



# UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO DE PUNO

## FACULTAD DE INGENIERIA GEOLÓGICA Y METALÚRGICA

### ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA METALÚRGICA



### PROYECTO DE AMPLIACIÓN TÉCNICA - ECONÓMICA DE 80 TMD A 120 TMD DE LA PLANTA DE BENEFICIO DE MINERALES JERUSALÉN S.A.C. - AREQUIPA

TESIS

PRESENTADA POR:

**Bach. VIZNEY DARWIN DELGADO MITA**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

**INGENIERO METALURGISTA**

**PUNO – PERÚ**

**2020**



## DEDICATORIA

“Con mucho cariño y amor dedico esta tesis a DIOS.  
Quien me dio la vida, salud y haberme regalado una hermosa y maravillosa familia. Quienes me Incentivaron y apoyaron en mí Formación profesional y creer en mí, porque con sus esfuerzos Soy la persona de ahora, mi amor y Gratitude eterna para ellos”

“A mi querido padre: Florentino Delgado B., quien ha pasado momentos muy difíciles y tristes, pero siempre ha estado apoyándome en todo momento, el uno al otro para salir adelante y demostrar que con esfuerzo y dedicación se puede logra todo”

“A Madeleyne Ramos A. Por ser una persona muy especial para mí, desde que nos conocimos me ha brindado su apoyo incondicional y aconsejándome en los malos momentos y tristes de mi vida y mi hija Anyheli D. Delgado Ramos que es mi fuente de inspiración para lograr mis objetivos”

No puedo terminar sin antes expresar, que sin ustedes a lado mío, no hubiera logrado conseguir esta tan anhelada meta, tantas desveladas y esfuerzos sirvieron y este es el fruto conseguido les agradezco a todos ustedes con todo mi corazón por haber cumplido juntos el objetivo trazado.



## AGRADECIMIENTOS

- Agradezco a Dios por protegerme durante todo mi camino y darme fuerzas para superar obstáculos y dificultades a lo largo de toda mi vida.
- A la Universidad Nacional del Altiplano, a la Facultad de Ingeniería Geológica y Metalúrgica, Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica, a todos los Ingenieros Docentes quienes con sus enseñanzas y conocimientos me ayudaron a forjar, y emprender mi conocimiento y mi carácter como profesional.
- Un agradecimiento especial a mí asesor de tesis Dr. Walter Antonio Sarmiento Sarmiento por sus consejos, experiencias y apoyo incondicional.
- A la compañía minera JERUSALEN S.A.C. por su confianza y permitirme esa oportunidad de realizar este trabajo. Especialmente a los Ingenieros. Edwin Aliaga Chucos y Jaime Canchanya Aguirre por compartir sus experiencias. Gracias a todas las personas que me ayudaron directa e indirectamente en la elaboración de este trabajo.



## ÍNDICE GENERAL

Pág.

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTOS**

**ÍNDICE GENERAL**

**ÍNDICE DE FIGURAS**

**ÍNDICE DE TABLAS**

**ÍNDICE DE ACRÓNIMOS**

**RESUMEN .....13**

**ABSTRACT .....14**

### **CAPÍTULO I**

#### **INTRODUCCIÓN**

**1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....15**

**1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....16**

**1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN .....16**

**1.4. JUSTIFICACION DEL ESTUDIO .....17**

**1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION .....18**

1.5.1. Objetivos específicos .....18

### **CAPÍTULO II**

#### **REVISIÓN DE LITERATURA**

**2.1. MARCO TEÓRICO .....19**

2.1.1. Proyecto de ampliación .....19

2.1.2. Estudio técnico - económico .....19

2.1.3. Componentes del estudio técnico .....20

2.1.4. Incremento de producción .....21

2.1.5. La importancia del oro .....22

2.1.6. Propiedades físicas y químicas del oro .....24

2.1.7. Minerales de oro .....24

2.1.8. Menas de oro .....25

2.1.9. Tratamiento de menas de oro .....26

2.1.10. Proceso de tratamiento de minerales de oro .....27



2.1.11. Métodos de cianuración .....	28
2.1.12. Lixiviación con cianuro o cianuración.....	31
2.1.13. Lixiviación con carbón activado.....	32
2.1.14. Electrodeposición de oro a partir de soluciones cianicas .....	33
2.1.15. Proceso de fundición.....	34
2.1.16. Proceso de refinación.....	34
<b>2.2. ANTECEDENTES.....</b>	<b>35</b>

### **CAPÍTULO III**

#### **MATERIALES Y MÉTODOS**

<b>3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTUDIO .....</b>	<b>40</b>
<b>3.2. PERIODO DE DURACION DEL ESTUDIO .....</b>	<b>40</b>
<b>3.3. PROCEDENCIA DEL MATERIAL ESTUDIADO .....</b>	<b>41</b>
<b>3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA DEL ESTUDIO.....</b>	<b>42</b>
3.4.1. Población.....	42
3.4.2. Muestra.....	42
<b>3.5. DISEÑO ESTADISTICO .....</b>	<b>42</b>
<b>3.6. PROCEDIMIENTO .....</b>	<b>43</b>
3.6.1. Metodología.....	43
3.6.2. Tipo de la investigación .....	44
3.6.3. Diseño de la investigación.....	44
3.6.4. La observación y el registro de datos.....	44
3.6.5. Técnicas y procedimientos de recolección de datos .....	45
3.6.5.1. Identificación de causa raíz.....	45
3.6.5.2. Diagnóstico de la situación actual de la empresa.....	46
3.6.5.3. Desarrollo del procedimiento de investigación.....	47
<b>3.7. VARIABLES.....</b>	<b>48</b>
<b>3.8. ANALISIS DE LOS RESULTADOS.....</b>	<b>48</b>

### **CAPÍTULO IV**

#### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

<b>4.1. DESCRIPCION DE OPERACIÓN ACTUAL (80 TMSD) DE LA PLANTA DE BENEFICIO DE MINERALES JERUSALEN S.A.C.....</b>	<b>50</b>
4.1.1. Procedencia del mineral .....	51



4.1.2. Determinación de tonelajes en el circuito de planta .....	52
4.1.3. Sección recepción muestreo y chancado.....	53
4.1.3.1. Balanza del área de recepción.....	53
4.1.3.2. Muestreo de minerales nuevos.....	54
4.1.3.3. Cuarteo de muestra.....	54
4.1.4. Circuito chancado .....	55
4.1.4.1. Circuito de chancado primario.....	55
4.1.5. Sección molienda y clasificació .....	55
4.1.5.1. Molino de bolas.....	56
4.1.5.2. Determinación de eficiencia de clasificación .....	56
4.1.6. Tanques agitadores .....	58
4.1.7. Parámetros del circuito de molienda y lixiviación .....	60
4.1.8. Procedimiento de desorción .....	61
4.1.9. Ataque químico.....	64
<b>4.2. PARAMETROS TÉCNICOS Y ECONÓMICOS DE LA PLANTA</b>	
<b>JERUSALEN S.A.C. A 80 TMSD. ....</b>	<b>66</b>
<b>4.3. CALCULOS DE INGENIERIA PARA LA AMPLIACION DE LA MINERA</b>	
<b>JERUSALEN S.A.C. DE 80 A 120 TMSD .....</b>	<b>70</b>
4.3.1. Balance de material.....	71
4.3.2. Dimensionamiento de los equipos en el área del circuito de chancado de minerales para la ampliación a 120 TMSD.....	71
4.3.3. Dimensionamiento de la tolva de finos para su ampliacion a 120 TMSD.....	72
4.3.4. Evaluacion del circuito de molienda.....	75
4.3.4.1. Determinacion de la capacidad de trabajo del molino de bolas de 4' x 8' .....	76
4.3.4.2. Determinación de redistribución de bolas para cada molino de 5'x 5' y 4'x 16' respectivamente.....	77
4.3.5. Determinación de la carga circulante en el circuito cerrado del proceso en ampliación .....	80
4.3.6. Determinación de eficiencia de clasificación.....	82
4.3.7. Determinación de la capacidad de los tanques agitadores .....	83
<b>4.4. EQUIPOS A INSTALAR PARA LA AMPLIACIÓN DE LA PLANTA A 120</b>	
<b>TMSD .....</b>	<b>86</b>



<b>4.5. PARAMETROS TECNICOS Y ECONOMICOS DE LA PLANTA</b>	
<b>JERUSALEN SAC AMPLIACION A 120TMD.....</b>	<b>87</b>
<b>4.6. DISCUSION.....</b>	<b>92</b>
<b>V. CONCLUSIONES .....</b>	<b>99</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>101</b>
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>102</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>106</b>

**ÁREA:** Metalurgia Extractiva

**TEMA:** Diseño de Plantas Metalúrgicas

**FECHA DE SUSTENTACIÓN:** 12 de octubre de 2020



## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1:</b> Partes que conforman un estudio técnico.....	21
<b>Figura 2:</b> Demanda de oro en el mundo.....	23
<b>Figura 3:</b> Ranking de países productores de oro en el mundo .....	24
<b>Figura 4:</b> Metalurgia del oro.....	31
<b>Figura 5:</b> Ubicación de la planta Jerusalén S.A.C .....	40
<b>Figura 6:</b> Diagrama de Ishikawa para la determinación de la causa raíz del problema.....	45
<b>Figura 7:</b> Equipo de desorción de la planta Jerusalén S.A.C .....	62
<b>Figura 8:</b> Oro refinado .....	65
<b>Figura 9:</b> Flow sheet del circuito de chancado .....	72
<b>Figura 10:</b> Flow sheet del circuito de molienda a 80 TMSD. ....	93
<b>Figura 11:</b> Flow sheet del circuito de molienda a 120 TMSD .....	94
<b>Figura 12:</b> Balance metalúrgico mensual: Cabeza vs. Finos de oro obtenido .....	96
<b>Figura 13:</b> Beneficio económico liquido de planta.....	97



## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1:</b> Equipos que evaluarán principalmente para la ampliación a 120 TMSD ....	48
<b>Tabla 2:</b> Procedencia del mineral de acopio.....	51
<b>Tabla 3:</b> Minerales encontrados en mineral de acopio.....	52
<b>Tabla 4:</b> Ingreso de mineral a planta para ser procesado .....	52
<b>Tabla 5:</b> Muestras de descarga del molino y rebose del clasificador .....	57
<b>Tabla 6:</b> Cálculo del tiempo de residencia de los tanques agitadores.....	60
<b>Tabla 7:</b> Parámetros de operación a 80 TMSD .....	61
<b>Tabla 8:</b> Relación de equipos que se utilizan en la planta de 80 TMSD .....	65
<b>Tabla 9:</b> Balance metalúrgico diario a 80 TMSD.....	67
<b>Tabla 10:</b> Balance metalúrgico mensual a 80 TMS/mes .....	67
<b>Tabla 11:</b> Resumen de costos y gastos a 80 TMSD de la planta Jerusalén SAC .....	68
<b>Tabla 12:</b> Estructura de producción mensual de la planta Jerusalén a 80 TMSD .....	69
<b>Tabla 13:</b> Capacidad de los equipos del circuito de chancado.....	71
<b>Tabla 14:</b> Capacidad de tolva de finos a 80 y 120 TMSD.....	75
<b>Tabla 15:</b> Distribución de bolas por tamaño para molino 4' x 8'.....	77
<b>Tabla 16:</b> Distribución de bolas por tamaño para molino 5' x 5'.....	78
<b>Tabla 17:</b> Distribución de bolas por tamaño para molino 4' x 16'.....	79
<b>Tabla 18:</b> Capacidad de los molinos para procesar 120 TMSD.....	79
<b>Tabla 19:</b> Parámetros para el cálculo de la carga circulante .....	80
<b>Tabla 20:</b> Análisis granulométrico de las muestras de descarga del molino y rebose del clasificador.....	82
<b>Tabla 21:</b> Parámetros metalúrgicos de los tanques agitadores.....	86
<b>Tabla 22:</b> Equipos que se implementará para la ampliación a 120 TMSD.....	87



<b>Tabla 23:</b> Balance metalúrgico diario proyectado a 120 TMSD.....	88
<b>Tabla 24:</b> Balance metalúrgico mensual proyectado a 120 TMSD.....	88
<b>Tabla 25:</b> Costo de implementación del proceso.....	89
<b>Tabla 26:</b> Resumen de costos y gastos de ampliación a 120 TMS/mes .....	90
<b>Tabla 27:</b> Estructura de ampliación de producción de la planta Jerusalén a 120 TMSD.....	91
<b>Tabla 28:</b> Equipos y materiales para la ampliación a 120 TMSD.....	93



## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

<b>%</b>	:	Porcentaje
<b>°C</b>	:	Grados Celsius
<b>A</b>	:	Amperios
<b>Ag</b>	:	Plata
<b>Au</b>	:	Oro
<b>cc</b>	:	Centímetro Cubico
<b>CIC</b>	:	Carbón en Columnas
<b>CIL</b>	:	Carbón en el Lixiviado
<b>CIP</b>	:	Carbón en Pulpa
<b>cm</b>	:	Centímetro
<b>cm</b>	:	Centímetro
<b>E.I.R.L.</b>	:	Empresa Individual de Responsabilidad Limitada
<b>E°</b>	:	Potencial Estándar de la Reacción Química
<b>EE. UU.</b>	:	Estados Unidos de América
<b>Fig</b>	:	Figura
<b>g</b>	:	Gramo
<b>g/l</b>	:	Gramos por Litro
<b>gpm</b>	:	Galones por Minuto
<b>Hp</b>	:	Caballo de Fuerza
<b>hr</b>	:	Hora
<b>Inch</b>	:	Pulgada
<b>Kg</b>	:	Kilogramo



<b>Km</b>	:	Kilometro
<b>Kw/hr</b>	:	Kilovatio-Hora
<b>l</b>	:	Litro
<b>lb</b>	:	Libras
<b>m</b>	:	Metro
<b>m<sup>2</sup></b>	:	Metros Cuadrados
<b>m<sup>3</sup></b>	:	Metros Cúbicos
<b>mg</b>	:	Miligramo
<b>ml</b>	:	Mililitro
<b>mm</b>	:	Milímetro
<b>Oz</b>	:	Onza
<b>ppm</b>	:	Partes por Millón
<b>psi</b>	:	Libras por Pulgada Cuadrado
<b>S.A.A</b>	:	Sociedad Anónima Abierta
<b>S.A.C.</b>	:	Sociedad Anónimo Cerrado
<b>t</b>	:	Tonelada Métrica
<b>Tc</b>	:	Toneladas Cortas
<b>TM</b>	:	Toneladas Métricas
<b>TMH</b>	:	Toneladas Métricas Húmedas
<b>TMS</b>	:	Toneladas Métricas Secas
<b>TMSD</b>	:	Toneladas Métricas Secas Diarias
<b>v</b>	:	Voltio



## RESUMEN

El presente estudio de investigación se ha desarrollado en la Planta de beneficio de minerales Jerusalén S.A.C. – Arequipa en el año 2018 evidenciándose que la capacidad de producción del oro a 80 TMSD no es la más efectiva ni adecuada y se busca nuevas estrategias para obtener una mayor productividad; en tal razón se realiza el estudio técnico económico que permita determinar la ampliación de la Planta de beneficio de minerales de 80 TMSD a 120 TMSD. En la investigación se aplicó el método descriptivo de tipo explicativa, para conseguir dicho fin se evaluó la capacidad y rendimiento de operación de los equipos y aspectos operativos a 80 TMSD determinándose que su capacidad de diseño satisface las necesidades planteadas para la ampliación a 120 TMSD a excepción de que se tiene que implementar con una tolva de finos de 140 TMSD, un molino de bolas de 4' x 8', una bomba centrífuga horizontal de 4" x 3" y un hidrociclón D6. Los resultados al ampliar la capacidad de producción de la planta de beneficios de minerales Jerusalén S.A.C. de 80 TMSD en donde se obtenía 38280 gramos de oro mensual ahora a 120 TMSD se obtiene 57420 gramos de oro mensual, evidenciándose el incremento de la capacidad de producción de 19140 gramos de oro fino por mes que contribuye el 33.3% y siendo el beneficio económico líquido de planta la cantidad de \$ 35995.00 US. La expansión de la planta permitió hacer mucho más rentable el proceso debido a que se procesa mayor tonelaje, se disminuyeron los costos de producción y se mejoró la recuperación con las mejores condiciones metalúrgicas que se dio al proceso de beneficio del mineral en las áreas de molienda-clasificación, flotación, filtración y cianuración respectivamente.

**Palabras clave:** Ampliación, beneficio, capacidad, minerales y planta.



## ABSTRACT

This research study has been developed at the Jerusalem S.A.C. - Arequipa in 2018 showing that the gold production capacity at 80 TMSD is not the most effective or adequate and new strategies are being sought to obtain greater productivity; For this reason, the technical economic study is carried out to determine the expansion of the Mineral Benefit Plant from 80 TMSD to 120 TMSD. In the research, the descriptive method of an explanatory type was applied, to achieve this purpose, the capacity and operating performance of the equipment and operational aspects were evaluated at 80 TMSD, determining that its design capacity meets the needs raised for the expansion to 120 TMSD except that it has to be implemented with a 140 TMSD fines hopper, a 4 'x 8' ball mill, a 4 'x 3" horizontal centrifugal pump and a D6 hydrocyclone. The results when expanding the production capacity of the Jerusalem SAC mineral processing plant from 80 TMSD where 38280 grams of gold were obtained per month, now to 120 TMSD, 57420 grams of gold per month are obtained, showing the increase in the production capacity of 19140 grams of fine gold per month that constitutes 33.3% and the liquid economic benefit of the plant being the amount of \$ 35995.00 US. The expansion of the plant allowed the process to be made much more profitable due to the fact that greater tonnage is processed, production costs were reduced and recovery was improved with the best metallurgical conditions that were given to the mineral benefit process in the grinding areas -classification, flotation, filtration and cyanidation respectively.

**Keywords:** Extension, benefit, capacity, minerals and plant.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Minera Jerusalén S.A.C. se encuentra ubicada en el distrito de Chala, provincia de Caravelí y departamento de Arequipa, en la actualidad recibe mineral oxidado, sulfuros y relave de diversas operaciones mineras cercanas y de otras zonas del país que se transportan en camiones de 10 hasta 32 TM de capacidad y en su calidad de pequeño productor minero desarrolla principalmente sus actividades de tratamiento de minerales auríferos, los cuales son lixiviados en medios ácidos o básicos, previamente chancados y molidos para procesarlos en las secciones de absorción y desorción, para luego entrar a la refinación química. En cuanto al relave, se procesa en la planta de beneficio por cianuración de minerales auríferos, generalmente constituido por piritas auríferas con contenido de oro, para luego efectuar la recuperación del oro por el proceso de carbón en pulpa, desorción electrolítica, electrodeposición, fundición, obteniéndose el oro doré.

El desarrollo de la tecnología metalúrgica está irremediamente atado a la existencia de problemas metalúrgicos en la industria del procesamiento de minerales, se puede generalizar el concepto de que el desarrollo tecnológico siempre implica un aumento de capacidad productiva y rentabilidad, el Metalurgista que analiza y resuelve los problemas debe estar consciente de esto fundamentalmente por la simplicidad del diseño metalúrgico, por otro lado la productividad en la minería es un factor clave para la racionalización de los recursos minerales, humanos y de maquinaria. Existe la preocupación permanente de mejorar la productividad. Pero para ello, es importante



también conocer en forma objetiva la situación actual, en otras palabras, encontrar una forma acertada y socialmente válida de cómo medir la productividad

Cualquier incremento de producción afecta la capacidad de procesamiento en la planta concentradora. Debemos evaluar la capacidad instalada de la misma y tener en cuenta la ampliación de planta, mejoras de procesos y nuevas técnicas aplicadas en la metalurgia.

Tal es así que el gran problema que sobre sale en esta planta concentradora, es la manera de mejorar la recuperación, se sabe que el tratamiento para recuperación del oro no es la más efectiva ni adecuada, es por eso que en la actualidad la empresa Jerusalén S.A.C. busca nuevas estrategias para una mayor productividad es por ello que se pretende realizar una ampliación que se efectuara para el tratamiento de 120 TMD con una ley de procesamiento 20 g/TM, en donde la Ingeniería contempla los trabajos de infraestructura a realizarse en la implementación de equipos nuevos y la optimización de los mismos y como consecuencia obtener resultados satisfactorios como: calidad, competitividad del producto y superar la recuperación actual.

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿De qué manera se puede incrementar la capacidad de producción y bajar los costos de producción en la planta de beneficio de minerales Jerusalén SAC?

## **1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN**

La ampliación de la capacidad instalada de la planta de beneficio de 80 TMD a 120 TMD permitirá incrementar la producción de concentrado y bajar los costos de producción.



#### 1.4. JUSTIFICACION DEL ESTUDIO

En la actualidad la planta de Beneficio de minerales Jerusalén S.A.C. procesa 80 TMD, con minerales de una ley promedio de 15.00 g/TM.; recibe mineral oxidado, sulfuros y relave de diversas operaciones mineras cercanas y de otras zonas del país.

En tal razón el desarrollo de un proyecto minero exige el uso intensivo de tecnología para mejorar los procesos de recuperación de los minerales de interés. Dentro de las alternativas tecnológicas para el desarrollo y progreso de un determinado proyecto requieren de evaluaciones y pruebas experimentales que demuestren su factibilidad en cada una de sus alternativas de mejoras continuas en cada uno de sus procesos, en nuestro caso se pretende recuperar Au y Ag de los relaves.

