

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL
CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y
METALÚRGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



**"DIMENSIONAMIENTO DE BANQUETAS Y RAMPA PARA LA ESTABILIDAD EN LA
EXPLOTACIÓN DE CANTERA KUKYS, SAN JERÓNIMO – ANDAHUAYLAS - APURIMAC "**

TESIS PRESENTADO POR:

Bach. MIJAEL MARTÍNEZ TORRES

PARA OPTAR AL TÍTULO
PROFESIONAL DE INGENIERO DE
MINAS

Asesor:

Ing° MÁXIMO MAYTA LINO

CUSCO – PERÚ
2019.

DEDICATORIA

A Dios, al universo, a la santísima virgen de Cocharcas por brindarme fuerza y esperanza, a mis padres y hermanos por su apoyo incondicional, a mi dama de acero por darme motivos para ser mejor cada día, a los docentes de la escuela profesional de Ingeniería de minas quienes guiaron mi tiempo como estudiante, a los muchachos del centro de investigación y transferencia de tecnología (CITT) quienes fortalecen mi determinación, y a todo el personal de la empresa KUKYS S.C.R.L. por su apoyo y enseñanza.

AGRADECIMIENTO

Expreso mi más sincero agradecimiento a mi madre Beatriz Torres Córdova, por su fe inamovible y amor incondicional, a mi padre don Froilán Martínez Gonzales por ser un ejemplo de trabajo y dedicación, a mis hermanos que son engranes importantes en mi vida.

Agradezco a todos los ingenieros que trascendieron sus conocimientos desde los primeros semestres de estudio, hasta la culminación de mi carrera universitaria, y fueron de apoyo trascendental para la ejecución del presente trabajo de investigación.

RESUMEN

La presente tesis tiene Como objetivo dimensionar las banquetas y rampa para la estabilidad en el proceso de explotación de una cantera, con el fin extraer agregado para suministro de la industria de la construcción, según la demanda del mercado, ubicado en el distrito de San Jerónimo.

Los agregados de la cantera Kukys, son rocas metamórficas originadas por la recristalización a altas temperaturas y presión, que afloran en los cerros de la formación Yura, batolito Andahuaylas- Yauri, se tomó como referencia la geología regional, local y económica. Asimismo, se determinó la reserva con una potencia de 229292.276 m³ (tabla N°4.01).

La cantera de agregados a explotarse está asentado en la ladera sur del cerro Sondor , en un ángulo aproximado de 18 ° con respecto a la horizontal, y una pendiente promedio de 40%, tiene una formación rocosa muy fragmentada, cuyos trozos oscilan entre 03 a 20 pulgadas de diámetro; ocasionadas por las acciones dinámicas; por otro lado la meteorización producida por las aguas pluviales, hace que el depósito de los materiales sea relativamente deleznable, produciendo la inestabilidad de los taludes y desprendimientos del material pétreo, cuando se realiza la explotación del material.

Según el perfil estratigráfico del lugar, La calidad de los agregados está representado por las propiedades mecánicas; con la instalación de una planta chancadora, se elimina los inconvenientes granulométricos y otras propiedades, asimismo los agregados poseen Buena resistencia al desgaste.

Con el diseño de explotación realizado se determinó el método a cielo abierto, aplicando para ello la explotación por faces de modo descendente en retirada, para lo cual se prevé

la construcción de la rampa (labor de preparación), se estima que la planta chancadora tendrá una capacidad de 60 m³ /H lo cual nos permite estimar la producción diaria de 480m³/ día y una vida útil de la cantera de 1 año y 4 meses trabajando a su máxima capacidad.

INTRODUCCIÓN

El aumento de la demanda en el sector de la construcción en el Valle del Chumbado provincial de Andahuaylas durante los últimos años ha generado un incremento en la extracción de materias primas; son las canteras de agregados aluviales asentados en los márgenes del río Chumbao, las preferidas para la obtención de material debido a su cercanía.

Estas actividades extractivas generan fuertes impactos lo que hace pensar que hay falta de control por parte de las autoridades ambientales, al revisar detalladamente todo el engranaje de la actividad extractiva, queda claro que tiene numerosos parámetros por cumplir, pero que por desgracia algunos de estos no se cumplen, dejando visibles cicatrices en el paisaje ciudadano. En tal sentido las municipalidades distritales y provinciales generan ordenanzas para erradicar la explotación de las canteras aluviales que operan en los márgenes del río Chumbo, motivo por el cual que esta actividad, migra a las canteras de peña ubicadas en las inmediaciones de la ciudad, estas canteras asentadas en los cerros se explotan sin contar con ningún tipo de plan de minado ni de estabilidad, El propósito de este estudio va encaminado a mejorar el conocimiento acerca de la estabilidad durante la explotación y el incremento del rendimiento de los equipos durante la explotación, dado que los agregados pétreos constituyen un insumo fundamental para la construcción y a su vez esta es una de las principales fuentes de crecimiento económico y por tanto de bienestar para la sociedad, es importante tener en cuenta que la eficiencia en la extracción de estos materiales y su costo tiene impactos importantes sobre las economías locales y regionales. Por sus efectos ambientales, la extracción de estos materiales es una actividad que puede generar rechazo, más aún cuando existe un precedente de explotaciones ilegales con efectos ambientales muy negativos.

La importancia del estudio es demostrar que mediante el dimensionamiento de banquetas y rampa durante la explotación de la cantera se podrá mejorar la estabilidad estructural.

El conjunto de labores que se llevan a cabo con la finalidad de explotar el material útil. En este caso hablamos de recuperar las rocas duras para clasificarlas y transformarlas en arena gruesa, piedra chancada y hormigón. El procedimiento para realizar la explotación queda definido por la aplicación de unos parámetros o criterios de diseño de la excavación, que permiten alcanzar las producciones programadas, de la forma más productiva posible y con las adecuadas condiciones de seguridad.

El principal problema que suponen las canteras de peña sobre el medio circundante es el corte por excavación que ocasiona eventos de derrumbes, y deslizamientos en el proceso de la explotación, a su vez los efectos de excavación de las canteras dejarán un talud que deberá ser estabilizado dando como resultado un perfil que se autosostenga durante la explotación y finalizado esta.

Las afecciones estructurales ligadas a la explotación de canteras de peña suponen una importante repercusión en la seguridad del personal que labora en esta. Los taludes y perfiles de explotación como resultado de la excavación producen terrenos con deficiencias estructurales lo que en la posteridad generará grandes derrumbes comprometiendo vidas e infraestructura.

Con el presente estudio se pretende determinar un procedimiento de explotación considerando el dimensionamiento de banquetas y rampa de explotación a su vez la distribución de equipos y estudio geomecánica apropiado, garantizando la estabilidad de la cantera durante su explotación y pos-explotación.

Logrando la estabilidad del talud de explotación y del talud final de la cantera realizando la excavación de forma masiva mediante el dimensionamiento de banquetas y rampa. Metodológicamente, se ha estructurado el tema de la investigación, en cinco capítulos.

En el primer capítulo, hace referencia a los aspectos metodológicos de la investigación, introducción al problema, objetivos, hipótesis y variables. comprende la metodología, tipo de investigación, población, muestra y desarrollo no experimental

El segundo capítulo, trata marco teórico, como es el caso del marco teórico referencial, el marco teórico conceptual, con el objetivo de describir conceptos que son necesarios y muy importantes para comprender la investigación

El tercer capítulo, trata los aspectos generales del yacimiento no metálico, comprende la ubicación, accesibilidad, climatología, flora y fauna, geología, y demás.

El cuarto capítulo, presenta el dimensionamiento de banquetas y rampa para la estabilidad en la explotación de la cantera, con sus respectivos cálculos justificativos

Finalmente, el quinto capítulo, presenta los resultados y análisis obtenidos del dimensionamiento de banquetas y rampas en la cantera, a su vez realiza un análisis económico referencial.

INDICE

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
RESUMEN	iv
INTRODUCCIÓN	vi
CAPITULO I	1
ASPECTOS METODOLÓGICOS DE LA INVESTIGACIÓN.	1
1.1. Situación Problemática.	1
1.2. Formulación del Problema.	3
1.2.1. Problema Principal.	4
1.2.2. Problemas Específicos.....	4
1.3. Justificación de la Investigación.	4
1.3.1. Justificación Práctica.....	5
1.3.2. Justificación Metodológica.	5
1.3.3. Justificación Social.....	5
1.4. Delimitación del Problema.	6
1.4.1. Espacial.	6
1.4.2. Temporal.	6
1.4.3. Conceptual.....	6
1.5. Objetivos de la Investigación.....	7
1.5.1. Objetivos Generales.	7
1.5.2. Objetivos Específicos.....	7
1.6. Formulación de la Hipótesis.	7
1.6.1. Hipótesis General.	7
1.6.2. Hipótesis Específicos.	7
1.7. Diseño Metodológico de la Investigación.....	8
1.7.1. Nivel de Estudio.	8
1.7.2. Tipo de Estudio.	8
1.7.3. Diseño de la Investigación.	9
1.7.4. Transeccional o Transversal.....	9
1.7.5. Descriptivos.....	9
1.7.6. Población.....	10
1.7.7. Muestra.....	10
1.7.1.1. Características de la Muestra.	11
1.7.8. Instrumentos de Recolección de Datos.	11

1.7.9.	Procedimiento de la Investigación.....	12
1.7.10.	Operacionalización de Variables e indicadores.....	13
CAPITULO II.....		16
MARCO TEÓRICO.....		16
2.1.	Marco Teórico Referencial.....	16
2.1.1.	Antecedentes Internacionales.....	16
2.1.2.	Antecedentes Nacionales.....	18
2.1.3.	Marco Legal.....	20
2.2.	Marco Teórico Conceptual.....	21
2.2.1.	Agregados.....	21
2.2.2.	Explotación de Canteras.....	21
2.2.2.1.	<i>Localización de la Cantera.....</i>	22
2.2.3.	Parámetros Técnicos para la Explotación de una Cantera de Agregados. ...	23
2.2.3.1.	<i>Parámetros Geométricos.....</i>	23
2.2.3.2.	<i>Parámetros de Material Extraíble.....</i>	23
2.2.3.3.	<i>Parámetros Ambientales.....</i>	24
2.2.3.4.	<i>Parámetros Geométricos Según la Excavación.....</i>	24
2.2.3.5.	<i>Definición de Banqueta.....</i>	25
2.1.1.	Estabilidad de Taludes.....	27
2.1.1.1.	<i>Definición de Talud.....</i>	28
2.1.1.2.	<i>Definición de Estabilidad.....</i>	30
2.1.1.3.	<i>Deslizamientos.....</i>	32
2.1.1.3.1.	<i>Deslizamientos Superficiales (Creep).....</i>	32
2.1.1.3.2.	<i>Movimiento del Cuerpo del Talud.....</i>	33
2.1.1.3.3.	<i>Falla Rotacional.....</i>	34
2.1.1.3.4.	<i>Falla Traslacional.....</i>	35
2.1.1.3.5.	<i>Flujos.....</i>	38
2.1.1.4.	<i>Clasificación y Descripción General de Fallas de Taludes y Deslizamientos.....</i>	39
2.1.1.4.1.	<i>Fallas de Taludes de Corte.....</i>	40
2.2.	Análisis de Estabilidad.....	43
2.2.1.	Método del Equilibrio Limite.....	45
2.2.2.	Parámetros Utilizados en los Análisis de Límite de Equilibrio.....	49
2.2.3.	Estabilidad a Corto y a Largo Plazo.....	52
2.2.4.	Modelo Matemático del Equilibrio Límite.....	53

2.2.4.1.	<i>Condiciones Idealizadas.</i>	53
2.2.4.2.	<i>Procedimiento de las Soluciones.</i>	54
2.3.	Diseño y Construcción de Taludes.	56
2.3.1.	Pendientes de Taludes de Corte.	57
2.3.1.1.	<i>Pendiente estándar de taludes.</i>	57
2.3.1.2.	<i>Forma de talud.</i>	58
2.3.1.3.	<i>Banquetas.</i>	59
2.4.	Dimensionamiento Geométrico de la Rampa de Explotación.	61
2.4.1.	Criterios Generales.	61
2.4.2.	Información General.	61
2.4.3.	Niveles de Estudios Preliminares.	62
2.4.4.	Clasificación por Demanda.	62
2.4.5.	Clasificación por Orografía.	64
2.4.6.	Vehículos de Diseño.	66
2.5.	Giro Mínimo de Vehículos Tipo.	70
2.6.	Dimensionamiento en Planta de las Curvas en la Rampa.	72
2.6.1.	Curvas Horizontales	73
2.6.1.1.	<i>Empalmes básicos. Descripción y cálculo de los elementos geométricos.</i>	73
2.6.1.2.	<i>Empalme circular simple.</i>	73
2.7.	Conceptos Básicos en el Diseño de Voladura.	74
2.7.1.	Parámetros de Voladura en Banquetas.	75
2.7.2.	Factores Geométricos.	76
2.7.3.	Factores Inherentes a La Roca.	77
2.7.4.	Factores Inherentes al Explosivo.	77
2.7.5.	Voladura de Banquetas.	78
2.7.6.	Influencia del Ángulo de Perforación en la Voladura.	83
2.7.7.	Fórmulas de Cálculo de Esquemas de Voladura en Banquetas	85
CAPITULO III		91
ASPECTOS GENERALES DEL YACIMIENTO NO METÁLICO		91
3.1.	Ubicación.	91
3.2.	Accesibilidad.	93
3.3.	Climatología.	94
3.3.1.	Clima.	94
3.4.	Flora y Fauna.	96

3.4.1. Flora	96
3.4.2. Fauna.....	97
3.5. Fisiografía y Topografía.....	98
3.6. Características Geológicas.....	100
3.6.1. Geología Regional.....	100
3.6.1.1. <i>Altas Mesetas</i>	100
3.6.1.2. <i>Cordillera Oriental</i>	102
3.6.1.3. <i>Los Valles</i>	103
3.6.2. Geología Local.....	104
3.6.2.1. <i>Estratigrafía</i>	104
3.6.2.2. <i>Jurásico Superior. Neocomiano : Grupo Yura – asentamiento de la cantera KUKYS</i>	104
3.6.2.2.1. <i>Litología</i>	105
3.6.3. Geología Estructural.....	106
3.6.3.1. <i>Tectónica De Fallas</i>	106
3.6.3.1.1. <i>La Falla de Abancay</i>	106
3.6.4. Geología Económica.....	108
3.6.4.1. <i>Yacimientos Metálicos</i>	108
3.6.4.2. <i>Yacimientos No-Metálicos</i>	109
3.6.4.2.1. <i>Yacimientos de Cuarzitas Cantera Kukys -Apurímac</i>	109
CAPITULO IV	111
DIMENSIONAMIENTO DE BANQUETAS Y RAMPAS PARA LA ESTABILIDAD EN LA EXPLOTACIÓN DE LA CANTERA KUKYS- APURÍMAC.	111
4.1. Cálculo del Potencial de la Cantera de Agregados Kukys.....	111
4.1.1. Localización de La Cantera.....	111
4.1.2. Cálculo de Reservas.....	112
4.2. Propiedades y Características de los Agregados.....	115
4.2.1. Granulometría del Agregado.....	115
4.3. Estudios Preliminares para el Dimensionamientos de Banquetas y Rampa para la Estabilidad en la Cantera De Agregados KUKYS Apurímac.....	116
4.3.1. Reconocimiento de campo.....	117
4.3.1.1. <i>Propósito y Procedimiento de los Reconocimientos</i>	117
4.3.1.2. <i>Reconocimiento Preliminar</i>	117
4.3.1.3. <i>Reconocimiento Principal</i>	118
4.3.1.3.1. <i>Reconocimiento de Cortes</i>	119

4.3.2.	Estudio Topográfico.....	122
4.3.3.	Estudio Hidrológico.....	123
4.3.4.	Estudio Geomecánico.....	124
4.4.	Definición de Fases de Explotación.....	126
4.5.	Dimensionamiento de Bloques de Explotación.....	127
4.5.1.	Dimensionamiento del Bloque de Explotación en Función del Equipo de Perforación y Voladura de Banquetas.....	127
4.5.1.1.	<i>Cálculo de la Piedra (B)</i>	128
4.5.1.2.	<i>Cálculo de Sobre Perforación (J)</i>	129
4.5.1.3.	<i>Cálculo de la Piedra Máxima (Bm)</i>	129
4.5.1.4.	<i>Cálculo del Distanciamiento</i>	130
4.5.1.5.	<i>Caculo de Longitud de Taco</i>	130
4.5.2.	Dimensionamiento del Bloque de Explotación en Función del Equipo Excavación.....	132
4.6.	Dimensionamiento de Banquetas y Talud Final.....	134
4.7.	Dimensionamiento de Rampa.....	135
4.7.1.	Cálculo de los Ejes de Curvatura para la Rampa.....	136
	CAPITULO V.....	139
	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	139
5.1.	Análisis de Estabilidad de Taludes por el Método de Equilibrio Limite.....	139
5.1.1.	Caculo del Esfuerzo Normal.....	140
5.1.2.	Cálculo del Esfuerzo Cortante que Actúa Sobre la Superficie de Falla.....	140
5.1.3.	Cálculo del Esfuerzo Cortante que Resiste el Deslizamiento.....	141
5.1.4.	Cálculo del Factor de Seguridad.....	141
5.2.	Análisis de Estabilidad de Taludes en la cantera kukys Apurimac - software Geoestudio de GEO SLOPE.....	142
5.2.1.	Cálculo de Factor de Seguridad y Resistencia Media La Corte.....	142
5.2.2.	Proceso de Análisis de Estabilidad de la Cantera KUKYS.....	144
5.3.	Análisis de Costos.....	147
5.3.1.	Costos de Inversión.....	147
5.3.2.	Costos de Producción.....	147
5.3.3.	Costo Total de Explotación de la Cantera.....	149
5.3.4.	Utilidad Referencial.....	149
	CONCLUSIONES.....	151
	RECOMENDACIONES.....	152
	BIBLIOGRAFÍA.....	153

ANEXOS	155
--------------	-----

INDICE DE TABLAS.

Tabla 2:Operacionalización de Variables Independientes.....	13
Tabla 3: Operacionalización Variables Dependientes.....	14
Tabla 4: Operacionalización de la Variable Z.....	15
Tabla 5: Inclinación Normal de Talud de Corte.....	58
Tabla 6: Datos de Vehículos de Diseño.....	69
Tabla 7: Trayectoria y Giro Mínima.....	71
Tabla 08: Trayectoria Mínima De Intersección.....	71
Tabla 9: Valores de la Constante K.....	87
Tabla 10: Factor de Corrección por Inclinación.....	90
Tabla 11: Factor de Corrección por Tipo de Roca.....	90
Tabla 12: Coordenadas UTM de la cantera Kukys.....	93
Tabla 13: Ubicación y Accesibilidad.....	94
Tabla 14: Calculo de Reservas en la Cantera Kukys.....	114
Tabla 15: Granulometría del Agregado de la Cantera KUKYS.....	116
Tabla 16: Reconocimiento Preliminar de la Cantera KUKYS.....	118
Tabla 17: Reconocimiento principal de corte en la cantera KUKYS.....	120
Tabla 18: Cuadro Topografico De La Cantera Kukys.....	122
Tabla 19: Tabla Geomecánica.....	124
Tabla 20: Información del Mapeo Geomecánica de la Cantera KUKYS.....	125
Tabla 21: Volúmenes de Fases de Explotación de la Cantera KUKYS.....	126
Tabla 22: Características técnicas del Equipo de Perforacion HQD 110 ^a	128
Tabla 23: Dimensionamiento de Perforación y Voladura- KUKYS.....	131
Tabla 24: Características de Equipo de Excavación.....	132
Tabla 25: Volúmenes de Explotación por Fase en Bloques de la Cantera KUKYS	133
Tabla 26; Dimensiones De Banqueta.....	134
Tabla 27: Dimensiones de Talud Final.....	135
Tabla 28: Características de Equipo de Acarreo.....	135
Tabla 29: Características de Rampa.....	136
Tabla 30: Datos de Análisis.....	139

Tabla 31: Resultados de Análisis.....	142
Tabla 32: Datos de Ingreso.....	143
Tabla 33: Resultados de Factor de Seguridad.	144
Tabla 34: Costos de Referencia de Inversión.....	147
Tabla 35: Costos de Producción - Cantera.....	148
Tabla 36: Costos de Referencia de Producción.....	149
Tabla 37: Costos de Referencia Total.....	149
Tabla 38: Utilidad de Referencia.....	150

INDICE DE FIGURAS.

Figura 1: Representación esquemática de la investigación transeccional.....	9
Figura 2: Representación esquemática de la investigación transeccional – descriptivo. 10	
Figura 3: Representación de la población que se extrae de la cantera.	10
Figura 4: Representación del Procedimiento de Investigación.	12
Figura 6: Parámetros que Definen la Geometría de un Talud.....	25
Figura 7: Nomenclatura de una Zona de Falla. (b) Distintos tipos de falla.....	35
Figura 8: Falla de Base.....	37
Figura 9: Falla Limitada por un Estrato Firme.....	37
Figura 10: Protección de Taludes.....	38
Figura 11: Bloque sobre plano inclinado a un ángulo ψ de la horizontal.....	46
Figura 12: Talud con superficie de falla plana a ψ grados de la horizontal.	47
Figura 13: Relación entre el esfuerzo cortante τ y esfuerzo normal σ	47
Figura 14: Esquema de una Grieta de Tensión para Análisis de Límite de Equilibrio. .	50
Figura 15: Condiciones del Terreno y Forma de Taludes.	59
Figura 16: Vehículo Pesado.....	68
Figura 17: Elementos del Empalme Circular Simple.....	74
Figura 18: Parámetros de Voladura de Banquetas.....	76
Figura 19: Representación de un Taladro.....	79
Figura 20: Dimensiones de un Taladro.....	80
Figura 21: Criterios para Dimensiones de un Taladro.....	83
Figura 22: Incidencia de la Inclinción de Taladros.....	84

Figura 24: Ubicación de la Zona de Proyecto con Respecto a la Ciudad de San Jerónimo.	92
Figura 25: Trazo de ruta a la cantera Kukys desde la ciudad de Andahuaylas.	93
Figura 26: Climograma Andahuaylas.....	95
Figura 27: Diagrama de temperatura Andahuaylas.	96
Figura 28: Representación del Polígono de Explotación KUKYS.....	112
Figura 29: Dimensiones de la Cantera KUKYS.....	115
Figura 30: Fases de Explotación de la Cantera Kukys	126
Figura 31: Máquina Perforadora Karex-HQD 110.....	127
Figura 32: Detalle de Voladura de la Cantera KUKYS.....	131
Figura 33: Ubicación de la Sección para el Análisis de Estabilidad.	143
Figura 34: Sección 1-1', Análisis de Estabilidad en Condiciones Actuales Estáticas FoS	145
Figura 35: Sección 1-1', Análisis de Estabilidad en Condiciones Actuales Pseudo Estáticas FoS.....	146

CAPITULO I

ASPECTOS METODOLÓGICOS DE LA INVESTIGACIÓN.

1.1. Situación Problemática.

La provincia de Andahuaylas en los últimos años ha tenido crecimiento de la industria constructiva, que ha generado grandes demandas de agregados pétreos para la elaboración de concreto, plataformas para el asentamiento de capas asfálticas y diversas aplicaciones en la ejecución de obras civiles, esta demanda se intensifica con la construcción de obras de infra estructura nacional como el asfaltado de la principales vías de comunicación, reservorios y canales de irrigación, construcción de infraestructura de servicios y demás , dicho crecimiento del consumo de agregados pétreos para la construcción genera la necesidad de explotar y procesar los materiales de las diversas canteras que existente en la localidad. Inicialmente se explotaban las canteras de agregados de origen aluvial asentadas en los márgenes del rio Chumbao, pero por normativas municipales de protección de los márgenes de este rio se erradica la explotación de estas canteras,

por tal motivo los productores de agregados pétreos intensifican la explotación de las canteras de peña, que se ubican en los flancos de los cerros que cumplen con las características técnicas y económicas para su explotación, la explotación de estas canteras se realiza sin contar con ningún tipo de plan de minado, o diseño de explotación, los métodos utilizados consistente en el avance horizontal del frente de explotación mediante la excavación , en la mayoría de los casos solo se realiza trabajos de excavación, puesto que las canteras explotadas presentan formaciones muy fracturadas y se elimina el proceso de voladura , con los avances horizontales se van incrementado la longitud vertical de los taludes de explotación lo que genera problemas de estabilidad en los frentes , derrumbes y deslizamientos , inseguridad para los trabajadores, deficiente posicionamiento de la maquinaria que opera en las canteras, ha esto se debe sumar las marcadas estaciones de lluvia que intensifican los problemas estructurales antes mencionados y por ende eleva los costos de producción de los agregados.

1.2. Formulación del Problema.

La principal dificultad que se encuentra al momento de realizar la explotación de los agregados de la cantera “KUKYS”, que se encuentra ubicado en el sector denominado Sondor, distrito de San Jerónimo Provincia de Andahuaylas Departamento de Apurímac, que está asentado en la ladera sur del cerro Sondor , en un ángulo aproximado de 18° con respecto a la horizontal, y una pendiente promedio de 40%, es que tiene una formación rocosa muy fragmentada, cuyos trozos oscilan entre 03 a 20 pulgadas de diámetro, ocasionadas por las acciones dinámicas; por otro lado la meteorización producida por las aguas pluviales, hace que el depósito de los materiales sea relativamente deleznable, produciendo la inestabilidad de los taludes y desprendimientos del material pétreo, cuando se realiza la explotación del material.

Por otra parte conforme se avanza horizontalmente con la explotación se incrementa considerablemente la longitud vertical entre la plataforma de explotación y la sima del perfil de explotación, mientras más se avance horizontalmente más grande será esta diferencia, se proyecta explotar esta cantera hasta que dicha diferencia alcance los 50 metros aproximadamente, esto a su vez generara fallas en todo el perfil de la cantera; lo que da origen a cifras no coherentes en factor de seguridad geomecánico y esto tiene incidencia en la explotación en forma de derrumbes y deslizamientos, ocasionando inseguridad en la explotación de la cantera, esto a su vez genera un posicionamiento inadecuado de la maquinaria lo cual hace que se reduzca su eficiencia y fallas en los taludes y rampas de explotación.

1.2.1. Problema Principal.

¿Cuál será el diseño de banquetas y rampa más adecuado para realizar la explotación de los agregados y mantener la estabilidad en la cantera Kukys?

1.2.2. Problemas Específicos.

1. ¿Cuál será el factor de seguridad geomecánico para la estabilidad en la explotación de la cantera de agregados Kukys?
2. ¿Cuáles serán las dimensiones de las banquetas y la rampa para la explotación de la cantera de agregados Kukys?
3. ¿Cuáles serán los costos unitarios de producción, el costo total de explotación y la utilidad neta de la cantera de agregados Kukys?

1.3. Justificación de la Investigación.

Como se conoce en la explotación de canteras de agregados se extraen cantidades considerables de material pétreo apto para su utilización en la industria de la construcción, durante el proceso de explotación de estos materiales se genera inestabilidad en los yacimientos, que por lo general se explotan sin contar con un plan de minado que garantice la estabilidad de taludes; en el caso específico de la cantera de agregados Kukys, se emplaza en una formación rocosa muy fractura, cuyos trozos oscilan entre 03 a 20 pulgadas de diámetro, , esta formación presenta reducida estabilidad estructural, a esto se le suma la inestabilidad generada por la explotación, que se incrementa porque esta cantera de agregados se clasifica como cantera de peña y que está asentado en la ladera sur del cerro Sondo, que presenta un ángulo aproximado de 18° con respecto a la horizontal, y una pendiente promedio de 40%, de tal manera que al avanzar horizontalmente los taludes

incrementan su dimensión vertical haciendo más ineficiente su auto sostenimiento, también debemos considerar las temporadas de lluvias que reducen el factor de seguridad geomecánico y a su vez podrían ocasionar eventos de derrumbes.

La propuesta técnica de solución de esta problemática implica dimensionar con exactitud las banquetas y rampa durante la explotación de la cantera de agregados Kukys, en base a un estudio geomecánico previo, que permita determinar el factor de seguridad geomecánica, que garantice la estabilidad de la explotación y la estabilidad del talud final en la cantera de agregados.

1.3.1. Justificación Práctica.

Con un dimensionamiento adecuado de las banquetas y rampa para la estabilidad en la explotación de la cantera de agregados se determina el factor de seguridad geomecánico que a su vez incide incrementando la productividad y satisfaciendo las necesidades del Mercado.

1.3.2. Justificación Metodológica.

Esta investigación estará basada en la aplicación, seguimiento de una serie de cálculos que nos permitirán realizar dimensionamientos adecuado de las banquetas y rampa para la estabilidad en la explotación de la cantera de agregados determinado el factor de seguridad geomecánico coherente con la finalidad de proponer un procedimiento de extracción eficiente.

1.3.3. Justificación Social.

La investigación aportará un procedimiento de extracción de agregados, que garantice la estabilidad de la cantera durante la explotación y posterior a esta, generándose una mediana industria para el procesamiento y posterior venta

de agregado de construcción, y obteniendo beneficios indirectamente los pobladores de la zona por la extracción por metro cubico de agregado.

1.4. Delimitación del Problema.

1.4.1. Espacial.

El presente trabajo de investigación se desarrollará en la provincia de Andahuaylas, Distrito de San Jerónimo, cerro Sondor.

1.4.2. Temporal.

Los diversos factores como precipitaciones y topografía influyen en la estabilidad de los materiales asentados en el flanco sur del cerro Sondor, así mismo estos factores influyen en el aumento de la acumulación del agua del nivel freático, en la extracción aumentado la posibilidad de derrumbes. La presente investigación se desarrollará y evaluará durante los meses de estiaje “temporada seca”.

1.4.3. Conceptual.

En cuanto al desarrollo de la investigación se realizará un levantamiento topográfico, estudio de calicatas para determinar la extensión, estudios geológicos para determinarlas características de material pétreo, estudios geomecánico, determinación de reservas y potencias, propiedades de los agregados, estudio de mercado y finalmente se hará el dimensionamiento de los banquetas y rampa para la estabilidad en explotación, definido las fases de explotación, seleccionando el método y equipos apropiado para la explotación de la cantera.

1.5. Objetivos de la Investigación.

1.5.1. Objetivos Generales.

Determinar el diseño más adecuado de las banquetas y rampa para realizar la explotación de los agregados y mantener la estabilidad en la cantera Kukys.

1.5.2. Objetivos Específicos.

1. Determinar el factor de seguridad geomecánico adecuado, para la estabilidad en la explotación de la cantera de agregados Kukys.
2. Determinar las dimensiones de las banquetas y rampas para la estabilidad durante la explotación de la cantera de agregos Kukys.
3. Determinar el costo unitario de producción de del agregado, los costos totales de explotación de la cantera y la utilidad neta.

1.6. Formulación de la Hipótesis.

1.6.1. Hipótesis General.

Mediante el dimensionamiento de banquetas y rampa se logra mantener estabilidad estructural durante el proceso de explotación de agregados de la cantera Kukys.

1.6.2. Hipótesis Específicos.

1. La determinación del factor de seguridad geomecánico que garantizara la estabilidad y seguridad en la explotación cantera Kukys.
2. La determinación de las dimensiones de las banquetas y rampa se obtendrán realizando múltiples dimensionamientos con ayuda de los

softwares Autocat Civil 3d de AUTODESK y múltiples simulaciones para cada trazo con el software Geoestudio de GEO SLOPE international.

3. Los costos unitarios de producción, deberán ser menores a los precios unitarios de venta, el costo total de explotación, deberá ser menor al monto total de venta, lo cual generará utilidades.

1.7. Diseño Metodológico de la Investigación.

1.7.1. Nivel de Estudio.

La elaboración de la presente investigación es de NIVEL DESCRIPTIVO, ya que el propósito del investigador es describir situaciones y eventos. Esto es, decir como es y se manifiesta determinado fenómeno, porque buscan especificar las propiedades importantes de un fenómeno que es sometido a análisis y miden o evalúan diversos aspectos, dimensiones o componentes del fenómeno a investigar (Hernández, Fernández y Baptista, 2010). De acuerdo a lo mencionado líneas arriba, esta investigación tiene como objeto dimensionar las banquetas y rampa para la estabilidad en la explotación de cantera de agregados Kukys del distrito de San Jerónimo, considerando los estudios previos como: Estudio Geológico, estudio geomecánica, y estudio hídrico.

1.7.2. Tipo de Estudio.

Por su finalidad de estudio el tipo de investigación es APLICADA, por la razón que en la unidad de análisis establecida se van a aplicar conocimientos obtenidos en las investigaciones básicas.

1.7.3. Diseño de la Investigación.

Por su finalidad de estudio y de acuerdo a las variables propuestas, objetivo general y específico, es de carácter NO EXPERIMENTAL, ya que no hay manipulación de las variables independientes (Hernández, Fernández y Baptista, 2010).

1.7.4. Transeccional o Transversal.

ya que se recolectan datos en un solo momento, en un tiempo único. Su propósito es describir variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado. Estos diseños se pueden esquematizar de la siguiente manera.

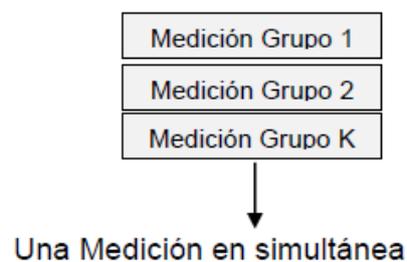


Figura 1: Representación esquemática de la investigación transeccional
Fuente: (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista, 2010)

A su vez los diseños transeccionales son de carácter DESCRIPTIVO, tienen como objetivo indagar la incidencia y los valores en que se manifiesta una o más variables. El diseño se esquematiza de la siguiente manera.

1.7.5. Descriptivos.

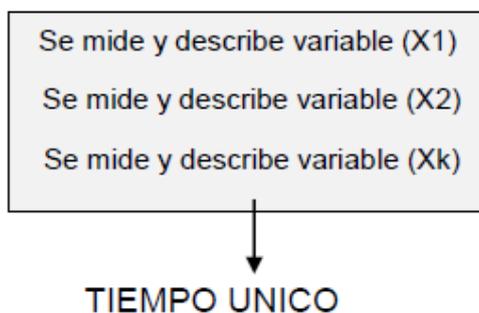


Figura 2: Representación esquemática de la investigación transeccional – descriptivo.

Fuente: (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista, 2010)

1.7.6. Población.

Población Agregados.

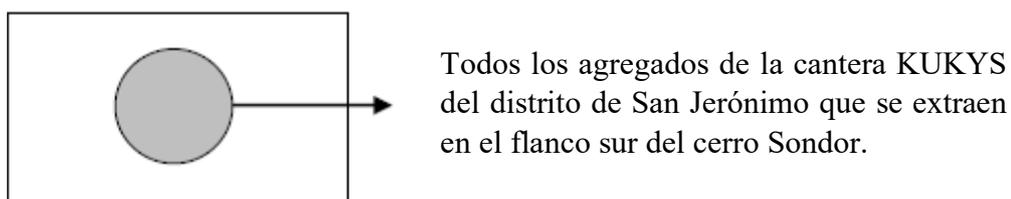


Figura 3: Representación de la población que se extrae de la cantera.

Fuente: (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista, 2010)

La población de la siguiente investigación son todos los agregados de la cantera Kukys del distrito de San Jerónimo, que se extraen en el flanco sur cerro Sondor, comprendido en la localidad de Sondor – Poltocsa.

1.7.7. Muestra

La muestra representativa que se contempla en esta investigación es la cantera en su totalidad, Las muestras son no probabilísticas, la elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino de las causas relacionadas con las características del investigador o del que hace la muestra, aquí el procedimiento depende del proceso de toma de decisiones de la persona.

1.7.1.1. *Características de la Muestra.*

El yacimiento donde se realiza la presente representación de la población, extrae la muestra de la cantera Kukys, que está emplazada en la formación Yura, constituido por cuarcitas de la edad cambriana, que es el material pétreo predominante en la cantera, por esta razón tomaremos las características de este material como patrón para los cálculos posteriores.

1.7.8. Instrumentos de Recolección de Datos.

Los instrumentos para la recolección de datos en la presente investigación son:

A. Para el estudio Geológico

- Carta Nacional
- Levantamientos topográficos

B. Para el estudio geomecánica

- tabla geomecánica
- levantamiento topográfico

C. Para la determinación de las propiedades de los agregados

- Extracción de muestras

D. Para el Dimensionamiento de banquetas y rampas

- Levantamiento topográfico
- Textos, metodologías de diseño

E. Para el Estudio de Mercado o Plan de Negocio

- cotizaciones.

1.7.9. Procedimiento de la Investigación.



Figura 4: Representación del Procedimiento de Investigación.

Fuente: (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista, 2010).

1.7.10. Operacionalización de Variables e indicadores

Tabla 1: Operacionalización de Variables Independientes.

Variables Independientes

<u>Variable</u>	<u>Definición Operacional</u>	<u>Dimensiones</u>	<u>Valor</u>	<u>Escala y Tipo</u>	<u>Técnica</u>	<u>Instrumento</u>
Cohesión del Material de la Cantera	Unión entre las moléculas de un cuerpo, debida a la fuerza de atracción molecular	tm/m ²	de cero (0) a (20)	cuantitativa y de razón	propiedad específica de cada material.	tablas de características físico mecánicas de materiales INCO
Ángulo de Fricción Interna del Material	máximo ángulo posible para la pendiente de un conjunto de material granular.	grados centesimal	de 0° a 90°	cuantitativa y de razón	propiedad específica de cada material.	tablas de características físico mecánicas de materiales INCO
Dimensiones de Equipos de Excavación y Acarreo	longitudes del largo, ancho, profundidad y de capacidad de los equipos	m., m ³ .		cuantitativa y de razón	propiedad específica de cada equipo.	manual de operación de cada equipo
Rock Quality Designation (R.Q.D)	porcentaje de recuperación de testigos de más de 10 cm de longitud (en su eje) sin tener en cuenta las roturas frescas del proceso de perforación respecto de la longitud total del sondeo	Porcentaje (%)	de cero (0) - a cien (100)	cuantitativa y de intervalo	Mapeo geomecánico	tablas geomecánicas GSI de Hoek-Brown, flexometro, pintura en spray, picota

Fuente: Fuente propia.

Tabla 2: Operacionalización Variables Dependientes.

<i>Variables Dependientes</i>						
<i>Variable</i>	<i>Definición Operacional</i>	<i>Dimensiones</i>	<i>Valor</i>	<i>Escala y Tipo</i>	<i>Técnica</i>	<i>Instrumento</i>
<i>Peso del Bloque a Estabilizar</i>	<i>Fuerza con que la Tierra atrae al bloque que será sujeto a evaluación, por acción de la gravedad.</i>	<i>tonelada (tm)</i>	<i>de cero (0) - a cien mil (100000)</i>	<i>cuantitativa y de intervalo</i>	<i>mapeo geomecánica.</i>	<i>cálculo en gabinete</i>
<i>Área de la Superficie de Falla</i>	<i>Superficie acotada, generada por el espejó de falla del bloque analizado</i>	<i>metros cuadrados (m2)</i>	<i>de cero (0) - a diez mil (10000)</i>	<i>cuantitativa y de intervalo</i>	<i>mapeo geomecánica.</i>	<i>calculo en gabinete</i>
<i>Ángulo de Falla</i>	<i>es el ángulo que se ha de genera entre la horizontal y la superficie de falla</i>	<i>grados centesimales</i>	<i>de cero (0) - veinte (20)</i>	<i>cuantitativa y de intervalo</i>	<i>mapeo geomecánica.</i>	<i>calculo en gabinete</i>
<i>Dimensiones de las Banquetas</i>	<i>medidas longitudinales que toman las partes que componen la banqueta</i>	<i>metros lineales(ml)</i>	<i>de cero (0) - a veinte (20)</i>	<i>cuantitativa y de razón</i>	<i>diseño en gabinete</i>	<i>aplicación de software Autocat Civil 3d de AUTODESK y Geoestudio de GEO SLOPE international</i>

Fuente: Fuente propia.

Tabla 3: Operacionalización de la Variable Z

<i>Variable Z</i>						
<i>Variable</i>	<i>Definición Operacional</i>	<i>Dimensiones</i>	<i>Valor</i>	<i>Escala y Tipo</i>	<i>Técnica</i>	<i>Instrumento</i>
<i>Coefficiente de seguridad (F):</i>	<i>capacidad en exceso que tiene el sistema por sobre sus requerimientos</i>	<i>adimensional</i>	<i>mayor a uno (1)</i>	<i>cuantitativa y de razón</i>	<i>cálculo en gabinete</i>	<i>aplicación de software Autocat Civil 3d de AUTODES K y Geoestudio de GEO SLOPE international</i>
<i>Talud final de operaciones</i>	<i>medidas que toman los componentes de las banquetas en el talud de cantera</i>	<i>metros lineales(ml)</i>	<i>de cero (0) - a sien (100)</i>	<i>cuantitativa y de razón</i>	<i>diseno en gabinete</i>	<i>aplicación de software Autocat Civil 3d de AUTODES K y Geoestudio de GEO SLOPE international</i>
<i>Resistencia media al corte</i>	<i>esfuerzos de comprensión y tensión que se aplican sobre los taludes</i>	<i>kp/cm2</i>	<i>de novecientos (900) a a cuatro mil doscientos (42000)</i>	<i>cuantitativa y de razón</i>	<i>calculo en gabinete</i>	<i>aplicación de software Autocat Civil 3d de AUTODES K y Geoestudio de GEO SLOPE international</i>

Fuente: Fuente propia.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO.

