

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



TESIS

Modelo hidrogeológico conceptual para la ubicación, diseño y construcción de tapones herméticos en el proyecto Pariguanas unidad minera Orcopampa-Cia de minas Buenaventura S.A.A.

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Geólogo

Autor: Bach. Joel Tomás MIRANDA CAJAHUANCA

Asesor: Mg. Luis Arturo LAZO PAGAN

Cerro de Pasco — Perú - 2019

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



TESIS

Modelo hidrogeológico conceptual para la ubicación, diseño y construcción de taponés herméticos en el proyecto Pariguanas unidad minera Orcopampa-Cia de minas Buenaventura S.A.A.

Sustentado y aprobado ante los miembros del jurado:

Ing. Ramiro Ernesto DE LA CRUZ FERRUZO
PRESIDENTE

Mg. Vidal Víctor CALSINA COLQUI
MIEMBRO

Mg. Javier LOPEZ ALVARADO
MIEMBRO

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional porque ha estado conmigo a cada paso que doy, cuidándome y dándome fortaleza para continuar. A mi madre, por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional. A mi familia, a quien quiero y por compartir momentos significativos conmigo y por siempre estar dispuesta a escucharme y ayudarme en cualquier momento. A Mariluz, compañera inseparable de cada jornada. Ella representó gran esfuerzo y tesón en momentos de decline y cansancio, sin ellos no hubiera logrado esta meta. Los amo con mi vida.

RECONOCIMIENTO

Quiero dar gracias a Dios y a mi familia, por apoyarme en el desarrollo de este proyecto.

Gracias a mi asesor el Mg. Luis Arturo LAZO PAGAN, por haber sido partícipe activo brindandome su orientación para el desarrollo del tema.

Gracias a los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión-Pasco, de los cuales recibí formación profesional y transmisión de conocimientos en mi etapa universitaria.

Y un especial reconocimiento al Ing. Roger SOTO GUILLERMO por haber acompañado en el desarrollo y realización de este proyecto, gracias a sus aportes logramos desarrollar discusiones interesantes e importantes para la culminación exitosa de este proyecto.

RESUMEN

Para entender la circulación del agua subterránea en el subsuelo se necesita definir un modelo hidrogeológico conceptual, que permita identificar las condiciones de recarga y descarga del agua las características litológicas y geométricas del acuífero, las litoestratigrafías, las porosidades primarias y secundarias; así como las direcciones de flujo del agua subterránea, gradientes hidráulicos, transmisividad de la roca, su coeficiente de almacenamiento, etc. El modelo hidrogeológico conceptual es un esquema lógico a nivel cualitativo y cuantitativo, que describe las propiedades, condiciones, procesos y potencialidades del acuífero, intentando predecir su comportamiento para así determinar la cantidad de agua que es susceptible a infiltración, y anticipar los posibles impactos ambientales.

La data obtenida dentro del proyecto nos muestra la dirección de flujos de aguas subterráneas en dirección horizontal y una mínima presencia en dirección vertical; considerándose la influencia de las bofedales y de la escorrentía superficial.

Entonces este trabajo de tesis se basa fundamentalmente en la interpretación del modelo hidrogeológico conceptual y el comportamiento geomecánico del macizo rocoso; lo que permite interpretar estas particularidades a fin de Ubicar, Diseñar y construir Tapones Herméticos, como cierre de minas definitivo.

Así mismo el presente trabajo de tesis pretende demostrar la gran importancia de realizar actividades de evaluación hidrogeológica, a fin de conocer el verdadero comportamiento de las aguas subterráneas con optimización y mayor precisión en los estudios.

Palabras clave: Modelo hidrogeológico conceptual; Ubicar, Diseñar y construir Tapones Herméticos

ABSTRACT

To understand the circulation of groundwater in the subsoil, a conceptual hydrogeological model needs to be defined, which allows identifying the conditions of recharge and discharge of water, the lithological and geometric characteristics of the aquifer, lithostratigraphy, primary and secondary porosities; as well as the directions of groundwater flow, hydraulic gradients, rock transmissivity, its storage coefficient, etc. The conceptual hydrogeological model is a logical scheme at a qualitative and quantitative level, which describes the properties, conditions, processes and potential of the aquifer, trying to predict its behavior in order to determine the amount of water that is susceptible to infiltration, and anticipate possible environmental impacts.

The data obtained within the project shows the direction of groundwater flows in the horizontal direction and a minimal presence in the vertical direction; considering the influence of bofedales and surface runoff.

So this thesis work is based fundamentally on the interpretation of the conceptual hydrogeological model and the geomechanical behavior of the rock mass; what allows to interpret these particularities in order to Locate, Design and build Hermetic Plugs, as definitive mine closure.

Likewise, this thesis work aims to demonstrate the great importance of carrying out hydrogeological evaluation activities, in order to know the true behavior of groundwater with optimization and greater precision in the studies.

Keywords: Conceptual hydrogeological model; Locate, Design and build Hermetic Plugs.

INTRODUCCIÓN

SEÑOR PRESIDENTE DEL JURADO:

SEÑORES MIEMBROS DEL JURADO:

Tengo el honor de poner en consideración del Ilustre Jurado el presente trabajo de Investigación intitulado “MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL PARA LA UBICACIÓN, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE TAPONES HERMÉTICOS EN EL PROYECTO PARIGUANAS, UNIDAD MINERA ORCOPAMPA - CIA DE MINAS BUENAVENTURA S.A.A.”, con la finalidad de Optar el título Profesional de Ingeniero Geólogo.

Considero de vital importancia la Hidrogeología, cuya aplicación está tomando cada día más relevancia en un contexto mundial permitiendo caracterizar y cuantificar los recursos hídricos subterráneos, además de la modelación conceptual y numérica que sirve como herramienta predictiva y de gestión, tanto en la Industria minera como para organismos gestores de la cuenca (Barcelo,2018).