El presente trabajo describe el diseño de una planta metalúrgica para el tratamiento de minerales auríferos de acopio y propios de mina aplicando el proceso de gravimetría en complemento con cianuración para una capacidad de 120 TMD y está orientado a la aplicación de la tecnología metalúrgica a fin de mejorar y obtener óptimas recuperaciones, así como la estimación de los equipos, materiales y elementos necesarios para la optimización y mejor aprovechamiento de los recursos.

Mediante pruebas experimentales y aplicación de conocimientos en el diseño de planta es que se determinaran los parámetros óptimos de operación, así como la elección del proceso adecuado para obtener el mayor benéfico posible.

Desde el punto de vista tecnológico, implementar un circuito de molienda clasificación para una mayor liberación de partícula, previo a la cianuración en los tanques dará beneficios a la empresa, en cuanto a tiempos de cianuración, ganancia de capacidad en estos tanques, menores gastos de reactivos e incremento de la producción al cianurar los relaves.



Se basa en que la inversión realizada en pruebas, implementación de un molino, carga de bolas, edificaciones dará beneficios a corto plazo, se justifica en que se recuperará una mayor cantidad de oro y plata que dará grandes beneficios económicos para la empresa.

Para realizar el procesamiento de los minerales, para conseguir resultados satisfactorios, es necesario la evaluación de diversos factores, dentro de ellos está en determinar los parámetros o condiciones óptimas para el control del proceso de acorde con los tipos de equipos a ser instalados; lo cual al final va vincular la forma como se van a ir depositando los materiales que carecen momentáneamente de valor comercial.

## **1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION**

Realizar el estudio técnico económico que permita determinar la ampliación de la Planta de beneficio de minerales Jerusalén S.A.C. de 80 TMD a 120 TMD.

### **1.5.1. Objetivos específicos**

- Evaluar la capacidad y rendimiento de operación actual de los equipos y aspectos operativos, teniendo como referencia, parámetros de operación de la planta.
- Estimar los indicadores de reemplazo de los equipos y aspectos operativos para su ampliación.
- Estimar la capacidad de producción y la rentabilidad de producción con 80 y 120 TMD.



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. MARCO TEÓRICO

##### 2.1.1. Proyecto de ampliación

Los proyectos de ampliación son aquellos que generan mayor capacidad de producción o atención, tanto la expansión de un servicio existente como por la integración de otro nuevo.

La evaluación del proyecto de ampliación es relativamente similar a la evaluación de un proyecto de reemplazo con cambios en el nivel de operación. La diferencia fundamental radica en que en una ampliación no necesariamente se debe considerar la liberación de un activo en uso, ya que en general solo involucra un aumento de inversión.

Cuando una empresa evalúa un proyecto para aumentar la capacidad de elaborar un producto en particular enfrenta a veces momentos críticos si es así, se deberán comparar las rentabilidades de adquisición con la opción de construir o de comprar la planta y los equipos necesarios para ello.

##### 2.1.2. Estudio técnico - económico

Un estudio técnico- económico permite proponer y analizar las diferentes opciones tecnológicas y económicas para producir los bienes o servicios que se requieren, lo que además admite verificar la factibilidad técnica de cada una de ellas. Este análisis identifica los equipos, la maquinaria, las materias primas y las



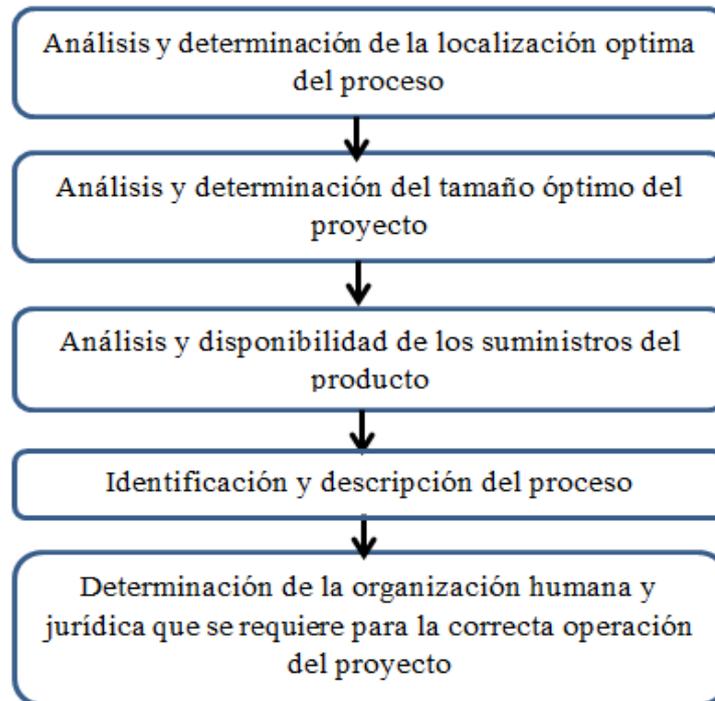
instalaciones necesarias para el proyecto y, por tanto, los costos de inversión y de operación requeridos, así como el capital de trabajo que se necesita.

El estudio técnico es aquel que presenta la determinación del tamaño óptimo de la planta, determinación de la localización óptima de la planta, ingeniería del proyecto y análisis organizativo, administrativo y legal.

Los aspectos que se relacionan con la ingeniería del proyecto son probablemente los que tienen mayor incidencia sobre la magnitud de los costos y las inversiones que deberán efectuarse a la hora de implementar un proyecto. En el análisis de la viabilidad financiera de un proyecto, el estudio técnico cumple la función de proveer información para cuantificar el monto de las inversiones y de los costos de operación pertinentes.

### **2.1.3. Componentes del estudio técnico**

Diferentes autores proponen de distinta manera los componentes esenciales que conforman el estudio técnico de un proyecto de inversión. A continuación, se detalla la estructura básica de la que está compuesto un estudio técnico:



**Figura 1:** Partes que conforman un estudio técnico

#### 2.1.4. Incremento de producción

Los incrementos y disminuciones de la capacidad productiva provienen de decisiones de inversión o desinversión (por ejemplo, la ampliación de operaciones para incrementar la capacidad de producción de mina, ampliación en capacidad de producción en planta concentradora, adquisición de máquina que incrementara la producción). Además, se debe tener en cuenta la mano de obra, inventarios, entre otros.

También puede definirse como cantidad máxima de producción en la nomenclatura surtido y calidad previstos, que se pueden obtener por la entidad en un período con la plena utilización de los medios básicos productivos bajo condiciones óptimas de explotación.

En una empresa, la productividad es fundamental para crecer o aumentar la rentabilidad y para alcanzar una buena productividad deben analizarse con detenimiento



los métodos utilizados, el estudio de tiempos y un sistema organizado para realizar el pago de las obligaciones laborales y contractuales.

Si quisiéramos buscar un sinónimo del término, podríamos aferrarnos al de rendimiento, ya que la productividad exige un buen manejo de los recursos a fin de conseguir resultados que vuelvan eficiente todas las labores desarrolladas dentro de la compañía, no sólo en lo que respecta a la fabricación o producción del servicio, sino también en lo referente a los métodos utilizados y a la relación interna de la compañía.

Para este aumento de la productividad es necesario tener en cuenta una serie de elementos que pueden variar a lo largo del tiempo, estos son: Recursos ( potencial de yacimiento minero para obtener reservas probadas y probables) recursos económicos(capacidad económica financiera para invertir)terrenos y edificios (estado del establecimiento donde se realiza la producción), materiales (disponibilidad que se tiene), recursos humanos (cualificación del personal que se tiene) y energía, máquinas y equipo (forma en la que se realiza la producción)

#### **2.1.5. La importancia del oro**

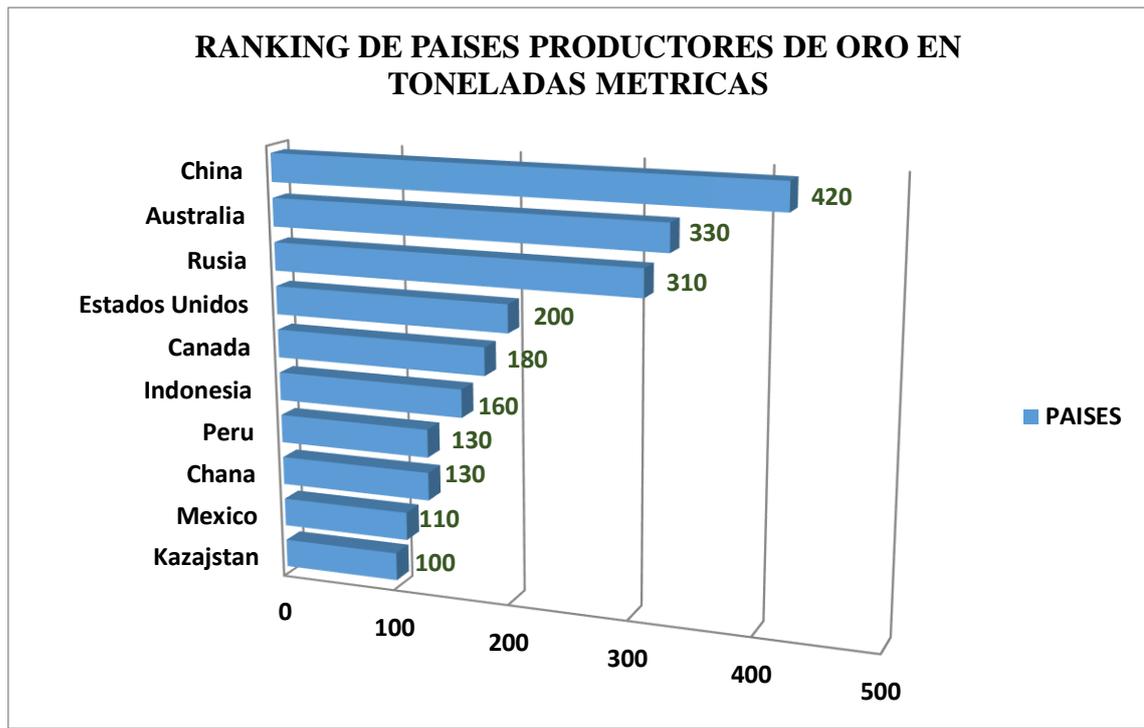
El oro a lo largo de los años ha sido utilizado por muchas sociedades alrededor del mundo para la joyería, el oro financiero, en la electrónica, informática, odontología, medicina, industria aeroespacial y en muchas otras aplicaciones, esto debido a sus propiedades físicas como la resistencia a la corrosión, ductibilidad, maleabilidad, reflectividad al calor y buena conductividad eléctrica y térmica (Murray, 2015). La demanda de oro a nivel mundial en el año 2018 al 2020 se muestra en la Fig. 2.



**Figura 2:** Demanda de oro en el mundo

Al 2018 se han extraído cerca de 190 000 toneladas de oro en el mundo con una tendencia a seguir creciendo. Su rareza e inalterabilidad ha sido el motivo por el cual muchas personas lo ven como una forma confiable de almacenar este activo en tiempos de incertidumbre económica debido a problemas de inflación, recesión y devaluación. A pesar de ello en el 2013 presento una recesión de un 28.55%, llegando a niveles aún más bajos en el 2014 y 2015.

En el 2019 China obtuvo el primer lugar en el ranking de países productores de oro en el mundo seguido de Australia y Rusia, en este mismo año Perú ocupó el séptimo puesto con una producción de 130 toneladas métricas de oro tal como se muestra en la Fig. 3.



**Figura 3:** Ranking de países productores de oro en el mundo en Toneladas métricas

#### 2.1.6. Propiedades físicas y químicas del oro

El oro posee una alta densidad razón por la cual su gravedad específica es 19.3, es el metal más dúctil y maleable en el mundo, refleja todos los colores excepto el amarillo, es químicamente inactivo razón por la cual no se forman capas de óxido ni en presencia de altas temperaturas, es soluble en agua regia y en soluciones cianuradas con oxígeno. Posee una dureza de 3 en la escala de Mohs, es representado en la tabla periódica con el símbolo Au con un peso atómico de 197.2 gramos, además posee un punto de fusión y ebullición de 1063 y 2 970 °C respectivamente (López, 2007).

#### 2.1.7. Minerales de oro

El oro se puede encontrar en venas y filones de cuarzo, en placeres y depósitos aluviales de corrientes modernas y antiguas, en estado nativo y casi siempre asociados a la plata.



Es considerado oro nativo al oro limpio, empañado, revestido, electrum y cuprífero, generalmente está asociado a la pirita, arsenopirita y a especies de cobre, plata, plomo, arsénico, antimonio, pirita.

La granulometría del oro determina el proceso de recuperación, así podemos encontrar al oro grueso (oro aluvial) en forma de pepitas, el oro filoniano en forma de escamas o hilos, hasta un tamaño mayor a 200 micrones y el oro fino compuesto por un rango de tamaños entre 200 y 10 micrones, quedando el denominado oro ultra fino que estaría libre o encapsulado menor a 10 micrones (SAAC Ingenieros, 2004).

#### **2.1.8. Menas de oro**

El oro en la naturaleza puede encontrarse en diferentes tamaños y dimensiones, en estado libre o diseminado, generalmente asociado a la pirita, arsenopirita, marcasita, pirrotina, calcopirita y sulfuros secundarios de cobre. Los yacimientos de oro son vetiformes y presentan tres zonas debido al intemperismo, las cuales se muestran a continuación:

- a) Zona de Óxidos: Parte superior donde el oro se encuentra asociado a óxidos de hierro, cuarzo y ganga silíceo. Estos minerales se procesan por cianuración y dependiendo de la ley de oro su método de recuperación se da por agitación o a través de pilas.
- b) Zona de enriquecimiento secundario: Esta zona se encuentra ubicada entre la zona de óxidos y la de sulfuros, razón por la cual podemos encontrar sulfuros de hierro parcialmente oxidados. Su método de recuperación se da a través del proceso de flotación y cianuración.



- c) **Zona de sulfuros:** En esta zona el oro se encuentra combinado con sulfuros de hierro además de estar asociado al cuarzo y a carbonatos, este tipo de minerales se procesan por flotación, cianuración o por una combinación de ambos. Debido a que el oro está diseminado en partículas muy finas dentro del mineral es necesario pasar por una etapa de molienda y pre oxidación para que disminuya su refractariedad al cianuro (Villanueva, 1992).

### **2.1.9. Tratamiento de menas de oro**

El tipo de tratamiento depende de la caracterización de la mena las cuales pueden ser:

**a) Oro libre**

Para este tipo de mena donde el oro se encuentra casi en estado nativo se utiliza la concentración gravimétrica para el caso de oro grueso y cianuración para el oro fino.

**b) Menas refractarias**

La disolución de oro requiere de una serie de pretratamientos, se utiliza para minerales complejos como los telurios, sulfuros y carbonáceos. Si se trata de soluciones cianuradas se opta por el proceso de Merrill Crowe o lixiviación con carbón activado ya sea estático o dinámico.

**c) Menas no refractarias**

El proceso más utilizado es la lixiviación con cianuro en pilas y tanques de agitación o estáticos debido a la facilidad de disolución que presentan (Llorente, 1991).



### **2.1.10. Proceso de tratamiento de minerales de oro**

El proceso de tratamiento de minerales auríferos abarca desde el desembarque del mineral en las pilas de almacenamiento hasta la fundición del concentrado de oro. En los siguientes puntos se desarrollan todas las etapas de este proceso de forma más detallada:

#### **a) Acopio de Mineral**

El proceso de acopio de mineral consiste en el apilamiento del mineral en forma de cono sobre una superficie, este proceso abarca desde la entrada del mineral al área de balanza para ser pesado y posteriormente enviado al área de descarga del mineral de donde se toman muestras para su análisis en laboratorio (Ortiz, 2015).

#### **b) Operaciones y procesos metalúrgicos para recuperar el oro**

Las operaciones convencionales de Chancado, molienda y clasificación, se llevan a cabo en los minerales de oro de acuerdo al grado de liberación que se quiera obtener del mineral.

El tamaño de grano del oro libre y el grado de asociación del oro con otros minerales, es determinante en la elección del Proceso metalúrgico a seguir, se conocen tres grandes procesos adecuados: La gravimetría, la Flotación y la Cianuración.

El oro denominado “Gruoso” será sometido a la Gravimetría, el fundamento de la Gravimetría se basa en el alto peso específico del Oro. Hay equipos que se vienen diseñando con el objeto de recuperar el oro libre Fino.

El oro denominado “Fino” y “ultra fino”, si está totalmente libre y expuesto, lo más conveniente es el Proceso de Cianuración convencional. Si el oro está asociado (en



solución sólida) íntimamente con los sulfuros entonces se aplicará la flotación convencional para recuperar los sulfuros que acompañan al oro.

La decisión de realizar “Liberación del mineral” depende exclusivamente de la evaluación económica del mineral a procesar. Si bien es cierto se requiere al oro totalmente libre para aplicar cualquiera de los procesos elegidos, esta “liberación” pasa por una evaluación de costo-beneficio, de acuerdo a estas decisiones se practican los procesos de gravimetría y la cianuración.

### **2.1.11. Métodos de cianuración**

La decisión de aplicar tal o cual método de cianuración a los minerales para recuperar el oro, es eminentemente económica, previa evaluación metalúrgica, para cada uno de los casos tenemos los siguientes métodos.

- Método de cianuración tipo DUMP LEACHING - Método de cianuración tipo HEAP LEACHING - Método de cianuración tipo VAT LEACHING - Método de cianuración tipo **AGITACIÓN CARBÓN EN PULPA**.

En todos los métodos de cianuración del oro se va a obtener una solución cargada de oro, la recuperación o captación del oro en solución se logra en dos formas una es la del carbón activado en CIC (Carbón en columna) o en CIP (Carbón en pulpa).

En todos los métodos de cianuración del oro se va a obtener una solución cargada de oro, la recuperación o captación del oro en solución se logra en dos formas una es la del Carbón activado en CIC (Carbón en columna) o en CIP (Carbón en pulpa).

La otra forma de recuperar el oro en solución es la del Merrill Crowe, que es la precipitación del oro con polvos de Zinc.



**a) Método de cianuración tipo “DUMP LEACHING”**

Este método consiste en el amontonamiento del mineral tal como sale de la Mina, con el menor manipuleo del material, se procesan en gran volumen (millones de toneladas) con camas de una altura de más de 80 metros, su sistema de riego es por goteo con soluciones cianuradas de bajísima concentración, el contenido de oro en los minerales es bajo están alrededor de 1 gramo por tonelada de mineral. Es el caso de Minera Yanacocha y de Minera Pierina.

La recuperación de oro en solución la realizan usando el Merrill Crowe, el cemento de oro y plata obtenido lo funden y lo comercializan.

**b) Método de cianuración tipo “HEAP LEACHING”**

Este método es similar al Dump Leach, es el apilamiento o lo que es lo mismo formar pilas de mineral para ser rociadas por soluciones cianuradas por el sistema de goteo, aspersion o tipo ducha.

El volumen de material es menor que el Dump pero los contenidos de oro son mayores a 1 gramos por tonelada, lo que permite en la mayoría de las operaciones heap una etapa de chancado a un tamaño de  $\frac{1}{4}$  de pulgada al 100 %. En muchas partes del mundo se continúa haciendo heap leach con chancado del mineral, aprovechando la alta porosidad que tienen los minerales.

**c) Método de cianuración tipo “VAT LEACHING”**

El nombre del método está referido a que el mineral está en un recipiente tipo Batea, entonces el Vat leaching sería el acumulamiento de mineral en una batea o un equivalente que puede ser pozas de concreto o mantas transportables, en el que se agrega las soluciones cianuradas por INUNDACIÓN, las operaciones pueden ser de



diverso tamaño, las leyes en oro deben justificar la molienda, previamente a los riegos de soluciones cianuradas, se realiza una aglomeración al material molido.

Este método mayormente se aplicó a los relaves de amalgamación de la zona, por los costos bajos y la metodología casi artesanal, en el sistema de mantas transportables.

Para el caso de minerales frescos evaluar el costo beneficio frente a una operación continua de agitación Carbón en Pulpa.

#### **d) Método de cianuración por agitación**

La cianuración por Agitación es el Método que requiere de la máxima liberación del mineral, para obtener buenas recuperaciones en oro, si el oro es más expuesto a las soluciones cianuradas, mayor será su disolución del oro. La recuperación de oro de las soluciones “ricas” se realiza en dos formas. Una es la del Carbón activado (CIP) y la otra técnica es la de precipitar con polvos de zinc (Merril Crowe).

Finalmente, hay que usar algunas técnicas como la desorción del carbón activado, la electrodeposición del oro y la fundición y refinación del oro para obtener el oro de alta pureza.