2.1. Marco Teórico Referencial.

2.1.1. Antecedentes Internacionales.

Autor María Isabel Ramírez Rojas, año 2008; lugar departamento de Antioquia, Colombia título de Tesis. “Sostenibilidad de la explotación de materiales de construcción en el valle de Aburrá”, Esta investigación aborda el tema de la sostenibilidad de la minería de materiales de construcción en el Valle de Aburra y se plantea desde las perspectivas: ambiental, económica y social.

El objetivo principal de este trabajo fue evaluar la sostenibilidad de la extracción de materiales de construcción para lo cual se planearon varios objetivos específicos basados en una estimación de las reservas mineras existentes en el Valle de Aburra, un estimativo de la demanda y tendencias de consumo de materiales de construcción lo anterior se usó para conocer los posibles años de agotamiento de los materiales de construcción en el mencionado Valle.

Conclusión: las actividades mineras en el Valle de Aburra se realizan bajo parámetros de insostenibilidad, dejando graves daños de difícil y costosa reparación, tanto en lo físico, como en lo económico y social. La insostenibilidad está relacionada con empresas mineras pequeñas, artesanales, con procesos poco tecnificados y con problemas de contratación de sus trabajadores, en muchos casos estas empresas se consolidan como empresas de subsistencia, las cuales tienen poca inversión en todos los procesos básicos de una mina.

De esta investigación se obtuvo que los escenarios de agotabilidad para las arenas están entre los años 2013 y 2027, y para los triturados y gravas el escenario de agotabilidad está entre el año 2011 y 2019. Por la cercanía de las fechas mencionadas el sector constructivo del Valle de Aburra se verá abocado a la búsqueda de nuevas fuentes un poco más lejos del Valle o la búsqueda de nuevas prácticas como el reciclaje o cambio de materiales.

Autor Ernesto Cruz, año 2006, lugar la zona norte del Departamento de Bolívar (Cartagena, Turbaco y zonas aledañas), artículo científico que aborda la falta de explotación y suministro de materiales pétreos que demanda el mercado debido al poco conocimiento de los trámites legales y los procesos técnicos necesarios para crear organizaciones aptas para este tipo de actividades.

Debido a que Cartagena se ha convertido en uno de los puertos más trascendentes del país y en un importante destino turístico de Colombia; su infraestructura marítima, vial y hotelera debe expandirse vertiginosamente por razones como las anteriormente nombradas y por la inminente puesta en funcionamiento del TLC (Tratado de Libre Comercio) con los

norteamericanos y otros acuerdos comerciales con otros países. Lo anterior trae como consecuencia la ampliación inmediata de los puertos que funcionan en la ciudad, de las vías y de la estructura hotelera, generando una gran demanda de materiales de construcción.

Autor Severiano Sánchez Romo -TRIVASA, año 1979; lugar Ciudad Valles San Luis Potosí por. Expediente técnico para la explotación y suministro de materiales pétreos al extinto Ferrocarriles Nacionales de México. Su primer banco de piedra estaba ubicado en El Abra, punto estratégico de la ciudad con conexión vial al puerto de Tampico, Veracruz. en 1990, TRIVASA obtuvo su primer contrato por licitación pública con la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) centro San Luis Potosí; iniciándose en la rama de la construcción de carreteras y vialidades.

2.1.2. Antecedentes Nacionales.

Autor Andrés Talavera Moltavan, año 2012; título de tesis. “Estudio de pre-factibilidad de una planta procesadora de agregados en el cauce del río Rímac para Lima Metropolitana y Callao”, En su proyecto resalta que en la capital el sector se verá dinamizado principalmente por las inversiones en proyectos inmobiliarios, comerciales y obras de desarrollo urbano que tendrán como consecuencia el incremento significativo de la demanda de agregados, ya que junto al cemento constituyen los elementos principales para la preparación del concreto.

Objetivo, optar por evaluar la viabilidad técnica, económica y financiera de una planta procesadora de agregados en el cauce del río Rímac que abastezca parte de la demanda proveniente Lima Metropolitana y Callao, teniendo en

cuanta el análisis estratégico, estudio de mercado, legal, organizacional y ambiental de la misma.

Conclusión, la realización de su proyecto busca contribuir con el desarrollo y modernización de la infraestructura de la ciudad, además de generar puestos de trabajo y mejorar el nivel de vida de los ciudadanos que harán uso de esta.

Autor Alfredo Ángel Aguedo Morales, año 2008; título de Tesis. “Problemática Medio Ambiental de las Canteras de materiales de Construcción en Lima”, Este trabajo consistió en efectuar un análisis técnico legal de las condiciones de trabajo de las canteras de materiales de construcción que se encuentran ubicadas dentro de la zona de expansión urbana dentro de los 22 distritos de la provincia de Lima de los cuales se ha considerado 13 distritos, en una primera instancia se ha determinado de los derechos mineros del departamento de lima que están explotando materiales de construcción, luego se ha determinado aquella que se encuentran en zonas de expansión urbana de acuerdo a la ordenanza municipal respectiva.

El segundo paso consistió en efectuar las inspecciones de campo para determinar las condiciones reales de como realizan las actividades de explotación, transporte y comercialización, así como el grado de cumplimiento de las normas de seguridad y sus compromisos ambientales según las normas legales vigentes. En el campo se determinó la existencia de canteras que trabajan en forma clandestina, sin tener derecho minero, en otros casos no tenían la autorización correspondiente, en algunos se verifico la existencia de botaderos de basura como la existencia de chancherías, cuyos animales se alimentaban de la basura que botaban en dicha zonas, o que efectuaban la explotación de los materiales sin criterio técnicos, ya que lo que

más prevalecía era explotar y comercializar al costo más bajo para obtener mayores ganancias sin importar la contaminación del medio ambiente por la generación de polvo que afecta a los centros poblados que rodeaban a dichas canteras con el consiguiente impacto a los pobladores en especial a los niños que les ocasionan enfermedades en las vías respiratorias, por ser los más sensible, esta problemática medio ambiental, se ha vuelto cada vez más crítica ante la posibilidad de encontrar una solución oportuna por ser de carácter legal. Cuyas normas demoran para ser aprobadas por el sector o sectores como Energía y Minas y los Consejos Municipales Distritales.

2.1.3. Marco Legal.

El desarrollo de la investigación se realizó considerando las siguientes normas legales con sus artículos para la explotación de los agregados.

- Ley N° 28221 “Ley que regula el derecho por extracción de materiales de las canteras y de los álveos o cauces de los ríos por las municipalidades” (Artículo 1° al 6°)-2014.
- Ley N° 27651 “Formalización de la Pequeña Minería y Minería Artesanal” (Artículo 1° Presentar la Declaración de Impacto Ambiental para proyectos de categoría I según la Evaluación Preliminar)-2014.
- Ley N° 27446 “Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental” (Todos los artículos)-2016.
- Ley N° 26821 “Ley Orgánica para el aprovechamiento de los Recursos Naturales”.
- D.S.-N°-085-2003-PCM “Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Ruido” (Artículo 4° al 11°)-2016.

- D.S-N°-074-2001-PCM “Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Aire” (Artículo 4° al 8°)-2016.

2.2. Marco Teórico Conceptual.

2.2.1. Agregados.

Se refiere a cualquier combinación de arena, grava o roca triturada en su estado natural o procesado. Son generalmente encontrados en ríos y valles, donde han sido depositados por la corriente de agua o yacimientos de rocas ígneas o metamórficas con condiciones especiales de calidad (Herrera Herbert, 2007).

2.2.2. Explotación de Canteras.

Es el conjunto de labores que se llevan a cabo con la finalidad de explotar el material útil. En este caso hablamos de recuperar las rocas duras para clasificarlas y transformarlas en arena, grava, ripio, molones, material de base y subbase, etc. (Herrera Herbert, 2007).

Se llama cantera a la fuente de aprovisionamiento de suelos y rocas necesarios para la construcción de una obra. Una cantera es una explotación minera, generalmente a cielo abierto en la que se obtienen rocas industriales, ornamentales o áridas. Dependiendo del tipo de material que se busque, puede ser de suelos, de rocas o mixtas (Herrera Herbert, 2007)

De acuerdo con los requisitos, se puede tener una selección de canteras o una mezcla del mismo considerando (Herrera Herbert, 2007).

Disponibilidad del material de donde debe considerarse no solo que haya cantidad suficiente, sino que tenga potencia o proporción suficiente del agregado requerido (Herrera Herbert, 2007).

Calidad de este de lo cual se puede hacer una estimación preliminar y visualmente in situ y se debe verificar mediante los ensayos de laboratorio que son fundamentales para aceptar o rechazar un agregado.

Cercanía de las obras a la cantera y acceso a la misma (medios de transporte) que influyen en el costo del proyecto y que determinan la elección de una entre varias canteras que tengan agregado similares.

Todos estos aspectos demandan no solamente de la inspección ocular y visita a la zona, sino del análisis de lo que se denomina calidad de los agregados, que se efectúa con los resultados de los ensayos realizados a los mismos en el laboratorio para saber las propiedades y las características que no son solo diversos, sino muchas de las cuales deben guardar relación entre sí. (Herrera Herbert, 2007).

2.2.2.1. Localización de la Cantera.

Los datos geológicos y medioambientales son la base de la realización de estudios previos e inventarios de agregados. Se tendrán en cuenta los espacios protegidos por razones ecológicas, vías de comunicación, suelo urbanizable, agrícola, impacto visual, etc. Así como las características geológicas, geotécnicas y tecnologías de los agregados de la zona seleccionada (Herrera Herbert, 2007, pág. 2).

Los trabajos de aproximación previa a un yacimiento de agregados naturales deben permitir definir los siguientes parámetros.

2.2.3. Parámetros Técnicos para la Explotación de una Cantera de Agregados.

2.2.3.1. Parámetros Geométricos.

Los estudios de selección de zonas deben comenzar siempre por el estudio y desarrollo de un mapa geológico. En zonas áridas y cobertura vegetal poco desarrollada, muchas veces puede ser suficiente con un reconocimiento geológico detallado para llegar a establecer las características del modelo con muy pocos reconocimientos complementarios (geofísica y sondeos, o incluso sin ellos), establecer el volumen explotable, la densidad de fracturación o diaclasado natural del material, familias de orientaciones preferentes de debilidad del macizo rocoso, comportamiento mecánico de las discontinuidades y fracturas (rozamiento, neoformación de minerales arcillosos, fracturas selladas, etc.), (Herrera Herbert, 2007).

2.2.3.2. Parámetros de Material Extraíble.

Constituyen el aspecto más determinante sobre el mayor o menor interés que puede tener un yacimiento de cara a su explotabilidad para fabricación de agregados en referencia a la calidad del material vendible, dado los requerimientos de calidad (Herrera Herbert, 2007).

Las características de los agregados dependen tanto de las propiedades intrínsecas del propio árido (composición mineralógica, grado de alteración, textura, forma, tamaño de grano, naturaleza del cemento de la

roca, porosidad, permeabilidad, absorción y retención de agua, tamaño y presencia de discontinuidades, etc.), como de su proceso de fabricación (granulometría, forma, limpieza del producto, etc.) (Herrera Herbert, 2007).

2.2.3.3. *Parámetros Ambientales.*

Estudio Medioambiental de Base. Este tipo de iniciativas no solamente se constituyen en una herramienta básica de una gestión medioambiental correcta, sino que son considerados modernamente como herramientas de competitividad (Herrera Herbert, 2007).

2.2.3.4. *Parámetros Geométricos Según la Excavación.*

Los parámetros geométricos principales que configuran el diseño de las excavaciones corresponden a los siguientes: (Herrera Herbert, 2007, pág. 7).

- Talud de trabajo: es el ángulo determinado por los pies de las banquetas entre los cuales se encuentra alguno de los tajos o plataformas de trabajo. Es, en consecuencia, una pendiente provisional de la excavación.
- Límites finales de la explotación: son aquellas situaciones espaciales hasta las que se realizan las excavaciones. El límite vertical determina el fondo final de la explotación y los límites laterales los taludes finales de la misma.
- Talud final de explotación: es el ángulo del talud estable delimitado por la horizontal y la línea que une el pie del banqueta inferior y la cabeza del superior

- Pistas rampas: son las estructuras viarias dentro de una explotación a través de las cuales se extraen los materiales, o se efectúan los movimientos de equipos y servicios entre diferentes puntos de la misma. Se caracterizan por su anchura, su pendiente y su perfil.
- Ángulo de reposo del material: es el talud máximo para el que es estable sin deslizar el material suelto que lo constituye y en condiciones de drenaje total, después de vertido.

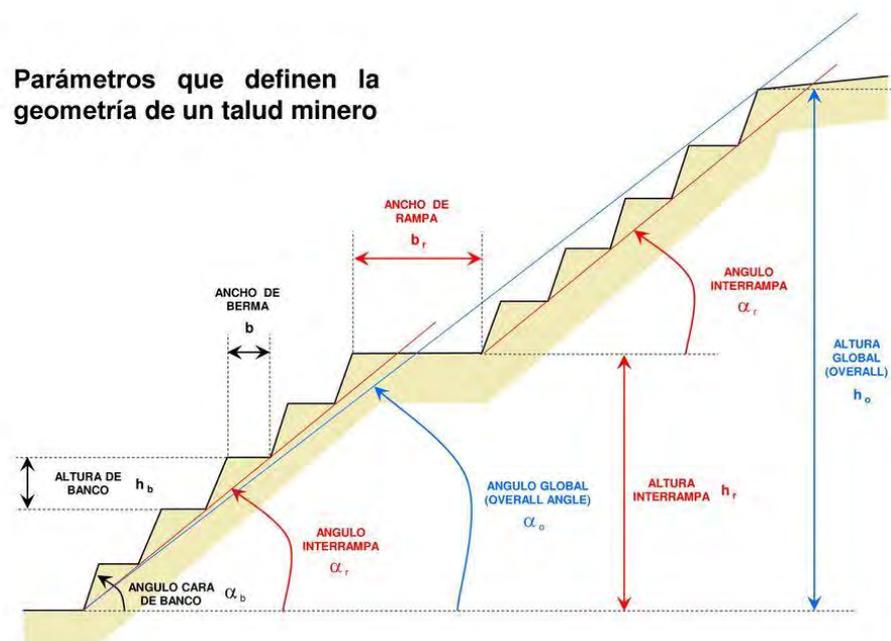


Figura 5: Parámetros que Definen la Geometría de un Talud

Fuente: (Herrera Herbert, 2007, pág. 8)

2.2.3.5. Definición de Banqueta

Para fines exclusivos de la presente investigación se define banqueta con el concepto ingenieril de Banco, que es el módulo o escalón comprendido entre dos niveles que constituyen la rebanada que se explota de estéril y/o mineral, y que es objeto de

excavación desde un punto del espacio hasta una posición final preestablecida, presentando los siguientes elementos

- **Altura de banqueta:** es la distancia vertical entre dos niveles o, lo que es hasta la parte más alta o cabeza del mismo.
- **Talud de banqueta:** es el ángulo delimitado entre la horizontal y la línea de máxima pendiente de la cara de la banqueta.
- **Bermas:** son aquellas plataformas horizontales existentes en los límites de la excavación sobre los taludes finales, que coadyuvan a mejorar la estabilidad de un talud y las condiciones de seguridad frente a deslizamientos o caídas de piedras.

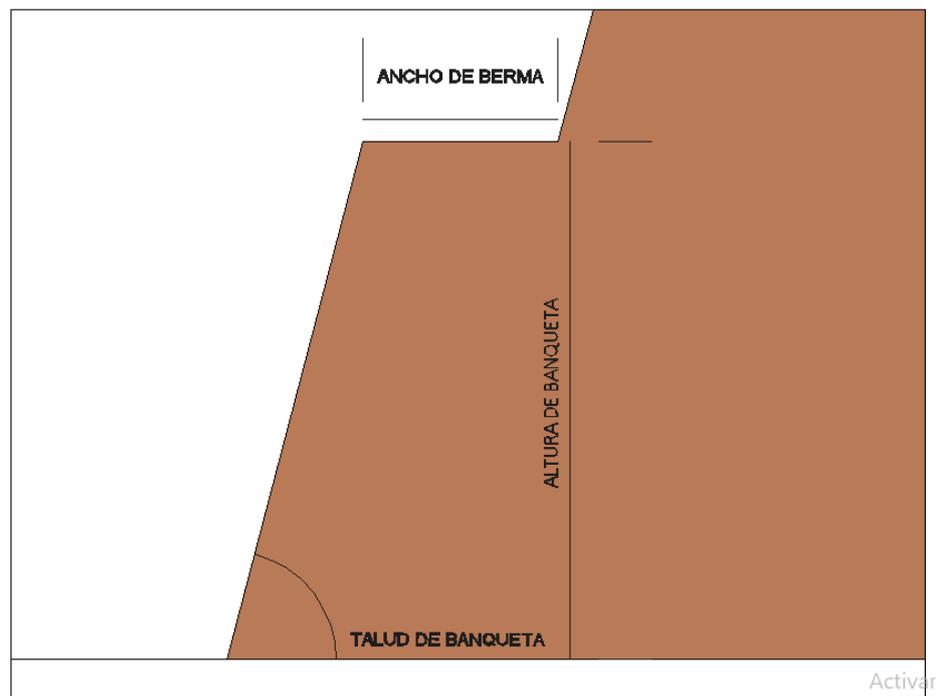


Figura 7: Elementos de una banqueta

Fuente: (Herrera Herbert, 2007, pág. 8)

2.1.1. Estabilidad de Taludes.

El moderno desarrollo de la explotación minera a tajo abierto, explotación de canteras, vías de comunicación, canales, caminos y ferrocarriles, así como el impulso de la construcción de presas de tierra, y el desenvolvimiento de obras de protección contra la acción de ríos han puesto al diseño y construcción de taludes en un plano de importancia ingenieril de primer orden.

Tanto por el aspecto de inversión, como por las consecuencias derivadas de su falla, los taludes constituyen hoy una de las estructuras ingenieriles que exigen mayor cuidado por parte del proyectista. Con la expansión de los canales, del ferrocarril y de las carreteras, provocaron los primeros intentos para realizar un estudio racional en este campo, pero no fue sino hasta el advenimiento de la Mecánica de los Suelos cuando fue posible aplicar al diseño de taludes normas y criterios.

Estas normas y criterios apuntan directamente a la durabilidad del talud, esto es a su estabilidad a lo largo del tiempo.

La estabilidad de los taludes en una explotación a cielo abierto no solamente es un aspecto de fundamental importancia, sino que es una de las claves de la viabilidad del proyecto, su seguridad y su rentabilidad. Es por ello que debe ser analizada desde las etapas iniciales del proyecto y ser comprobada y seguida con los datos obtenidos durante la explotación.

En líneas generales, los factores más importantes que afectan a la seguridad de las operaciones y cuyo estudio deben quedar perfectamente claro desde el principio de las operaciones, son:

- Caída o deslizamiento de materiales sueltos.
- Colapso parcial de una banqueteta.
- Colapso general del talud de la excavación.

Las recomendaciones para el control y eliminación de estos y otros riesgos pasan por la puesta en práctica de los estudios necesarios para definir y dimensionar las siguientes medidas: (Herrera Herbert, 2007).

- Diseño adecuado de banquetas y plataformas para retener los desprendimientos de materiales.
- Determinación y mantenimiento adecuado de taludes general en condiciones seguras.
- Control de voladuras en el perímetro de la excavación, de cara a reducir los daños en el macizo remanente.
- Aplicación de sistemas de drenaje efectivo para reducir los esfuerzos originados por el agua.
- Saneamiento sistemático y efectivo de materiales colgados.

2.1.1.1. Definición de Talud.

Se entiende por talud a cualquier superficie inclinada respecto de la horizontal que hayan de tomar permanentemente las estructuras de tierra. No hay duda que el talud constituye una estructura compleja de analizar debido a que en su estudio coinciden los problemas de mecánica de

suelos y de mecánica de rocas, sin olvidar el papel básico que la geología aplicada desempeña en la formulación de cualquier criterio aceptable.

Cuando el talud se produce en forma natural, sin intervención humana, se denomina ladera natural o simplemente ladera. Cuando los taludes son hechos por el hombre se denominan cortes o taludes artificiales, según sea la génesis de su formación; en el corte, se realiza una excavación en una formación térrea natural (desmontes), en tanto que los taludes artificiales son los lados inclinados de los terraplenes.

En ciertos trabajos de la Ingeniería de minas y civil es necesario utilizar el suelo en forma de talud como parte de la obra. Tal es el caso de frentes de explotación minera a tajo abierto, terraplenes de botaderos de desmonte, terraplenes en caminos viales, en presas de tierra canales, etc.; donde se requiere estudiar la estabilidad del talud. En ciertos casos la estabilidad juega un papel muy importante en la obra, condicionando la existencia de la misma como puede verse en presas de tierra, donde un mal cálculo puede hacer fracasar la obra.

El resultado del deslizamiento de un talud puede ser a menudo catastrófico, con la pérdida de considerables bienes y muchas vidas. Por otro lado, el costo de rebajar un talud para alcanzar mayor estabilidad suele ser muy grande. Es por esto que la estabilidad se debe asegurar, pero un talud llano en extremo sería antieconómico (Centro Peruano Japonés de investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres, 2010).

2.1.1.2. *Definición de Estabilidad.*

Se entiende por estabilidad a la seguridad de una masa de tierra contra la falla o movimiento. Como primera medida es necesario definir criterios de estabilidad de taludes, entendiéndose por tales algo tan simple como el poder decir en un instante dado cuál será la inclinación apropiada en un corte o en un terraplén; casi siempre la más apropiada será la más escarpada que se sostenga el tiempo necesario sin caerse. Este es el centro del problema y la razón de estudio. A diferentes inclinaciones del talud corresponden diferentes masas de material térreo por mover y por lo tanto diferentes costos. Podría imaginarse un caso en que por alguna razón el talud más conveniente fuese muy tendido y en tal caso no habría motivos para pensar en “problemas de estabilidad de taludes”, pero lo normal es que cualquier talud funcione satisfactoriamente desde todos los puntos de vista excepto el económico, de manera que las consideraciones de costo presiden la selección del idóneo, que resultará ser aquél al que corresponda la mínima masa de tierra movida, o lo que es lo mismo el talud más empinado.

Probablemente muchas de las dificultades asociadas en la actualidad a los problemas de estabilidad de taludes radican en que se involucra en tal denominación a demasiados temas diferentes, a veces radicalmente distintos, de manera que el estudio directo del problema sin diferenciar en forma clara tales variantes tiende a conducir a cierta confusión. Es indudable que en lo anterior está contenida la afirmación de que los taludes son estructuras muy complejas, que prestan muchos puntos de vista dignos de estudio y a través de los cuales la naturaleza se manifiesta

de formas diversas. Esto hará que su estudio sea siempre complicado, pero parece cierto también, que una parte de las dificultades presentes se debe a una falta de correcto deslinde de las diferentes variantes con que el problema de estabilidad se puede presentar y se debe afrontar.

Los problemas relacionados con la estabilidad de laderas naturales difieren radicalmente de los que se presentan en taludes construidos por el ingeniero. Dentro de éstos deben verse como esencialmente distintos los problemas de los cortes de laderas y los de los terraplenes. Las diferencias importantes radican, en primer lugar, en la naturaleza de los materiales involucrados y, en segundo, en todo un conjunto de circunstancias que dependen de cómo se formó el talud y de su historia geológica, de las condiciones climáticas que primaron a lo largo de tal historia y de la influencia del hombre que ejerce en la actualidad o haya ejercido en el pasado. Esta historia y génesis de formación de laderas y taludes, la historia de esfuerzos a que estuvieron sometidos y la influencia de condiciones climáticas o, en general, ambientales, definen aspectos tan importantes como configuración de los suelos y las rocas, o el flujo de las aguas subterráneas a través de los suelos que forman la ladera o el talud, el cual influye decisivamente en sus condiciones de estabilidad (Centro Peruano Japonés de investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres, 2010).

2.1.1.3. *Deslizamientos.*

Se denomina deslizamiento a la rotura y al desplazamiento del suelo situado debajo de un talud, que origina un movimiento hacia abajo y hacia fuera de toda la masa que participa del mismo.

Los deslizamientos pueden producirse de distintas maneras, es decir en forma lenta o rápida, con o sin provocación aparente, etc. Generalmente se producen como consecuencia de excavaciones o socavaciones en el pie del talud. Sin embargo existen otros casos donde la falla se produce por desintegración gradual de la estructura del suelo, aumento de las presiones intersticiales debido a filtraciones de agua, etc (Centro Peruano Japonés de investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres, 2010).

Los tipos de fallas más comunes en taludes son:

- Deslizamientos superficiales (creep)
- Movimiento del cuerpo del talud
- Flujos

2.1.1.3.1. *Deslizamientos Superficiales (Creep).*

Cualquier talud está sujeto a fuerzas naturales que tienden a hacer que las partículas y porciones de suelo próximas a su frontera deslicen hacia abajo. Se refiere esta falla al proceso más o menos continuo, y por lo general lento, de deslizamiento ladera abajo que se presenta en la zona superficial de algunas laderas naturales.

El creep suele involucrar a grandes áreas y el movimiento superficial se produce sin una Transición brusca entre la parte superficial móvil

y las masas inmóviles más profundas. No se puede hablar de una superficie de deslizamiento.

Existen dos clases de deslizamientos: el estacional, que afecta solo a la corteza superficial de la ladera que sufre la influencia de los cambios climáticos en forma de expansiones y contracciones térmicas o por humedecimiento y secado, y el masivo, que afecta a capas de tierra más profundas, no interesadas por los efectos ambientales y que, en consecuencia, solo se puede atribuir al efecto gravitacional. El primero en mayor o menor grado siempre existe, variando su intensidad según la época del año; en cambio el segundo los movimientos son prácticamente constantes.

El fenómeno es más intenso cerca de la superficie, la velocidad de movimiento ladera debajo de un creep típico puede ser muy baja y rara vez se excede la de algunos centímetros al año. El fenómeno se pone de manifiesto a los ojos del ingeniero cuando nota que los árboles y postes están inclinados respecto de la vertical, cuando se evidencian agrietamientos o escalonamientos en el talud (Centro Peruano Japonés de investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres, 2010).

2.1.1.3.2. Movimiento del Cuerpo del Talud.

Puede ocurrir en taludes movimientos bruscos que afecten a masas considerable de suelo, con superficies de falla que penetran profundamente en su cuerpo, interesando o no al terreno de fundación. Se considera que la superficie de falla se forma cuando

en la zona de su futuro desarrollo actúan esfuerzos cortantes que sobrepasan la Resistencia al corte del material; a consecuencia de ello sobreviene la ruptura del mismo, con la formación de una superficie de deslizamiento a lo largo de la cual se produce la falla.

Estos fenómenos se los denomina “deslizamientos de tierras” y puede estudiarse dos tipos bien diferenciados, expuestos a continuación (Centro Peruano Japonés de investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres, 2010).

2.1.1.3.3. Falla Rotacional.

En el primer lugar se define una superficie de falla curva, a lo largo de la cual ocurre el movimiento del talud. Esta superficie forma una traza con el plano del papel que puede asimilarse, por facilidad y sin mayor error a una circunferencia, aunque pueden existir formas algo diferentes, en la que por lo general influye la secuencia geológica local, el perfil estratigráfico y la naturaleza de los materiales. Estas fallas son llamadas de rotación.

Este tipo de fallas ocurren por lo común en materiales arcillosos homogéneos o en suelos cuyo comportamiento mecánico esté regido básicamente por su fracción arcillosa. En general afectan a zonas relativamente profundas del talud, siendo esta profundidad mayor cuanto mayor sea la pendiente.

Las fallas por rotación se denominan según donde pasa el extremo de la masa que rota. Puede presentarse pasando la superficie de falla por el cuerpo del talud (falla local), por el pie, o adelante del mismo

afectando al terreno en que el talud se apoya (falla en la base). Cabe señalar que la superficie de este último tipo de falla puede profundizarse hasta llegar a un estrato más resistente o más firme de donde se encuentra el talud, provocando en este punto un límite en la superficie de falla (Centro Peruano Japonés de investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres, 2010).

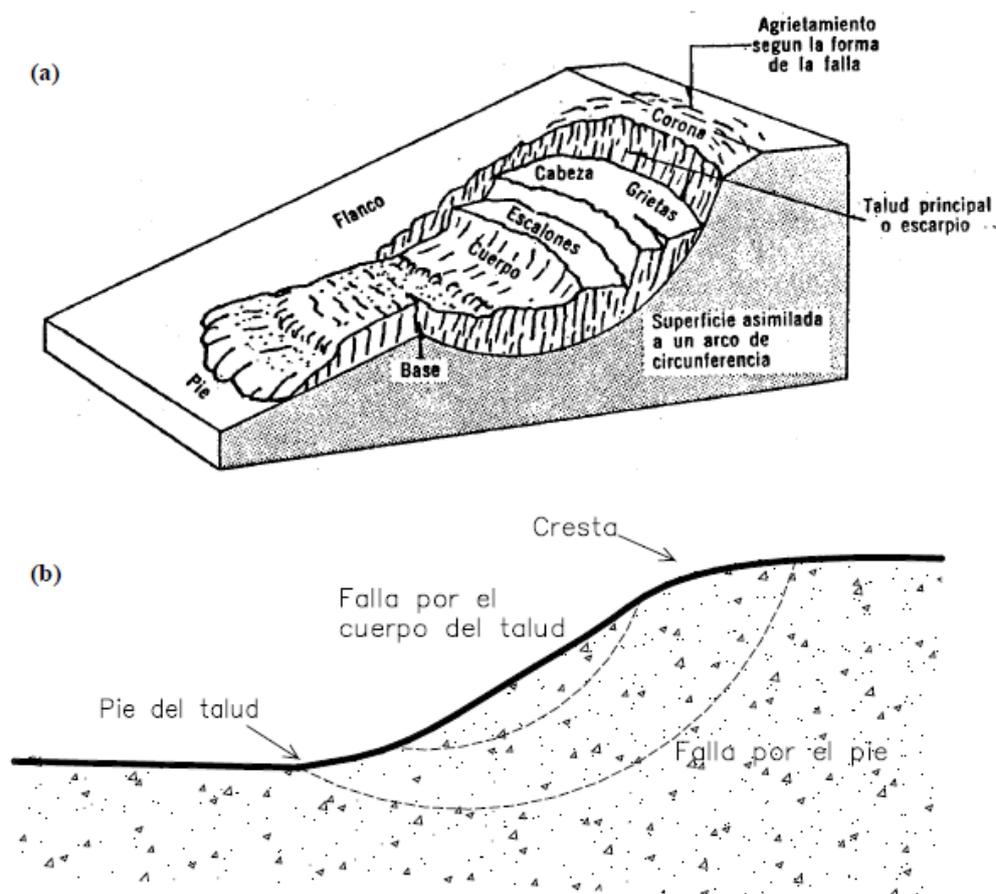


Figura 6: Nomenclatura de una Zona de Falla. (b) Distintos tipos de falla.

Fuente: (Centro Peruano Japonés de investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres, 2010)

2.1.1.3.4. Falla Traslacional.

Estas fallas por lo general consisten en movimientos traslacionales importantes del cuerpo del talud sobre superficies de falla

básicamente planas, asociadas a la presencia de estratos poco resistentes localizados a poca profundidad del talud. La superficie de falla se desarrolla en forma paralela al estrato débil y se remata en sus extremos con superficies curvas que llegan al exterior formando agrietamientos.

Los estratos débiles que favorecen estas fallas son por lo común de arcillas blandas o de arenas finas o limos no plásticos sueltos. Con mucha frecuencia, la debilidad del estrato está ligada a elevadas presiones de poro en el agua contenida en las arcillas o a fenómenos de elevación de presión de agua en estratos de arena (acuíferos). En este sentido, las fallas pueden estar ligadas también al calendario de las temporadas de lluvias de la región. Las fallas del material en bloque, muchas veces están asociadas a discontinuidades y fracturas de los materiales que forman un corte o una ladera natural, siempre en añadidura al efecto del estrato débil subyacente. Las fallas de una franja superficial son típicas de laderas naturales formadas por materiales arcillosos, producto de la meteorización de las formaciones originales. Se suelen provocar por el efecto de la sobrecarga impuesta por un terraplén construido sobre la ladera. En estas fallas el movimiento ocurre casi sin distorsión.

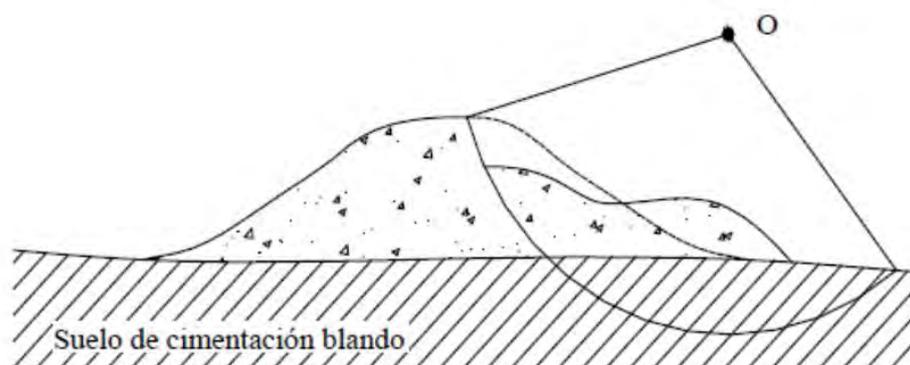


Figura 7: Falla de Base.

Fuente: (Centro Peruano Japonés de investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres, 2010)

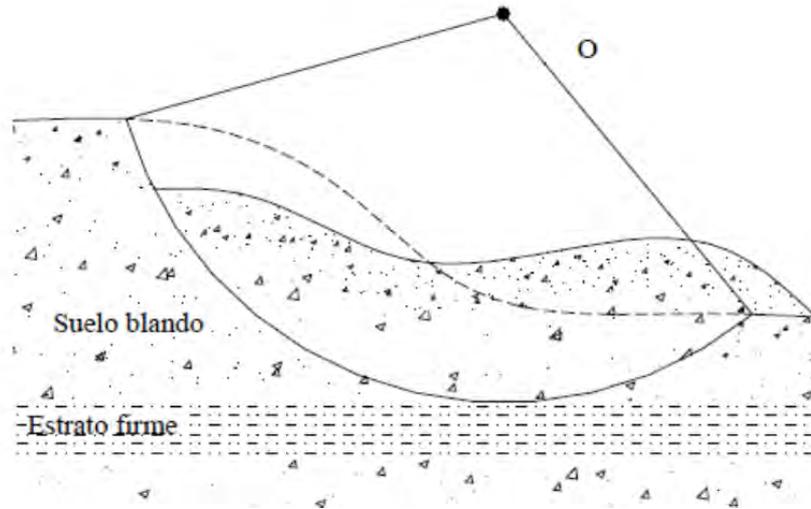


Figura 8: Falla Limitada por un Estrato Firme.

Fuente: (Centro Peruano Japonés de investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres, 2010)

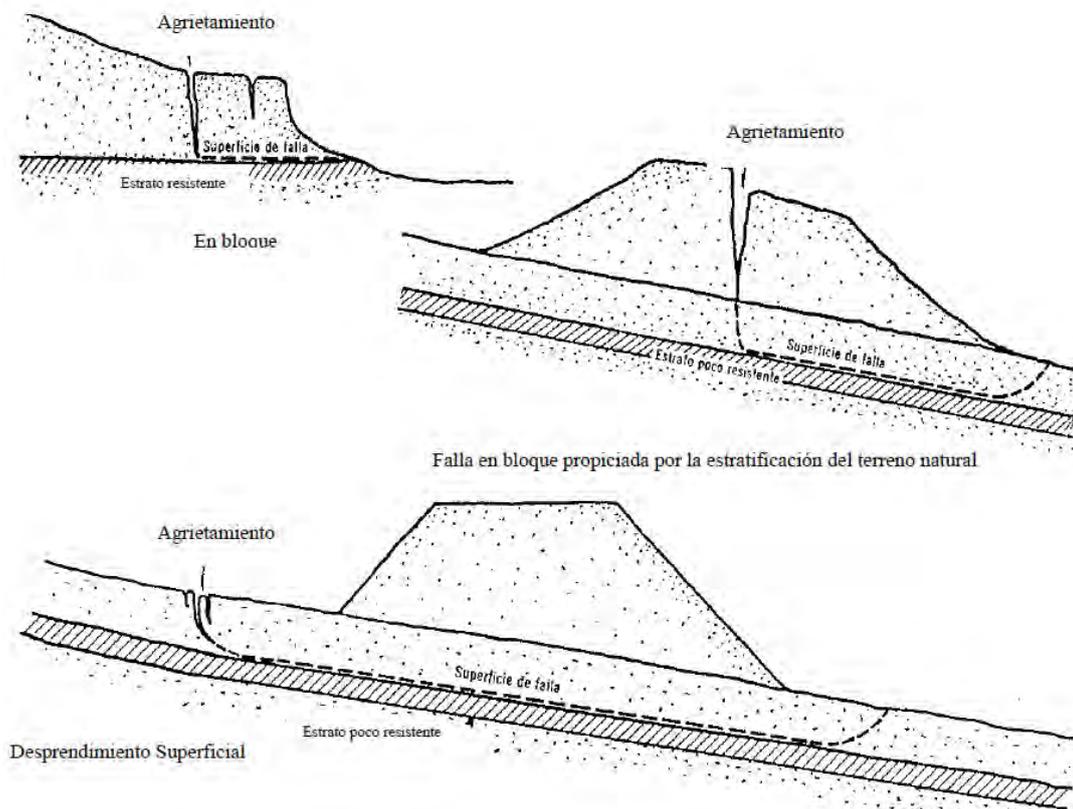


Figura 9: Protección de Taludes

Fuente: (Centro Peruano Japonés de investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres, 2010)

2.1.1.3.5. Flujos.

Se refiere este tipo de falla a movimientos más o menos rápidos de una parte de la ladera natural, de tal manera que el movimiento en sí y la distribución aparente de velocidades y desplazamientos se asemeja al comportamiento de un líquido viscoso.

La superficie de deslizamiento no es distinguible o se desarrolla durante un lapso relativamente breve. Es también frecuente que la zona de contacto entre la parte móvil y las masas fijas de la ladera sea una zona de flujo plástico. El material susceptible de fluir puede ser cualquier formación no consolidada, y así el fenómeno puede presentarse en fragmentos de roca, depósitos de talud, suelos granulares finos o arcillas francas; también son frecuentes los flujos en lodo. El flujo en materiales relativamente secos comprende en primer lugar a los fragmentos de roca, desde los muy rápidos (avalancha) hasta los que ocurren lentamente. Afecta a grandes masas de fragmentos y suelen ser de catastróficas consecuencias. En segundo lugar, se puede encontrar deslizamientos producidos por la licuación de la estructura de los loess, asociado muchas veces a temblores.

Los flujos de tierra (materiales no demasiados húmedos) generalmente ocurren al pie de los deslizamientos del tipo rotacional en el cuerpo del talud. Por lo común estos deslizamientos retienen a

la vegetación original, así como la estratigrafía y aspecto general de la formación en la que ocurrió el deslizamiento.

Los flujos de tierra de suelos granulares finos son típicos de formaciones costeras y se asocian generalmente a la erosión marina y a fluctuaciones repetidas de la presión de poros debido a la ascenso y descenso del nivel de agua con las mareas. Se originan con procesos análogos a la licuación. En los flujos de lodo, el deslizamiento ocurre en materiales finos con muy alto contenido de agua. La forma típica del deslizamiento es análoga al avance de un glaciar y la velocidad de desplazamiento puede variar desde unos pocos centímetros por año hasta la correspondiente a deslizamientos catastróficos. En los flujos lentos es común que en la velocidad del movimiento influyan las variaciones estacionales del clima, en tanto que los flujos rápidos suelen seguir épocas de violenta precipitación pluvial. Los flujos de lodo muy rápidos se presentan muchas veces en laderas de las que se ha removido la cobertura vegetal por alguna razón comenzando en muy modestas proporciones y creciendo rápidamente transportando el suelo sobre el que pasa, formándose auténticos ríos de lodo (Centro Peruano Japonés de investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres, 2010).

