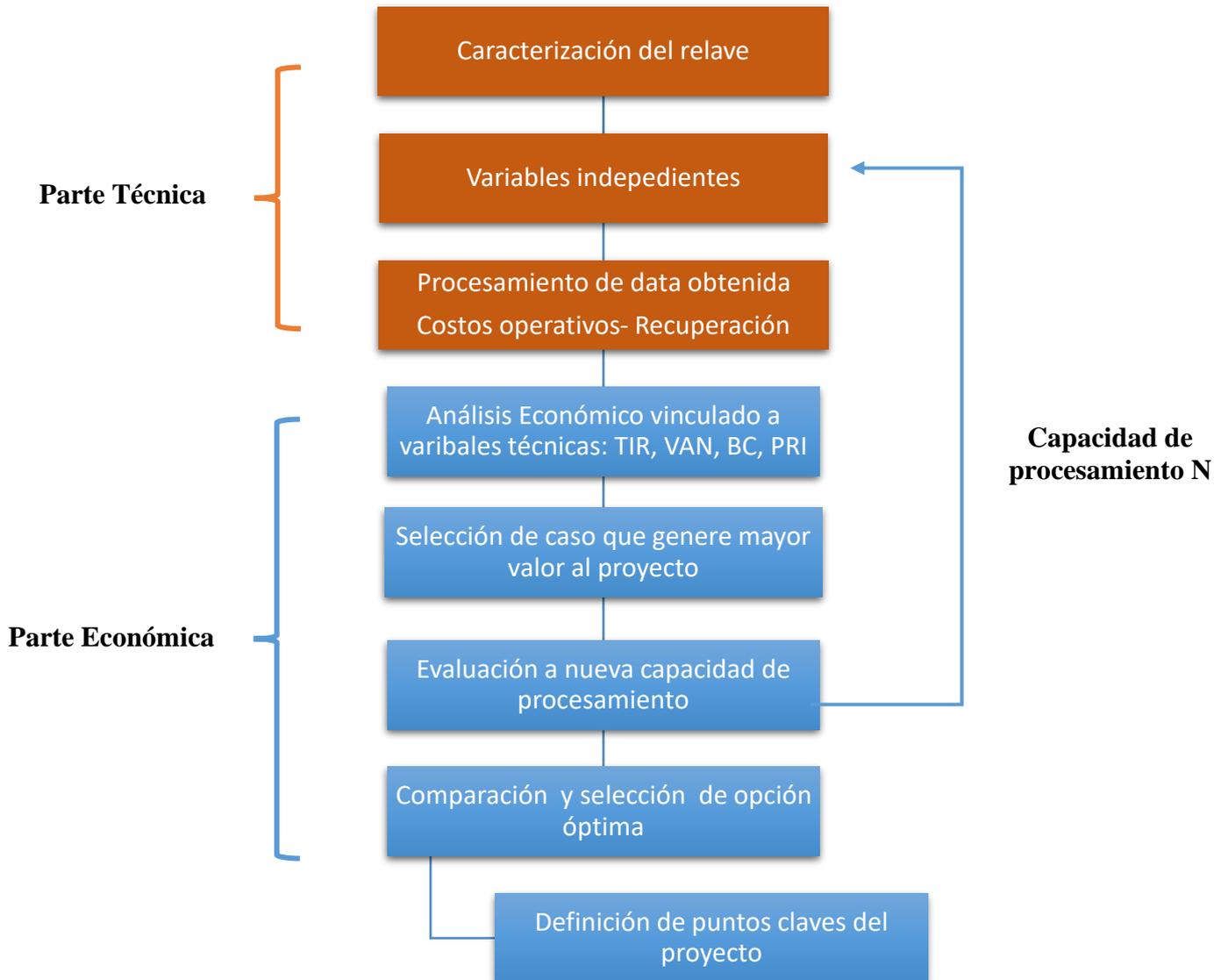
- Fuerza centrífuga

Al aumentar la fuerza centrífuga en el proceso se espera tener una mejor concentración de las partículas finas más pesadas. Debido a que, si se cuenta con un tamaño uniforme de partículas, el concentrador podrá separar de manera eficaz según el mayor peso específico.

CAPÍTULO 3. METODOLOGIA

En el siguiente diagrama se muestra el flujo esquemático que sigue la metodología planteada.

DIAGRAMA DE FLUJO



3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación es de tipo conceptual, debido a que se enfoca en establecer una nueva metodología que nos permite realizar un análisis económico orientado a la recuperación del oro libre a partir del retratamiento de relaves. Esta nueva metodología se encuentra basada en lograr una optimización para brindar un valor a un pasivo, y así, obtener mayor valor a la empresa y sus stakeholders. Esta metodología tiene como finalidad brindar alcances técnicos y económicos, para así, incentivar que nuevas inversiones se puedan realizar en el retratamiento de relaves. Como caso práctico, se ejemplificó el uso de la metodología a una base de datos obtenida del retratamiento de relaves de la zona de Limbani(Puno).

3.2. NIVEL DE INVESTIGACIÓN

El nivel de estudio del presente trabajo es a nivel aplicativo, dado que nos basamos en el uso de indicadores financieros, como es el caso del van, tir, bc y pri, y variables técnicas, como malla, densidad, consumo de agua y fuerza, que permiten obtener una posible optimización de un caso de estudio de retratamiento de relaves iterando las capacidades de procesamientos. Para esto, se realiza la comparación de todos los casos viables económicamente 1,2,3...N entre el caso económico a la capacidad de planta inicial y en el caso económico de capacidad de planta 1,2, 3...N, para la determinación del proceso óptimo, con la finalidad de brindar lineamientos técnicos que permitan propiciar la viabilidad de este tipo de proyectos.

3.3. METODOLOGÍA PROPUESTA

- a) Se obtendrá la caracterización del relave (granulometría, densidad, ensamble mineralógico, ley)

Con el objetivo de realizar el análisis económico del estudio, es necesario, definir las características del material a trabajar mediante ensayos de laboratorio. No obstante, por las condiciones actuales de la pandemia la realización de estos es nula. Afortunadamente, se cuenta con data experimental recolectada de un proyecto de reaprovechamiento de relaves mediante concentradores gravimétricos que hizo posible la realización de los posteriores análisis.

Calidad de Relave

Se determina la naturaleza del relave (aurífero, polimetálico, etc), junto al contenido metálico que este posee por cada elemento.

Prueba de Análisis granulométrico

Esta prueba permite obtener la distribución de las partículas del material de acuerdo a su tamaño; es así, que se enfoca en la fracción fina a muy finas de cada partícula que se espera permita la liberación del elemento en cuestión.

- b) Se obtendrá las variables independientes a partir de los ensayos (Costos operativos y recuperaciones).

Esta etapa consiste en la definición de nuestras variables independientes, las cuales son los parámetros operativos como la densidad de pulpa, tamaño de malla, fuerza de concentración en los centrífugos entre otros. A partir de esto, se realizará diversas combinaciones operativas (densidad, malla, etc) para el análisis económico en incisos posteriores.

- c) Se procesará la data obtenida.

Con la determinación de costos unitarios, mediante benchmark, cotizaciones, análisis del mercado y regresiones multivariantes, que conlleva el proyecto, se calcula los costos operativos y recuperaciones para cada ensayo en cuestión, variando la malla de estudio (100,150,200), densidad de pulpa y fuerzas centrifugas; de esta manera, para cada análisis en específico se tendrán diferentes recuperaciones del proceso con un diferente costo operativo que conlleva ese tratamiento

Tabla 1 Costos operativos por densidad de flujo, malla y fuerza.

	FUERZA 1				FUERZA 2			
	Malla 1	Malla 2	.....	Malla N	Malla 1	Malla 2	.....	Malla j
Densidad 1	C_{111}	C_{121}	$C_{1..}$	C_{1N1}	C_{112}	C_{122}	$C_{1..}$	C_{1N2}
Densidad 2	C_{211}	C_{221}	$C_{2..}$	C_{2N1}	C_{212}	C_{222}	$C_{2..}$	C_{2N2}
Densidad 3	C_{311}	C_{321}	$C_{3..}$	C_{3N1}	C_{312}	C_{322}	$C_{3..}$	C_{3N2}
Densidad 4	C_{411}	C_{421}	$C_{4..}$	C_{4N1}	C_{412}	C_{422}	$C_{4..}$	C_{4N2}
.....	$C_{...}$	$C_{...}$	$C_{...}$	$C_{...}$	$C_{...}$	$C_{...}$	$C_{...}$	$C_{...}$
Densidad i	C_{N11}	C_{N21}	$C_{N..}$	C_{NN1}	C_{N12}	C_{N22}	$C_{N..}$	C_{NN2}

C_{ijk} =costo operativo total relacionada la densidad_{1,2..i}+malla_{1,2..k}+fuerza_{1,2..j}+costos fijos operativos

Tabla 2. Recuperaciones metalúrgicas por densidad de flujo, malla y fuerza

	FUERZA 1				FUERZA 2			
	Malla 1	Malla 2	.....	Malla N	Malla 1	Malla 2	.....	Malla N
Densidad 1	R_{111}	R_{121}	$R_{1..}$	R_{1N1}	R_{112}	R_{122}	$R_{1..}$	R_{1N2}
Densidad 2	R_{211}	R_{221}	$R_{2..}$	R_{2N1}	R_{212}	R_{222}	$R_{2..}$	R_{2N2}
Densidad 3	R_{311}	R_{321}	$R_{3..}$	R_{3N1}	R_{312}	R_{322}	$R_{3..}$	R_{3N2}
Densidad 4	R_{411}	R_{421}	$R_{4..}$	R_{4N1}	R_{412}	R_{422}	$R_{4..}$	R_{4N2}
.....	$R_{...}$	$R_{...}$	$R_{...}$	$R_{...}$	$R_{...}$	$R_{...}$	$R_{...}$	$R_{...}$
Densidad N	R_{N11}	R_{N21}	$R_{N..}$	R_{NN1}	R_{N12}	R_{N22}	$R_{N..}$	R_{NN2}

R_{ijk} =Recuperaciones metalurgica total relacionada la densidad_{1,2..i}+malla_{1,2..k}+fuerza_{1,2..j}

- d) Se realizará un análisis económico con indicadores financieros vinculado a variables técnicas (Costo- Eficacia)

Para poder obtener los diversos indicadores financieros económicos es necesario definir los términos comerciales con el objetivo de poder obtener las diversas valorizaciones para las diversas combinaciones. A continuación, se muestra el formato de valorización recomendada, el cual toma en cuenta el balance metalúrgico, precio del metal precioso, costo de las maquilas y las penalizaciones, si fuese el caso.