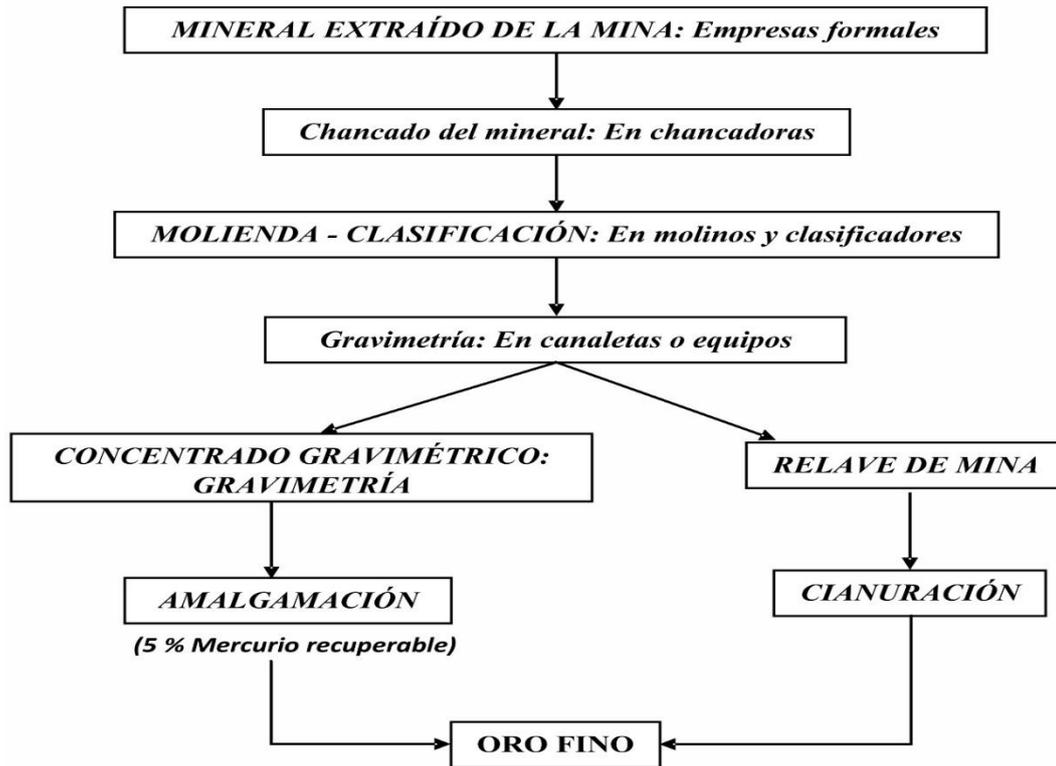


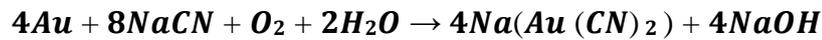
Figura 4: Metalurgia del oro

#### 2.1.12. Lixiviación con cianuro o cianuración

La cianuración se refiere a la recuperación de oro a través del uso de soluciones cianuradas. La concentración óptima de cianuro varía en función a las características del mineral, las cuales deben ser determinadas de manera experimental. Normalmente utilizan concentraciones de cianuro de 500 a 2000 ppm, este reactivo es agregado desde molienda y posteriormente en el primer tanque de lixiviación. La cal o hidróxido de sodio deben ser agregadas a la solución antes del cianuro con el fin de mantener el pH entre 10.5 y 11.5. Un exceso de estos reactivos ocasiona el consumo excesivo de cianuro. Cabe resaltar que la baja concentración de cianuro no solo reduce los costos sino también evita la disolución de impurezas, esta puede ser controlada a través el uso de un analizador.



La reacción química que se produce el proceso de cianuración está determinada por la siguiente ecuación química:



La variable más predominante en la lixiviación con cianuro es la concentración de oxígeno. La solubilidad de este dependerá de la presión ejercida de acuerdo a la altitud del lugar, la temperatura, la fuerza iónica de la solución y la velocidad de agitación. Las variables más influyentes en este proceso son el pH, potencial Redox de la solución, la concentración de cianuro y la presencia de cianicidas (Yannopoulos, 2012).

### **2.1.13. Lixiviación con carbón activado**

La recuperación de oro con carbón activado permite el tratamiento de minerales complejos y de bajo grado de metales preciosos además su desarrollo no requiere de un alto capital ni costos operativos y se obtienen recuperaciones altas. A pesar de que es usado para tratar minerales con bajo contenido en oro, este puede ser utilizado como un subproceso de pre concentración (Mpinga, 2012).

Este método es utilizado cuando la ley de oro respecto a la plata es poca, permite captar oro y plata de las soluciones ricas, permitiendo su aplicación en plantas de procesamiento de minerales de oro. La cantidad de metales preciosos que puede cargar un kilo de carbón depende de la concentración de la solución, si esta es de 1.5 ppm de oro y plata entonces el carbón llegara a cargar 6 Kg de oro por tonelada métrica, en la industria metalúrgica se considera un valor aceptable 12 Kg de oro y plata por tonelada métrica de carbón (Azañero, 2001).



Cuando el carbón llega a su máxima capacidad de carga pasa por un proceso de desorción para poder obtener el oro contenido en el carbón, estos pueden ser el proceso zadra a presión atmosférica, zadra modificado o angloamericano, la principal diferencia radica en la variación de cianuro de sodio, soda caustica y alcohol, así como de variables de temperatura y presión. El tiempo de elución de estos procesos es de 24 a 60 horas, 5 a 12 horas y de 6 a 8 horas respectivamente (Missari, 1993).

#### **2.1.14. Electrodeposición de oro a partir de soluciones ciánicas**

El oro se electro deposita sobre cátodos de plomo insoluble o lana de acero (viruta) cuando pasa una corriente eléctrica por la solución cianurada, por medio de la siguiente reacción:



Sin embargo, además de esta reacción de descomposición se realizan otras reacciones anódicas y catódicas que consumen energía eléctrica, por lo que el consumo de voltaje se aproxima a 4 voltios. El ánodo generalmente es de fierro, por lo que durante la descomposición de cianuro, reacciona con éste en su estado Fe (II) para formar el compuesto  $\text{Fe}_5(\text{CN})_7^-$ . Las densidades de corriente empleadas en la electrodeposición de oro de 0.4 - 1.0 Amp/dm<sup>2</sup> catódico, mientras que el consumo de energía es de aproximadamente 0.5 - 1.0 Kw-hr/oz de oro depositado. Las celdas electrolíticas son construidas de fibra de vidrio, la esponja de oro precipitado es recogido y enviado a fundición, en tanto que el electrolito agotado puede ser utilizado en la desorción del carbón activado. El empleo de resinas electro conductoras solubles pueden mejorar la eficiencia del proceso y la calidad del depósito.



### **2.1.15. Proceso de fundición**

El proceso de fundición se realiza a fin de obtener los lingotes de oro y plata, aquí es necesario controlar variables para lograr una alta pureza del producto y mínimas pérdidas en la escoria. El precipitado obtenido de la retorta de los filtros es fundido en un horno de alta temperatura como se muestra en la Fig. 7, en presencia de fundentes como el litargirio, carbonato de sodio, bórax, sílice, nitrato de potasio y harina, a una temperatura que no supere los puntos de fusión del oro y la plata, estos valores oscilan entre los 1200 y 1300°C (Ivan, 2000).

### **2.1.16. Proceso de refinación**

Es una aleación de varios procesos técnicos la principal misión es desunir las impurezas que contenga el oro, ya extraído de minas, chatarra o de subproductos industriales. Lo principal de refinar este metal es para obtener una pureza.

#### **a) El refinamiento químico**

El refinamiento químico se utiliza para separar minerales de otras sustancias que contengan oro. Una de los primeros pasos dentro del proceso es separar el hierro del oro con un imán. Si esto es complicado se emplea ácido sulfúrico o ácido clorhídrico.

Tras haber separado el hierro, el mineral aún puede contener metales como cobre, zinc, plata o cualquier otro. Seguidamente se aplica el ácido clorhídrico o nítrico para separarlos. Tras realizar varias veces este proceso con ácidos, se evapora mezclándose así los químicos procesando así el oro puro.



## **b) El refinamiento electroquímico**

Este tipo de refinamiento es otra manera de separar el oro de las impurezas. El refinamiento electroquímico se emplea para obtener el oro refinado de 900% de pureza. Dicho sistema contiene una solución con ácido clorhídico, cloruro de oro y electricidad para purificar el metal.

### **2.2. ANTECEDENTES**

Lava (2018) en su trabajo ampliación de planta de beneficio minera Paraíso S.A.C. de 50 TMD a 250 TMD llega a las siguientes conclusiones:

1. Más allá de la variación del precio del oro por una mayor o menor actividad económica mundial, hay factores que indican en incremento o mantención en el precio del oro, por esto es que se debe aprovechar para incrementar la producción del oro.
2. Para mantener una buena liberación de partícula superior a 90% de malla -200, se hace necesario incrementar la etapa de molienda primaria con un molino 6' x 10' el cual operara conjuntamente con dos molinos 5' x 5' en un circuito mixto con doble clasificación con hidrociclón D-6 y D-10 y bombas de pulpa 4'' x 3''.
3. Para mantener la recuperación de oro por encima de 94.5 es necesario instalar varios tanques 20' x 20' y un 25' x 25' más en el circuito para mantener un tiempo de residencia de 84.24 horas.
4. Una conclusión importante es la de bajar los costos de operación ya que se procesara más tonelaje con el mismo número de personal.



Lima (2018) en su tesis realizó el cálculo de capacidades de los equipos de la planta para así poder observar las limitantes de producción y poder realizar la modificación e implementación de equipos nuevos y la optimización de los mismos como consecuencia obtener resultados satisfactorios y superar la recuperación actual. Se utiliza la técnica de cianuración y el proceso de carbón en pulpa (CIP), en la Empresa Geza Minerales Asis E.I.R.L. Se realizó la evaluación en los circuitos de chancado y molienda donde la granulometría tiene que llegar  $-1/2$  pulg. Para tener buena molienda, la granulometría en la molienda es 68% a 72% a malla 200, la molienda en el Overflow es 91% a malla 200, la recuperación que se pretende obtener es 90%. En conclusión, se requiere un motor para el molino de bolas 5'x10' y una chancadora cónica Traylor 2"x46" para poder realizar la ampliación de dicha planta de beneficios. El consumo de reactivos es la siguiente; 3.33 Kg/t NaCN y 2.5 Kg/t NaOH y el costo de 1 TM es 80 U\$\$ en la ampliación de 60TMD.

Alvarez (2017) en su tesis de la Compañía Minera Jerusalén S.A.C. manifiesta que es una planta procesadora de oro y plata, siendo el mineral de acopio la materia prima para el procesamiento de estos metales, sin embargo, debido a la complejidad con la que se presenta el mineral, en estos dos últimos años, el tratamiento convencional del proceso de cianuración ha sido ineficiente por la presencia del alto contenido de material cianicida. Por ello, la mejora del tratamiento de minerales auríferos requiere seguir adecuándose según el tipo de mineralogía, frente a ello la propuesta citada es la utilización de sales oxidantes como el litargirio, nitrato de plomo y medios oxidantes, con el fin de minimizar elevados consumos de reactivos, y optimizar la recuperación del metal valioso, manteniendo iguales niveles de producción.

Con la realización de una serie de pruebas experimentales se pudo determinar los efectos producidos por dichas sales, alcanzándose resultados óptimos en la mejora



de la recuperación del oro y la reducción del consumo de cianuro de sodio. Dichos resultados demuestran, que es factible considerar que se puede adecuar esta propuesta de investigación a un sistema de producción de escala industrial.

Chacnama (2016) el presente trabajo de investigación se desarrolló en la compañía minera Jerusalén S.A.C., en donde se ha logrado recuperar el mercurio en áreas previas al de adsorción más específico en área de molienda clasificación. Se logró implementar equipos sencillos pero eficientes, aprovechando una ventaja del mercurio en comparación a otros elementos, su alto peso específico. Se instaló un repulpeador de base cónica, que recuperó 39.2 % de mercurio, un elutriador y/o hidroseparador que recuperó 22.17 % de mercurio y una trampa cilíndrica de acero, que recuperó 28.73 % de mercurio. Dando un total de 90.11 % de recuperación de mercurio. Junto con el mercurio se logró recuperar oro hasta un 11.54 % lo cual es un ingreso extra.

Con los equipos implementados se logró reducir de 1.124 g/Kg a 0.104 g/Kg de mercurio en el carbón activado, con ello se tiene mayor eficiencia en esta etapa. Ya no hay sobresaturación, así minimizando costos.

Altamirano (2011) en su tesis de pregrado estudio técnico económico para la ampliación de la planta concentradora de minerales Bertha, ubicado en el departamento de Ancash, investigó las características y las aplicaciones de los concentrados de plomo y zinc. El nivel de consumo que tienen estos concentrados están en un apogeo económico creciente; esto se evidencia en el precio de los metales que se están manteniendo durante estos últimos meses; debido a esta coyuntura económica y su proyección, se realizó este estudio de evaluación técnica económica de la ampliación de la planta concentradora. Para ello se estudió el mercado del plomo y zinc a nivel mundial, para luego enfocarse en la producción de concentrados a nivel nacional, se



estudió la normativa ambiental aplicable al proyecto así como el proceso para producir concentrados de plomo y zinc. La información fue obtenida a partir de diversas fuentes bibliográficas. De los resultados obtenidos se concluye que es rentable la ampliación de la Planta Concentradora de Minerales Bertha.

Aquise (2014) en su tesis ampliación de la capacidad y optimización de la planta de beneficio Laytaruma, llega a las siguientes conclusiones:

- a. Se debe seguir preparando la solución de Cianuro de Sodio en la proporción que se está haciendo que es de 200 kg. NaCN con 150 kg. Na(OH).
- b. Esta proporción garantiza una concentración de 11 % de Cianuro en la Solución de stock para trabajo en planta, lo mínimo es de 10%.
- c. Que a estas concentraciones evitan que se esté adicionando a cada rato más solución de Cianuro y en mayor flujo para que se asegure la lixiviación.
- d. Con respecto al tiempo de lixiviación la relación es directamente proporcional, a mayor tiempo más consumo de cianuro.
- e. A mayores concentraciones de Cianuro ( < 15% ) Cabe la posibilidad de que se eleve valores de Cianuro libre en la Cola.

Chillcce y Rojas (2012) en su tesis Implementación del sistema experto en molinos para optimizar la molienda del circuito de cobre en la planta concentradora de sociedad minera cerro verde S.A.A, indica que la planta concentradora de Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A. tiene una capacidad de diseño de 108 mil toneladas métricas de mineral procesado por día, esta fue diseñada por la necesidad de procesar sulfuros primarios (Calcopirita y Molibdenita). Cada molino tiene un flujo de alimentación fresca de 1200 TPH. Por lo cual la preocupación para la empresa era



optimizar la molienda ya que de esto dependía la recuperación de los minerales económicos en planta. Mediante la instalación y la puesta en marcha el Sistema Experto de molinos fue posible mejorar la molienda de esta manera tener un grado óptimo de liberación de minerales de Cu.

Marin (2011) realizó un estudio técnico metalúrgico alternativo para incrementar la recuperación del oro en el tratamiento de minerales auríferos de la mina y planta concentradora de Untuca-Sandia de 350 TMD a 1000 TMD. Considerándose que se cuenta con grandes volúmenes de mineral de baja ley de 4.5 g Au/t en promedio y dar por agotadas las canchas de Alta ley como fue la 3A, es por ello que debido principalmente a una caída en las leyes de los desmontes disponibles y del inicio del tratamiento del mineral de Cerro La Torre es que le conlleva a realizar el presente trabajo sustentándose en cuatro factores clave, los cuales son, en orden de importancia: tendencia de precio favorable, costos adecuados, reservas suficientes y gerencia apta para llevar a cabo el cambio. Con el presente estudio técnico se ha determinado que la producción se verá enormemente incrementado, lo que significa la producción anual en 187200 toneladas.

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTUDIO

La Planta de Beneficio Jerusalén se encuentra ubicada en la margen izquierda de la quebrada Seca a una distancia de 11.5 Km al norte del pueblo de Chala y a 4.5 Km al Oeste de Chala Viejo.

Políticamente la zona de estudio está ubicada en una zona desértica y eriaza de propiedad del estado, en el distrito de Chala, provincia de Caravelí, departamento de Arequipa.



**Figura 5:** Ubicación de la planta Jerusalén S.A.C.

#### 3.2. PERIODO DE DURACION DEL ESTUDIO

El estudio se realizó durante el año 2018.



### **3.3. PROCEDENCIA DEL MATERIAL ESTUDIADO**

La empresa dispuso el material de estudio que en este caso vienen a ser los datos técnicos sobre los equipos y proceso actual, éstas se recopilaron y analizaron. Se tuvo además informes sobre la parte geológica, minera y metalúrgica.

- Flow sheet de la planta concentradora
- Archivos
- Fuentes bibliográficas

#### **Disposición de equipos e insumos**

El presente proyecto describe y contempla la ampliación de la planta de beneficio de minerales Jerusalén S.A.C. con una capacidad de 120 TMD (3000 TM/mes); ello se aprecia en el diagrama de flujo; disponiéndose el siguiente esquema de tratamiento de minerales:

- Recepción de las cargas de mineral
- Chancado y clasificación de minerales
- Molienda y clasificación de minerales
- Circuito de centrifugado y gravimetría
- Acondicionamiento
- Circuito de cianuración



- Circuito de espesado
- Circuito de espesado y sedimentación de colas de cianuración

Para el desarrollo de la parte del análisis y medición del presente trabajo, se contó con un mineral de acopio procedente de la zona. Dicho material se caracterizó previamente a tomar decisiones de ampliación.

### **3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA DEL ESTUDIO**

#### **3.4.1. Población**

En el presente análisis la población está constituida por el circuito de procesamiento de minerales de la planta concentradora Jerusalén S.A.C.

#### **3.4.2. Muestra**

La muestra que se consideró en este análisis para los diferentes tipos de pruebas fueron la tolva de mineral fino, el circuito de molienda, la bomba centrífuga horizontal 3"x 2"y el hidrociclón D4 del circuito de procesamiento de minerales de la planta Jerusalén S.A.C.

### **3.5. DISEÑO ESTADÍSTICO**

La herramienta empleada para llevar a cabo el procesamiento de los datos fue una Hoja de Cálculo, en la cual se registraron los datos en tablas y gráficos. Para realizar las anotaciones de campo se utilizaron hoja y lápiz.

Así mismo se utilizó la estadística descriptiva el que permitió recolectar, organizar y presentar en forma de tablas y gráficos la información numérica; la estadística inferencial el que permitió sacar conclusiones acerca de una población



usando datos de una muestra tomada de ellas en donde se aplicó el programa computarizado MICROSOFT EXCEL Y ANOVA.

### **3.6. PROCEDIMIENTO**

#### **3.6.1. Metodología**

La metodología de investigación utilizada para el presente trabajo descansa fundamentalmente en la recopilación de información general del sector mediante fuentes primarias y secundarias, a partir de las cuales se tomaron los primeros conceptos para conocer los procesos que se realizan dentro de la empresa. En la investigación que se presenta preliminarmente se aplicó el método descriptivo de la investigación científica, basándose en lo siguiente:

##### **a. Investigación bibliográfica**

Para obtener una visión global de los aspectos relevantes que se consideraron en el desarrollo del proceso aquí presentado, se consultó artículos obtenidos de Internet, libros, revistas y anuarios relacionados con la minería y la metalurgia.

##### **b. Técnicas de recolección de datos.**

Se aplicaron técnicas de muestreo, para evaluar las variables que influyen en los procesos unitarios.

##### **c. Técnicas de análisis de datos.**

Para el análisis e interpretación de los datos obtenidos se utilizó la referencia bibliográfica y la estadística basada en MS Excel y ANOVA.

##### **d. Determinación de aspectos tecnológicos.**



Para ello se consultó con empresas especializadas proveedoras de equipos, las cuales nos brindaron la información y catálogos de los equipos.

### **3.6.2. Tipo de la investigación**

De acuerdo con el nivel de la investigación, es decir, la profundidad con que se estudia el fenómeno en cuestión, la presente se enmarcó en una investigación de tipo explicativa, ya que centra su estudio en la comprobación de hipótesis causales, busca descubrir las causas que generan determinados comportamientos o acontecimientos.

### **3.6.3. Diseño de la investigación**

Señala que el diseño de la investigación, representa la estrategia que se ha de cumplir para el desarrollo de la misma. De acuerdo con ello, la presente investigación se ajusta a un diseño no experimental. Se entiende por Diseño No experimental, aquellas investigaciones en las que no hay manipulación de variables; la acción de variables ya se dio en la realidad, el investigador no intervino en ello.

Se trata entonces de observar variables y relaciones entre estas en su contexto natural; el investigador toma los datos de la realidad. La utilización de un diseño No Experimental es debido a qué se observa el fenómeno, tal y como se da en la realidad. No hay manipulación de variables, sino que se observó la variación de las mismas y se relacionaron.

### **3.6.4. La observación y el registro de datos**

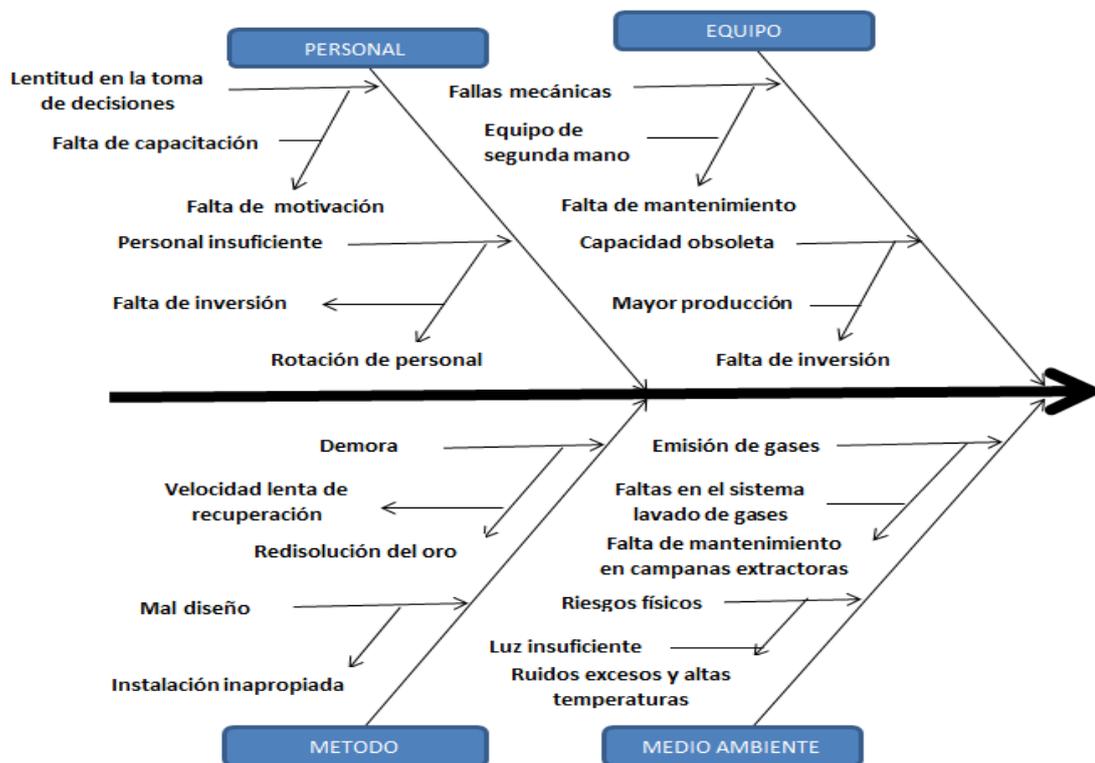
Esta técnica permite observar la ocurrencia de un fenómeno e inmediatamente registrarlo en una base de datos, acompañado de las características asociadas al mismo que atiendan al objeto de estudio de la investigación. En este sentido, los instrumentos

utilizados para el registro de datos fueron el control de tiempos de paradas para la planta de beneficio mineral y el de los equipos de carga y acarreo.