El desarrollo de la Presente Tesis estuvo enfocado en el Proyecto de Exploración Pariguana cuya Unidad Minera corresponde a Orcopampa de la Compañía de Minas Buenaventura S.A.A.; ubicado en el Distrito de Chachas, provincia de Castilla, región de Arequipa. Se trata de labores de exploración subterráneas sin éxito, continuando inmediatamente con el cierre definitivo ante la posibilidad de existencia de pasivos ambientales, que representarían un potencial riesgo ambiental, social y económico.

Frente a este escenario se consideró determinar los parámetros básicos de ingeniería para la elaboración de un modelo Hidrogeológico conceptual a fin de interpretar el comportamiento del agua y su influencia para el diseño, ubicación y construcción de Tapones de cierre hermético en el Proyecto Pariguanas.

Este trabajo de investigación consta de cuatro capítulos donde se describen el planteamiento del problema, marco teórico, metodología de la investigación además del resultado y discusiones.

Finalmente, las conclusiones y recomendaciones, presentadas en este trabajo exponen la importancia de porqué es indispensable un estudio para trabajos de cierre de minas en conjunto.

Se agradece a los Profesionales, trabajadores e instituciones que permitieron elaborar este estudio, de manera muy especial a la Empresa Proyectos y Servicios Alicomser S.A.C. y la Compañía de Minas Buenaventura S.A.A, durante el año 2016 al 2018 por permitir conocer y compartir muchas experiencias.

EL AUTOR

DEDICATORIA	
RECONOCIMIENTO	
RESUMEN	
ABSTRACT	
INTRODUCCIÓN	
ÍNDICE	
LISTA DE TABLAS	
LISTA DE FIGURAS	
CAPÍTULO I. PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN	
1.1 Identificación y determinación del problema	1
1.2 Delimitación de la investigación	2
1.3 Formulación del problema	3
1.3.1 Problema general	4
1.3.2 Problemas específicos	4
1.4 Formulación de Objetivos	4
1.4.1 Objetivo general	4
1.4.2 Objetivos específicos	5
1.5 Justificación de la investigación	5
1.6 Limitaciones de la investigación	7
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	
2.1 Antecedentes de estudio	8
2.2 Bases teóricas – científicas	12
2.2.1 Hidrogeología	12
2.2.1.1 El agua Subterránea	13
2.2.1.2 Clasificación de las formaciones geológicas según su comportamiento hidrogeológico	14
2.2.1.3 Tipos de acuíferos	16
2.2.1.4 Propiedades hidráulicas de los acuíferos	17
2.2.1.5 Modelamiento hidrogeológico conceptual	22
2.2.2 Tapón Hermético	25
2.2.2.1 Definición	25
2.2.2.2 Diseño de tapones para el cierre de labores mineras	25
2.2.2.3 Investigaciones de campo, recopilación de información y ensayos de laboratorio	26
2.2.2.4 Caracterización del macizo rocoso	26
2.2.2.4.1 Geología	26
2.2.2.4.2 Geomecánica	26
2.2.2.4.3 Condiciones Hidrogeológicas	27
2.2.2.4.4 Peligro Sísmico	28
2.2.2.5 Diseño de Tapón	28
2.2.2.5.1 Arreglo General del Tapón	28
2.2.2.5.2 Análisis de estabilidad de tapones	29
2.2.2.5.3 Modelamiento numérico de tapones	30
2.2.2.5.4 Instrumentación y monitoreo post cierre	30
2.3 Definición de términos básicos	31
2.4 Formulación de Hipótesis	35

2.4.1 Hipótesis general	35
2.4.2 Hipótesis específicas	36
2.5 Identificación de variables	36
2.5.1 Variables Independientes	36
2.5.2 Variables Dependientes	36
2.5.3 Variables Intervinientes	36
2.6 Definición Operacional de variables e indicadores	37
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	
3.1 Tipo de Investigación	38
3.2 Métodos de Investigación	38
3.3 Diseño de la investigación	38
3.4 Población y muestra	38
3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	39
3.6 Técnicas de procesamiento y análisis de datos	39
3.7 Tratamiento estadístico	39
3.8 Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación	40
3.9 Orientación Ética	40
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSION	
4.1 Descripción del trabajo de campo	41
4.1.1 Generalidades	41
4.1.1.1 Ubicación Geográfica y Política del proyecto	41
4.1.1.2 Accesibilidad	41
4.1.2 Contexto Geológico	42
4.1.2.1 Geología Regional	42
4.1.2.2 Estratigrafía	43
4.1.2.2.1 Grupo Tacaza (Tms-ta)	43
4.1.2.2.2 Formación Orcopampa (Nm-or)	44
4.1.2.2.3 Formación Alpabamba (Tm-al)	46
4.1.2.2.4 Grupo Barroso (TQ-Ba)	47
4.1.2.2.5 Depósitos Cuaternarios	48
4.1.2.3 Geología Estructural	50
4.1.2.4 Geología Local	50
4.1.3 Aspectos Hidrológicos	52
4.1.3.1 Características Hidrográficas	52
4.1.3.1.1 Ubicación Hidrográfica	52
4.1.3.1.2 Demarcación Administrativa	54
4.1.3.1.3 Geomorfología de las cuencas	54
4.1.3.1.4 Caracterización morfométrica de la cuenca	55
4.1.3.1.4.1 Parámetros de la forma de la cuenca	55
4.1.3.1.4.2 Parámetros de relieve de la cuenca	60
4.1.3.1.4.3 Parámetros de la red hidrográfica	65
4.1.3.2 Parámetros Climatológicos	71
4.1.3.2.1 Precipitación	72
4.1.3.2.1.1 Análisis de consistencia	73
4.1.3.2.1.2 Completación y extension de datos	81
4.1.3.2.1.3 Variabilidad temporal de la precipitación total mensual	82