Tabla 3. Balance metalúrgico del proceso

	tonelaje	Ley	Contenido metálico	% de recuperación	Ratio
cabeza	T total	Ley 1	T total*Ley 1	100%	
Concentrado	T relave	Ley N	T total * ley N	$\frac{(T \text{ total} * \text{Ley } 1)}{(T \text{ total} * \text{ley } N)}$	R1

Valor concentrado= ley pagable N *(precio-maquilas-penalidades)

NSR tonelaje de relave= (Valor concentrado) /(ratio)

Tabla 4. Flujo de caja del proyecto

PROYECTO	CONSTRUCCIÓN	OPERACIÓN			
	Año -1	Año 0	Año 1	....	Año N
Ingresos					
Ventas			TM* NSR	TM* NSR	TM* NSR
Total Ingresos			TM* NSR	TM* NSR	TM* NSR
Egresos					
Inversiones		CAPEX INICIAL			
Costos operativos			COP1 TT	COP2 TT	COPN TT
Costos Cierre Progresivo			CCPT/N	CCPT/N	CCPT/N
Gastos Administrativos			COST ADM	COST ADM	COST ADM
Regalía Minera			X% de la U.OP	X% de la U.OP	X% de la U.OP
Impuesto Especial a la Minería			Y% de la U.OP	Y% de la U.OP	Y% de la U.OP
Impuesto Renta			29.5% de la UAIMP	29.5% de la UAIMP	29.5% de la UAIMP
Particip. Trabajadores			8% de la UAIMP	8% de la UAIMP	8% de la UAIMP
Total Egresos			SUMA DE EGRESOS AÑO 1	SUMA DE EGRESOS ..	SUMA DE EGRESOS AÑO 3
Saldo Caja		CAPEX INICIAL	INGRESOS1- EGRESOS1	INGRESOS ..- EGRESOS..	INGRESOS N- EGRESOS N

COPTT: Costo Operativo Total

X% de la U. OP: X% de la Utilidad Operativa

Y% de la U. OP: Y% de la utilidad Operativa

Impuesto a la Renta: 29.5 % de la Utilidad antes Impuesto

Participación de los trabajadores: 8% de la utilidad antes de impuestos

A partir del saldo final de cada año se realiza los flujos de caja proyectados utilizando una tasa acorde al riesgo del proyecto (COK).

- Análisis TIR

El presente análisis se realiza con el indicador financiero de tasa interna de retorno cuya teoría se encuentra descrita en el inciso 2.1.2 del marco teórico

Tabla 5. Análisis TIR en función de la densidad, malla y fuerza

	FUERZA 1				FUERZA 2			
	Malla 1	Malla 2	.....	Malla N	Malla 1	Malla 2	.....	Malla N
Densidad 1	TIR_{111}	TIR_{121}	$TIR_{1..}$	TIR_{1N1}	TIR_{112}	TIR_{122}	$TIR_{1..}$	TIR_{1N2}
Densidad 2	TIR_{211}	TIR_{221}	$TIR_{2..}$	TIR_{2N1}	TIR_{212}	TIR_{222}	$TIR_{2..}$	TIR_{2N2}
Densidad 3	TIR_{311}	TIR_{321}	$TIR_{3..}$	TIR_{3N1}	TIR_{312}	TIR_{322}	$TIR_{3..}$	TIR_{3N2}
Densidad 4	TIR_{411}	TIR_{421}	$TIR_{4..}$	TIR_{4N1}	TIR_{412}	TIR_{422}	$TIR_{4..}$	TIR_{4N2}
.....	$TIR_{...}$	$TIR_{...}$	$TIR_{..}$	$TIR_{...}$	$TIR_{...}$	$TIR_{...}$	$TIR_{..}$	$TIR_{...}$
Densidad N	TIR_{N11}	TIR_{N21}	$TIR_{N..}$	TIR_{NN1}	TIR_{N12}	TIR_{N22}	$TIR_{N..}$	TIR_{NN2}

- Análisis VAN

El presente análisis se realiza con el indicador financiero de valor actual neto, cuya teoría se encuentra descrita en el inciso 2.1.1 del marco teórico

Tabla 6. Análisis VAN en función de la densidad, malla y fuerza

	FUERZA 1				FUERZA 2			
	Malla 1	Malla 2	.....	Malla N	Malla 1	Malla 2	.....	Malla N
Densidad 1	VAN_{111}	VAN_{121}	$VAN_{1..}$	VAN_{1N1}	VAN_{112}	VAN_{122}	$VAN_{1..}$	VAN_{1N2}
Densidad 2	VAN_{211}	VAN_{221}	$VAN_{2..}$	VAN_{2N1}	VAN_{212}	VAN_{222}	$VAN_{2..}$	VAN_{2N2}
Densidad 3	VAN_{311}	VAN_{321}	$VAN_{3..}$	VAN_{3N1}	VAN_{312}	VAN_{322}	$VAN_{3..}$	VAN_{3N2}
Densidad 4	VAN_{411}	VAN_{421}	$VAN_{4..}$	VAN_{4N1}	VAN_{412}	VAN_{422}	$VAN_{4..}$	VAN_{4N2}
.....	$VAN_{...}$	$VAN_{...}$	$VAN_{..}$	$VAN_{...}$	$VAN_{...}$	$VAN_{...}$	$VAN_{..}$	$VAN_{...}$
Densidad N	VAN_{N11}	VAN_{N21}	$VAN_{N..}$	VAN_{NN1}	VAN_{N12}	VAN_{N22}	$VAN_{N..}$	VAN_{NN2}

- Análisis BC

El presente análisis se realiza con el indicador financiero de beneficio costo, cuya teoría se encuentra descrita en el inciso 2.1.3 del marco teórico

Tabla 7. Análisis BC en función de la densidad, malla y fuerza

	FUERZA 1				FUERZA 2			
	Malla 1	Malla 2	.....	Malla N	Malla 1	Malla 2	.....	Malla N
Densidad 1	B/C_{111}	C	$B/C_{1..}$	B/C_{1N1}	B/C_{112}	B/C_{122}	$B/C_{1..}$	B/C_{1N2}
Densidad 2	B/C_{211}	B/C_{221}	$B/C_{2..}$	B/C_{2N1}	B/C_{212}	B/C_{222}	$B/C_{2..}$	B/C_{2N2}
Densidad 3	B/C_{311}	B/C_{321}	$B/C_{3..}$	B/C_{3N1}	B/C_{312}	B/C_{322}	$B/C_{3..}$	B/C_{3N2}
Densidad 4	B/C_{411}	B/C_{421}	$B/C_{4..}$	B/C_{4N1}	B/C_{412}	B/C_{422}	$B/C_{4..}$	B/C_{4N2}
.....	$B/C_{...}$	$B/C_{...}$	$B/C_{...}$	$B/C_{...}$	$B/C_{...}$	$B/C_{...}$	$B/C_{...}$	$B/C_{...}$
Densidad N	B/C_{N11}	B/C_{N21}	$B/C_{N..}$	B/C_{NN1}	B/C_{N12}	B/C_{N22}	$B/C_{N..}$	B/C_{NN2}

- Análisis PRI

El presente análisis se realiza con el indicador financiero de periodo de recuperación de inversión, cuya teoría se encuentra descrita en el inciso 2.1.4 del marco teórico

Tabla 8. Análisis PRI en función de la densidad, malla y fuerza

	FUERZA 1				FUERZA 2			
	Malla 1	Malla 2	.....	Malla N	Malla 1	Malla 2	.....	Malla N
Densidad 1	PRI_{111}	PRI_{121}	$PRI_{1..}$	PRI_{1N1}	PRI_{112}	PRI_{122}	$PRI_{1..}$	PRI_{1N2}
Densidad 2	PRI_{211}	PRI_{221}	$PRI_{2..}$	PRI_{2N1}	PRI_{212}	PRI_{222}	$PRI_{2..}$	PRI_{2N2}
Densidad 3	PRI_{311}	PRI_{321}	$PRI_{3..}$	PRI_{3N1}	PRI_{312}	PRI_{322}	$PRI_{3..}$	PRI_{3N2}
Densidad 4	PRI_{411}	PRI_{421}	$PRI_{4..}$	PRI_{4N1}	PRI_{412}	PRI_{422}	$PRI_{4..}$	PRI_{4N2}
.....	$PRI_{...}$	$PRI_{...}$	$PRI_{...}$	$PRI_{...}$	$PRI_{...}$	$PRI_{...}$	$PRI_{...}$	$PRI_{...}$
Densidad N	PRI_{N11}	PRI_{N21}	$PRI_{N..}$	PRI_{NN1}	PRI_{N12}	PRI_{N22}	$PRI_{N..}$	PRI_{NN2}

e) Se seleccionará el caso que genere mayor valor al proyecto.

Se procede a analizar cada una de los indicadores financieros para cada una de las combinaciones operativas. Teniendo como indicar principales el VAN y TIR, y como indicadores secundarios el B/C y PRI. Cabe indicar que a partir de obtener los indicadores financieros es posible obtener graficas en 3D, las cuales se pueden obtener las ecuaciones de modelamiento mediante las regresiones múltiples, con el objetivo de que al encontrar las derivadas de estas ecuaciones se pueda obtener los puntos óptimos.

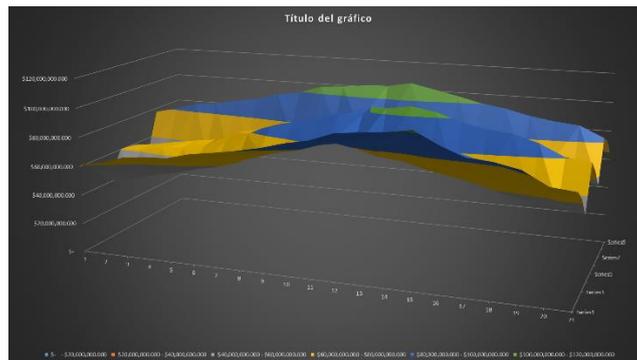


Figura 12. Regresión multivariable 3D- Curvas de nivel(VAN)

f) Se evaluará nuevamente el proyecto para una nueva capacidad de procesamiento, el cual se encuentra ligada al CAPEX.

La aplicación, en primera instancia, de la metodología se ejecuta para encontrar las variables operativas óptimas están ligadas para una capacidad de procesamiento inicial (CPR_{01}), luego se procede a realizar un nuevo análisis económico con una capacidad (CPR_{02}), el cual consiste en analizar nuevamente los inciso d) y e). Este proceso se vuelve a realizar para las diversas capacidades de planta ($CPR_{03}, CPR_{04}, \dots, CPR_{0i}$) con lo cual se obtiene las variables operativas óptimas para cada caso (VO_1, VO_2, \dots, VO_i).

Cabe indicar que las capacidades de procesamiento están ligadas a la capacidad de inversión, por ende las capacidades de procesamiento que están vinculadas a un Capex, el cual debe ser inferior a la capacidad de inversión del usuario.

g) Se comparará los casos que generaron mayor valor al proyecto para cada capacidad de procesamiento.

Se procede a comparar las diversas opciones de variables operativas (VO_1, VO_2, \dots, VO_i), con el objetivo de poder definir las variable más óptima y establecer la capacidad de procesamiento óptimo, sin embargo, esta capacidad de procesamiento.

h) Se definirán puntos claves de mejora del proyecto.

Una vez seleccionada el caso óptimo del proceso, se definen los puntos clave que tienen mayor influencia en el proyecto. A continuación, en la siguiente tabla se muestran los puntos claves más usuales que afectan a los proyectos, cabe destacar que estos pueden variar dependiendo de la naturaleza propia de cada proyecto.