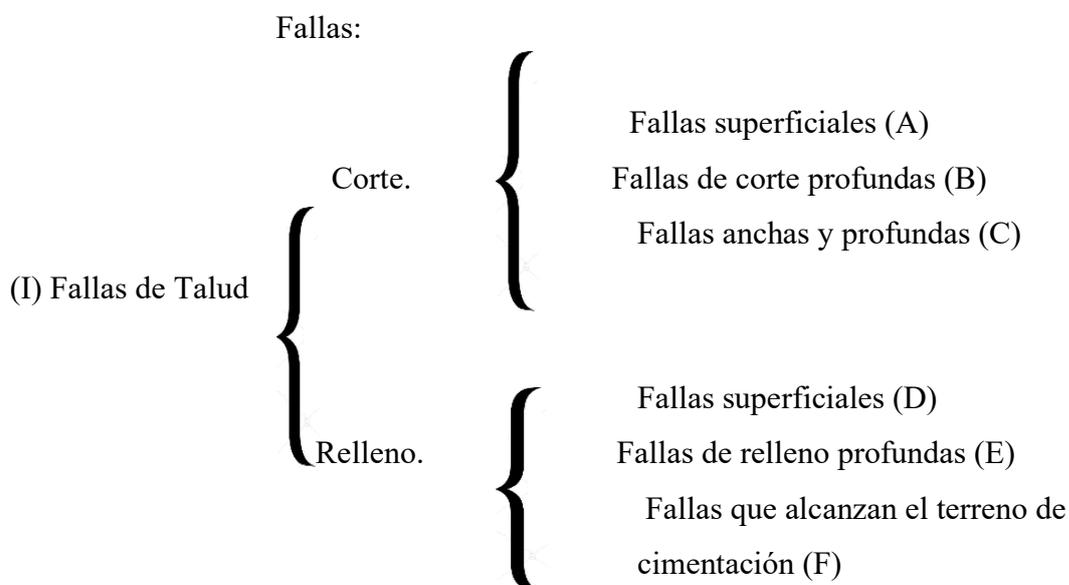
2.1.1.4. Clasificación y Descripción General de Fallas de Taludes y Deslizamientos.

Los estados anormales de taludes pueden dividirse en deslizamientos y fallas. Sin embargo, éstos no pueden definirse claramente, existiendo

muchos estados intermedios que no pueden distinguirse entre ambos. Debido a esto, son llamados algunas veces fallas tipo deslizamiento o deslizamientos tipo falla. Sin embargo, solamente se considerarán aquí casos típicos, clasificando estas fallas desde el punto de vista de las formas de la falla, ya que éstas tienden a ocurrir súbitamente en taludes relativamente empinados y su relación con la geología no es significativa, en comparación con los deslizamientos. Por otro lado, los deslizamientos se clasifican bajo el punto de vista de la topografía, geología o forma de movimiento, pero se toman en cuenta especialmente las propiedades de las masas deslizantes con el objeto de seleccionar reconocimientos adecuados y medidas de protección (Centro Peruano Japonés de investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres, 2010).

2.1.1.4.1. Fallas de Taludes de Corte.

Las fallas de talud se pueden clasificar en los siguientes tipos:



(II) Fallas de Talud (fallas profundas, caídas superficiales, caídas de roca en taludes naturales).

Es difícil distinguir claramente entre fallas de corte profundas (B), de fallas de talud (II) y fallas anchas y profundas (C), de deslizamientos, ya que los deslizamientos y las fallas del talud son a menudo inducidos por el trabajo de corte.

También, los taludes de relleno colapsan frecuentemente cuando el relleno se realiza en las cabezas de los antiguos deslizamientos, pero estas fallas se consideran normalmente como deslizamientos, en lugar de fallas de talud de relleno que alcanzan el terreno de cimentación (F). (1) Fallas de Talud de Corte

- Fallas Superficiales (A)

Cuando se forman los taludes de corte con sedimentos fácilmente erosionables, arena no cohesiva, o ceniza volcánica o arena, los taludes colapsan localmente por agua superficial o agua de infiltración. Las fallas de talud ocurren fácilmente donde el granito está descompuesto por intemperismo.

Cuando se va a excavar rocas considerablemente fracturadas, rocas con fisuras o rocas fácilmente intemperizables, ocurren algunas veces caídas parciales del talud debido a la vibración durante las obras, remoción de carga por corte, o por subsecuente intemperismo (Centro Peruano Japonés de investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres, 2010).

- Fallas de Corte Profundas (B)

Los taludes de corte colapsan a menudo en partes a considerable profundidad en el talud, donde los planos de estratificación o juntas corren regularmente en la dirección del talud en capas alternadas de esquisto cristalino, arenisca o lutita, y donde las fallas acompañan zonas fracturadas, y fisuras grandes o venas se localizan en el medio de taludes de corte y buzan hacia el talud. Una falla de talud a gran escala puede ocurrir en muchos casos cuando se excava el terreno que está cubierto en un gran espesor por sedimentos tipo cono de talud.

Algunas veces también caen sedimentos a lo largo de la roca basal en áreas donde se excava la arcilla que se ha desarrollado a lo largo de fisuras.

Las señales de estas fallas no pueden distinguirse fácilmente, ocurriendo repentinamente en muchos casos, y resultando en desastres y pérdida de vidas.

- Fallas Anchas y Profundas (C)

Fallas de talud profundas o deslizamientos a gran escala pueden ocurrir en un amplio rango de taludes si consisten de zonas de falla fracturada, tufo considerablemente transformado o limolita o lodolita semi-solidificada. También pueden ocurrir fallas de deslizamiento a gran escala con la excavación, debido a la elevación del nivel freático del terreno después de lluvia en terreno diluvial,

que consiste en capas alternadas de suelo arcilloso y limoso buzando hacia el talud.

Las fallas de talud descritas anteriormente en muchos casos avanzan lentamente a lo largo de superficies de deslizamiento muy distinguidas; el rango y dirección de las fallas pueden predecirse en etapas iniciales por las grietas que ocurren en el talud. Por lo tanto, existe suficiente tiempo para examinar las medidas de protección contra estos tipos de fallas (Centro Peruano Japonés de investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres, 2010).

2.2. Análisis de Estabilidad.

La naturaleza y la homogeneidad de los materiales constitutivos son básicos para plantear y definir el problema de la estabilidad de un talud en cualquiera de sus múltiples aspectos. El ingeniero, como es en él usual, analiza estos problemas tratando de extraer los suficientes conocimientos de carácter general como para poder establecer un modelo matemático en el que el analizar la estabilidad sea una simple cuestión de lápiz y papel y aplicación de tal o cual procedimiento matemático o secuencia de cálculo algebraico.

Los métodos de cálculo, para definir la estabilidad, establecen un mecanismo cinemático de falla, extraído naturalmente de la experiencia, con base en el cual se analizan las fuerzas tendientes a producir el movimiento como fuerzas de gravedad, filtración, presión de agua, etc. (fuerzas motoras), las cuales se han de comparar por algún procedimiento con las fuerzas que son capaces de desarrollarse y que tienden a que el mecanismo de falla no se produzca como resistencia del terreno, raíces y otras (fuerzas resistentes). Es decir que la estabilidad se entiende como la seguridad de una masa de tierra contra la falla o el movimiento. Así todos los métodos de

cálculo en boga están ligados a un mecanismo cinemático de falla específico, por lo que solo serán aplicables a aquellos problemas de estabilidad en que la falla sea del tipo que se considera.

El propósito del cálculo de la estabilidad se centra en dos temas principales. El primero es determinar la resistencia media al corte “s” de los suelos a partir de deslizamientos ya producidos. El segundo punto a tratar es la determinación del coeficiente de seguridad “F” que define la estabilidad del talud.

Cuando se habla de estabilidad de un talud (acumulación de fragmentos de roca partida en la base de paredes de roca, acantilados de montañas, o cuencas de valles.) se trata de encontrar la altura crítica del talud o la carga de colapso aplicada sobre una porción del talud, para una geometría y características de suelo dados. Evaluar la estabilidad de un talud implica un estudio en el cual se debe, entre otros eventos: caracterizar la resistencia del suelo, establecer el perfil del talud así como las condiciones de filtración y agua subterránea, seleccionar una superficie de deslizamiento o falla y calcular su factor de seguridad, finalmente, a partir de este factor de seguridad (el cual se elige en base al destino del talud) se deberá determinar la superficie de falla crítica.

Dentro de las metodologías disponibles, se encuentran los métodos de límite de equilibrio, los métodos numéricos y los métodos dinámicos para el análisis de caídos de roca y flujos, entre otros. Para el análisis de estabilidad de nuestro talud en el cerro Sondor, se utilizará el los métodos que se desprenden a partir del método de límite de equilibrio o equilibrio limite.

2.2.1. Método del Equilibrio Limite.

Esta solución fue propuesta por Coulomb en 1776. consiste en asumir la forma geométrica de la superficie de falla, generalmente basándose en observaciones de superficies de falla reales, e introducir procedimientos simplificadorios entre los cuales se aproxima el esfuerzo normal sobre la superficie de falla, hasta encontrar la relación entre las fuerzas actuales y las resistentes en la condición de equilibrio límite o de falla inminente. Teniendo en cuenta las dificultades que presenta la solución matemática y las facilidades del cálculo de la solución convencional, la mayoría de los métodos de análisis se basan en el principio del equilibrio límite.

A través del método de límite de equilibrio permite obtener un factor de seguridad o a través de un análisis regresivo, obtener los valores de la resistencia al cortante en el momento de la falla. Una vez se han determinado las propiedades de resistencia al cortante de los suelos, las presiones de poros y otras propiedades del suelo y del talud, se puede proceder a calcular el factor de seguridad del talud. Este análisis de estabilidad consiste en determinar si existe suficiente resistencia en los suelos del talud para soportar los esfuerzos de cortante que tienden a causar la falla o deslizamiento.

La mayoría de los métodos de límite de equilibrio tienen en común, la comparación de las fuerzas o momentos resistentes y actuantes sobre una determinada superficie de falla. Las variaciones principales de los diversos métodos son, el tipo de superficie de falla y la forma cómo actúan internamente las fuerzas sobre la superficie.

A partir de lo anterior se describirá el comportamiento físico (estático) en el cual está fundamentado los métodos del límite de equilibrio:

Consideremos un bloque de peso W que descansa sobre un plano inclinado de Angulo ψ respecto a la horizontal. El bloque solo es afectado por la fuerza de la gravedad de manera que el peso W actúa verticalmente como lo muestra.

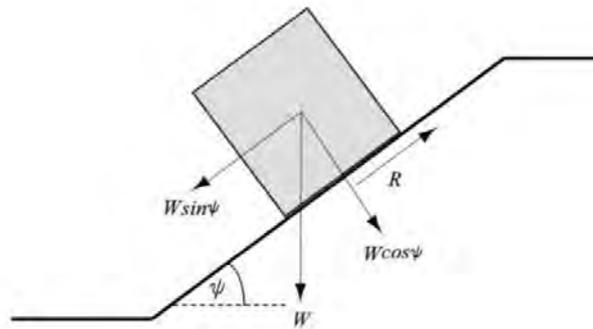


Figura 10: Bloque sobre plano inclinado a un ángulo ψ de la horizontal.

Fuente: (Hoek & Bray, 1981)

La componente de W que tiende a mover el bloque hacia abajo es $W \sin \psi$ y la componente que ayuda a estabilizarlo es $W \cos \psi$.

Al suponer que el bloque y la superficie está formada por suelo, entonces el esfuerzo normal σ que actúa a lo largo de la superficie de deslizamiento, se encuentra dado por:

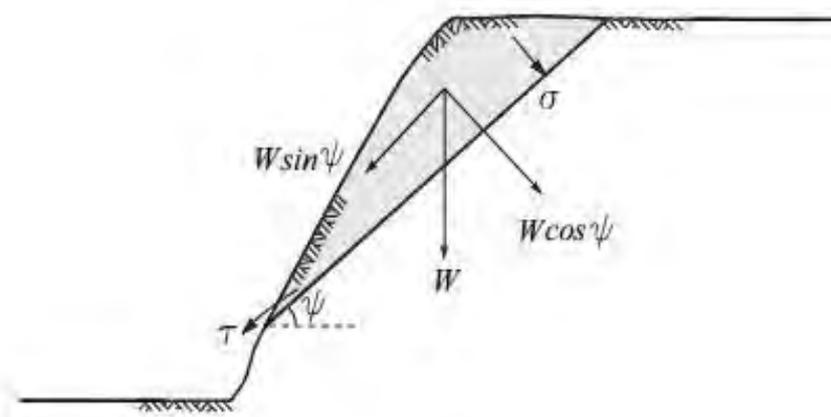


Figura 11: Talud con superficie de falla plana a ψ grados de la horizontal.

Fuente: (Wyllie & Mah, 2005)

Donde:

A= Área de la base del bloque.

El esfuerzo cortante τ que actúa en esta superficie de “falla”, según la ecuación de Mohr- Coulmbes:

$$\tau = c + \sigma \tan \varphi$$

La ecuación anterior, surge de la relación entre el esfuerzo cortante y el esfuerzo normal de una superficie de roca típica o de una muestra de suelo (Hoek & Bray, 1981)

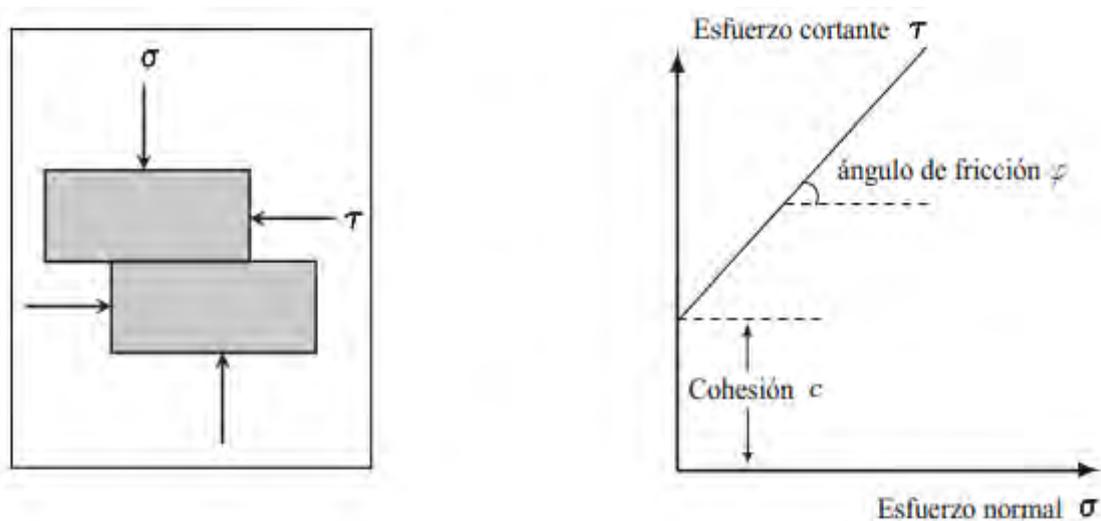


Figura 12: Relación entre el esfuerzo cortante τ y esfuerzo normal σ .

Fuente: (Hoek & Bray, 1981)

Sustituyendo la ecuación 1 en 2.

La Ecuación 3 se convierte en:

$$R = cA + W \cos \psi \tan \varphi$$

Donde $R = \tau A$; Fuerza cortante que resiste el deslizamiento del bloque. Ver figura 3.8.

El bloque se encuentra a punto de deslizarse o en Equilibrio límite, cuando la fuerza que tiende a mover el bloque hacia abajo del plano es exactamente igual a la fuerza resistente. De manera que:

$$W \sin \psi = cA + W \cos \psi \tan \varphi$$

Con el fin de incorporar el concepto de equilibrio límite en la estabilidad de taludes, se requiere el uso de un Factor de seguridad, este se define como la relación de todas las fuerzas que intervienen en la resistencia al deslizamiento sobre el total de las fuerzas que aportan al movimiento.

Considerando el bloque de la figura 1 tenemos que η se encuentra dado por:

$$\eta = \frac{cA + W \cos \psi \tan \varphi}{W \sin \psi}$$

Cuando el talud se encuentra en estado de Equilibrio límite, todas las fuerzas de resistencia y las fuerzas desestabilizadoras son iguales. En el caso anterior $\eta = 1.0$ según la ecuación 6. EL talud es estable cuando las fuerzas resistentes son mayores a las fuerzas desestabilizadoras, de tal forma, que el factor de seguridad η , tiene que ser mayor que uno ($\eta > 1.0$). En la Práctica, el factor de seguridad para taludes en minas a cielo abierto generalmente varía entre 1.0 y 1.3, ya en estos taludes la estabilidad no se requiere para largos periodos de tiempo. En el caso de taludes adyacentes a vías principales el factor de seguridad es de 1.5 (Hoek & Bray, 1981).

2.2.2. Parámetros Utilizados en los Análisis de Límite de Equilibrio.

Los modelos tienen en cuenta los factores primarios que afectan la estabilidad. Estos factores incluyen geometría del talud, parámetros geológicos, presencia de grietas de tensión, cargas dinámicas por acción de los sismos, flujo de agua, propiedades de resistencia y peso unitario de los suelos, etc. Sin embargo, no todos los factores que afectan la estabilidad de un talud se pueden cuantificar para incluirlos en un modelo matemático de límite de equilibrio. Por lo tanto, hay situaciones en las cuales un enfoque de límite de equilibrio no produce resultados satisfactorios.

- Pesos unitarios

El peso unitario es tal vez el parámetro más sencillo de medir para el análisis de estabilidad de los taludes, es el que influye menos en el factor de seguridad. Los pesos unitarios totales son pesos húmedos por encima del nivel freático y saturados por debajo de éste nivel. En el caso de se utilicen pesos sumergidos, se debe ignorar la presencia de nivel freático. La densidad saturada se puede determinar asumiendo un valor de gravedad específica G , el cual se puede suponer igual a 2.68 para la mayoría de los suelos (Cornforth, 2005). (Jaime Suarez. 2002)

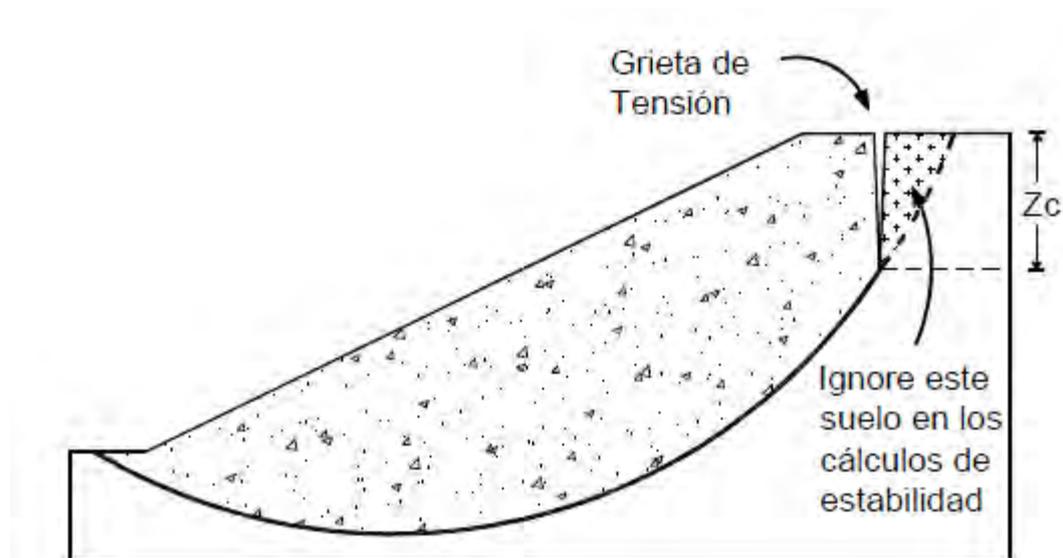


Figura 13: Esquema de una Grieta de Tensión para Análisis de Límite de Equilibrio.

Fuente: (Suarez Díaz, 2002)

- Resistencia al Cortante.

La resistencia al cortante que se va a utilizar en los análisis, puede ser medida por alguno de los métodos de laboratorio o de campo. Se debe tener en cuenta si se trata de condiciones drenadas o no drenadas o si el análisis es realizado en estado no-saturado. Los parámetros deben corresponder a los niveles de esfuerzos sobre las superficies de falla potenciales. En los casos en los cuales ya ha ocurrido la falla del talud, se recomienda emplear las resistencias residuales (Skempton & Hutchinson, 1969).

Igualmente, debe tenerse en cuenta la disminución de resistencia, con el tiempo. Para suelos que son completamente saturados, el ángulo de fricción para condiciones no drenadas, es igual a cero. La resistencia no drenada para suelos saturados puede ser determinada a partir de los ensayos no-consolidados no-drenados (Suarez Díaz, 2002).

- Condiciones Drenadas o no Drenadas.

Las fallas de los taludes pueden ocurrir en condiciones drenadas o no drenadas. Si la inestabilidad es causada por los cambios en la carga, tal como la remoción de materiales de la parte baja del talud o aumento de las cargas en la parte superior (en suelos de baja permeabilidad) éstos pueden no tener tiempo suficiente para drenar durante el tiempo en el cual ocurre el cambio de carga. En ese caso, se dice que las condiciones son no drenadas (Espinoza Durán & Tapia Berzoza, 2013).

Generalmente, los suelos tienen permeabilidades suficientes para disipar las presiones de poros en exceso y se comportan en condiciones drenadas. Para las tasas normales de carga que equivalen a meses o semanas, se pueden considerar drenados suelos con permeabilidades mayores de 10^{-4} cm/seg. En cambio, los suelos con permeabilidades menores de 10^{-7} cm/seg, se consideran no drenados. Mientras, las permeabilidades intermedias se consideran parcialmente drenadas (Jaime Suarez. 2002).

Para determinar las condiciones de drenaje Duncan (1996) sugiere utilizar la siguiente expresión:

$$T = \frac{C_v t}{D^2}$$

Dónde:

T= Factor adimensional

Cv= Coeficiente de consolidación

t = Tiempo de drenaje

D = Longitud del camino de drenaje o distancia de salida del agua al cambio de presiones.

Si T es mayor de 3, la condición es drenada.

Si T es menor de 0.01, la condición es no drenada.

Si T está entre 0.01 y 3.0, ocurre drenaje parcial durante el tiempo de cambio de cargas. En este caso, deben analizarse ambas condiciones, el caso drenado y el caso no drenado. (Suarez Díaz, 2002).

- Esfuerzos totales y efectivos

Como se estudió en el capítulo anterior, los problemas de estabilidad de taludes pueden analizarse suponiendo sistemas de esfuerzos totales o efectivos. En principio, siempre es posible analizar la estabilidad de un talud utilizando el método de presión efectiva, porque la resistencia del suelo es gobernada por las presiones efectivas tanto en la condición drenada, como en la condición no drenada; sin embargo, en la práctica es virtualmente imposible determinar con precisión cuáles son los excesos de presión de poros que se van a generar por los cambios en las cargas (excavaciones, colocación de rellenos o cambios en el nivel de agua) (Suarez Díaz, 2002).

2.2.3. Estabilidad a Corto y a Largo Plazo.

En la estabilidad a corto plazo debe tenerse en cuenta que los suelos que no tienen un drenaje rápido, están sujetos a presiones de poros por acción de las cargas aplicadas. En la estabilidad a largo plazo, se supone que los suelos están drenados. Para la estabilidad (a corto plazo) de las arcillas normalmente

consolidadas y de limos, se recomienda modelar con análisis de esfuerzos totales. Aunque se puede realizar el análisis empleando esfuerzos efectivos, es muy difícil estimar o medir las presiones de poros para su utilización en el análisis (Suarez Díaz, 2002).

2.2.4. Modelo Matemático del Equilibrio Límite.

2.2.4.1. Condiciones Idealizadas.

En el análisis de estabilidad de taludes se presentan dos factores que lo dificultan. El primero es la presencia de suelos heterogéneos, lo que determina que las propiedades del suelo en los taludes no sean homogéneas e isotrópicas. El segundo está relacionado con las condiciones de borde que definen la red de flujo, las cuales en la mayoría de los casos solo se conocen de una manera aproximada.

Para resolver las dificultades anteriores, se adoptan las siguientes simplificaciones:

- Se utiliza una sección promedia típica y se asume que no actúan esfuerzos de corte de dirección normal a la sección, y por lo tanto, que tenemos un caso bidimensional de esfuerzos. La masa que se analiza tiene dimensión unitaria en dimensión normal a la sección.
- Se asume que la sección promedio está formada por suelos uniformes, cada uno con propiedad constante. En la mayoría de los casos se supone que toda la masa está formada por un solo tipo de suelo.

- Se asume que la resistencia al corte de cada suelo individual presente en la sección se puede expresar mediante la ecuación de Mohr-Coulomb.
- Se asume que las condiciones de flujo de agua y las presiones correspondientes, representadas por una red de flujo, son conocidas.

2.2.4.2. *Procedimiento de las Soluciones.*

Las diferentes soluciones que emplean el principio del equilibrio límite utilizan el siguiente procedimiento:

- Se asume la superficie de falla.
 - Se estudia el equilibrio de la masa de suelo que se deslizaría, considerando el conjunto de los esfuerzos actuales. El suelo genera cierta resistencia y se comporta como un material rígido-plástico, es decir, no presenta movimientos antes de la falla.
 - Se asume que el factor de seguridad, F_s , está dado por la relación entre la resistencia al corte disponible en el suelo, y los esfuerzos movilizados en el suelo por el sistema de fuerzas actuantes sobre la masa considerada.
 - Si F_s es mayor que 1,00 se supone que no hay movimiento, mientras que si es menor de 1,00, debe presentarse movimiento de la masa de suelo.
- *Caculo del esfuerzo normal*

$$\sigma = \frac{w \cos \psi}{A}$$

Donde

W = Peso de bloque con posibilidad de falla.

A = Área de superficie d falla.

ψ = Angulo de falla.

- *Cálculo del esfuerzo cortante que actúa sobre la superficie de falla*

$$\tau = c + \sigma \tan \psi$$

Donde

C= cohesión del material analizado.

ψ = Angulo de falla.

σ = esfuerzo normal.

- *Cálculo del esfuerzo cortante que resiste el deslizamiento*

$$R = \tau A$$

Donde

τ = esfuerzo cortante que actúa sobre la superficie de falla

A = Área de superficie d falla

- *Cálculo del factor de seguridad*

$$\eta = \frac{cA + W \cos \psi \tan \varphi}{W \sin \psi}$$

Donde:

C= cohesión del material analizado.

A = Área de superficie d falla.

W = Peso de bloque con posibilidad de falla.

ψ = Angulo de falla.

φ =Angulo de fricción.

2.3. Diseño y Construcción de Taludes.

Los trabajos de taludes se realizan para mantener seguridad y productividad en la explotación de canteras con el fin de estabilizar los taludes de corte, para prevenir cualquier perturbación durante las actividades de explotación. Cuando se diseñan los taludes, se debe realizar un análisis general en base a la experiencia ingenieril y a los resultados del reconocimiento del terreno circundante, condiciones geológicas, condiciones reales del mismo tipo de taludes en áreas vecinas y un reconocimiento geológico. Es también importante tomar las medidas necesarias para asegurar una construcción más razonable, tomando en cuenta las condiciones que se presentan al ejecutar los trabajos. El trabajo de protección de taludes se puede dividir en aquellos hechos con vegetación y aquellos hechos con estructuras. El método de vegetación es deseable, por sus costos de construcción y apariencia. Sin embargo, el empleo de estructuras debe utilizarse si es difícil sembrar de césped, por condiciones meteorológicas, topográficas, agronómicas, de pendiente o infiltración de agua. La mayor causa de fallas de taludes es la acción del agua, por lo que es muy importante tomar medidas apropiadas contra el agua, para asegurar la estabilidad del talud. Por lo expuesto, es necesario tomar precauciones totales no solamente para el drenaje permanente, sino para el drenaje temporal durante los trabajos de construcción.

2.3.1. Pendientes de Taludes de Corte.

2.3.1.1. *Pendiente estándar de taludes.*

El terreno natural es extremadamente complicado y no uniforme en sus propiedades.

Los taludes de corte tienden a ser inestables después de terminados los trabajos de corte. Por lo tanto, los cálculos de estabilidad son significativos solo en casos raros cuando se analiza la estabilidad de taludes de corte. Un criterio integral debe ejercitarse para tomar en cuenta los requisitos de estabilidad descritos más adelante, en referencia a los valores estándar presentados en la Tabla 5. La Tabla 5 presenta los valores estándar de la pendiente de taludes, que se han establecido empíricamente en base a trabajos de protección, tales como: sin tratamiento, con césped o encestado. Las inclinaciones presentadas se refieren a taludes individuales sin banquetas.

Los taludes deben ser protegidos por medio de muros de retención o entramados, cuando es inevitable realizar un talud de corte con una pendiente más inclinada que la estándar, con el objeto de reducir el volumen de corte.

La diferencia entre roca blanda y dura que se indica, se basa en el grado de dificultad en realizar la excavación, estando principalmente gobernada por la resistencia cortante y la cantidad de grietas en la roca. El rango de valores mostrados en la Tabla 5 es más amplio que los valores para rellenos a ser descritos más adelante, de modo que la determinación de

la inclinación del talud en base solamente a los valores parece ser difícil, en vista de los muchos factores involucrados.

Tabla 4: Inclinación Normal de Talud de Corte

Clasificación del suelo		Prof. de corte	Inclinación
			V:H
Roca dura			1:0.3 a 1:0.8
Roca Blanda			1:0.5 a 1:1.2
Arena	No densa y pobremente graduada		1:1.5 a
Suelo arenoso	Denso	Menos de 5 m	1:0.8 a 1:1.0
		5 a 10 m	1:1.0 a 1:1.2
	No denso	Menos de 5 m	1:1.0 a 1:1.2
		5 a 10 m	1:1.2 a 1:1.5
Suelo arenoso mezclado con grava	Denso o bien graduado	Menos de 10 m	1:0.8 a 1:1.0
		10 a 15 m	1:1.0 a 1:1.2
	No denso o pobremente graduado	Menos de 10 m	1:1.0 a 1:1.2
		10 a 15 m	1:1.2 a 1:1.5
Suelo cohesivo		0 a 10 m	1:0.8 a 1:1.2
Suelo cohesivo mezclado con masas de roca o bolonería		Menos de 5 m	1:1.0 a 1:1.2
		5 a 10 m	1:1.2 a 1:1.5

Fuente: (Centro Peruano Japonés de investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres, 2010)

2.3.1.2. Forma de talud.

Como se muestra en la Fig 15, la inclinación de los taludes depende de los suelos y la litología. Cuando la inclinación cambia, en muchos casos se proporciona una banqueta en el punto de cambio de inclinación.

Generalmente se emplea una pendiente única cuando la geología y los suelos son los mismos en profundidad y en las direcciones transversal y

longitudinal. Cuando la geología y los suelos varían considerablemente y de manera complicada, una pendiente única adecuada al suelo de mayor pendiente podría usarse, aunque esto es antieconómico.

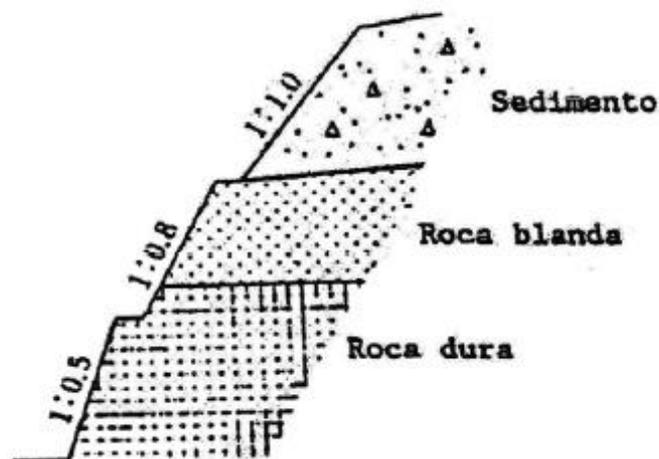


Figura 14: Condiciones del Terreno y Forma de Taludes.

Fuente: (Centro Peruano Japonés de investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres, 2010)

2.3.1.3. Banquetas.

Generalmente se instala una banqueta de 1 a 2 m de ancho, a la mitad de un talud de corte de gran altura.

- Propósito de la Banqueta

En la parte inferior de un gran talud continuo, la descarga y velocidad del agua superficial aumentan, causando el incremento de las fuerzas de socavación. En este caso, la velocidad de la corriente puede reducirse al proporcionar una banqueta casi horizontal a la mitad del talud, o la concentración del agua superficial en la parte inferior del talud puede prevenirse al construir una zanja en la banqueta para drenar el agua hacia

afuera del talud. La banqueta también puede usarse como acera para inspección o como andamio para reparación.

Por lo tanto, las banquetas deben diseñarse tomando en cuenta la dificultad de inspeccionar y reparar, la pendiente del talud, la altura de corte, los suelos del talud, los costos y otras condiciones.

- **Inclinación de Banqueta**

Cuando no existen facilidades de drenaje, se proporciona a la banqueta un gradiente transversal de 5 a 10%, de modo que el agua drene hacia el fondo del talud (pie de talud).

Sin embargo, cuando se considera que el talud es fácilmente descascararse o cuando el suelo es fácilmente erosionable, el gradiente de la banqueta debe hacerse en la dirección contraria, de modo que el agua drene hacia la zanja de la banqueta.

- **Localización de Banquetas**

En los taludes de corte, normalmente se diseñan banquetas de 1 a 2 metros de ancho cada 5 a 10 metros de altura, dependiendo del suelo, litología y escala del talud. Una banquetas más ancha se recomienda cuando el talud es largo y grande, o donde se instalarán vallas de protección de caída de rocas.

2.4. Dimensionamiento Geométrico de la Rampa de Explotación.

2.4.1. Criterios Generales.

En esta Sección se presentan los criterios, factores y elementos que deberán adoptarse para realizar los estudios preliminares que definen el diseño geométrico de las carreteras nuevas.

Al definir la geometría de la vía, no debe perderse de vista que el objetivo es diseñar una carretera que reúna las características apropiadas, con dimensiones y alineamientos tales que su capacidad resultante satisfaga la demanda del proyecto, dentro del marco de la viabilidad económica

Asimismo, establece la clasificación e interrelación existente entre los tipos de proyectos, niveles y metodologías de estudio previstas para las obras viales y sintetiza el contenido y alcance de dichos niveles de estudio (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016).

2.4.2. Información General.

Es importante realizar estudios preliminares que permitan establecer las prioridades y recursos para la elaboración de un nuevo proyecto, para lo cual se deberá recopilar toda la información pertinente que esté disponible, complementando y verificando aquellas empleadas en los estudios de viabilidad económica. Se recurrirá a fuentes como son los vértices geodésicos, mapas, cartas y cartografía vial, así como fotografías aéreas, ortofotos.

Aun cuando el reconocimiento en terreno resulta indispensable, su amplitud y/o grado de detalle dependerá, en gran medida, del tipo de información topográfica y geomorfológica existente.

2.4.3. Niveles de Estudios Preliminares.

Los estudios preliminares deben dar respuesta, básicamente, a tres interrogantes fundamentales, ellas son:

- Definición preliminar de las características y parámetros de diseño.
- Identificación de rutas posibles.
- Anteproyectos preliminares de las rutas posibles.
- Selección de rutas.

2.4.4. Clasificación por Demanda.

- Autopistas de Primera Clase

Son carreteras con IMDA (Índice Medio Diario Anual) mayor a 6 000 veh/día, de calzadas divididas por medio de un separador central mínimo de 6.00 m; cada una de las calzadas debe contar con dos o más carriles de 3.60 m de ancho como mínimo, con control total de accesos (ingresos y salidas) que proporcionan flujos vehiculares continuos, sin cruces o pasos a nivel y con puentes peatonales en zonas urbanas.

La superficie de rodadura de estas carreteras debe ser pavimentada.

- Autopistas de Segunda Clase

Son carreteras con un IMDA entre 6000 y 4 001 veh/día, de calzadas divididas por medio de un separador central que puede variar de 6.00 m

hasta 1.00 m, en cuyo caso se instalará un sistema de contención vehicular; cada una de las calzadas debe contar con dos o más carriles de 3.60 m de ancho como mínimo, con control parcial de accesos (ingresos y salidas) que proporcionan flujos vehiculares continuos; pueden tener cruces o pasos vehiculares a nivel y puentes peatonales en zonas urbanas.

La superficie de rodadura de estas carreteras debe ser pavimentada.

- Carreteras de Primera Clase.

Son carreteras con un IMDA entre 4 000 y 2 001 veh/día, con una calzada de dos carriles de 3.60 m de ancho como mínimo. Puede tener cruces o pasos vehiculares a nivel y en zonas urbanas es recomendable que se cuente con puentes peatonales o en su defecto con dispositivos de seguridad vial, que permitan velocidades de operación, con mayor seguridad.

La superficie de rodadura de estas carreteras debe ser pavimentada.

- Carreteras de Segunda Clase.

Son carreteras con IMDA entre 2 000 y 400 veh/día, con una calzada de dos carriles de 3.30 m de ancho como mínimo. Puede tener cruces o pasos vehiculares a nivel y en zonas urbanas es recomendable que se cuente con puentes peatonales o en su defecto con dispositivos de seguridad vial, que permitan velocidades de operación, con mayor seguridad.

La superficie de rodadura de estas carreteras debe ser pavimentada.

- Carreteras de Tercera Clase.

Son carreteras con IMDA menores a 400 veh/día, con calzada de dos carriles de 3.00 m de ancho como mínimo. De manera excepcional estas vías podrán tener carriles hasta de 2.50 m, contando con el sustento técnico correspondiente.

Estas carreteras pueden funcionar con soluciones denominadas básicas o económicas, consistentes en la aplicación de estabilizadores de suelos, emulsiones asfálticas y/o micro pavimentos; o en afirmado, en la superficie de rodadura. En caso de ser pavimentadas deberán cumplirse con las condiciones geométricas estipuladas para las carreteras de segunda clase.

- Trochas Carrozables

Son vías transitables, que no alcanzan las características geométricas de una carretera, que por lo general tienen un IMDA menor a 200 veh/día. Sus calzadas deben tener un ancho mínimo de 4.00 m, en cuyo caso se construirá ensanches denominados plazoletas de cruce, por lo menos cada 500 m.

La superficie de rodadura puede ser afirmada o sin afirmar.

2.4.5. Clasificación por Orografía.

Las carreteras del Perú, en función a la orografía predominante del terreno por dónde discurre su trazo, se clasifican en:

- Terreno plano (tipo 1)

Tiene pendientes transversales al eje de la vía, menores o iguales al 10% y sus pendientes longitudinales son por lo general menores de tres por ciento (3%), demandando un mínimo de movimiento de tierras, por lo que no presenta mayores dificultades en su trazo.

- Terreno ondulado (tipo 2)

Tiene pendientes transversales al eje de la vía entre 11% y 50% y sus pendientes longitudinales se encuentran entre 3% y 6 %, demandando un moderado movimiento de tierras, lo que permite alineamientos rectos, alternados con curvas de radios amplios, sin mayores dificultades en el trazo.

- Terreno accidentado (tipo 3)

Tiene pendientes transversales al eje de la vía entre 51% y el 100% y sus pendientes longitudinales predominantes se encuentran entre 6% y 8%, por lo que requiere importantes movimientos de tierras, razón por la cual presenta dificultades en el trazo.

- Terreno escarpado (tipo 4)

Tiene pendientes transversales al eje de la vía superiores al 100% y sus pendientes longitudinales excepcionales son superiores al 8%, exigiendo el máximo de movimiento de tierras, razón por la cual presenta grandes dificultades en su trazo.

2.4.6. Vehículos de Diseño.

- Características generales

El Diseño Geométrico de Carreteras se efectuará en concordancia con los tipos de vehículos, dimensiones, pesos y demás características, contenidas en el Reglamento Nacional de Vehículos, vigente.

Las características físicas y la proporción de vehículos de distintos tamaños que circulan por las carreteras, son elementos clave en su definición geométrica. Por ello, se hace necesario examinar todos los tipos de vehículos, establecer grupos y seleccionar el tamaño representativo dentro de cada grupo para su uso en el proyecto. Estos vehículos seleccionados, con peso representativo, dimensiones y características de operación, utilizados para establecer los criterios de los proyectos de las carreteras, son conocidos como vehículos de diseño.

Al seleccionar el vehículo de diseño hay que tomar en cuenta la composición del tráfico que utiliza o utilizará la vía. Normalmente, hay una participación suficiente de vehículos pesados para condicionar las características del proyecto de carretera. Por consiguiente, el vehículo de diseño normal será el vehículo comercial rígido (camiones y/o buses). Las características de los vehículos tipo indicados, definen los distintos aspectos del dimensionamiento geométrico y estructural de una carretera.

Así, por ejemplo:

- ✓ El ancho del vehículo adoptado incide en los anchos del carril, calzada, bermas y sobreebanco de la sección transversal, el radio mínimo de giro, intersecciones y gálibo.

- ✓ La distancia entre los ejes influye en el ancho y los radios mínimos internos y externos de los carriles.
- ✓ La relación de peso bruto total/potencia, guarda relación con el valor de las pendientes admisibles.

Conforme al Reglamento Nacional de Vehículos, se consideran como vehículos ligeros aquellos correspondientes a las categorías L (vehículos automotores con menos de cuatro ruedas) y M1 (vehículos automotores de cuatro ruedas diseñados para el transporte de pasajeros con ocho asientos o menos, sin contar el asiento del conductor).

Serán considerados como vehículos pesados, los pertenecientes a las categorías N (vehículos automotores de cuatro ruedas o más, diseñados y contruidos para el transporte de mercancías), O (remolques y semirremolques) y S (combinaciones especiales de los M, N y O).