4.1.3.2.1.4 Ecuación regional de la precipitación total anual	83
4.1.3.2.2 Temperatura	86
4.1.3.2.3 Humedad Relativa	88
4.1.3.2.4 Evaporación	90
4.1.3.2.5 Viento	90
4.1.3.2.6 Vapotranspiración Potencial	92
4.1.3.3 Caudal Medio	95
4.1.3.3.1 Generación de caudales medios en las quebradas de estudio	96
4.1.3.3.1.1 Criterios de regionalización	97
4.1.3.3.2 Caudal Base	99
4.1.3.3.2.1 Método Eckhardt	100
4.1.3.4 Balance Hídrico	101
4.1.3.4.1 Descripción metodológica	101
4.1.3.4.1.1 Descripción del método	102
4.1.3.4.1.2 Relación agua-poros	104
4.1.3.4.1.3 Balance Hídrico Representativo	108
4.1.4 Inventario de Fuentes de agua	109
4.1.4.1 Introducción	109
4.1.4.2 Descripción Metodológica	110
4.1.4.2.1 Trabajo de Campo	110
4.1.4.2.2 Trabajo de Gabinete	111
4.1.4.3 Fuentes de agua superficial y subterránea	111
4.1.4.3.1 Quebradas y ríos	112
4.1.4.3.1.1 Quebradas	112
4.1.4.3.1.2 Ríos	114
4.1.4.3.2 Manantiales	115
4.1.4.3.3 Bofedales	117
4.1.4.4 Piezómetros	118
4.1.4.5 Bocaminas- Caudales	120
4.1.5 Calidad de agua	121
4.1.5.1 Introducción	121
4.1.5.2 Metodología de estudio de las aguas	122
4.1.5.2.1 Etapa de campo	122
4.1.5.2.2 Toma de muestra	123
4.1.5.2.3 Metodología del laboratorio	124
4.1.5.2.3.1 Parámetros de Campo	124
4.1.5.2.3.2 Estaciones de muestreo	124
4.1.5.2.3.3 Análisis de muestras – laboratorio	124
4.1.5.2.3.4 Etapa de gabinete	125
4.1.5.2.3.5 Control de calidad de los datos analíticos	126
4.1.5.2.4 Metodología del análisis de resultados	128
4.1.5.3 Resultado de análisis químico de aguas subterráneas	129
4.1.5.3.1 Resultado de campo	129
4.1.5.3.2 Resultado del pH	129
4.1.5.3.3 Resultado de conectividad eléctrica	130
4.1.5.3.4 Resultados de sólidos totales suspendidos	131

4.1.5.3.5 Resultado de laboratorio	131
4.1.5.3.5.1 Análisis de laboratorio: Aniones	132
4.1.5.3.5.2 Análisis de laboratorio: Cationes	133
4.2 Presentación, análisis e interpretación de resultados	136
4.2.1 Modelo Hidrogeológico Conceptual	136
4.2.1.1 Litoestratigrafía	136
4.2.1.2 Geología estructural	137
4.2.1.3 Hidroestratigrafía	138
4.2.1.3.1 Unidad Hidrogeológica no consolidada	138
4.2.1.3.2 Unidad Hidrogeológica volcánica Fisurada	139
4.2.1.3.3 Unidad Hidrogeológica Acuitardo	140
4.2.1.4 Pruebas Hidrodinámicas	141
4.2.1.5 Recarga y descarga del acuífero	142
4.2.1.5.1 Recarga del acuífero a partir de la precipitación	142
4.2.1.5.2 Descarga del acuífero	143
4.2.1.6 Hidrodinámica Subterránea	144
4.2.1.7 Geometría del reservorio del acuífero	146
4.2.1.7.1 Formas y límites	146
4.2.1.7.2 Tipo de acuífero	147
4.2.1.7.3 Nivel Freático	148
4.2.1.7.4 Profundidad del nivel freático	148
4.2.1.7.5 Fluctuaciones del nivel freático	148
4.2.1.8 Predicciones de rebote hidráulico conceptual	149
4.2.1.8.1 El rebote hidráulico	149
4.2.1.8.2 Efectos probables	149
4.2.2 Diseño Geotécnico-Geomecánico	152
4.2.2.1 Alcance	152
4.2.2.2 Objetivo de estudio	152
4.2.2.3 Descripción del proyecto	153
4.2.2.4 Evaluación Geomecánica Boca Mina-Galería San Pedro	153
4.2.2.4.1 Evaluación geomecánica progresiva	154
4.2.2.4.1.1 Mapeo geomecánicos progresiva 0+055 a 0+095	154
4.2.2.4.1.2 Mapeo de discontinuidades progresiva 0+055 a 0+095	155
4.2.2.4.2 Proyección estereográfica progresivas 0+060 a 0+062	156
4.2.2.4.2.1 Criterio de rotura estimada de la progresiva 0+060 a 0+062	158
4.2.2.4.3 Evaluación geomecánica progresiva 0+095 a 0+115	159
4.2.2.4.3.1 Mapeo geomecánicos progresiva 0+095 a 0+115	159
4.2.2.4.3.2 Mapeo de discontinuidades progresiva 0+095 a 0+115	160
4.2.2.4.3.3 Proyección estereográfica progresivas 0+099 a 0+103	161
4.2.2.4.3.4 Criterio de rotura estimada de la progresivas 0+099 a 0+103	163
4.2.2.4.4 Evaluación geomecánica progresiva 0+115 a 0+130	164
4.2.2.4.4.1 Mapeo geomecánicos progresiva 0+115 a 0+130	164
4.2.2.4.4.2 Mapeo de discontinuidades progresiva 0+115 a 0+130	165
4.2.2.4.4.3 Proyección estereográfica progresivas 0+122 a 0+129	166
4.2.2.4.4.4 Criterio de rotura estimada de la progresivas 0+122 A 0+129	168
4.2.2.5 Ubicación, Diseño y sellado de filtraciones de los Tapones de concreto en la Bocamina Galería - San Pedro- proyecto Pariguanas	169