Tabla 9. Variables como punto de mejora

Malla	Fuerza Centrífuga	Recuperación Metalúrgica	Costo Operativo
--------------	--------------------------	-------------------------------------	------------------------

CAPÍTULO 4. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA

Para fines aplicativos del método holístico propuesto para la evaluación conceptual económica, se utilizó una data la cual contiene los diversos % de recuperaciones proveniente del retratamiento de relaves en la zona de Limbani-Puno para diversos arreglos metalúrgicos. En base esto se propuso analizar una situación para 4 diversas capacidades de procesamiento: 150, 250 350 450 TPD. La situación propuesta, consiste en que el proyecto de retiramiento de relaves se pueda ejecutar en una mina que se encuentra en operación.

4.1. CARACTERIZACIÓN DEL RELAVE

4.1.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICA DEL RELAVE

A partir de los estudios realizados en el proyecto de Limbani, se toma como datos de entrada los análisis físico químicos que fueron realizados en el Laboratorio CM Alborada en la ciudad de Nazca, Ica. Los resultados obtenidos de los ensayos determinaron las siguientes características de relave:

Tabla 10. Características del relave

Ley de Cabeza de Relave	Densidad de Relave	Peso Específico de oro	Presión atmosférica
16.03 gr/TM	2.6032 gr/cm ³	18.6 gr/cm ³	526 mm de Hg

Además, también se cuenta con el estudio mineralógico y grado de liberación de oro. El cual, define los siguientes minerales principales en su muestra:

Tabla 11. Distribución mineralógica del relave

Minerales	Volumen (%)	Grado de Liberación (%)
Oro	0.20	99.50
Electrum	0.32	93.75
Pirita	0.40	100.00
Arsenopirita	2.62	100.00
Hematita	14.70	92.24
Goetita	30.47	91.19
Gangas	51.29	94.41
Total	100	

Estos valores determinan el volumen que ocupa el oro libre en la muestra. Otra característica importante de este análisis es que te determine el grado de liberación, que en

este caso específico de aplicación, se cuenta con un volumen de 0.2 % de oro del total de la muestra; y en el caso del grado de liberación oro se cuenta con un entrelazamiento de 0.5% con una liberación de 99.50%.

4.1.2. CARACTERIZACIÓN GRANULOMETRÍA

Para la obtención de las de la caracterización granulométrica del material a trabajar se realiza diferentes ensayos de distribución de partículas de acuerdo a su tamaño. Sin embargo, en el proyecto aplicativo de Limbani no se cuenta con data de su estudio realizado; no obstante, determinan que los ensayos deben ser realizados a malla -100,-150 y -200 para obtener una adecuada liberación del oro libre, es así, que en el caso específico de nuestro proyecto, para fines aplicativos del modelo holístico propuesto se asumió tiempos de molienda de 30 min, 60 min y 90 min para llegar de manera experimental a esta granulometría requerida.

4.1.3. DESCRIPCIÓN DE PARÁMETROS METALÚRGICOS

En base a los datos del proyecto de Limbani, se obtuvo datos los parámetros metalúrgicos, los cuales serán utilizados en el análisis económico conceptual. Estos parámetros son de tres tipos:

Densidad de flujo

En cuanto a las densidades de flujo se obtuvo una data de 21 ítems, las cuales se muestran a continuación.

Tabla 12. Evaluación a diferentes densidades de flujo

Densidad de Flujo gr/cm ³		
1.645	1.54	1.435
1.63	1.525	1.42
1.615	1.51	1.405
1.6	1.495	1.39
1.585	1.48	1.375
1.57	1.465	1.36
1.555	1.45	1.345

Fuerza centrífuga

En cuanto a las fuerzas centrífugas se ensayaron 3 tipos de fuerzas que es directamente proporcional a las rpms del concentrador gravitatorio, es así, que se trabaja a 70 G, 80 G y 90 G.

Moliendabilidad

En cuanto a las mallas utilizadas en el proyecto de aplicación, se realizó ensayos a 3 tipos de mallas para evaluar la liberación del metal económico: -100, -150 y -200.

4.2. RECOPIACIÓN DE VARIABLES INDEPENDIENTES

4.2.1. RECUPERACIÓN METALÚRGICA

A continuación, se presenta las recuperaciones metalúrgicas para diversas combinaciones de parámetros operativos los cuales fueron obtenidos de los resultados experimentales obtenidos del proyecto de Limbani (antes mencionado).

Tabla 13. Recuperaciones metalúrgicas a diferentes densidades de flujo trabajada

Densidad de Flujo(gr/cm ³)	Malla 100-70	Malla 150-70	Malla 200-70	Malla 100-80	Malla 150-80	Malla 200-80	Malla 100-90	Malla 150-90	Malla 200-90
1.645	39.41%	40.31%	43.54%	38.62%	43.68%	45.15%	47.21%	51.61%	54.93%
1.630	40.47%	42.51%	45.24%	39.24%	44.67%	46.37%	49.12%	52.47%	56.12%
1.615	42.98%	44.54%	47.04%	40.48%	46.11%	48.25%	51.41%	53.29%	57.85%
1.600	43.88%	45.08%	48.57%	41.09%	47.31%	50.41%	52.21%	54.86%	59.87%
1.585	44.24%	45.63%	50.65%	42.38%	48.37%	53.08%	53.69%	57.02%	60.11%
1.570	46.33%	46.57%	52.29%	45.05%	51.78%	54.87%	55.09%	58.79%	61.78%
1.555	47.51%	48.69%	54.48%	48.09%	53.41%	56.91%	57.33%	61.02%	63.89%
1.540	48.82%	49.51%	58.68%	51.13%	55.97%	59.53%	58.55%	62.12%	66.24%
1.525	50.47%	52.08%	60.35%	52.72%	57.73%	61.76%	61.15%	64.76%	67.74%
1.510	52.69%	53.74%	62.75%	54.81%	60.23%	63.57%	61.78%	63.29%	68.49%
1.495	54.28%	56.32%	64.59%	57.04%	61.79%	65.92%	62.47%	66.78%	68.20%
1.480	57.29%	57.72%	63.18%	58.08%	64.38%	63.02%	63.02%	65.13%	67.22%
1.465	58.14%	59.96%	61.05%	60.68%	63.05%	62.19%	64.57%	64.52%	66.19%
1.450	58.88%	61.72%	60.16%	61.95%	62.14%	61.67%	62.87%	62.61%	65.05%
1.435	60.26%	58.49%	57.87%	60.56%	60.56%	59.67%	61.08%	61.26%	62.96%
1.420	56.18%	57.29%	56.48%	57.83%	58.23%	58.69%	59.11%	60.09%	61.36%
1.405	53.02%	56.34%	54.69%	56.21%	56.78%	57.34%	57.88%	58.65%	59.14%
1.390	52.39%	54.61%	52.37%	55.32%	56.08%	56.29%	55.93%	57.18%	57.87%
1.375	50.74%	50.90%	50.74%	52.96%	54.28%	55.64%	54.68%	55.08%	57.29%
1.360	46.36%	47.16%	49.39%	49.12%	51.64%	52.39%	53.89%	53.64%	56.06%
1.345	45.57%	46.47%	48.25%	48.23%	48.67%	50.74%	50.21%	52.89%	55.87%

4.2.2. COSTOS TOTAL

En cuanto a los costos, estos fueron estimados en base a bench marking, recopilación de información de empresas nacionales, y regresiones multivariadas.

Para la determinación de costos totales se tuvo que definir los costos fijos y costos variables del proyecto. En primer lugar, la determinación de los costos variables fue estimada

mediante bench marking, regresiones multivariantes e investigación del mercado peruano. Estos tipos de costos están compuestas por 11 naturalezas: carguío, transporte, servicios, geología, topografía, mantenimiento vías, combustible-mantenimiento, análisis químicos, **agua, electricidad y procesamiento**. Siendo los tres últimos los de mayor interés (varían de acuerdo a su tonelaje a tratar), se presenta un alcance de los parámetros necesarios para sus cálculos en párrafos posteriores. Además, mencionar que se estableció los costos fijos de operación en base a los costos del año 2019.

Tabla 14. Costos fijos y variables incurridos en la evaluación

Costos variables de operación		Costos fijos de operación		
Carguío		Sueldo Ingeniero	1705.88	\$
Transporte		Sueldo Capataz	823.53	\$
Servicios		Jornal Peones	2352.94	\$
Geología		Alimentos	819.41	\$
Topografía				
Mantenimiento Vías				
Agua				
Electricidad				
Combustible y mantenimiento				
Análisis Químicos				
Costo de Procesamiento				

De esta manera, para la obtención de los costos de procesamiento, electricidad y consumo de agua de los equipos se determinó en base a precios del mercado peruano a año 2019.

Tabla 15. Cotizaciones de costos por servicios, Perú 2019

Costos-Dolares			
	Lugar	Cfijo(\$/.m3)	Cx Vol(\$/.m3)
Agua	Lima	1.48	1.72
	Provincia-Junín	0.71	1.12
Electricidad	7.75	\$/Kw-hr	
Combustible	1.02	\$/l	

En el cálculo del costo de agua está en función del consumo de agua requerido por el proceso y por el equipo gravimétrico.

Tabla 16. Consumo de agua generado por el concentrador y demanda en el proceso

Consumo de agua		
Concentrador	17	l/min
Proceso	$i \times j$	l/s

Tabla 17. Demanda de agua en el proceso

Consumo agua l/s		
1.12	1.32	1.51
1.15	1.34	1.54
1.18	1.37	1.57
1.20	1.40	1.59
1.23	1.43	1.62
1.26	1.45	1.65
1.29	1.48	1.68

En el cálculo de costo de procesamiento se tomó en cuenta la potencia requerida del motor y su capacidad de procesamiento (tn/hr), como también, los diferentes tiempos de procesamiento a analizar (60 min, 90 min, 120 min).

Tabla 18. Rendimientos y potencia de molino necesarios para cada capacidad de Planta

TMD		
150 TMD	18 ton/hr	283.31 KW
250 TMD	30ton/hr	347.88 KW
350 TMD	42ton/hr	390.41 KW
450 TMD	55 ton/hr	424.49 KW

A continuación, se muestra los costos totales calculados, para cada una de las combinaciones metalúrgicas, a partir de los costos variables y fijos, como también para 4 diversas capacidades de procesamiento: 150, 250,350 y 450 TPD.