La clasificación del tipo de vehículo según encuesta de origen y destino, empleada por SNIP para el costo de operación vehicular (VOC), es la siguiente:

Vehículo de pasajeros

- Jeep (VL)
- Auto (VL)
- Bus (B2, B3, B4 y BA)
- Camión C2

Vehículo de carga

- Pick-up (equivalente a Remolque Simple T2S1)

- Camión C2
- Camión C3 y C2CR
- T3S2

Vehículos pesados

Las dimensiones máximas de los vehículos a emplear en la definición geométrica son las establecidas en el Reglamento Nacional de Vehículos vigente. Para el cálculo de distancias de visibilidad de parada y de adelantamiento, se requiere definir diversas alturas, asociadas a los vehículos ligeros, que cubran las situaciones más favorables en cuanto a visibilidad.

- ✓ h : altura de los faros delanteros: 0.60 m.
- ✓ h_3 : altura de ojos de un conductor de camión o bus, necesaria para la verificación
- ✓ de visibilidad en curvas verticales cóncavas bajo estructuras: 2.50 m.
- ✓ h_4 : altura de las luces traseras de un automóvil o menor altura perceptible de carrocería: 0.45 m.
- ✓ h_6 : altura del techo del vehículo pesado: 4.10 m

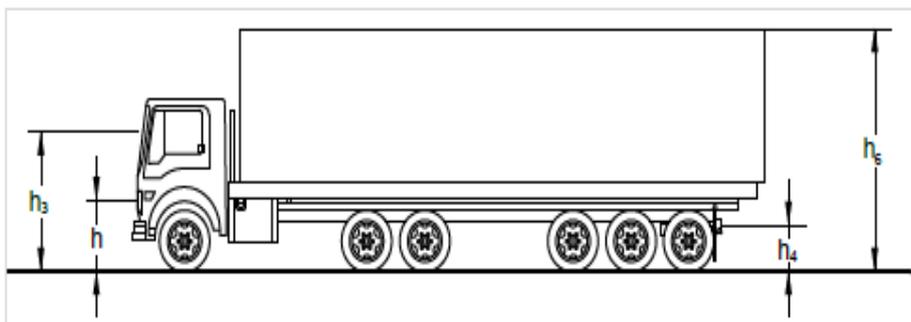


Figura 15: Vehículo Pesado

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)

En la Tabla 6 se resumen los datos básicos de los vehículos de diseño.

El vehículo pesado tiene las características de sección y altura para determinar la sección de los carriles y su capacidad portante, radios y sobrecanchos en curvas horizontales, alturas libres mínimas permisibles, necesidad de carriles adicionales, longitudes de incorporación, longitudes y proporción de aparcamientos para vehículos pesados en zonas de estacionamiento, miraderos o áreas de descanso.

Tabla 5: Datos de Vehículos de Diseño

Tipo de vehículo	Alto total	Ancho Total	Vuelo lateral	Ancho ejes	Largo total	Vuelo delantero	Separación ejes	Vuelo trasero	Radio mín. rueda exterior
Vehículo ligero (VL)	1.30	2.10	0.15	1.80	5.80	0.90	3.40	1.50	7.30
Ómnibus de dos ejes (B2)	4.10	2.60	0.00	2.60	13.20	2.30	8.25	2.65	12.80
Ómnibus de tres ejes (B3-1)	4.10	2.60	0.00	2.60	14.00	2.40	7.55	4.05	13.70
Ómnibus de cuatro ejes (B4-1)	4.10	2.60	0.00	2.60	15.00	3.20	7.75	4.05	13.70
Ómnibus articulado (BA-1)	4.10	2.60	0.00	2.60	18.30	2.60	6.70 / 1.90 / 4.00	3.10	12.80
Semirremolque simple (T2S1)	4.10	2.60	0.00	2.60	20.50	1.20	6.00 / 12.50	0.80	13.70
Remolque simple (C2R1)	4.10	2.60	0.00	2.60	23.00	1.20	10.30 / 0.80 / 2.15 / 7.75	0.80	12.80
Semirremolque doble (T3S2S2)	4.10	2.60	0.00	2.60	23.00	1.20	5.40 / 6.80 / 1.40 / 6.80	1.40	13.70
Semirremolque remolque (T3S2S1S2)	4.10	2.60	0.00	2.60	23.00	1.20	5.45 / 5.70 / 1.40 / 2.15 / 5.70	1.40	13.70
Semirremolque simple (T3S3)	4.10	2.60	0.00	2.60	20.50	1.20	5.40 / 11.90	2.00	1

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)

Datos básicos de los vehículos de tipo M utilizados para el dimensionamiento de carreteras Según Reglamento Nacional de Vehículos (D.S. N° 058-2003-MTC o el que se encuentre vigente) (tabla. 2.02)

2.5. Giro Mínimo de Vehículos Tipo.

El espacio mínimo absoluto para ejecutar un giro de 180° en sentido horario, queda definido por la trayectoria que sigue la rueda delantera izquierda del vehículo (trayectoria exterior) y por la rueda trasera derecha (trayectoria interior). Además de la trayectoria exterior, debe considerarse el espacio libre requerido por la sección en la distancia (volado) que existe entre el primer eje y el parachoques, o elemento más sobresaliente.

La trayectoria exterior queda determinada por el radio de giro mínimo propio del vehículo y es una característica de fabricación.

La trayectoria interior depende de la trayectoria exterior, del ancho del vehículo, de la distancia entre el primer y último eje y de la circunstancia que estos ejes pertenecen a un camión del tipo unidad rígida o semirremolque articulado.

De esta forma camiones y ómnibus en general, requerirán dimensiones geométricas más generosas que en el caso de vehículos ligeros. Ello se debe a que, en su mayoría, los primeros son más anchos, tienen distancias entre ejes más largas y mayor radio mínimo de giro, que son las principales dimensiones de los vehículos que afectan el alineamiento horizontal y la sección transversal

En la Tabla 07 se incluyen los radios máximos y mínimos y los ángulos para las seis trayectorias descritas.

Tabla 6: Trayectoria y Giro Mínima.

Ángulo trayectoria	R _{máx} exterior vehículo (E)	R _{mín} interior vehículo (I)	R _{mín} Interior Rueda (J)	Ángulo máximo dirección
30°	7.76 m	5.14 m	5.28 m	17.8°
60°	7.84 m	4.73 m	4.88 m	24.2°
90°	7.87 m	4.59 m	4.74 m	26.4°
120°	7.88 m	4.54 m	4.69 m	27.3°
150°	7.88 m	4.52 m	4.67 m	27.6°
180°	7.88 m	4.51 m	4.66 m	27.7°

Fuente: manual de carreteras diseño geométrico (ministerio de transporte y comunicación 2016)

Similar a “Minimum Turning Path for Passenger Car (P) Design Vehicle”, en la norma AASHTO (tabla. 07)

Tabla 07: Trayectoria Mínima De Intersección

Ángulo trayectoria	R máx. Exterior vehículo (E)	R mín. Interior rueda (J)	Ángulo máximo dirección
30°	15.06 m	10.83 m	19.3°
60°	15.45 m	9.63 m	27.7°
90°	15.61 m	9.12 m	31.4°
120°	15.68 m	8.89 m	33.0°
150°	15.70 m	8.79 m	33.8°
180°	15.72 m	8.74 m	34.1°

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)

Similar a “Minimum Turning Path for Intercity Bus (BUS-14 [BUS-45]) Design Vehicle” en la norma AASHTO. (tabla. 08)

2.6. Dimensionamiento en Planta de las Curvas en la Rampa.

Los elementos geométricos de una carretera deben estar convenientemente relacionados, para garantizar una operación segura, a una velocidad de operación continua y acorde con las condiciones generales de la vía.

Lo anterior se logra haciendo que el proyecto sea gobernado por un adecuado valor de velocidad de diseño; y, sobre todo, estableciendo relaciones cómodas entre este valor, la curvatura y el peralte. Se puede considerar entonces que el diseño geométrico propiamente dicho se inicia cuando se define, dentro de criterios técnico – económicos, la velocidad de diseño para cada Tramo homogéneo en estudio.

El alineamiento horizontal está constituido por alineamientos rectos, curvas circulares y curvas de grado de curvatura variable que permiten una transición suave al pasar de alineamientos rectos a curvas circulares o viceversa o también entre dos curvas circulares de curvatura diferente. El alineamiento horizontal debe permitir una operación segura y cómoda a la velocidad de diseño.

Durante el diseño de una carretera nueva se deben evitar tramos en planta con alineamientos rectos demasiado largos. Tales tramos son monótonos durante el día, especialmente en zonas donde la temperatura es relativamente alta, y en la noche aumenta el peligro de deslumbramiento de las luces del vehículo que avanza en sentido opuesto.

Es preferible reemplazar grandes alineamientos (superiores a un kilómetro con quinientos metros (1.5 km)), por curvas amplias de grandes radios (dos mil a diez mil metros (2000 a 10000 m)) que obliguen al conductor a modificar suavemente su dirección y mantener despierta su atención.

Para vías de sentido único no tiene sentido utilizar radios superiores a diez mil metros (10000 m). En el caso de doble vía (en ambos sentidos), las condiciones de visibilidad pueden implicar radios de gran magnitud.

2.6.1. Curvas Horizontales

2.6.1.1. *Empalmes básicos. Descripción y cálculo de los elementos geométricos.*

A continuación, se hace la descripción general de las curvas y se indican los elementos que conforman los diferentes tipos de curvas, dejando a la academia y a los libros de texto dedicados al diseño geométrico de carreteras, las demostraciones de las fórmulas que definen las diferentes variables del diseño.

2.6.1.2. *Empalme circular simple.*

Los empalmes en curvas circulares presentan una curvatura constante, la cual es inversamente proporcional al valor del radio. En el diseño de carreteras corresponde a un elemento geométrico de curvatura rígida.

PI: Punto de cruce de dos tangentes que forman el empalme.

PC: Punto de inicio del empalme.

PT: Punto final del empalme.

Δ : Ángulo de deflexión en el PI, en grados o radianes.

R: Radio del arco circular, en metros.

LC: Longitud del arco circular, en metros.

T: Tangente del empalme, en metros.

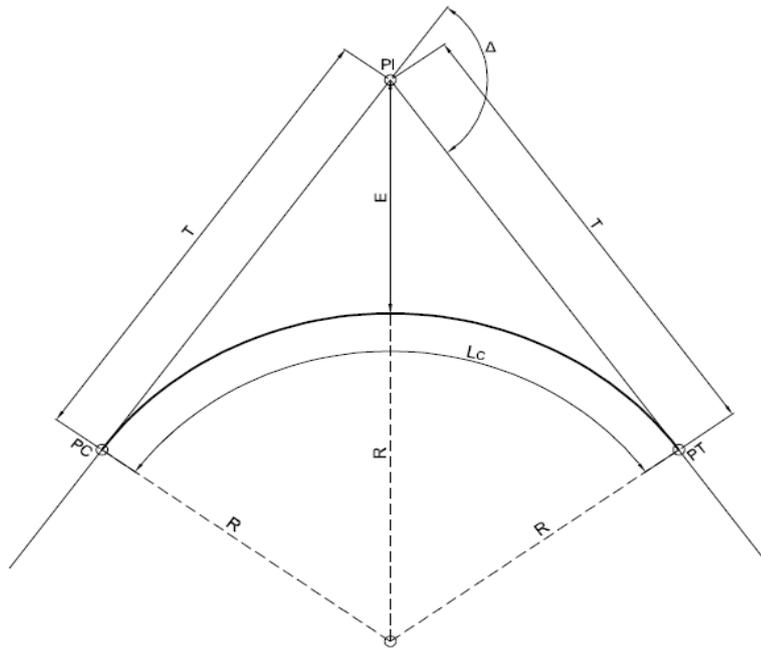


Figura 16: Elementos del Empalme Circular Simple.

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)

2.7. Conceptos Básicos en el Diseño de Voladura

Se entiende por voladura la disposición de un grupo de taladros, en los que se ha colocado una cierta carga de explosivo y se inicia con una secuencia tal que se consiguen los resultados de fragmentación y desplazamiento deseados, sin afectar a elementos ajenos a la misma.

Con esta definición no se especifica en dónde tiene lugar la voladura, siendo posible la ejecución de voladuras bien a cielo abierto o bien en interior (en trabajos subterráneos), teniendo cada una una característica diferente. Además, en dicha definición se introducen varios conceptos que se desarrollarán de aquí en adelante, como son, entre otros:

- Disposición de taladros : ubicación de los taladros en la voladura.
- Carga de explosivo: cantidad de agentes explosivos por taladro.
- Secuencia: orden de detonación de los taladros.
- Fragmentación: distribución de tamaños de la pila de roca volada.

- Desplazamiento: movimiento de la pila de roca volada.

2.7.1. Parámetros de Voladura en Banquetas.

Antes de introducir cada uno de los conceptos anteriores es necesario establecer las definiciones de aquellos conceptos que se van a emplear de aquí en adelante en el desarrollo del diseño de voladuras. De este modo, para una voladura a cielo abierto se pueden definir, entre otros conceptos, los siguientes:

- Banqueta: lugar donde se ubican los taladros de voladura que viene definido por la planificación establecida, así como el método de explotación.
- Altura de banqueteta: Distancia vertical entre dos banquetas adyacentes.
- Ángulo del frente: ángulo del talud definido entre dos banquetas adyacentes.

Puede expresarse bien con respecto a la vertical, o bien respecto a la horizontal.

- Piedra: Distancia entre el taladro y la cara libre.
- Espaciamiento: Distancia entre dos taladros adyacentes en la misma fila.

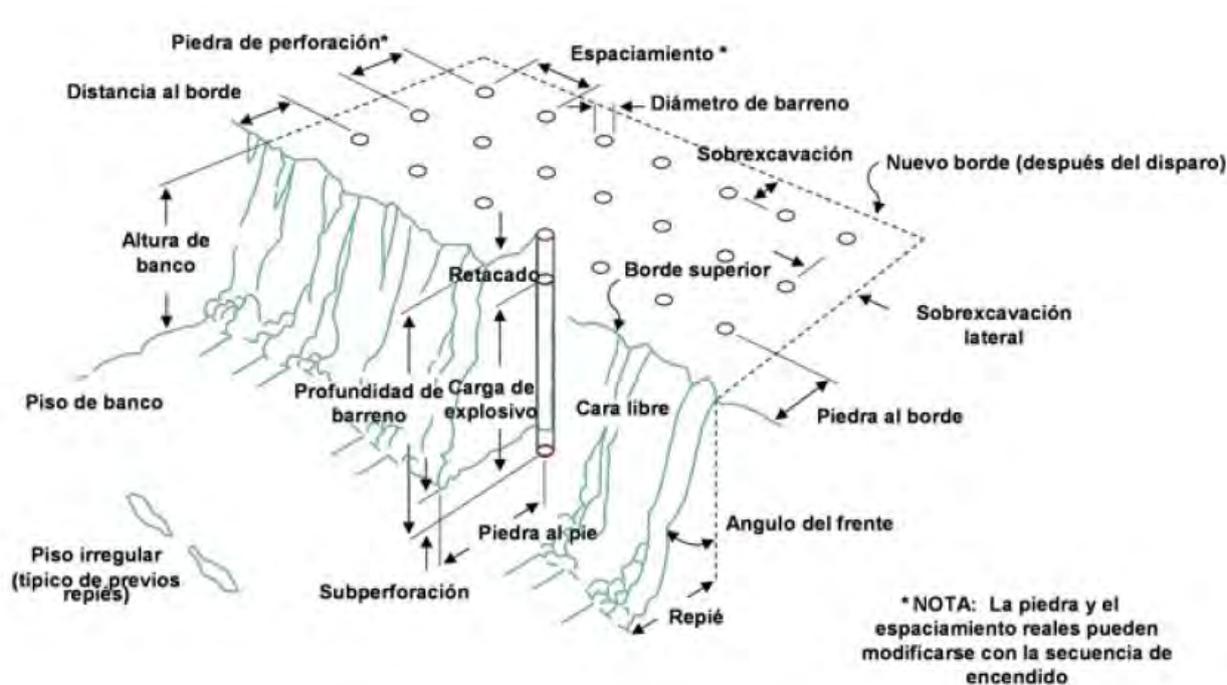


Figura 17: Parámetros de Voladura de Banquetas.

Fuente: (E.T.S. De Ingenieros De Minas De Madrid, 2013)

2.7.2. Factores Geométricos.

Dentro de los factores controlables de las voladuras pueden considerarse aquellos factores que están directamente relacionados con el método de explotación, de modo que se pueden definir a medida de los resultados buscados. Estos son:

- Diámetro del taladro, o de la carga.
- Altura de banqueteta.
- Longitud de taladro.
- Inclinación de taladro.
- Número de talaros.
- Distribución de los taladros.

2.7.3. Factores Inherentes a La Roca.

A diferencia de los factores anteriores, y como se ha descrito anteriormente, el macizo rocoso es un medio heterogéneo por definición. Así, existen parámetros que no se pueden controlar, pero que sí es imprescindible tener en cuenta para la obtención de un rendimiento óptimo de voladura. Entre estos factores se encuentran los siguientes:

- Densidad de la roca
- Resistencia o dureza de la roca
- Velocidad sísmica del macizo rocoso.

2.7.4. Factores Inherentes al Explosivo.

Con los factores anteriores, bien controlables, bien impuestos, existen otro conjunto de factores sobre los que es necesario actuar para el diseño de una voladura. Estos son los factores inherentes al explosivo empleado, que son los siguientes:

- Densidad del explosivo
- Velocidad de detonación
- Presión de detonación
- Potencia del explosivo
- Carga de explosivo
- Secuenciación de la voladura.

2.7.5. Voladura de Banquetas.

Las voladuras en banquetas son aquellas que se realizan mediante la detonación de taladros verticales o subverticales, utilizando como cara libre un frente paralelo a los mismos.

Los taladros que conforman la voladura en banquetas se perforan formando una malla que viene definida por la distancia al frente, llamada también "piedra" (B) ("burden", en inglés) y el espaciamiento lateral entre taladros "S".

La geometría de los taladros en voladuras en banquetas tiene varias características entre las que se puede destacar la "sobre perforación" (J), que es la prolongación de la longitud de perforación por debajo del piso teórico de explotación. Esta sobre perforación viene motivada por la existencia de un mayor confinamiento en la parte inferior de las banquetas a Explotar, de modo que se aumenta la energía en dicha zona, para evitar que se genere una zona deficitaria de energía y que origine un "repié" en la cota del piso.

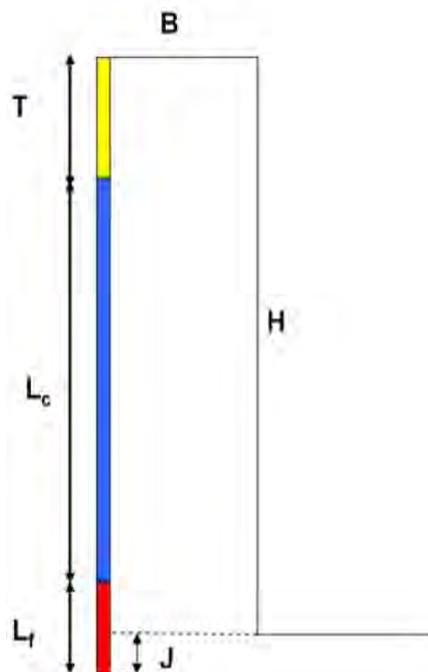


Figura 18: Representación de un Taladro.

Fuente: (E.T.S. De Ingenieros De Minas De Madrid, 2013)

Otras variables de diseño de este tipo de voladuras son la altura de banquetas", la inclinación de los taladros respecto a la vertical " α " y la distribución del explosivo dentro de los mismos.

De acuerdo con lo expuesto, a cada taladro de longitud "L" le correspondería teóricamente el arranque y fragmentación de un bloque de roca paralelepédico de base B x S y altura H.

La longitud del taladro vendría dada por:

$$L=(H+J)$$

Y se puede definir el "rendimiento de la perforación" "R", expresado en m³/m, como el volumen de roca arrancado por cada metro lineal de perforación:

$$R=(B \cdot S \cdot H) / L=(B \cdot S \cdot H \cdot \cos \alpha) / H+J$$

La sobre perforación aconsejable "J" será lógicamente función del grado de exactitud de las mediciones realizadas y de la dificultad que ofrezca la roca para su arranque. Sin embargo, es práctica común considerar

$$J=0.3 \cdot B$$

En el paralelepípedo de altura "H" arrancado por cada taladro, cabe distinguir al menos tres zonas diferentes.

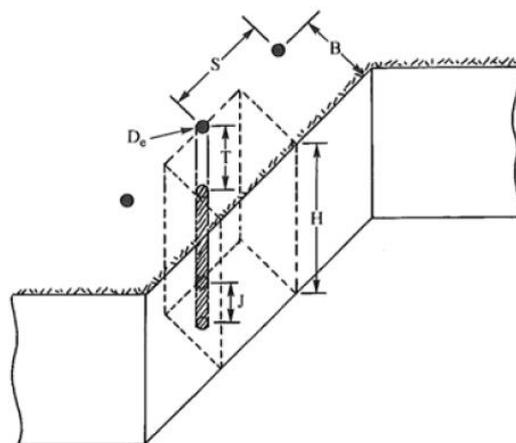


Figura 19: Dimensiones de un Taladro.

Fuente: (E.T.S. De Ingenieros De Minas De Madrid, 2013)

La zona situada próxima al pie de banquetas. Es la que, obviamente, tiene un mayor grado de fijación al macizo rocoso y requerirá, por tanto, una mayor energía explosiva para su arranque. La carga explosiva que se ubicará en esta zona se denominará "carga de fondo"

La zona situada sensiblemente por encima, cuenta con la ayuda del trabajo de "descalce" realizado por la carga de fondo y requiere, generalmente, una energía menor. La carga explosiva que se ubicará en esta zona se denominará "carga de columna".

Por último, la parte más alta tendría la función de retener, al menos durante un corto espacio de tiempo, los gases producidos en la explosión para dirigir la acción de los mismos hacia la fragmentación de la roca. A esta zona le corresponde la longitud de taladro "R", denominada "retacado", que se deja sin cargar y se rellena normalmente con material inerte. Este material suele

ser el propio detritus de la perforación, aunque se obtienen mejores resultados con el uso de gravilla como material de confinamiento.

Es práctica habitual dejar un retacado "R" igual a la "piedra" "B" o a la mitad de ésta según los riesgos de proyecciones que se puedan correr y el tamaño máximo de bloques que pueden producirse en esta zona.

En principio, existen por tanto en el taladro dos cargas con misiones bien diferenciadas:

- La carga de fondo, generalmente de mayor concentración y potencia, necesaria para el arranque del pie de banquetas.
- La carga de columna, que puede tener una menor concentración y potencia, suficientes para el arranque de la parte superior.

Los explosivos más densos y potentes (dinamitas, hidrogeles, emulsiones, etc.) serían por tanto adecuados para carga de fondo, en tanto que aquéllos menos densos y de menor potencia (ANFOS, emulsiones, etc.), serían más útiles como carga de columna. El empleo de un tipo de explosivo u otro vendrá siempre definido por las condiciones geológicas de la roca, así como por el campo de aplicación de cada uno de los explosivos considerados.

Pero, lógicamente, la diferenciación entre carga de fondo y de columna será tanto más patente cuanto más dura y sana sea la roca. En tal caso será máxima la dificultad para arrancar el pie de banqueta. En cambio, con una roca blanda, con un bajo grado de fijación al terreno, la carga de fondo puede no diferenciarse sensiblemente de la de columna, pudiendo emplear incluso el mismo tipo de explosivo en ambas cargas.

Es obvio que no todo el explosivo del taladro contribuye en la misma medida al arranque del pie de la banqueta. Lógicamente aquel explosivo situado más próximo a la cota de la rasante, lo hará en mayor medida que el situado sensiblemente más arriba. Algunas investigaciones realizadas sobre modelos a escala parecen indicar que el grado de eficiencia de la carga de fondo como tal, es máximo hasta una altura de aproximadamente $0,3B$ sobre la rasante y que disminuye progresivamente hasta una altura B sobre el pie de la banqueta, a partir de la cual, su contribución al arranque de la cota del piso es prácticamente nula.

Una propuesta razonable sería entonces, considerar como carga de fondo aquélla cuyo centro de gravedad quedase a la altura de la rasante del pie de banqueta. En tal caso, si la sobre perforación quedaba a cota $-0,3B$, la carga de fondo será aquella comprendida entre dicha cota y la $+0,3B$.

En cuanto a la altura de la banqueta, según lo anteriormente expuesto, si $H < B$ se estaría ante una voladura en cráter con salida hacia arriba. Si $H < 1,3B$, la práctica totalidad de la carga sería carga de fondo. A partir de este valor, la relación entre carga de fondo y carga de columna sería tanto menor cuanto mayor sea la altura de la banqueta, Ello, en principio, puede parecer interesante desde un punto de vista económico. Sin embargo, banquetas excesivamente altas dan lugar a desviaciones en la perforación que alteran sustancialmente el esquema inicialmente previsto y dificultan el control de la voladura. Por esta razón, la altura de la banqueta rara vez supera el valor $5B$ en taladros de pequeño diámetro y el valor $3B$ en taladros de gran diámetro.

A modo de resumen, puede decirse que la geometría del taladro viene determinada básicamente por el diámetro de perforación, y, en función de

dicho parámetro se pueden establecer directrices para el resto de los parámetros de perforación, de acuerdo a la Figura 21.

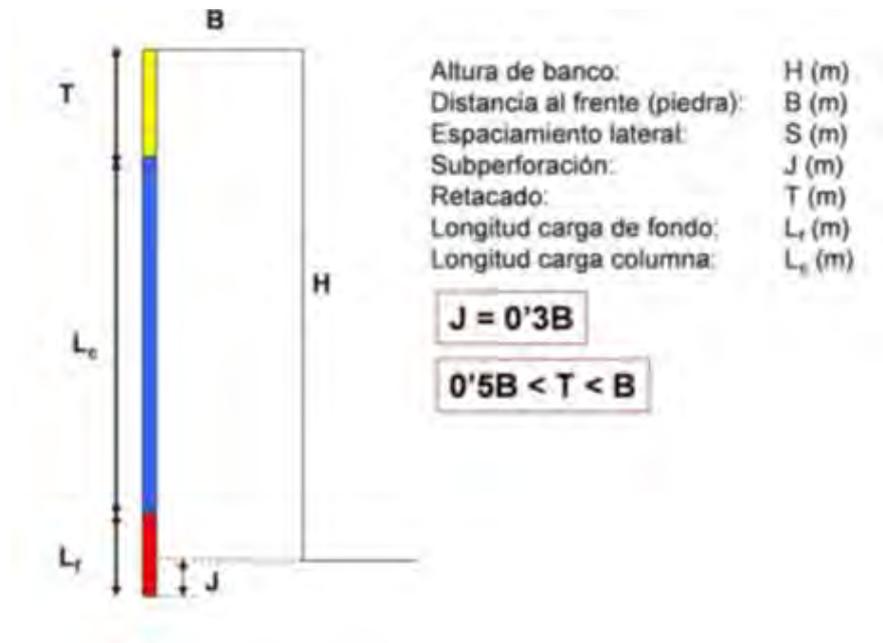


Figura 20: Criterios para Dimensiones de un Taladro.

Fuente: (E.T.S. De Ingenieros De Minas De Madrid, 2013)

2.7.6. Influencia del Ángulo de Perforación en la Voladura.

Existen varias opciones para el diseño de voladuras a cielo abierto, en las cuales se diferencian claramente dos tipos: voladuras de taladros verticales o de taladros inclinados.

Ambas opciones tienen ventajas e inconvenientes, que deben valorarse en cada caso. Si bien, a priori, como se ha descrito anteriormente, las disposiciones de los taladros deben ser paralelos al frente de voladura, de manera general este tendrá cierto ángulo de inclinación, para asegurar la estabilidad del mismo, en función de sus propiedades geotécnicas. En cambio, existen casos en los que la perforación vertical mejora el rendimiento global de la voladura.

La disposición de la carga de fondo en un taladro inclinado favorece un mejor aprovechamiento de su energía al reducir la porción de la misma que se pierde en vibraciones por debajo del pie de la banqueta y sin encontrar una superficie libre de reflexión. Esto permite, en general, utilizar una malla más amplia con la consiguiente reducción en el consumo de explosivo. Disminuye también la zona de influencia del retacado, zona en la que normalmente suelen aparecer sobretamaños y puede perjudicar algo la fragmentación.

Por otra parte, entre las desventajas de la perforación inclinada se puede destacar un incremento del consumo de fungibles en la perforación y una mayor dificultad para asegurar la correcta alineación de los taladros.

En definitiva, según sea el explosivo o la perforación el factor de mayor incidencia en el coste total de la operación, el diseño de voladura será necesario realizarlo por una u otra alternativa.

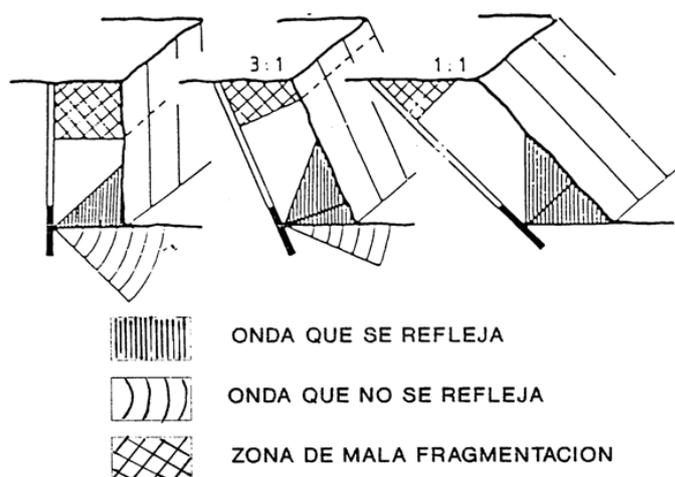


Figura 21: Incidencia de la Inclinación de Taladros.

Fuente: (E.T.S. De Ingenieros De Minas De Madrid, 2013)

2.7.7. Fórmulas de Cálculo de Esquemas de Voladura en Banquetas

Muchas son las fórmulas propuestas por distintos autores para el cálculo del esquema o malla de perforación en las voladuras en banquetas. Todas ellas manejan uno o varios de los factores vistos anteriormente, denominados factores geométricos, inherentes a la roca e inherentes al explosivo.

El problema que surge en el cálculo de voladura es que no todos estos parámetros pueden determinarse con igual facilidad y grado de precisión. Además, algunos de ellos, como la potencia del explosivo y la dureza de la roca, son conceptos genéricos que admiten interpretaciones diversas.

Por otra parte, todas estas fórmulas han sido desarrolladas de manera empírica y, lógicamente, muchas de ellas, aun siendo adecuadas para aplicaciones similares a las de partida, presentan desviaciones importantes en circunstancias radicalmente diferentes.

Hacer una relación de todas ellas resultaría prolijo y, en muchos casos, por la razón anteriormente mencionada, también estéril. Por ello, para que resulte una aplicación eminentemente práctica, se tratará aquí de interpretar aquéllas que, por su utilidad ó facilidad de aplicación, son más interesantes.

Como idea inicial no se debe olvidar que siempre y cuando se disponga en la voladura de una adecuada cara libre, la zona de fragmentación aceptable se extiende hasta una distancia de aproximadamente 40 veces el diámetro de la carga. Esta primera estimación es la que da lugar a la sencilla regla nemotécnica que sugiere que, supuesta una malla cuadrada ($B=S$), "la piedra B expresada en metros ha de ser aproximadamente igual al diámetro de la carga D, expresado en pulgadas"

$$B=40 \cdot D \leftrightarrow B(\text{metros})=D(\text{pulgadas})$$

Obviamente, se trata tan sólo de una primera aproximación que no tiene en cuenta ni el tipo de explosivo, ni el tipo de roca ni otros factores que pueden influir, y de hecho influyen, en el correcto diseño de la voladura. Sin embargo, para unos datos iniciales y un primer diseño conceptual, es de gran utilidad.

Dentro de este tipo de formulaciones de extremada sencillez cabe mencionar las propuestas por P.A. RUSTAN (1990):

Voladuras a Cielo Abierto y diámetros entre 89 y 311 mm:

$$B=18,1 \cdot D^{0.689}$$

Voladuras Subterráneas y diámetros entre 48 y 165 mm:

$$B=11,8 \cdot D^{0.630}$$

Se llegó a tales expresiones tras un muestreo de casi un centenar de datos entre explotaciones de uno y otro tipo, con unos coeficientes de correlación del 0,78 y del 0,94 respectivamente.

Dichas fórmulas, aunque simples, reflejan dos aspectos que no tenía en cuenta la regla anterior:

- A medida que aumenta el diámetro del taladro, la carga se encuentra peor distribuida dentro del macizo rocoso. Por ello no es posible aumentar la piedra en la misma proporción que se aumenta el diámetro (Exponente de D menor que 1).
- En explotaciones subterráneas, con menor cara libre y mayor confinamiento, las voladuras se encuentran generalmente más confinadas, con peor salida, lo que obliga también a reducir la piedra (Distinto coeficiente para uno y otro caso).

R.L. ASH en 1963 propuso una fórmula del mismo estilo que, de alguna manera, tenía en cuenta el tipo de roca y de explosivo, pero no así el primero de los dos aspectos que se acaba de mencionar. Por ello, puede decirse que se trata de una fórmula aplicable a diámetros grandes. La fórmula de ASH es la siguiente:

$$B=K \cdot D$$

Donde

D= diámetro del taladro.

K = constante que varía con el tipo de explosivo y de roca, según el siguiente cuadro:

Tabla 8: Valores de la Constante K

Tipo de Explosivo	Tipo de Roca		
	Blanda	Media	Dura
Baja densidad (0.8 -0.9) gr/cc Baja potencia	30	25	20
Densidad media (1.0 – 1.2) gr/cc Potencia media	35	30	25
Alta densidad (1.3 – 1.4) gr/cc Alta potencia	40	35	30

Fuente: (E.T.S. De Ingenieros De Minas De Madrid, 2013)

Como evolución de las anteriores fórmulas de cálculo, KONYA (1983) caracterizó tanto el explosivo como la roca por sus respectivas densidades "de" (densidad del explosivo) y "dr" (densidad de la roca) y propuso la siguiente fórmula:

$$B = 11,8 \cdot D \cdot \left[2 \cdot \frac{de}{dr} + 1,5 \right]$$

Si se tiene en cuenta que el valor numérico de la expresión $2(de/dr) + 1,5$ va a oscilar casi siempre entre 2 y 3, esta fórmula se corresponde con la de ASH para valores intermedios de "K". Al igual que ésta, se ajusta bastante a la realidad con diámetros grandes y proporciona resultados algo conservadores en diámetros pequeños.

Según (Langefors & Kihlstrom, 1963), propusieron la siguiente fórmula para definir la piedra máxima Bm:

$$B_{max} = \left(\frac{D}{33} \right) \cdot \sqrt{\frac{d_e \cdot PRP}{k \cdot f \cdot (S/B)}}$$

Donde "Bmax" y "D" están expresados en metros y milímetros respectivamente. Por lo tanto, el primero de los dos factores de dicha fórmula establece, en una primera aproximación, una piedra máxima igual a 30 veces el diámetro, mientras que el segundo factor sería un coeficiente de corrección, función de:

- de: Densidad del explosivo.
- PRP: Potencia relativa en peso.
- S/B: Relación espaciamiento/piedra.
- f: Factor de fijación de la roca:

- ✓ Taladros verticales → $f=1$
- ✓ Taladros inclinados 3:1 → $f=0,9$
- ✓ Taladros inclinados 2:1 → $f=0,85$
- k: Factor de roca.

Este factor de roca "k" se define a partir de la carga específica "c" (cantidad de explosivo en kg. necesaria para arrancar un m³ de roca), mediante la siguiente expresión:

$$k=c+0.05$$

La piedra máxima "Bm", habría de reducirse, a su vez, hasta un valor práctico "B", que cubriera las posibles desviaciones y errores inherentes a la perforación.

La fórmula de LANGEFORS y KIHLSSTRÖM, desarrollada principalmente en base a datos obtenidos con rocas duras y diámetros pequeños, tiene en tales circunstancias el mayor grado de verosimilitud.

A partir de la fórmula anterior, sugiere la siguiente:

$$Bm=K \cdot R1 \cdot R2 \cdot R3$$

Donde:

- K: Constante que depende del tipo de explosivo o Explosivos

Explosivos gelatinosos K=1,47

Emulsiones K=1,45

Anfo K=1,36

q: Concentración lineal de la carga de fondo (kg/m)

Tabla 9: Factor de Corrección por Inclinación.

Inclinación	Vertical	10:1	5:1	3:1	2:1
R1	0.95	0.96	0.98	1.00	1.03

Fuente: (E.T.S. De Ingenieros De Minas De Madrid, 2013)

R2: Factor de corrección por el tipo de roca:

Tabla 10: Factor de Corrección por Tipo de Roca.

Carga específica	0.3	0.4	0.5
R2	1.15	1.00	0.90

Fuente: (E.T.S. De Ingenieros De Minas De Madrid, 2013)

R3: Factor de corrección por altura de banquetas, aplicable cuando $H < 2B_m$

$$R_3 = 1.16 - 0.16 \cdot \left(\frac{2 \cdot B \cdot M}{H} \right)$$

Donde

B.M. = piedra máxima.

H= altura de banquetas.

CAPITULO III

ASPECTOS GENERALES DEL YACIMIENTO NO METÁLICO

3.1. Ubicación.

La Región Apurímac se ubica al sur este del Perú, entre las latitudes sur $13^{\circ}23'$ y $14^{\circ}24'$ y longitudes oeste $72^{\circ}04'$ y $73^{\circ}44'$ aproximadamente. Con una superficie de 20,895.79 Km². En la región Apurímac se cuenta con importantes formaciones geológicas, siendo el batolito Andahuaylas – Yauri una de las más importantes por su naturaleza minero-metalúrgica, es por esta razón que en la región Apurímac se desarrollan grandes proyectos y operaciones mineras productivas en yacimientos metálicos, la región Apurímac también cuenta con operaciones mineras que explotan yacimientos no metálicos ha pequeña y mediana escala. La explotación canteras de agregados de peñas y aluviales está considerado como activad minera extractiva no metálica.

El área de producción proyectada de la Empresa KUKYS S.C.R.L. cantera 01 Andahuaylas, se localiza al sur de Perú en el flanco este de la cordillera oriental, en

el distrito de San Jerónimo, provincia de Andahuaylas, en la región de Apurímac, a una altitud que comprende desde los 3195 hasta 3230 msnm, para mayor detalle acceder al plano adjunto de ubicación del proyecto.



Figura 22: Ubicación de la Zona de Proyecto con Respecto a la Ciudad de San Jerónimo.

Fuente: google maps-2018

El área que se proyecta explotar se extiende sobre un área exacta de 2.6977 ha, delimitada por las coordenadas UTM: N 8491321 E 679487 y N 8491288 y E 679693.

La zona proyectada se encuentra fuera de áreas protegidas y de expansión urbana, lo que permite la explotación del recurso minero no metálico, las coordenadas del polígono de explotación del proyecto son las siguientes:

Tabla 11: Coordenadas UTM de la cantera Kukys

<u>Punto</u>	<u>Este</u>	<u>Norte</u>	<u>Cota</u>
P1	676993	8491288	3265
P2	679730	8491395	3298
P3	679656	8491438	3299
P4	679644	8491431	3304
P5	679585	8491420	3305
P6	679572	8491425	3297
P7	679555	8491321	3297
P8	679487	8491321	3260
P9	679635	8491291	3267

Fuente: estudio topográfico del presente proyecto

3.2. Accesibilidad.

El acceso a la zona proyectada para la cantera –Kukys- Apurímac, se da a través de la carretera Andahuaylas – Abancay – Cusco (denominado vía longitudinal del sur), cuyo recorrido se encuentra asfaltada en su totalidad siendo aproximadamente 6 horas de viaje desde la ciudad del cusco, quedando la zona proyectada al pie de la carretera asfaltada, en el sector denominado SONDOR.

El recorrido desde la ciudad de Andahuaylas es de 8.3 km, con un tiempo aproximado de 30 min, por la vía anteriormente señalada.

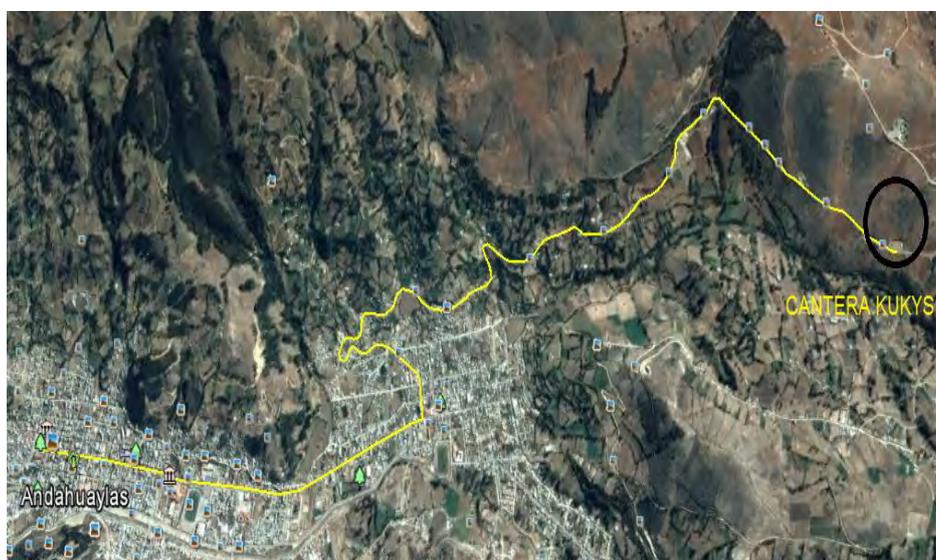


Figura 23: Trazo de ruta a la cantera Kukys desde la ciudad de Andahuaylas.