### 3.6.5. Técnicas y procedimientos de recolección de datos

#### 3.6.5.1. Identificación de causa raíz

En este punto se determinaron las causas principales de la baja recuperación de oro en la planta minera Jerusalén S.A.C. identificando los factores principales que afectan el proceso.



**Figura 6:** Diagrama de Ishikawa para la determinación de la causa raíz del problema

De acuerdo a la Fig. 6, los factores que inciden directamente sobre la recuperación de oro son el bajo rendimiento del circuito de molienda, siendo el factor más importante el método de trabajo debido a la demora y al mal diseño del proceso.



Cabe resaltar que la optimización de este factor permitió una mejora consecuente en los demás factores.

### **3.6.5.2. Diagnóstico de la situación actual de la empresa**

- Para este punto primero se describió el proceso de recuperación mediante el diagrama de flujo, donde se muestra a detalle todas las actividades realizadas en dicho proceso.
- Segundo se identificó la causa principal de la baja recuperación de oro se utilizó la herramienta de Ishikawa en la cual se determinaron los factores principales que afectan dicha recuperación.
- Tercero se recolectó y procesó la información de los balances metalúrgicos obtenidos de las campañas realizadas en el mes de diciembre del año 2018, para determinar las recuperaciones de oro de cada una de ellas.
- Cuarto se diseñó y elaboró la distribución actual de las operaciones del proceso de recuperación de oro actual dentro del área de tolva de finos, molienda bomba centrífuga e hidrociclón, con el fin de determinar los tiempos de transporte de cada operación.
- Quinto se realizó un estudio de tiempos de cada una de las operaciones del proceso de recuperación de oro actual, en dicho estudio se muestra el detalle de las actividades productivas e improductivas y la secuencia de actividades del proceso de forma gráfica. Se realizó un análisis de los tiempos basado en la metodología de Pareto, con el fin de priorizar los defectos para posteriormente establecer las medidas correctivas y apuntar a su sustitución o eliminación.



- Sexto se determinó el rendimiento del proceso de recuperación actual obtenido en cada campaña, así como en todo el mes de diciembre del 2018 fue determinada en base a la información de los balances metalúrgicos de las últimas campañas realizadas en la empresa.
- Por último, se determinó el costo beneficio obtenido de las campañas desarrolladas en el mes de diciembre del año 2018.

### **3.6.5.3. Desarrollo del procedimiento de investigación**

- Para el desarrollo de la propuesta primero se determinó el valor de los parámetros óptimos del proceso metalúrgico para lo cual se realizó una serie de pruebas experimentales en el laboratorio de la planta Jerusalén S.A.C., las cuales recayeron en la necesidad de implementar y/o sustituir de una serie de equipos y materiales, que se muestran en la Tabla 1, teniendo en consideración:
  - a) Balance metalúrgico del proceso con que cuenta la planta Jerusalén S.A.C.
  - b) Recalculo y selección de los equipos mecánicos de ampliación de 80 a 120 TMD.
    - a) Desarrollo de la redistribución de la Sección de molienda.
    - c) Dimensionamiento de la tolva de almacenamiento de finos de 120 TMD.
    - d) Propuesta de plan de ampliación.

**Tabla 1:** Equipos que evaluarán principalmente para la ampliación a 120 TMSD

1	Molino de bolas 4'x8'
2	Bomba de pulpa 4"x3"
3	Hidrociclón D6
4	Bolas de acero
5	Tolva de finos 120 TMD
6	Instalaciones
7	Tuberías de polietileno

Fuente: Planta Jerusalén S.A.C.

### 3.7. VARIABLES

#### Variable dependiente

Planta de beneficio de minerales Jerusalén S.A.C. – Arequipa.

#### Variable independiente

Proyecto de ampliación técnica - económica de 80 TMD a 120 TMD

### 3.8. ANALISIS DE LOS RESULTADOS

- Obtener la memoria de cálculo de equipos principales, así como los parámetros de operación de la planta de beneficio, que sirvan de base para proponer el diseño que permita operar a la planta a una alimentación final de 120 TMSD,
- Plantear la configuración de los circuitos en las diferentes secciones tal que permita procesar el aumento de tratamiento de la planta de beneficio de 80 a 120 TMSD.
- Mostrar las consideraciones técnicas y criterios para la elección de los equipos necesarios para lograr el incremento de capacidad.



- Determinar la estructura de las inversiones y costos de la ampliación.
- Obtener mayor rentabilidad al aumentar la capacidad de la planta.



## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El presente trabajo muestra las estimaciones técnicas y económicas aplicadas a la planta de beneficio de minerales Jerusalén S.A.C., para lograr un incremento progresivo de 80 TMSD a 120 TMSD, en donde se resaltan las ventajas de la mineralogía y la geografía del lugar, que permiten elaborar estudios de factibilidad técnica y financiera. Se explica la descripción del proceso de beneficio a 80 TMSD, se establecen los balances de materia de cada una de las etapas del proceso, con la finalidad de obtener los parámetros de operación, también se calcula la capacidad de los equipos mayores para visualizar las opciones para escalar el proceso.

La propuesta de diseño, con base en los resultados obtenidos de los balances de masa; se proponen las configuraciones de equipos, así como aquellos que es necesario adquirir para lograr los objetivos de producción.

#### **4.1. DESCRIPCION DE OPERACIÓN ACTUAL (80 TMSD) DE LA PLANTA DE BENEFICIO DE MINERALES JERUSALEN S.A.C.**

El proceso de la planta de tratamiento metalúrgico de minera Jerusalén S.A.C. es de lixiviación de minerales auríferos y relaves, por el proceso de agitación en carbón en pulpa (CIP) (Ver anexo 2) flow sheet de la planta concentradora Jerusalén S.A.C.).

La composición mineralógica es la siguiente: Cuarzo, hematitas, limonitas, jarositas, goetita, pirita, arsenopirita, pirrotita, chalcopirita y crisolita.

#### 4.1.1. Procedencia del mineral

La materia prima que abastece a la planta de beneficio es mineral de acopio procedente de diferentes yacimientos mineros de provincias del sur del país, los minerales o relaves provenientes de los productores mineros llegan a la planta mediante camiones, trailers y volquetes de capacidad de 10 a 30 TMH los cuales se detallan en la siguiente tabla:

**Tabla 2:** Procedencia del mineral de acopio

MINA	PROVINCIA	MINA	PROVINCIA
Vitor	Arequipa	Ayo	Castilla
La joya	Arequipa	Sta Barbara	Castilla
Yuramayo	Arequipa	Shila	Caylloma
Chalhuanca	Aymares	Caylloma	Caylloma
Misky	Camana	Huanca	Caylloma
El Ingenio	Camana	Livitaca (chilloraya)	Chumbivilcas
Secocha	Camana	Quiñota	Chumbivilcas
Calpa	Caraveli	Ocoña	Condesuyos
Santa Filomena	Caraveli	Cerro Rico	Condesuyos
Mollehuaca	Caraveli	Huaca	Condesuyos
Torrecillas	Caraveli	Tambo	Islay
Chaparra	Caraveli	Santa Rosa	Nazca
Acari	Caraveli	San Luis	Nazca
Eugenia	Caraveli	Untuca	Puno

Fuente: Planta Jerusalén S.A.C.

Las especies mineralógicas que presentan los minerales de acopio se clasifican en dos grupos bien definidos:

- Oro en minerales óxidos: El oro se encuentra agregado a los óxidos y que representa los tres cuartas partes del total de mineral que se requiere para ser procesado en una “campaña”

- Oro en minerales sulfurados: El oro se encuentra agregado a los sulfuros y otros minerales que generalmente representa una cuarta parte del total requerido para una “campana”.

**Tabla 3:** Minerales encontrados en mineral de acopio

MINERAL	FORMULA	COLOR	DENSIDAD (gr/cm3)	GRADO DE LIBERACION
Covelita	CuS	Azul	4.6	90.80 %
Cuarzo	SiO <sub>2</sub>	Incoloro	2.65	93.40%
Electrum	Ag-Au	Blanco Plata	16-17	81.62%
Hematita	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Pardo Rojizo	4.9-5.3	87.85%
Jarosita	KFe <sub>3</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> (OH) <sub>6</sub>	Amarillo	3.1a3.3	89.82%
Limonita	2Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Amarillo Café	3.6 y 4.4	98.85%
Magnetita	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	Negro de Hierro	5.2	92.62%
Oro	Au	Amarillo Brillante	2.5-3	97.49%
Pirrotita	Fe <sub>7</sub> S <sub>8</sub>	Marrón oscuro	4.58-4.87	90.90%
Pirita	FeS <sub>2</sub>	Amarillo Bronce	4.95-5.10	91.38%
Plata	Ag	Gris	10.6	89.85%

Fuente: Planta Jerusalén S.A.C.

#### 4.1.2. Determinación de tonelajes en el circuito de planta

El mineral que se compra a los proveedores tiene una ley de promedio de 15g./TM

- Tonelaje seco alimentado al circuito :80TMD

**Tabla 4:** Ingreso de mineral a planta para ser procesado

N° de Lote	FECHA INGRESO	TIPO DE MINERAL	PROCEDENCIA	N° DE SACOS	PESO HUMEDO	% HUMEDAD	PESO SECO	Oz Au/Tc
------------	---------------	-----------------	-------------	-------------	-------------	-----------	-----------	----------



8790	17-oct	MINERAL	NAZCA	80	7,16	1	7,088	0.053
8891	01-nov	MINERAL	AREQUIPA	418	29,85	9,7	26,955	0.376
8957	16-nov	MINERAL	AREQUIPA	346	31,02	3,6	29,903	0.756
8990	21-nov	MINERAL	HUALPOCA	GRANEL	15,84	1,7	15,571	0.093
8991	21-nov	MINERAL	HUALPOCA	GRANEL	0	0	0,000	0.093
8998	25-nov	MINERAL	AREQUIPA	209	16,15	1	15,989	0.522
8999	25-nov	MINERAL OXIDO	AREQUIPA	162	13,06	18,7	10,618	1.007
9058	07-dic	MINERAL	AREQUIPA	31	2,32	1,5	2,285	0.158
9059	07-dic	MINERAL OXIDO	AREQUIPA	113	6,46	20,3	5,149	0.349
9060	07-dic	MINERAL OXIDO	AREQUIPA	72	3,97	9,5	3,593	0.366
9061	07-dic	MINERAL OXIDO	AREQUIPA	232	18,17	2,7	17,679	0.555
9108	13-dic	MINERAL OXIDO	JAQUI	GRANEL	9,05	14,2	7,765	0.134
9116	14-dic	MINERAL	CHAPARRA	GRANEL	23,66	1,8	23,234	0.084
9131	14-dic	MINERAL	CHAPARRA	GRANEL	0	0	0,000	0.000
9117	14-dic	MINERAL	CHAPARRA	GRANEL	29,39	1,1	29,067	0.094
9132	14-dic	MINERAL	CHAPARRA	GRANEL	0	0	0,000	0.000
9118	14-dic	MINERAL	UNTUCA	150	13,35	1,2	13,190	1.735
9119	14-dic	MINERAL OXIDO	UNTUCA	24	1,79	17,4	1,479	3.279

Fuente: Planta Jerusalén SAC.

### 4.1.3. Sección recepción muestreo y chancado

#### 4.1.3.1. Balanza del área de recepción

- Capacidad máxima: 100TM
- Margen de error de la balanza: 10 Kg
- Los camiones son previamente pesados en la balanza electrónica de 100 TM de capacidad. Estos camiones luego de descargar el mineral son pesados sin carga para sacar la tara del camión y sacar por diferencia el peso del mineral descargado.



- Los camiones que ingresan al área de recepción con toda su carga y almacenan el mineral en la cancha de recepción y/o alimentan directamente a la tolva de gruesos.
- El área de recepción cuenta con una cancha muy amplia: en el cual se realizan la descarga del mineral, el muestreo de ello y también para descargar y muestrear el relave. Y una parte de la cancha se usa para juntar el mineral que será remolido (blending).

#### **4.1.3.2. Muestreo de minerales nuevos**

- El método de muestreo es el de cuarteo. Las muestras son preparadas y cuarteadas hasta obtener una muestra representativa de los minerales y relaves.
- Luego se realiza la molienda de las muestras en molinos de 3pies de diámetro y 1pie de largo, después son embolsados e identificados según sus códigos para ser enviados al laboratorio químico para su análisis.
- Después se tendrán los certificados de valores metálicos para ser pagados a los proveedores.

#### **4.1.3.3. Cuarteo de muestra**

La determinación de la humedad sigue el procedimiento siguiente. La muestra es introducida en un horno a 160°C por un tiempo de 30 minutos.

Luego se aplica la siguiente formula:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{(\text{Peso húmedo} - \text{Peso seco})}{\text{Peso Húmedo}} 100$$



#### **4.1.4. Circuito chancado**

El circuito de chancado empieza con la trituración del mineral proveniente de la cancha de mineral, para luego ser removido por una pala mecánica a las tolvas de grueso los cuales presenta 3 tolvas de grueso con una capacidad de 61TMS, 51TMS, 39TMS cada una y los cuales descargan en la faja transportadora.

##### **4.1.4.1. Circuito de chancado primario**

Se cuenta con una chancadora de quijadas 12” x 24” y una chancadora cónica Denver de 2.4 ‘ Symons. Su capacidad depende fundamental de las características del mineral (dura y quebradizo, fibroso, arcillado, de poco peso específico), tamaño de la alimentación, o ajustes de la abertura de descarga, amplitud de oscilación de la quijada móvil, velocidad, Angulo de la quijada y la forma de los blindajes.

La capacidad de una trituradora de ese tipo aumenta gradientes cuando se disminuye la proporción de reducción y viceversa, aumenta igualmente con la velocidad, hasta ciertos límites, y disminuye cuando el Angulo entre las mandíbulas aumenta.

##### **4.1.5. Sección molienda y clasificación**

Una vez que el mineral ya ha sido chancado es colocado en la cancha de minerales respectivamente dependiendo si son óxidos o sulfuros.

Una vez ya obtenida y/o liquidada los lotes de mineral se pasa a su posterior tratamiento y proceso el área de recepción luego se procede a mezclar todo el material entregado ya sea mineral y/o relave, juntándolos en una sola ruma llamada blending para su proceso.



Una vez que el mineral ya está mezclado y clasificado se echa en la tolva de finos de 100 TMS de capacidad para ya ser procesados.

La planta consta con tres molinos de los cuales dos molinos primarios de 5'x5' y una remolienda de 4'x16'. En donde a ello a los dos primarios les trasporta mediante fajas transportadoras. Una vez pasado el tiempo de residencia en los molinos descarga mediante tuberías a una bomba de 3" x 2" el cual bombea a un hidrociclón D4 para su clasificación a los tanques de cianuración y al molino de remolienda.

#### **4.1.5.1. Molino de bolas**

Tenemos dos molinos primarios N° 2, N° 3 de 5'x5' cada una y un molino de remolienda N°1 de 4'x16'.

El mineral obtenido a partir del circuito de chancado que se encuentra en la tolva de finos mediante la faja transportadora N° 1 de 5HP se lleva el mineral al Molino de bolas N° 2 de 5'x5' en el cual el mineral es distribuido en dos partes iguales a otra faja transportadora el cual ingresa al molino N° 3.

Llegando primero a los tolvines corredizo de los molinos en el que se le adiciona agua recirculada y una solución de cianuro de sodio agitada que se prepara generalmente a una concentración de 4% de cianuro y soda cáustica con un pH 14, teniendo en cuenta que se prepara en tanques de reactivos el cianuro de sodio en 8'x 8' y el de soda caustica 6'x 6'.

#### **4.1.5.2. Determinación de eficiencia de clasificación**

En el circuito de molienda y clasificación actualmente contamos con un clasificador D4. Para el cálculo de la eficiencia del clasificador tomamos muestras en el



ingreso del clasificador que sería la descarga del molino y en el rebose del clasificador el cual sería lo clasificado para la lixiviación.

**Tabla 5:** Muestras de descarga del molino y rebose del clasificador

MALLA	REBOSE DEL CLASIFICADOR (O)	DESCARGA DEL MOLINO (F)
-200	90%	60%
-100	70%	45%

Por medio de un análisis granulométrico de las muestras de descarga del molino y rebose del clasificador se determina la eficiencia de un clasificador helicoidal con la siguiente formula:

$$E = \frac{A(1-o)}{(A+CC)(1-f)} * 100$$

E = Eficiencia del clasificador (%)

CC = Carga circulante (138.4 TM/día)

A = Mineral alimentado al molino por día (80 TM/día)

o = % de material más fino que la malla de separación en el rebose del clasificador

f = % de material más fino que la misma malla de separación en descarga del

Molino.

$$E = \frac{80(1-90)}{(80+138.4)(1-60)} * 100$$

$$E = 55.25\%$$



#### 4.1.6. Tanques agitadores

La pulpa que viene de la Molienda y los clasificados por el hidrociclón es enviada a los Tanques agitadores CIP (Carbón en pulpa) empezando por TK1 20' x 22.5' de 25 HP, pasando luego al TK2 de 20' x 22.5' de 25 HP, para luego continuar al TK3 de 20' x 22.5' de 25 HP, después al TK4 de 20' x 22.5' de 25 HP seguidamente al TK5 de 20' x 22.5' de 25 HP luego vienen 4 tanques de 20' x 20' relativamente. En este punto se finaliza con el proceso de agitación.

#### Determinación de la capacidad de los tanques:

$$20' = 6.09 \text{ m}$$

$$22.5' = 6.858 \text{ m}$$

#### Volumen del cilindro para los tanques 1; 2; 3; 4; 5 DE 20' x 22.5':

$$V = \pi * r^2 * h$$

$$V = 3.1416 * [3.05]^2 * 6.858$$

$$V = 200.37$$

$$V = 200.37 * 0.90 = 180.33 \text{ m}^3$$

#### Determinación del flujo

$$\text{Flujo} = 80 \text{ TMD} \rightarrow 3.33 \text{ TM (hr)}$$

Densidad ideal de la pulpa con la que ingresa a los tanques 1300 es decir 1300gr / Lt  $\rightarrow$  1,30 gr / ml; G.E. = 3,2

El porcentaje de sólidos viene dado por la fórmula



$$\%S = (1.30-1)(100)/(1.30*(3.2-1)/3.2)$$

$$\%S = 33.3$$

$$33.3 \% \rightarrow 3.33\text{TM (hr)}$$

$$100 \% \rightarrow X$$

$$X = 10$$

El flujo de ingreso de pulpa por hora es 10TM-Hr.

Hallando el volumen de la pulpa.

$$1.30 \text{ tm} \rightarrow 1 \text{ m}^3$$

$$10 \text{ tm} \rightarrow X \text{ m}^3$$

$$X = 7.69 \text{ m}^3 \text{ de pulpa en 1 hora}$$

### Tiempo de residencia

$$\text{Tr} = V/F_j = (180.33 \text{ m}^3) / (7.69 \text{ m}^3 \text{ hr}) = 23.45 \text{ horas}$$

$$\text{Tr} = 23.45 \text{ horas}$$

### Volumen del cilindro para los tanques 6; 7; 8; 9 DE 20' x 20':

$$V = \pi * r^2 * h$$

$$V = 3.1416 * (3.05)^2 * 6.09$$

$$V = 177.93$$

$$V = 177.93 * 0.90 = 160.14 \text{ m}^3$$



## Tiempo de residencia

$$Tr = V/F_j = (160.14 \text{ m}^3) / (7.69 \text{ m}^3/\text{hr}) = 20.82 \text{ horas}$$

$$Tr = 20.82 \text{ horas}$$

El tiempo de residencia en los agitadores es aproximadamente de 20 a 25 Horas dependiendo de su densidad de pulpa. Finalmente, las pulpas sin valor metálico (relaves) son enviados a la Cancha de Relaves mediante una bomba de 3" x 2" de 10 HP. El carbón activado es enviado a los tanques reactores para realizar la desorción.