✚ 150TMD

Tabla 19. Costo total para una capacidad de 150TMD

Densidad de Flujo gr/cm ³	Malla 100 70	Malla 150 70	Malla 200 70	Malla 100 80	Malla 150 80	Malla 200 80	Malla 100 90	Malla 150 90	Malla 200 90
1.645	39.37	130.86	283.33	39.37	130.86	283.33	39.37	130.86	283.33
1.63	39.48	130.96	283.44	39.48	130.96	283.44	39.48	130.96	283.44
1.615	39.58	131.07	283.54	39.58	131.07	283.54	39.58	131.07	283.54
1.6	39.65	131.14	283.61	39.65	131.14	283.61	39.65	131.14	283.61
1.585	39.76	131.24	283.72	39.76	131.24	283.72	39.76	131.24	283.72
1.57	39.86	131.35	283.82	39.86	131.35	283.82	39.86	131.35	283.82
1.555	39.97	131.45	283.93	39.97	131.45	283.93	39.97	131.45	283.93
1.54	40.07	131.56	284.03	40.07	131.56	284.03	40.07	131.56	284.03
1.525	40.14	131.63	284.10	40.14	131.63	284.10	40.14	131.63	284.10
1.51	40.25	131.73	284.21	40.25	131.73	284.21	40.25	131.73	284.21
1.495	40.35	131.84	284.31	40.35	131.84	284.31	40.35	131.84	284.31
1.48	40.46	131.94	284.42	40.46	131.94	284.42	40.46	131.94	284.42
1.465	40.53	132.01	284.49	40.53	132.01	284.49	40.53	132.01	284.49
1.45	40.63	132.12	284.59	40.63	132.12	284.59	40.63	132.12	284.59
1.435	40.74	132.22	284.70	40.74	132.22	284.70	40.74	132.22	284.70
1.42	40.84	132.33	284.80	40.84	132.33	284.80	40.84	132.33	284.80
1.405	40.95	132.43	284.91	40.95	132.43	284.91	40.95	132.43	284.91
1.39	41.02	132.50	284.98	41.02	132.50	284.98	41.02	132.50	284.98
1.375	41.12	132.61	285.08	41.12	132.61	285.08	41.12	132.61	285.08
1.36	41.23	132.71	285.19	41.23	132.71	285.19	41.23	132.71	285.19
1.345	41.33	132.82	285.29	41.33	132.82	285.29	41.33	132.82	285.29

✚ 250 TMD

Tabla 20. Costo total para una capacidad de 250TMD

Densidad de Flujo gr/cm ³	Malla 100 70	Malla 150 70	Malla 200 70	Malla 100 80	Malla 150 80	Malla 200 80	Malla 100 90	Malla 150 90	Malla 200 90
1.645	33.42	100.82	213.15	33.42	100.82	213.15	33.42	100.82	213.15
1.63	33.53	100.93	213.26	33.53	100.93	213.26	33.53	100.93	213.26
1.615	33.64	101.04	213.37	33.64	101.04	213.37	33.64	101.04	213.37
1.6	33.71	101.11	213.45	33.71	101.11	213.45	33.71	101.11	213.45
1.585	33.82	101.22	213.56	33.82	101.22	213.56	33.82	101.22	213.56
1.57	33.93	101.33	213.67	33.93	101.33	213.67	33.93	101.33	213.67
1.555	34.04	101.44	213.78	34.04	101.44	213.78	34.04	101.44	213.78
1.54	34.15	101.55	213.89	34.15	101.55	213.89	34.15	101.55	213.89
1.525	34.22	101.63	213.96	34.22	101.63	213.96	34.22	101.63	213.96
1.51	34.33	101.74	214.07	34.33	101.74	214.07	34.33	101.74	214.07
1.495	34.44	101.85	214.18	34.44	101.85	214.18	34.44	101.85	214.18
1.48	34.56	101.96	214.29	34.56	101.96	214.29	34.56	101.96	214.29
1.465	34.63	102.03	214.37	34.63	102.03	214.37	34.63	102.03	214.37
1.45	34.74	102.14	214.48	34.74	102.14	214.48	34.74	102.14	214.48
1.435	34.85	102.25	214.59	34.85	102.25	214.59	34.85	102.25	214.59
1.42	34.96	102.36	214.70	34.96	102.36	214.70	34.96	102.36	214.70
1.405	35.07	102.47	214.81	35.07	102.47	214.81	35.07	102.47	214.81
1.39	35.14	102.54	214.88	35.14	102.54	214.88	35.14	102.54	214.88
1.375	35.25	102.65	214.99	35.25	102.65	214.99	35.25	102.65	214.99
1.36	35.36	102.77	215.10	35.36	102.77	215.10	35.36	102.77	215.10
1.345	35.47	102.88	215.21	35.47	102.88	215.21	35.47	102.88	215.21

350TMD

Tabla 21. Costo total para una capacidad de 350TMD

Densidad de Flujo gr/cm ³	Malla 100-70	Malla 150-70	Malla 200-70	Malla 100-80	Malla 150-80	Malla 200-80	Malla 100-90	Malla 150-90	Malla 200-90
1.645	29.79	83.82	173.87	29.79	83.82	173.87	29.79	83.82	173.87
1.63	29.89	83.92	173.97	29.89	83.92	173.97	29.89	83.92	173.97
1.615	30.00	84.03	174.07	30.00	84.03	174.07	30.00	84.03	174.07
1.6	30.06	84.09	174.14	30.06	84.09	174.14	30.06	84.09	174.14
1.585	30.16	84.19	174.24	30.16	84.19	174.24	30.16	84.19	174.24
1.57	30.27	84.30	174.35	30.27	84.30	174.35	30.27	84.30	174.35
1.555	30.37	84.40	174.45	30.37	84.40	174.45	30.37	84.40	174.45
1.54	30.47	84.50	174.55	30.47	84.50	174.55	30.47	84.50	174.55
1.525	30.54	84.57	174.62	30.54	84.57	174.62	30.54	84.57	174.62
1.51	30.64	84.67	174.72	30.64	84.67	174.72	30.64	84.67	174.72
1.495	30.74	84.77	174.82	30.74	84.77	174.82	30.74	84.77	174.82
1.48	30.84	84.87	174.92	30.84	84.87	174.92	30.84	84.87	174.92
1.465	30.91	84.94	174.99	30.91	84.94	174.99	30.91	84.94	174.99
1.45	31.01	85.04	175.09	31.01	85.04	175.09	31.01	85.04	175.09
1.435	31.11	85.14	175.19	31.11	85.14	175.19	31.11	85.14	175.19
1.42	31.21	85.24	175.29	31.21	85.24	175.29	31.21	85.24	175.29
1.405	31.31	85.34	175.39	31.31	85.34	175.39	31.31	85.34	175.39
1.39	31.38	85.41	175.46	31.38	85.41	175.46	31.38	85.41	175.46
1.375	31.48	85.51	175.56	31.48	85.51	175.56	31.48	85.51	175.56
1.36	31.58	85.61	175.66	31.58	85.61	175.66	31.58	85.61	175.66
1.345	31.68	85.71	175.76	31.68	85.71	175.76	31.68	85.71	175.76

450 TMD

Tabla 22. Costo total para una capacidad de 450TMD

Densidad de Flujo gr/cm ³	Malla 100-70	Malla 150-70	Malla 200-70	Malla 100-80	Malla 150-80	Malla 200-80	Malla 100-90	Malla 150-90	Malla 200-90
1.645	28.87	73.73	148.50	28.87	73.73	148.50	28.87	73.73	148.50
1.63	28.97	73.83	148.60	28.97	73.83	148.60	28.97	73.83	148.60
1.615	29.08	73.94	148.71	29.08	73.94	148.71	29.08	73.94	148.71
1.6	29.15	74.01	148.78	29.15	74.01	148.78	29.15	74.01	148.78
1.585	29.25	74.11	148.88	29.25	74.11	148.88	29.25	74.11	148.88
1.57	29.36	74.22	148.99	29.36	74.22	148.99	29.36	74.22	148.99
1.555	29.46	74.32	149.09	29.46	74.32	149.09	29.46	74.32	149.09
1.54	29.57	74.43	149.20	29.57	74.43	149.20	29.57	74.43	149.20
1.525	29.64	74.50	149.27	29.64	74.50	149.27	29.64	74.50	149.27
1.51	29.74	74.60	149.37	29.74	74.60	149.37	29.74	74.60	149.37
1.495	29.85	74.71	149.48	29.85	74.71	149.48	29.85	74.71	149.48
1.48	29.95	74.81	149.58	29.95	74.81	149.58	29.95	74.81	149.58
1.465	30.02	74.88	149.65	30.02	74.88	149.65	30.02	74.88	149.65
1.45	30.13	74.99	149.76	30.13	74.99	149.76	30.13	74.99	149.76
1.435	30.23	75.09	149.86	30.23	75.09	149.86	30.23	75.09	149.86
1.42	30.34	75.20	149.97	30.34	75.20	149.97	30.34	75.20	149.97
1.405	30.44	75.30	150.07	30.44	75.30	150.07	30.44	75.30	150.07
1.39	30.51	75.37	150.14	30.51	75.37	150.14	30.51	75.37	150.14
1.375	30.62	75.48	150.25	30.62	75.48	150.25	30.62	75.48	150.25
1.36	30.72	75.58	150.35	30.72	75.58	150.35	30.72	75.58	150.35
1.345	30.83	75.69	150.46	30.83	75.69	150.46	30.83	75.69	150.46

4.2.3. TABLA RESUMEN REC-COSTO OPERATIVO: BREAK EVEN CUT OFF

Se procede a establecer un orden de acuerdo a la densidad de flujo; con lo cual se pudo establecer los diversos costos totales (NSR cutt off) y las recuperaciones metalúrgicas para cada combinación de parámetros operativos. De este modo, se obtuvo en primera instancia, alrededor de 189 posibilidades para evaluar el proyecto; como también, la definición de cada ley cut off para cada caso y diversas capacidades de tratamiento.

✚ 150TMD

Tabla 23. Break Even Cut off para una capacidad de 150TMD

Densidad de Flujo gr/cm3	Break Even Cut Off (gr/TM)								
	Malla 100-70	Malla 150 70	Malla 200 70	Malla 100-80	Malla 150 80	Malla 200 80	Malla 100-90	Malla 150 90	Malla 200 90
1.645	2.424	7.877	15.790	2.474	7.269	15.227	2.024	6.152	12.516
1.63	2.367	7.475	15.201	2.441	7.114	14.831	1.950	6.056	12.255
1.615	2.234	7.140	14.626	2.373	6.897	14.260	1.868	5.968	11.892
1.6	2.193	7.058	14.168	2.341	6.725	13.651	1.843	5.800	11.495
1.585	2.180	6.979	13.592	2.276	6.583	12.969	1.797	5.585	11.452
1.57	2.088	6.843	13.170	2.147	6.155	12.550	1.756	5.421	11.147
1.555	2.041	6.551	12.646	2.017	5.972	12.105	1.692	5.227	10.783
1.54	1.992	6.447	11.744	1.902	5.703	11.575	1.661	5.139	10.404
1.525	1.930	6.132	11.423	1.848	5.532	11.162	1.593	4.932	10.176
1.51	1.854	5.948	10.990	1.782	5.307	10.847	1.581	5.050	10.069
1.495	1.804	5.680	10.681	1.717	5.177	10.465	1.567	4.790	10.114
1.48	1.713	5.546	10.923	1.690	4.973	10.951	1.558	4.915	10.266
1.465	1.691	5.342	11.306	1.621	5.080	11.100	1.523	4.965	10.428
1.45	1.674	5.194	11.478	1.591	5.159	11.197	1.568	5.120	10.614
1.435	1.640	5.485	11.936	1.632	5.298	11.577	1.618	5.237	10.972
1.42	1.764	5.604	12.235	1.714	5.514	11.775	1.676	5.343	11.262
1.405	1.874	5.703	12.640	1.768	5.659	12.056	1.717	5.479	11.690
1.39	1.900	5.887	13.203	1.799	5.733	12.285	1.779	5.623	11.948
1.375	1.966	6.321	13.632	1.884	5.928	12.432	1.825	5.842	12.074
1.36	2.158	6.828	14.011	2.037	6.236	13.208	1.856	6.003	12.343
1.345	2.201	6.935	14.348	2.080	6.621	13.642	1.997	6.093	12.390

