

**UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS**



**TESIS**

**“CONSTRUCCION DEL PIQUE INCLINADO MERCEDES – NV 480  
PARA MEJORAR LA PRODUCCION EN LA UNIDAD MINERA SAN  
JUAN DE AREQUIPA”**

**PRESENTADO POR:**

BACH. WILBER RONAL HUARACHA CONCHA

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

INGENIERO DE MINAS

**ASESOR:**

MGT. RAIMUNDO MOLINA DELGADO

CUSCO - PERÚ

2021

## **DEDICATORIA**

A mis queridos padres José e Ysabel, a mi hermana, quienes han sido la guía y el camino para poder llegar a este punto de mi carrera. Que con su ejemplo, dedicación y palabras de aliento nunca bajaron los brazos para que yo tampoco lo haga.

Wilber Ronal Huaracha Concha

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por permitirme realizar el sueño de ser profesional, a los docentes de la escuela profesional de Ingeniería de Minas de mi alma mater Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, por haberme impartido los conocimientos y experiencias durante mi formación profesional en las aulas universitarias, al Superintendente y Jefe de Mina de la Unidad Minera San Juan de Arequipa por todo su reconocido apoyo y haber hecho posible la ejecución del presente trabajo.

## RESUMEN

La presente investigación se realizó en la zona Mercedes de la unidad minera San Juan de Arequipa – Compañía Century Mining Perú SAC. en el distrito de Rio Grande, provincia de Condesuyos, departamento de Arequipa, en donde las reservas de mineral han disminuido. Para poder incrementar y explotar los recursos minerales que se encuentran a profundidad por debajo del nivel 480, amerita realizar un diseño y construcción de un pique inclinado para acceder y explotar en los niveles 430 al 380 de las vetas Mercedes considerando los equipos, maquinarias y el método de explotación que emplea la unidad minera San Juan de Arequipa.

De esta manera se realizó el mapeo Geomecánico de la zona donde se va a construir el pique inclinado Mercedes, entre los niveles 480 y 380 de las vetas Mercedes, con el fin del diseño y planificación adecuada para su ejecución en el proceso de profundización y su sistema de izaje, cumpliendo con el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional (Decreto Supremo N° 024-2016 EM. y su modificatoria, Decreto Supremo N° 023-2017 EM.).

De acuerdo a los cálculos obtenidos, se determinaron que el pique inclinado Mercedes tendrá una longitud total de 235 m. entre los niveles 480 y 380, con una sección de 2.40 m. x 2.40 m. y una inclinación negativa de 30°; además, el sistema de izaje a utilizar será: winche de 80 HP de potencia, cable Flattened – Triangular Strand de 18 mm de diámetro, con un ritmo de producción de 15,000 toneladas anuales; Así mismo, la ejecución del pique inclinado Mercedes tendrá una duración de 5 meses, también se presentó la evaluación económica, donde el costo de inversión asciende una suma de 381,655.69 US\$ dólares americanos que comprende el laboreo de labores previas, pique inclinado Mercedes, sostenimiento, tendido de rieles, tolvas, equipos de izaje y entre otros que permitirán un incremento de la producción y reserva de mineral, en base a indicadores económicos como es el VAN y el TIR se determina la viabilidad del pique inclinado, con resultados positivos con un VAN de 8,998,711.41 US\$ y un TIR de 130.88% con una inversión total de 2,257,464.00 US\$, haciendo de este proyecto altamente rentable.

## INDICE

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO .....	3
RESUMEN .....	4
INDICE.....	5
INDICE DE CUADROS .....	12
INDICE DE FIGURAS .....	14
INDICE DE PLANOS.....	16
INTRODUCCIÓN.....	17
CAPÍTULO I.....	19
ASPECTOS METODOLOGICOS DEL TRABAJO.....	19
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA. ....	19
1.2.1 Problema general del estudio. ....	20
1.2.2 Problemas específicos del estudio.....	20
1.3 OBJETIVOS. ....	20
1.3.1 Objetivo general del estudio. ....	20
1.3.2 Objetivos específicos del estudio.....	21
1.4 JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO. ....	21
1.5 HIPÓTESIS.....	21
1.6 VARIABLES E INDICADORES.....	22
1.7 METODOLOGÍA. ....	23
1.8 POBLACIÓN Y MUESTRA.....	23
1.9 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS. ....	23
1.10 TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO DE DATOS. ....	24
1.11 TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE DATOS.....	24
CAPÍTULO II.....	25
MARCO TEÓRICO .....	25
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	25
2.2 MARCO CONCEPTUAL.....	26
2.3.1 ASPECTOS GEOMECÁNICOS.....	26
2.3.1.1 El criterio RMR de Bieniawski (1989).....	27
2.3.1.2 Sistema Q de Barton. ....	33
2.3.1.3 Clasificación según el índice de resistencia geológica (GSI).....	34
2.3.2 DISEÑO Y TECNICAS DE PERFORACIÓN Y VOLADURA EN PIQUES....	35

2.3.3.1 Métodos de ejecución de piques. ....	35
2.3.3.2 Métodos de arranque.....	37
2.3.3.3 Distribución y denominación de taladros. ....	38
2.3.3.4 Número de taladros.....	38
2.3.3.5 Cálculo del Burden y Espaciamiento.....	39
2.3.3.6 Determinación de cantidad y la distribución de carga.....	40
2.3.4 PIQUE MINERO. ....	41
2.3.4.1 Tipos de Piques Mineros. ....	41
2.3.4.2 Estructura del pique inclinado. ....	42
2.3.4.3 Factores de diseño de un pique inclinado. ....	42
2.3.5 SISTEMA DE EXTRACCIÓN DEL PIQUE INCLINADO.....	43
2.3.6 EVALUACIÓN ECONÓMICA. ....	46
2.3.6.1 Costos de operación (Opex).....	46
2.3.6.2 Costos de inversión (Capex).....	46
2.3.6.3 Valor actual neto.....	47
2.3.6.4 Tasa Interna de Retorno.....	47
2.3.6.5 Flujo de caja.....	48
CAPÍTULO III .....	49
ASPECTOS GENERALES.....	49
3.4 GEOLOGIA DEL YACIMIENTO.....	53
3.4.1 GEOLOGÍA REGIONAL.....	53
3.4.2 GEOLOGIA LOCAL.....	55
3.4.3.1 Batolito de la costa.....	56
3.4.3.2 Complejo bella unión.....	57
3.4.4 GEOLOGIA ESTRUCTURAL. ....	57
3.4.5 GEOLOGÍA ECONÓMICA.....	60
3.4.5.1 Mineralización. ....	60
3.4.5.2 Mineralogía.....	61
3.4.5.3 Sistemas de vetas. ....	61
3.4.5.4 Reservas probadas y probables de mineral.....	63
3.4.5.5 Ley de corte (Cut-Off). ....	63
3.4.5.6 Reservas proyectadas de mineral.....	63
3.5 GEOMECAÁNICA DEL SISTEMA DE VETAS. ....	64
3.6 MÉTODO DE EXPLOTACIÓN. ....	64
CAPITULO IV .....	71
CONSTRUCCION DEL PIQUE INCLINADO MERCEDES – NV 480 .....	71

4.1	PLANEAMIENTO, DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL PIQUE INCLINADO MERCEDES - NV 480.....	71
4.2	EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL PIQUE INCLINADO MERCEDES.....	72
4.2.1	ASPECTOS GEOLÓGICOS Y GEOMECÁNICOS. ....	72
4.2.3	DETERMINACION DE LOS PARAMETROS PARA EL CÁLCULO DEL RMR DE BIENIAWSKI (1989).....	73
4.2.3.1	Indice de la calidad de la roca (RQD). ....	73
4.2.3.2	Determinación de resistencia a la compresión simple.....	74
4.2.6	CÁLCULO DE ABERTURA MÁXIMA DE LABOR.....	78
4.2.7	CÁLCULO DE TIEMPO DE AUTO SOPORTE. ....	80
4.2.8	DISEÑO DE SOSTENIMIENTO.....	81
4.2.9	ÍNDICE DE RESISTENCIA GEOLÓGICA GSI (MODIFICADO). ....	82
4.3	LABORES PREVIAS.....	85
4.4	UBICACIÓN DEL INCLINADO.....	86
4.5	DISEÑO DE LA SECCIÓN DEL PIQUE INCLINADO MERCEDES. ....	87
4.6	TECNICAS DE CONSTRUCCIÓN.....	92
4.7	PLANEAMIENTO DEL CICLO DE TRABAJO DEL PIQUE INCLINADO MERCEDES - NV 480 Y LABORES PREVIAS. ....	93
4.7.1	PERFORACIÓN.....	93
4.7.2	VOLADURA. ....	101
4.7.3	VENTILACIÓN.....	106
4.7.4	REGADO Y DESATADO DE ROCAS SUELTAS. ....	110
4.7.5	LIMPIEZA. ....	110
4.7.6	SOSTENIMIENTO.....	110
4.7.7	SISTEMA DE DRENAJE Y BOMBEO. ....	112
4.7.8	INSTALACIONES. ....	113
4.7.9	MANA DE OBRA Y EQUIPOS. ....	115
4.8	SELECCIÓN DEL TIPO DE IZAJE. ....	116
4.8.1	INFRAESTRUCTURA PARA EL SISTEMA DE IZAJE.....	118
4.8.2	DATOS NECESARIOS PARA EL CÁLCULO DEL CICLO DE IZAJE.....	120
4.8.2.1	Cálculo del peso y tipo de material por viaje .....	120
4.8.2.2	Capacidad de carga.....	120
4.8.3	DIÁMETRO Y PESO DEL CABLE DE IZAJE .....	121
4.8.4	CÁLCULO DE LAS DIMENSIONES DE LA TAMBORA DEL WINCHE. ..	129
4.8.5	CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DEL MOTOR DEL WINCHE ELÉCTRICO. .....	132

4.8.6 PLANEAMIENTO DE EJECUCIÓN DE TODAS LAS OBRAS EN LA CONSTRUCCIÓN.....	141
4.8.7 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES PARA LA EJECUCIÓN DEL PIQUE INCLINADO MERCEDES. ....	143
4.9 EVALUACIÓN TÉCNICO - ECONÓMICO DEL ESTUDIO.....	145
4.9.1 MONTO DE INVERSIÓN EN LA INFRAESTRUCTURA. ....	145
4.9.1.1 Costo de ejecución del pique inclinado Mercedes Nv. 480. ....	145
4.9.1.3 Costo de instalación de rieles. ....	153
4.9.1.4 Costo de ejecución de las chimeneas dobles. ....	155
4.9.1.5 Costos de construcción de cruceros y cortadas. ....	156
4.9.2 CÁLCULO DEL COSTO TOTAL DE LA INFRAESTRUCTURA. ....	157
4.9.3 COSTOS DE INVERSIÓN DEL PIQUE INCLINADO MERCEDES. ....	158
4.9.4 COSTOS DE DESARROLLO Y PREPARACIÓN DE LA MINA.....	159
4.10 COSTOS DE INVERSIÓN (CAPEX).....	159
4.11 COSTOS DE OPERACIÓN (OPEX). ....	159
4.12 VALORIZACIÓN DE RESERVAS Y VIDA DE LA MINA. ....	160
4.13 EVALUACIÓN ECONÓMICOS (VAN, TIR). ....	161
4.14 INCREMENTO DE PRODUCCIÓN. ....	163
CAPITULO V .....	166
RESULTADOS DEL ESTUDIO. ....	166
5.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS TECNICOS.....	166
5.1.1 EVALUACIÓN GEOMECÁNICA.....	166
5.1.2 DISEÑO.....	167
5.1.3 PERFORACION Y VOLADURA.....	167
5.1.4 VENTILACIÓN.....	168
5.1.5 SISTEMA DE IZAJE.....	168
5.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS ECONOMICOS.....	168
5.3 ANÁLISIS DE PRODUCCIÓN Y RESERVAS.....	169
CONCLUSIONES.....	170
RECOMENDACIONES: .....	172
BIBLIOGRAFIA .....	173
ANEXOS .....	175