**Tabla 6:** Calculo del tiempo de residencia de los tanques agitadores

AGITADOR	DIMENSIONES	TMSD	Dp(Gr/L)	%S	m <sup>3</sup> PULPA	m <sup>3</sup> H2O
TQ 1	20' x 22.5'	80	1300	42.04	192	151
TQ 2	20' x 22.5'	80	1300	42.04	192	151
TQ 3	20' x 22.5'	80	1300	42.04	192	151
TQ 4	20' x 22.5'	80	1300	42.04	192	151
TQ 5	20' x 22.5'	80	1300	42.04	192	151
TQ 6	20' x 20'	80	1300	42.04	169	133.2
TQ 7	20' x 20'	80	1300	42.04	169	133.2
TQ 8	20' x 20'	80	1300	42.04	169	133.2
TQ 9	20' x 20'	80	1300	42.04	169	133.2

### 4.1.7. Parámetros del circuito de molienda y lixiviación

En el presente cuadro presentamos los parámetros del circuito de molienda y lixiviación del circuito actual a 80 TMSD.



**Tabla 7:** Parámetros de operación a 80 TMSD

<b><u>PARAMETROS DEL PROCESO ACTUAL</u></b>	
Toneladas procesadas	80 TMD
Densidad en los molinos primarios	1750-1800 g/L
Peso específico	2.50 gr/cc
Molienda seleccionada	85% -200 malla
Porcentaje de sólidos en la molienda	67%
Porcentaje de sólidos en la cianuración	39% en 1300g/L
Cianuro en el molino	1700ppm
Fuerza de cianuro en la solución	1500ppm
pH de trabajo	11.5
Tiempo de agitación	72 hr.
% de extracción del Au	92%
Consumo de cianuro	4.28 Kg/tm
Consumo de soda caústica	0.15 Kg/tm

Fuente: Planta Jerusalén SAC.

#### **4.1.8. Procedimiento de desorción**

- Una vez finalizado la campaña del proceso en planta se inicia con la cosecha del carbón activado.
- El carbón activado es muestreado y trasladado de planta cianuración hacia el área de desorción, con la respectiva supervisión de parte del personal encargado, luego es pesado en una balanza de capacidad de 1500 kg.
- Seguidamente se procede a cargar a los dos reactores, que tiene una capacidad de tratamiento de 2000 kg cada una de ellas. De carbón seco; posteriormente se

sella la tapa del reactor y se procede a calentar la solución hasta llegar a una temperatura de 85 °C a 95°C.



**Figura 7:** Equipo de desorción de la planta Jerusalén S.A.C.

- Paralelo a ello otro personal, se encarga de preparar la celda colocando los ánodos y los cátodos para la electrodeposición del oro.
- Una vez iniciado el calentamiento de la solución se realiza la adición de reactivos, como son: soda al 3.0% y alcohol al 20.0%.
- La solución concentrada rica en oro, se hace circular en un circuito cerrado, desde los reactores hacia la celda electrolítica, la que trabajara 48 horas con un voltaje de 3.6 voltios y flujo de 160 l/min.
- En conclusión, el tiempo máximo para la desorción de Au. Es 48 horas.
- Coordinar y comunicar para realizar la cosecha del cemento que se encuentra en el cátodo de la celda, posteriormente se realiza la limpieza del precipitado que se encuentra depositado en el fondo de la celda.



- Luego se realiza el lavado de cátodos, con el objetivo de separar el cemento de la virutilla, las impurezas de virutilla que pudieran quedar en el cemento y el precipitado de la celda, son retiradas con un imán, se deja sedimentar un aproximado de media hora luego se sifonea.
- Una vez separado el precipitado de la virutilla de acero (cátodo), el cual tiene valores de oro y plata en su superficie, es atacado con ácido clorhídrico.
- El procedimiento se inicia usando un tacho de 50 galones (plástico), se adiciona la virutilla de acero, luego se vierte agua caliente y seguidamente el ácido clorhídrico, para formar una solución de cloruro férrico más hidrogeno.



- Toda esta operación se realiza en un constante baño donde se adiciona agua caliente para acelerar su cinética de reacción. hasta la disolución del fierro para obtener el material valioso que se encontraba en su superficie.
- Una vez atacado en su totalidad es enjuagado con agua en reiteradas veces, con la finalidad de neutralizar el cemento, luego el cemento es filtrado y homogenizado con bórax, para luego fundirlo aproximadamente 30 a 45 minutos.
- El cemento separado de la virutilla o lana de acero es filtrado en papel filtro a un aproximado de media hora para luego hacer el secado.
- Ya obtenido el cemento seco es mezclada con bórax, 200gramos por un kilo de cemento, se homogeniza y Luego se procede a fundir en un horno de crisol de grafito de 15 kilos con una temperatura 1200°C, esta alimentación al crisol se realiza de manera progresiva.



- El producto de la fundición (dore) es pesado quedando registrado el peso, dando conformidad de esto, al personal que se encuentra supervisando el trabajo.
- Una vez ya obtenida ya el dore completo se inicia con el cuarte respectivo del dore con Ag el 1:3 Para cumplir la separación del oro con la plata, se añade más plata. Y se vuelve a fundir. Una vez ya fundida se hace el respectivo granallado el cual se basa en llevar a partículas pequeñas para el ataque químico.

#### **4.1.9. Ataque químico**

- El ataque químico se basa en el proceso físico químico mediante el cual aumentamos la pureza del oro.
- teniendo el dore en partículas menores se pasa al ataque químico el cual se realiza con ácido nítrico más agua destilada de 1:3 se cocina en una cocinilla y en la solución vamos formando el nitrato de plata el cual es separada del oro.
- mientras va consumiendo el ácido nítrico vamos agregando paulatinamente de ácido y también de agua destilada.
- hasta llegar al punto que ya no forme nitrato de plata una vez llegado a ello se realiza el filtrado.
- finalmente fundimos el oro ya aun 99% de pureza durante 45 minutos y obtenemos la barra de oro fino.
- la barra fina se pesa y se entrega al personal encargado del área.
- Terminando este trabajo, los operadores se preparan para descargar el carbón del reactor, y se procede hacerle un muestreo para determinar su ley de residuo.

- Este carbón resorbido pasa por un sistema de lavado y seleccionado para luego regresar al tanque de lixiviación en planta.



**Figura 8:** Oro refinado

**Tabla 8:** Relación de equipos que se utilizan en la planta de 80 TMSD

1	Tolva de mineral grueso 61 TMS de capacidad
2	Tolva de mineral grueso 51 TMS de capacidad
3	Tolva de mineral grueso 39 TMS de capacidad
4	Faja fj-01 de 18" x 8 m
5	Chancadora de quijada 12"x 24" primario
6	Faja fj-02 de 18" x 12 m
7	Chancadora cónica Denver de 2.4' Symons primario
8	Faja fj-03 de 18" x 10 m
9	Grizzly vibratorio 4"x8", de 3/4" de abertura
10	Faja fj-04 de 18" x 10 m
11	Tolva de mineral fino, 100tms de capacidad
12	Faja fj-01 de 18" x 12 m
13	Faja fj-2 de 18" x 12 m
14	Molino Denver 4'x16'
15	Molino Denver 5'x5'
16	Molino Denver 5'x5'
17	Bomba centrifuga horizontal 3"x2"
18	Hidrociclón d4
19	Tanque de agitación N° 1 20'x22.5'
20	Tanque de agitación N° 2 20'x22.5'
21	Tanque de agitación N° 3 20'x22.5'
22	Tanque de agitación N° 4 20'x22.5'
23	Tanque de agitación N° 5 20'x22.5'
24	Tanque de agitación N° 6 20'x20'



25	Tanque de agitación N° 7 20'x20'
26	Tanque de agitación N° 8 20'x20'
27	Tanque de agitación N° 9 20'x20'
28	Relavera recubierto con geomenbrana
29	Bomba horizontal 3"x2" barren
30	Tanques estáticos, solución clarificado barren
31	Reservorio de agua fresca industrial
32	Tanque de almacenamiento de NACN
33	Tanque de almacenamiento de NAOH
34	Reactores de desorción de carbón, capacidad 4 ton.
35	Caldero intercambiador de calor
36	Tanque de paso capacidad de 4m <sup>3</sup>
37	Celda de electrodeposición
38	Horno de fundición cap. 30kg
39	Campana extractora de 5 HP
40	Torre de lavado (scrubbers)
41	Producto final
42	Carbón a recirculation

Fuente: Planta Jerusalén S.A.C.

#### **4.2. PARAMETROS TÉCNICOS Y ECONÓMICOS DE LA PLANTA JERUSALEN S.A.C. A 80 TMSD.**

Se muestran los balances de materia actuales, los cuales nos permiten definir los flujos en los puntos de entrada y salida en cada una de las etapas del proceso como chancado, molienda y cianuración; con ello identificar los parámetros de alimentación y descargas en cada punto y de esta forma establecer las capacidades adecuadas de los equipos.

El cuadro presenta el balance metalúrgico de la producción diaria del circuito con 80 TMD procesados actualmente.



**Tabla 9:** Balance metalúrgico diario a 80 TMSD

<b>BALANCE METALURGICO DIARIO AGOSTO</b>				
<b>MATERIAL</b>	<b>PESO</b>	<b>LEY Au</b>	<b>FINOS Au</b>	<b>RECUPERACION Au</b>
	<b>(TMS)</b>	<b>(Gr/TM)</b>	<b>(g)</b>	<b>(%)</b>
<b>CABEZA</b>	80	15.95	1276	100
<b>CARBON ACTIVADO</b>				
<b>kg/k C*</b>	4000.00	0.30	1180	92
<b>RELAVE</b>	80	1.28	102.40	8

Del cuadro se observa que trabajando con una capacidad de 80 TMSD, se obtiene la producción diaria de 1180 gramos de oro fino.

**Tabla 10:** Balance metalúrgico mensual a 80 TMS/mes

<b>BALANCE METALURGICO MENSUAL AGOSTO</b>				
<b>MATERIAL</b>	<b>PESO</b>	<b>LEY Au</b>	<b>FINOS Au</b>	<b>RECUPERACION Au</b>
	<b>(TMS)</b>	<b>(Gr/TM)</b>	<b>(g)</b>	<b>(%)</b>
<b>CABEZA</b>	2400	15.95	38280	100
<b>CARBON ACTIVADO</b>				
<b>gr/k C*</b>	4000	8.821	35284	92
<b>RELAVE</b>	2400	1.28	3072	8

Del cuadro se observa que trabajando con una capacidad 2400 TMS/mes, se obtiene la producción mensual de 35284.00 gramos de oro fino.

**Tabla 11:** Resumen de costos y gastos a 80 TMSD de la planta Jerusalén S.A.C.

RESUMEN DE COSTOS Y GASTOS EN CIA MINERA JERUSALEN S.A.C.		
DISTRIBUCION	COSTO DE PRODUCCION US. \$	COSTO UNITARIO US. \$
<b>PLANILLA</b>	\$ 77,160.000	\$ 32.150
Gerencia	\$ 25,233.000	10.51
Oficina contable Lima	\$ 12,094.000	5.04
Oficina administrativa planta	\$ 13,130.000	5.47
Planta de beneficio - produccion	\$ 20,010.000	8.34
Acopio de mineral	\$ 5,693.000	2.37
Seguros varios	\$ 1,000.000	0.42
<b>CONSUMO EN PLANTA DE BENEFICIO</b>	\$ 148,131.000	\$ 61.668
Área de recepción y chancado	\$ 384.000	0.11
Area de muestreo	\$ 4,150.000	1.73
Área de molienda y cianuracion	\$ 40,551.000	16.90
Área de cosecha de carbón	\$ 825.000	0.34
Área de desorción y fundición	\$ 19,676.000	8.20
Area laboratorio químico metalúrgico	\$ 3,899.000	1.62
Area de mantenimiento	\$ 3,397.000	1.42
Maquinaria y vehiculos	\$ 13,216.000	5.51
Area de seguridad y salud ocupacional	\$ 1,691.000	0.70
Cocina y comedor	\$ 13,250.000	5.52
Campamento de personal de planta	\$ 5,000.000	2.08
Areas verdes	\$ 5,413.000	2.26
Area de almacén	\$ 6,590.000	2.75
Servicio de suministros y otros	\$ 20,000.000	8.33
Obras civiles y otros	\$ 10,089.000	4.20
		<b>COSTO UNITARIO Us. \$/tm</b>
<b>COSTO TOTAL DE PRODUCCION</b>	\$ 225,291.000	93.818



Del cuadro se observa que los gastos en planilla asumen mensualmente a \$ 77160.00, el consumo en planta de beneficio es de \$ 148 131.00 y el costo total de producción mensual es de \$ 225 291.00.

**Tabla 12:** Estructura de producción mensual de la planta Jerusalén a 80 TMSD

<b>ESTRUCTURA DE PRODUCCION EN PLANTA DE BENEFICIO MES DE AGOSTO</b>	
<b>1. MINERAL PROCESADO EN PLANTA</b>	
a. Tms Procesadas. (TMS)	2400 TMS
b. Conenido Fino Bruto de Oro. (Gr Au)	38280 Gr Au
c. Ley Promedio de Oro. (Gr Au/tm)	15.95 Gr Au/tm
d. Ley Promedio de Oro. (Oz Au/tc)	0.465 Oz Au/tc
<b>2. PRODUCCION DE ORO FINO ( gr Au )</b>	
<b>2.1. Produccion de Proceso</b>	
a. Peso Bruto Total de Barra. (Gr)	35584 Gr
b. Contenido Fino. (Gr Au)	34872 Gr Au
c. Ley Promedio de Barra	98 % Au
<b>2.2. Recuperaciones Trampas - Amalgamas</b>	
a. Peso Bruto	521 gr
b. Contenido Fino de Oro	532 gr Au
c. Ley Promedio de Oro	98 % Au
<b>2.3. Saldo de Oro en Circuito Tanques - Carbones no Cosechado</b>	
a. Contenido Fino Bruto en Tanques	180 gr Au
b. Plata de Producción	178 gr Ag
<b>3. TOTAL DE ORO FINO RECUPERADO</b>	35404 gr Au
<b>4. % DE RECUPERACION EN PROCESO DE PLANTA</b>	92
	1gr Au = 38.5\$
<b>5. VALORIZACION Y VENTAS DEL PRODUCTO \$</b>	1369984
a. Oro de Producción \$	1342572
b. Oro de Amalgama \$	20482
c. Oro del Circuito Tanques y/o Desorción \$	6930
<b>6. VALOR COMPRA DE MINERAL PROCESADO \$.</b>	1120073
a. Pruebas metalúrgicas	% de recuperación= 76%
<b>7. COSTO TOTAL DE PRODUCCION \$.</b>	225291
<b>8. BENEFICIO ECONOMICO LIQUIDO DE PLANTA \$</b>	24620
<b>9. COSTO UNITARIO \$.</b>	93.82
	249911
	24620.20



Del cuadro se observa de que tratando 2400.00 TMS/mes se recupera 35 404.00 gramos de oro fino y teniendo en consideración de que el gramo de oro está a \$ 38.5, el beneficio económico líquido de planta es de \$ 24620.00.

#### **4.3. CALCULOS DE INGENIERIA PARA LA AMPLIACION DE LA MINERA JERUSALEN S.A.C. DE 80 A 120 TMSD**

El objetivo de la planta de procesamiento de minerales es corregir los niveles óptimos operacionales, principalmente en los circuitos de chancado, molienda y clasificación. Para hallar estos niveles se realizó una campaña experimental en la misma planta, sin embargo, durante la campaña que duro un periodo corto, la producción de la planta sufrió algunas pérdidas en las variaciones de los parámetros de planta, cuando la combinación de las condiciones seas malas. En este caso en la campaña experimental no sufrió muchos cambios y nos ayudó para nuestro trabajo los datos operacionales.

Sabemos que, al aumentar la capacidad a procesar, es posible que algunos de los equipos sean insuficientes, por lo que se necesita determinar la capacidad máxima de los equipos existentes, e identificar aquellos que deben ser remplazados o potenciado.

Se analizó la ampliación con el equipo que se encuentra en las instalaciones de la planta optimizando su eficiencia y adquiriendo si el caso lo requiera nuevos equipos para posibilitar dicha ampliación.

Así mismo una vez conocidos los parámetros de operación y capacidades de los equipos es necesario evaluar los cambios necesarios, tanto en las configuraciones de los circuitos como en la adquisición de nuevos equipos, para lograr procesar 120 TMS/día en la primera etapa.



#### 4.3.1. Balance de material

- Base de Cálculo: 120 TMD
- Ley en gr-Au/TM: 15 g
- Mineral en peso seco: 120 TMSD

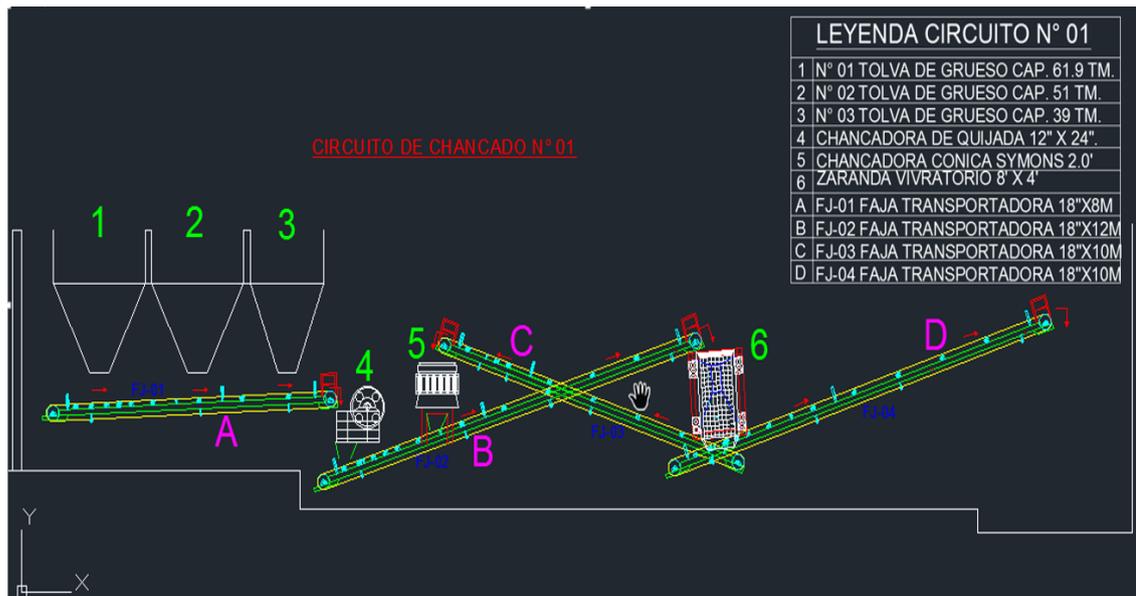
#### 4.3.2. Dimensionamiento de los equipos en el área del circuito de chancado de minerales para la ampliación a 120 TMSD

Los equipos de este circuito seguirán siendo utilizados ya que su capacidad de diseño satisface las necesidades planteadas en esta área.

Las fajas transportadoras también están de acuerdo a la necesidad por lo cual será la misma para su ampliación ya que el mineral que se necesita para la ampliación de 120 TMD se tendrá en las canchas.

**Tabla 13:** Capacidad de los equipos del circuito de chancado

EQUIPOS DELCIRCUITO DE CHANCADO	CAPACIDAD EN TM
TOLVA DE GRUESOS N°1	61.95 TMS
TOLVA DE GRUESOS N°2	51.07 TMS
TOLVA DE GRUESOS N°3	39.95 TMS
FAJA TRANSPORTADORA N°1	111.19 TM/Hr
FAJA TRANSPORTADORA N°2	82.55TM/Hr
FAJA TRANSPORTADORA N°3	92.48 TM/Hr
FAJA TRANSPORTADORA N°4	93.75 TM/Hr
CHANCADORA DE QUIJADAS	10.80 TM/Hr
ZARANDA VIBRATORIA	168 TN/Hr



**Figura 9:** Flow sheet del circuito de chancado

Los equipos del circuito de chancado que se utilizan en la planta de beneficio de minerales Jerusalén S.A.C. para el procesamiento de minerales a 80 TMSD serán los mismo ya que su capacidad de diseño satisface las necesidades planteadas para la ampliación a 120 TMSD.

#### 4.3.3. Dimensionamiento de la tolva de finos para su ampliacion a 120 TMSD

La tolva de finos de este circuito no satisface la capacidad de la ampliación a 120 TMD para lo cual se necesita ampliar a la capacidad requerida e implementar una tolva de finos con la capacidad de 120 TMD ya que la tolva actual se encuentra en pésimas condiciones lo cual no garantiza el soporte al tonelaje requerido.

Para el calculo de la capacidad de almacenamiento de la tolva de finos se utiliza la siguiente expresion matematicas : para ello y como el primer paso se calcula la gravedad especifica y la densidad aparente del mineral.

$$C=V \times \text{dap}$$

C= Capacidadde la tolva. (TM).



$V = \text{Volumen. (m}^3\text{)}$ .

$dap = \text{Densidad especifica. (TM/m}^3\text{)}$   $dap = G.E. (1-f)$ .

$G.E = \text{Gravedad especifica . (Gr/cm}^3\text{, TM/m}^3\text{)}$ .