4.2.2.5.1 Ubicación, diseño y sellado de filtraciones de los tapones de concreto la progresiva 0+060 a 0+062	169
4.2.2.5.1.1 Longitud y diseño del tapón dentro de la progresiva 0+060 A 0+062	169
4.2.2.5.1.2 Cálculo de deformación del túnel para excavaciones del empataillado de la estructura de concreto en la progresiva 0+060 A 0+062	169
4.2.2.5.1.3 Longitud de taladros de impermeabilización y/o consolidación para la progresiva 0+060 A 0+062	171
4.2.2.5.1.4 Diseño de taladros de impermeabilización y/o consolidación dentro de la progresiva 0+060 A 0+062	173
4.2.2.5.2 Ubicación, diseño y sellado de filtraciones de los tapones de concreto la progresiva 0+099 a 0+103	173
4.2.2.5.2.1 Longitud y diseño del tapón dentro de la progresiva 0+099 A 0+103	173
4.2.2.5.2.2 Cálculo de deformación del túnel para excavaciones del empataillado de la estructura de concreto en la progresiva 0+099 a 0+103	174
4.2.2.5.2.3 Longitud de taladros de impermeabilización y/o consolidación para la progresiva 0+099 a 0+103	175
4.2.2.5.2.4 Diseño de taladros de impermeabilización y/o consolidación dentro de la progresiva 0+099 a 0+103	177
4.2.2.5.3 Ubicación, diseño y sellado de filtraciones de los tapones de concreto la progresiva 0+122 a 0+129	178
4.2.2.5.3.1 Longitud y diseño del tapón dentro de la progresiva 0+122 a 0+129	178
4.2.2.5.3.2 Cálculo de deformación del túnel para excavaciones del empataillado de la estructura de concreto en la progresiva 0+122 a 0+129	178
4.2.2.5.3.3 Longitud de taladros de impermeabilización y/o consolidación para la progresiva 0+122 a 0+129	180
4.2.2.5.3.4 Diseño de taladros de impermeabilización y/o consolidación dentro de la progresiva 0+122 a 0+129	181
4.3 Prueba de hipótesis	182
4.4 Discusión de resultados	183
4.4.1 Análisis de la Evaluación y Simulación Hidrogeológica	183
4.4.2 Caracterización Hidrogeológica	183

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

Cálculo de Parámetros Geomecánicos

Cálculo para el diseño de Tapones e Impermeabilización/consolidación

Plano 01 de Ubicación

Plano 02 Geológico Regional

Plano 03 Geológico local

Plano 04 de Zonificación geomecánico y sección.

Plano 05 de Diseño de Tapones

Plano 06 Hidrográfico

Plano 07 Estaciones meteorológicas

Plano 08 de Regionalización Hidrológica

Plano 09 Inventario de ríos y Quebradas

Plano 10 Inventario de bofedales y Manantiales

Matriz de consistencia

LISTA DE TABLAS

Tabla N° 2.1 Características de las unidades hidrogeológicas según la permeabilidad	19
Tabla N° 2.2 Valores de Conductividad Hidráulica (K) para diferentes materiales.	20
Tabla N° 2.3 Clasificación de terrenos por su transmisividad.	21
Tabla N° 2.4 Valores típicos de coeficiente de almacenamiento en acuíferos	22
Tabla N° 4.1 Parámetros de forma de las microcuencas de estudio	56
Tabla N° 4.2 Parámetros de relieve de las microcuencas de estudio	61
Tabla N° 4.3 Parámetros de la red hidrográfica de las microcuencas de estudio.	66
Tabla N° 4.4 Ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas	73
Tabla N° 4.5 Variación de la Correl/Vector de las estaciones	80
Tabla N° 4.6 Variación de la precipitación total mensual completada y extendida por estaciones periodo 1963-2012	82
Tabla N° 4.7 Variación de la precipitación total mensual generada para la zona del proyecto periodo 1963-2012	85
Tabla N° 4.8 Variación mensual de la temperatura de las estaciones que circundan la zona de estudio	87
Tabla N° 4.9 Variación Mensual de la Temperatura Media (°C) en la Zona del Proyecto	88
Tabla N° 4.10 Cálculo de componentes del balance hídrico en el suelo	109
Tabla N° 4.11 Resumen general de fuentes de agua superficial y subterránea identificadas dentro del área de influencia de las bocaminas Veta San Pedro (Nv. 4732)	111
Tabla N° 4.12. Quebradas identificadas dentro del proyecto Pariguanas, comprendido el área de influencia de la bocamina Veta San Pedro (Nv. 4732)	113
Tabla N° 4.13. Río identificado dentro del área de influencia de la bocamina Veta San Pedro (Nv. 4732)	115
Tabla N° 4.14 Manantiales identificados dentro del área de influencia del Proyecto Pariguanas	116
Tabla N° 4.15 Bofedales identificadas dentro del área de influencia de las bocaminas Veta San Pedro (Nv. 4732)	118
Tabla N° 4.16 Piezómetros identificados en el área del proyecto Pariguanas.	119
Tabla N° 4.17 Registro histórico de niveles freáticos (2013-2015)	119
Tabla N° 4.18 Registro histórico de caudales en bocaminas (2013-2015)	121
Tabla N° 4.19 Ubicación de los puntos de muestreo de calidad de agua	124
Tabla N° 4.20 Parámetros a analizar	125
Tabla N° 4.21 Límites Químicos del Agua de Mezcla (según ASTM C94)	125
Tabla N° 4.22 Resultados de datos de campo para aguas de interior mina procedente de las bocaminas Veta San Pedro (Nv. 4732).	129
Tabla N° 4.23 Análisis de aniones para aguas de interior mina procedentes de las bocaminas Veta San Pedro (Nv. 4732).	132
Tabla N° 4.24 Valores de permeabilidad considerando el alcance máximo del piezómetro PZ-03	141
Tabla N° 4.25 Niveles freáticos en piezómetros	148
Tabla N° 4.26 Cargas Hidráulicas estimadas para la zona de estudio	150