## INDICE DE CUADROS

Cuadro N° 01. Variables e indicadores independientes de la investigación. ....	22
Cuadro N° 02. Variables e indicadores dependientes de la investigación. ....	23
Cuadro N° 03. Valor de índice RMR. ....	28
Cuadro N° 04. Valor de índice de RQD. ....	29
Cuadro N° 05. Valor de índice de RQD. ....	34
Cuadro N° 06. Coeficientes para determinar los valores de “dt” y “c”.....	39
Cuadro N° 07. Fórmulas para determinar burden y espaciamiento.....	40
Cuadro N° 08. Factor de carga con relación a la sección del túnel. ....	40
Cuadro N° 09. Ruta de acceso a la mina. ....	50
Cuadro N° 10. Reservas de Mineral de Au, unidad minera San Juan de Arequipa. ....	63
Cuadro N° 11. Reserva de Mineral proyectada de la zona Mercedes. ....	64
Cuadro N° 12. Clasificación del macizo rocoso en vetas San Juan y Mercedes. ....	64
Cuadro N° 13. Muestras tomadas para RQD.....	73
Cuadro N° 14. Clasificación de calidad de macizo rocoso RQD. ....	73
Cuadro N° 15. Lecturas tomadas al Martillo de Smitt. ....	74
Cuadro N° 16. Correlación para el martillo de Smidt entre resistencia a compresión, densidad de la roca y rebote (Miller, 1965). ....	75
Cuadro N° 17. Valoración del sistema RMR. ....	76
Cuadro N° 18. Valoración del estado de las discontinuidades. ....	77
Cuadro N° 19. Clasificación Geomecánica de RMR. ....	78
Cuadro N° 20. Resumen de resultados de las clasificaciones geomecánicas. ....	78
Cuadro N° 21. Curva de diseño de excavaciones (Wang, 2000).....	79
Cuadro N° 22. Tiempo de auto sostenimiento de acuerdo al RMR. ....	80
Cuadro N° 23. Diseño de sostenimiento del sistema Q.....	81
Cuadro N° 24. GSI Estandarizado. ....	83
Cuadro N° 25. GSI Metodología de Aplicación.....	84
Cuadro N° 26. Resumen de la evaluación Geomecánica. ....	85
Cuadro N° 27. Ubicación del pique inclinado Mercedes. ....	87
Cuadro N° 28. Parámetros del pique inclinado Mercedes. ....	87
Cuadro N° 29. Sección del pique inclinado Mercedes. ....	87
Cuadro N° 30. Coeficiente para determinar los valores de “dt”.....	94
Cuadro N° 31. Coeficiente para determinar el coeficiente de roca (c).....	94
Cuadro N° 32. Parámetros del pique inclinado Mercedes.....	94
Cuadro N° 33. Fórmulas para determinar burden y espaciamiento.....	96
Cuadro N° 34. Parámetros de la Chimeneas. ....	99
Cuadro N° 35. Explosivos y accesorios de voladura utilizados. ....	101
Cuadro N° 36. Zonificación de explosivos según la calidad de roca .....	102
Cuadro N° 37. Carga específica correlacionado al diámetro del taladro. ....	102
Cuadro N° 38. Factor de carga con relación a la sección del túnel. ....	102
Cuadro N° 39. Distribución de carga por taladro del inclinado. ....	104
Cuadro N° 40. Distribución de carga por taladro de la chimenea. ....	106
Cuadro N° 41. Requerimiento de caudal por persona según altitud.....	107

Cuadro N° 42. Número de trabajadores en la profundización de mina.....	107
Cuadro N° 43. Mano de obra primer turno.....	109
Cuadro N° 44. Mano de obra por turno.....	115
Cuadro N° 45. Relación de equipos que se tiene.....	116
Cuadro N° 46. Constantes de masas y esfuerzos de cables de alambre.....	122
Cuadro N° 47. Características de cables de alambre para minería.....	127
Cuadro N° 48. Resumen de características del cable para izaje óptimo.....	127
Cuadro N° 49. Resumen de las características de la tambora.....	132
Cuadro N° 50. Fórmulas para calcular diagramas de carguío en izaje con winches de tambor cilíndrico para piques verticales o inclinados.....	134
Cuadro N° 51. Fórmulas para componentes de fricción.....	134
Cuadro N° 52. Descripciones y nomenclaturas.....	135
Cuadro N° 53. Cálculo de los componentes del izaje.....	137
Cuadro N° 54. Cálculo de las potencias por periodos.....	137
Cuadro N° 55. Cálculo de potencias del sistema de izaje.....	138
Cuadro N° 56. Valores de potencia en cada punto.....	139
Cuadro N° 57. Características del winche eléctrico requerido.....	140
Cuadro N° 58. Avance total de actividades.....	141
Cuadro N° 59. Cronograma de ejecución del pique inclinado Mercedes Nv. 480.....	144
Cuadro N° 60. Precio unitario de la ejecución del pique inclinado.....	146
Cuadro N° 61. Precio unitario de la instalación de pernos helicoidales más malla electrosoldada.....	149
Cuadro N° 62. Precio unitario de la instalación de rieles.....	153
Cuadro N° 63. Resumen de precio unitario de chimenea doble, sección 1.20m x 2.40m.....	156
Cuadro N° 64. Resumen de precio unitario del crucero y/o cortada, sección 2.40m x 2.40m.....	156
Cuadro N° 65. Resumen de precio unitario de la construcción de tolva americana... ..	157
Cuadro N° 66. Resumen del costo total de la infraestructura – Inclinado Mercedes... ..	158
Cuadro N° 67. Resumen de inversión del pique inclinado Mercedes.....	158
Cuadro N° 68. Inversión en desarrollo y preparación de la mina.....	159
Cuadro N° 69. Inversión en la profundización de la zona Mercedes.....	159
Cuadro N° 70. Inversión del pique inclinado Mercedes.....	160
Cuadro N° 71. Reserva de mineral zona Mercedes.....	160
Cuadro N° 72. Flujo de caja económico anual.....	161
Cuadro N° 73. Programa mensual de producción por zonas.....	164
Cuadro N° 74. Indicadores de producción.....	164
Cuadro N° 75. Distribución de personal de zona Mercedes.....	165
Cuadro N° 76. Análisis de producción de la zona.....	165
Cuadro N° 77. Resultados de la evaluación Geomecánica.....	166
Cuadro N° 78. Resultados del diseño del pique inclinado.....	167
Cuadro N° 79. Resultados del diseño del pique inclinado y labores previas.....	167
Cuadro N° 80. Resultados del sistema de izaje.....	168
Cuadro N° 81. Resultados de la evaluación económica.....	168

## INDICE DE FIGURAS

Figura N° 01. Testigos de perforación diamantina. ....	29
Figura N° 02. Espaciado de una discontinuidad. ....	30
Figura N° 03. Persistencia de discontinuidades. ....	30
Figura N° 04. Apertura de una discontinuidad. ....	31
Figura N° 05. Grado de aspereza de discontinuidades. ....	31
Figura N° 06. Relleno de discontinuidades. ....	32
Figura N° 07. Masa rocosa meteorizada. ....	32
Figura N° 08. Presencia de agua subterránea. ....	33
Figura N° 09. Método de construcción en banqueo de un pique. ....	35
Figura N° 10. Método de construcción en espiral de un pique. ....	36
Figura N° 11. Método de corte quemado. ....	37
Figura N° 12. Método de corte en “V”. ....	37
Figura N° 13. Método de construcción en sección completa de un pique. ....	38
Figura N° 14. Pique inclinado en la unidad minera San Juan de Arequipa. ....	42
Figura N° 15. Winche de izaje con una sola tambora. ....	44
Figura N° 16. Cable de izaje. ....	45
Figura N° 17. Estructura de un cable de acero. ....	46
Figura N° 18. Ubicación de la unidad minera San Juan de Arequipa. ....	50
Figura N° 19. Vista general del campamento minero San Juan de Chorunga. ....	51
Figura N° 20. Plano de geología regional. ....	54
Figura N° 21. Columna estratigráfica regional. ....	55
Figura N° 22. Columna estratigráfica local. ....	56
Figura N° 23. Diagrama de las estructuras mayores de la zona de estudio. ....	58
Figura N° 24. Falla Iquipí mirando al NE. ....	59
Figura N° 25. Falla Choclón mirando al Este, cortando rocas volcánicas. ....	60
Figura N° 26. Diseño de preparación de tajos con chimenea central en h. ....	66
Figura N° 27. Malla de perforación en Breasting de un tajo. ....	67
Figura N° 28. Componentes de limpieza con winche de arrastre. ....	68
Figura N° 29. Elementos de sostenimiento de un cuadro cojo. ....	69
Figura N° 30. Sostenimiento a cuadro cojo, tajo 7830. ....	70
Figura N° 31. Diseño de la sección del pique inclinado Mercedes (vista frontal). ....	90
Figura N° 32. Diseño de la sección del pique inclinado Mercedes (vista en planta). ....	91
Figura N° 33. Diseño de la sección del pique inclinado Mercedes (vista en perfil). ....	92
Figura N° 34. Diseño de arranque. ....	97
Figura N° 35. Diseño de malla de perforación Sección 8’x8’. ....	98
Figura N° 36. Diseño de arranque. ....	100
Figura N° 37. Diseño de malla de perforación sección 4’x 8’. ....	101
Figura N° 38. Estándar de colocados de pernos helicoidales y malla electrosoldada. ....	112
Figura N° 39. Sistema de drenaje y bombeo de agua producto de la perforación. ....	113
Figura N° 40. Diseño de la línea de cauville. ....	114

Figura N° 41. Diseño de tolva americana. ....	115
Figura N° 42. Componentes del winche de izaje. ....	118
Figura N° 43. Tablero de manejo del winche de izaje. ....	119
Figura N° 44. Diagrama de fuerzas que actúan en el inclinado. ....	123
Figura N° 45. Masas y coeficientes inclinados de extracción de un tren con cable. ....	124
Figura N° 46. Diagrama de una tambora. ....	130
Figura N° 47. Diagrama de potencias para un sistema no balanceado de extracción. ....	133

## INDICE DE PLANOS

Plano N° 01. Diseño del pique inclinado Mercedes - Nv 480 (Vista en perfil). .....	88
Plano N° 02. Diseño del pique inclinado Mercedes - Nv 480 (Vista en planta). .....	89
Plano N° 03. Ubicación de cámara de izaje (Vista en planta). .....	117
Plano N° 04. Zona Mercedes, Unidad Minera San Juan de Arequipa (Vista en perfil). .....	176

## INTRODUCCIÓN

La unidad minera San Juan de Arequipa de Cía. Century Mining Perú SAC. realiza la explotación aurífera en sus cinco zonas de operación, nuestra área de estudio es la zona Mercedes que actualmente las reservas de mineral están por agotarse en los meses siguientes, cabe mencionar que por debajo del nivel 480 se tiene reservas de mineral probadas por parte del área de geología, que garantizan la profundización de dicha zona.