$f = \% \text{ de espacio vacios.}$

### **Determinacion del peso especifico o gravedad especifica**

Peso del agua :300 ml

Peso del mineral :300 gr

Desplazamiento al introducir ala fiola :420ml

Volumen desplazado (420ml-300ml) :120ml

Peso especifico del mineral: :  $W_{\text{mineral}} / V_{\text{mineral}}$

P.e:  $300\text{gr} / 120\text{ml} = 2.50 \text{ gr/ml}$

DATOS:

$$P.e = 2.5 \text{ TMH/m}^3$$

$$\%H_2O = 5 \%$$

$$A1 = L * A * H_1 = 4.10 * 5.08 * 2.00$$

$$A2 = L * A * H_2 = 4.10 * 5.08 * H_2$$

### **Por Pitágoras calculamos la altura**

Hipotenusa = cateto adyacente + cateto opuesto

$$3.40^2 = 1.90^2 + \text{Haltura}^2$$



$$\sqrt{3.40^2 - 1.90^2} = H \text{ altura}$$

$$2.82 = H_2$$

### Calculando el volumen de la tolva

$$V_{Tolva} = V_{paralelep} + V_{r.Piram}$$

$$V_{Tolva} = i * a * h_1 + \frac{h_2(A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 * A_2})}{3}$$

### Calculando el volumen paralelepípedo

$$V_{paralep} = i * a * h_2$$

$$V_{paralep} = (4.10 * 5.08 * 2.00)m$$

$$V_{paralep} = 41.656m^3$$

### Calculando el volumen T. Piramide

$$V_{TP} = \frac{h_2(A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 * A_2})}{3}$$

$$A_1 = i * a = (4.10 * 5.08)m^2 = 20.83 m^2$$

$$A_2 = i * a = (0.30 * 1.30 m^2 = 0.39 m^2$$

$$V_{TP} = 2.82 m \left( \frac{20.83 m^2 + 0.39 m^2 + \sqrt{20.83 m^2 * 0.39 m^2}}{3} \right)$$

$$V_{T.P} = 24.28 m^3$$

### Reemplazando en el volumen de la tolva

$$V_{Tolva} = V_{Palalep} + V_{T.P}$$



$$V_{tolva} = 41.656m^3 + 24.28 m^3$$

$$V_{tolva} = 65.936 m^3$$

**Determinando la capacidad de la tolva de finos considerando un 10% de espacios libres**

$$\text{CAPACIDAD HUMEDA DE LA TOLVA} = V_{tolva} * (100\% - 10\%) * G.E$$

$$C_{HUM.-TOLVA} = 65.936 m^3 * 90\% * 2.5 \text{ TMH}/M^3$$

$$C_{HUM.-TOLVA} = 148.356 \text{ TMH}$$

$$\text{CAPACIDAD SECA DE LA TOLVA} = C_{HUM.-TOLVA} - C_{HUM.-TOLVA \% H_2O}$$

$$C_{SECAS-TOLVA} = 148.356 \text{ TMH} - \left( 148.356 * \frac{\text{TMH}(5\%)}{100\%} \right)$$

$$C_{SECAS-TOLVA} = 140.939 \text{ TMS}$$

**Tabla 14:** Capacidad de tolva de finos a 80 y 120 TMSD

TOLVA DE FINO DEL CIRCUITO MOLIENDA	CAPACIDAD EN TMS
TOLVA DE FINOS ACTUAL	100.88 TMS
TOLVA DE FINOS PARA AMPLIACION	140.939 TMS

#### 4.3.4. Evaluacion del circuito de molienda

El circuito de molienda es el área más importante del proceso de lixiviación por el cual se evaluo con más detalle cada equipo de este circuito para poder determinar la ampliación de 80 a 120 TMD.



#### 4.3.4.1. Determinacion de la capacidad de trabajo del molino de bolas de 4' x 8'

En la molienda tenemos una capacidad eficiente en los molinos primarios, pero se necesita una carga circulante mayor a la capacidad de 120 TMSD la remolienda que tenemos actualmente no esta en la capacidad de transportar una carga circulante ala necesidad requerida por lo cual implementaremos un molino de remolienda de 4'x8'.

##### Calculo de la velocidad critica

Para el molino de remolienda 4'x 8' proyectada.

$$V_c = \frac{76.63}{\sqrt{D}}$$

$$V_c = \frac{76.63}{\sqrt{4}}$$

$$V_c = \frac{76.63}{\sqrt{4}} = 38.315 \text{ RPM}$$

##### Cálculo del % de la Velocidad Crítica:

$$\%V_c = \frac{rpm \text{ (normal)}}{V_c} = \frac{28}{38.315} = 0.82 * 100 = 73.078 \%$$

##### Velocidad de Operación del Molino de Bolas:

Para un molino de bolas la velocidad de operación está entre 70% - 85% de la velocidad crítica; en nuestro caso tomaremos el 80%.

$$V_o \text{ max} = 0.80 * 38.315 = 30.652 \text{ RPM}$$

##### Tonelaje Máximo que puede tratar el Molino:

$$Ton. \text{ Max} = \frac{HP * 0.746}{w} = \frac{55 * 0.746}{11.62} = 3.531tc$$



$$3.531tc * \frac{1TM}{1.1023tc} = 3.20 TM = 3.20 * 24 = 76.8TMD$$

**Calculo de distribución de bolas en el molino 4'x 8'**

**Calculo de la carga inicial de bolas:**

Calculamos con un 73% de velocidad crítica

$$W = 73 * D^2 * L$$

$$W = 73 * 4^2 * 8$$

$$W = 9344Lb * \frac{0.453Kg}{1} = 4232.83 KG$$

**Tabla 15:** Distribución de bolas por tamaño para molino 4'x 8'

<b>DISTRIBUCION DE BOLAS POR TAMAÑO PARA MOLINO 4'X 8'</b>				
<b>Diámetro en pulgadas</b>	<b>% Distribución</b>	<b>Peso en Kg.</b>	<b>peso de cada bola en Kg.</b>	<b>Nº de bolas</b>
4	32	1354.50	4.10	330
3.5	28	1185.1	3.40	348
3	24	1015.87	2.90	350
2	16	667.25	0.70	967
<b>12.5</b>	<b>100%</b>	<b>4232.83</b>	<b>total</b>	<b>1995</b>

#### **4.3.4.2. Determinación de redistribución de bolas para cada molino de 5'x 5' y 4'x 16' respectivamente**

En el circuito de molienda se evalúa la densidad de los molinos y el tonelaje procesado respectivamente con la malla -200 al 90% el cual no llega a la capacidad



adecuada por lo cual realizaremos una redistribución de bolas para cada molino del circuito actual teniendo en cuenta que la molienda es la parte más importante para el proceso de lixiviación.

Por consiguiente, se realiza la distribución de bolas en el siguiente orden primero para los dos molinos 5'x5' y seguidamente para el molino 4'x16' y así poder hacer nuestro requerimiento en la ampliación de la planta.

### Distribución de bolas en el molino 5'X5'

#### Calculo de la carga inicial de bolas:

Calculamos con un 81% de velocidad crítica calculado en la descripción de la planta.

$$W = 81 * D^2 * L$$

$$W = 81 * 5^2 * 5$$

$$W = 10125Lb * \frac{0.453Kg}{1} = 4586.63 KG$$

**Tabla 16:** Distribución de bolas por tamaño para molino 5' x 5'

DISTRIBUCION DE BOLAS POR TAMAÑO PARA MOLINO 5'X 5'				
Diámetro en pulgadas	% Distribución	Peso en Kg.	peso de cada bola en Kg.	N° de bolas
4	32	1467.72	4.10	357
3.5	28	1284.25	3.40	377
3	24	1100.79	2.90	379
2	16	733.86	0.70	1048
<b>12.5</b>	100%	4586.63	<b>total</b>	2161



### Distribución de bolas en el molino 4'X16'

CALCULO DE LA CARGA INICIAL DE BOLAS:

Calculamos con un 73% de velocidad crítica

$$W = 73 * D^2 * L$$

$$W = 73 * 4^2 * 16$$

$$W = 18688Lb * \frac{0.453Kg}{1} = 8465.66 KG$$

**Tabla 17:** Distribución de bolas por tamaño para molino 4' x 16'

<b>DISTRIBUCION DE BOLAS POR TAMAÑO PARA MOLINO 4'X 16'</b>				
<b>Diámetro en pulgadas</b>	<b>% Distribución</b>	<b>Peso en Kg.</b>	<b>peso de cada bola en Kg.</b>	<b>Nº de bolas</b>
4	32	2709.01	4.10	661
3.5	28	2370.38	3.40	697
3	24	2031.75	2.90	701
2	16	1354.51	0.70	1935
	<b>100%</b>	<b>8465.66</b>		<b>3994</b>

**Tabla 18:** Capacidad de los molinos para procesar 120 TMSD

<b>MOLINO DE BOLAS DEL CIRCUITO</b>	<b>CAPACIDAD EN TMD</b>
DOS MOLINOS PRIMARIOS 5'X5'	80.64 TMD
1 MOLINO SECUNDARIO 4'X16'	116.64 TMD
1MOLINO A IMPLENTAR 4'X8'	76.8 TMD



Desde el punto de vista tecnológico, implementar un molino de remolienda para una mayor liberación de partícula, previo a la cianuración en los tanques dará beneficios a la empresa, en cuanto a tiempos de cianuración, ganancia de capacidad en estos tanques, menores gastos de reactivos e incremento de la producción al cianurar los relaves.

#### 4.3.5. Determinación de la carga circulante en el circuito cerrado del proceso en ampliación

**Tabla 19:** Parámetros para el cálculo de la carga circulante

PRODUCTOS	DENSIDAD (W)	W	%P	%a	°Dd
Descarga del Molino	1570	926	59	41	0.69 °Dd
Rebose del clasificador	1360	585	43	57	1.34 °Do
Arena del Clasificador	1980	1584	80	20	0.25 °Dc

Dónde:

W = Densidad de pulpa (g/Lt)

P = Porcentaje de sólidos

W = Peso de sólidos secos (g)

K = Constante de sólidos

V = Volumen de agua desalojada

K = grado de dilución

p = Peso de agua

a = Porcentaje de agua



S = Gravedad específica del sólido

Efectuando los cálculos correspondientes para la descarga del molino

$$p = 1620 - 983 = 637$$

$$v = 1,000 - 637 = 363$$

$$S = 926/363 = 2.5$$

$$K = \frac{2.5 - 1}{2.5} = 0.60$$

$$P = \frac{1570 - 1000}{0.60 * 1570} * 100$$

$$P = 60.51\%$$

$${}^{\circ}dD = \frac{100 - 60.51}{60.51} = 0.65$$

De igual forma se hacen los cálculos para el rebose y arenas del clasificador con los datos del cuadro, y con estos datos obtenidos calculamos el % de carga circulante y la carga circulante, su proporción es:

$$CC = \frac{{}^{\circ}Do - {}^{\circ}Dd}{{}^{\circ}Dd - {}^{\circ}Dc}$$

$$CC = \frac{1.34 - 0.65}{0.65 - 0.25}$$

$$CC = \frac{0.69}{0.40} = 1.73$$

$$CC = 100 * 1.73 = 173\%$$



### **Tonelaje de carga circulante con 120TM**

Humedad= 3.2

$T=120*0.96$

$T=118.08$  TMSD

### **Tonelaje de carga circulante**

$T_{cc}=1.73*118.08=204.28$

### **Tonelaje total que pasa por los molinos**

$=C+F$

$=204.28+118.08$

$=322.36$  TMSD

#### **4.3.6. Determinación de eficiencia de clasificación**

En el circuito anterior contamos con un hidrociclón D4, para la ampliación se cambiará a un hidrociclón D6. Para corroborar su eficiencia se trabaja con las muestras obtenidas anteriormente.

**Tabla 20:** Análisis granulométrico de las muestras de descarga del molino y rebose del clasificador

<b>MALLA</b>	<b>REBOSE DEL CLASIFICADOR (O)</b>	<b>DESCARGA DEL MOLINO (F)</b>
-200	95%	60%
-100	70%	45%



Por medio de un análisis granulométrico de las muestras de descarga del molino y rebose del clasificador se determina la eficiencia de un clasificador con la siguiente formula:

$$E = \frac{A(1 - o)}{(A + CC)(1 - f)} * 100$$

Dónde:

E = Eficiencia del clasificador (%)

CC = Carga circulante (204.28 TMD)

A = Mineral alimentado al molino por día (120 TMD)

o = % de material más fino que la malla de separación en el rebose del clasificador

f = % de material más fino que la misma malla de separación en descarga del molino.

$$E = \frac{120(1 - 95)}{(120 + 204.28)(1 - 60)} * 100$$

$$E = 58.95\%$$

#### 4.3.7. Determinación de la capacidad de los tanques agitadores

La pulpa que viene de la molienda y los clasificados por el hidrociclón es enviada a los tanques agitadores CIP (Carbón en pulpa) empezando por TK1 20' x 22.5' de 25 HP, pasando luego al TK2 de 20' x 22.5' de 25 HP, para luego continuar al TK3 de 20' x 22.5' de 25 HP, después al TK4 de 20' x 22.5' de 25 HP seguidamente al TK5 de 20' x 22.5' de 25 HP luego vienen 4 tanques de 20' x 20' relativamente.



Ahora para la ampliación a 120 TMSD vamos a calcular la capacidad de los tanques agitadores y calcular el tiempo de residencia según el tonelaje requerido para procesar en la ampliación, teniendo en consideración los siguientes datos:

$$20' = 6.09 \text{ m}$$

$$22.5' = 6.858 \text{ m}$$

**Volumen del cilindro para los tanques 1; 2; 3; 4; 5 DE 20' x 22.5':**

$$V = \pi * r^2 * h$$

$$V = 3.1416 * 3.05^2 * 6.858$$

$$V = 200.37$$

$$V = 200.37 * 0.90 = 180.33 \text{ m}^3$$

**Determinación del flujo**

$$\text{Flujo} = 120\text{TMD} \rightarrow 5 \text{ TM (Hr)}$$

Densidad ideal de la pulpa con la que ingresa a los tanques 1300 es decir 1300gr / Lt

$$\rightarrow 1,30 \text{ gr / ml}; \text{G.E.} = 3.2$$

El porcentaje de sólidos viene dado por la formula

$$\%S = \frac{(1.30 - 1)(100)}{1.30 * \frac{3.2 - 1}{3.2}}$$

$$\%S = 33.3$$

$$33.3 \% \rightarrow 5 \text{ TM(Hr)}$$



$$100 \% \rightarrow X$$

$$X = 15.01$$

El flujo de pulpa de ingreso por hora es 15.01TM-Hr.

Hallando el volumen de la pulpa.

$$1.30 \text{ tm} \rightarrow 1 \text{ m}^3$$

$$15.01 \text{ tm} \rightarrow X \text{ m}^3$$

$$X = 11.55 \text{ m}^3 \text{ de pulpa en 1 hora}$$

### **Calculo del tiempo de residencia**

$$Tr = \frac{V}{F_j} = \frac{180.33 \text{ m}^3}{11.55 \text{ m}^3 \text{ hr}} = 15.61 \text{ horas}$$

$$Tr = 15.61 \text{ horas}$$

### **Volumen del cilindro para los tanques 6; 7; 8; 9 DE 20' x 20':**

$$V = \pi * r^2 * h$$

$$V = 3.1416 * 3.05^2 * 6.09$$

$$V = 177.93$$

$$V = 177.93 * 0.90 = 160.14 \text{ m}^3$$

### **Calculo del tiempo de residencia**

$$Tr = \frac{V}{F_j} = \frac{160.14 \text{ m}^3}{11.55 \text{ m}^3 \text{ hr}} = 13.86 \text{ horas}$$

$$Tr = 13.86 \text{ horas}$$

El tiempo de residencia en los agitadores propuesto para la ampliación del circuito varía según las toneladas procesadas de 120 TMSD el cual es aproximadamente de 13 a 15 horas.

**Tabla 21:** Parámetros metalúrgicos de los tanques agitadores

AGITADOR	DIMENSIONES	TMSD	Dp(Gr/L)	%S	PULPA $m^3$	H <sub>2</sub> O $m^3$
TQ 1	20' x 22.5'	120	1300	42.04	192	151
TQ 2	20' x 22.5'	120	1300	42.04	192	151
TQ 3	20' x 22.5'	120	1300	42.04	192	151
TQ 4	20' x 22.5'	120	1300	42.04	192	151
TQ 5	20' x 22.5'	120	1300	42.04	192	151
TQ 6	20' x 20'	120	1300	42.04	169	133.2
TQ 7	20' x 20'	120	1300	42.04	169	133.2
TQ 8	20' x 20'	120	1300	42.04	169	133.2
TQ 9	20' x 20'	120	1300	42.04	169	133.2

#### 4.4. EQUIPOS A INSTALAR PARA LA AMPLIACIÓN DE LA PLANTA A 120 TMSD

Al enfocarnos en la ampliación de la planta de beneficio, fue primordial el levantamiento del diagrama de proceso a detalle, el cual requirió el conocimiento de los equipos y los parámetros con los que se trabaja, así como los principios básicos de su operación y su forma de trabajo en conjunto. De igual manera se logró demostrar los criterios de elección de los nuevos equipos a instalar para el incremento de capacidad, así como se pudo calcular la capacidad de los equipos principales que operan a la configuración de 120 TMSD las que se presentan en el siguiente cuadro:

**Tabla 22:** Equipos que se implementara para la ampliación a 120 TMSD

<b>EQUIPOS Y MATERIALES PARA LA AMPLIACION A 120 TMSD</b>		
1	MOLINO 4'X8'	1
2	BOMBA DE PULPA 4"X3"	1
3	HIDROCICLON D6	1
4	BOLAS DE ACERO	17284.00 kg
5	TOLVA DE FINOS 120 TM	1
6	INSTALACIONES	1
7	TUBERIAS DE POLIETILENO	100 m

Del cuadro precedente se concluye que los equipos que se utilizaron en la planta de beneficio de minerales Jerusalén S.A.C. para el procesamiento de minerales a 80TMSD serán los mismo ya que su capacidad de diseño satisface las necesidades planteadas para la ampliación a 120 TMSD, a excepción lo que nos muestra la tabla N° 22, en donde necesariamente se tiene que implementar para lograr los objetivos propuestos.

#### **4.5. PARAMETROS TECNICOS Y ECONOMICOS DE LA PLANTA JERUSALEN SAC AMPLIACION A 120TMD**

La tabla 23 presenta el balance metalúrgico de la producción diaria del circuito con 120 TMSD procesados actualmente, en donde se observa que la capacidad de recuperación en oro fino es de 638 gramos por día frente al proceso de 80 TMSD.

**Tabla 23:** Balance metalúrgico diario proyectado a 120 TMSD

<b>BALANCE METALURGICO DIARIO PROYECTADO</b>				
<b>MATERIAL</b>	<b>PESO</b>	<b>LEY Au</b>	<b>FINOS Au</b>	<b>RECUPERACION Au</b>
	<b>(TMS)</b>	<b>(g/TM)</b>	<b>(g)</b>	<b>(%)</b>
<b>CABEZA</b>	120	15.95	1914	100
<b>CARBON ACTIVADO kg/k C*</b>	4000.00	0.45	1800	94
<b>RELAVE</b>	120	0.928	111.36	6

La siguiente tabla 24 representa la producción mensual desarrollado en la planta “CIA MINERA JERUSALEN S.A.C. “del mes de agosto en donde se observa que la capacidad de producción en 120 TMSD comparado con el proceso anterior la capacidad se ve incrementado en 19140 gramos de oro fino por mes.

**Tabla 24:** Balance metalúrgico mensual proyectado a 120 TMSD

<b>BALANCE METALURGICO MENSUAL PROYECTADO</b>				
<b>MATERIAL</b>	<b>PESO</b>	<b>LEY Au</b>	<b>FINOS Au</b>	<b>RECUPERACION Au</b>
	<b>(TMS)</b>	<b>(g/TM)</b>	<b>(g)</b>	<b>(%)</b>
<b>CABEZA</b>	3600	15.95	57420	100
<b>CARBON ACTIVADO gr/k C*</b>	4000	13.521	54084	94
<b>RELAVE</b>	3600	0.928	3340.8	6

En la tabla 25 se observa que para ampliar la capacidad de producción de la planta y para el buen manejo de los parámetros se tendrá que adquirir los siguientes



equipos cuyos montos se especifican de modo tal que se pueda cumplir con los objetivos propuestos y así aumentar su producción de 80 TMSD a 120 TMSD.

**Tabla 25:** Costo de implementación del proceso

<b>COSTO DE LA IMPLEMENTACION DEL PROCESO</b>				
<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>CANT.</b>	<b>PRECIO US \$</b>	<b>TOTAL US \$</b>
<b>EQUIPOS Y MATERIALES A COMPRAR</b>				
1	MOLINO 4'X8'	1	110 000.00	110 000.00
2	BOMBA DE PULPA 4"X3"	1	60 000.00	60 000.00
3	HIDROCICLON D6	1	23 200.00	23 200.00
4	BOLAS DE ACERO	17284 kg	22.80	394 085.00
5	TOLVA DE FINOS 120TM	1	15 000.00	15 000.00
6	INSTALACIONES mano de obra	1	2 000.00	2 000.00
7	TUBERIAS DE POLIETILENO	100 m	4.00	400.00
<b>Total de gastos en implementación</b>				<b>604 685.00</b>

La evaluación económica se hizo con referencia al año 2018, y las cotizaciones de compra de equipos, maquinarias e insumos se refirieron a ese año, de igual forma lo referente a sueldos y salarios.

La inversión que se utiliza está en función directa de su capacidad, una inversión cara o riesgosa no significa ningún estímulo para colocar capitales en una empresa, es decir se debe asegurar si es factible trabajar con el tonelaje propuesto, con las composiciones químicas o leyes respectivas para luego de un tiempo prudencial recuperar el capital invertido obteniéndose grandes beneficios. A continuación, se detalla el presupuesto del proyecto de ampliación de la Planta concentradora Jerusalén S.A.C. a 120 TMSD.