✚ 250 TMD

Tabla 24. Break Even Cut off para una capacidad de 250TMD

Densidad de Flujo gr/cm ³	Break Even Cut Off (gr/TM)								
	Malla 100-70	Malla 150 70	Malla 200 70	Malla 100-80	Malla 150 80	Malla 200 80	Malla 100-90	Malla 150 90	Malla 200 90
1.645	2.057	6.068	11.879	2.099	5.600	11.456	1.717	4.740	9.416
1.63	2.010	5.761	11.438	2.073	5.482	11.159	1.656	4.667	9.221
1.615	1.899	5.504	11.007	2.016	5.317	10.731	1.588	4.601	8.949
1.6	1.864	5.442	10.663	1.990	5.185	10.273	1.567	4.472	8.651
1.585	1.855	5.382	10.231	1.936	5.077	9.762	1.528	4.307	8.620
1.57	1.777	5.280	9.915	1.828	4.749	9.448	1.494	4.182	8.391
1.555	1.738	5.055	9.521	1.717	4.608	9.114	1.441	4.034	8.119
1.54	1.697	4.977	8.844	1.621	4.402	8.717	1.415	3.967	7.834
1.525	1.645	4.735	8.603	1.575	4.271	8.406	1.358	3.808	7.664
1.51	1.581	4.593	8.278	1.520	4.098	8.170	1.348	3.900	7.584
1.495	1.540	4.388	8.046	1.465	3.999	7.884	1.338	3.701	7.619
1.48	1.463	4.286	8.230	1.444	3.843	8.251	1.330	3.798	7.735
1.465	1.445	4.129	8.519	1.385	3.927	8.364	1.301	3.837	7.858
1.45	1.431	4.015	8.650	1.360	3.988	8.438	1.341	3.958	7.999
1.435	1.403	4.242	8.997	1.396	4.097	8.726	1.384	4.050	8.270
1.42	1.510	4.335	9.223	1.467	4.265	8.876	1.435	4.133	8.490
1.405	1.605	4.413	9.530	1.514	4.379	9.089	1.470	4.239	8.813
1.39	1.628	4.556	9.956	1.541	4.437	9.263	1.525	4.351	9.009
1.375	1.686	4.893	10.280	1.615	4.589	9.376	1.564	4.522	9.105
1.36	1.851	5.287	10.567	1.747	4.828	9.962	1.592	4.648	9.309
1.345	1.889	5.371	10.823	1.785	5.129	10.291	1.714	4.720	9.346

350 TMD

Tabla 25. Break Even Cut off para una capacidad de 350TMD

Densidad de Flujo gr/cm ³	Break Even Cut Off (gr/TM)								
	Malla 100-70	Malla 150-70	Malla 200-70	Malla 100-80	Malla 150-80	Malla 200-80	Malla 100-90	Malla 150-90	Malla 200-90
1.645	1.834	5.046	9.690	1.872	4.656	9.345	1.531	3.941	7.681
1.63	1.792	4.790	9.331	1.848	4.559	9.103	1.477	3.881	7.522
1.615	1.693	4.577	8.979	1.798	4.422	8.754	1.416	3.826	7.301
1.6	1.662	4.526	8.699	1.775	4.313	8.382	1.397	3.719	7.058
1.585	1.654	4.477	8.347	1.727	4.223	7.965	1.363	3.583	7.033
1.57	1.585	4.392	8.090	1.630	3.950	7.709	1.333	3.479	6.847
1.555	1.551	4.206	7.769	1.532	3.834	7.437	1.285	3.356	6.625
1.54	1.514	4.141	7.217	1.446	3.663	7.113	1.263	3.300	6.393
1.525	1.468	3.940	7.021	1.405	3.554	6.860	1.212	3.169	6.255
1.51	1.411	3.823	6.756	1.356	3.411	6.668	1.203	3.246	6.190
1.495	1.374	3.652	6.567	1.308	3.329	6.435	1.194	3.080	6.219
1.48	1.306	3.568	6.718	1.288	3.199	6.735	1.187	3.162	6.314
1.465	1.290	3.437	6.954	1.236	3.269	6.827	1.161	3.194	6.414
1.45	1.278	3.343	7.062	1.214	3.321	6.889	1.197	3.295	6.530
1.435	1.253	3.532	7.345	1.246	3.411	7.124	1.236	3.372	6.751
1.42	1.348	3.610	7.530	1.310	3.552	7.247	1.281	3.442	6.932
1.405	1.433	3.675	7.781	1.352	3.647	7.422	1.313	3.531	7.196
1.39	1.453	3.795	8.129	1.376	3.695	7.563	1.361	3.624	7.356
1.375	1.505	4.076	8.395	1.442	3.823	7.656	1.397	3.767	7.435
1.36	1.653	4.405	8.630	1.560	4.023	8.136	1.422	3.872	7.603
1.345	1.687	4.475	8.839	1.594	4.273	8.405	1.531	3.932	7.633

450 TMD

Tabla 26. Break Even Cut off para una capacidad de 450TMD

Densidad de Flujo gr/cm3	Break Even Cut Off (gr/TM)								
	Malla 100-70	Malla 150 70	Malla 200 70	Malla 100-80	Malla 150 80	Malla 200 80	Malla 100-90	Malla 150 90	Malla 200 90
1.645	1.777	4.438	8.276	1.813	4.095	7.981	1.483	3.466	6.560
1.63	1.737	4.214	7.970	1.791	4.011	7.776	1.431	3.414	6.425
1.615	1.641	4.028	7.671	1.743	3.891	7.478	1.372	3.367	6.237
1.6	1.612	3.983	7.432	1.721	3.795	7.161	1.355	3.273	6.030
1.585	1.604	3.941	7.132	1.675	3.717	6.805	1.322	3.154	6.010
1.57	1.537	3.867	6.913	1.581	3.478	6.588	1.293	3.063	5.851
1.555	1.505	3.704	6.640	1.486	3.376	6.356	1.247	2.955	5.662
1.54	1.469	3.648	6.169	1.403	3.227	6.080	1.225	2.907	5.465
1.525	1.425	3.471	6.001	1.364	3.131	5.864	1.176	2.791	5.347
1.51	1.370	3.368	5.776	1.317	3.005	5.701	1.168	2.860	5.292
1.495	1.334	3.219	5.615	1.270	2.934	5.502	1.159	2.714	5.317
1.48	1.268	3.145	5.745	1.251	2.820	5.759	1.153	2.787	5.399
1.465	1.253	3.030	5.947	1.200	2.882	5.839	1.128	2.816	5.486
1.45	1.241	2.948	6.040	1.180	2.928	5.892	1.163	2.906	5.585
1.435	1.217	3.115	6.283	1.211	3.009	6.094	1.201	2.974	5.775
1.42	1.310	3.185	6.442	1.273	3.134	6.200	1.245	3.036	5.930
1.405	1.393	3.243	6.658	1.314	3.218	6.350	1.276	3.115	6.157
1.39	1.413	3.349	6.956	1.338	3.261	6.472	1.324	3.198	6.295
1.375	1.464	3.598	7.184	1.403	3.374	6.552	1.359	3.325	6.363
1.36	1.608	3.889	7.386	1.518	3.551	6.963	1.383	3.419	6.507
1.345	1.641	3.952	7.566	1.551	3.773	7.194	1.490	3.472	6.534

4.3. ANÁLISIS ECONÓMICO VINCULADO A VARIABLES TÉCNICAS

El análisis económico está basado en el análisis de 4 criterios económicos, VAN, TIR, B/C y PRI, para cada una de las 189 combinaciones operativas para una determinada capacidad de tratamiento, en este caso de 360 tpd,. A Continuación, se muestran los resultados obtenidos para cada criterio económico.

Cabe indicar que los indicadores de color verde y rojo, en cada una de las tablas, representa los 10 mejores y los 10 peores resultados.

4.3.1. ANÁLISIS VAN

Para el análisis VAN se estableció una tasa de retorno 20% debido a la etapa conceptual del proyecto, precio del oro en 1300\$/oz y una ratio de concentración de 60. En base al tonelaje de reservas y la capacidad de procesamiento, se estableció un periodo de 5 años de vida para el proyecto.

🚩 Caso 350

Tabla 27. Análisis VAN para una capacidad de 350TMD

Densidad de Flujo gr/cm ³	VAN (\$)								
	Malla 100-70	Malla 150-70	Malla 200-70	Malla 100-80	Malla 150-80	Malla 200-80	Malla 100-90	Malla 150-90	Malla 200-90
1.645	\$ 44,923,906.908	\$34,645,859.262	\$ 19,946,645.181	\$ 43,816,838.119	\$39,394,832.913	\$ 22,213,500.319	\$ 55,915,518.448	\$ 50,562,169.658	\$ 35,990,356.351
1.63	\$ 46,395,924.217	\$37,723,126.314	\$ 22,323,647.294	\$ 44,665,030.953	\$40,761,415.100	\$ 23,913,960.394	\$ 58,582,467.148	\$ 51,753,026.640	\$ 37,646,885.125
1.615	\$ 49,915,140.158	\$40,561,407.088	\$ 24,832,443.309	\$ 46,391,849.808	\$42,769,394.283	\$ 26,536,977.793	\$ 61,785,377.721	\$ 52,882,379.801	\$ 40,067,818.538
1.6	\$ 51,165,930.344	\$41,306,987.312	\$ 26,979,432.039	\$ 47,238,472.024	\$44,450,711.220	\$ 29,571,378.805	\$ 62,895,587.744	\$ 55,082,086.091	\$ 42,891,349.305
1.585	\$ 51,653,886.509	\$42,060,288.534	\$ 29,883,609.764	\$ 49,026,794.701	\$45,922,728.529	\$ 33,310,251.252	\$ 64,965,070.748	\$ 58,100,485.200	\$ 43,212,366.525
1.57	\$ 54,575,636.755	\$43,362,731.021	\$ 32,172,749.274	\$ 52,765,667.149	\$50,698,379.683	\$ 35,810,261.007	\$ 66,911,546.110	\$ 60,574,136.175	\$ 45,545,437.336
1.555	\$ 56,214,593.008	\$46,327,533.943	\$ 35,235,079.684	\$ 57,031,715.209	\$52,978,732.932	\$ 38,661,721.172	\$ 70,044,166.601	\$ 63,697,970.406	\$ 48,493,546.363
1.54	\$ 58,038,060.726	\$47,460,401.607	\$ 41,135,372.146	\$ 61,288,977.009	\$56,559,452.695	\$ 42,339,089.797	\$ 71,744,626.676	\$ 65,222,705.277	\$ 51,784,319.538
1.525	\$ 60,343,202.140	\$51,066,788.160	\$ 43,466,872.340	\$ 63,515,042.081	\$59,022,746.793	\$ 45,452,567.151	\$ 75,394,065.904	\$ 68,924,862.065	\$ 53,878,590.706
1.51	\$ 63,449,463.850	\$53,383,165.076	\$ 46,827,935.598	\$ 66,436,792.327	\$62,524,390.214	\$ 47,987,721.947	\$ 76,259,831.257	\$ 66,838,443.984	\$ 54,911,295.004
1.495	\$ 65,668,313.279	\$56,995,515.376	\$ 49,398,235.435	\$ 69,560,626.558	\$64,699,308.341	\$ 51,269,708.863	\$ 77,204,672.953	\$ 71,728,316.520	\$ 54,494,266.365
1.48	\$ 69,890,430.038	\$58,946,383.868	\$ 47,390,893.695	\$ 70,997,498.826	\$68,323,959.405	\$ 47,162,450.929	\$ 77,956,216.924	\$ 69,387,096.892	\$ 53,084,390.321
1.465	\$ 71,070,930.143	\$62,087,098.628	\$ 44,380,347.673	\$ 74,646,938.054	\$66,438,054.691	\$ 45,979,447.034	\$ 80,129,564.434	\$ 68,511,612.104	\$ 51,620,226.098
1.45	\$ 72,094,848.180	\$64,544,934.334	\$ 43,102,265.532	\$ 76,426,474.471	\$65,133,613.770	\$ 45,228,540.506	\$ 77,709,268.464	\$ 65,801,369.547	\$ 49,999,479.808
1.435	\$ 74,014,964.761	\$59,972,883.235	\$ 39,856,061.101	\$ 74,436,705.252	\$62,889,043.004	\$ 42,386,504.045	\$ 75,165,964.850	\$ 63,873,104.149	\$ 47,025,649.444
1.42	\$ 68,247,103.645	\$58,260,759.839	\$ 37,875,078.142	\$ 70,566,676.345	\$59,581,334.751	\$ 40,985,414.261	\$ 72,376,645.951	\$ 62,208,426.558	\$ 44,745,933.637
1.405	\$ 63,770,822.783	\$56,900,965.478	\$ 35,331,774.528	\$ 68,269,388.018	\$57,521,275.450	\$ 39,065,935.124	\$ 70,615,319.497	\$ 60,157,153.517	\$ 41,596,378.068
1.39	\$ 62,868,979.214	\$54,450,104.232	\$ 32,048,854.439	\$ 66,998,521.520	\$56,522,783.019	\$ 37,566,625.860	\$ 67,859,575.022	\$ 58,069,164.818	\$ 39,798,335.957
1.375	\$ 60,527,759.586	\$49,202,389.722	\$ 29,733,993.591	\$ 63,655,668.226	\$53,961,906.885	\$ 36,631,207.867	\$ 66,071,889.788	\$ 55,086,548.194	\$ 38,959,566.827
1.36	\$ 54,329,371.719	\$43,912,501.162	\$ 27,805,728.194	\$ 58,221,684.999	\$50,223,671.881	\$ 32,031,919.362	\$ 64,943,174.070	\$ 53,044,061.413	\$ 37,207,026.634
1.345	\$ 53,200,656.002	\$42,919,093.853	\$ 26,176,195.644	\$ 56,943,602.858	\$46,019,765.086	\$ 29,690,699.734	\$ 59,737,633.609	\$ 51,959,276.997	\$ 36,913,005.638