Fuente: google heard 2018

Tabla 12: Ubicación y Accesibilidad.

<i>TABLA N° 13: Ubicación y Accesibilidad</i>					
<i>región</i>	<i>provincia</i>	<i>distrito</i>	<i>localidad</i>	<i>coordenadas</i>	
<i>Apurímac</i>	<i>Andahuaylas</i>	<i>San Jerónimo</i>	<i>Sondor</i>	<i>679487</i>	<i>8491321</i>
<i>vía de Axeso</i>	<i>vía nacional 3s</i>		<i>km: 8</i>	<i>tiempo estimado</i>	<i>30.min</i>

Fuente: ubicación y accesibilidad del presente proyecto Información de accesos y ubicación.

3.3. Climatología.

3.3.1. Clima.

El clima es variado de acuerdo con los picos de altitud. Cálido y húmedo en el fondo de los cañones profundos del Apurímac, Pampas y Pachachaca, templado y seco en las altitudes medias. Frío y con acentuada sequedad atmosférica en la alta montaña y muy frío en las cumbres nevadas. La variación de la temperatura es muy significativa y aumenta con la altitud. Así por ejemplo en Antabamba, a 3636 m.s.n.m. en el mes de Octubre, la temperatura diurna llega hasta 25° C y en las noches desciende hasta 3° C y en el mes de Junio, invierno Austral, la temperatura máxima diurna llegan a 20. 2° C y en las noches baja a 0.6°C.

Las precipitaciones son abundantes de diciembre a abril y el periodo seco, con lluvias escasas de mayo a noviembre.

En la época de lluvias, los huaycos, inundaciones y derrumbes son fenómenos de gran frecuencia y afectan constantemente las vías de comunicación.

El clima en la provincia de Andahuaylas es suave, y generalmente cálido y templado, los veranos tienen mucha más lluvia.

De acuerdo con Köppen y Geiger clima se clasifica como Cwb. La temperatura media anual en Andahuaylas se encuentra a 13.8 °C. La precipitación media aproximada es de 930 mm.

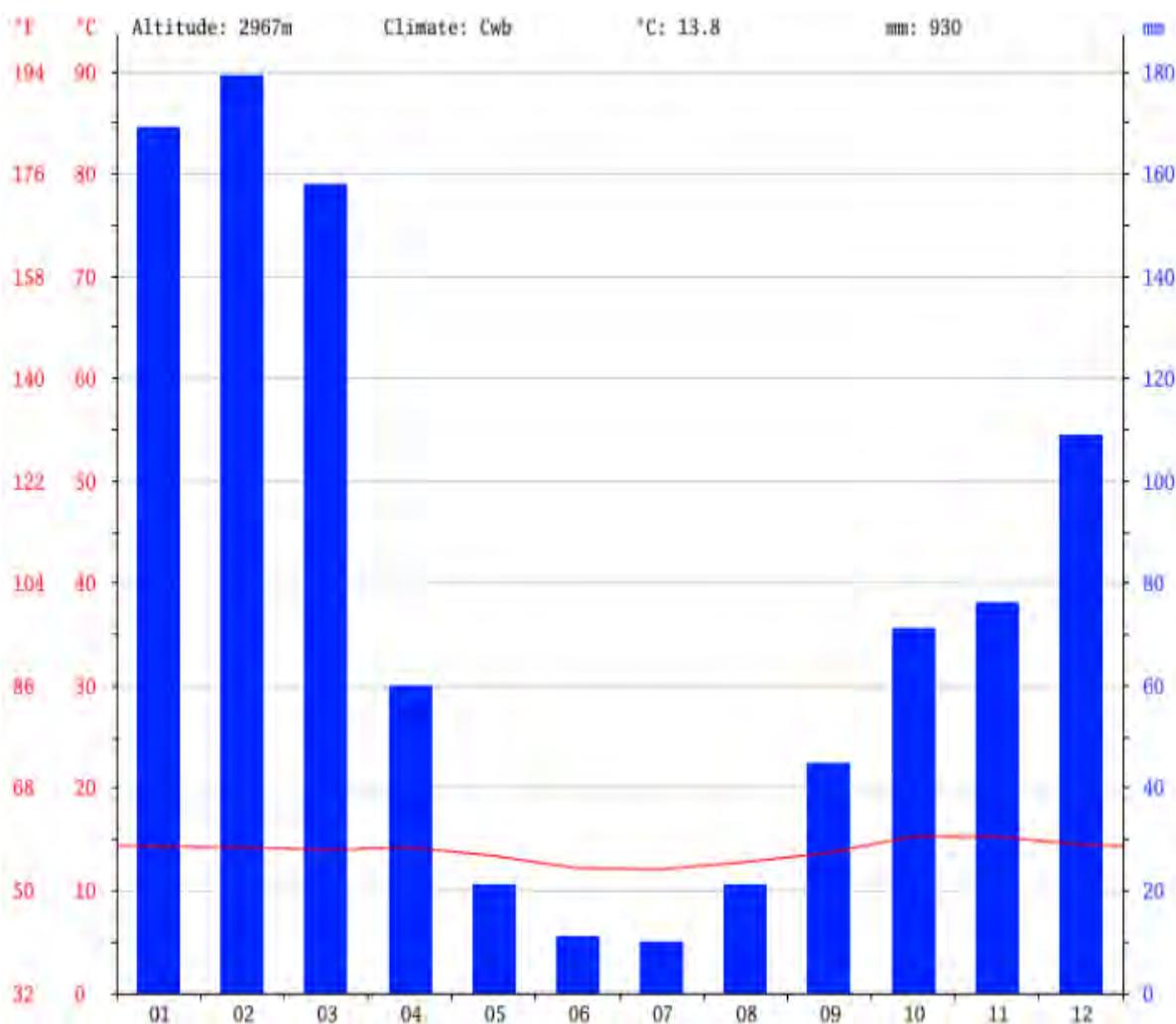


Figura 24: Climograma Andahuaylas.

Fuente: Evaluación de los Recursos Hídricos en Cabecera de las Subcuencas de las Provincias de Andahuaylas y Chincheros - 2015

La precipitación es la más baja en julio, con un promedio de 10 mm. En febrero, la precipitación alcanza su pico, con un promedio de 179 mm.

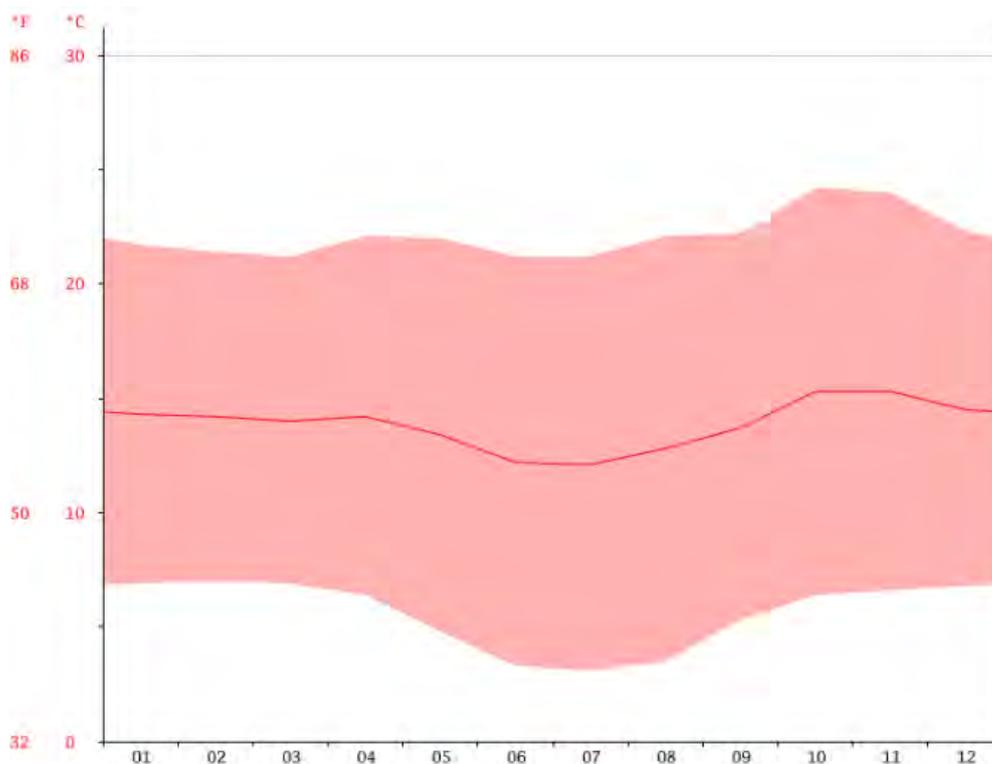


Figura 25: Diagrama de temperatura Andahuaylas.

Fuente: (Ministerio de Agricultura y Riego, 2015)

A una temperatura media de 15.3 ° C, octubre es el mes más caluroso del año. A 12.1 ° C en promedio, julio es el mes más frío del año.

3.4. Flora y Fauna.

3.4.1. Flora.

Fotográficamente, el territorio de Apurímac, se divide en nueve formaciones, de los cuales sobresalen en esta región, las siguientes Estepa-Espinoza-montano bajo tropical, monte espinoso Sub tropical, bosque seco prenotando tropical y en pequeña proporción el páramo muy húmedo Sub alpino tropical.

Estas formaciones constituyen en el ambiente preferido de una gran variedad de árboles, arbustos y plantas menores.

Entre los árboles, arbustos que sobresalen se pueden mencionar los eucaliptos, el molle, Chamana, retama, maguey, huarango, chachacomo, tayanca, tuna, las cactáceas columnares, la tara, el cultivo de la caña de azúcar para aguardientes, algunos frutales como la chirimoya, mango, cítricos, paltas capuli, constituyen parte de la flora.

Merece destacar los bosques de intimas en el santuario nacional del Ampay, a parte del pino abanquino presenta otras variables de plantas extrañas sus grandes y frondosas filicíneas, con sus helechos solo comparables con los que existen en nuestra selva amazónica.

La flora presente en la zona proyectada para la cantera Kukys –Apurímac está constituida por pajonales, y algunas plantas cactáceas de puna, la presencia de árboles es nula, y la agricultura no se practica ya los que los suelos son muy pedregosos y no cuenta con irrigación.

3.4.2. Fauna.

La fauna al igual que la flora, en el la región Apurímac es abundante, presentando diversas variedades de especies zoológicas, en los diferentes pisos ecológicos que posee, entre ellos podemos citar el venado gris, puma, taruca, zorro, comadrejas, ciervos, el oso de anteojos, gatos de pajonal, venado rojo, vizcachas, zorros, guanaco, etc. En aves se tiene los ruiseñores, búhos, palomas, perdices, cuculí, jilgueros, gorriones, tordos, calandria, loros picaflores, papagallos, pájaro carpintero, flamencos o pariguanas, guallata, gaviota, gavián, etc.

Además, tiene numerosos peces como el zungaro, pejerreyes, etc. También se puede mencionar a taruca que es una especie oriunda de nuestra sierra, ceja

de puna y cordillera , lo que es la salcca en las quebradas; En el santuario nacional del Ampay los salccas son diferentes de las mencionadas semejanzas mas bien a los ciervos del Canadá y blastoceros dochotomus de los pantanos de la Florida en los Estados Unidos de Norte América. Esta especie de servidos viene extinguiéndose por falta de una adecuada ordenanza o legislación especial. Sin embargo con la declaración de Santuario, se están protegiendo a los diferentes animales.

La fauna presente en la zona proyectada para la cantera Kukys –Apurímac está constituida por insectos comunes, las especies de animales silvestres están totalmente ausentes por la cercanía a la carreta y su relavia sercania a la ciudad de san Jerónimo.

3.5. Fisiografía y Topografía.

La Región Apurímac presenta mayormente una topografía andina, siendo particularmente de las más accidentadas del país, con presencia de una gran variedad de cañones y valles estrechos con fuertes pendientes. Su territorio es atravesado de sureste a noroeste por la cordillera Huanzo que forma en su recorrido altas cumbres, mesetas, quebradas de paredes inclinadas y valles profundos, originando variedad de climas y pisos ecológicos. El abra principal es El Piste, entre las provincias de Aymaraes y Antabamba; y las elevaciones más importantes son Huaytane (5430 msnm) y el nevado de Chancahuana (5331 msnm), ambas ubicadas en el distrito de Oropesa en la provincia de Antabamba. Los principales ríos que reciben el aporte de los diversos afluentes de la región son los ríos Apurímac y Pampas. EL primero recibe el nombre de Santo Tomas inicialmente para luego convertirse en Apurímac, este sirve de límite con Cusco y el rio Pampas sirve de

límite con Ayacucho por el noroeste y norte. El río Santo Tomás y Apurímac corren por un valle profundo y estrecho formando uno de los cañones más imponentes del Perú. Al oeste y sur de Andahuaylas se observan mesetas o relieve menos accidentado.

El valle de Apurímac situado en el centro y este de la región Apurímac tiene una geomorfología muy compleja y variada debido a los variados procesos erosivos que han ocurrido durante millones de años –y que siguen ocurriendo, como son: amplias mesetas disectadas (cortadas) por numerosos ríos que discurren de sur a norte, cadenas montañosas, vertientes con altas pendientes, cañones profundos y valles interandinos angostos. La puna o altiplano se ubica sobre los 3800 msnm; por corresponder a zonas cubiertas por glaciares en el periodo de máxima expansión glacial hace aproximadamente 20 000 años; donde la línea de nieve estaba ubicada a 1 200 m más abajo de lo que es ahora. Estos territorios han sido meteorizados y erosionados de tal manera que la Puna presenta un relieve predominantemente ondulado y llano, en donde los cambios de pendiente son generalmente suaves; en esta zona destaca el nevado de Ampay (5 235 msnm) ubicado muy próximo a la Amazonia, lo que le permite “capturar” mucha humedad, por lo cual sus glaciares probablemente tengan una reducida disminución por efecto del calentamiento global.

Gran parte del territorio de la microcuenca de Mollebamba se ubica al sur de la región Apurímac, caracterizándose por relieves de ondulados a disectados, alternando con relieves llanos. Estas características generan una gran inestabilidad geológica, característica que se da en mayor medida en la parte media y baja (Ala , 2010).

Entre los 2 000 y 3 800 metros de altitud, la geomorfología guarda estrecha relación con los esfuerzos episódicos de plegamientos que ocurrieron en los Andes, que tras millones de años han sido profundamente socavados verticalmente por el discurrir de numerosos ríos, en su mayoría cortos, que al transcurrir miles de años se han convertido en muy torrentosos. Esta característica refleja continuos ajustes entre deformación tectónica y procesos fluviales. Muchos valles han sido interrumpidos por los masivos transportes fluviales de materiales sedimentarios, mucho más que hoy, durante los periodos húmedos del Pleistoceno. Mención aparte merece nombrar al cañón de Apurímac y Chalhuanca que en algunos lugares discurre por acantilados de hasta 3 000 m de profundidad.

La zona proyecta para la construcción de la cantera de agregados Kukys se encuentra a una altura que varía entre 3195 a 3230 msnm, dentro del área del distrito de San Jerónimo Presentando una topografía irregular con una pendiente promedio de 42.2% , para mayor detalle observa el plano topográfico del proyecto.

3.6. Características Geológicas.

3.6.1. Geología Regional.

Tres unidades geomorfológicas importantes pueden diferenciarse en los cuadrángulos que conforman el batolito Andahuaylas – Yaury

3.6.1.1. *Altas Mesetas.*

Bajo el nombre de Altas Mesetas (Megard, 1968), se describe una zona de relieve suave truncada por una superficie de erosión que queda a una altura que varía de 4,200 a 4,700 m.s.n.m. Esta superficie de erosión es la “superficie Puna” descrita por (Alban Avila, 1998).

La superficie Puna ha sido disectada por la erosión, esencialmente glaciaria; las huellas de las glaciaciones se observan por encima de los 3,500 m.s.n.m. (valles en U, depósitos morrénicos, etc.). Se puede distinguir por lo menos dos etapas de glaciaciones que posiblemente se correlacionen con las glaciaciones g1 y g2 del Centro del Perú (Dollfus, 1965). La sucesión de las fases glaciares se nota bien en las partes centrales de las hojas de Andahuaylas y Abancay, donde es frecuente observar valles glaciares y morrenas (g2), cortando estructuras glaciares más antiguas (g1). Esta disposición se nota en la laguna Antacocha (hoja Andahuaylas, 13° 46' y 73° 13').

Las variaciones litológicas determinan formas de relieve diferente. Los extensos afloramientos de calizas del Cretáceo medio (formación Ferrobamba) de la parte centro-Sur de la zona estudiada presentan huellas de erosión kárstica.

Así como en el Centro del Perú (Dollfus, 1965), notamos una fuerte disolución superficial (lapiez) pero poca acción erosiva en profundidad. Parece que factores climáticos y litológicos hacen que las aguas de escorrentía se saturen rápidamente y cuando se infiltran ya no tienen poder disolvente.

Las potentes cuarcitas del grupo Yura (Jurásico superior Cretáceo inferior), que afloran en los núcleos de anticlinales de gran radio de curvatura (hoja de Cotabambas), determinan zonas altas de relieve suave, debido a la casi horizontalidad de las capas en el eje anticlinal.

Las rocas intrusivas, generalmente granodioríticas, han resistido bien a la acción erosiva de la unidad “Altas Mesetas”. Muchas veces constituyen relieves residuales por encima de la superficie Puna (partes centrales de la hoja de Abancay, por ejemplo) (Ministerio de Energía y Minas, 2018).

3.6.1.2. *Cordillera Oriental.*

Al Norte de la unidad Altas Mesetas y separada de ella por una zona de falla orientada Este-Oeste, queda la unidad “Cordillera Oriental” que corresponde a las estribaciones occidentales de la Cordillera Oriental del Sur del Perú.

La unidad Cordillera Oriental se diferencia de la precedente por su morfología, pues los relieves son muy agudos y ya no se notan colinas de formas suaves como en la unidad Altas Mesetas.

La morfología joven de la unidad Cordillera Oriental se debe al juego reciente de la zona de fallas E-W (Falla de Abancay). El levantamiento plio-Cuaternario de los Andes se realizó por intermedio de fallas de juego normal que cortaron la superficie Puna. En la región estudiada ciertas porciones de dicha superficie se levantaron más que otras. Las partes levantadas (Cordillera Oriental) sufrieron una reactivación de la erosión y se encuentran rejuvenecidas.

La historia geológica muestra que, desde fines del Paleozoico, la Cordillera Oriental fue una zona móvil positiva y sufrió varias etapas de

erosión seguidas de levantamiento (Ministerio de Energía y Minas, 2018).

3.6.1.3. *Los Valles.*

Las unidades “Altas Mesetas” y “Cordillera Oriental” se encuentran disectadas por valles profundos y a menudo encañonados. Dentro de los valles de la región estudiada, los principales son los del Río Apurímac y de sus tributarios (Río Santo Tomás, Río Antilla, Río Pachachaca, Río Pincos, etc.). Todos presentan un encañonamiento importante (más de 1,000 m.) en ciertas partes de su recorrido. Los flancos muestran una fuerte pendiente y frecuentemente están cubiertos por mantos gruesos de aluviones.

La gran velocidad del agua indica que todavía los ríos no alcanzaron su perfil de equilibrio. En cuanto al río Apurímac, vemos que sus tributarios no han tenido el tiempo de regularizar su curso y tienen un nivel de base muy abrupto. Esto se traduce en el terreno por una zona de rápidos en las cercanías de la confluencia. Ciertos valles muestran una exageración de este fenómeno: se trata de los valles colgados, cuyos mejores ejemplos son el valle de Curahuasi ($72^{\circ} 42' - 13^{\circ} 33'$) y el valle de Sahuinto (8 km al Sur de la ciudad de Abancay). Al levantarse los Andes durante el Cuaternario, el nivel de base de los ríos quedó sobrealzado y empezó una erosión regresiva (Esta es la explicación del encañonamiento de los ríos que son antecedentes) (Ministerio de Energía y Minas, 2018).

3.6.2. Geología Local.

3.6.2.1. *Estratigrafía.*

Dentro del área que abarca el batolito Andahuaylas- Yauri afloran terrenos sedimentarios cuya edad varía del Permiano inferior al Cuaternario. Debido a los abundantes depósitos superficiales recientes, a la tectónica y a las intrusiones, las relaciones entre las diferentes unidades son a veces difíciles de establecer en la zona que abarca el batolito Andahuaylas- Yauri, por cuyas razones se hará a menudo referencia a zonas vecinas donde estas relaciones se ven con mayor claridad (Ministerio de Energía y Minas, 2018).

3.6.2.2. *Jurásico Superior. Neocomiano : Grupo Yura – asentamiento de la cantera KUKYS*

No se conocen depósitos sedimentarios entre el Lias superior y el Caloviano. Esta laguna puede hacer pensar en que existieron movimientos nevadianos, pero no se nota discordancia angular entre el Lias y el Caloviano. Puede ser que aquellos movimientos, señalados por RUEGG en la zona de Nazca (1956), se hayan manifestado en nuestra área por movimientos verticales.

El mar invade de nuevo la zona estudiada y durante el Caloviano se deposita una serie lutítica en la base y cuarcítica hacia el tope con 2,500 m. de espesor aproximadamente.

Denominamos grupo Yura a esta unidad por las analogías litológicas y paleontológicas que tiene con el grupo Yura de Arequipa (JENKS, 1948;

BENAVIDES, 1962). Dicho grupo. Yura está cubierto en concordancia por las calizas del Cretáceo medio (formación Ferrobamba, encontrándose buenos afloramientos en la carretera Andahuaylas – Santa María de Chismo y en la trocha a Huancarama (hoja de Andahuaylas), en los valles de los ríos Apurímac, Matara, Pachachaca (hoja de Abancay) y en las alturas al Sur de Cotabambas (hoja de Cotabambas).

3.6.2.2.1. *Litología.*

El grupo Yura está compuesto aproximadamente de 1,500 m. de lutitas negras en la parte inferior y de 1,000 metros de cuarcitas en la parte superior.

Las lutitas son negras, a menudo carbonosas, bien estratificadas y contienen restos vegetales. Se encuentran intercaladas en bancos de areniscas finas que nunca pasan de 1 metro de grosor. También existen intercalaciones de calizas negras bituminosas (trocha a Huancarama, 73° 07' - 13° 39'). Las cuarcitas son macizas y forman barrancos muy abruptos (valle del río Pachachaca). La pátina es generalmente rojiza a gris amarillento y el corte fresco varía de rosado a gris. Se presentan en bancos de 0.5 a 5 metros de grosor, a veces intercaladas con horizontes muy delgados de lutitas. El grano es generalmente fino y es muy frecuente la estratificación cruzada.

También se han notado algunas intercalaciones calcáreas, pero no muy gruesas (0.5 a 1 metro) (Ministerio de Energía y Minas, 2018).

3.6.3. Geología Estructural.

Los mapas geológicos correspondientes indican que dos grandes rasgos estructurales orientados E-W destacan en la zona estudiada: - Zonas de fallas (aproximadamente E-W) en la parte septentrional: la falla de Abancay. - Pliegues generalmente con orientación E-W a una y otra parte de la zona de fallas.

Todas las estructuras de nuestra zona pertenecen al ciclo orogénico andino y se han originado desde el Terciario inferior hasta el Terciario superior.

3.6.3.1. *Tectónica De Fallas.*

3.6.3.1.1. *La Falla de Abancay.*

Desde el Lago Titicaca hasta nuestra región, la Cordillera Oriental está limitada en su borde Oeste por una zona de fallas paralelas a las estructuras andinas. Su rumbo es NW-SE del lago Titicaca hasta el Cuzco y E-W en la zona estudiada (Norte de las hojas de Andahuaylas y Abancay). Más al Norte esta zona de falla sigue hacia el Perú Central.

Existen basculamientos superficiales locales del plano de falla, tal como el caso que se presenta a unos kilómetros al Este del Puente Cunyac sobre el río Apurímac (hoja de Abancay 13° 30' y 72° 35') donde la falla de Abancay se pone inversa. La falla adquiere un buzamiento hacia el Norte (mientras que el buzamiento general de la zona de fallas es hacia el Sur) y pone a las calizas y evaporitas del

Lias (grupo Pucará) sobre las cuarcitas del Neocomiano (grupo Yura). Fallas N-S recortan la zona de falla de Abancay.

En la carretera Abancay-Cuzco entre Curahuasi y Puente Cunyac ($13^{\circ} 33'$ y $72^{\circ}40'$, hoja de Abancay) se ha observado una esquistosidad de rumbo N 40° buzando hacia el SW con 60° . Afecta a las rocas del grupo Yura y ya que está localizada en la zona de fallas, pensamos que ha sido originada al momento de juego inverso de dicha falla. El gran sistema de fallas E-W es un vestigio de la tectogénesis herciniana y ha jugado en fallas de subsidencia durante la sedimentación mesozoica, controlando emersión de la Cordillera Oriental.

En las inmediaciones de la zona de fallas, la intensa trituración de las rocas ha permitido establecer juegos normales, inversos y horizontales. El juego inverso es esencialmente contemporáneo de los pliegues E-W. El juego horizontal, observable a la escala del afloramiento, lo es también a la escala de los mapas geológicos adjuntos. La localización frecuente de los pliegues N-S en la borde de la zona de fallas E-W, y sobre todo la torsión de las estructuras al contacto con la zona de fallas, atestiguan el juego horizontal. El movimiento es sinistral, tal como lo sugiere la torsión

de las capas (con valor de pliegues de arrastre) que se ofrecen en la parte NE de la zona estudiada donde las Capas rojas de rumbo Norte, en las inmediaciones de la falla, toman un rumbo WNW-ESE. Los terrenos hasta el Oligoceno incluido, están afectados por estas

fallas y particularmente por los juegos horizontales. Por el contrario, las granodioritas post tectónicas, de edad probablemente Miocena, recortan las fallas E-W. Por estas razones pensamos que el juego horizontal de estas fallas, ocurrió esencialmente durante el Oligo-Mioceno.

La zona de fallas de Abancay tuvo un juego de tipo normal en varias épocas: primero durante la sedimentación mesozoica se levantó el compartimiento Norte (Cordillera Oriental) mientras que se hundía el del Sur (Cuenca marina de sedimentación), después del último plegamiento andino (Plioceno) y también durante el levantamiento Plio-Cuaternario de los Andes.

3.6.4. Geología Económica.

Por diferentes motivos no fue posible realizar un estudio detallado de los recursos económicos de los cuadrángulos de Andahuaylas, Abancay y Cotabambas y por ello solamente trataremos de presentar los caracteres generales de los yacimientos metálicos y no metálicos.

3.6.4.1. *Yacimientos Metálicos.*

Todas las mineralizaciones encontradas en la zona estudiada son del tipo metasomático de contacto, y ocurren en los lugares donde la granodiorita post-tectónica penetra en las calizas del Cretáceo medio y superior (Form. Ferrobamba). Atribuimos pues una edad Mio- Plioceno a las mineralizaciones.

3.6.4.2. *Yacimientos No-Metálicos.*

Los yacimientos no metálicos corresponden esencialmente a depósitos de evaporitas (sal y yeso). Las evaporitas son abundantes en el grupo Mitu, el grupo Pucará y en las Capas Rojas. Las dos principales minas de sal común (ClNa) se encuentran fuera de los límites de nuestra zona:

- La mina Huancaray, a 3 km del límite Oeste de la hoja de Andahuaylas.
- La mina de Carquique, ubicada a 4 km de límite Norte de la hoja de Abancay.

Dentro de los límites de nuestra zona se conocen varios yacimientos explotados esporádicamente por los pastores, esencialmente en la hoja de Abancay, en el fondo del río Apurímac (entre Curahuasi y puente Cunyac). Se trata de evaporitas del grupo Pucará.

También se han reconocido afloramientos de Carbón dentro del grupo Copacabana, tal como el que aflora en la carretera Abancay-Huanipaca, en el sitio de coordenadas $72^{\circ} 52' - 13^{\circ} 33'$ (hoja de Abancay). Se trata de una capa de 50 cm. a 1 m. de grosor. No es de interés económico.

El carbón del grupo Yura se encuentra en capas de 10 a 30 cm. intercaladas con cuarcitas. Este carbón se presenta en la carretera de Huancarama (hoja de Abancay). Las capas delgadas y lenticulares no presentan interés económico (Ministerio de Energía y Minas, 2018).

3.6.4.2.1. *Yacimientos de Cuarcitas Cantera Kukys -Apurímac*

El yacimiento de la cantera está constituido por cuarcitas del Jurásico Superior. Neocomiano perteneciente al Grupo Yura, en este

yacimiento se encuentra un potencial explotable de 229,292.276 m³ de material apto para su utilización como agregados para la construcción, dentro del mercado de agregados, la comercialización se realiza en m³, pero para la investigación se proyecta explotar 603,038.68588 toneladas, para mayor detalle se recomienda observar el capítulo IV en el sub capítulo 4.1 cálculo de potencias de la cantera de agregados , tabla 14 cálculo de reservas para la cantera Kukys.

CAPITULO IV

DIMENSIONAMIENTO DE BANQUETAS Y RAMPAS PARA LA ESTABILIDAD EN LA EXPLOTACIÓN DE LA CANTERA KUKYS- APURÍMAC.

4.1. Cálculo del Potencial de la Cantera de Agregados Kukys

4.1.1. Localización de La Cantera.

Región: Apurímac.

Provincia: Andahuaylas.

Distrito: San Jerónimo

Localidad: ladera sur del cerro Sondar

Puntos Principales Del Perímetro De La Cantera

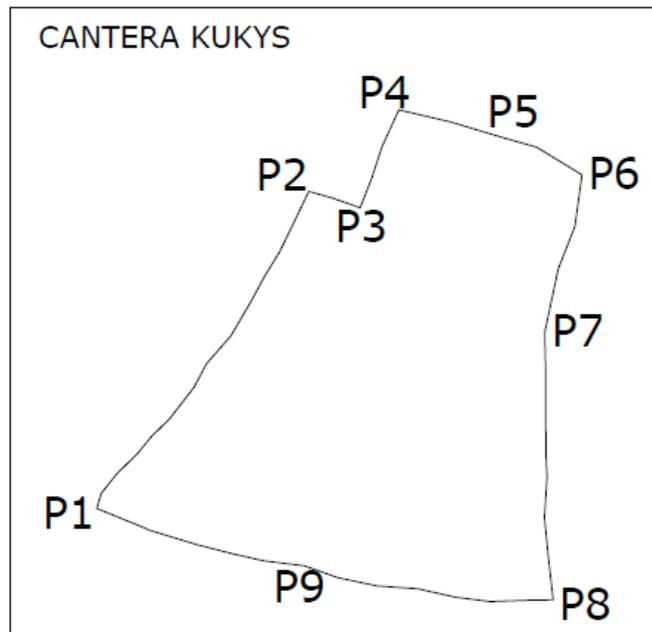


Figura 26: Representación del Polígono de Explotación KUKYS.

Fuente: calculo y dimensionamiento para la presente investigación.

Las coordenadas de los vertices se encuentran en la tabla 12 del presente estudio

4.1.2. Cálculo de Reservas.

Para el bloque de explotación, se realice el cálculo de reservas mediante el dimensionamiento de secciones transversales y longitudes equidistantes entre estas utilizando la relación matemática del cono truncado:

$$V = \left(\frac{SEC1 + SEC2}{2} \right) * D$$

SEC1 = sección transversal inicial

SEC2 = sección transversal final

D = distancia perpendicular entre secciones

Por la variación de las dimensiones de las secciones el software Autocat Civil 3d realiza múltiples integraciones para realizar el cálculo volumétrico con mayor precisión.

Para el cálculo de reservas de la cantera KUKYS se realizó la división de esta en 18 secciones equidistadas entre sí con una longitud de 8 metros, el resultado se maneja en unidades volumétricas puesto que el comercio de materia pétreo se realiza en metros cúbicos.

Como resultado del cálculo de reservas se tiene el siguiente cuadro:

Tabla 13: Calculo de Reservas en la Cantera Kukys

Nombre De La Proyecto	Cantera De Agregados Kukys S.C.R.L				Tipo De Roca			Cuarcita	
Región	Apurímac				RQD				
Provincia	Andahuaylas				GSI				
Distrito	San Jerónimo				COTA				
Estacion	Seccion		Area Prom-Explotacion (m2)	Area Prom-Desbroce (m2)	Volumen			Observacion	
	Sec. Explotacion (m2)	Sec. Desbroce(m2)			Dist(m)	Explotable (m3)	Desbroce(m3)		
00+96	290.583	23.364	1270.187	45.776	8	10161.496	366.208	Los datos tomados en campo son precisos puesto que se realizó el levantamiento topográfico con estación total (+- 2mm, +- 2 ppm), y para determinar el espesor de la sección desbroce se consideró la excavación de múltiples calicatas	
00+104	2249.791	68.188	2328.0235	70.7195	8	18624.188	565.756		
00+112	2406.256	73.251	2417.1215	73.744	8	19336.972	589.952		
00+120	2427.987	74.237	2471.28	74.309	8	19770.24	594.472		
00+128	2514.573	74.381	2541.7	74.6165	8	20333.6	596.932		
00+136	2568.827	74.852	2597.709	75.109	8	20781.672	600.872		
00+144	2626.591	75.366	2641.1055	75.3655	8	21128.844	602.924		
00+152	2655.62	75.365	2652.8045	74.365	8	21222.436	594.92		
00+160	2649.989	73.365	2260.2395	66.936	8	18081.916	535.488		
00+168	1870.49	60.507	1871.55	60.7065	8	14972.4	485.652		
00+176	1872.61	60.906	1855.8305	60.8195	8	14846.644	486.556		
00+184	1839.051	60.733	1525.079	54.7095	8	12200.632	437.676		
00+192	1211.107	48.686	997.143	44.5215	8	7977.144	356.172		
00+200	783.179	40.357	623.7175	35.614	8	4989.74	284.912		
00+208	464.256	30.871	353.9485	27.1175	8	2831.588	216.94		
00+216	243.641	23.364	179.1265	18.0725	8	1433.012	144.58		
00+224	114.612	12.781	74.969	6.3905	8	599.752	51.124		
00+232	35.326	0	0	0	8	0	0		
Total			28661.5345	938.892		229292.276	7511.136		

Fuente: proyecto de explotación de la cantera Kukys.

Para mayor detalle verificar el plano de secciones transversales (cantera -02-sec-01) adjuntado en los anexos de la presente investigación

Datos Generales:

Área de Exploración (A_{Er}): 251,598.70 m² \diamond 2.516 ha

Área de Explotación (A_{ex}): 15,507,769 m² \diamond 1.214 ha

Espesor promedio. Material orgánico (E_{org}) : 0.5 m

Prof. Promedio. De excavación proyectada (P_c) : 50 m

Secciones de la Cantera (Morfología empinada 40% de pendiente)

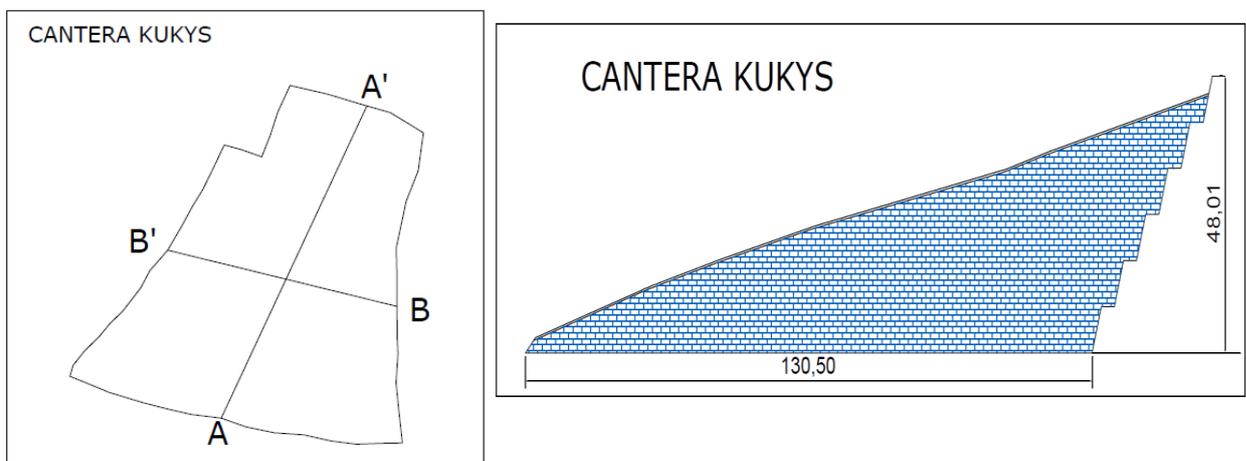


Figura 27: Dimensiones de la Cantera KUKYS.

Fuente: calculo y dimensionamiento para la presente investigación.

4.2. Propiedades y Características de los Agregados.

4.2.1. Granulometría del Agregado.

El ensayo de granulometría de los agregados es de verás importancia para el diseño del concreto debido a la relevante influencia de los agregados en la resistencia del mismo. Con lo dicho anteriormente se resalta que para diseñar

un concreto que suplan las necesidades o requerimientos es menester controlar nuestra variable agregados. Entre los agregados existe una relación granulométrica (agregados finos y gruesos) junto a la pasta de cemento, esta mezcla tiene que ser proporcional a las densidades del concreto a diseñar. Ahora, según sea el cuidado y control de la granulometría de los agregados así será los resultados de resistencia y durabilidad de la obra a edificar. Además, existen normas que rigen los rangos granulométricos óptimos a utilizar en una mezcla de concreto, por lo tanto en los estudios de agregados es completamente importante regirse a la norma.

Tabla 14: Granulometría del Agregado de la Cantera KUKYS

GRANULOMETRIA DE AGREGADOS GRUESOS					
MASA INICIAL DE 3000 GRAMOS					
Tamiz	Abertura (mm)	Masa Retenida Corregida (gr)	% Retenido	%Retenido Acumulado	%Pasa
2"	50	0	0,00%	0,00%	100,00%
1"	25	67	2,23%	2,23%	97,77%
3/4"	19	675	22,50%	24,73%	75,27%
1/2"	12,7	1392	46,40%	71,13%	28,87%
3/8"	9,5	289	9,63%	80,77%	19,23%
N°4	4,75	462	15,40%	96,17%	3,83%
Fondo		115	3,83%	100,00%	0,00%
	Sumatoria	3000			

Fuente: calculo y dimensionamiento para la presente investigación.

4.3. Estudios Preliminares para el Dimensionamientos de Banquetas y Rampa para la Estabilidad en la Cantera De Agregados KUKYS Apurímac.

A continuación presentamos los estudios previos que se realizaron en campo y gabinete para poder dimensionar las banquetas y la rampa y posteriormente calcular un factor de seguridad geomecánica coherente.

4.3.1. Reconocimiento de campo.

4.3.1.1. *Propósito y Procedimiento de los Reconocimientos.*

Es necesario ejecutar reconocimientos adecuados en cada etapa de la explotación de cantera de agregados, cuando se llevan a cabo reconocimientos para la estabilización de taludes.

A continuación, se describe el propósito y procedimiento de los reconocimientos en Cada etapa.

4.3.1.2. *Reconocimiento Preliminar.*

Los reconocimientos preliminares se realizan para el planeamiento de las fases de explotación y el trazo de ruta de la rampa de acarreo e incluyen comparaciones de rutas que requieren reconocimientos más detallados. Debido a la situación local en años recientes, el método de reconocimiento se limita a la colección y utilización de datos existentes y datos obtenidos en visitas de campo. De los resultados de este estudio, pueden determinarse las áreas específicas que pueden estar sujetas a deslizamientos o fallas de taludes y puede predecirse el grado de peligro aproximado del área, para su utilización en el planeamiento de la explotación.

Los constituyentes de este tipo de reconocimiento en la selección de la ruta son: macrotopografía, vegetación, utilización del suelo, distribución geológica, suelos susceptibles a deslizamientos y fallas de talud y formación geológica. Adicionalmente, las condiciones de los afloramientos de agua están muy relacionadas a deslizamientos y fallas

de talud, por lo que es necesario verificar su relación con el afloramiento de agua. También es necesario verificar si los materiales de relleno son suelos malos.

Tabla 15: Reconocimiento Preliminar de la Cantera KUKYS.