**Tabla 26:** Resumen de costos y gastos de ampliación a 120 TMS/mes

<b>RESUMEN DE COSTOS Y GASTOS EN CIA MINERA JERUSALEN S.A.C. PROYECTADO</b>		
<b>DISTRIBUCION</b>	<b>COSTO DE PRODUCCION US. \$</b>	<b>COSTO UNITARIO US. \$</b>
<b>PLANILLA</b>	\$ 77,160.000	\$ 21.433
Gerencia	\$ 25,233.000	7.01
Oficina contable Lima	\$ 12,094.000	3.36
Oficina administrativa planta	\$ 13,130.000	3.65
Planta de beneficio - producción	\$ 20,010.000	5.56
Acopio de mineral	\$ 5,693.000	1.58
Seguros varios	\$ 1,000.000	0.28
<b>CONSUMO EN PLANTA DE BENEFICIO</b>	\$ 248,211.000	\$ 68.948
Área de recepción y chancado	\$ 2,624.000	0.73
Area de muestreo	\$ 6,748.000	1.87
Área de molienda y cianuración	\$ 78,323.000	21.76
Área de cosecha de carbón	\$ 1,342.000	0.37
Área de desorción y fundición	\$ 25,676.000	7.13
Area laboratorio químico metalúrgico	\$ 8,340.000	2.32
Area de mantenimiento	\$ 7,234.000	2.01
Maquinaria y vehiculos	\$ 21,491.000	5.97
Area de seguridad y salud ocupacional	\$ 2,691.000	0.75
Cocina y comedor	\$ 13,250.000	3.68
Campamento de personal de planta	\$ 5,000.000	1.39
Areas verdes	\$ 5,413.000	1.50
Area de almacen	\$ 6,590.000	1.83
Servicio de suministros y otros	\$ 38,400.000	10.67
Obras civiles y otros	\$ 25,089.000	6.97
<b>COSTO TOTAL DE PRODUCCION</b>	\$ 325,371.000	<b>COSTO UNITARIO US. \$/tm</b> 90.381

El aspecto económico, es el tema más importante de toda empresa, más aún cuando se trate de empresas mineras de baja producción, como es el caso de la planta de beneficio de minerales Jerusalén S.A.C. , que está catalogado como pequeña empresa; si la política de inversión está bien orientada será el éxito de la empresa, en todo caso a pesar que se realiza la inversión y no se tenga cuidado en la buena distribución de la inversión, puede llevar al fracaso, para prevenir este tipo de acciones, se hizo un estudio económico minucioso tal como se muestra en la tabla 27.

**Tabla 27:** Estructura de ampliación de producción de la planta Jerusalén a 120 TMSD

<b>ESTRUCTURA DE PRODUCCION EN PLANTA DE BENEFICIO PROYECTADO</b>	
<b>1. MINERAL PROCESADO EN PLANTA</b>	
a. Tms Procesadas	3600 tms
b. Conenido Fino Bruto de Oro	57420 gr Au
c. Ley Promedio de Oro	15.95 gr Au /tm
d. Ley Promedio de Oro	0.465 Oz Au /tc
<b>2. PRODUCCION DE ORO FINO ( gr Au )</b>	
<b>2.1. Producción de Proceso</b>	
a. Peso Bruto Total de Barra	54084 gr
b. Contenido Fino	53002 gr Au
c. Ley Promedio de Barra	98 % Au
<b>2.2. Recuperaciones Trampas - Amalgamas</b>	
a. Peso Bruto	1082 gr
b. Contenido Fino de Oro	1060 gr Au
c. Ley Promedio de Oro	98 % Au
<b>2.3. Saldo de Oro en Circuito Tanques - Carbones no Cosechado</b>	
a. Contenido Fino Bruto en Tanques	177 gr Au
b. Plata de Produccion	168 gr Ag
<b>3. TOTAL DE ORO FINO RECUPERADO</b>	54062 gr Au
<b>4. % DE RECUPERACION EN PROCESO DE PLANTA</b>	94
	1gr Au = 38.5\$
<b>5. VALORIZACION Y VENTAS DEL PRODUCTO \$</b>	2088201.50
a. Oro de Produccion \$	2040577
b. Oro de Amalgama \$	40810



c. Oro del Circuito Tanques y/o Desorcion \$	6814.50
<b>6. VALOR COMPRA DE MINERAL PROCESADO \$</b>	1702216
a. pruebas metalurgicas	% de recuperacion= 77%
<b>7. COSO TOTAL DE PRODUCCION \$</b>	325371
<b>8. BENEFICIO ECONOMICO LIQUIDO DE PLANTA \$</b>	60615
<b>9. COSTO UNITARIO \$</b>	90.381
	385985.600
	60614.600

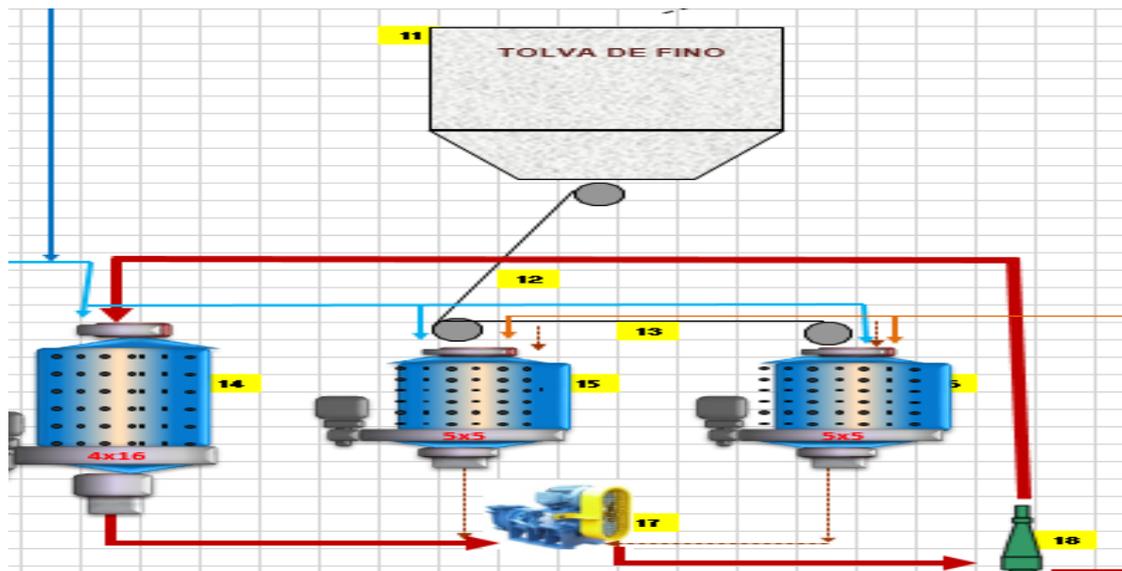
#### 4.6. DISCUSION

Para llevar a cabo el presente estudio técnico económico en principio se ha evaluado técnicamente el flow sheet (ver anexo 2) de la planta de beneficio de minerales Jerusalén a 80 TMSD y se ha realizado el cálculo de capacidad de los equipos de la planta y poniendo mayor énfasis en el circuito de molienda.

En la parte de los resultados se desarrollaron y plantearon las nuevas configuraciones de los circuitos en las diferentes secciones, permitiendo así el incremento de la capacidad de tratamiento de minerales de 80 TMSD a 120 TMSD el cual se puede evidenciar en el nuevo flow sheet (ver anexo 3) planteado para su ampliación y en resumen se puede mostrar en la tabla 28 los equipos que se requieren implementar.

**Tabla 28:** Equipos y materiales para la ampliación a 120 TMSD

EQUIPOS Y MATERIALES PARA LA AMPLIACION A 120 TMSD		
1	MOLINO 4"X8"	1
2	BOMBA DE PULPA 4"X3"	1
3	HIDROCICLON D6	1
4	BOLAS DE ACERO	17284 kg
5	TOLVA DE FINOS 120 TM	1
6	INSTALACIONES	1
7	TUBERIAS DE POLIETILENO	100 m

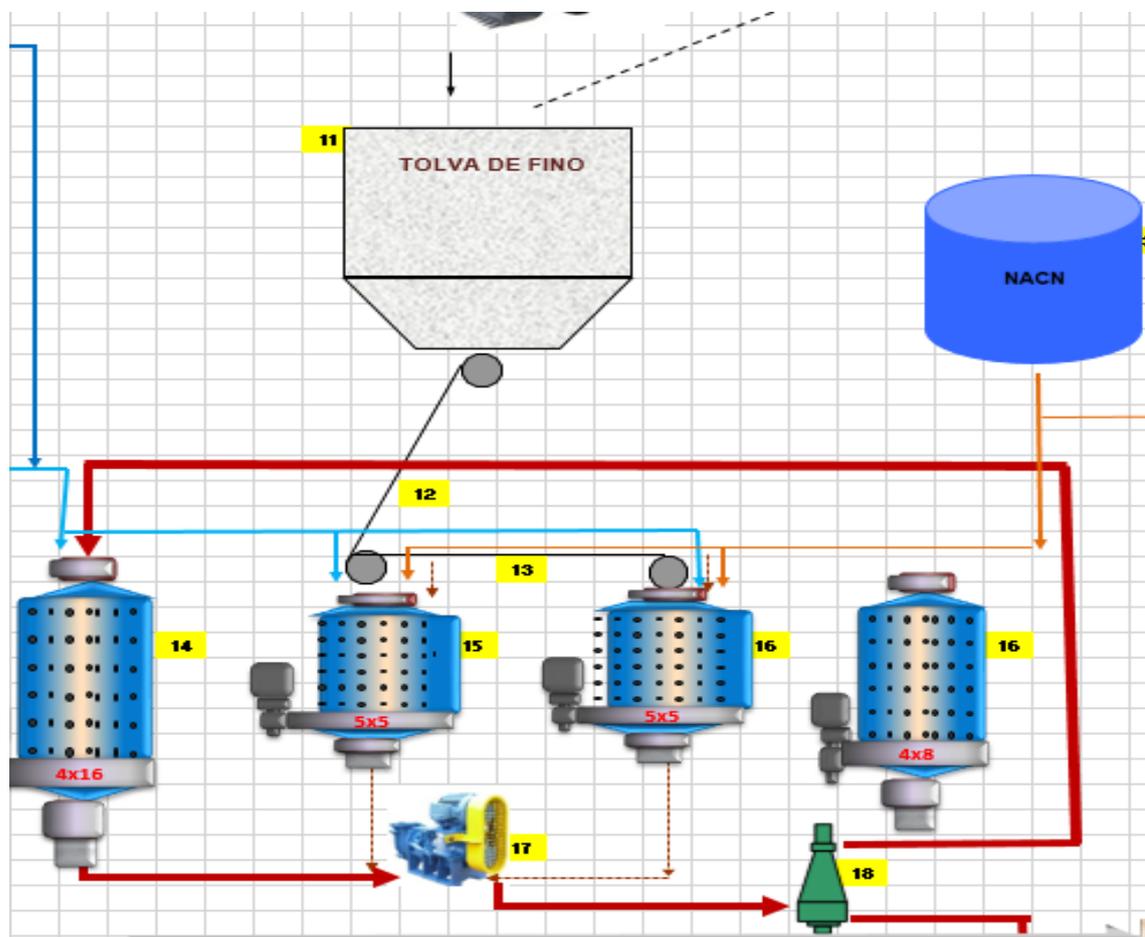


**Figura 10:** Flow sheet del circuito de molienda a 80 TMSD

- En la figura se observa que la planta con capacidad de procesamiento de 80 TMSD cuenta con tres molinos de los cuales dos molinos son primarios de 5'x 5' y una remolienda de 4'x 16'. En donde a ello a los dos molinos primarios les transporta mediante fajas transportadoras. Una vez pasado el tiempo de residencia en los molinos descarga mediante tuberías a una bomba de 3" x 2"

este se bombea a un hidrociclón D4 para su clasificación a los tanques de cianuración y al molino de remolienda.

- En este estudio se ha realizado el cálculo de capacidad de los equipos de la planta, allí observamos que se tiene un cuadro que nos limita la producción de la planta a 120 TMD, este equipo es la tolva de finos, el circuito de molienda, la bomba centrífuga horizontal de 3"x2" y el hidrociclón D4, por lo que se optó por realizar un cambio de los equipos mencionados de modo que se mejore la producción y la ampliación de la planta a 120 TMD.



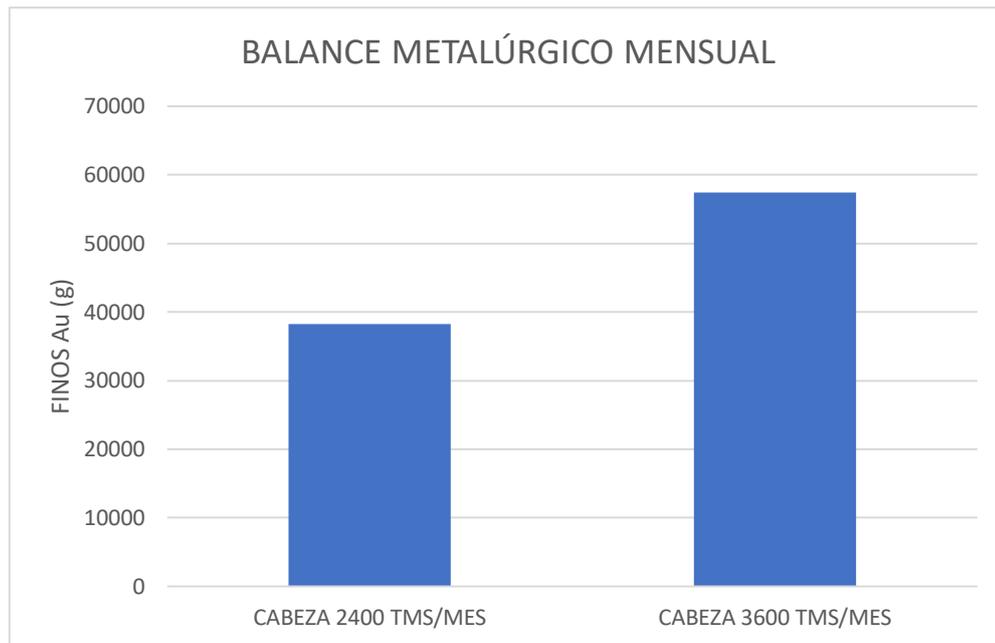
**Figura 11:** Flow sheet del circuito de molienda a 120 TMSD

- De la figura que antecede, se observa el diagrama de flujos del circuito de molienda y clasificación modificado para producir 120 TMSD , en donde se



tiene que realizar la adquisición de una tolva de finos con capacidad de almacenamiento máximo de 140 TMSD, un molino de bolas de 4'x8' ya que con este cambio se obtendrá menores costes operativos (costos piezas de desgaste, coste de mantenimiento), una bomba centrífuga horizontal de 4"x3" y un hidrociclón D6 para que la carga circulante sea mayor además con el mantenimiento de los demás equipos de la planta se tendrá mejoras en el trabajo, ya que no se tendrá problemas con daños frecuentes, como ha estado ocurriendo.

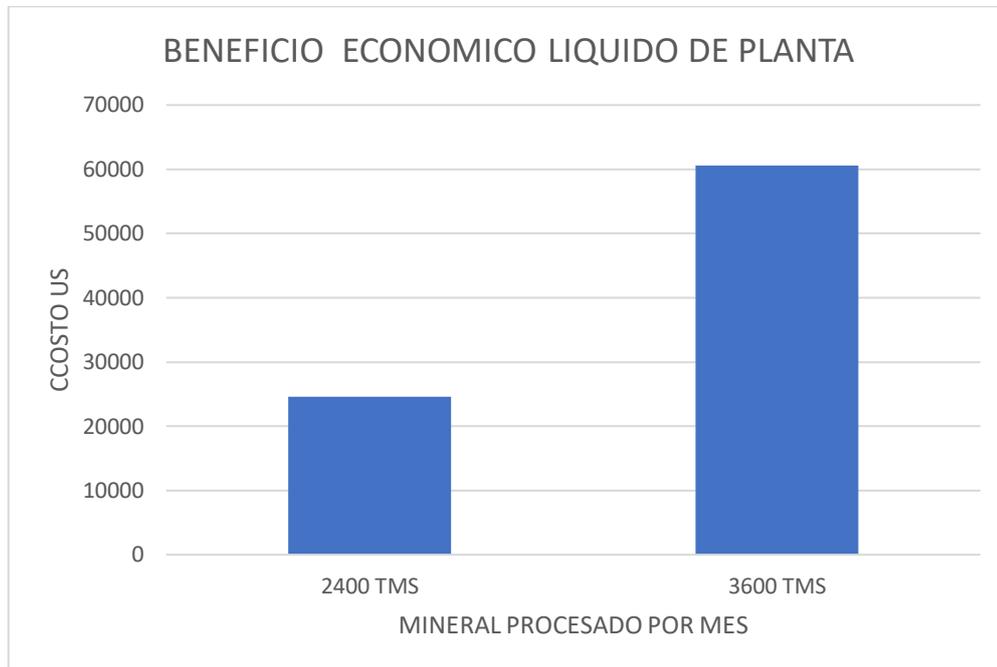
- Esta nueva capacidad se determinó de acuerdo a un análisis de nuestros equipos.
- Al enfocarnos en la ampliación de la planta de beneficio, fue primordial el levantamiento del diagrama de proceso a detalle, el cual requirió el conocimiento de los equipos y los parámetros con los que se trabaja, así como los principios básicos de su operación y su forma de trabajo en conjunto. De igual manera se logró demostrar los criterios de elección de los nuevos equipos a instalar para el incremento de capacidad, así como se pudo calcular la capacidad de los equipos principales que operan a la configuración de 80 TMSD.



**Figura 12:** Balance metalúrgico mensual: Cabeza vs. Finos de oro obtenido

- La figura que antecede evidencia las consideraciones técnicas aplicadas a la planta de beneficio de minerales Jerusalén S.A.C. para lograr un incremento progresivo de 80 TMSD a 120 TMSD en donde fue primordial el levantamiento del diagrama de proceso a detalle, el cual requirió el conocimiento de los equipos y los parámetros con los que se trabaja, así como los principios básicos de su operación y su forma de trabajo en conjunto.
- De igual manera se logró demostrar los criterios de elección de los nuevos equipos a instalar para el incremento de capacidad, así como se pudo calcular la capacidad de los equipos principales que operan a la configuración de 120 TMSD.
- La cantidad obtenida de oro fino de acuerdo a nuestro balance metalúrgico con el procesamiento de 2400TMS/mes fue de 38280.00 gramos y con la ampliación a 3600 TMS/ mes fue de 57420.00 gramos respectivamente.

- Se logró un aumento en la productividad por mes la cantidad de 19140.00 gramos de oro fino por mes.



**Figura 13:** Beneficio económico líquido de planta

- Como consecuencia de la ejecución del presente estudio técnico – económico, el presente estudio incluye una evaluación de producción detallada, donde se determina el grado de beneficio económico líquido resultante para la empresa que viene a ser de \$ 60614.000 comparado con el monto de \$ 24620.20 que se generaba cuando se producía 80.00 TMSD.
- Se evidencia de que existe un beneficio económico de \$ 35994.00 US por mes.
- Debido a estudios metalúrgicos realizados, se ha obtenido resultados favorables que nos dan buena rentabilidad en su procesamiento es por ello que se ha venido trabajando en la planta por más de 3 años realizando estos trabajos de concentración de minerales, teniendo en cuenta el precio de los metales y la coyuntura global actual, donde nuestro país está realizando Tratados de Libre



Comercio (TLC) con países que son nuestros principales compradores de nuestros concentrados como son los EEUU y China. Así mismo la inversión que se realiza mejora el rendimiento de todos los equipos, lo que permite obtener una mayor cantidad y calidad de oro fino.



## V. CONCLUSIONES

- Al ampliar la capacidad de producción de la planta de beneficio de minerales Jerusalén S.A.C. de 80 TMSD en donde se obtenía 38280 gramos de oro mensual ahora a 120 TMSD se obtiene 57420 gramos de oro mensual, evidenciándose el incremento en la capacidad de producción de 19140 gramos de oro fino por mes que constituye el 33.3 % y siendo el beneficio económico liquido de planta la cantidad de \$ 35995.00 US. .
- La capacidad y rendimiento de operación a 80 TMSD de los equipos y aspectos operativos serán los mismo ya que su capacidad de diseño satisface las necesidades planteadas para la ampliación a 120 TMSD a excepción de que se tiene que implementar con una tolva de finos de 140 TMSD, un molino de bolas de 4' x 8' una bomba centrífuga horizontal de 4" x 3" y un hidrociclón D6.
- La tolva de finos de este circuito es de 100 TMSD no satisface la capacidad de la ampliación a 120TMSD para lo cual se necesita ampliar a la capacidad requerida e implementar una tolva de finos de 140 TM de capacidad. Se cuenta dos molinos primarios de 5' x 5' de 80.64 TMD y un molino secundario de 4'x16' de 116.64 TMD, se necesita implementar un molino de remolienda de 4' x 8' de 76.80 TMD de capacidad de tratamiento respectivamente para ampliar a 120 TMSD. La eficiencia del hidrociclón D4 es de 55.25 % lo cual es bajo y para poder aumentar el flujo se necesita implementar un hidrociclón D6 cuya eficiencia de clasificación es de 59%. En los tanques agitadores el tiempo de residencia a 80 TMSD es aproximadamente de 20 a 25 horas y a 120 TMSD es de 13 a 15 horas dependiendo de su densidad de pulpa.



- El grado de beneficio económico líquido resultante para la empresa que viene a ser de \$ 60 614.000 comparado con el monto de \$ 24 620.20 que se generaba cuando se producía 80.00 TMSD, lográndose un aumento en la productividad de 19 140.00 gramos de oro fino por mes y un beneficio económico de \$ 35 994.00 US por mes.