LISTA DE FIGURAS

Figura N° 4.1 Longitud de la serie histórica de las estaciones meteorológicas	73
Figura N° 4.2 Pluviograma mensual de la estación Cabanaconde	75
Figura N° 4.3 Pluviograma mensual de la estación Caylloma	75
Figura N° 4.4 Pluviograma mensual de la estación Tisco	75
Figura N° 4.5 Pluviograma mensual de la estación Huambo	76
Figura N° 4.6 Pluviograma mensual de la estación Pusapusa	76
Figura N° 4.7 Pluviograma mensual de la estación Andahua	76
Figura N° 4.8 Pluviograma mensual de la estación Orcopampa	77
Figura N° 4.9 Pluviograma mensual de la estación Condoroma	77
Figura N° 4.10 Pluviograma mensual de la estación Machaguay	77
Figura N° 4.11 Pluviograma mensual de la estación Chuquibamba	78
Figura N° 4.12 Pluviograma mensual de la estación Chivay	78
Figura N° 4.13 Pluviograma mensual de la estación Yanque	78
Figura N° 4.14 Análisis de dobles acumulados por estaciones	80
Figura N° 4.15 Índices anuales del vector regional de las estaciones	81
Figura N° 4.16 Variación de la precipitación total mensual por estaciones	82
Figura N° 4.17 Variabilidad temporal de la precipitación total mensual por estaciones	83
Figura N° 4.18 Relación altitud vs precipitación total anual	84
Figura N° 4.19 Serie generada mensual de precipitación total en la zona del Proyecto	86
Figura N° 4.20 Temperatura promedio mensual de las estaciones que circundan la zona de estudio	87
Figura N° 4.21 Análisis de la correlación de la Altitud vs Temperatura media	88
Figura N° 4.22 Humedad relativa de la estación Caylloma	89
Figura N° 4.23 Evaporación Total Mensual de la estación La Angostura	90
Figura N° 4.24 Velocidad (m/s) y Dirección del Viento de la zona de estudio	91
Figura N° 4.25 Esquema general del balance hídrico del suelo	102
Figura N° 4.26 Resultado del pH del efluente Veta San Pedro (Nv.4732)	130
Figura N° 4.27 Variación de sólidos totales suspendidos de agua subterránea procedentes de las bocaminas Veta San Pedro (Nv. 4732).	131
Figura N° 4.28 Variación de sulfatos de agua subterránea procedentes de las bocaminas Veta San Pedro (Nv. 4732).	133
Figura N° 4.29 Columna Litoestratigráfica de la zona de estudio	137
Figura N° 4.30 Zonas de recarga y descarga de la zona de estudio	144
Figura N° 4.31 Niveles freáticos de la zona de estudio	145
Figura N° 4.32 Fuentes de agua de influencia del proyecto	146
Figura N° 4.33 Rebote Hidráulico conceptual	152
Figura N° 4.34 Criterio de rotura estimada bocamina san pedro – prog 00+060 a 0+062 proyecto Pariguanas	158
Figura N° 4.35 (A, B) Diagrama estereográfica de la bocamina San Pedro-Progresiva 0+099 – 0+103, con los 5 principales sistemas de discontinuidades. (C) Diagrama de rosetas, en la cual nos indica el predominio de la Dirección de las discontinuidades.	161
Figura N° 4.36 Criterio de rotura estimada bocamina san pedro – Prog. 00+099 a 0+103 Proyecto Pariguanas	163
Figura N° 4.37 (A, B) Diagrama estereográfica de la bocamina San Pedro-Progresiva 0+122 – 0+129, con los 5 principales sistemas de discontinuidades. (C) Diagrama de rosetas, en la cual nos indica el predominio de la Dirección de las discontinuidades.	166
Figura N° 4.38 Criterio de rotura estimada bocamina san pedro – prog 0+122 a 0+129 Proyecto Pariguanas	168

Figura N° 4.39 Longitud de empatillado para el tapón de concreto	170
Figura N° 4.40 Longitud de Fracturamiento para impermeabilización y/o consolidación	172
Figura N° 4.41 Cantidad de Taladros de impermeabilización y de contacto Roca-Concreto.	173
Figura N° 4.42 Longitud de empatillado para el tapón de concreto	175
Figura N° 4.43 Longitud de Fracturamiento para impermeabilización y/o consolidación	177
Figura N° 4.44 Cantidad de Taladros de impermeabilización y de contacto Roca-Concreto.	178
Figura N° 4.45 Longitud de empatillado para el tapón de concreto	179
Figura N° 4.46 Longitud de Fracturamiento para impermeabilización y/o consolidación	181
Figura N° 4.47 Cantidad de Taladros de impermeabilización y de contacto Roca-Concreto	182
Figura N° 4.48 Simulación de red de flujos de aguas subterráneas con la ubicación de los taladros en vista de frente Bocamina San Pedro	187
Figura N° 4.49 Red de flujos de aguas subterráneas antes de la construcción de los taponos herméticos, en vista longitudinal- Bocamina San Pedro	188
Figura N° 4.50 Simulación de red de flujos de aguas subterráneas con la ubicación de los taponos herméticos, y los taladros de inyección de resina- vista longitudinal - Bocamina San Pedro	189
Figura N° 4.51 Simulación de red de flujos de aguas subterráneas y el nivel freático inferido posterior a la construcción de los taponos herméticos, en vista longitudinal - Bocamina San Pedro	190

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. IDENTIFICACIÓN Y DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA

Los proyectos mineros tienen un ciclo de vida limitado, que cuentan con diferentes etapas y no se reduce únicamente a la explotación de los minerales. Una de las etapas más importantes de los proyectos mineros es la fase de cierre y rehabilitación de cuya buena gestión depende la minimización de los impactos que puedan generarse en materia ambiental, social y económica. Sin embargo, al final de la operación minera, el impacto ambiental puede perdurar por un periodo mayor a los 100 años por lo cual es necesaria una correcta gestión de cierre minero y con estudios de ingeniería geológica, geomecánica e hidrogeológica a detalle, que prevenga impactos ambientales negativos a futuro; “por lo que la falta de un adecuado y actualizado plan de cierre tendrán graves consecuencias ambientales y económicas” (Mudder y Harvey 1999).