<u>PROYECTO</u>	<u>Cantera de Agregados KUKYS S.C.R.L.</u>	<u>Localidad</u>	<u>Sector Sondor</u>
<u>FECHA</u>	<u>12/09/18</u>	<u>Distrito</u>	<u>San Jeronimo</u>
<u>Descripcion Superficial</u>			
El terreno donde se pretende instalar la cantera KUKYS, esta construido por un pajonal que está asentado en la ladera sur este del cerro Sondor ,al margen noroeste de la vía nacional 3S , presenta afloramientos rocosos , y en su margen inferior existe el corte producido por ampliación de la carretera ,en donde se puede apreciar trozos de roca que oscilan entre 03 a 20 pulgadas de diámetro se estima que el material pétreo tiene gran cantidad de cuarzo en su composición.			
<u>Presencia De Agua</u>			
La visita se realizó en temporada de estiaje, pese a esto se pudo observar cierto grado de humedad en el suelo producido por las heladas, también se pudo observar humedad en las grietas de las rocas en el perfil del corte de la carretera.			
<u>Presencia De Cosntrucciones</u>			
la vivienda más cercana a la zona proyectada esta asentada a 700 metros en dirección noreste aproximadamente, y la zona de proyección urbana a 800 metros en dirección sur oeste			
<u>Presencia de Derrumbes y Deslizamientos</u>			
La zona proyectada no presenta ningún tipo de derrumbe o deslizamiento, pero si evidencia algunos conos de cantos rodados.			

Fuente: proyecto de explotación de la cantera Kukys.

4.3.1.3. Reconocimiento Principal.

Este es el reconocimiento para el diseño detallado de taludes y se ejecuta para obtener la información requerida en el diseño. En este tipo de

reconocimiento es necesario ejecutar estudios de geología y suelos por medio de excavación de calicatas y mapeo geomecánica, Para las áreas de deslizamientos es necesario realizar estudios del nivel freático y mediciones del terreno. El estudio de campo en esta etapa es diferente en contenido y precisión al reconocimiento preliminar, y está dividido en un reconocimiento para preparar un plan y el reconocimiento detallado para resolver problemas en base a estudios de geología y suelos, empleando mapeos y otros métodos. Al seleccionar los puntos de estudio, la prioridad se dá a bancos altos de relleno, cortes grandes y otros lugares con problemas especiales encontrados en el reconocimiento preliminar.

4.3.1.3.1. Reconocimiento de Cortes.

Puntos Principales.

Generalmente la formación geológica y las propiedades del suelo cambian considerablemente en el terreno que ha sido cortado para formar los taludes, de modo que es difícil determinar en detalle sus propiedades y características antes de ejecutar el trabajo. Es difícil analizar teóricamente la estabilidad de los taludes de corte en base a reconocimientos de geología y suelos. No obstante, se requiere determinar la textura del suelo para estudiar la presencia o ausencia de deslizamientos y falla de talud y la influencia del nivel freático, realizando estudios geológicos y de exploración de suelos en puntos típicos de las secciones a trabajarse. Se requiere ensayar el material de relleno si se va a emplear el suelo excavado como relleno.

El diseño de cortes grandes afecta no solamente los costos de construcción, sino que puede ocasionar problemas de talud durante la construcción y después que la cantera haiga terminado su ciclo de explotación. Por consiguiente, el diseño de estos cortes debe examinarse en detalle, debiéndose seleccionar y ejecutar reconocimientos apropiados y pertinentes a este propósito.

Los puntos principales de reconocimientos para cortes son:

- Estabilidad del talud de corte.
- Peligro de flujos de tierra, falla del talud o derrumbe de rocas de la parte superior (talud natural).
- Cambio en el nivel del agua freática en terrenos adyacentes, debido a la excavación.
- Propiedades del material excavado y el grado de dificultad en realizar la excavación.
- Textura del material de relleno.

Tabla 16: Reconocimiento principal de corte en la cantera KUKYS

<i>Proyecto:</i>	<i>Cantera de Agregados Kukys S.C.R.L.</i>	<i>Localidad</i>	<i>Sector Sondor</i>
<i>Fecha</i>	<i>12/9/2018</i>	<i>Distrito</i>	<i>San Jerónimo</i>
<i>Estabilidad del Talud de Corte</i>			
<i>El terreno donde se pretende instalar la cantera kukys , tiene como límite inferior en dirección sur oeste la vía nacional 3S, donde se puede apreciar un corte longitudinal que permite evidenciar el perfil estratigráfico del terreno, la altura del talud generado por el corte de la carretera varía entre 1.2m a 2.2m en donde existe una cuneta y un ángulo aproximado de 57 grados , lo cual permite un auto sostenimiento de dicho talud , se evidencia la presencia de algunos fracturamientos, estratificación gradada , algunos puntos con presencia de humedad.</i>			
<i>Peligro de Flujos de Tierra, Falla del Talud o Derrumbe de Rocas de la Parte Superior</i>			

se puede evidenciar la presencia a de flujo de suelo superficiales en algunos conos que se generan en la base del talud de la carretera, en algunos puntos existe la presencia de conos de 0.8m de altura con presencia de rocas que se desprenden del talud de corte. el flujo de material pétreo se incrementa en las temporada de lluvias .

Cambio en el Nivel Del Agua Freática en Terrenos Adyacentes, Debido a la Excavación.

la presencia de agua freáticas se manifiesta con presencia de humedad en algunos puntos del talud de corte, durante la excavación de calicatas, pudimos toparnos con humedad, mas no con flujo importantes de agua, cabe mencionar que las excavaciones se realizaron en el mes de septiembre donde la presencia de lluvias es casi nula, en los meses de precipitaciones existe la presencia de agua de escorrentía y flujos superficiales.

Propiedades del Material Excavado Y el Grado de Dificultad En Realizar La Excavación.

durante el proceso de excavación de calicatas para poder determinar el perfil estratigráfica, se determinó la profundidad y grado de fracturamineto del material explotable; se pudo evidencia que se tiene 0.5m de capa orgánica , hasta unos 2 metros de material pétreo contaminado con una ligera presencia de arcilla , regolito y pasado los 2 metros el materia es fracturado y libre de contaminación ; la excavación se realizó con la ayuda de una retroexcavadora , y el tiempo de excavación de una calicata de 3.5m de profundad varía entre 15min a 20min

Textura del material de relleno

el material orgánico está constituido por una delgada capa de regolito negro (50cm) con una textura tipo migajón, barrial en la cual se puede presenciar arena (porcentaje de las distancias fracciones de suelo 0-10) arcilla limosa (porcentaje de las distancias fracciones de suelo 20-40) y limo (porcentaje de las distancias fracciones de suelo 0-20) que presentan problemas compactación y drenaje. el material explotable compuesto por cuarcitas presenta una textura típica de esta materia denominada no foliada.

Fuente: proyecto de explotación de la cantera Kukys.

Un plan de reconocimiento debe efectuarse para analizar y determinar las medidas a tomarse para cada ítem indicado, tomando en cuenta el aspecto económico de tal manera que tantos propósitos como sea posible se satisfagan a la vez.

4.3.2. Estudio Topográfico.

El estudio topográfico se realizó en fecha 16 de octubre del 2018 , en la localidad de Sondor, el distrito de San Jerónimo, provincia de Andahuaylas , departamento de Apurímac, dicho levantamiento se ejecutó con la estación total TOPCON ES-105 , cuya precisión es de $\pm 2\text{mm}$, $\pm 2\text{ppm}$,obtenido 72 puntos, de los cuales 41 puntos representan los linderos de la área proyectada para la cantera , estos puntos fueron tomados en los límites de la propiedad con un distanciamiento promedio entre ellos de 13.25 metros, 31 puntos representan los rellenos para la generación de curvas de nivel, como resultado de este levantamiento se pudo realizar el plano topográfico (cantera 01- TP 01) que se adjunta en los anexos.

A continuación, presentamos la tabla con información topográfica, esta tabla inicia desde el punto numero 03, puesto que el punto 01 representa las coordenadas donde se estaciono el equipo, y el punto 02 es la coordenada de referencia.

Tabla 17: Cuadro Topografico De La Cantera Kukys.

LADO		DIST. (m)	VERTICE	COORDENADAS UTM		
L1	L2			ESTE	NORTE	COTA
3	4	34.02	3	679632	8491340	3279
4	5	21.16	4	666355	8489468	3286
5	6	15.02	5	679175	8490342	3289
6	7	17	6	679637	8491400	3295
7	8	17.22	7	666365	8489516	3299
8	9	10.91	8	666367	8489533	3305
9	10	18.26	9	666353	8489542	3306
10	11	17.16	10	679619	8491443	3306
11	12	13.21	11	679145	8490411	3306
12	13	10.89	12	666308	8489554	3305
13	14	10.32	13	666302	8489542	3302
14	15	9.94	14	680512	8493619	3299

15	16	7.55	15	666295	8489522	3297
16	17	10.88	16	680498	8493613	3297
17	18	11.14	17	679099	8490388	3297
18	19	9.36	18	680487	8493605	3294
19	20	9.59	19	666269	8489507	3290
20	21	12.57	20	680477	8493587	3287
21	22	12.12	21	666260	8489491	3284
22	23	8.72	22	666253	8489480	3281
23	24	13.11	23	666245	8489471	3278
24	25	7.92	24	679062	8490324	3275
25	26	7.78	25	679511	8491351	3270
26	27	8.89	26	680440	8493535	3268
27	28	8.32	27	666223	8489441	3266
28	29	5.16	28	680429	8493523	3264
29	30	18.11	29	680424	8493516	3262
30	31	16.51	30	679487	8491322	3260
31	32	12.21	31	679503	8491316	3261
32	33	10.15	33	679047	8490277	3260
33	34	13.17	34	666242	8489412	3261
34	35	11.55	37	666254	8489409	3262
35	36	13	39	680477	8493494	3262
36	37	13.23	40	666277	8489405	3264
37	38	12.32	42	666288	8489401	3264
38	39	11.48	44	680513	8493486	3265
39	40	10.84	47	679134	8490258	3266
40	41	9.61	48	679603	8491293	3266
41	42	14.28	51	680550	8493481	3266
42	43	14.84	53	680561	8493481	3267
43	44	13.23	54	680570	8493481	3267
44	45	34.02	56	666381	8489408	3271

Fuente: proyecto de explotación de la cantera Kukys.

La información topográfica nos permite realizar múltiples diseños y cálculos para determinar la mejor manera de hacer la explotación de la cantera.

4.3.3. Estudio Hidrológico.

Para realizar el estudio hidrológico nos basamos en los datos históricos que dan la siguiente información en la zona proyecta para la cantera KUKYS los veranos tienen mucha más lluvia. De acuerdo con Köppen y Geiger clima se clasifica como Cwb. La temperatura media anual en Andahuaylas se

encuentra a 13.8 °C. La precipitación media aproximada es de 930 mm.

Climograma Andahuaylas (fig 26)

4.3.4. Estudio Geomecánico.

El estudio geomecánico se realizó en fecha 25 de octubre del 2018 , en la localidad de Sondor, del distrito de San Jerónimo, provincia de Andahuaylas , departamento de Apurímac, el estudio geomecánica se realizó mediante el mapeo geomecánica del perfil de explotación de la zona proyectada, empleándose lo siguientes materiales e instrumentos : tabla geomecánica que se muestra en la tabla (19), el procedimiento escrito para mapeo geomecánica, pintura en aerosol, flexómetro , picota ; se realizaron un total de 09 mapeos , que como resultado nos produjeron valores resumidos en la siguientes tablas:

Tabla 18: Tabla Geomecánica.

TABLA N° 1		CONDICIONES			
		CONDICIÓN A	CONDICIÓN B	CONDICIÓN C	CONDICIÓN D
A	SIN AGRIETAS O OTRAS DISCONTINUIDADES DE 7 PULG.				
B	PEQUEÑAS HORIZONTALES ALTERNAS DE 7 PULG. ESPACIADAS A 1.27 m.				
C	PEQUEÑAS HORIZONTALES ALTERNAS DE 7 PULG. ESPACIADAS A 1.27 m. EN LA MITAD Y ALTERNAS EN LA OTRA MITAD.				
D	PEQUEÑAS HORIZONTALES ALTERNAS DE 7 PULG. ESPACIADAS A 1.27 m. EN LA MITAD Y ALTERNAS EN LA OTRA MITAD.				
E	CAMBIO DE MATERIAL ESPACIADAS A 7.62 m. EN LA MITAD Y ALTERNAS EN LA OTRA MITAD.				
ESTRUCTURA		CONDICIONES			
	LEVEMENTE FRACTURADO TRES O MENOS SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES MUY ESPACIADAS ENTRE SI (RANGO 75-50) (2 A 5 FRACTURAS POR METRO)	LA/B	LA/R	—	—
	MODERADAMENTE FRACTURADO MUY BIEN TRABAJADA, NO DISTURBADA, BLOQUES CURTOS FORMADOS POR TRES SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES ORTOGONALES (RANGO 50 - 75) (8 A 11 FRACTURAS POR METRO)	B/L	B/R	C/P	—
	POCAMENTE FRACTURADO MODERADAMENTE TRABAJADA, PARCIALMENTE DISTURBADA, BLOQUES ANGULOSOS FORMADOS POR CUATRO O MAS SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES (RANGO 25-50) (12 A 18 FRACTURAS POR METRO)	—	MF/L	MF/R	MF/P
	INTENSAMENTE FRACTURADO PULVERIZADO Y FALGAMENTADO CON MUCHAS DISCONTINUIDADES INTERCEPTADAS FORMANDO BLOQUES ANGULOSOS O IRREGULARES (RANGO 0 - 25) (MAS DE 20 FRACTURAS POR METRO)	—	—	—	MF/P

Fuente: oficina de geomecánica del consorcio Kishuara -2012

Tabla 19: Información del Mapeo Geomecánica de la Cantera KUKYS

Proyecto:	Cantera de Agregados Kukys S.C.R.L.		Localidad	Sector Sondor	
Fecha	12/11/18		Distrito	San Jerónimo	
MAPEO NUMERO 01					
Coordenadas			Datun	Carta nacional	
Este	Norte	Cota			
679487	8491321	3260	UTM.	28q	
N° De Fallas	Dist (M)		Rumbo	Buzamiento	
1	1-2	0.35	33° NW	57° W	
2	2-3	0.15	29° NW	61° W	
3	3-4	0.2	28° NW	61° W	
4	intersec	intersec	20° NW	70° W	
5	5-6	0.47	57° NE	56° E	
6	6-7	0.18	45° NE	67° E	
7	7-8	0.23	23° NE	36° E	
8			34° NE	33° E	
					
<p><i>OBSERVACIÓN : plegamientos y fallamientos con muchas discontinuidades interceptadas formadas por bloques angulosos e irregulares</i></p>					
<p><i>CONDICIONES : pobre de baja resistencia con discontinuidades lisas, Moderadamente alteradas ,ligeramente abiertas , se fragmenta superficialmente con golpes de la picota</i></p>					
RQD (%)		RMR (%)	RC		
12.32		5.37	22.3 Mpa		

Fuente: calculo y dimensionamiento para la presente investigación.

4.4. Definición de Fases de Explotación.

Para el proceso de explotación de la cantera KUKYS Apurímac se tiene proyectado la construcción de una rampa y el avance de explosión de forma descendente con un total de 06 fases de Explosión que garantizaran la estabilización del talud de operaciones y talud de final, las fases de explotación tendrán un altura de 8 metros y los bloques de explotación permitirán el siguiente movimiento de materia.

Tabla 20: Volúmenes de Fases de Explotación de la Cantera KUKYS

<i>Fase</i>	<i>Explotable (M3)</i>	<i>Estéril (M3)</i>
<i>Fase 01</i>	<i>2603.724118</i>	<i>85.29255603</i>
<i>Fase 02</i>	<i>15169.67589</i>	<i>496.9268524</i>
<i>Fase 03</i>	<i>30292.35737</i>	<i>992.3142666</i>
<i>Fase 04</i>	<i>47455.56215</i>	<i>1554.544956</i>
<i>Fase 05</i>	<i>61385.88878</i>	<i>2010.873319</i>
<i>Fase 06</i>	<i>72385.43368</i>	<i>2371.195402</i>
<i>Total</i>	<i>229292.642</i>	<i>7511.147352</i>

Fuente: calculo y dimensionamiento para la presente investigación.

Tal como se muestra en los planos de fases de explotación, y detalles constructivos: CANTERA 03- RAMPA 01 para más información.

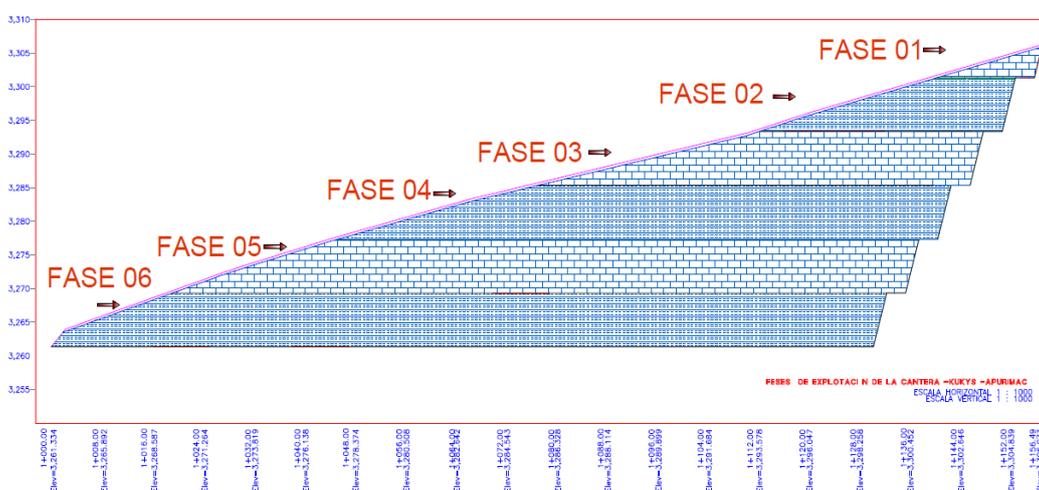


Figura 28: Fases de Explotación de la Cantera Kukys

Fuente: calculo y dimensionamiento para la presente investigación.

4.5. Dimensionamiento de Bloques de Explotación.

Los bloques de explotación son un parte fundamental para la generación de un perfil adecuado del talud, para la explotación de la cantera Kukys. Apurímac se ha proyectado bloques de explotación en forma de paralelepípedo con una inclinación de 75° y longitud de lado de 8m.

Para poder dimensionar adecuadamente estos bloques nos basamos en la dimensiones y capacidades de los equipos de perforación y excavación.

4.5.1. Dimensionamiento del Bloque de Explotación en Función del Equipo de Perforación y Voladura de Banquetas.

Las naturales de una cantera de agregados comprendida en este caso como explotación de pequeña minería no metálica a cielo abierto, limita la adquisición de equipos de perforación de gran capacidad, pero en la actualidad se cuenta en el mercado con equipos de procedencia China, cuya versatilidad se adapta muy bien a las condiciones de trabajo de la cantera, Las características del equipo de perforación, son las siguientes:



Figura 29: Máquina Perforadora Karex-HQD 110

Fuente: manual de operación de karex.

Tabla 21: Características técnicas del Equipo de Perforación HQD 110^a.

<i>Tipo de Alimentación</i>	<i>eléctrico</i>	<i>Lugar de Origen</i>	<i>Zhejiang China</i>
<i>Marca</i>	<i>KAREX</i>	<i>Voltaje</i>	<i>380v</i>
<i>Aplicación</i>	<i>mineral</i>	<i>Longitud de Barra</i>	<i>1000 mm</i>
<i>Potencia</i>	<i>4kw</i>	<i>Profundidad de Perforación</i>	<i>20 m</i>
<i>Peso</i>	<i>175 kg</i>	<i>Consumo de Aire</i>	<i>3.5- 12m³/min</i>
<i>Modelo</i>	<i>HQD 110A</i>	<i>Potencia Máxima de Elevación</i>	<i>7000 N</i>
<i>Diámetro de Perforación</i>	<i>68- 130mm</i>	<i>Rock Rigidez</i>	<i>68-130</i>
<i>Presión de Trabajo</i>	<i>0.5- 0.7Mpa</i>	<i>Velocidad de Rotación</i>	<i>0-90r/min</i>

Fuente: manual de operación de karex.

4.5.1.1. Cálculo de la Piedra (B).

Para poder realizar el cálculo de la piedra o burden nos basamos en el modelo matemático R.L. ASH en 1963

$$B=K \cdot (D/12)$$

Donde

B = burden (pies)

D= diámetro del taladro en pulgadas

K = constante que dependerá del tipo de roca y del explosivo.

La cantera de agregados está constituida por cuarcitas, que son rocas duras, pero inconsistentes, en el caso de requerirse voladura se empleara anfo iniciado por explosivos densidad media (1.0-1.2) g/cc – dinamita

Datos:

K=25

D= 68mm = 2.677165 pug

$$B = 25 \cdot (2.677165/12)$$

$$B = 5.57743 \text{ pies}$$

$$B = 1.70\text{m} \quad B_{\text{practico}} = 2.00 \text{ m}$$

4.5.1.2. *Cálculo de Sobre Perforación (J)*

Haciendo uso de la técnica sueca, tenemos la siguiente relación:

$$J = KJ \cdot B$$

Donde

B: es el burden o piedra = 1.70

KJ: es un factor de cálculo = 0.3

$$KJ = 0.3$$

$$J = 1.70 \cdot 0.3$$

$$J = 0.51\text{m} \quad J_{\text{practico}} = 0.5\text{m}$$

4.5.1.3. *Cálculo de la Piedra Máxima (Bm).*

Aplicando el modelo matemático de LANGEFORS Y KIHLSSTROM con la modificación que presenta mayor grado de verosimilitud es S.U. OLOFSSON (1990), sugiere el siguiente modelo

$$Bm = K \cdot R1 \cdot R2 \cdot R3$$

Donde:

K: constante del explosivo ANFO NORMAL = 1.36

q: concentración de carga en el fondo ANFO NORMAL = 4.01

R1: factor de corrección por inclinación de los taladros: 3:1=1

R2: factor de corrección por tipo de roca =1.15

$$Bm = 1.36 * 1 * 1.15$$

$$Bm = 3.131908m \quad Bm \text{ practico } 3.00m$$

4.5.1.4. *Cálculo del Distanciamiento.*

Haciendo uso de la técnica sueca, tenemos la siguiente relación:

$$E = 1.25 * B$$

Donde

E= espaciamiento de taladros

B= burden o piedra = 1.70

$$E = 1.25 * 1.70$$

$$E = 2.125m \quad E \text{ practico } 2.00 \text{ m}$$

Para este caso particular no se emplea no se emplea la corrección por altura ya el doble de la piedra máxima no supera la altura del banco .

4.5.1.5. *Caculo de Longitud de Taco.*

Haciendo uso de la técnica sueca, tenemos la siguiente relación:

$$T = B * 0.7$$

Donde

T= longitud del taco

B= burden o piedra = 1.70

$$T = 1.70 * 0.7$$

$$T = 0.833\text{m} \quad T_{\text{practico}} = 0.80\text{m}$$

Como resultado de los cálculos contamos con el siguiente cuadro, y gráfica:

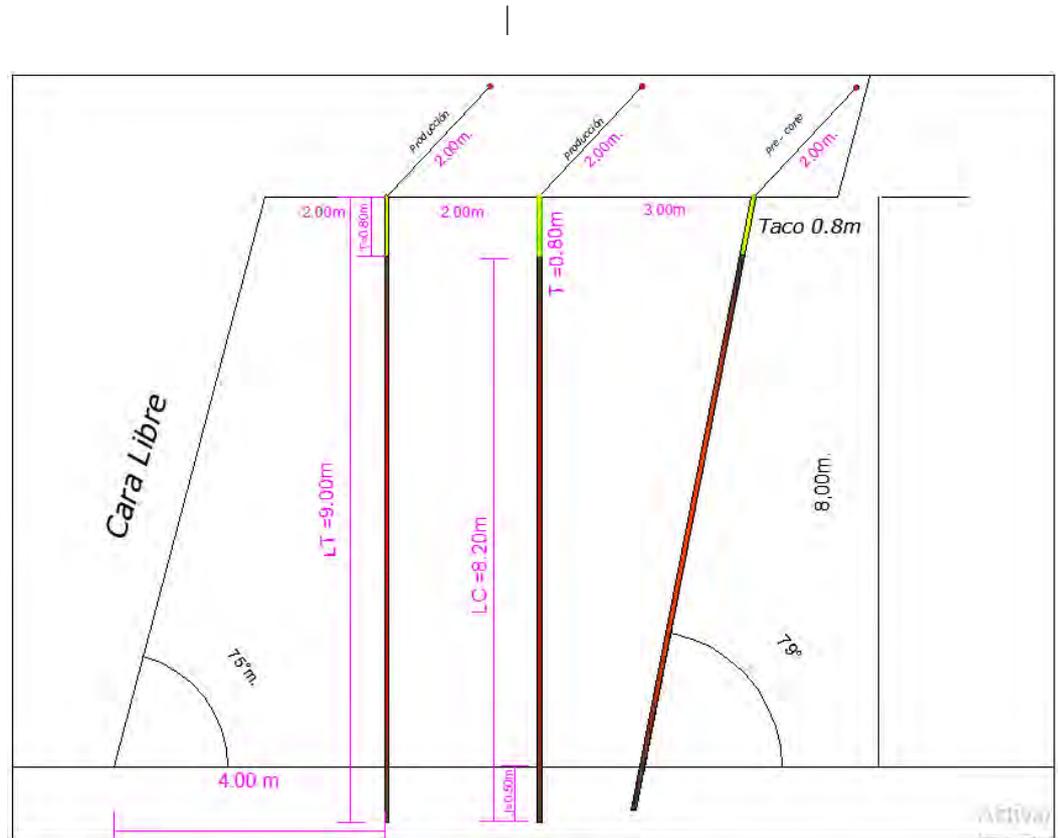


Figura 30: Detalle de Voladura de la Cantera KUKYS.

Fuente: calculo y dimensionamiento para la presente investigación.

Tabla 22: Dimensionamiento de Perforación y Voladura- KUKYS

Piedra	1.7m-2.00m	Longitud De Taladro	8.78 m-9.00m
Piedra Máxima	3.13 m-3.00m	Altura De Banco	8.00m
Espaciamiento	2.13 m-2.00m	Inclinación De Taladro	75°
Sobre Perforación	0.51m-0.50m	Lado En Cara Libre	8.27m
Longitud De Taco	0.83m-0.80m	Explosivo	Anfo-Normal potencia 0.022kg/tm

Fuente: calculo y dimensionamiento para la presente investigación.

Factor de potencia:

Densidad del anfo = 0.82g/cm³

Diámetro del taladro = 68 mm

Longitud cargada = 8.20 m

Numero de taladros/bloque = 12 Tal

Volumen/ bloque = 577.4m³

Toneladas/ bloque = 1346.56 tm

Carga por taladro = 24.419237 kg /tal

Potencia = 0.022 kg/tm

Para mayor detalle observar los planos de detalles constructivos (D.C.-01) incluido en los anexos de la presente investigación.

4.5.2. Dimensionamiento del Bloque de Explotación en Función del Equipo Excavación.

Los bloques fueron diseñados en función del equipo de excavación que se usa para la explotación de la cantera de agregados en la tabla (4.17) podemos ver las dimensiones del equipo en mención

Tabla 23: Características de Equipo de Excavación

<i>TABLA N° 24 características de equipo de excavación</i>				<i>tipo</i>	<i>retroexcavador</i>
<i>marca</i>	<i>Potencia kW</i>	<i>numero de ruedas</i>	<i>longitud</i>	<i>ancho</i>	<i>altura máxima de excavación</i>
<i>Jhon Derre</i>	<i>89.5</i>	<i>4</i>	<i>8.129m</i>	<i>2.44m</i>	<i>10.5m</i>
<i>capacidad de cucharón delantero</i>		<i>1.5 m³</i>	<i>capacidad de lampón</i>		<i>0.8 m³</i>

Fuente: manual de operación Jhon Derre.

Se opto por este equipo, puesto que presenta características de cargador y excavador, por su gran versatilidad y potencia que garantizara la producción de en la cantera.

Para la dimensión de banquetta antes mencionadas de considero la altura máxima de excavación del equipo, aplicando un factor de eficiencia:

$$Hb = He * F$$

Hb = altura de banco.

He = altura máxima de excavación = 10.5

F = factor de eficiencia = 0.761905

$$Hb = 10.5 \text{ m} * 0.761905$$

$$Hb = 8 \text{ m}$$

Las dimensione concernientes al ancho y al largo del banco se definieron con el criterio de simetría en los bloques.

A continuación mostramos los volúmenes movidos en la fases de explotación, con la cantidad de metros cúbicos movidos en bloques.

Para mayor detalle observar los planos de detalles constructivos (D.C.-02) incluido en los anexos de la presente investigación.

Tabla 24: Volúmenes de Explotación por Fase en Bloques de la Cantera KUKYS

FASE	m3/bloque	Nº de bloques	EXPLOTABLE (m3)	m3/bloque	Nº de bloques	ESTERIL (m3)
FASE 01	577.4	4.509394039	2603.724118	577.4	0.147718317	85.29255603
FASE 02	577.4	26.27238637	15169.67589	577.4	0.860628425	496.9268524
FASE 03	577.4	52.46338305	30292.35737	577.4	1.718590694	992.3142666
FASE 04	577.4	82.18836535	47455.56215	577.4	2.69231894	1554.544956
FASE 05	577.4	106.3143207	61385.88878	577.4	3.482634774	2010.873319
FASE 06	577.4	125.3644504	72385.43368	577.4	4.106677178	2371.195402
Total	577.4	397.1123	229292.642	577.4	13.00856833	7511.147352

Fuente: calculo y dimensionamiento para la presente investigación.

4.6. Dimensionamiento de Banquetas y Talud Final.

Con el propósito de generar mayor seguridad durante la etapa de explotación y pos explotación de la cantera de agregados KUKYS , se determinó las dimensiones más adecuadas para el talud que esta compuesta por banquetas de 8 metros de alto, con ángulo de 75° con respecto a horizontal , el talut final estar compuesto por 6 banquetas , distribuidas de forma escalonada, las banquetas en mención presentaran en su base un cuneta para el transporte de aguas freáticas y de temporada de lluvias, para mayores detalles consultar el plano cantera 04- tal-01

Dimensiones de banquetas

Altura de banqueta = 8m

Ancho de banqueta = 3m

Lado de banqueta =8.27

Talud de banqueta = 75°

Se opto por estas dimensiones para poder garantizar la explotabilidad del yacimiento, con la capacidad de extraer todo el material, conservando un índice de seguridad coherente, a su vez se tomo en cuenta las características geométricas del equipo tabla (4.18) de excavación que opera en la cantera y e las dimensiones de los bloques.

Tabla 25; Dimensiones De Banqueta

<i>TABLA N° 4.12: DIMENSIONES DE BANQUETA</i>			
<i>Altura de Banqueta</i>	<i>Ancho de Banqueta</i>	<i>Lado de Banqueta</i>	<i>Ángulo/H</i>
<i>8m</i>	<i>3m</i>	<i>8.27m</i>	<i>75°</i>

Fuente: calculo y dimensionamiento para la presente investigación.

Talud de final

Altura de banqueta = 8m

Lado de banqueta =8.27

Angulo con respecto a horizontal de banqueteta= 75°

Angulo de talud = 59°

Tabla 26: Dimensiones de Talud Final

<i>Dimensiones de Talud Final</i>				
<i>Altura de Corte</i>	<i>dist. horizontal</i>	<i>N° De Banquetas</i>	<i>Angulo/H</i>	<i>Relación de Talud</i>
<i>50.M</i>	<i>26.88m</i>	<i>6</i>	<i>59</i>	<i>1/3.79</i>

Fuente: calculo y dimensionamiento para la presente investigación.

Para mayor detalle observar los planos de detalles contractivos incluido en los anexos de la presente investigación-CANTERA 04- TALUD FINAL 01

4.7. Dimensionamiento de Rampa

Según lo definido en el apartado 3.5.4. de la presenta investigación, la rampa a construirse cataloga por su demanda con una trocha carrozable, el terreno es ondulado, según lo establecido en el apartado 3.5.5.

Cabe resalta que la rampa será de uso exclusivo para la explotación de la cantera

Las características del vehículo de acareo son las siguientes:

Tabla 27: Características de Equipo de Acarreo

<i>TABLA N°4.14: Características De Equipo De Acarreo</i>				<i>Tipo</i>	<i>Volquete</i>
<i>Marca</i>	<i>Potencia (Hp)</i>	<i>Numero De Ruedas</i>	<i>Longitud</i>	<i>Ancho</i>	<i>Carga Útil</i>
<i>Volvo</i>	<i>450</i>	<i>10</i>	<i>9.55m</i>	<i>2.53m</i>	<i>20 Tm</i>
<i>Capacidad De Tolva</i>		<i>15 M3</i>	<i>Peso Bruto</i>		<i>32 Tm</i>

Fuente: manual de operación Volvo FMX.

Se pretende implementar una rampa de explotación compuesta por un carretera afirmada de 8 m de ancho, con Angulo promedio con respecto a la horizontal de 4.3° , la rampa en mención Presenta 4 curvas cuya información podrá apreciarse de mejor forma en el plano cantera 4 -ramp-01 .

Tabla 28: Características de Rampa

Tramo	Longitud	Ángulo de Trayectoria	Curva	Radio Interno	Radio Externo	Pendiente	Pendiente (%)
01	129.7	180°				3°	6.667
02	89.16	180°	01-02	9.57	18.24	3°	6.667
03	74.57	180°	02-03	17.34	25.26	4°	8.889
04	59.48	180°	03-04	16	24.58	5°	11.111
05	49.49	180°	04-05	13	22.31	5°	11.111

Fuente: calculo y dimensionamiento para la presente investigación.

Para la construcción de esta rampa se dispone remover 3228 m³ de material de los cuales 105.81 esta constituido por material estéril y 3122.184 material procesable.

4.7.1. Cálculo de los Ejes de Curvatura para la Rampa.

Los cálculos se realizarán haciendo uso de las fórmulas de 3.7.1.2. Empalme circular simple; los datos obtenidos en campo son los siguientes:

Curva 01 empalme circular simple

Elementos de la curva

PI: Punto de cruce de dos tangentes que forman el empalme.

$E=679186$ $N=8490370$ $Z=3295$

PT: Punto de inicio del empalme.

$E=679168$ $N=8490357$ $Z=3294$

PC: Punto final del empalme.

$E=679177$ $N=8490390$ $Z=3296$

R: Radio del arco circular, en metros.

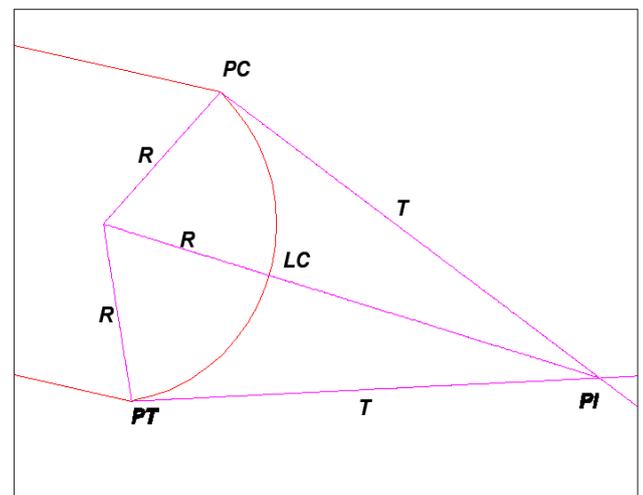
$R=11.76$

T: Tangente del empalme, en metros.

$T=22.31$

Δ : Ángulo de flexión PI

$\Delta = 175^\circ = 3.0625 \text{ rad}$



Fuente: calculo y dimensionamiento para la presente investigación.

Elementos de la curva 01 KUKYS

cálculo de la curva

Longitud del eje de curvatura

$$LC = R * \Delta$$

$$LC = 11.76m * 3.0625 \text{ rad}$$

$$LC = 36.015 \text{ m}$$

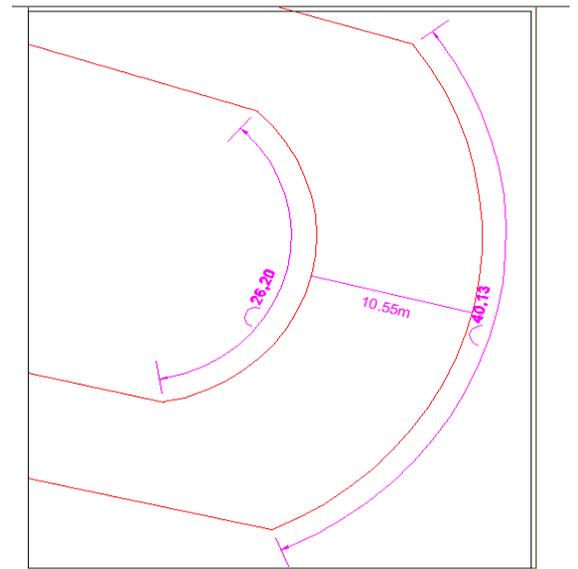
Longitud de curvatura con desface interior

26.20m

Longitud de curvatura con desface exterior

40.13m

Ancho en curva de la rampa = 10.55m



Fuente: calculo y dimensionamiento para la presente investigación.

Dimensiones de la curva 01 KUKYS

Curva 02

Angulo de flexión $PI = \Delta = 112^\circ = 1.7584 \text{ rad}$

Radio circular en metros = $R = 15.38 \text{ m}$

Longitud del eje de curvatura

$$LC = 27.044192 \text{ m}$$

$$LC = R * \Delta$$

$$LC = 15.38 \text{ m} * 15.38 \text{ rad}$$

Longitud de curvatura con desface interior

39.67m

Longitud de curvatura con desface exterior

40.13m

Ancho en curva de la rampa = 9.20m

Curva 03

Angulo de flexión $PI = \Delta = 179^\circ = 3.1325 \text{ rad}$

Radio circular en metros = $R = 15.26 \text{ m}$

Longitud del eje de curvatura = LC

$$47.80195 \text{ m}$$

$$LC = R * \Delta$$

$$LC = 15.26 \text{ m} * 3.1325 \text{ rad}$$

Longitud de curvatura con desface interior

43.00m

Longitud de curvatura con desface interior

53.21m

Ancho en curva de la rampa = 9.97m

Angulo de flexión $PI = \Delta = 177^\circ = 3.0975 \text{ rad}$

Radio circular en metros = $R = 9.57 \text{ m}$

Longitud del eje de curvatura

$LC = 29.643075 \text{ m}$

$LC = R * \Delta$

$LC = 9.57 \text{ m} * 3.0975 \text{ rad}$

Longitud de curvatura con desface interior

22.98m

Longitud de curvatura con desface interior

36.91m

Ancho en curva de la rampa = 9.97m

Para mayor detalle observar los planos de detalles constructivos incluido en los anexos de la presente investigación- CANTERA 04- RAMPA 01.

CAPITULO V

ANÁLISIS DE RESULTADOS.

5.1. Análisis de Estabilidad de Taludes por el Método de Equilibrio Limite

Datos de Campo y Calculo

Peso de bloque con posibilidad de falla = 7988.432 tm

Cohesión del material analizado = 2.63 tm/m²

Angulo de falla = 24°

Área de superficie de falla = 2126.866 m²

Angulo de fricción = 24°

Tabla 29: Datos de Análisis

<i>Peso Del Bloque</i>	<i>Cohesión</i>	<i>Superficie De Falla</i>	<i>Ángulo De Falla</i>	<i>Ángulo De Fricción</i>
7988.432 tm	2.63 tm/m ²	2126.866 m ²	24°	24°

Fuente: calculo y dimensionamiento para la presente investigación.

Para realizar el analisis numérico hacemos uso del modelo matemático de equilibrio limite el cual esta descrito en el apartado 3.3.1. del presente estudio, optamos por este modelo puesto que las característica del macizó rocoso son relativamente homogéneas al

no presentar discordancias , intrusiones y por tratarse de una cantera de agregados en donde todo el material a excavar será procesado.

5.1.1. Cáculo del Esfuerzo Normal.

Hacemos uso de la relación matemática:

$$\sigma = \frac{w \cos \psi}{A}$$

Donde

W = Peso de bloque con posibilidad de falla = 7988.432 m3

A = Área de superficie d falla = 2126.866 m2

ψ = Angulo de falla=24°

Remplazando

$$\sigma = \frac{21009.57616 \text{ tm} * \cos 24}{2126.866 \text{ m}^2}$$

$$\sigma = 9.0242 \mu p$$

5.1.2. Cálculo del Esfuerzo Cortante que Actúa Sobre la Superficie de Falla

Hacemos uso de la ecuación

$$\tau = c + \sigma \tan$$

Donde

C= cohesión del material analizado = 2.63 tm/m3

ψ = Angulo de falla=24°

σ = esfuerzo normal=9.0242

$$\tau = 2.63 \frac{\text{tm}}{\text{m}^2} + 9.0242 \tan 24$$

$$\tau = 6.6478 \mu p$$

5.1.3. Cálculo del Esfuerzo Cortante que Resiste el Deslizamiento

Haciendo uso de la relación:

$$R = \tau A$$

Donde

τ = esfuerzo cortante que actúa sobre la superficie de falla = 6.6478

A = Área de superficie d falla = 2126.866 m²

$$R = 6.6478 * 2126.866$$

$$R = 14139.0493 \mu p$$

5.1.4. Cálculo del Factor de Seguridad.

$$\eta = \frac{cA + W \cos \psi \tan \varphi}{W \sin \psi}$$

Donde:

C = cohesión del material analizado = 2.63 tm/m³

A = Área de superficie d falla = 2126.866 m²

W = Peso de bloque con posibilidad de falla = 7988.432 m³

ψ = Angulo de falla = 24°

φ = Angulo de fricción = 24°

$$S = \frac{2.63 * 2126.866 + 21009.57616 * \cos 24 * 0.4453}{21009.57616 * \sin 24}$$

$$S = 1.654$$

Tabla 30: Resultados de Análisis.