Teniendo el problema latente, se opta por la profundización mediante un pique inclinado, que describiremos en el desarrollo del presente trabajo, para tal efecto, se determinó factores determinantes como económicos, tiempo, seguridad y el ciclo de minado. Para la construcción del pique inclinado Mercedes Nv. 480, se ha estructurado de la siguiente forma:

En el Capítulo I, en este se detalla los aspectos metodológicos del trabajo, como son los problemas, los objetivos, hipótesis y la metodología de la investigación.

En el Capítulo II, el marco teórico, capítulo donde buscamos los antecedentes de la investigación, un marco referencial y conceptual que es necesario para la elaboración de la tesis.

En el Capítulo III, toda la información general de la mina, geología de la mina como: Geología regional, local, estructural y estructuras mineralizadas de zonas circundantes donde se realizará el estudio, además el método de explotación que se emplea.

En el Capítulo IV, se describe el estudio que se realiza para la construcción del pique inclinado Mercedes Nv. 480; como: La evaluación Geológica y Geomecánica del yacimiento, el diseño y planeamiento, se describe todo lo relacionado a las operaciones unitarias. En la parte final, se realiza el cálculo para el sistema de izaje óptimo y la evaluación económica del estudio con los indicadores económicos de VAN y el TIR que demuestran la alta rentabilidad del proyecto.

En el Capítulo V, se muestran todos los resultados obtenidos mediante los cálculos en el capítulo IV.

Finalmente se ofrecen las conclusiones, recomendaciones y las referencias bibliográficas.

## **CAPÍTULO I**

### **ASPECTOS METODOLOGICOS DEL TRABAJO**

#### **1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**

La Unidad Minera San Juan de Arequipa de la Compañía Minera Century Mining Perú S.A.C, en la actualidad realiza la extracción de mineral aurífero con un sistema convencional, con un ritmo de producción de 5000 ton/mes con una ley de 10.50 gr/ton trabajando 25 días por mes.

En la zona Mercedes de la Unidad Minera San Juan de Arequipa, toda su operación se concentra en el nivel 480 y es la única zona de producción de mineral de alta ley dentro de la unidad, actualmente las reservas de mineral están disminuyendo considerablemente, contando actualmente solo con 05 tajos con una producción promedio de 750 ton/mes con una ley de 20 gr/ton.

Para ello, se tiene las reservas de mineral que se encuentran en profundización, determinadas por las exploraciones realizadas con perforaciones diamantinas en dicha zona, que nos garantiza que la mineralización se profundiza y se ha determinado que por



debajo del nivel 480 se tiene reservas de mineral probada y probable, esto amerita realizar un diseño y construcción de un pique inclinado para acceder y explotar en los niveles 430 al 380 de las vetas Mercedes en la Unidad Minera San Juan de Arequipa, considerando los equipos, maquinarias y el método de explotación que emplea la empresa.

Por lo tanto, si estos problemas persisten, las reservas de mineral se agotarán y se reducirá la vida de la mina, por lo cual, se tiene la necesidad de realizar el minado de la veta Mercedes por debajo del nivel 480, para extraer las reservas minerales mediante un pique inclinado aplicando su propio sistema convencional en la unidad minera San Juan de Arequipa.

## **1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.**

### **1.2.1 Problema general del estudio.**

¿Cómo es el proceso de diseño, construcción y la evaluación económica del pique inclinado Mercedes para mejorar la productividad e incrementar las reservas de mineral de la zona Mercedes en la unidad minera San Juan de Arequipa?

### **1.2.2 Problemas específicos del estudio.**

¿Cuáles son las condiciones geológicas y geomecánicas para la construcción del pique inclinado Mercedes en la unidad minera San Juan de Arequipa?

¿Cuál será el sistema de planeamiento en las operaciones de construcción del pique inclinado Mercedes en la unidad minera San Juan de Arequipa?

¿Cómo será la factibilidad económica con la construcción del pique inclinado Mercedes en la unidad minera san juan de Arequipa?

## **1.3 OBJETIVOS.**

### **1.3.1 Objetivo general del estudio.**

Desarrollar el proceso de diseño, construcción y evaluación económica del pique inclinado Mercedes con la finalidad de mejorar la productividad e incrementar las reservas de mineral de la zona Mercedes en la unidad minera San Juan de Arequipa.

### **1.3.2 Objetivos específicos del estudio.**

Determinar los parámetros Geológicos y Geomecánicos para la construcción del pique inclinado Mercedes en la unidad minera San Juan de Arequipa.

Diseñar y determinar el proceso de la construcción del pique inclinado Mercedes según los parámetros establecidos, en la unidad minera San Juan de Arequipa.

Evaluar la factibilidad económica con la construcción del pique inclinado Mercedes en la unidad minera San Juan de Arequipa.

### **1.4 JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO.**

Con la construcción del pique inclinado Mercedes, se tendrá acceso a las reservas probadas de mineral que se tiene en la veta Mercedes por debajo del nivel 480, para incrementar la capacidad de producción de la zona con el mismo método de explotación convencional; aumentar las reservas de mineral y la vida útil de la mina de la zona Mercedes en la unidad minera San Juan de Arequipa.

Además, el pique inclinado Mercedes facilitará las operaciones unitarias, servirá como medio para la extracción de reservas explotables, servicios generales de abastecimiento y aprovechando al máximo de las ventajas que se tiene del pique inclinado como la rapidez, mayor seguridad y facilidad en su operación.

### **1.5 HIPÓTESIS.**

#### **1.5.1 Hipótesis general del estudio.**

Con el diseño, construcción y la evaluación económica del pique inclinado Mercedes, se mejorará la productividad e incrementará las reservas de mineral de la zona Mercedes en la unidad minera San Juan de Arequipa.

#### **1.5.2 Hipótesis específica del estudio.**

El conocimiento de los parámetros de las condiciones geológicas y geomecánicas en profundidad, facilitará la construcción del pique inclinado Mercedes de la zona Mercedes en la unidad minera San Juan de Arequipa.

El sistema de planeamiento de las operaciones de mina determinará los parámetros de construcción de las labores del pique inclinado Mercedes en la unidad minera San Juan de Arequipa.

La evaluación de los parámetros económicos operativos demostrará la factibilidad para la construcción del pique inclinado Mercedes en la unidad minera San Juan de Arequipa.

## 1.6 VARIABLES E INDICADORES.

### Variable Independiente:

*Cuadro N° 01. Variables e indicadores independientes de la investigación.*

VARIABLE INDEPENDIENTE	INDICADORES
Parámetros geomecánicos del macizo rocoso	<ul style="list-style-type: none"> <li>- RQD.</li> <li>- RMR.</li> <li>- GSI.</li> <li>- Q de Bartón.</li> </ul>
Parámetros del diseño	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sección (M2).</li> <li>- Gradiente (%).</li> <li>- Longitud del pique inclinado (M).</li> <li>- Niveles de explotación.</li> <li>- Ritmo de producción (TM/Año).</li> <li>- Equipos y/o maquinarias a usar</li> <li>- Perforación (Pies perf.)</li> <li>- Voladura (Kg/TM).</li> <li>- Limpieza (TM).</li> <li>- Sostenimiento.</li> <li>- Ventilación (CFM).</li> <li>- Drenaje.</li> </ul>
Evaluación económica	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Precios unitarios (\$/M).</li> <li>- Reservas (TM).</li> <li>- Ley (Gr/TM).</li> <li>- VAN.</li> <li>- TIR.</li> <li>- Costo operativo (\$/TM)</li> <li>- Utilidad (\$/Año)</li> </ul>

*Fuente: Elaboración propia.*

### **Variable Dependiente:**

*Cuadro N° 02. Variables e indicadores dependientes de la investigación.*

VARIABLE DEPENDIENTE	INDICADORES
Construcción del pique inclinado Mercedes	- Avance (M).

*Fuente: Elaboración propia.*

## **1.7 METODOLOGÍA.**

El presente trabajo de investigación consta en describir los procedimientos propuestos para la construcción del pique inclinado, diseños y dimensionamientos de acuerdo a la evaluación Geológica y Geomecánica.

Los métodos a ser empleados serán:

Investigación histórica documental. A través de estudiar y revisar la construcción de labores de desarrollo trabajadas anteriormente en la mina.

Descriptiva. Mediante la aplicación de la bibliografía propuesta, buscando respuestas a la hipótesis planteada.

## **1.8 POBLACIÓN Y MUESTRA.**

La población considerada en el estudio serán las labores de desarrollo en la unidad minera San Juan de Arequipa y la muestra será el proceso de construcción e implementación del pique inclinado.

## **1.9 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.**

Las técnicas aplicadas son la observación directa y medición de la muestra, el que nos permitió determinar sus características geológicas, geomecánicas y otros parámetros necesarios para la apertura del pique inclinado Mercedes, para el posterior minado de la veta Mercedes en los niveles 430 y 380.

**Instrumentos.** - Se utilizaron los siguientes instrumentos:

- ✓ Libreta de apuntes.

- ✓ Martillo de Smitt.
- ✓ Planos y tablas geológicos y geomecánicos.
- ✓ AutoCAD 2D.
- ✓ Hojas de cálculo Excel.

### **1.10 TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO DE DATOS.**

El análisis descriptivo es un método estructurado que permite administrar, manejar y resolver acciones orientadas al control de los procesos. Dichas acciones pueden derivarse de una diversidad de fuentes, como investigaciones, inspecciones, observaciones, informes, reportes, etc.

#### **Trabajo de campo:**

- ✓ Inspección respectiva del lugar de estudio y toma de notas.
- ✓ Mapeo geológico y geomecánico.
- ✓ Prueba de esfuerzo de compresión simple.
- ✓ Seguimiento constante durante la ejecución del pique inclinado.

#### **Trabajo de gabinete:**

- ✓ Recopilación de las teorías y métodos de evaluación de proyectos.
- ✓ Cálculo de parámetros geomecánicos.
- ✓ Diseño del pique inclinado y sistema de extracción.
- ✓ Cálculo del sistema de izaje.
- ✓ Cálculo de costos de ejecución e inversión a detalle.
- ✓ Análisis de los resultados.