Las actividades mineras se encuentran muy estrechamente ligadas al agua, algunas de ellas se ubican en una cuenca hidrológica y, en la mayoría de los casos, la explotación de recursos mineros se desarrolla por debajo de los niveles freáticos de la zona. Por ello, las explotaciones constituyen puntos de drenaje o de descarga de escorrentías superficiales y / o subterráneas y, en todos los casos, pueden llegar a alterar el funcionamiento hidrológico o hidrogeológico de la zona.

Las labores mineras del proyecto Pariguanas, recibe flujos de aguas superficiales durante los periodos de lluvia y de la misma manera recibe flujos

provenientes de fuentes hídricas cercanas como ríos, lagunas y bofedales por infiltración; por lo que existe el problema de drenaje minero de esas aguas a través de las galerías y que para solucionarlos se debe realizar la construcción de cierre hermético como lo establece las Normas del Ministerio de Energía y Minas, para ello se debe realizar un plan de estudios Geológicos, Geomecánicos e Hidrogeológicos con fines de obtener resultados e interpretaciones muy acertadas, para diseñar, ubicar y construir taponos de cierre herméticos permitiendo la recuperación natural del nivel freático.

Por tanto, es necesario que las soluciones estén fundamentadas en estudios Geológicos, Geomecánicos y modelo Hidrogeológico conceptual del área, y éstas sean suficientemente detalladas.

1.2. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Los estudios y análisis de los modelos hidrogeológicos son claves para entender el comportamiento de las aguas subterráneas, con lo cual se ha desarrollado trabajos constructivos con mayor eficacia de mayor durabilidad.

Otra de las razones por las cuales se considera que es importante el presente estudio es porque me permitió identificar las características más favorables del macizo rocoso en cuanto a comportamientos hidráulicos y geomecánicos; porque a partir de ello se ha construido Modelos Hidrogeológicos Conceptuales, que son básicos para una adecuada interpretación y tener una correcta ubicación, diseño y construcción de Taponos herméticos en labores Mineras en plan de cierre, que garanticen alcanzar la seguridad física y protección ambiental a largo plazo.

1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En el Perú existen Yacimientos mineros con más de 50 Años de producción, Yacimientos que han ingresado a la última etapa de operaciones mineras, correspondientes a la fase de cierre y rehabilitación; algunas Empresas Mineras luego de haber iniciado trabajos de apertura de labores de exploración Minera, sin éxito, continúan inmediatamente con el cierre definitivo ante la posibilidad de existencia de pasivos ambientales que representan un potencial riesgo ambiental, social y económico.

Las actividades sin control ni planificación producen alteraciones a los suelos, al agua y a otros recursos debido a que se debe deforestar, excavar, extraer y transportar materiales, cambiando las condiciones naturales del paisaje, alterando ecosistemas, provocando la pérdida sustancial del suelo y aumentando el riesgo de presencia de fenómenos erosivos.

Ante esta eventualidad las empresas mineras en el Perú han optado por realizar cierres de labores mineras en su mayoría con presupuestos ínfimos y que éstas han conducido a efectuar estudios y planteamientos frívolos sin un riguroso estudio de ingeniería y que actualmente se ven afectado en la estabilidad física y química, por ello es necesario en un contexto general recurrir a los avances tecnológicos y estudios geológicos, geomecánicos e hidrogeológicos detallados que ayuden a una buena interpretación y plantear soluciones efectivas y duraderas en el tiempo.

Razón por la cual se ha formulado las siguientes interrogantes de investigación:

1.3.1 PROBLEMA GENERAL

¿De qué manera el modelo Hidrogeológico conceptual influye en el diseño, ubicación y construcción de tapones de cierre herméticos en el proyecto Pariguana en la Unidad minera Orcopampa-Cía. de minas Buenaventura S.A.A.?

1.3.2 PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- ¿Cuáles son los parámetros básicos de ingeniería para elaborar un modelo hidrogeológico conceptual que influye en el diseño, ubicación y construcción de tapones de cierre herméticos en el proyecto Pariguana - Unidad minera Orcopampa-Cía. de minas Buenaventura S.A.A.?
- ¿De qué manera, las características geológicas y geomecánicas involucradas en el modelo Hidrogeológico conceptual influye en el diseño, ubicación y construcción de tapones de cierre herméticos en el proyecto Pariguana - Unidad minera Orcopampa-Cía. de minas Buenaventura S.A.A.?
- ¿Cómo, el análisis e interpretación correcta del modelo hidrogeológico conceptual influye en el diseño, ubicación y construcción de tapones de cierre herméticos en el proyecto Pariguana - Unidad minera Orcopampa-Cía. de minas Buenaventura S.A.A.?

1.4. FORMULACIÓN DE OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar la influencia del modelo Hidrogeológico Conceptual en el diseño, ubicación y construcción de tapones de cierre herméticos en el

proyecto Pariguanas - Unidad minera Orcopampa-Cía. de minas Buenaventura S.A.A.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar los parámetros básicos de ingeniería para la elaboración de un modelo hidrogeológico conceptual que influye en el diseño, ubicación y construcción de tapones de cierre herméticos en el proyecto Pariguanas- Unidad minera Orcopampa-Cía. de minas Buenaventura S.A.A.
- Evaluar las características geológicas y geomecánicas involucradas en el modelo Hidrogeológico conceptual para el diseño, ubicación y construcción de tapones de cierre herméticos en el proyecto Pariguanas- Unidad minera Orcopampa-Cía. de minas Buenaventura S.A.A.
- Analizar e interpretar correctamente el modelo hidrogeológico conceptual para el diseño, ubicación y construcción de tapones de cierre herméticos en el proyecto Pariguanas - Unidad minera Orcopampa-Cía. de minas Buenaventura S.A.A.

1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El modelo hidrogeológico conceptual en la investigación constituye una primera contribución al conocimiento del comportamiento hidrogeológico del área donde se ubica el proyecto de exploración Minera Pariguanas; sistema que permitió intervenir con criterios de desarrollo social, económico y sostenibilidad ambiental, (Betancur,et.al; 2009).