4.3.2. ANÁLISIS TIR

Para el análisis TIR se estableció un precio del oro en 1300\$/oz y una ratio de concentración de 60, con la vida del proyecto anteriormente mencionada. En base a lo descrito, se lleva los flujos económicos proyectados a año 0 con un i % desconocido, que con una igualdad al capex permitirá su cálculo.

✚ Caso 350

Tabla 28. Análisis TIR para una capacidad de 350TMD

Densidad de Flujo gr/cm ³	TIR(%)								
	Malla 100-70	Malla 150-70	Malla 200-70	Malla 100-80	Malla 150-80	Malla 200-80	Malla 100-90	Malla 150-90	Malla 200-90
1.645	1747.918%	1355.664%	794.670%	1705.668%	1536.906%	881.187%	2167.404%	1963.098%	1406.976%
1.63	1804.097%	1473.106%	885.391%	1738.039%	1589.060%	946.086%	2269.186%	2008.546%	1470.196%
1.615	1938.405%	1581.427%	981.140%	1803.941%	1665.693%	1046.193%	2391.422%	2051.647%	1562.590%
1.6	1986.140%	1609.881%	1063.079%	1836.252%	1729.859%	1162.000%	2433.792%	2135.597%	1670.347%
1.585	2004.762%	1638.631%	1173.916%	1904.502%	1786.038%	1304.692%	2512.772%	2250.791%	1682.599%
1.57	2116.268%	1688.337%	1261.280%	2047.193%	1968.296%	1400.103%	2587.058%	2345.196%	1771.639%
1.555	2178.818%	1801.487%	1378.152%	2210.003%	2055.324%	1508.927%	2706.611%	2464.414%	1884.151%
1.54	2248.409%	1844.722%	1603.332%	2372.477%	2191.979%	1649.271%	2771.508%	2522.605%	2009.740%
1.525	2336.383%	1982.356%	1692.312%	2457.433%	2285.989%	1768.094%	2910.786%	2663.894%	2089.666%
1.51	2454.930%	2070.759%	1820.584%	2568.939%	2419.626%	1864.846%	2943.827%	2584.268%	2129.079%
1.495	2539.611%	2208.621%	1918.677%	2688.158%	2502.630%	1990.101%	2979.886%	2770.886%	2113.163%
1.48	2700.744%	2283.074%	1842.069%	2742.995%	2640.961%	1833.350%	3008.568%	2681.535%	2059.356%
1.465	2745.797%	2402.937%	1727.174%	2882.272%	2568.987%	1788.202%	3091.512%	2648.123%	2003.478%
1.45	2784.874%	2496.738%	1678.397%	2950.187%	2519.204%	1759.544%	2999.143%	2544.689%	1941.623%
1.435	2858.153%	2322.250%	1554.508%	2874.249%	2433.542%	1651.080%	2902.080%	2471.098%	1828.130%
1.42	2638.028%	2256.908%	1478.905%	2726.553%	2307.307%	1597.609%	2795.628%	2407.567%	1741.126%
1.405	2467.195%	2205.013%	1381.842%	2638.879%	2228.686%	1524.353%	2728.409%	2329.282%	1620.926%
1.39	2432.777%	2111.478%	1256.551%	2590.377%	2190.580%	1467.133%	2623.238%	2249.596%	1552.305%
1.375	2343.426%	1911.203%	1168.206%	2462.800%	2092.846%	1431.434%	2555.013%	2135.767%	1520.294%
1.36	2106.870%	1709.319%	1094.614%	2255.417%	1950.179%	1255.905%	2511.937%	2057.817%	1453.410%
1.345	2063.793%	1671.406%	1032.424%	2206.640%	1789.741%	1166.554%	2313.272%	2016.417%	1442.189%

4.3.3. ANÁLISIS BC

Para el análisis BC se estableció un precio del oro en 1300\$/oz y una ratio de concentración de 60, con la vida del proyecto anteriormente mencionada. En base a lo descrito, se lleva los saldos de caja proyectados a año 0 con un 20% y se realiza la relación directa respecto a los egresos proyectados por año a año 0.

🚧 Caso 350

Tabla 29. Análisis BC para una capacidad de 350TMD

Densidad de Flujo gr/cm ³	BC								
	Malla 100-70	Malla 150-70	Malla 200-70	Malla 100-80	Malla 150-80	Malla 200-80	Malla 100-90	Malla 150-90	Malla 200-90
1.645	1.059	0.638	0.266	1.053	0.682	0.289	1.111	0.767	0.411
1.63	1.066	0.666	0.290	1.057	0.693	0.306	1.121	0.774	0.424
1.615	1.083	0.691	0.314	1.065	0.709	0.330	1.132	0.781	0.442
1.6	1.089	0.697	0.334	1.069	0.722	0.358	1.135	0.795	0.462
1.585	1.090	0.702	0.360	1.078	0.733	0.389	1.141	0.813	0.464
1.57	1.102	0.712	0.379	1.094	0.766	0.409	1.147	0.826	0.480
1.555	1.108	0.735	0.404	1.111	0.780	0.431	1.155	0.842	0.500
1.54	1.115	0.743	0.449	1.127	0.802	0.458	1.159	0.850	0.520
1.525	1.123	0.767	0.465	1.134	0.816	0.479	1.168	0.868	0.533
1.51	1.133	0.782	0.488	1.142	0.835	0.496	1.170	0.857	0.539
1.495	1.139	0.804	0.505	1.151	0.846	0.517	1.172	0.880	0.536
1.48	1.151	0.815	0.492	1.155	0.864	0.490	1.173	0.869	0.528
1.465	1.154	0.832	0.471	1.164	0.854	0.482	1.178	0.864	0.519
1.45	1.157	0.844	0.462	1.168	0.847	0.477	1.171	0.851	0.508
1.435	1.161	0.819	0.438	1.162	0.835	0.457	1.164	0.840	0.489
1.42	1.144	0.809	0.423	1.151	0.817	0.447	1.156	0.831	0.473
1.405	1.129	0.801	0.403	1.143	0.804	0.432	1.150	0.820	0.451
1.39	1.125	0.786	0.377	1.139	0.798	0.421	1.142	0.807	0.438
1.375	1.116	0.751	0.357	1.127	0.782	0.413	1.135	0.789	0.431
1.36	1.091	0.711	0.340	1.107	0.757	0.376	1.131	0.776	0.418
1.345	1.085	0.703	0.325	1.101	0.727	0.356	1.112	0.768	0.415

4.3.4. ANÁLISIS PRI

Para el análisis PRI se trabajó con los parámetros anteriormente mencionados. En base a lo descrito, se realiza una relación indirecta del capex respecto los saldos de cajas proyectados para el cálculo del indicador financiero.

✚ Caso 350

Tabla 30. Análisis PRI para una capacidad de 350TMD

Densidad de Flujo gr/cm ³	PRI								
	Malla 100-70	Malla 150-70	Malla 200-70	Malla 100-80	Malla 150-80	Malla 200-80	Malla 100-90	Malla 150-90	Malla 200-90
1.645	0.057	0.074	0.126	0.059	0.065	0.113	0.046	0.051	0.071
1.63	0.055	0.068	0.113	0.058	0.063	0.106	0.044	0.050	0.068
1.615	0.052	0.063	0.102	0.055	0.060	0.096	0.042	0.049	0.064
1.6	0.050	0.062	0.094	0.054	0.058	0.086	0.041	0.047	0.060
1.585	0.050	0.061	0.085	0.053	0.056	0.077	0.040	0.044	0.059
1.57	0.047	0.059	0.079	0.049	0.051	0.071	0.039	0.043	0.056
1.555	0.046	0.056	0.073	0.045	0.049	0.066	0.037	0.041	0.053
1.54	0.044	0.054	0.062	0.042	0.046	0.061	0.036	0.040	0.050
1.525	0.043	0.050	0.059	0.041	0.044	0.057	0.034	0.038	0.048
1.51	0.041	0.048	0.055	0.039	0.041	0.054	0.034	0.039	0.047
1.495	0.039	0.045	0.052	0.037	0.040	0.050	0.034	0.036	0.047
1.48	0.037	0.044	0.054	0.036	0.038	0.055	0.033	0.037	0.049
1.465	0.036	0.042	0.058	0.035	0.039	0.056	0.032	0.038	0.050
1.45	0.036	0.040	0.060	0.034	0.040	0.057	0.033	0.039	0.052
1.435	0.035	0.043	0.064	0.035	0.041	0.061	0.034	0.040	0.055
1.42	0.038	0.044	0.068	0.037	0.043	0.063	0.036	0.042	0.057
1.405	0.041	0.045	0.072	0.038	0.045	0.066	0.037	0.043	0.062
1.39	0.041	0.047	0.080	0.039	0.046	0.068	0.038	0.044	0.064
1.375	0.043	0.052	0.086	0.041	0.048	0.070	0.039	0.047	0.066
1.36	0.047	0.059	0.091	0.044	0.051	0.080	0.040	0.049	0.069
1.345	0.048	0.060	0.097	0.045	0.056	0.086	0.043	0.050	0.069

4.4. SELECCIÓN DE CASO CON MAYOR VALOR AL PROYECTO

A partir de los 189 casos analizados a una ley de 16 gr/TM con un tonelaje conceptualmente asumido de 630 000TM se obtiene los 5 mejores y peores casos para el proyecto.