### **1.11 TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE DATOS.**

Para el análisis de datos procesados de la observación directa y medición de la muestra se dará uso de la estadística descriptiva que permitirá organizar la información y obtener resultados para la construcción del pique inclinado Mercedes Nv. 480.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.**

a) Pontificia Universidad Católica del Perú, Planeamiento y diseño del sistema de extracción del Proyecto de profundización de la U.O San Braulio Uno, Cotaparaco, Recuay, Ancash - Lino David Arias Calla. Con el objetivo general de realizar el planeamiento y diseño del sistema de extracción del proyecto de profundización de la mina san Braulio Uno, que comprende el izaje y transporte del material hacia superficie. Esto incluye determinar los equipos óptimos, ciclos de trabajo y costos de capital y operación para el izaje y transporte. Concluyendo, respecto al diseño del sistema de izaje, que éste será no balanceado y que se requerirá un winche con potencia de 45 kW (60 hp) para realizar el izaje de dos carros mineros U35, de 5.20 t de masa total, que ascenderán por un pique de sección 1.5m x 1.8m, con un ángulo de inclinación de 30°, de longitud 135m total, a una velocidad de cuerda de 1.14 m/s. Asimismo, el winche debe tener un tambor cilíndrico, con un diámetro de 0.86m como mínimo de acuerdo a la relación que estipula el reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería.

Como accesorio del winche de izaje, se determinó que el diámetro óptimo del cable de acero a utilizar es de 18mm, del tipo “flattened strand (triangular)”, el cual será sometido a una tensión máxima de 178.2 KN considerando un factor de seguridad de valor 5, de acuerdo al reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería. Se corroboró la información con un catálogo de una proveedora de cables de acero y se verificó que la fuerza de ruptura mínima es de 208 KN, la cual es mayor a la requerida.

b) Universidad nacional San Antonio Abad del Cusco, estudio de construcción inclinado Gerardo para izaje en la Unidad Minera Rosario, Parinacochas – Ayacucho, Jean Hector Yañez Villasante. El objetivo principal es optimizar el tiempo de extracción de mineral - desmonte y reducir los costos de producción. En el cual concluye que, la construcción del inclinado se reemplazara los tres Inclinados (I100, I200 e I300), por una sola, esto permitirá Reducir los costos de mano de Obra de 1.03 \$/Tn a 0.37 \$/Tn de material extraído lo cual representa un 64%; y la reducción del tiempo de izaje actual bajara de 1 hr 52’ 20” a 44’ 33” representado un 61%.

Luego del análisis Económico, los indicadores demuestran que el proyecto es totalmente viable ya que disminuimos en 64% el costo por extracción y sobre todo que el tiempo para recuperar la inversión es de 26 meses.

## **2.2 MARCO CONCEPTUAL.**

En el presente capítulo se verá conceptos teóricos acerca de diferentes parámetros que se consideran en el diseño, construcción y evaluación económica de la infraestructura en minería.

### **2.3.1 ASPECTOS GEOMECÁNICOS.**

El sistema de refuerzo en roca afirma que los factores que controlan la estabilidad de las excavaciones mineras subterráneas, podemos dividirlos en dos grupos: Aquellos pre-existentes a la excavación (pre-minado) y aquellos posteriores a la excavación (post-minado).

Los factores del pre-minado están constituidos por: las características de la masa rocosa, del yacimiento (medio geológico), las propiedades de comportamiento mecánico de esta masa rocosa y por el campo de esfuerzos in-situ presente en el lugar, los factores

del post-minado están constituidos por: los esfuerzos inducidos por el minado, la forma, tamaño y orientación de las excavaciones, las cuales tienen carácter dinámico debido al progreso de la operación minera. Los efectos de perturbaciones excavaciones mineras son: la generación de una estructura rocosa y las perturbaciones mecánicas en el medio rocoso. La estructura minera en este caso de vacío, elementos de sostenimiento naturales y/o artificiales y el mineral remanente: Las perturbaciones mecánicas, es el medio rocoso pueden traducirse en desplazamientos de la masa rocosa hacia los vacíos creados, en un nuevo estado de esfuerzos y deformaciones y en acumulaciones de energía de deformación. Para determinar el comportamiento geomecánico del macizo rocoso en las labores subterráneas se desarrolla un mapeo estructural que nos permita identificar las posibles cuñas, el tamaño y forma de las cuñas potenciales en la masa rocosa circundante a esta abertura dependen sobre todo del tamaño, forma y orientación de la abertura y también de la orientación de los sistemas de discontinuidades principales.

Por su mayor aplicabilidad en el campo, presentamos aquí los criterios RMR (Valoración de la Masa Rocosa) de Bieniawski (1989) y la correlación entre RMR, índice de Q de Barton y el GSI (Índice de Resistencia Geológica) de Hoek y Marinos (2000), los mismos que se determinan utilizando los datos de los mapeos geomecánicos efectuados en las paredes de las labores mineras.

### **2.3.1.1 El criterio RMR de Bieniawski (1989).**

La clasificación Geomecánica RMR (Rock Mass Rating), permite realizar una clasificación de las rocas 'in situ' en clases y/o grupos de determinada calidad con características comunes. Esta clasificación se utiliza usualmente en la construcción de túneles, de taludes y de cimentaciones, consta de un índice de calidad RMR independiente de la estructura y de un factor de corrección.

El macizo rocoso está constituido por la interacción entre el material rocoso, las discontinuidades presentes y el agua. Para comprender su comportamiento es necesario conocer el origen del material rocoso, textura, estructuras, mineralogía y características Geotécnicas de las discontinuidades, origen, tipos y sus características descriptivas (orientación, espaciamiento, persistencia, rugosidad, relleno, etc.).



En este contexto es interesante la proposición de Bieniawski sugiere que en una clasificación de rocas se debería:

- ✓ Dividir los macizos en grupos de comportamientos similares.
- ✓ Proveer una buena base para comprender las características de las rocas.
- ✓ Facilitar el planeamiento y diseño de estructuras en roca mediante los datos de terreno requeridos para la solución de problemas de ingeniería.
- ✓ Proveer una base común para una afectiva comunicación entre personas relacionadas con un problema geomecánico.

Para satisfacer estos requerimientos, Bieniawski propuso después de las experiencias prácticas que su clasificación debería incorporar los siguientes 5 parámetros:

Entonces el índice RMR es:

$$RMR = (RC + RQD + A + B + C)$$

Dónde:

RC : Valoración según la resistencia a la compresión del martillo de Smith.

RQD : Valoración según la calidad RQD.

A : Espaciamiento de discontinuidades.

B : Condición de discontinuidades.

C : Agua subterránea.

**Cuadro N° 03. Valor de índice RMR.**

RMR	Calidad del macizo rocoso	Clase
0 – 20	Roca muy mala	V
21 – 40	Roca mala	IV
41 – 60	Roca regular	III
61 – 80	Roca Buena	II
81 – 100	Roca muy Buena	I

**Fuente:** Bieniawski 1989.

**a) La resistencia a la compresión de la roca intacta (RC).**

Que puede ser determinado con golpes de picota o martillo de geólogo, martillo de Schmidt o con otros procedimientos como los ensayos de laboratorio.

**b) El RQD (Rock Quality Designation).**

El índice de calidad de la roca es el porcentaje de trozos de testigos recuperados de las perforaciones diamantinas mayores de 10 cm. de la longitud total del taladro. El RQD se calcula con la siguiente expresión:



*Fuente: Manual de Geomecánica, conociendo a la roca.  
Figura N° 01. Testigos de perforación diamantina.*

$$RQD = \frac{\sum \text{Longitud} \geq 10\text{cm}}{\text{Longitud total}} \times 100\%$$

*Cuadro N° 04. Valor de índice de RQD.*

RQD %	Calidad del macizo rocoso
< 25	Roca muy mala
25 – 50	Roca mala
50 – 75	Roca regular
75 – 90	Roca Buena
90 – 100	Roca muy Buena

*Fuente: Mecánica de rocas Stagg - Zienkiewicz.*

**c) El espaciamiento de las discontinuidades.**

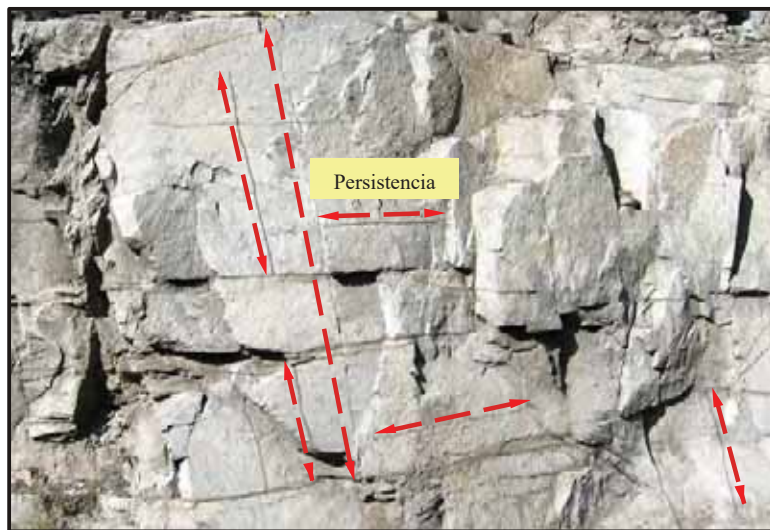
El espaciamiento de las discontinuidades es la distancia perpendicular entre discontinuidades adyacentes.



*Fuente: Manual de Geomecánica, Conociendo a la roca.  
Figura N° 02. Espaciado de una discontinuidad.*

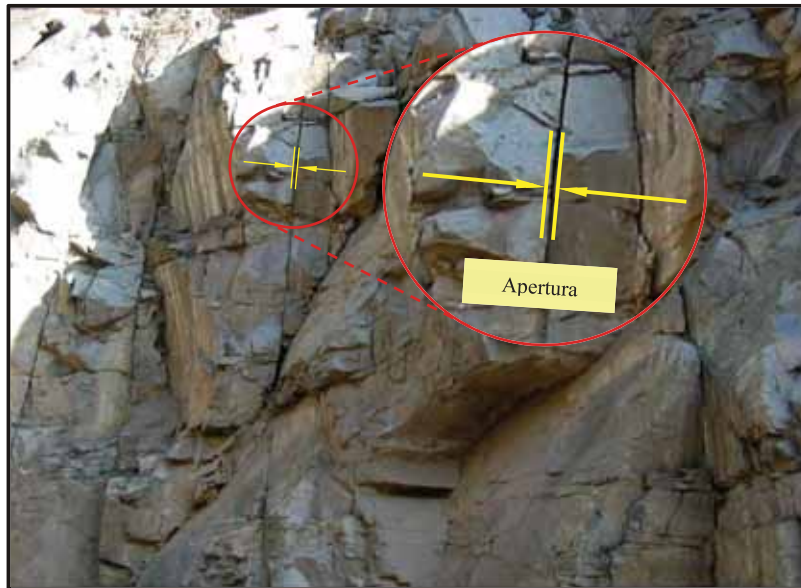
**d) La condición de las discontinuidades.**

- ✓ **Persistencia.** - Es la extensión en área a tamaño de esta discontinuidad.