## VI. RECOMENDACIONES

- El potencial del crecimiento en capacidad operativa, queda abierta para futuras ampliaciones; sin embargo, hay que considerar la obtención del recurso hídrico necesario para el proceso.
- Se sugiere consultar siempre con los fabricantes y/o proveedores de equipos la selección de los equipos realizada, puesto que ellos tienen el pleno conocimiento del mejor funcionamiento de los mismos y sus recomendaciones siempre contribuyen al óptimo funcionamiento de los mismos.
- Toda ampliación de planta debe estar sólidamente soportada por un previo estudio de mercado que asegure el suministro continuo de mineral y de un balance económico positivo.
- Generar la confianza para mantener relaciones comunitarias con las zonas de influencia directa e indirecta.
- Por último, durante la selección y dimensionamiento preliminar de los equipos es aconsejable realizarlo con personal que tenga amplia experiencia previa y sólidos conocimientos de los fundamentos metalúrgicos.



## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Altamirano, J. (2011). *Estudio técnico económico para la ampliación de la planta concentradora de minerales Bertha* (tesis pregrado). Universidad Nacional del Callao. Lima, Perú.
- Álvarez, E. (2017). *Estudio de la investigación metalúrgica para la recuperación de oro y plata a partir de minerales acopiados en la compañía minera Jerusalén S.A.C.* (tesis pregrado). Universidad Nacional de San Agustín. Arequipa, Perú.
- Antonio, L. (2000). *Fundamentos de metalurgia extractiva*. Vol I. Madrid, España: Editorial Síntesis.
- Aquise, L. (2014). *Ampliación de la capacidad y optimización de la planta de beneficio Laytaruma* (tesis pregrado). Universidad Nacional de San Agustín. Arequipa, Perú.
- Azañero, A. (2001). *Recuperación de oro y plata de minerales por Heap Leaching*. Lima, Perú: Instituto de Investigación de la Facultad de Geología, Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas.
- Ballester, A., Verdeja, L. y Sancho, J. (2000). *Metalurgia extractiva. Fundamentos*. Vol. I. España, Madrid: Editorial Síntesis.
- Chacnama, E. (2016). *Recuperación de mercurio físico proveniente de relaves auríferos de amalgamación, concentrados y gravimetría en cianuración por agitación* (tesis pregrado). Universidad Nacional de San Agustín. Arequipa, Perú.
- Chillce, V. y Rojas, R. (2012). *Implementación del sistema experto en molinos para optimizar la molienda del circuito de cobre en la planta concentradora de*



- Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A.* (tesis pregrado). Universidad Nacional del Centro. Huancayo, Perú.
- Dammert, A. (1998). *Economía minera*. Lima, Perú: Editorial Universidad del Pacífico.
- Díaz, J. (2004). *Gerencia de proyectos*. Lima, Perú: UNI.
- Hinojosa, O. (2005). *Metalurgia extractiva de oro y plata*. Cajamarca, Perú.
- Instituto de Ingenieros de Minas del Perú (2003). *Crisis minera y los desafíos del nuevo mercado global*. Minería. Setiembre N° 312.
- Ivan, I. (2000). Gold and Silver Smelting and Refining Processes.
- Japan Internacional Cooperation Agency (1986). *Report on Mining Development Plan of Iscaycruz*. Lima, Perú.
- Lava, E. (2018). *Ampliación de planta de beneficio minera Paraíso S.A.C. de 50 TMD a 250 TMD 2018* (informe técnico). Universidad Nacional de San Agustín. Arequipa, Perú.
- Lima, J. (2018). *Proyecto de ampliación de 30 a 60 tm/día en la planta de beneficio GEZA minerales ASIS E.I.R.L. Rinconada Puno* (tesis pregrado). Universidad Nacional del Altiplano. Puno, Perú.
- López, A. (2007). *Metales preciosos: El oro*. Córdoba, España: Real Academia de Córdoba, de Ciencias, Bellas Letras y Nobles Artes.
- Llorente, E. (1991). *Minería química*. España: Instituto Tecnológico Geo minero.



- Marin, L. (2011). *Estudio técnico de ampliación de 350 TMD a 1000 TMD de la planta concentradora Untuca- Provincia de Sandia- Región Puno* (tesis pregrado). Universidad Nacional del Altiplano. Puno, Perú.
- Missari, F. (1993). *Metalurgia del oro*. Vol. 1, Lima, Perú: Centro de Estudios y Promoción en Ciencias de la Tierra.
- Mpinga, C. (2012). *The extraction of precious metals from an alkaline cyanided medium by granular activated carbon*. Stellenbosch: Facultad de Ingeniera. Universidad de Stellenbosch.
- Murray, A. (2015). *A Fundamental study of copper and cyanide recovery from gold tailings by sulfidisation*. Western Australian School of Mines Department of Metallurgical and Minerals Engineering.
- Ortiz, J. (2015). *Manual de procesos y procedimientos en el área de acopio y distribución del carbón en la empresa Agrocoal S.A.S*. Sogamoso, Colombia: Facultad Seccional Sogamoso. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.
- Palomino, I. y Rubén, E. (2012). *Compañía peruana de uso minero ecológico y técnico*. Asesores y Consultores Expertos en Salud, Seguridad, Medioambiente y Producción.
- SAAC Ingenieros, SRL (2004). *Metalurgia del oro en la franja aurífera Palpa-Ocoña*. Lima, Perú: Módulos de capacitación técnico ambiental.
- Sapan, N. y Sapan, R. (2000). *Preparación y evaluación de proyectos*. (4ta. Ed.). Santiago de Chile, Chile: Editorial Mc Graw-Hill.



Stein, E. (2003). *Ampliación de producción Cía. Minera Atacocha* (tesis ESAN). Lima, Perú.

Villanueva, R. (1992). *Criterios aplicados en el tratamiento de minerales auríferos asociados con sulfuros*. Lima, Perú: Facultad de Ingeniería Geológica Minera. Universidad Nacional de Ingeniera.

Yannopoulos, J. (2012). *The Extractive Metallurgy of Gold*. EE.UU.: New York: Van Nostrand Reinhold.



## ANEXOS



### Anexo 1: Cuadro comparativo

CUADRO COMPARATIVO DE EQUIPOS EN LA PLANTA CIA MINERA JERUSALEN S.A.C			
EQUIPOS EN LA PLANTA CON 80 TMSD		EQUIPOS EN LA PLANTA CON 120 TMSD	
CIRCUITO DE CHANCADO		CIRCUITO DE CHANCADO	
1	Tolva de mineral grueso 61 TMS de capacidad	1	Tolva de mineral grueso 61 TMS de capacidad
2	Tolva de mineral grueso 51 TMS de capacidad	2	Tolva de mineral grueso 51 TMS de capacidad
3	Tolva de mineral grueso 39 TMS de capacidad	3	Tolva de mineral grueso 39 TMS de capacidad
4	Faja fj-01 de 18" x 8 m	4	Faja fj-01 de 18" x 8 m
5	Chancadora de quijada 12"x 24" primario	5	Chancadora de quijada 12"x 24" primario
6	Faja fj-02 de 18" x 12 m	6	Faja fj-02 de 18" x 12 m
7	Chancadora cónica Denver de 2.4' Symons primario	7	Chancadora cónica Denver de 2.4' Symons primario
8	Faja fj-03 de 18" x 10 m	8	Faja fj-03 de 18" x 10 m
9	Grizzly vibratorio 4"x8", de 3/4" de abertura	9	Grizzly vibratorio 4"x8", de 3/4" de abertura
10	Faja fj-04 de 18" x 10 m	10	Faja fj-04 de 18" x 10 m
CIRCUITO MOLIENDA		CIRCUITO MOLIENDA	
1	Tolva de mineral fino, 100tms de capacidad.	1	Tolva de mineral fino, 140tms de capacidad.
2	Faja fj-01 de 18" x 12 m	2	Faja fj-01 de 18" x 12 m
3	Faja fj-2 de 18" x 12 m	3	Faja fj-2 de 18" x 12 m
4	Molino Denver 4'x16' CAP. 116TMD	4	Molino Denver 4'x16' CAP. 116TMD
5	Molino Denver 5'x5' CAP. 80TMD	5	Molino Denver 5'x5' CAP. 80TMD
6	Molino Denver 5'x5' CAP. 80TMD	6	Molino Denver 5'x5' CAP. 80TMD
7	Bomba centrífuga horizontal 3"x2"	7	Molino Denver 4'x8' CAP. 76TMD
		8	Bomba centrífuga horizontal 4"x3"
CIRCUITO DE LIXIVIACION		CIRCUITO DE LIXIVIACION	
1	Hidrociclón D4	1	Hidrociclón D6
2	Tanque de agitación N°1 20'x22.5'	2	Tanque de agitación N°1 20'x22.5'
3	Tanque de agitación N°2 20'x22.5'	3	Tanque de agitación N°2 20'x22.5'
4	Tanque de agitación N°3 20'x22.5'	4	Tanque de agitación N°3 20'x22.5'
5	Tanque de agitación N°4 20'x22.5'	5	Tanque de agitación N°4 20'x22.5'
6	Tanque de agitación N°5 20'x22.5'	6	Tanque de agitación N°5 20'x22.5'
7	Tanque de agitación N°6 20'x20'	7	Tanque de agitación N°6 20'x20'
8	Tanque de agitación N°7 20'x20'	8	Tanque de agitación N°7 20'x20'
9	Tanque de agitación N°8 20'x20'	9	Tanque de agitación N°8 20'x20'
10	Tanque de agitación N°9 20'x20'	10	Tanque de agitación N°9 20'x20'
11	Relavera CAP. 36400 m <sup>3</sup>	11	Relavera CAP. 36400 m <sup>3</sup>
12	Bomba horizontal 3"x2" barren	12	Bomba horizontal 3"x2" barren
13	Tanques estáticos, solución clarificado barren	13	Tanques estáticos, solución clarificado barren
14	Reservorio de agua fresca industrial	14	Reservorio de agua fresca industrial
15	Tanque de almacenamiento de NACN	15	Tanque de almacenamiento de NACN
16	Tanque de almacenamiento de NAOH	16	Tanque de almacenamiento de NAOH

**Anexo 2: Fotos de la planta de beneficio de minerales Jerusalén S.A.C.**



Tolva de gruesos



Sección molienda



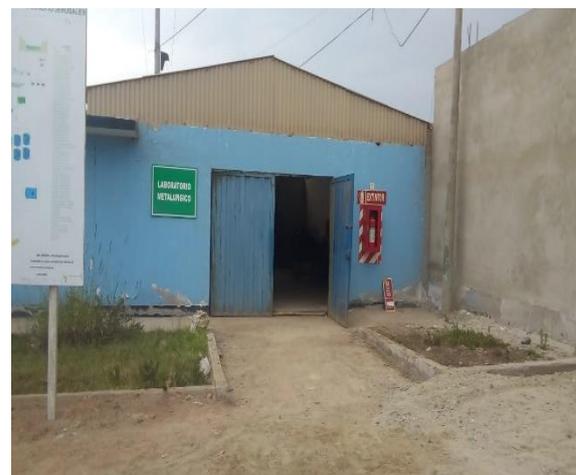
Sección cianuración



Clasificador

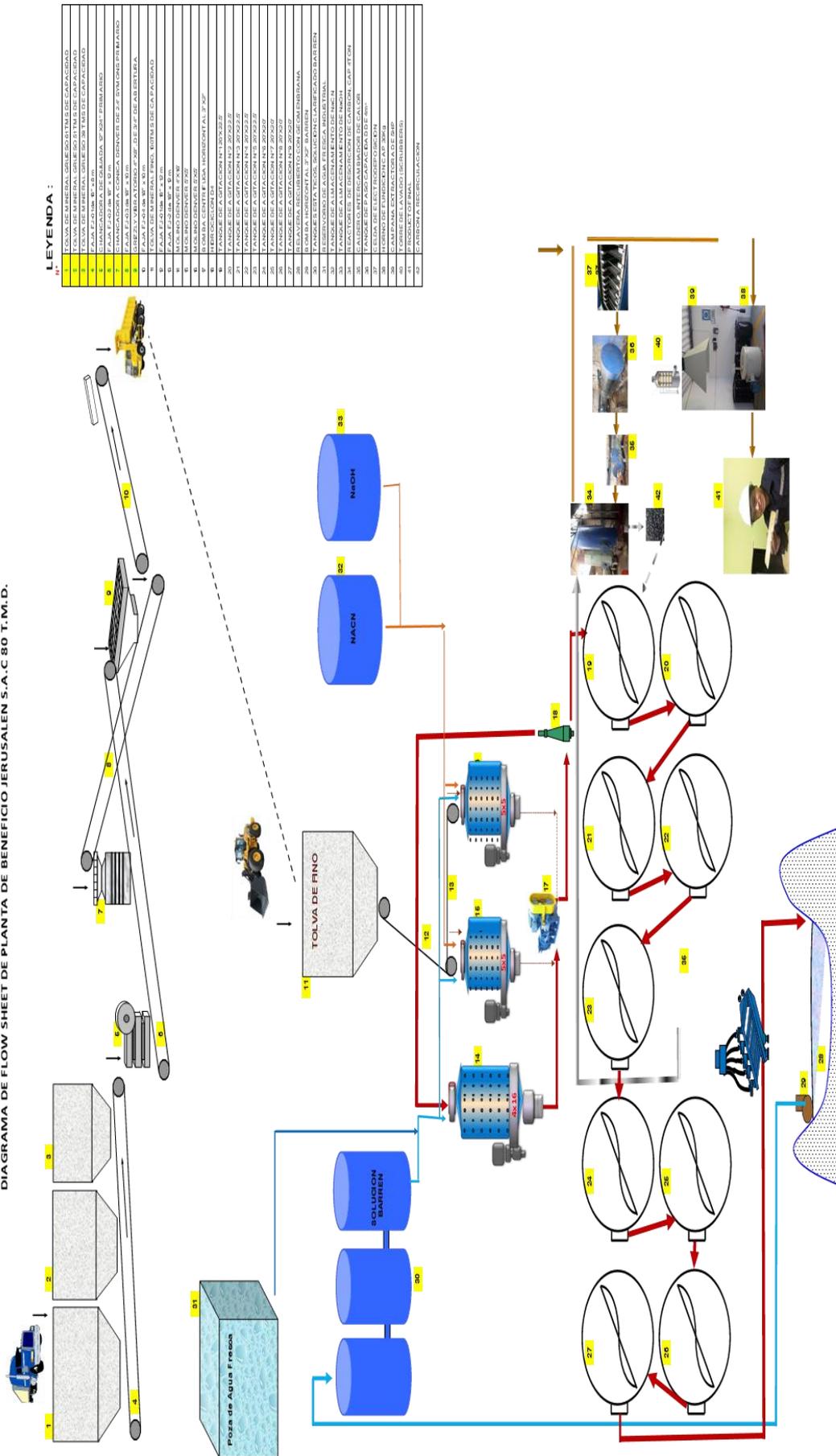


Molino a implementarse



Almacén

DIAGRAMA DE FLOW SHEET DE PLANTA DE BENEFICIO JERUSALEN S.A.C 80 T.M.D.



LEYENDA :

1	ESCUVA DE MIERDAL GRISE 200 17 M 5 DE CAPACIDAD
2	ESCUVA DE MIERDAL GRISE 200 17 M 5 DE CAPACIDAD
3	ESCUVA DE MIERDAL GRISE 200 17 M 5 DE CAPACIDAD
4	ESCUVA DE MIERDAL GRISE 200 17 M 5 DE CAPACIDAD
5	ESCUVA DE MIERDAL GRISE 200 17 M 5 DE CAPACIDAD
6	ESCUVA DE MIERDAL GRISE 200 17 M 5 DE CAPACIDAD
7	TRAMPAS DE PUNA CON UNA DIMENSION DE 2.7 27 M 0.95 M 2.7 M 0.95 M 2.7 M 0.95 M
8	TRAMPAS DE PUNA CON UNA DIMENSION DE 2.7 27 M 0.95 M 2.7 M 0.95 M 2.7 M 0.95 M
9	TRAMPAS DE PUNA CON UNA DIMENSION DE 2.7 27 M 0.95 M 2.7 M 0.95 M 2.7 M 0.95 M
10	TRAMPAS DE PUNA CON UNA DIMENSION DE 2.7 27 M 0.95 M 2.7 M 0.95 M 2.7 M 0.95 M
11	TOLVA DE FINO CON UNA DIMENSION DE 2.7 27 M 0.95 M 2.7 M 0.95 M 2.7 M 0.95 M
12	MOLINO DE TRAPERO N° 1 CON UNA DIMENSION DE 2.7 27 M 0.95 M 2.7 M 0.95 M 2.7 M 0.95 M
13	MOLINO DE TRAPERO N° 2 CON UNA DIMENSION DE 2.7 27 M 0.95 M 2.7 M 0.95 M 2.7 M 0.95 M
14	MOLINO DE TRAPERO N° 3 CON UNA DIMENSION DE 2.7 27 M 0.95 M 2.7 M 0.95 M 2.7 M 0.95 M
15	PANDE DE ASISTACION N° 1 CON UNA DIMENSION DE 2.7 27 M 0.95 M 2.7 M 0.95 M 2.7 M 0.95 M
16	PANDE DE ASISTACION N° 2 CON UNA DIMENSION DE 2.7 27 M 0.95 M 2.7 M 0.95 M 2.7 M 0.95 M
17	PANDE DE ASISTACION N° 3 CON UNA DIMENSION DE 2.7 27 M 0.95 M 2.7 M 0.95 M 2.7 M 0.95 M
18	ALMACEN DE ASISTACION N° 1 CON UNA DIMENSION DE 2.7 27 M 0.95 M 2.7 M 0.95 M 2.7 M 0.95 M
19	ALMACEN DE ASISTACION N° 2 CON UNA DIMENSION DE 2.7 27 M 0.95 M 2.7 M 0.95 M 2.7 M 0.95 M
20	ALMACEN DE ASISTACION N° 3 CON UNA DIMENSION DE 2.7 27 M 0.95 M 2.7 M 0.95 M 2.7 M 0.95 M
21	ALMACEN DE ASISTACION N° 1 CON UNA DIMENSION DE 2.7 27 M 0.95 M 2.7 M 0.95 M 2.7 M 0.95 M
22	ALMACEN DE ASISTACION N° 2 CON UNA DIMENSION DE 2.7 27 M 0.95 M 2.7 M 0.95 M 2.7 M 0.95 M
23	ALMACEN DE ASISTACION N° 3 CON UNA DIMENSION DE 2.7 27 M 0.95 M 2.7 M 0.95 M 2.7 M 0.95 M
24	ALMACEN DE ASISTACION N° 1 CON UNA DIMENSION DE 2.7 27 M 0.95 M 2.7 M 0.95 M 2.7 M 0.95 M
25	ALMACEN DE ASISTACION N° 2 CON UNA DIMENSION DE 2.7 27 M 0.95 M 2.7 M 0.95 M 2.7 M 0.95 M
26	ALMACEN DE ASISTACION N° 3 CON UNA DIMENSION DE 2.7 27 M 0.95 M 2.7 M 0.95 M 2.7 M 0.95 M
27	ALMACEN DE ASISTACION N° 1 CON UNA DIMENSION DE 2.7 27 M 0.95 M 2.7 M 0.95 M 2.7 M 0.95 M
28	ALMACEN DE ASISTACION N° 2 CON UNA DIMENSION DE 2.7 27 M 0.95 M 2.7 M 0.95 M 2.7 M 0.95 M
29	ALMACEN DE ASISTACION N° 3 CON UNA DIMENSION DE 2.7 27 M 0.95 M 2.7 M 0.95 M 2.7 M 0.95 M
30	ALMACEN DE ASISTACION N° 1 CON UNA DIMENSION DE 2.7 27 M 0.95 M 2.7 M 0.95 M 2.7 M 0.95 M
31	ALMACEN DE ASISTACION N° 2 CON UNA DIMENSION DE 2.7 27 M 0.95 M 2.7 M 0.95 M 2.7 M 0.95 M
32	ALMACEN DE ASISTACION N° 3 CON UNA DIMENSION DE 2.7 27 M 0.95 M 2.7 M 0.95 M 2.7 M 0.95 M
33	ALMACEN DE ASISTACION N° 1 CON UNA DIMENSION DE 2.7 27 M 0.95 M 2.7 M 0.95 M 2.7 M 0.95 M
34	ALMACEN DE ASISTACION N° 2 CON UNA DIMENSION DE 2.7 27 M 0.95 M 2.7 M 0.95 M 2.7 M 0.95 M
35	ALMACEN DE ASISTACION N° 3 CON UNA DIMENSION DE 2.7 27 M 0.95 M 2.7 M 0.95 M 2.7 M 0.95 M
36	ALMACEN DE ASISTACION N° 1 CON UNA DIMENSION DE 2.7 27 M 0.95 M 2.7 M 0.95 M 2.7 M 0.95 M
37	ALMACEN DE ASISTACION N° 2 CON UNA DIMENSION DE 2.7 27 M 0.95 M 2.7 M 0.95 M 2.7 M 0.95 M
38	ALMACEN DE ASISTACION N° 3 CON UNA DIMENSION DE 2.7 27 M 0.95 M 2.7 M 0.95 M 2.7 M 0.95 M
39	ALMACEN DE ASISTACION N° 1 CON UNA DIMENSION DE 2.7 27 M 0.95 M 2.7 M 0.95 M 2.7 M 0.95 M
40	ALMACEN DE ASISTACION N° 2 CON UNA DIMENSION DE 2.7 27 M 0.95 M 2.7 M 0.95 M 2.7 M 0.95 M
41	ALMACEN DE ASISTACION N° 3 CON UNA DIMENSION DE 2.7 27 M 0.95 M 2.7 M 0.95 M 2.7 M 0.95 M
42	ALMACEN DE ASISTACION N° 1 CON UNA DIMENSION DE 2.7 27 M 0.95 M 2.7 M 0.95 M 2.7 M 0.95 M