Tabla 31. Cinco mejores y peores casos del análisis a una capacidad de 350 TPD

Capacidad de 350 TPD					
densidad	malla-fuerza	van	tir	b/c	pri
1.465	Malla 100-90	\$ 80,129,564.40	30.92	1.18	0.03
1.48	Malla 100-90	\$ 77,956,216.90	30.09	1.17	0.03
1.45	Malla 100-90	\$ 77,709,268.50	29.99	1.17	0.03
1.495	Malla 100-90	\$ 77,204,673.00	29.80	1.17	0.03
1.45	Malla 100-80	\$ 76,426,474.50	29.50	1.17	0.03
1.615	Malla 200-70	\$ 24,832,443.30	9.81	0.31	0.10
1.63	Malla 200-80	\$ 23,913,960.40	9.46	0.31	0.11
1.63	Malla 200-70	\$ 22,323,647.30	8.85	0.29	0.11
1.645	Malla 200-80	\$ 22,213,500.30	8.81	0.29	0.11
1.645	Malla 200-70	\$ 19,946,645.20	7.95	0.27	0.13

Los mayores indicadores financieros del proyecto se encuentran al realizar la operación a una malla -100 y una fuerza de concentración gravimétrica de 90 G; además, se observa que una mayor reducción de tamaño de las partículas de relave no significa obtener un mayor valor del proyecto en el largo plazo.

4.5. EVALUACIÓN A NUEVA CAPACIDAD DE PROCESAMIENTO

Para las nuevas evaluaciones económicas conceptuales a diferentes capacidades de procesamiento, siempre se mantiene el tonelaje de reservas, pues sino no sería factible su comparación.

Así mismo, para cada una las nuevas capacidades de procesamiento se procedieron a establecer los capex y opex, en base a bench marking, regresiones multivariables e investigación del mercado peruano. A continuación, con mayor detalle los capex para las diversas capacidades de procesamiento.

Tabla 32. CAPEX total de equipos para diferente capacidad de planta

CAPEX-Equipos	150 TMD	250 TMD	350 TMD	450 TMD	
Concentradores Falcon Ion	28000.00	49000.00	63000.00	84000.00	\$
Generador Hyundai 4900 wattss	1376.47	2752.94	4129.41	5505.88	\$
Molinos	323428.57	646857.14	808571.43	970285.71	\$
Balanza electrónica	461.76	461.76	461.76	461.76	\$
TOTAL	353266.81	699071.85	876162.61	1060253.36	\$

A continuación, se muestran los 5 mejores casos óptimos y los 5 peores casos, en base al análisis de los criterios económicos, para las diversas capacidades de procesamiento. Así mismo, también se muestra los parámetros operativos para cada uno de los casos.

Tabla 33. Cinco mejores y peores casos del análisis a una capacidad de 150 TPD

Capacidad de 150 TPD						
densidad	malla-fuerza	van	tir	b/c	pri	
1.465	Malla 100-90	\$ 49,398,863.82	32.02	1.11	0.03	
1.48	Malla 100-90	\$ 48,028,238.16	31.14	1.11	0.03	
1.45	Malla 100-90	\$ 47,871,618.44	31.04	1.10	0.03	
1.495	Malla 100-90	\$ 47,554,664.70	30.84	1.10	0.03	
1.45	Malla 100-80	\$ 47,062,423.01	30.52	1.10	0.03	
1.615	Malla 200-70	\$ 1,055,429.84	0.93	0.02	1.10	
1.63	Malla 200-80	\$ 476,550.12	0.55	0.01	2.13	
1.63	Malla 200-70	\$ -526,630.51	-	0.00	-11.80	
1.645	Malla 200-80	\$ -595,606.25	-	0.00	-7.74	
1.645	Malla 200-70	\$ -2,025,554.34	-	-0.03	-0.95	

Tabla 34. Cinco mejores y peores casos del análisis a una capacidad de 250 TPD

Capacidad de 250 TPD						
densidad	malla-fuerza	van	tir	b/c	pri	
1.465	Malla 100-90	\$ 68,335,399.70	27.41	1.15	0.04	
1.48	Malla 100-90	\$ 66,465,403.50	26.67	1.15	0.04	
1.45	Malla 100-90	\$ 66,250,037.10	26.58	1.14	0.04	
1.495	Malla 100-90	\$ 65,820,033.10	26.41	1.15	0.04	
1.45	Malla 100-80	\$ 65,145,641.00	26.14	1.14	0.04	

1.615	Malla 200-70	\$	14,182,141.70	5.92	0.19	0.17
1.63	Malla 200-80	\$	13,393,048.60	5.61	0.18	0.18
1.63	Malla 200-70	\$	12,023,899.90	5.06	0.17	0.20
1.645	Malla 200-80	\$	11,930,727.70	5.03	0.17	0.20
1.645	Malla 200-70	\$	9,979,123.55	4.25	0.14	0.24

Tabla 35. Cinco mejores y peores casos del análisis a una capacidad de 450 TPD

Capacidad de 450 TPD						
densidad	malla-fuerza	van	tir	b/c	pri	
1.465	Malla 100-90	\$	87,425,488.90	32.92	1.18	0.03
1.48	Malla 100-90	\$	85,057,331.60	32.04	1.18	0.03
1.45	Malla 100-90	\$	84,786,725.10	31.94	1.18	0.03
1.495	Malla 100-90	\$	84,239,094.70	31.73	1.18	0.03
1.45	Malla 100-80	\$	83,388,603.00	31.42	1.17	0.03
1.615	Malla 200-70	\$	32,860,068.60	12.62	0.41	0.08
1.63	Malla 200-80	\$	31,859,884.30	12.24	0.40	0.08
1.63	Malla 200-70	\$	30,126,595.90	11.60	0.38	0.09
1.645	Malla 200-80	\$	30,007,420.10	11.56	0.38	0.09
1.645	Malla 200-70	\$	27,536,766.00	10.64	0.36	0.09

4.6. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS ECONÓMICOS

4.6.1. COMPARACIÓN DE VALORES ÓPTIMOS DEPENDIENTES A LA CAPACIDAD DE PROCESAMIENTO

Se procede a recolectar los mejores casos óptimos para cada capacidad de procedimiento, para luego ser comparado en cuanto a sus criterios económicos y finalmente obtener las variables operativas que generen mayor valor al proyecto.

Tabla 36. Valores óptimos por capacidad de Planta

Capacidad	densidad	malla-fuerza	van	tir	b/c	pri
150 TPD	1.465	Malla 100-90	\$49,398,863.82	32.02	1.11	0.03
250 TPD	1.465	Malla 100-90	\$68,335,399.70	27.41	1.15	0.04
350 TPD	1.465	Malla 100-90	\$80,129,564.40	30.92	1.18	0.03
450 TPD	1.465	Malla 100-90	\$87,425,488.90	32.92	1.18	0.03

Tabla 37. Variación respecto a una capacidad de 350TMD

Capacidad	Var Van	Var Tir	Var Bc	Var PRI
150-350 TPD	-38%	4%	-6%	-3%
250-350 TPD	-15%	-11%	-2%	13%
450-350 TPD	9%	6%	0%	-6%

En cuanto a la comparación de criterios económicos, el criterio que se establece consiste en que tanto el VAN y el TIR serían nuestros indicadores principales, y que el indicador de benéfico/costo y PRI serían los indicadores secundarios que puedan apoyar las decisiones tomadas en base a los indicadores principales. Teniendo cuenta ello, se puede descartar la opción de poder tratar los relaves a una capacidad de 250 TPD debido a que presenta 2 indicadores, TIR y PRI, por debajo de las otras opciones de retratamiento. En cuanto a la comparación entre las capacidades de 350 y 450tpd se observa que ambos poseen parámetros económicos muy cercanos entre si, Es por ello sé que procede a analizar los capex y VAN, en consecuencia, se obtuvo que le % variación entre sus capex es de 21.01% y que la variación entre los VAN's es de 9.1%. En cuanto a la comparación ente las capacidades de 150 tpd y 450 tpd, ambas poseen un TIR muy similares, es por ello que se procede a analizar las variaciones de los CAPEX y VAN'S, con lo cual se obtuvo que en cuando al capex hay una variación de 200.12% y en cuanto al VAN de 77%

4.6.2. CASO ÓPTIMO

Si analizamos los casos de acuerdo a VAN se obtendría dos casos que generan mayor valor serian de 350 y 450 TPD; sin embargo, se observa que al analizar las variaciones entre el capex y el van resultaría la mejor opción la capacidad de 350tpd, pero como las utilidades netas son extremadamente superiores frente a la inversión inicial se opta por la capacidad de 450 TPD. En cuanto al análisis, de la capacidad de 450 TPD frente a la de 150 TPD resulta que ambos poseen TIR similares, pero al comparar las variaciones de capex y VAN resulta que la mejor más factible seria de 150tpd, pero como en el caso anterior, las utilidades son sumamente superiores frente a la inversión, se escogería la capacidad de 450 TPD. En consecuencia, la capacidad optima de procesamiento seria a 450TPD a una Moliendabilidad de malla -100 a una fuerza centrífuga de 90G y una densidad de pulpa de 1.465.

4.7. PUNTOS CLAVE DE MEJORA DEL PROYECTO

Como se mencionó se tomó una estimación del tonelaje total a reservas para el caso de estudio, el cual permitió determinar el flujo de caja y los indicadores financieros. No obstante, debería trabajarse con un tonelaje de canchas de relaves compositado, para así obtener una adecuada estimación del tonelaje total de años del proyecto.

Un punto importante es el cálculo de moliendabilidad para el material a tratar, ya que esto permite obtener el tiempo para pasar de una malla a otra. Es así, que en el caso aplicativo no se encuentra un estudio de moliendabilidad, por lo que podría existir un posible sesgo en el cálculo; no obstante, se tomaron valores estimados de tiempos conceptuales de laboratorio para pasar a mallas -100,-150 y -200.

La ley de cabeza de relave es un factor importante en un proyecto de reaprovechamiento. Sin embargo, el hallar leyes de 16 a 6 gr/TM en relaves actuales de operaciones es prácticamente imposible, debido a que existen tecnologías que permiten explotar leyes de 0.23 gr/TM (Ley cut off- Collihuarmi) ; de esta manera, es necesario realizar un análisis a leyes cut off de base 0 a 2 gr/tm para obtener indicadores financieros acordes con los actuales.