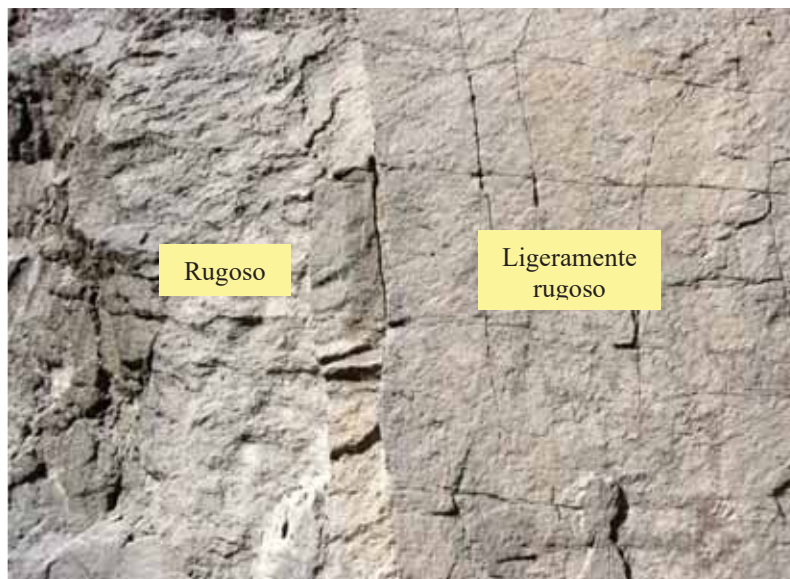
*Fuente: Manual de Geomecánica, conociendo a la roca.  
Figura N° 03. Persistencia de discontinuidades.*

- ✓ **Apertura.** - Es la separación entre las paredes rocosas de una discontinuidad o el grado de abertura que ésta presenta.



*Fuente: Manual de Geomecánica, conociendo a la roca.  
Figura N° 04. Apertura de una discontinuidad.*

- ✓ **Rugosidad.** - Es la aspereza o irregularidad de la superficie de la discontinuidad.



*Fuente: Manual de Geomecánica, conociendo a la roca.  
Figura N° 05. Grado de aspereza de discontinuidades.*

- ✓ **Relleno.**- Son los materiales que se encuentran dentro de la discontinuidad.



*Fuente: Manual de Geomecánica, conociendo a la roca.*

*Figura N° 06. Relleno de discontinuidades.*

- ✓ **Meteorización.** – Es cuando la superficie de la roca sufre la modificación en sus proximidades, debido a la acción de agentes atmosféricos.



*Fuente: Manual de Geomecánica, conociendo a la roca.*

*Figura N° 07. Masa rocosa meteorizada.*

- ✓ **Alteración.** La alteración se produce por la ascensión de fluidos o gases magmáticos a altas temperaturas a través de fracturas o zonas de falla, originando reemplazamientos y rellenos, que modifican las condiciones del macizo rocoso en los cuales se emplazan.

e) **Presencia de agua.**

La presencia del agua subterránea no tiene influencia significativa en rocas o levemente fracturadas, en rocas fracturadas o estratificadas, es importante considerar la influencia del agua en las fisuras, por que esta ejerce presión y actúa como lubricante, además puede lavar el relleno débil de las fracturas, complicando la situación de la excavación. En cambio, en las rocas intensamente fracturadas, la presencia del agua acelera el proceso de aflojamiento, especialmente en ambientes de altos esfuerzos donde el aflojamiento de la roca será muy rápido.



*Fuente: Manual de Geomecánica, conociendo a la roca.*

*Figura N° 08. Presencia de agua subterránea.*

**2.3.1.2 Sistema Q de Barton.**

El Tunnelling Quality Index, o sistema Q, fue desarrollado por Barton y sus colaboradores en 1974 que propuso junto a Lien y Lunde, un método práctico denominado sistema "Q", para cuantificar el padrón Geomecánico de un macizo rocoso a partir de una compilación de un número de datos de numerosas obras de excavaciones subterráneas y de testigos de sondaje, que utiliza los siguientes factores para determinar el resultado del macizo rocoso:

- ✓ RQD (Rock Quality Design).
- ✓ Número de familia de discontinuidades o juntas ( $J_n$ ).
- ✓ Rugosidad de las juntas ( $J_r$ ).

- ✓ Grado de alteración de las discontinuidades (Ja).
- ✓ Presencia de agua subterránea (Jw).
- ✓ Estado tensional de la roca, Stress Reduction Factor (SRF).

El valor de Q es calculado mediante la siguiente ecuación:

$$Q = (RQD / J_n) \times (J_r / J_a) \times (J_w / R_{SF})$$

El valor de Q oscila entre los valores de 0,001 para terrenos malos y 1000 para terrenos muy buenos, el cual se muestra en el cuadro N° 05. Una vez determinado el valor de Q, el sistema propone el sostenimiento a emplear a partir de la dimensión equivalente, que es un parámetro dependiente de las dimensiones del túnel.

**Cuadro N° 05. Valor de índice de RQD.**

Q (Rock mass quality)	Valoración
0.001 - 0.01	Excepcionalmente mala
0.01 - 0.1	Extremadamente mala
0.1 - 1.0	Muy mala
1.0 - 4	Mala
4 - 10	Regular
10 - 40	Buena
40 - 100	Muy buena
100 - 400	Extremadamente buena
400 - 1000	Excepcionalmente buena

**Fuente:** *Mecánica de rocas Stagg - Zienkiewicz.*

La correlación entre los sistemas de clasificación (Índice RMR de Bieniawski, el índice Q y al GSI de Hoek y Marinos), fue propuesta por Bieniawski en 1976 mediante una regresión lineal, como se muestra a continuación:

$$RMR = 9 \ln Q + 44$$

### 2.3.1.3 Clasificación según el índice de resistencia geológica (GSI).

Las observaciones se basan en la apariencia del macizo a nivel de condición de la superficie y a nivel de estructura. La correlación entre los sistemas de clasificación (Índice RMR de Bieniawski y el GSI de Hoek y Marinos), en caso de  $RMR > 23$  y considerando condiciones secas se muestra a continuación:

$$GSI = RMR'89 - 5$$

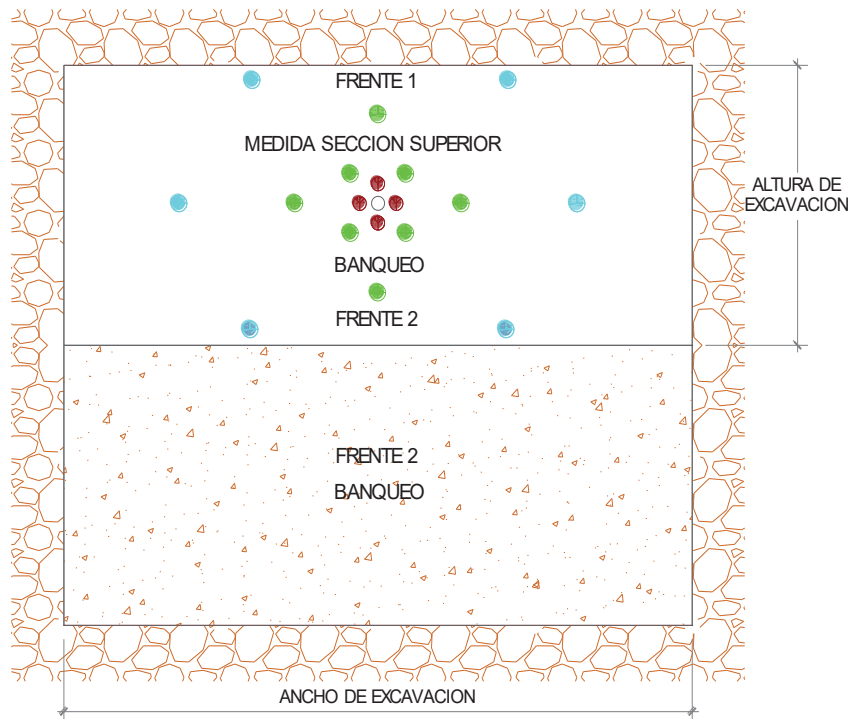
### 2.3.2 DISEÑO Y TECNICAS DE PERFORACIÓN Y VOLADURA EN PIQUES.

La perforación es la primera operación unitaria su propósito es el de abrir en la roca huecos cilíndricos denominados taladros, barrenos, hoyos, destinados a alojar al explosivo y sus accesorios iniciadores. (López Jimeno 2003, pág. 15).

#### 2.3.3.1 Métodos de ejecución de piques.

##### a) Método de Banqueo.

Realizado en piques de sección rectangular o cuadrada. El cual consiste en perforar en cada avance la mitad del piso, el cual uno de ellos siempre se encuentra más elevado que otro, esto sirve para tener una cara libre o para el bombeo de agua cuando se tiene bastante presencia de agua.



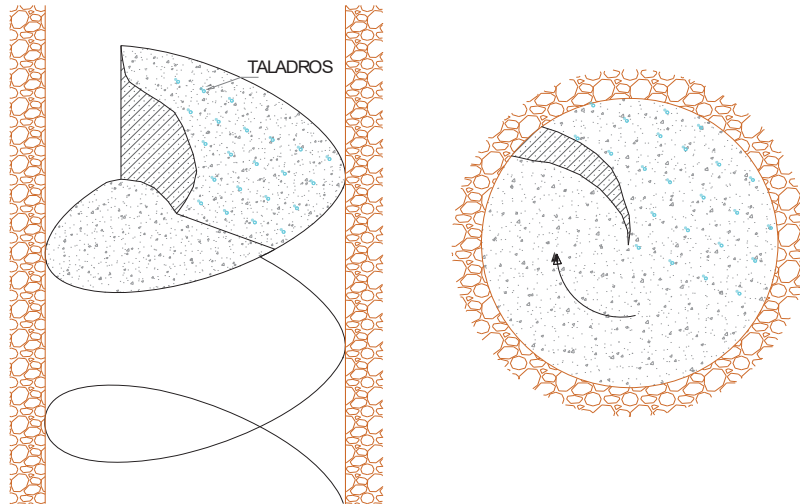
*Fuente: López Jimeno (2003), Manual de perforación y voladura de rocas.*

*Figura N° 09. Método de construcción en banqueo de un pique.*

##### b) Método de Espiral.



Muy utilizado en secciones circulares el cual es desarrollado formando un espiral en el piso, la altura del paso de la espiral depende del diámetro de la sección y del tipo de terreno.



*Fuente: López Jimeno (2003), Manual de perforación y voladura de rocas.  
Figura N° 10. Método de construcción en espiral de un pique.*

**c) Método de Sección completa.**

Son utilizados en secciones rectangulares o circulares, es muy similar a las excavaciones de túneles o galerías donde se debe realizar inicialmente una cara libre con cortes en “V” o paralelos con taladros de alivio. (López Jimeno, 2003, pág. 325 - 327).