<i>Esfuerzo Normal</i>	<i>9.0242 mp</i>
<i>Esfuerzo Cortante que Actúa Sobre la Superficie de Falla</i>	<i>6.6478 mp</i>
<i>Esfuerzo Cortante que Resiste el Deslizamiento</i>	<i>14139.0493mp</i>
<i>Factor de Seguridad Geomecánico Calculado</i>	<i>1.654</i>
<i>Factor de Seguridad Geomecánico Simulado Condiciones Estáticas</i>	<i>1.649</i>
<i>Factor de Seguridad Geomecánico Simulado Condiciones Pseudo Estáticas</i>	<i>1.367</i>

Fuente: calculo y dimensionamiento para la presente investigación.

5.2. Análisis de Estabilidad de Taludes en la cantera kukys Apurímac - software Geostudio de GEO SLOPE

El presente informe tiene por objetivo evaluar las condiciones propuestas para el diseño de una cantera de material Kukys Apurímac.

5.2.1. Cálculo de Factor de Seguridad y Resistencia Media La Corte.

Considerando la sección 1-1'. El cual está ubicado a lo largo del eje de la cantera propuesto, se realizó un análisis de estabilidad considerando la topografía actual y la geometría del relleno considerado (Figuras del 33 al 35).

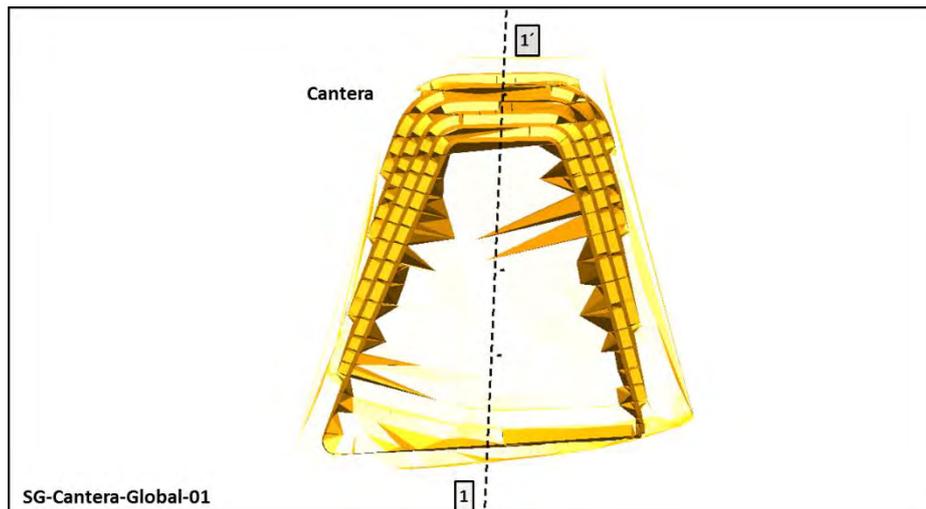


Figura 31: Ubicación de la Sección para el Análisis de Estabilidad.

Fuente: calculo y dimensionamiento para la presente investigación.

Determinación de la sección crítica para el análisis

Se realizaron 01 sección para realizar los análisis de estabilidad, considerándose el tipo de material que fue usado para los análisis de estabilidad con alturas de 50m, las propiedades geotécnicas de los materiales presentes en el talud se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 31: Datos de Ingreso

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m ³)	Sat. Unit Weight (kN/m ³)	Strength Type	UCS (kPa)	m	s	a	Water Surface	Hu Type	Hu
Cuarcita.		25.3	26.3	Generalized Hoek-Brown	104000	0.491794	0.000104464	0.508086	Water Surface	Custom	0

Fuente: calculo y dimensionamiento para la presente investigación.

Información de propiedades geotécnica

5.2.2. Proceso de Análisis de Estabilidad de la Cantera KUKYS

Se realizó el análisis de estabilidad basado en la teoría del equilibrio límite (MEL) obteniendo el valor denominado factor de seguridad (FS). Cuando este índice es menor a uno ($FS < 1$) el talud es inestable, cuando es igual a uno ($FS = 1$) el talud esta en equilibrio, pudiendo estar en inminente ruptura, y cuando este valor es mayor a uno ($FS > 1$) el talud es estable.

Los valores del factor de seguridad obtenidos corresponden a los ángulos globales que se analizaron en los estados estático y Pseudo-estático ($a: 0.15 g$).

Tabla 32: Resultados de Factor de Seguridad.

	<i>Factor de Seguridad</i>	
	<i>Estático</i>	<i>Pseudo- estático</i>
<i>1 - 1' Slide 7.0, Topografía actual con el</i>	<i>1.649</i>	<i>1.367</i>

Fuente: calculo y dimensionamiento para la presente investigación.

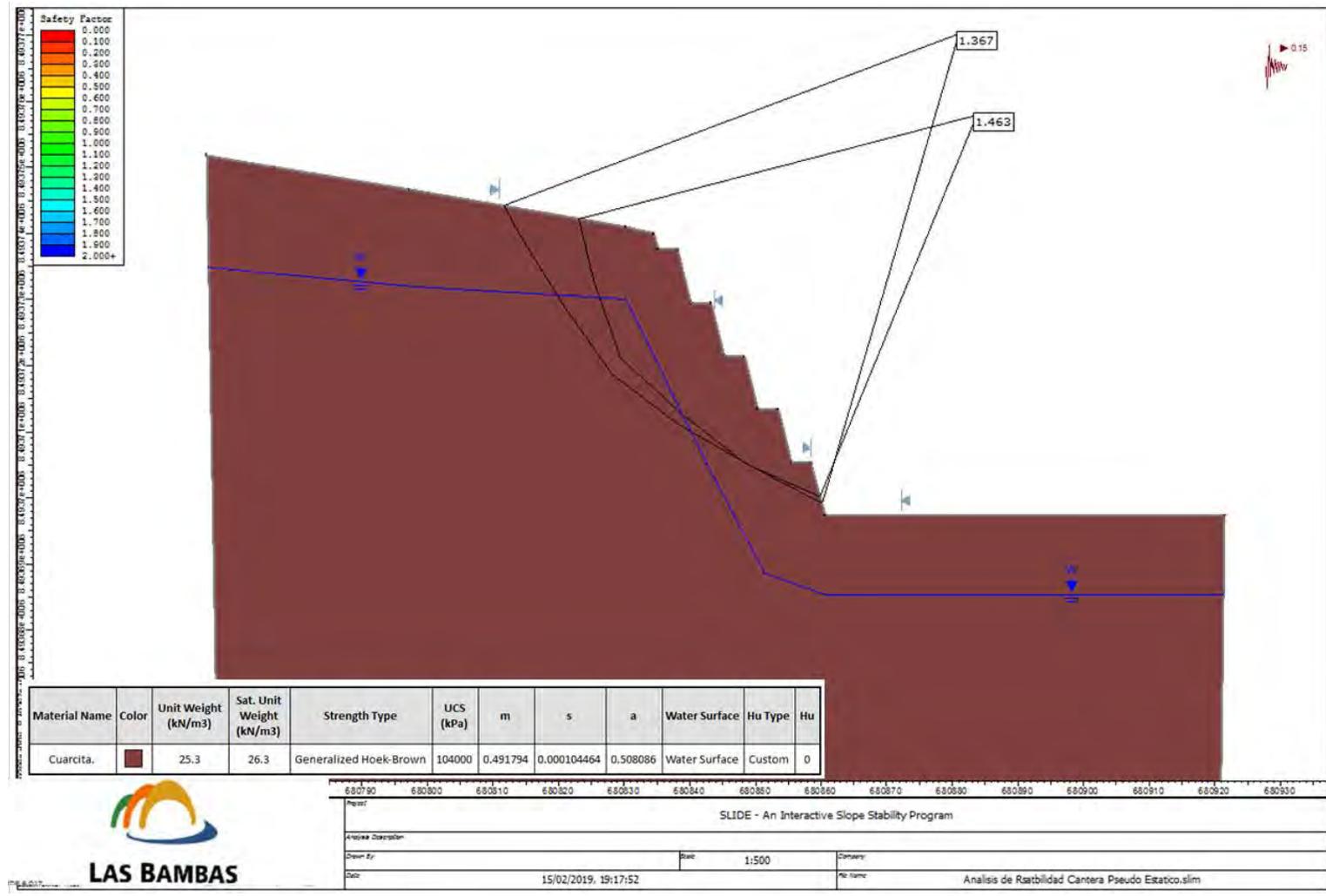


Figura 32: Sección 1-1', Análisis de Estabilidad en Condiciones Actuales Estáticas FoS

Fuente: calculo y dimensionamiento para la presente investigación.

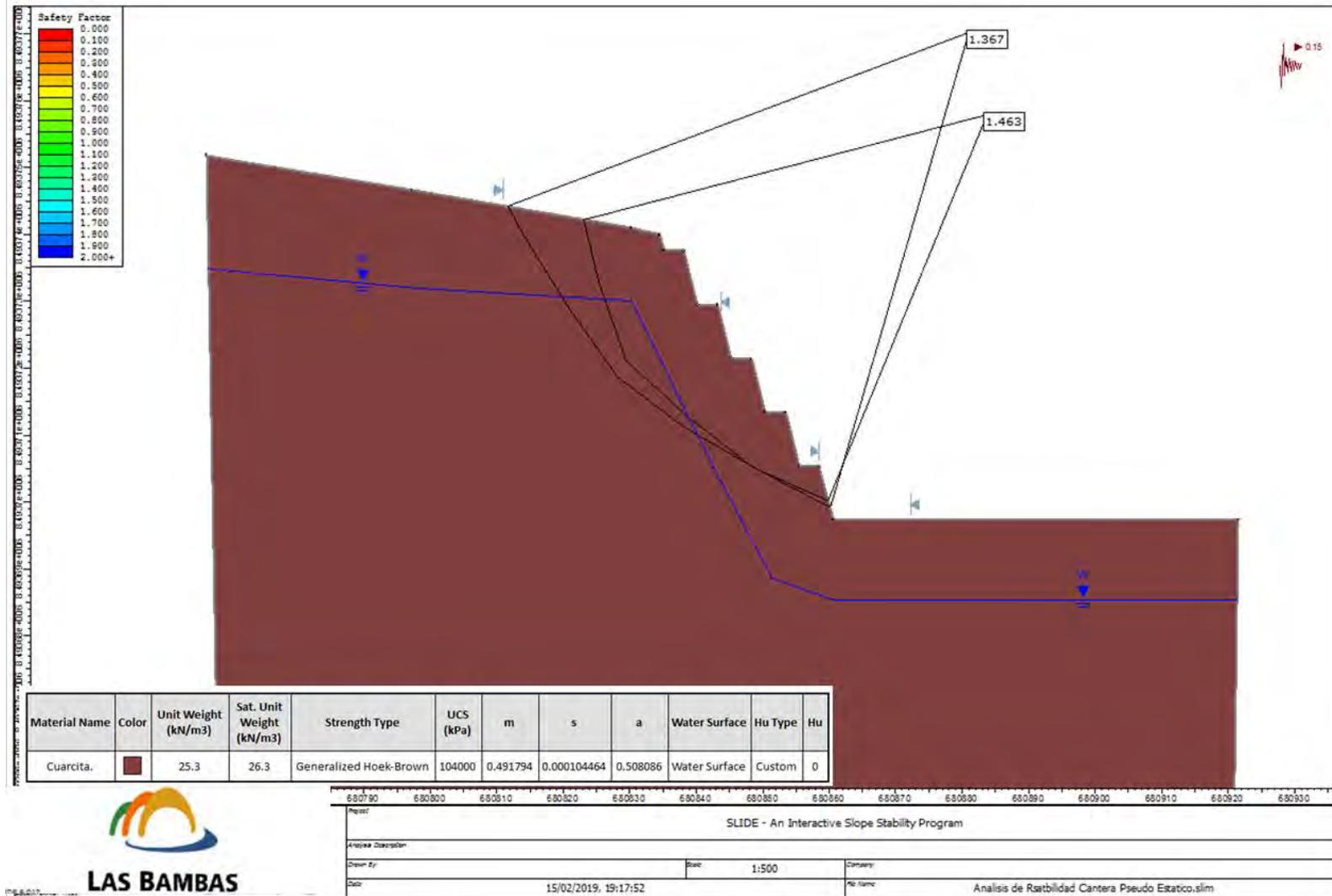


Figura 33: Sección 1-1', Análisis de Estabilidad en Condiciones Actuales Pseudo Estáticas FoS

Fuente: calculo y dimensionamiento para la presente investigación.

5.3. Análisis de Costos.

5.3.1. Costos de Inversión

En este apartado se presentan los costos de inversión referenciales del mercado sujeto a las cotizaciones realizadas en el mercado, estos costos no representan de forma precisa la inversión requerida para la explotación de la cantera y se recomienda hacer un estudio más amplio para poder hacer un análisis económico más adecuado.

Tabla 33: Costos de Referencia de Inversión

<i>Ítem</i>	<i>Descripción</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Costo \$</i>
1.0	costo del expediente técnico	01	5000.00
2.0	retroexcavadora Jhon Dere 710k	01	110000.00
3.0	camión Volvo FMX 420	01	175000.00
4.0	perforadora karex HQD 110A	01	5230.00
5.0	terreno	01	2500.00
6.0	chancadora	01	150000.00
TOTAL DE COSTOS			447730.00

Fuente: calculo y dimensionamiento para la presente investigación.

5.3.2. Costos de Producción

En este apartado se presentan los costos de producción sujeto al rendimiento de los equipos y sus costos operativos, estos costos de producción no representan de forma precisa los gastos que se realizaran para la explotación de la cantera y se recomienda hacer un estudio más amplio para poder hacer un análisis económico más adecuado.

A continuación, presentamos los costos referenciales de producción de la cantera

Tabla 34: Costos de Producción - Cantera

Partida	Descripción	Unidad	Cantidad- M3	Equipo	Rendimiento M3/H	Costos H/Maq \$	H. Efectivas/Guardia	Producción Diaria(M3)	Costo /Dia-\$	Coto/ Mes-\$	Costo/Año -\$
1.00	Excavación			retroexcavador JD 710							
1.10	En suelo	m3	7511.136		01	62.50	28.00	7.168	448	200.704	6021.12
	en material										
1.20	explotable	m3	229292.276								
2.00	Carguío			retroexcavador JD 710							
2.10	En suelo	m3	7511.136		01	90.00	25.00	4.9778	448.002	124.445	3733.35
	En material										
2.30	explotable	m3	229292.276								
3.00	Acarreo			volquete volvo fmx 420							
3.10	En suelo	m3	7511.136		01	56.00	28.00	8	448	224	6720
	En material										
3.20	explotable	m3	229292.276								
4.00	Movimiento atípico			perforadora karex							
4.10	Perforación	taladro			01	73.00	30.00	6.1369	447.9937	184.107	5523.21
4.20	Explosivos	taladro									
	Costo Unitario		1.636 \$/m3								
	Producción (m3)- Costos (\$)							448 m3	733.256	21997.68	263972.16

Fuente: calculo y dimensionamiento para la presente investigación.

A continuación, presentamos los costos referenciales de procesamiento y venta de agregados.

Tabla 35: Costos de Referencia de Producción.

<i>partida</i>	<i>descripción</i>	<i>unidad</i>	<i>rendimiento m3/h</i>	<i>costo h/maq-\$</i>	<i>horas efectivas</i>	<i>Producción/ día</i>	<i>costo de producción/día- \$</i>
5.00	<i>procesamiento</i>						
5.10	<i>chancado</i>	<i>m3</i>	60	50	2	120	100
5.20	<i>lavado</i>	<i>m3</i>	60	28	2	120	56
6.00	<i>comercialización</i>						
	<i>transporte a</i>						
6.10	<i>obra</i>	<i>m3</i>	15	28	8	120	224
<i>costo unitario</i>		<i>2.75 \$/m3</i>					
<i>costo - producción</i>						<i>120</i>	<i>380</i>

Fuente: calculo y dimensionamiento para la presente investigación.

5.3.3. Costo Total de Explotación de la Cantera

A continuación, presentamos los costos totales de explotación, estos costos son netamente referenciales, se recomienda hacer un estudio más amplio para poder hacer un análisis económico más adecuado.

Tabla 36: Costos de Referencia Total

<i>TABLA N° 5.08 Costos Total De Referencia</i>				
<i>Costos Fijos-\$</i>	<i>Costos Variables \$/M3</i>	<i>Reserva M3</i>	<i>Costo Variable Total</i>	<i>Costo Total De Explotación</i>
<i>447730</i>	<i>4.385</i>	<i>229292.276</i>	<i>1005446.63</i>	<i>1453176.63</i>

Fuente: calculo y dimensionamiento para la presente investigación.

5.3.4. Utilidad Referencial

En este apartado se presentan las utilidades referenciales, sujeto a los costos de inversión, de producción y los precios del m3 de agregado en el mercado, esta utilidad son neta entente referenciales, se recomienda hacer un estudio más amplio para poder hacer un análisis económico más adecuado.

A continuación, presentamos las utilidades referenciales de explotar la cantera.

Tabla 37: Utilidad de Referencia.

<i>precio /m3 - \$- sin IGV</i>	<i>reservas m3</i>	<i>Monto\$</i>	<i>costo total \$</i>	<i>Utilidad \$</i>
<i>13.7493</i>	<i>229292.276</i>	<i>3152608.29</i>	<i>1453176.63</i>	<i>1699431.66</i>

Fuente: calculo y dimensionamiento para la presente investigación.

CONCLUSIONES

1. De acuerdo con los análisis de estabilidad realizados en la topografía actual, el Factor de seguridad en condiciones estáticas es de 1.649 y en condiciones Pseudo - Estáticos es de 1.367 obteniendo valores aceptables según los criterios de aceptabilidad establecidos para el diseño de taludes, siendo viable su ejecución.
2. las dimensiones que toman las banquetas para la estabilidad en la explotación de la cantera Kukys son que son de 8m de alto , 8.27m de lado, con una berma de 3m y un ángulo con respecto a la horizontal de 75° , y las dimensiones para el talud final es de 50 metros de alto , compuesto por 6 banquetas con un ángulo respecto a la horizontal de 59° . Las dimensiones que toma la rampa para la estabilidad en la explotación de la cantera Kukys es: una vía de Axeso carrozable con 8 m de ancho en los tramos rectos, y con ancho que varía entre 9.20 a 10.5 m en las curvas, dicha rampa presenta 04 curvas , y un ángulo con respecto a la horizontal de 4.3° , pendiente de 8.88%, la velocidad máxima para la cual esta dimensionada es de 15km/h.
3. El costo unitario de producción asciende a 4.385\$/m³, el costo de inversión es de 447730\$, el costo total de explotación es de 1453176.63\$, el precio de unitario de venta es 13.7493\$ generando un ingreso neto de 3152608.29\$, lo cual a su vez genera una utilidad neta de 1699431.66\$, lo que hace viable la explotación de 229292.276 m³ de agregado apto para construcción de la cantera Kukys.

RECOMENDACIONES.

1. Se recomienda explotar la cantera de agregados Kukys construyendo las banquetas y rampa respetando las dimensiones planteadas en los planos de la presente investigación, de igual manera realizar la explotación respetando la secuencia de fases sugerida y de esta manera garantizar la estabilidad de cantera. Se recomienda hacer un monitoreo constante de los perfiles de trabajo, mediante mapeos geomecánicos y levantamientos topográficos, obteniendo información de campo y calcular constantemente el factor de seguridad geomecánico, de esta manera garantizamos la estabilidad operativa del yacimiento.
2. Se recomienda seguir los detalles constructivos para la ejecución de los bloques de explotación, sobre todo en las dimensiones asignadas a los parámetros de voladura, puesto que esta actividad podría ocasionar fallamientos en los taludes superiores. Se recomienda seguir los detalles construcción de las cunetas, puesto que estas obras de arte alargan la vida útil de rampa, y sirven de protección en las temporadas de lluvias.
3. Se recomienda hacer un estudio económico mas detallado teniendo en cuenta las oscilaciones de costos de producción, y las oscilaciones de los precios de venta del agregado.

BIBLIOGRAFÍA

- Ala . (2010). *Bajo Apurímac Pampas, "Plan de Cultivo y Riego 2009 - 2010"*.
Andahuaylas, Apurímac.
- Alban Avila, C. (1998). *"Reconocimiento geológico de las Calizas"*. Lima: San Marcos.
- Bayona. (1971). *"Evaluación geológica y proyecto de desarrollo de yacimientos de fierro en Andahuaylas"*. Andahuaylas - Apurimac: San Marcos.
- Centro Peruano Japonés de investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres. (2010).
"Serie de trabajos de tierra en carreteras. Manual de protección de taludes".
Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- E.T.S. De Ingenieros De Minas De Madrid. (2013). *"Perforación Y Voladura De Rocas En Minería"*. Madrid: Politécnica.
- Espinoza Durán, C. E., & Tapia Berzoza, L. E. (2013). *"Análisis comparativo entre los métodos de estabilidad de taludes aplicados a las presas de tierra del Proyecto PACALORI"*. Cuenca - Ecuador.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista, L. (2010). *"Metodología de La Investigación"*. México: McGraw Hill.
- Herrera Herbert, J. (2007). *"Métodos de Minería a Cielo Abierto"*. Madrid: Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas.
- Hoek, E., & Bray, J. W. (1981). *"Rock Slope Engineering. Revised 3rd Edition, The Institution of Mining and Metallurgy"*. London: McGraw Hill.

- Langefors, U., & Kihlstrom, B. (1963). *"Tecnica Moderna de Voladura de Rocas"*.
Bilbao: Urmo.
- Ministerio de Agricultura y Riego. (2015). *"Evaluación de los Recursos Hídricos en Cabecera de las Subcuencas de las Provincias de Andahuaylas y Chincheros"*.
Andahuaylas, Apurímac: Autoridad Nacional Del Agua.
- Ministerio de Energia y Minas. (2018). *"Productor Líder De Metales En El Mundo"*.
Lima.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). *"Manuel de carretera diseño geometrico"*. Lima.
- NTP 400.010. (2001). *"Extracción y preparación de las muestras"*. Lima: INDECOPI.
- Rodríguez, M. A., & Prendes, M. B. (2012). *"Estudio analítico de estabilidad de taludes con rotura plana"*. Santa Clara, Cuba: Universidad central de las villas.
- Skempton, A. W., & Hutchinson, J. N. (1969). *"Stability of Natural slopes and Embankment foundations"*. Mexico: International conference on soil mechanics and foundation engineering,.
- Suarez Díaz, J. (2002). *"Deslizamiento y estabilidad de taludes en zonas tropicales"*.
Madrid.
- Wyllie, D., & Mah, C. W. (2005). *"Rock Stope Engineering"*. Madrid: McGraw Hill.

ANEXOS

Anexo 01 plano de ubicación del proyecto

Anexo 02 plano topográfico del proyecto

Anexo 03 plano de secciones y reservas

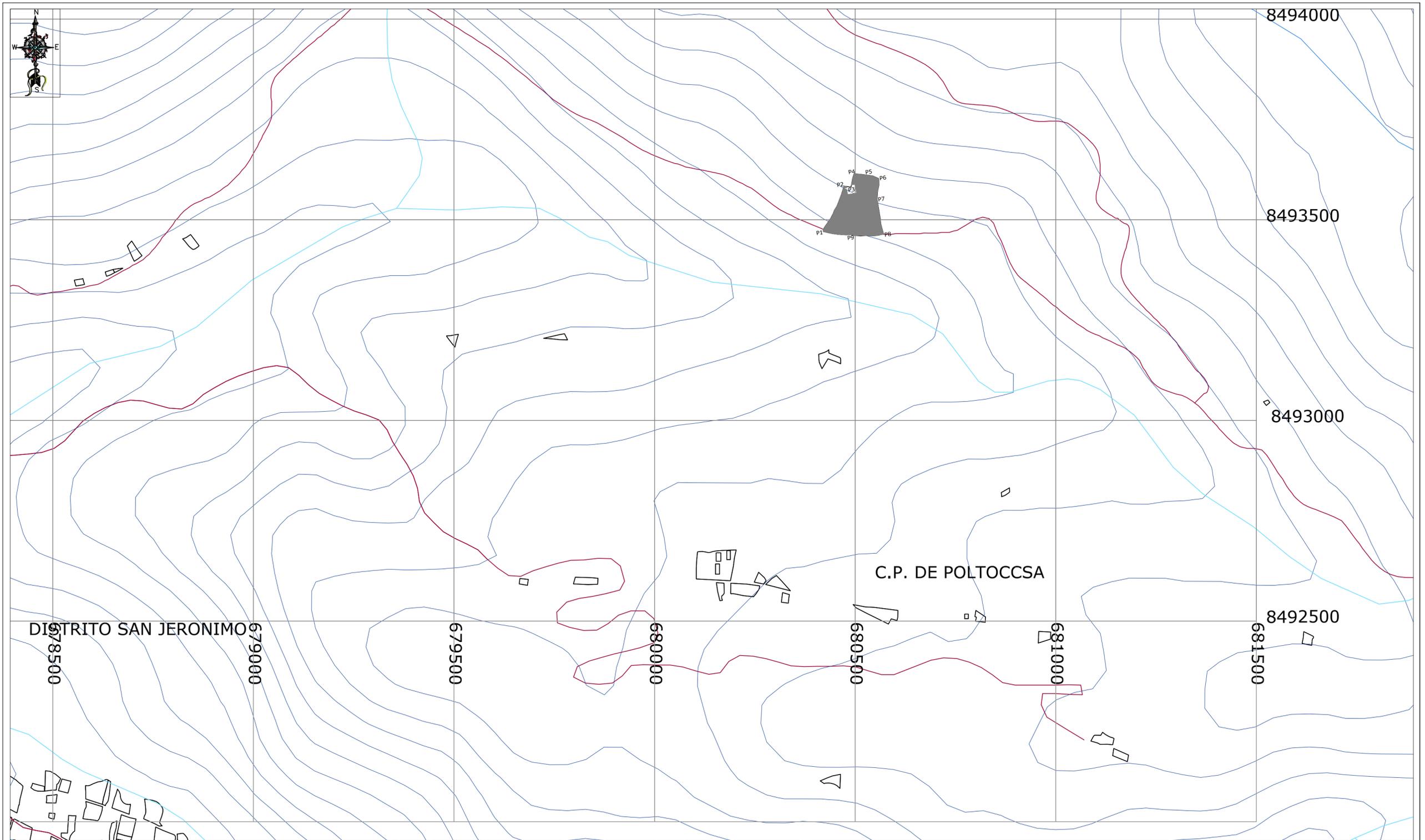
Anexo 04 plano de fases de explotación y rampa

Anexo 05 plano de talud final de la cantera

Anexo 06 plano de dimensionamiento de voladura

Anexo 07 plano de dimensionamiento de excavación

Anexo 08 matriz de consistencia



DISTRITO SAN JERONIMO

C.P. DE POLTOCCSA



VERTICE	DISANCIA	VERTICE	ESTE	NORTE	COTA
1-2	130.59	1	680422	8493511	3260
2-3	19.47	2	680491	8493614	3297
3-4	38.56	3	680507	9493609	3297
4-5	26.62	4	680520	8493520	3305
5-6	56.96	5	680554	8493632	3306
6-7	87.52	6	680577	8493620	3304
7-8	87.39	7	680577	8493603	3299
8-9	70.16	8	680570	8493481	3267
		9	680500	8493488	3264

PROYECTO:
"DIMENSIONAMIENTO DE BANQUETAS Y RAMPA PARA LA ESTABILIDAD EN LA EXPLOTACIÓN DE LA CANTERA DE AGREGADOS KUKYS, SAN JERÓNIMO - ANDAHUAYLAS - APURÍMAC"

Propietario: KUKYS S.C.R.L. **DESCRIPCIÓN:** CANTERA -01
PLANO DE UBICACIÓN

Fecha: MARZO -2019	Escala: 1/200000	Distrito: SAN JERONIMO
Responsable: Mijael Martinez T..	Provincia: ANDAHUAYLAS	Departamento: APURIMAC
Diseño: M.M.T	Dibujo: M.M.T	N° Plano: UB-01
Aprobado:		

DATUM: WGS-84 **ZONA:** 18-L **CARTA NACIONAL:** 28-Q

8493750

8493700

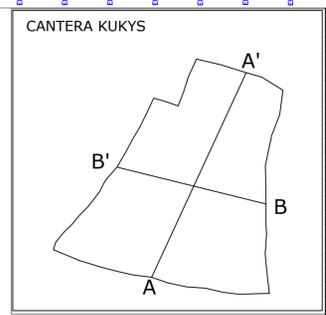
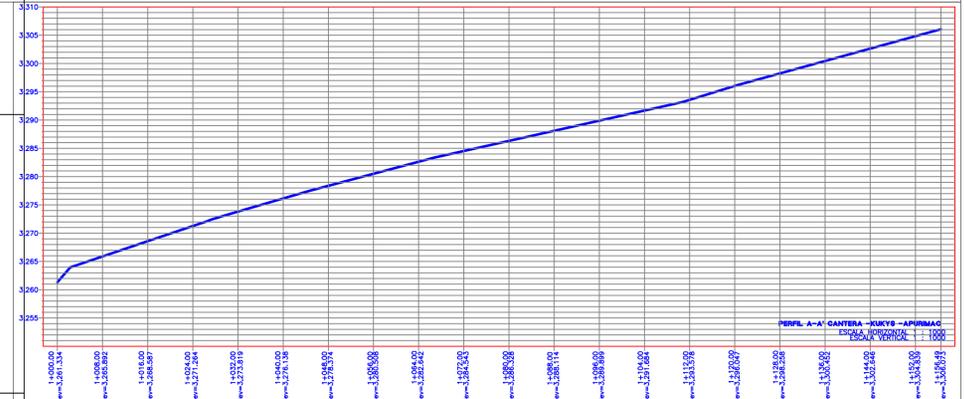
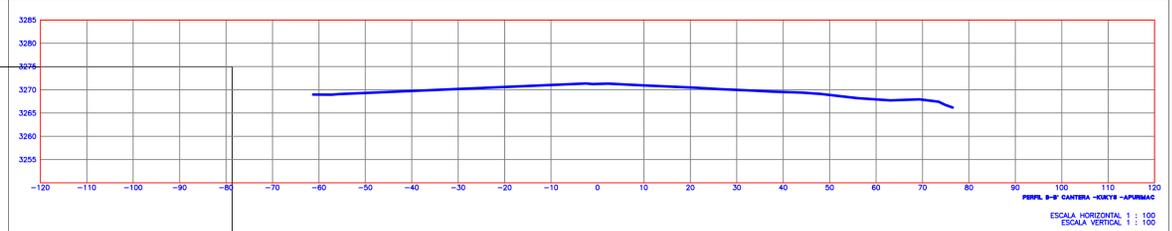
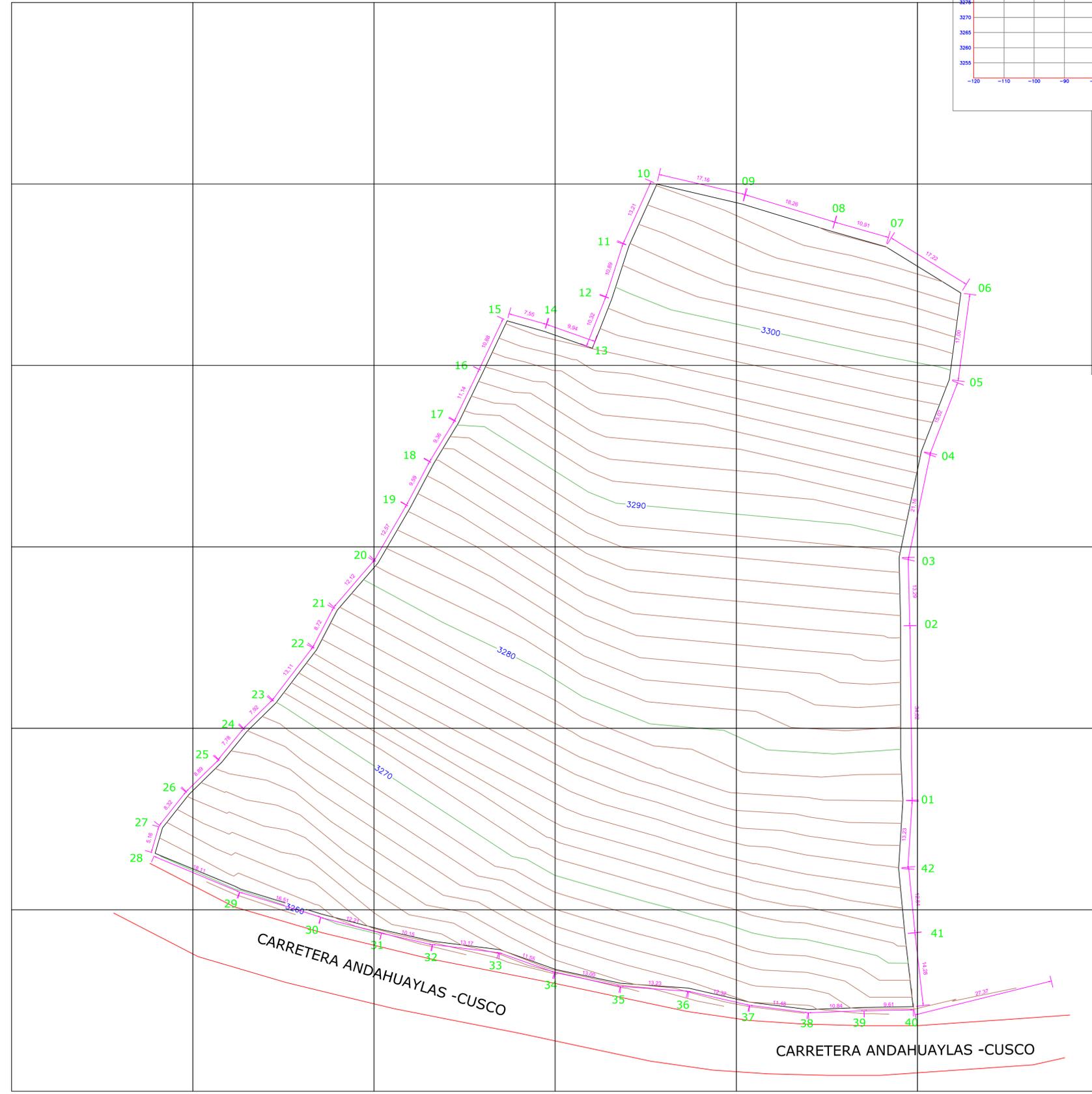
8493650

8493600

8493550

8493450

8493400



CUADRO TOPOGRAFICO

EST.	PV.	DIST.(m)	VERTICE	ESTE	NORTE	COTA
1	2	34.02	3	679632	8491340	3279
2	3	13.29	4	666355	8489468	3286
3	4	21.16	5	679175	8490342	3289
4	5	15.02	6	679637	8491400	3295
5	6	17	7	666365	8489516	3299
6	7	17.22	8	666367	8489533	3305
7	8	10.91	9	666353	8489542	3306
8	9	18.26	10	679619	8491443	3306
9	10	17.16	11	679145	8490411	3305
10	11	13.21	12	666309	8489554	3305
11	12	10.89	13	666302	8489542	3302
12	13	10.32	14	680512	8493619	3299
13	14	9.94	15	666295	8489522	3297
14	15	7.55	16	680498	8493613	3297
15	16	10.88	17	679099	8490388	3297
16	17	11.14	18	680487	8493605	3294
17	18	9.36	19	666269	8489507	3290
18	19	9.59	20	680477	8493587	3287
19	20	12.57	21	666260	8489491	3284
20	21	12.12	22	666253	8489480	3281
21	22	8.72	23	666245	8489471	3278
22	23	13.11	24	679062	8490324	3275
23	24	7.92	25	679511	8491351	3270
24	25	7.78	26	680440	8493535	3268
25	26	8.89	27	666223	8489441	3266
26	27	8.32	28	680429	8493523	3264
27	28	5.16	29	680424	8493516	3262
28	29	18.11	30	679487	8491322	3260
29	30	16.51	31	679503	8491316	3261
30	31	12.21	33	679047	8490277	3260
31	32	10.15	34	666242	8489412	3261
32	33	13.17	37	666254	8489400	3262
33	34	11.55	39	680477	8493494	3262
34	35	13	40	666277	8489405	3264
35	36	13.23	42	666288	8489401	3264
36	37	12.32	44	680513	8493486	3265
37	38	11.48	47	679134	8490258	3266
38	39	10.84	48	679603	8491293	3266
39	40	9.61	51	680550	8493481	3266
40	41	14.28	53	680561	8493481	3267
41	41	14.84	54	680570	8493481	3267
42	01	13.23	56	666381	8489408	3271



680400

680450

680500

680550

680600

680650

680700

PROYECTO: DIMENSIONAMIENTO DE BANQUETAS Y RAMPA PARA LA ESTABILIDAD EN LA EXPLOTACION DE LA CANTERA DE AGREGADOS KUKYS, SAN JERONIMO - ANDAHUAYLAS - APURIMAC.