A partir de la obtención de la capacidad optima se realizó un análisis de sensibilidad, en la cual se encontró indicadores financieros positivos a partir de una ley de 1.9 gr/tm. De este modo, se determina que para que el proyecto sea rentable a leyes actuales de relave aurífero se tendría que enfocar en explotar depósitos con una ley de 1.9gr/tm en adelante. Cabe indicar que en los flujos proyectados no se consideró el ahorro en el costo de cierre de minas que se genera debido a la reducción del tonelaje de los relaves, el cual oscila entre el 0.3% del CAPEX inicial de la mina en operación. A continuación, se presenta la sensibilidad a diferente ley de explotación con sus respectivos indicadores financieros

Tabla 38. Análisis a relación de leyes de 1.9 a 2.4 gr/TM respecto al caso optimo

Capacidad de 450 TPD						
Ley(gr/tm)	densidad	malla-fuerza	van	tir(%)	b/c	pri
1.9			\$ 64,881.23	23.24%	0.09	3.01
2			\$ 684,460.01	51.99%	0.14	1.78
2.1	1.465	Malla 100-90	\$ 1,304,038.79	78.44%	0.18	1.20
2.2			\$ 1,923,617.56	103.71%	0.22	0.86
2.3			\$ 2,543,196.34	128.30%	0.25	0.64
2.4			\$ 3,162,775.12	152.45%	0.29	0.48

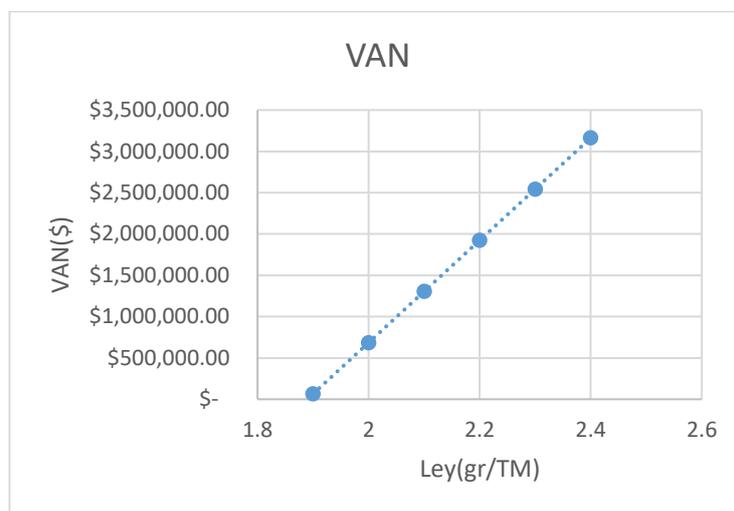


Figura 13. Indicador VAN para diferente ley cut off a partir de la sensibilidad

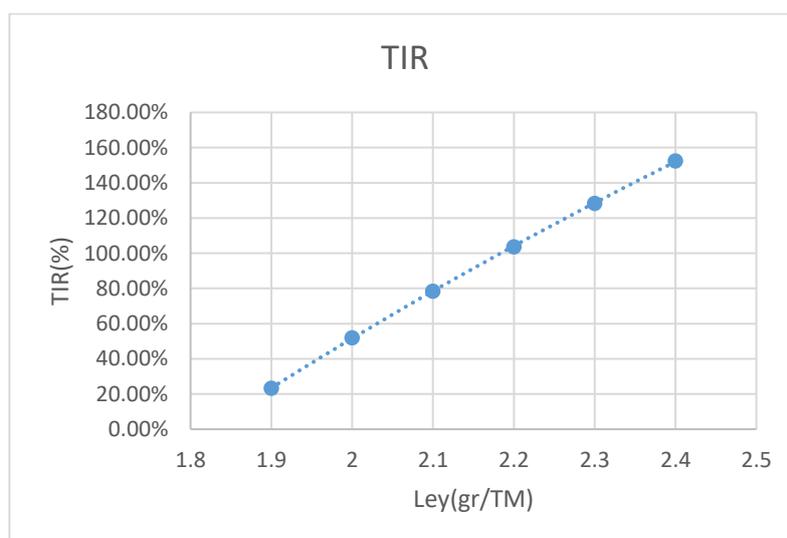


Figura 14. Indicador TIR para diferente ley cut off a partir de la sensibilidad

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y OBSERVACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- En relación a lo expuesto se logró evaluar la viabilidad económica conceptual del proyecto de retratamiento de unos relaves ubicados en Limbani, utilizando la metodología holística propuesta.

-En base a los indicadores financieros VAN, TIR, BC y PRI, se logró determinar que la rentabilidad económica optima del proyecto se da en el escenario en el que se trabaja a una capacidad de procesamiento de 450TMD, con lo cual, se obtuvo un **VPN de 87 millones de dólares.**

-Se concluye, en base del análisis de sensibilidad realizado, que este proyecto es rentable a partir de leyes de relaves de oro de 1.9 gr/tm. De lo cual se obtuvo, que sus indicadores económicos van de una regresión mínima de **64 881.23 \$ VAN, 23.24% TIR, 0.09 BC y 3.01 PRI.**

-Se logró proponer una metodología holística, la cual vincula la viabilidad económica del proyecto con los parámetros metalúrgicos operativos con el objetivo de encontrar el caso optimo, a partir de una gama de casos obtenidos de las diversas combinaciones metalúrgicas asociadas a diferentes capacidades de procesamientos, que genere mayor valor al proyecto en el tiempo.

-En base a la metodología holística se logró evaluar la sensibilidad económica vinculada a parámetros metalúrgicos en más de 750 combinaciones operativas para cuatro diferentes capacidades de procesamiento

-Se logró proponer una metodología holística para la evaluación de la viabilidad económica de un proyecto de retratamiento de relaves. La cual esta esquematizada: a) caracterización de relaves, b) selección de variables independiente, c) procesamiento de data, d) análisis económico, e) selección de caso optimo, f) evaluación a una nueva capacidad de procesamiento, g) comparación de casos óptimos y h) determinación de puntos clave de mejora del proyecto.

5.2. RECOMENDACIONES

-Se recomienda que al emplear la metodología propuesta se tome en cuenta el respaldo financiero con la que se cuenta, pues en base a ello se pueden definir las diversas capacidades de procesamiento, con las que se puede evaluar el proyecto.

-Se recomienda el uso de equipos nuevos para depósitos de relaves en la cual se estime una vida de 3 años a más. Con ello, en el flujo financiero se puede obtener una reducción de impuestos mediante el escudo fiscal. No obstante, para un proyecto de corta duración(meses) se podría utilizar equipos depreciados, ya que la influencia en los flujos de caja sería mínima.

-En ensambles mineralógicos con contenido de sulfuros de pirita y arsenopirita, se recomienda evaluar el efecto de agregar el proceso de flotación a la viabilidad económica del proyecto.

-Se recomienda que en los flujos de caja proyectado se tome en cuenta el ahorro generado en cuento al costo del cierre de minas debido a los proyectos de retratamiento de relaves.

-Se recomienda realizar alianzas estratégicas con MEF- Activos Mineros para la ejecución de proyectos de retratamiento de relaves, el cual podría permitir la reducción de los impactos generados a partir de pasivos ambientales activos.

-Se recomienda que, a manera de incentivar proyectos con visión en el retratamiento de relaves, el MEF permita tomar medidas más flexibles en cuanto a los impuestos, con el compromiso que las empresas puedan hacerse cargo del cierre pasivo ambientales tratado, lo que permitiría reducir la ley de corte y aumentar el interés por este tipo de proyectos.

BIBLIOGRAFÍA

- Chile, Minera del Valle (2019). *Página oficial de Minera el Valle Central* Recuperado de <https://mineravallecentral.cl/> . [Consulta: 06 de agosto 2019]
- Domic M. Esteban (2001). *Hidrometalurgia: Fundamentos, Procesos y Aplicaciones*, 1ª Edición, Cap8: 202-207 pp. Lima.
- Enrique Santa Cruz (2017). “*Un indicador clave de rentabilidad: la tasa interna de retorno*”. Conexión Esan. [Consulta: 10 de marzo de 2020]. Recuperado de <https://www.esan.edu.pe/apuntes-empresariales/2017/01/un-indicador-clave-de-rentabilidad-la-tasa-interna-de-retorno-tir/>
- Enrique Santa Cruz (2017). “*Fundamentos Financieros: el valor actual neto (VAN)*”. Conexión Esan. [Consulta: 10 de marzo de 2020]. Recuperado de <https://www.esan.edu.pe/apuntes-empresariales/2017/01/fundamentos-financieros-el-valor-actual-neto-van/>
- Fernando Gala Soldevilla (2019). “Evaluación y desarrollo de proyectos mineros”. Diapositiva 25-26. [Consulta: 20 de setiembre de 2019].
- Fernando Gala Soldevilla (2019). “Evaluación de proyectos mineros”. Diapositiva 5. [Consulta: 20 de setiembre de 2019].
- Javier Antonio Morales Valdivia (2015). *Determinación de Cut-off de mineral de cancha para la recuperación gravimétrica de oro-zona Limbani Puno*. (Tesis para optar por el título de ingeniero metalúrgico, Arequipa: Perú)
- J.J. Yáñez Traslaviña; M. A. Avila; I. H. García Páez; J. E. Pedrasas Rosas (2005). *Mejora de los procesos de beneficio y extracción de minerales auroargentíferos del asentamiento de San Pedro Frio, Colombia*. 117p. Rev. Metal.Madrid.
- K. Dagdelen (1993). *Cut-off grade optimization*. Preprints-Society of Mining Engineers of AIME, Reno.Nevada.

- Luis Faundez (2015). *Concentración gravitacional aurífera*. Recuperado de <https://es.slideshare.net/DaisySilva7/concentracion-gravitacional>. [Consulta: 06 de marzo 2020]
- Max Schawrz (2012). *Estructura de costos en operaciones mineras*. Recuperado de <http://max-schwarz.blogspot.com/2012/10/estructura-de-costos-en-las-operaciones.html>. [Consulta: 08 de mayo 2020]
- MINEM. (2019). Actualización de R.M. N.º 010-2019-MEM/DM. Lima 11 de enero [Consulta: 14 de mayo 2020]. Recuperado de <http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/Mineria/REGISTROS/PASIVOS/2018-ANEXOINVENTARIO.pdf>
- Minsur (2018). *Memoria Anual 2018 Minsur*. Recuperado de <https://www.bvl.com.pe/eeff/A20032/20190328171401/MEA200322018AIA01.PDF>. [Consulta: 20 de agosto 2019]
- Mizarl Chuquipoma F. (2010). *Metalurgia del Oro, 1era edición Editorial San Marcos*. Lima.
- Nataniel Linares G. (2014). *Procesamiento de Minerales-Mineralurgia II*. Recuperado de <https://es.slideshare.net/ivanlaymealvarez/mineralurgia-ii>. [Consulta: 14 de agosto 2019]
- Rendu, J. (2014). *An introduction to cut-off grade estimation*. CO: Soc. for Mining, Metallurgy & Exploration. Englewood. USA
- Tremolada Payano J. (2011). *Caracterización, influencia y tratamiento de arcillas en procesos de cianuración en pilas*. (Tesis de doctorado, departamento de Explotación y Prospección de Minas, Universidad de Oviedo, Oviedo, España).
- Vargas G. J. (1995). *Metalurgia del Oro y la Plata, 2da edición*. Lima: Editorial San Marcos. Perú.

Wong, D. (2000). *Finanzas corporativas: un enfoque para el Perú*. 2da edición. Lima: Universidad del Pacífico, Centro de Investigación. Recuperado de <http://hdl.handle.net/11354/977>