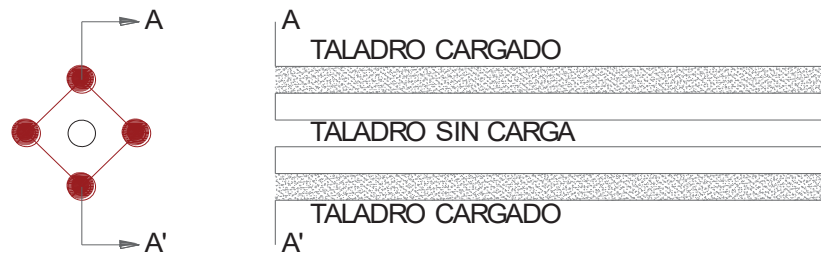


*Fuente: López Jimeno (2003), Manual de perforación y voladura de rocas.  
Figura N° 11. Método de construcción en sección completa de un pique.*

### 2.3.3.2 Métodos de arranque.

#### a) Corte quemado (Burn Cut).

Adecuado para rocas duras, consiste en talados paralelos perpendiculares a la cara libre muy cercanos entre sí, distribuidos en forma alternada, los taladros de pequeño diámetro con carga explosiva y otros vacíos, también se puede usar un taladro vacío de mayor diámetro rodeado de taladros pequeños diámetros. El espaciamiento adecuado entre taladros debe ser de 3" a 6" de acuerdo al tipo de roca. Se tiene un buen avance.

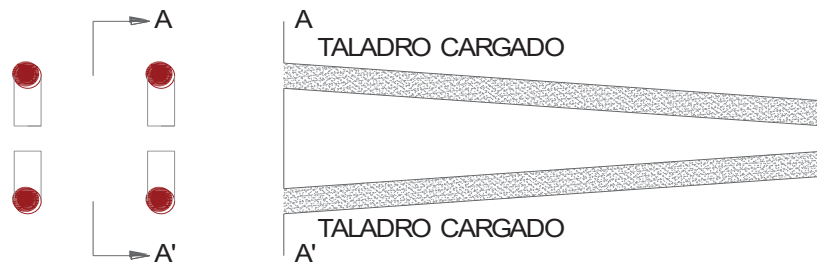


*Fuente: EXSA "Manual práctico de voladura".*

*Figura N° 11. Método de corte quemado.*

#### b) Corte en "V" o cuña.

Consiste en perforar 2 más taladros que en el fondo tienden a encontrarse, estos taladros están cargados. La inclinación puede ser de 60° a 70° sobre la superficie de un frente, tiene avance limitado y efectivo en rocas suaves a intermedias.



*Fuente: EXSA "Manual práctico de voladura".*

*Figura N° 12. Método de corte en "V".*

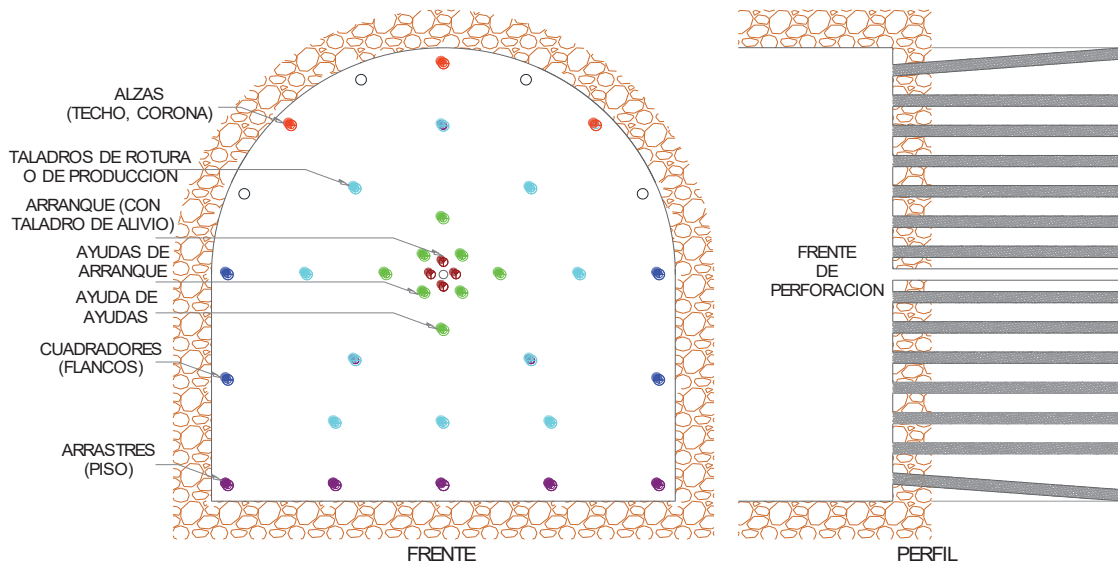
#### c) Corte en pirámide.

Se usa cuando son necesarias las perforaciones precisas, es muy difícil aplicar o utilizar en frentes horizontales, se aplica en rocas duras y tenaces y es adecuado para chimeneas y piques.

### 2.3.3.3 Distribución y denominación de taladros.

La distribución de los taladros en forma concéntrica, con los del corte o arranque en el área central de la voladura, siendo su denominación como sigue:

- ✓ **Arranque.** - Son los taladros que se disparan primero, para formar la cavidad inicial. Por lo general se cargan de 1,3 a 1,5 veces más que el resto.
- ✓ **Ayudas.** - Son los taladros que se disparan en segundo termino, que rodean a los taladros de arranque y forman las salidas hacia la cavidad inicial.
- ✓ **Cuadradores.** - Son los taladros laterales (hastiales) que forman los flancos del túnel.
- ✓ **Alzas o techos.** - Son denominadas también taladros de la corona, son los taladros que forman el la bóveda o techo del túnel.
- ✓ **Arrastre.** - Son taladros que se disparan al final de toda la ronda; son los que corresponden al piso del túnel o galería. (EXSA, 2009, págs. 185-186).



*Fuente: López Jimeno (2003), Manual de perforación y voladura de rocas.*

*Figura N° 13. Método de construcción en sección completa de un pique.*

### 2.3.3.4 Número de taladros.

Para determinar el número de taladros requerido en un frente para una voladura subterránea depende del tipo de roca a volar, del grado de confinamiento, del grado de fragmentación que se desea obtener y del diámetro de las brocas de perforación

disponibles; factores que individualmente pueden obligar a ampliar o reducir la malla de perforación, por ende, aumentar o disminuir el número de taladros calculados teóricamente. Influyen también la clase de explosivo y el método de iniciación a emplear. (EXSA, 2009, págs. 187-188).

Se puede calcular el número de taladros en forma más precisa con la siguiente relación:

$$N^{\circ} \text{ tal} = \left( \frac{P}{dt} \right) + (c \times s)$$

Donde:

P : Perímetro o circunferencia de la sección del túnel (m), que se determina con la siguiente fórmula =  $4 \times \sqrt{A}$ .

dt : Distancia entre los taladros de la circunferencia.

s : Sección del túnel en  $m^2$ .

c : Coeficiente de roca.

**Cuadro N° 06.** Coeficientes para determinar los valores de “dt” y “c”.

Dureza de la roca	Distancia entre taladros (m)
Dura	0.50
Intermedia	0.60
Blanda o suave	0.70

Dureza de la roca	Coeficiente de roca (m)
Dura	2.00
Intermedia	1.50
Blanda o suave	1.00

**Fuente:** EXSA “Manual práctico de voladura”

### 2.3.3.5 Cálculo del Burden y Espaciamiento.

Para determinar el número de secciones (burden y espaciamiento) utilizamos la fórmula de la regla práctica según EXSA:

**Cuadro N° 07. Fórmulas para determinar burden y espaciamento.**

Sección del Corte	Valor del Burden	Valor del Espaciamento
Primera	$B1 = 1.7 \times D2$	$E1 = B1 \times \sqrt{2}$
Segunda	$B2 = B1 \times \sqrt{2}$	$E2 = 1.5 \times B2 \times \sqrt{2}$
Tercera	$B3 = 1.5 \times B2 \times \sqrt{2}$	$E3 = 1.5 \times B3 \times \sqrt{2}$
Cuarta	$B4 = 1.5 \times B3 \times \sqrt{2}$	$E4 = 1.5 \times B4 \times \sqrt{2}$

**Fuente:** EXSA “Manual práctico de voladura”

Donde:

B = Burden (m)

E = Espaciamento.

D2 = Diámetro del taladro de alivio.

### 2.3.3.6 Determinación de cantidad y la distribución de carga.

La determinación de cantidad de carga es de acuerdo a la dureza de la roca y las secciones de las diferentes labores, donde se determina el promedio en kg de explosivo utilizado por m<sup>3</sup> de roca movida para cada metro de avance, teniéndose la siguiente expresión:

$$Q_c = FC \times V$$

Donde:

Q<sub>c</sub> : Cantidad de carga explosiva por disparo.

FC : Factor de carga.

V : Volumen de material a mover por disparo

**Cuadro N° 08. Factor de carga con relación a la sección del túnel.**

Área del túnel en m <sup>2</sup>	Kilos de explosivos estimados por m <sup>3</sup> de roca		
	Dura	Intermedia	Blanda o suave
De 1 a 5	3.00 - 2.50	2.20 - 1.80	1.50 - 1.00
De 5 a 10	2.50 - 2.00	1.80 - 1.40	1.00 - 0.80
De 10 a 20	2.00 - 1.70	1.40 - 1.00	0.80 - 0.50
De 20 a 40	1.70 - 1.40	1.00	0.50 - 0.40

**Fuente:** EXSA “Manual práctico de voladura”

Normalmente la longitud de la columna explosiva varía de 1/2 a 2/3 de la longitud total del taladro con la carga concentrada al fondo.

Para garantizar la salida de arranque es adecuado cargar los taladros de arranque 1,3 a 1,6 veces el promedio calculado, las ayudas 1.1 veces y reducir equitativamente la carga en el resto de taladros. (EXSA, 2009, pág. 189).

#### **2.3.4 PIQUE MINERO.**

Son labores verticales que sirven de comunicación entre la mina subterránea y la superficie exterior, con el propósito de bajar o subir al personal, material, equipos, mineral y el desmonte. Se construye de arriba para abajo, por varios métodos como: banqueo, espiral y sección completa, con secciones que pueden ser de forma rectangular o circular, esto dependerá del diseño, con uno, dos o más compartimentos, por lo que cada sección puede ser:

- ✓ Para la jaula y su contrapeso.
- ✓ Para los baldes o Skips.
- ✓ Para tuberías de agua, aire, relleno.
- ✓ Para cables eléctricos.
- ✓ Para caminos.

##### **2.3.4.1 Tipos de Piques Mineros.**

###### **Piques Verticales.**

Es una labor que tiene una inclinación mayor a 45° y que puede usarse para el transporte del personal y extracción de mineral. Se puede plantear las siguientes opciones según la posición del pique respecto a la veta:

- ✓ Pique en el pendiente.
- ✓ Pique interceptando la veta.