Propietario: KUKYS S.C.R.L. PLANO: CANTERA-01 PLANO TOPOGRAFICO

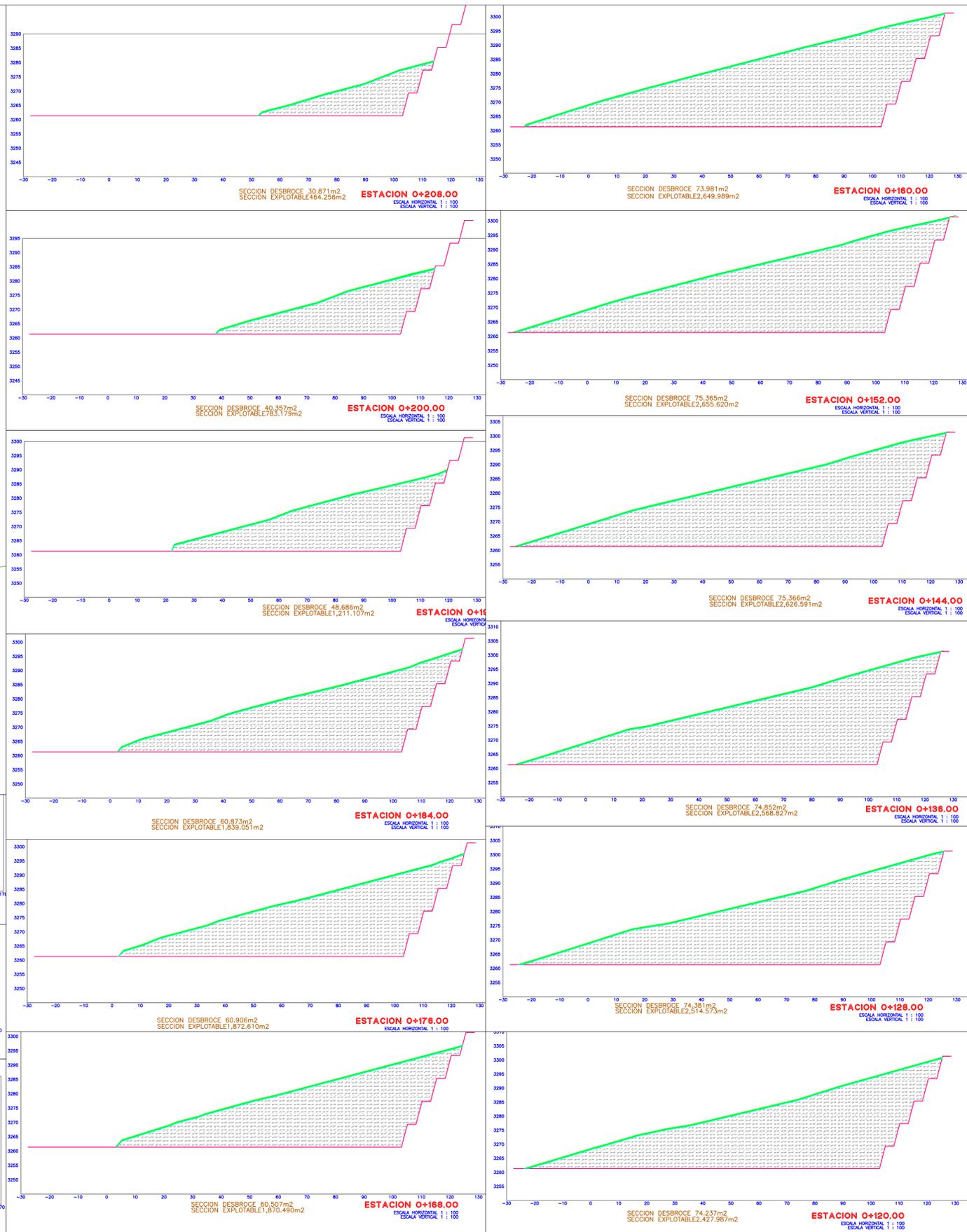
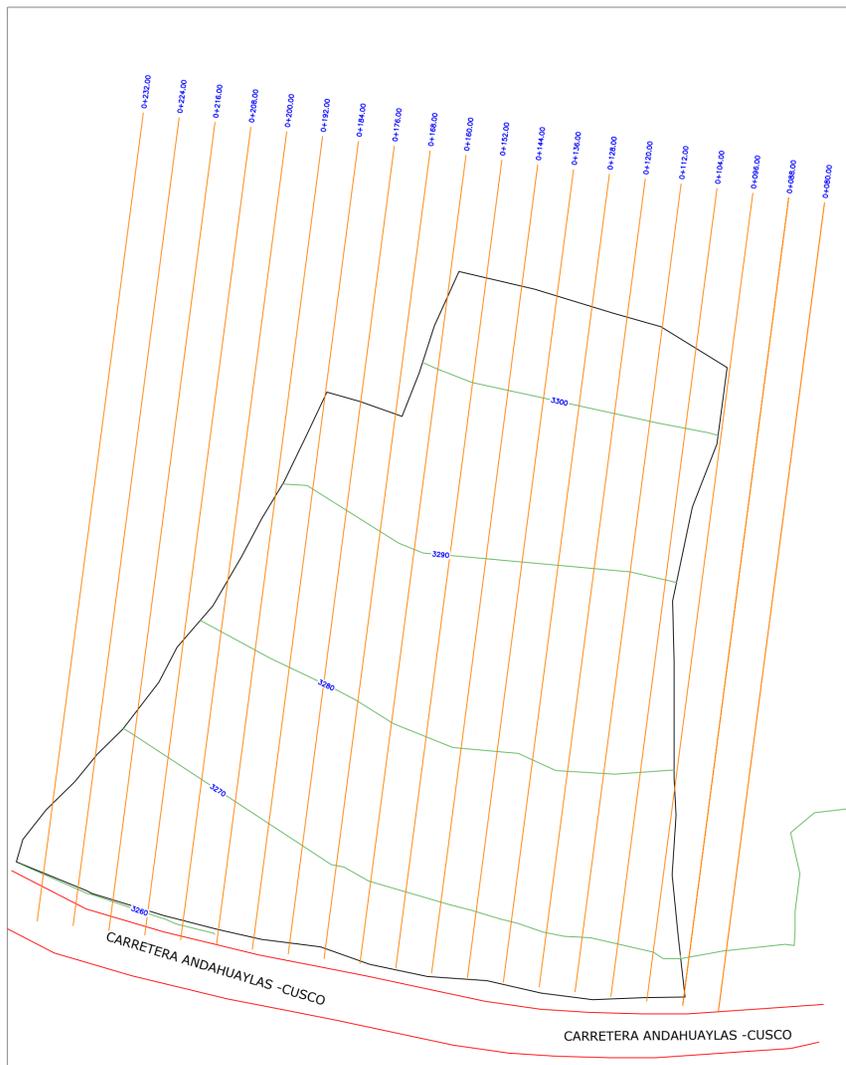
Fecha: OCTUBRE - 2018 Escala: 1:10000 Distrito: San Jeronimo

Responsable: M.M.T. Provincia: Andahuaylas

Diseño: M.M.T. Departamento: Apurimac N° Plano:

Dibujo: M.M.T. FRONTO 01: 152.18 m AREA: 15,507,769 m² TP-01

FRONTO 02: PERIMETRO: 508.42 m



LEYENDA

SIMBOLO	CANT.	DESCRIPCION
	--	ASPH-60/80/100
	--	MATERIAL EXPLOTABLE
	--	@BSG 80/107-E-B
	--	@AH 80/107-DCE/674-B/618
	--	CURVA DE NIVEL GRUESA

CALCULO DE RESERVAS Y MATERIAL ESTÉRIL - CANTERA KUKYS - APURIMAC

ESTACION	SECCION		AREA PROM-EXPLO TACION (m ²)	AREA PROM-DESBRUCE (m ²)	VOLUMEN		
	SECCION DE EXPLOTACION (m ²)	SECCION DE DESBROCE (m ²)			DISTANCIA	MATERIAL EXPLOTABLE (m ³)	MATERIAL DE DESBROCE (m ³)
00+96	290.583	23.364	1270.187	45.776	8	10161.496	366.208
00+104	2249.791	68.188	2328.0235	70.7195	8	18624.188	565.756
00+112	2406.256	73.251	2417.1215	73.744	8	19336.972	589.952
00+120	2427.987	74.237	2471.28	74.309	8	19770.24	594.472
00+128	2514.573	74.381	2541.7	74.6165	8	20333.6	596.932
00+136	2568.827	74.852	2597.709	75.109	8	20781.672	600.872
00+144	2626.591	75.366	2641.1055	75.3655	8	21128.844	602.924
00+152	2655.62	75.365	2652.8045	74.365	8	21222.436	594.92
00+160	2649.989	73.365	2260.2395	66.936	8	18081.916	535.488
00+168	1870.49	60.507	1871.55	60.7065	8	14972.4	485.652
00+176	1872.61	60.906	1855.8305	60.8195	8	14846.644	486.556
00+184	1839.051	60.733	1525.079	54.7095	8	12200.632	437.676
00+192	1211.107	48.686	997.143	44.5215	8	7977.144	356.172
00+200	783.179	40.357	623.7175	35.614	8	4989.74	284.912
00+208	464.256	30.871	353.9485	27.1175	8	2831.588	216.94
00+216	243.641	23.364	179.1265	18.0725	8	1433.012	144.58
00+224	114.612	12.781	74.969	6.3905	8	599.752	51.124
00+232	35.326	0	0	0	8	0	0
			28661.5345	938.892		229292.276	7511.136

PROYECTO:
"DIMENSIONAMIENTO DE BANQUETAS Y RAMPA PARA LA ESTABILIDAD EN LA EXPLOTACIÓN DE LA CANTERA DE AGREGADOS KUKYS, SAN JERÓNIMO - ANDAHUAYLAS - APURIMAC"

Propietario: KUKYS S.C.R.L. **PLANO:** CANTERA -03
PLANO DE SECCIONES Y RESERVAS

Fecha: Octubre - 2018 **Escala:** 1/10000 **Districto:** San Jerónimo

Responsable: Mijael Martínez T. **Provincia:** Andahuaylas

Diseño: M.M.T. **Departamento:** Apurimac **N° Plano:** SEC-01

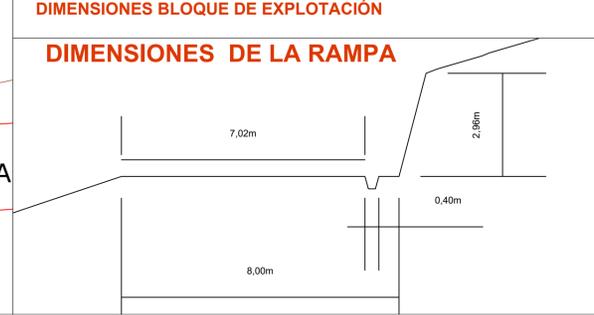
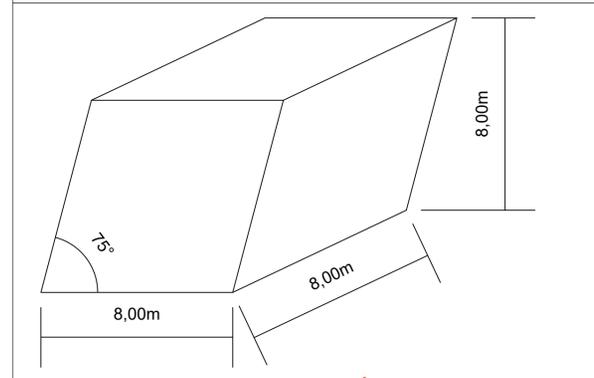
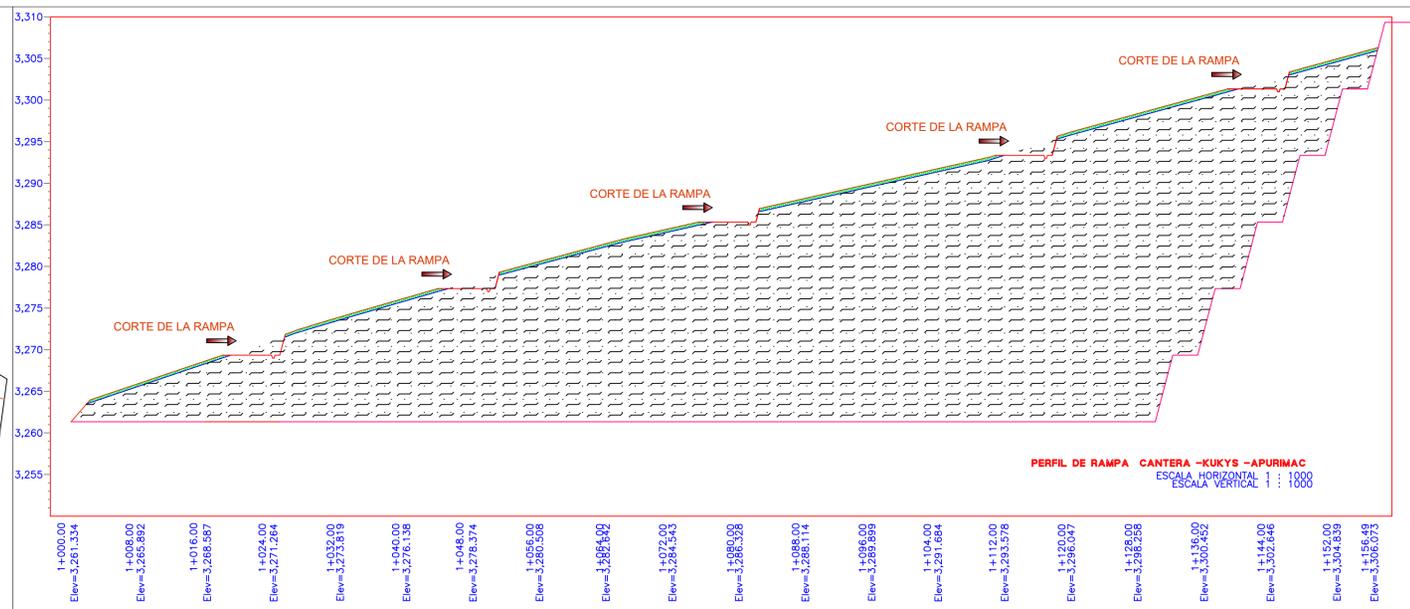
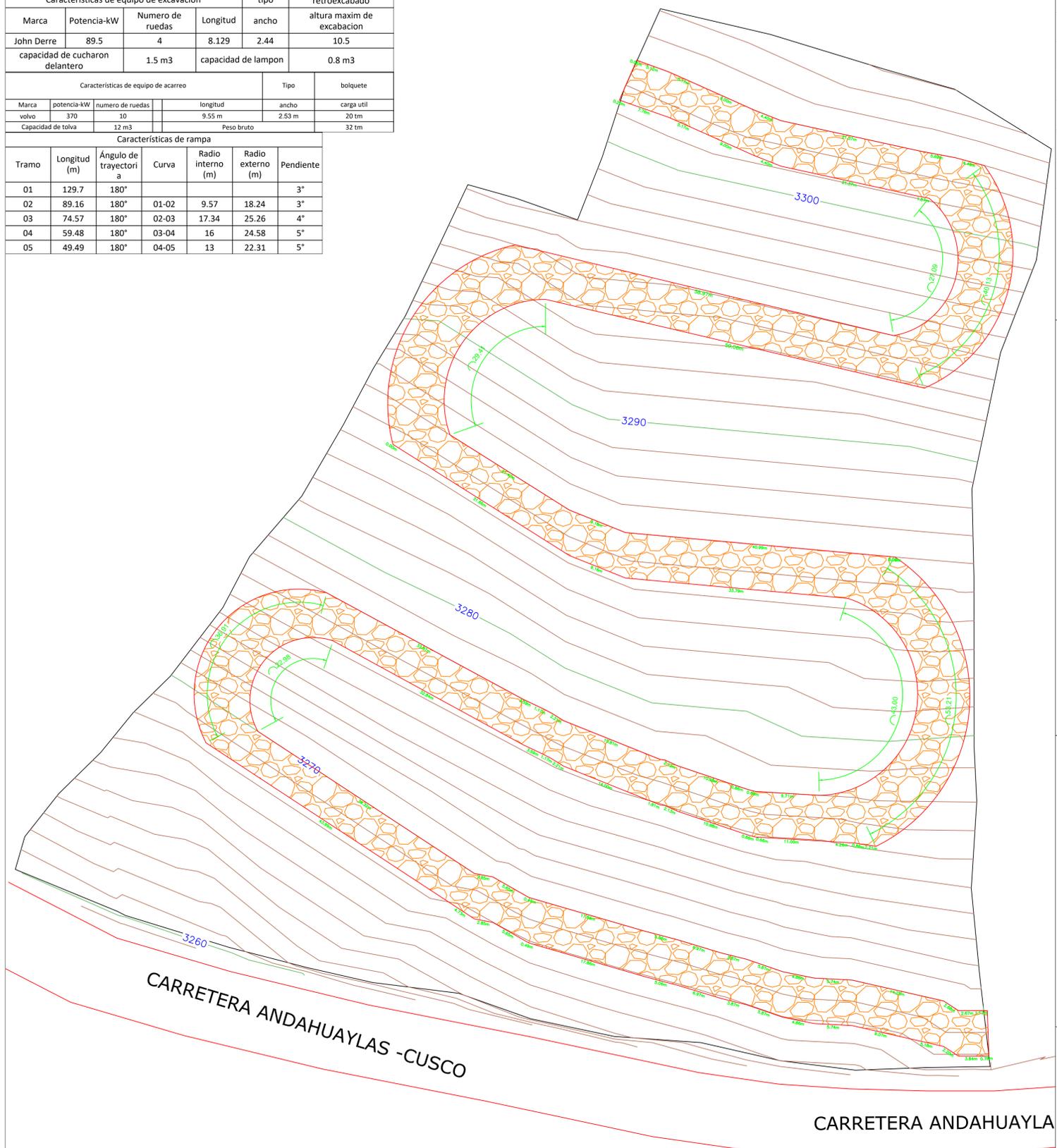
Dibujo: M.M.T. **Exploitable m3:** 229292.276 **Exploitable m2:** 28661.53 **Estéril m3:** 7511.136 **Estéril m2:** 938.892



Características de equipo de excavación				tipo	retroexcavado
Marca	Potencia-kW	Numero de ruedas	Longitud	ancho	altura maxim de excavacion
John Derre	89.5	4	8.129	2.44	10.5
capacidad de cucharon delantero		1.5 m3	capacidad de lampon		0.8 m3

Características de equipo de acarreo				Tipo	bolquete
Marca	potencia-kW	numero de ruedas	longitud	ancho	carga util
volvo	370	10	9.55 m	2.53 m	20 tm
Capacidad de tolva		12 m3	Peso bruto		32 tm

Características de rampa						
Tramo	Longitud (m)	Ángulo de trayectoria	Curva	Radio interno (m)	Radio externo (m)	Pendiente
01	129.7	180°				3°
02	89.16	180°	01-02	9.57	18.24	3°
03	74.57	180°	02-03	17.34	25.26	4°
04	59.48	180°	03-04	16	24.58	5°
05	49.49	180°	04-05	13	22.31	5°



VOLUMEN DE EXPLOTACION POR FACE EN BLOQUES						
N° DE FASES	m3/bloque	N° de bloques	EXPLOTABLE (m3)	m3/bloque	N° de bloques	ESTERIL (m3)
FASE 01	577.4	4.509394039	2603.724118	577.4	0.147718317	85.29255603
FASE 02	577.4	26.27238637	15169.67589	577.4	0.860628425	496.9268524
FASE 03	577.4	52.46338305	30292.35737	577.4	1.718590694	992.3142666
FASE 04	577.4	82.18836535	47455.56215	577.4	2.69231894	1554.544956
FASE 05	577.4	106.3143207	61385.88878	577.4	3.482634774	2010.873319
FASE 06	577.4	125.3644504	72385.43368	577.4	4.106677178	2371.195402
Total	577.4	397.1123	229292.642	577.4	13.00856833	7511.147352

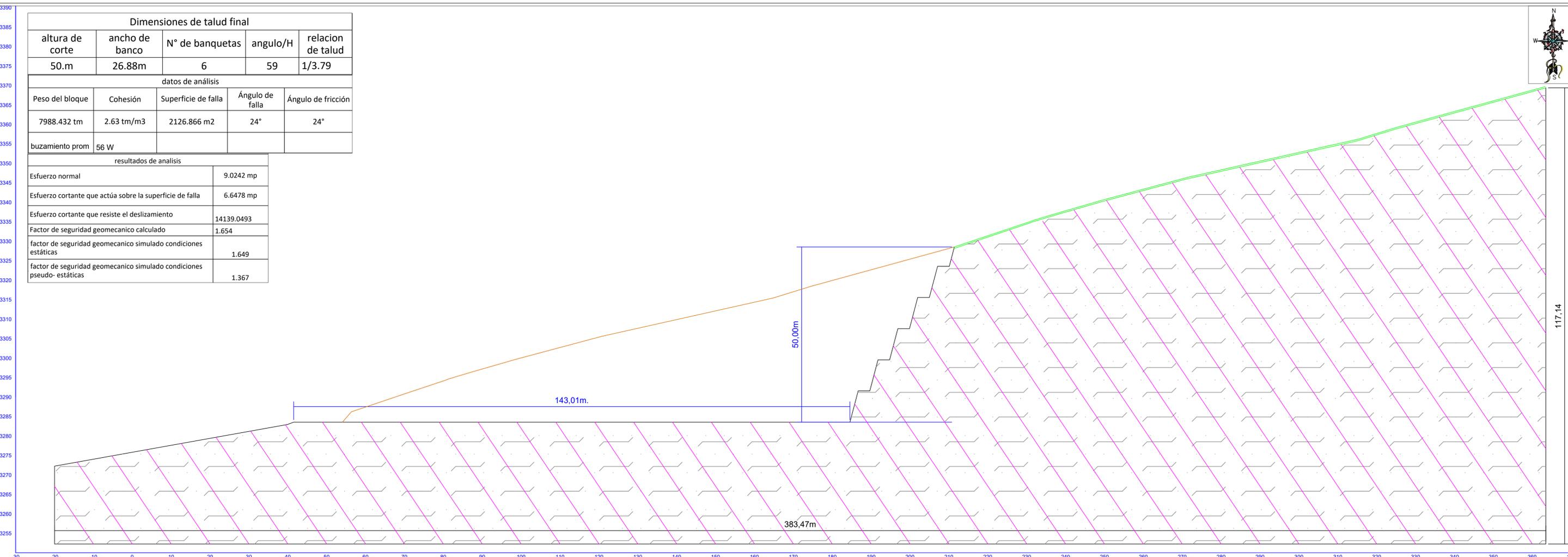
PROYECTO:
"DIMENSIONAMIENTO DE BANQUETAS Y RAMPA PARA LA ESTABILIDAD EN LA EXPLOTACIÓN DE LA CANTERA DE AGREGADOS KUKYS, SAN JERÓNIMO - ANDAHUAYLAS - APURÍMAC"

Propietario: KUKYS S.C.R.L. **PLANO:** CANTERA -03
PLANO DE FASES DE EXPLOTACIÓN Y RAMPA

Fecha: Diciembre - 2018	Escala: 1/10000	Distrito: San Jeronimo
Responsable: Mijael Martínez T.	Departamento: Apurimac	N° Plano:
Diseño: M.M.T	Exploitable m3: 229292.276	Exploitable m2: 28661.53
Dibujo: M.M.T	Estéril m3: 7511.136	Estéril m2: 938.892

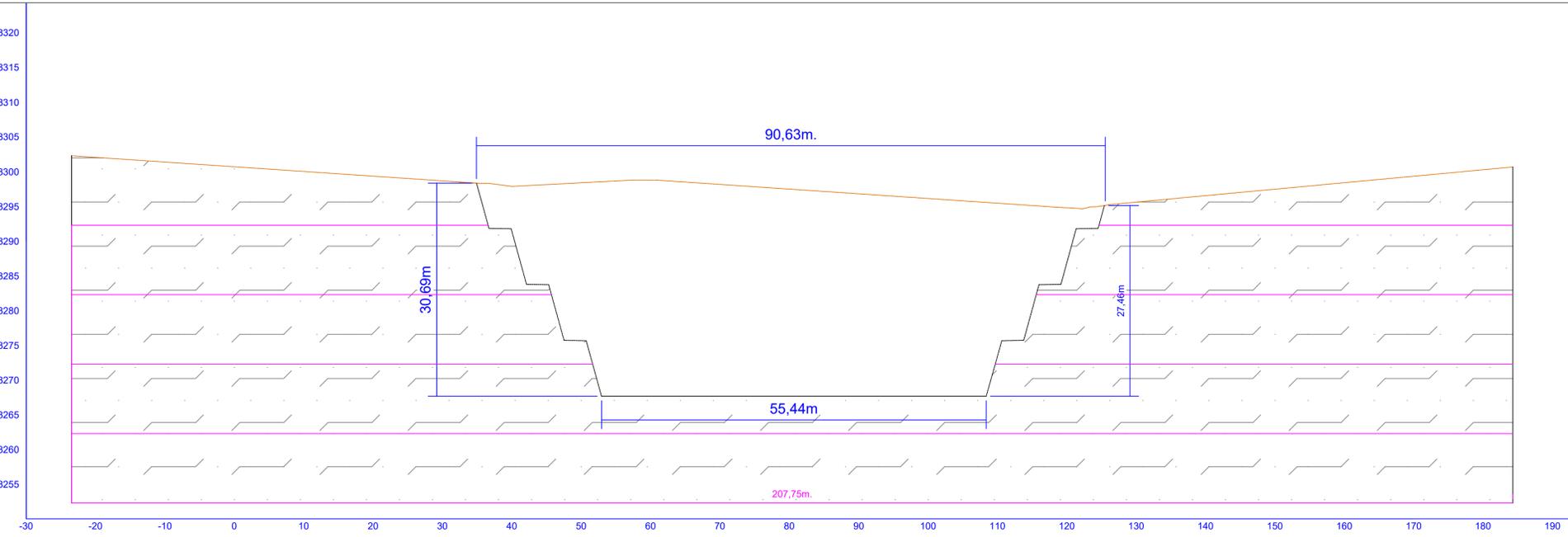


Dimensiones de talud final				
altura de corte	ancho de banco	N° de banquetas	angulo/H	relacion de talud
50.m	26.88m	6	59	1/3.79
datos de análisis				
Peso del bloque	Cohesión	Superficie de falla	Ángulo de falla	Ángulo de fricción
7988.432 tm	2.63 tm/m3	2126.866 m2	24°	24°
buzamiento prom	56 W			
resultados de analisis				
Esfuerzo normal			9.0242 mp	
Esfuerzo cortante que actúa sobre la superficie de falla			6.6478 mp	
Esfuerzo cortante que resiste el deslizamiento			14139.0493	
Factor de seguridad geomecanico calculado			1.654	
factor de seguridad geomecanico simulado condiciones estáticas			1.649	
factor de seguridad geomecanico simulado condiciones pseudo- estáticas			1.367	



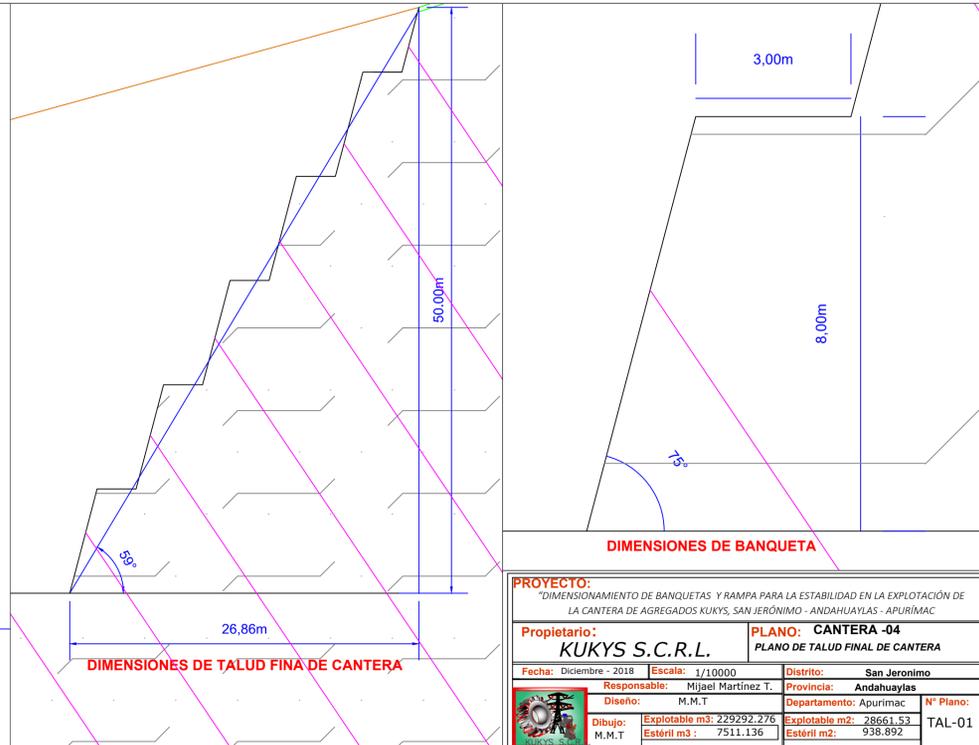
SECCIÓN LONGITUDINAL DE EXPLOTACIÓN

TALUD FINAL PROYECTADO PARA LA CANTERA KUKYS APURIMAC
 ESCALA HORIZONTAL 1 : 100
 ESCALA VERTICAL 1 : 100



SECCIÓN LATERAL DE EXPLOTACIÓN

TALUD FINAL PROYECTADO PARA LA CANTERA KUKYS APURIMAC
 ESCALA HORIZONTAL 1 : 100
 ESCALA VERTICAL 1 : 100



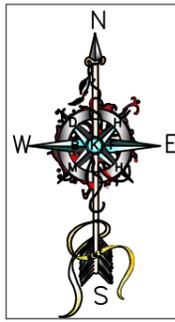
DIMENSIONES DE BANQUETA

DIMENSIONES DE TALUD FINA DE CANTERA

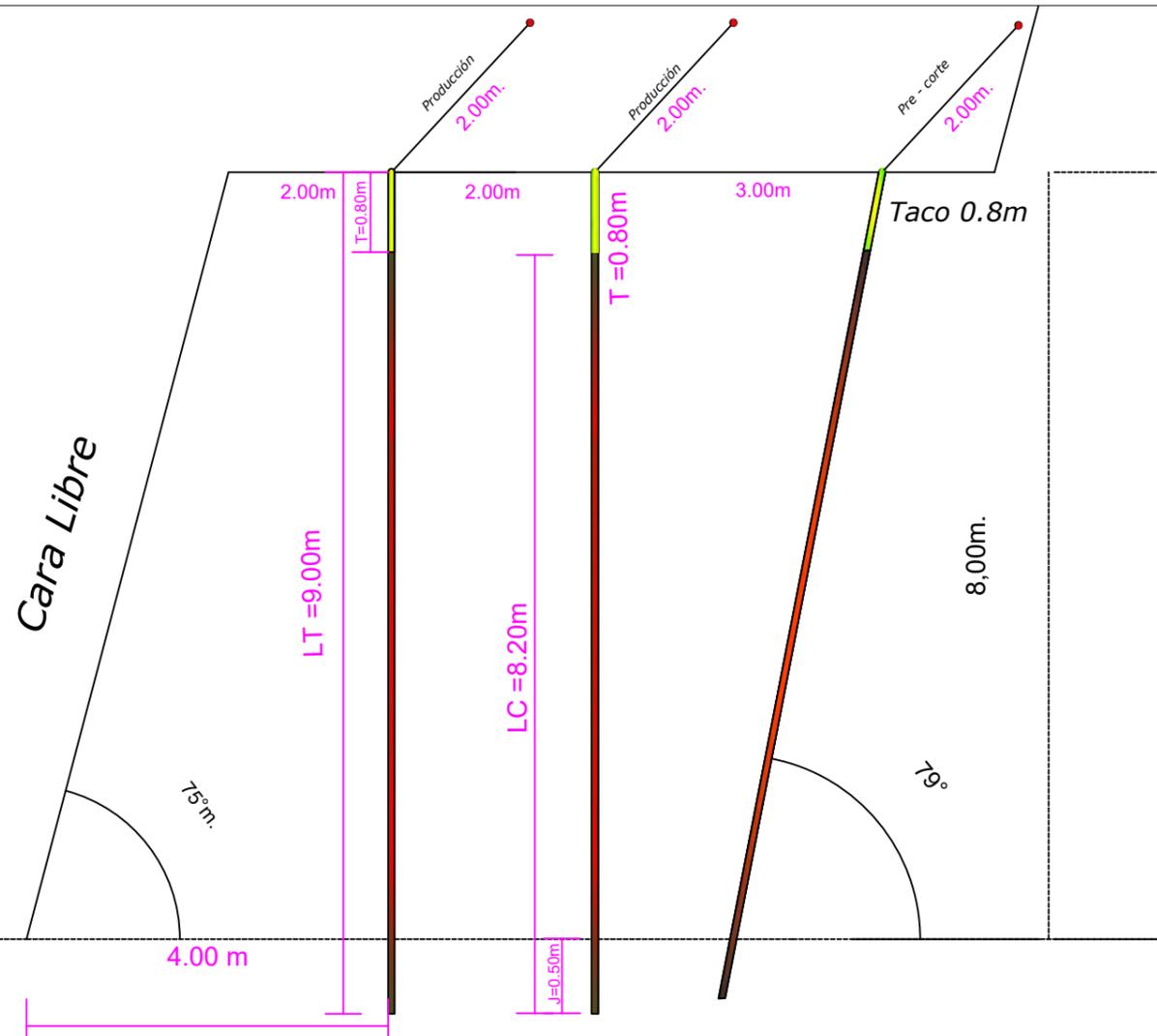
PROYECTO: "DIMENSIONAMIENTO DE BANQUETAS Y RAMPA PARA LA ESTABILIDAD EN LA EXPLOTACIÓN DE LA CANTERA DE AGREGADOS KUKYS, SAN JERÓNIMO - ANDAHUAYLAS - APURÍMAC"			
Propietario: KUKYS S.C.R.L.		PLANO: CANTERA -04 PLANO DE TALUD FINAL DE CANTERA	
Fecha: Diciembre - 2018	Escala: 1/10000	Distrito: San Jeronimo	
Responsable: Mijael Martínez T.	Provincia: Andahuaylas		
Diseño: M.M.T	Departamento: Apurimac	N° Plano:	
Dibujo: M.M.T	Explotable m3: 229292.276	Explotable m2: 28661.53	TAL-01
	Estéril m3: 7511.136	Estéril m2: 938.892	

EQUIPO DE PERFORACION HQD 110A

TIPO DE ALIMENTACIÓN	eléctrico	LUGAR DE ORIGEN	Zhejiang China
MARCA	KAREX	VOLTAJE	380v
APLICACIÓN	mineral	LONGITUD DE BARRA	1000 mm
POTENCIA	4kw	PROFUNDIDAD DE PERFORACIÓN	20 m
PESO	175 kg	CONSUMO DE AIRE	3.5-12m3/min
MODELO	HQD 110A	POTENCIA MÁXIMA DE ELEVACIÓN	7000 N
DIÁMETRO DE PERFORACIÓN	68-130mm	ROCK RIGIDEZ	68-130
PRESIÓN DE TRABAJO	0.5-0.7Mpa	VELOCIDAD DE ROTACIÓN	0-90r/min

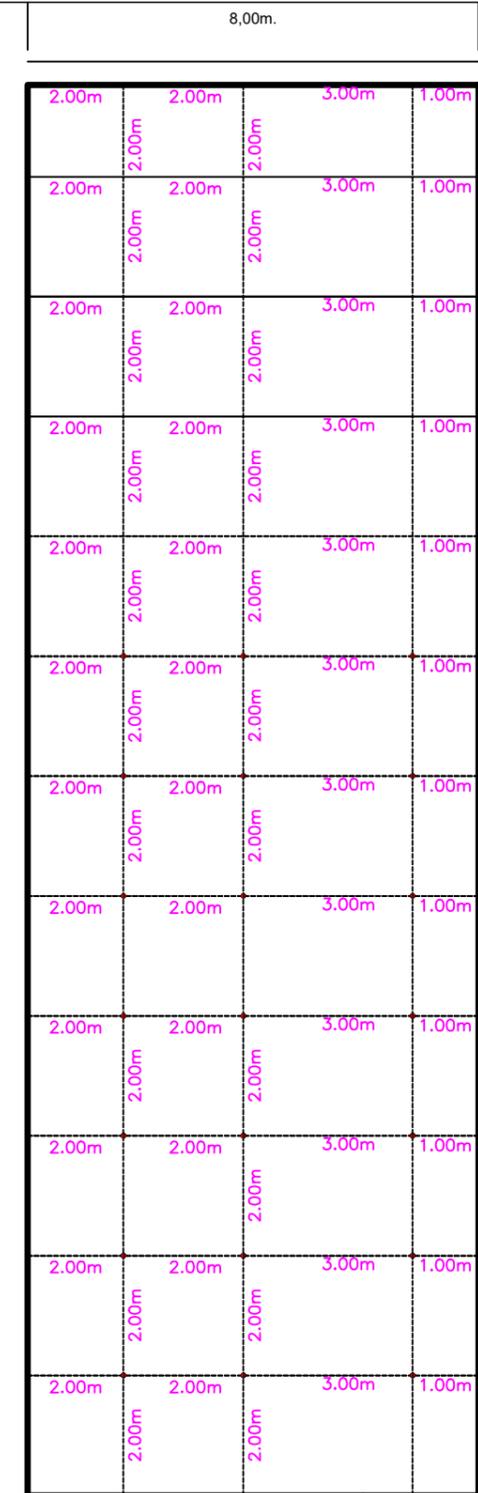


Piedra	1.7m-2.00m	Longitud De Taladro	8.78 m-9.
Piedra Máxima	3.13 m-3.00m	Altura De Banco	8.00m
Espaciamiento	2.13 m-2.00m	Inclinación De Taladro	75°
Sobre Perforación	0.51m-0.50m	Lado En Cara Libre	8.27m
Longitud De Taco	0.83m-0.80m	Explosivo	Anfo-Nor potencia 0.02



cara libre

25.00m.



PROYECTO:
"DIMENSIONAMIENTO DE BANQUETAS Y RAMPA PARA LA ESTABILIDAD EN LA EXPLOTACIÓN DE LA CANTERA DE AGREGADOS KUKYS, SAN JERÓNIMO - ANDAHUAYLAS - APURÍMAC"

Propietario: KUKYS S.C.R.L. **PLANO:** D.C. -01
DIMENSIONES DE PERFORACIÓN Y VOLADURA

Fecha: Diciembre - 2018	Escala: 1/100	Distrito: San Jeronimo
Responsable: Mijael Martínez T.	Provincia: Andahuaylas	Departamento: Apurimac
Diseño: M.M.T	N° Plano: DC-01	
Dibujo: M.M.T	Explotable m3: 229292.276	Explotable m2: 28661.53
	Estéril m3: 7511.136	Estéril m2: 938.892



MATRIZ DE CONSISTENCIA – PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

“DIMENSIONAMIENTO DE BANQUETAS Y RAMPA PARA LA ESTABILIDAD EN LA EXPLOTACIÓN DE CANTERA KUKYS, SAN JERÓNIMO – ANDAHUAYLAS - APURÍMAC”.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS.	VARIABLES E INDICADORES	DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO Y DISEÑO
<p>Problema principal</p> <p>¿Cuál será el método más adecuado para realizar la explotación de los agregados y mantener la estabilidad en la cantera KUKYS?</p> <p>Problemas específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿Cuáles serán los parámetros determinantes para dimensionar las banquetas y rampa en la cantera de agregados Kukys? • ¿Cuál será el factor de seguridad geomecánico para la explotación de la cantera de agregados Kukys? • ¿Cuáles serán las dimensiones de las banquetas y la rampa para la explotación de la cantera de agregados Kukys? 	<p>Objetivos generales</p> <p>Definir el método de explotación de tajo abierto y Realizar el dimensionamiento de banquetas y rampa para la estabilidad en la explotación de la cantera de agregados Kukys, de esta manera se elimina la posibilidad de eventos de derrumbes y deslizamientos, aplicando para ello un estudio estructural, e hídrico, determinando el factor de seguridad geomecánico adecuado que a su vez garantice la estabilidad durante la etapa de explotación y asegure la estabilidad del talud final en la cantera.</p> <p>Objetivos específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Identificar los parámetros técnicos determinantes para dimensionar las banquetas y rampas en la explotación de la cantera de agregados Kukys. • Determinar el factor de seguridad geomecánico adecuado, para la explotación de la cantera de agregados Kukys. • Determinar las dimensiones de las banquetas y rampas para la explotación de la cantera de agregados Kukys. 	<p>Hipótesis general</p> <p>A través del método de explotación a tajo abierto, dimensionamiento de banquetas y rampa se logra mantener estabilidad estructural durante el proceso de explotación de agregados de la cantera Kukys, para ello obtenemos información mediante el mapeo geomecánico y la realización de calicatas, realizando un estudio más detallado para determinar las características geomecánicas de la zona proyectada, utilizando esta información podremos realizar múltiples dimensionamientos de las banquetas y la rampa, aplicando para ello el software Autocat Civil 3d de AUTODESK, cada uno de estos dimensionamientos serán simulados en el software Geoestudio de GEO SLOPE internacional, obteniendo múltiples factores de seguridad geomecánicos, que serán analizados para finalmente optar por el adecuado, de esta manera podremos generar estabilidad en la explotación y eliminar el riesgo de derrumbes y deslizamientos en la cantera de agregados-modelo matemático de equilibrio limite.</p> <p>Hipótesis específica</p> <ul style="list-style-type: none"> • Los parámetros técnicos determinantes para dimensionar las banquetas y rampa en la explotación de la cantera de agregados Kukys, son las dimensiones de los equipos de excavación, perforación y de acarreo de agregado. • El factor de seguridad geomecánico adecuado para la explotación de agregados de la cantera Kukys tendrá que ser superior a 01 y será calculado en base a los siguientes datos: el peso del bloque a ser analizado, la cohesión del material, el área de la superficie de falla, el ángulo de falla y el ángulo de fricción. • Las dimensiones de las banquetas y rampa se obtendrán realizando múltiples dimensionamientos con ayuda de los softwares Autocat Civil 3d de AUTODESK y múltiples simulaciones para cada trazo con el software Geoestudio de GEO SLOPE internacional, estableciendo con precisión las dimensiones adecuadas, definiendo de esta manera el factor de seguridad geomecánica adecuado. 	<p>Para demostrar y comprobar la hipótesis anteriormente formulada, la operacionalización, determinando las variables e indicadores que a continuación se mencionan:</p> <p>Variable X = Variable Independiente:</p> <p>Cohesión del Material de la Cantera(tm/m2) X1</p> <p>Ángulo de Fricción Interna del Material (grados sexa) X2</p> <p>Dimensiones de Equipos de Excavación y Acarreo (ml) X3</p> <p>Variable Y = Variable Dependiente:</p> <p>Peso del Bloque a Estabilizar Y1</p> <p>Área de la Superficie de Falla Y2</p> <p>Ángulo de Falla Y3</p> <p>Dimensiones de las Banquetas y4</p> <p>Variable Z</p> <p>Coeficiente de seguridad (F): Z1</p> <p>Talud final de operaciones: Z2</p> <p>Resistencia media al corte Z3</p>	<p>Diseño de investigación.</p> <p>No Experimental</p> <p>Métodos de investigación</p> <p>Con la información obtenida en el yacimiento de la cantera KUKYS se hará un estudio más detallado para determinar las características geomecánicas de la zona proyectada, realizaremos múltiples dimensionamientos aplicando para ello el software Autocat Civil 3d de AUTODESK, cada uno de estos dimensionamientos serán simulados en el software Geoestudio de GEO SLOPE internacional, realizaremos múltiples experimentos haciendo variar el diseño de las banquetas en los taludes, con esto generaremos múltiples variaciones en el factor de seguridad geomecánico, lo que nos permitirá determinar el diseño óptimo de las banquetas y rampa; se tomarán y evaluarán cada experimento proyectando sus repercusiones en la cantera y estudiaremos detalladamente el comportamiento del factor de seguridad, definiendo finalmente el adecuado para esta cantera en específico</p> <p>Población y muestra</p> <p>Se considera como población muestra para temas de cálculo la cantera Kukys</p> <p>Técnica e instrumentos de recolección de datos</p> <p>Estacion total topcon es105 con equipamiento completo.</p> <p>Gps garmin 64s</p> <p>Tabal geomecánica</p> <p>Picotas</p> <p>Bolsa auto adherente para muestras</p> <p>Pintura en sprit</p> <p>Flexometro</p> <p>Lebantamiento topografico.</p> <p>Realización de mapeo geo mecánico utilizando tablas y malla de distribución de mapeo para obtención de información de campo.</p> <p>Recolección de muestras de material en campo, para ser procesadas en laboratorio.</p>