###### **Piques Inclinados.**

Es una labor que tiene una inclinación menor a 45° (Ver figura N° 14), para la ejecución de un pique inclinado desde el inicio se deben considerarse en las decisiones tales como: ubicación, detalles respecto a la geología, geomecánica y topografía del terreno, costo, método de profundización, etc. Todo este detalle hace que el proyecto de

ejecución de un pique inclinado debe ser bien llevado en la parte de ingeniería. Según la posición del pique respecto a la veta se puede plantear las siguientes alternativas:

- ✓ Pique inclinado por la veta.
- ✓ Pique inclinado por la yacente.



*Fuente: Propia.*

**Figura N° 14.** Pique inclinado en la unidad minera San Juan de Arequipa.

#### **2.3.4.2 Estructura del pique inclinado.**

La estructura de un pique inclinado puede ser de acero o madera, la construcción del pique inclinado puede realizar de manera mecanizada o convencional, en ambos casos el macizo rocoso debe ser competente y no debe haber la presencia de la filtración de agua.

#### **2.3.4.3 Factores de diseño de un pique inclinado.**

La consideración de los factores de un diseño de un pique inclinado se toma para evitar los riesgos, entre los más importantes son:

- ✓ Factores económicos.

- ✓ Factores operacionales.
- ✓ Factores geológicos.
- ✓ Estabilidad del pique inclinado.
- ✓ Ubicación del pique inclinado.
- ✓ Profundización de los piques inclinados.

### **2.3.5 SISTEMA DE EXTRACCIÓN DEL PIQUE INCLINADO.**

#### **a) Extracción por un pique en mina.**

Es un método de extracción que iza el mineral y/o desmonte por medio de un pique, la carga se deposita en los carros mineros adecuados o skips y este es accionado por un winche eléctrico para ser izado. En la sección superior, tiene una estructura de descarga hacia una tolva de acumulamiento de mineral y/o desmonte.

#### **b) Componentes de un sistema de izaje.**

El sistema de izaje tiene los siguientes componentes (Llanque, 2008):

- ✓ Motor.
- ✓ Tambora.
- ✓ Cable.
- ✓ Jaula, skips o carros mineros.
- ✓ Poleas.
- ✓ Sistema de seguridad (frenos).
- ✓ Palancas de control.
- ✓ Estructura de desplazamiento o castillo.

#### **c) Parámetros considerados para el diseño del izaje.**

Para diseñar el sistema de izaje en una operación es necesario contar con la siguiente información:

- ✓ Plano preliminar de izaje.
- ✓ Inclinación del pique o inclinado.
- ✓ Peso neto de la carga.
- ✓ Peso del skip, jaulas y carros.
- ✓ Peso y dimensión del cable.



- ✓ Dimensión y peso efectivo del tambor.
- ✓ Velocidad de izaje.
- ✓ Tiempo de carga y descarga.
- ✓ Periodo de aceleración y desaceleración.
- ✓ Profundidad del pique o inclinado.
- ✓ Número de niveles de producción.

La mayor parte de estos parámetros son obvios, pero el ingeniero deberá determinar, si empleara un sistema de izaje con winche de tambora (Llanque, 2008).

**d) Tipos de izaje.**

En la actualidad se tiene dos tipos básicos de izaje: Con winche de tambora (el cual envuelve el cable a la tambora) y de fricción (el cable pasa encima de la rueda a lo largo del desarrollo de izaje. (Hartman & Britton, 1992).

**e) Winche de izaje.**

Es una maquinaria empleada con el fin de bajar o levantar la carga, material, equipos y personal en el interior de la mina; para ello en todo tiene que cumplir con los requisitos mínimos que exige la seguridad. Ver figura N° 15.



*Fuente: JSC equipos mineros.  
Figura N° 15. Winche de izaje con una sola tambora.*

### **Cable de izaje.**

Los cables de izaje pueden ser fabricados de alambre de acero o aluminio; dependerá del tipo de izaje en los winches; ya sea por enrollamiento o fricción los mismos que son colocados de manera ordenada para realizar el trabajo de izar el skip, jaulas o los carros mineros. Ver figura N° 16.



*Fuente: Propia.*

*Figura N° 16. Cable de izaje.*

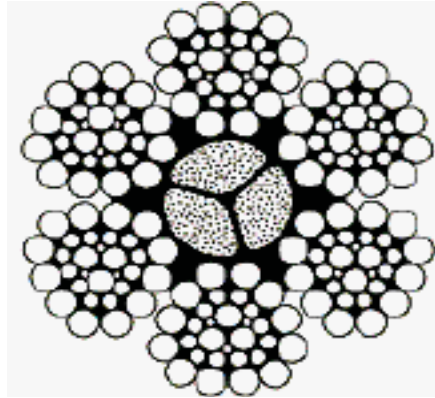
### **Tipos de cables de izaje.**

**Regular:** Los alambres del torón, están torcidos en dirección opuesta a la dirección de los torones del cable.

**Lang:** Los torones en un cable tipo Lang, están torcidos en la misma dirección (Lang derecho o Lang izquierdo).

### **Estructura de los cables de izaje.**

La estructura del cable de izaje son: El núcleo o alma y los torones o cordones, a continuación, se muestra en la siguiente imagen:



*Fuente: JSC equipos mineros.*  
**Figura N° 17. Estructura de un cable de acero.**

### **2.3.6 EVALUACIÓN ECONÓMICA.**

La evaluación económica de un proyecto se realiza con la finalidad de proveer un elemento cuantitativo para su respectiva toma de decisión de la viabilidad del proyecto, el cual comprende los siguientes aspectos:

- ✓ Aspectos técnicos.
- ✓ Aspectos económicos.
- ✓ Aspecto financiero.
- ✓ Riesgo de la inversión.

#### **2.3.6.1 Costos de operación (Opex).**

Son todos los bienes adquiridos por la empresa, también significa “Gasto Operativo”, por lo cual, se relaciona al costo con las operaciones y servicios. Los costos de operación se dividen en los siguientes:

- ✓ Costo mina.
- ✓ Costo planta.
- ✓ Costo transporte.
- ✓ Gastos generales y administrativos.

#### **2.3.6.2 Costos de inversión (Capex).**

También conocido como inversiones en bienes de capitales, los cuales son las que crean beneficios, el cual adiciona valor a un activo existente más allá de un periodo, los

cuales no pueden ser deducidos en el año en el cual son efectuados y deben ser capitalizados y se deprecian a lo largo de la vida útil del activo. Los costos de inversión pueden ser los siguientes:

- ✓ Avances de desarrollo.
- ✓ Exploraciones.
- ✓ Infraestructura.
- ✓ Equipamiento Minero.

### 2.3.6.3 Valor actual neto.

Este valor nos sirve si las inversiones son efectuables y poder realizar una comparación con otros tipos de proyectos. Se puede determinar con la siguiente expresión:

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t} = -I_0 + \frac{F_1}{(1+k)^1} + \frac{F_2}{(1+k)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1+k)^n}$$

Donde:

$F_t$  : Flujos de dinero en cada periodo t.

$I_0$  : Inversión realizada al momento inicial (t = 0).

n : Número de periodos de tiempo.

k : Tipo de descuento o tipo de interés exigido a la inversión.

- ✓ Si el  $VAN < 0$  indica que el proyecto generará pérdidas, por lo que deberá ser rechazado.
- ✓ Si el  $VAN = 0$  indica que el proyecto no generará pérdidas ni eneficios.
- ✓ Si el  $VAN > 0$  indica que el proyecto generará beneficios a la tasa de descuento elegida.

### 2.3.6.4 Tasa Interna de Retorno.

Es la tasa de interés o rentabilidad que ofrece una inversión, también denominado como el valor de la tasa de descuento que hace que el VAN sea igual a cero para un proyecto de inversión, hace igual a cero el flujo de fondos acumulado actualizado al final

de la vida del proyecto. Este indicador nos permite comparar qué tan rentable es un proyecto en comparación a otros.

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1 + TIR)^t} = -I_0 + \frac{F_1}{(1 + TIR)^1} + \frac{F_2}{(1 + TIR)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1 + TIR)^n}$$
$$= 0$$

La TIR que el indicador tiene dos criterios para aceptar o rechazar la propuesta de inversión.

- ✓ Si el TIR es mayor o igual que la tasa de interés el proyecto se aceptarse.
- ✓ Si el TIR es menor, que la tasa de interés el proyecto debe rechazarse.

### **2.3.6.5 Flujo de caja.**

Conocido también como: flujo de liquidez, flujo de efectivo o cash flow, es un informe financiero que muestra los flujos de ingresos y egresos de dinero en efectivo que ha tenido una empresa durante un periodo de tiempo determinado.

## **CAPÍTULO III**

### **ASPECTOS GENERALES**

#### **3.1 UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD.**

Geológicamente está ubicada en el flanco occidental de los andes del sur del Perú, metalogenéticamente en la franja aurífera Nazca-Ocoña, dentro del gran batolito de la costa del sur del Perú.

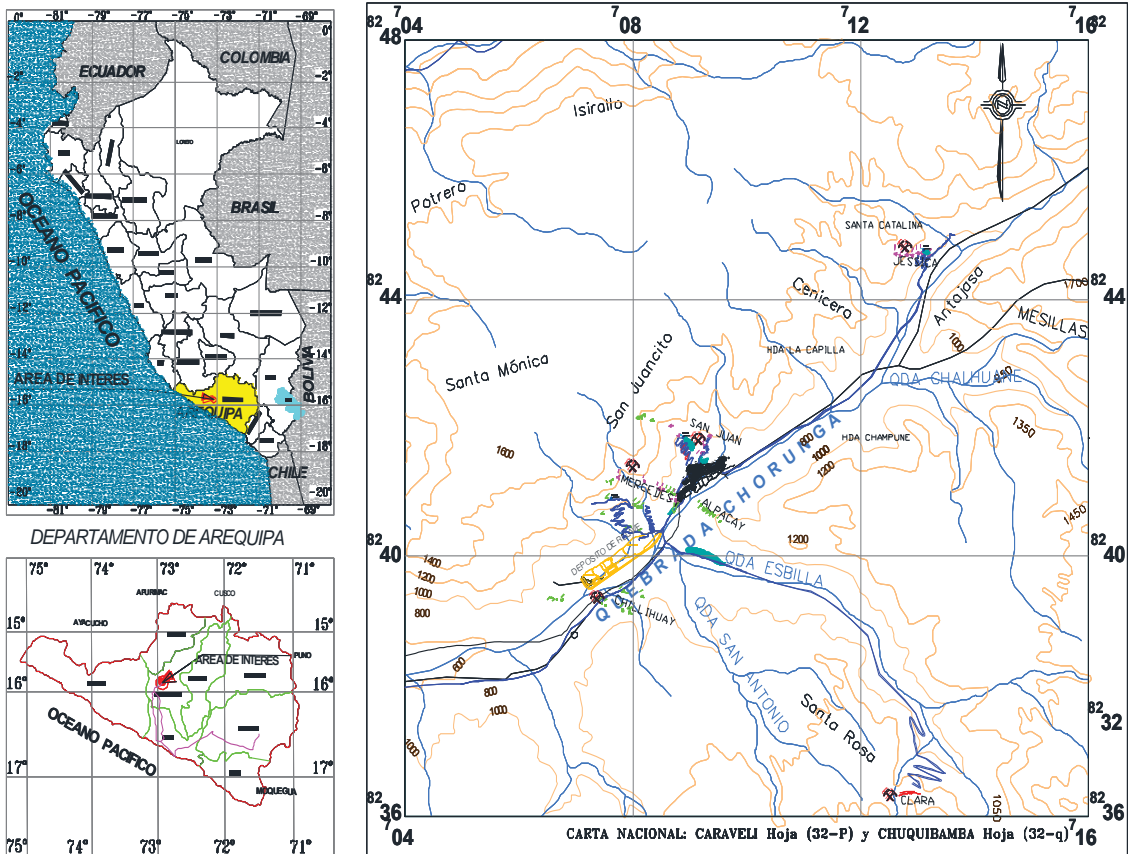
Políticamente está ubicada en la quebrada del valle San Juan de Chorunga, distrito de Rio Grande, provincia de Condesuyos, departamento de Arequipa, el campamento minero está a una altitud promedio de 731.85 m.s.n.m. Ver figuras N° 18 y 19.

#### **COORDENADAS:**

- ✓ **Coordenadas Geográficas**
  - Latitud : 15° 53' 47" S
  - Longitud : 73° 02' 43" W

✓ **Coordenadas UTM**

- Coordenada Norte : 8241017.95
- Coordenada Este : 709038.50
- Datum: PSAD 56, Zona 18, Banda L



**Fuente:** Área de geología, Century Mining Perú SAC  
**Figura N° 18.** Ubicación de la unidad minera San Juan de Arequipa.

La zona es accesible desde la ciudad de Arequipa mediante la carretera panamericana sur hasta el poblado de Ocoña, pasando previamente por la ciudad de Camaná; a partir de este lugar se prosigue siguiendo la carretera afirmada con dirección NW hasta llegar a la mina, el recorrido es de 330 km. El itinerario es el siguiente:

**Cuadro N° 09.** Ruta de acceso a la mina.

LOCALIDAD	DISTANCIA	TIPO DE VÍA	TIEMPO
Lima - Arequipa	1082 Km.	Aérea	1 horas
Arequipa - Ocoña	250 Km.	Carretera asfaltado	4 horas
Ocoña - Mina San Juan	80 Km.	Carretera afirmada	3 horas
Total	1412 Km.		8 horas

**Fuente:** Elaboración propia.



*Fuente: Propia.*

*Figura N° 19. Vista general del campamento minero San Juan de Chorunga.*

### **3.2 CLIMA Y VEGETACIÓN.**

El clima es semi cálido y per-árido, que es característico del clima sub-tropical costanero, cuyas características son las siguientes:

✓ **Temperatura.**

La temperatura durante el año es:

- Temperatura máxima : 25°C
- Temperatura mínima : 6°C

✓ **Precipitación.**

La variación de la precipitación durante el año es de la siguiente manera:

- Precipitación anual : 24 mm.
- Precipitación anual mínima : 3.6 mm.

✓ **Humedad relativa.**

La humedad relativa promedio mensual es: 75%.



✓ **Evaporación.**

- Evaporación mensual máxima : 141,4 mm.
- Evaporación mensual mínima : 107,9 mm.
- Evaporación promedio mensual : 123,2 mm.

## **VEGETACIÓN.**

La vegetación que se cuenta en el valle de San Juan de Chorunga, son muchas variedades de árboles frutales como son: higo, durazno, palta, guayaba, mango, ciruela, pera, uva, etc. Lo característico a este valle es su rico vino y pisco proveniente de la uva moscatel.

### **3.3 RECURSOS.**

#### **3.3.1 HUMANOS.**

El 10% de la población de San Juan de Chorunga se dedica a la agricultura y el 90% se dedica a la minería, de los cuales el 40% se dedican a la minería artesanal y el 60% trabaja para la compañía.

#### **3.3.2 NATURALES.**

##### **3.3.2.1 Hídricos.**

El recurso hídrico constituye el problema principal, debido al no contar en forma permanente, el río Chorunga no carga agua de forma constante, solo es de manera temporal durante los meses de enero a marzo, provenientes de las quebradas agua Blanca y la quebrada Chalhuane.

Los acuíferos existentes en la microcuenca de la quebrada de Chorunga varían a una profundidad de 10 a 20 metros, donde el origen es la infiltración y la saturación a lo largo y ancho del cause del valle, por las aguas temporales que discurren durante los meses lluviosos de enero a marzo. El caudal total aproximado es de 30 litros/seg de agua subterránea que se utiliza para el campamento y uso industrial.

### **3.3.2.2 Eléctricos.**

La energía eléctrica en la Unidad Minera San Juan de Arequipa es alimentada por la empresa SEAL y generada por los siguientes grupos electrógenos:

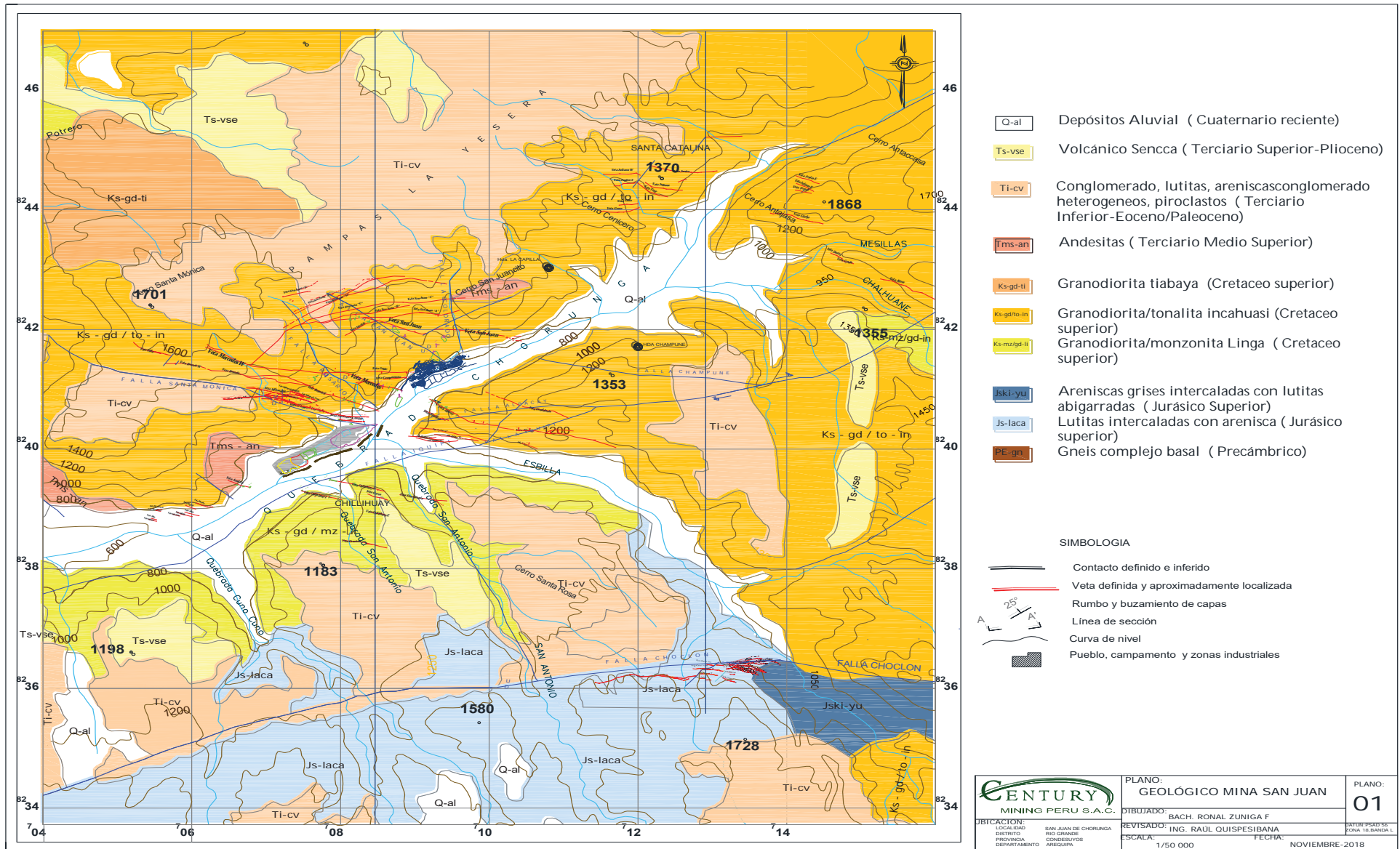
Se tiene un requerimiento de 2.0 megas o 2000 Kw de necesidad de energía eléctrica, nuestra generación eléctrica es de 2.25 megas la cual está cubierta actualmente con el reemplazo de 2 grupos Kato de proveedor Energía Peruana, este consumo se distribuye en 900 kw para mina, 600 kw para planta, 120 kw en acopio y 100 kw en campamento, teniendo un consumo promedio de 2000 Kw.

## **3.4 GEOLOGIA DEL YACIMIENTO.**

### **3.4.1 GEOLOGÍA REGIONAL.**

Las diferentes rocas desde las sedimentarias hasta las volcánicas muestran una geología compleja llena de una larga historia geológica que es probable que debió iniciarse con un proceso de sedimentación y acumulación de grandes paquetes de sedimento pertenecientes al grupo Yura, específicamente las formaciones Labra y Cachios estas formaciones se ubican en la parte SW del plano geológico regional, luego del proceso de sedimentación comienza un intenso magmatismo generando arcos de isla que van migrando al continente y van engrosando la corteza continental, está a la vez va acompañada de un proceso tectónico orogénico llamada fase hercínica que genera los primeros esfuerzos de compresión junto con este proceso se introduce en el continente un magmatismo calco alcalino de tipo plutónico generando cuerpos batolitos (batolito de la costa) con ligera dirección al eje andino.(Jorge A).

Después del ingreso de cuerpos batolitos, se genera una intensa actividad compresiva, distensiva que genera estructuras geológicas como las fallas y fracturas (falla Choclón, falla San Juan y falla Rosario) que luego son rellenadas por rocas hipo abisales (andesitas) con textura porfírica (Complejo Bella Unión) arrastrando mineralización hipo termal a meso termal que son depositadas en las zonas de baja presión es decir en zonas de espaciamiento favorables zonas de transtensión, el proceso termina con una sedimentación terciaria conformada por el grupo Moquegua y cubierta por productos volcánicos cuaternarios.



Fuente: Área de Geología, Century Mining Perú S.A.C. U.T.M. SAN JUAN DE AREQUIPA  
**Figura N° 20. Plano de geología regional**