La investigación contribuye a minimizar los riesgos ambientales catastróficos con el diseño y construcción de tapones de cierre hermético ubicados en un área favorable y con características apropiadas del macizo rocosos para su ejecución, apoyados con un modelo hidrogeológico conceptual que permite interpretar con claridad el comportamiento de las aguas subterráneas, y del macizo rocoso; lo que favorece a la compañía para tomar decisiones correctas para su construcción y contribución con las normas de sostenibilidad ambiental vigentes.

A la necesidad de efectuar trabajos constructivos de Cierre de labores mineras eficaces y proporcionar una estabilización a largo plazo de las condiciones geoquímicas y geotécnicas; es inevitable e importante realizar una revisión minuciosa, de la historia geológica y tectónica; además de una evaluación de Geología estructural, geomecánica e hidrogeología en la zona de estudio; acompañado de sondeos y ensayos. “Actividad que tendrán en consideración todas las Empresas Mineras en el futuro, con un plan de Conceptual de Cierre de Minas presentado en la etapa de factibilidad con lo que se debe incluir planes para el cierre definitivo y la rehabilitación de cada componente del área minera con estimaciones de costos, garantizando que haya fondos suficientes disponibles para las actividades de cierre de la mina y que todos los requisitos de desmantelamiento y rehabilitación estén completos”.(Mudder y Harvey 1999).

Así mismo es importante, por lo que contribuye y pone en primera línea los estudios de la Hidrogeología como herramienta para una correcta

interpretación y que en el presente estudio considero fundamental el desarrollo de un Modelo Hidrogeológico conceptual.

1.6. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

Una limitación que tiene el estudio está relacionada con la dificultad de acceder a los antecedentes históricos geológicos, geofísicos, hidrológicos e hidroquímicos que existen para esta zona en particular.

No se cuenta con suficiente herramienta sofisticada para interpretar la información geológica e hidrogeológica a profundidad, como es el caso de perforaciones diamantinas, para conocer con mayor referencia el comportamiento de los acuíferos.

El presupuesto asignado a cierre de minas es ínfimo, considerando como una de las limitaciones para realizar ensayos que permiten una mejor interpretación.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES DE ESTUDIO

a) GALLEGO SUAREZ M; **“Construcción preliminar del modelo hidrogeológico conceptual del acuífero asociado a la quebrada Manizales a partir de información secundaria”**; **Manizales-Caldas-Colombia**; en el año 2016; desarrolla una investigación, cuyo Objetivo principal fue Construir el modelo hidrogeológico conceptual preliminar del acuífero asociado a la Quebrada Manizales por medio de información secundaria, articulado con los demás instrumentos de planificación del recurso hídrico existentes; de la Investigación se resume:

Después de abarcar características de los acuíferos existentes en la región, se procede a la construcción preliminar de un modelo hidrogeológico del acuífero que está asociado a la quebrada Manizales, para finalmente dar las características de este y generar 5 fases para la integración de un modelo hidrogeológico a la planificación del recurso hídrico ya existente, acompañado de un último punto que describe algunas líneas estratégicas, ejemplos de programas, proyectos, actividades y la descripción de cada uno.

Por último, se evidencia que la Quebrada Manizales está siendo incluida en programas y proyectos para su recuperación, pues es clara la importancia que desempeña para la población manizaleña; sin embargo, no cuenta con un modelo hidrogeológico idóneo para el acuífero, el cual oriente y estipule el adecuado proceder para la recuperación y sostenibilidad.

b) ZEVALLOS CASO, N; “Estudio Hidrogeológico del proyecto de Exploración Tambomayo Cía. de Minas Buenaventura S.A.A. Arequipa-Perú, en el año 2014; desarrolla una investigación; cuyo Objetivo principal fue: Determinar la influencia de la calidad de agua subterránea en el diseño y planificación de las operaciones del proyecto de Exploración Tambomayo; de la investigación se resume lo siguiente:

Se ha evidenciado con la prueba de hipótesis que el rango de permeabilidad del agua subterránea favorece en el diseño y planificación de las operaciones mineras del Proyecto de Exploración Tambomayo. Donde las aguas subterráneas en el área del proyecto están caracterizadas por valores de pH neutros, con valores promedio de 7.59 (piezómetros PT-01 al PT-04), incrementándose ligeramente en la parte baja de la microcuenca Tambomayo.

Todos los valores de pH se encontraron en el rango de ECA establecido para la categoría 3. Además, éstas aguas el área del proyecto presentan valores de conductividad eléctrica por debajo del ECA-3 (2000 uS/cm), con valores entre 86 y 493 uS/cm, con un promedio de 252 uS/cm.

Por otro lado, los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos evaluados presentaron valores por debajo de los ECA establecidos para la categoría 3 (bebida de animales y riego de vegetales), a excepción de los que se indican a continuación:

- La concentración de la demanda bioquímica de oxígeno superó el ECA correspondiente en el punto PT-1A ubicado en la parte alta de la

quebrada Tambomayo, así como en el punto PT-06 ubicado aguas abajo del área del proyecto, en la parte baja de dicha quebrada.

- La concentración de hierro y manganeso, en los piezómetros PT-01, PT-01A, BH-7 y PT-02 ubicados en el área del proyecto se encontró superando los ECA correspondientes a la categoría 3; la concentración de estos parámetros disminuye en la parte baja de la microcuenca Tambomayo donde se encuentra por debajo de los ECA, observándose que en el punto PT-09 ubicado en la parte más baja de dicha microcuenca la concentración de estos parámetros superó ligeramente los ECA respectivos.

c) PAUCAR CONCE F; **“Diseño de Tapones Herméticos en Labores de Remediación Pasivo Ambiental para la Mina “Recuperada”-Huancavelica;** - Perú, en el año 2015; desarrolla una investigación cuyo Objetivo principal fue: Diseñar el Tapón hermético para la remediación del pasivo ambiental de la Mina Recuperada- Huancavelica: De los resultados logrados y bajo las condiciones en que se desarrolló el estudio, se concluye lo siguiente:

- De la evaluación de Riesgo Ambiental del componente Bocamina Norma Flor (BNF-16) de pasivos ambientales de la Mina Recuperada - Huancavelica, se concluye que el Riesgo Ambiental que representa el Pasivo Ambiental en estudio, para los entornos analizados es como se muestra:
 - ✓ Riesgo ambiental entorno Humano: 60% (Riesgo Ambiental Moderado)

- ✓ Riesgo ambiental entorno Natural: 60% (Riesgo Ambiental Moderado)
 - ✓ Riesgo ambiental entorno Socioeconómico: 28% (Riesgo Ambiental Leve)
 - ✓ Por lo tanto, el Riesgo Ambiental del Pasivo Ambiental (BNF-16) es: 49.3%, que representa un Riesgo Ambiental Moderado.
- Para determinar la ubicación óptima del tapón hermético en la galería, se considera los tres factores: filtración de agua más cercano desde la bocamina (rango máximo de posible ubicación), ubicación o ubicaciones de macizo rocoso más estable y espesor de la cobertura de roca en la ubicación propuesta. El mapeo geomecánico realizado en zona de estudio cumplió con el análisis de los dos primeros factores, determinando dos posibles ubicaciones (ubicación 1 y ubicación 2), a los cuales se analizaron con el "criterio de diseño por fractura hidráulica" que evalúa el último factor. De esta evaluación de los datos obtenidos y los existentes, se determinó que la ubicación 2 satisface esta evaluación, y presenta un 97% de seguridad de eficiencia en la falla de fracturamiento hidráulico.
 - El análisis y la evaluación de la estabilidad física del diseño tapón hermético se realizaron en base a los parámetros de: factores de seguridad, de los (05) criterios de diseño de tapones permanentes (modos primarios de inestabilidad), para los cuales las características geométricas planteadas fueron analizadas considerando los factores

de seguridad normalizadas de los criterios de diseño, determinado como base los propuestos en la "Guía para el diseño de tapones" frente a los obtenidos; de estos se realizaron los cálculos estadísticos para obtener un valor representativo "factor de seguridad" (FS'). Este factor obtenido está por encima de 1,14 el cual satisface el criterio de evaluación ($FS' > 1$), por lo cual se afirma que el diseño del tapón hermético propuesto es estable.

2.2 BASES TEÓRICAS – CIENTÍFICAS

2.2.1 HIDROGEOLOGÍA

La hidrogeología es la ciencia que estudia el origen y formación de aguas subterráneas, las formas del yacimiento, su difusión de las aguas, el movimiento, régimen y reservas; son todas las manifestaciones de la interacción de las aguas subterráneas con los suelos y rocas, su estado (líquido, sólido y gaseoso) y particularidades físicas y químicas. La hidrogeología también estudia las condiciones que determinan las medidas de su aprovechamiento, regulación y evacuación (Mijailov, 1985).

Actualmente los estudios hidrogeológicos son de especial interés no sólo para la provisión de agua para la población, sino para entender el ciclo vital de ciertos elementos químicos, así mismo de las sustancias contaminantes, su movilidad, su dispersión, y la manera en que afectan al medio ambiente. Por lo que esta especialidad se ha convertido en una herramienta básica para la evaluación de sistemas ambientales complejos.

El abordaje de las cuestiones hidrogeológicas abarca: la evaluación de las condiciones climáticas de una región, su régimen pluviométrico, la composición química del agua, las características de las rocas como permeabilidad, porosidad, fisuración, su composición química, los rasgos geológicos, estructurales y geotectónicos, es así que la investigación hidrogeológica implica, entre otras, tres temáticas principales: - Estudio de las relaciones entre la geología y las aguas subterráneas. - Estudio de los procesos que rigen los movimientos de las aguas subterráneas en el interior de las rocas y de los sedimentos; - Estudio de la química de las aguas subterráneas (hidroquímica e hidrogeoquímica).

2.2.1.1 EL AGUA SUBTERRÁNEA

Se considera agua subterránea al agua que se encuentra por debajo de la superficie, confinada a una presión igual o mayor que la atmosférica y que satura el medio rocoso a través del cual se mueve y se almacena. El agua subterránea puede presentarse en fallas, diaclasas, espacios vacíos entre cristales o granos, contactos litológicos o discontinuidades y en cavidades originadas por meteorización o disolución de las rocas.

El movimiento y almacenamiento del agua subterránea dependen del espesor, textura y estructura de las rocas presentes en determinado lugar, así como de la capacidad física del agua para moverse a través de un medio permeable. Así mismo, el desequilibrio originado por la interacción de las diferentes fuerzas, como las presiones diferenciales y la gravedad, hacen que el agua se mantenga en movimiento constante, creando

depósitos que abastezcan a pozos y manantiales, conservando el flujo de algunos arroyos durante los periodos de sequía.

2.2.1.2 CLASIFICACIÓN DE LAS FORMACIONES GEOLÓGICAS SEGÚN SU COMPORTAMIENTO HIDROGEOLÓGICO

Para poder entender el comportamiento de las aguas subterráneas con respecto a la roca que la contiene, se debe tener en cuenta las condiciones geomorfológicas de la microcuenca, la naturaleza de la roca y condiciones litológicas de las formaciones geológicas.

Estos factores también determinan las características físicas y químicas de la roca almacén, los factores tectónicos y estratigráficos determinan las dimensiones y geometría de los acuíferos.

Desde el punto de vista de su comportamiento hidrogeológico, es clásica la clasificación de las rocas en:

ACUÍFEROS:

Es la formación geológica que contiene agua en cantidades significativas y que permite que circule a través de ella con facilidad.

Los acuíferos son aquellas formaciones geológicas que son capaces de almacenar y transmitir el agua.

Ejm., arenas, gravas, también una roca compacta con una fracturación importante.

ACUITARDOS:

Es la formación geológica que contiene agua en cantidad apreciable, pero que el agua circula a través de ella con dificultad o lentamente.

Los acuitardos son aquellas formaciones geológicas capaces de almacenar el agua en cantidades importantes, pero la transmiten con dificultad, son denominados con frecuencia como formaciones semipermeables. Transmisión lenta de los flujos subterráneos, aunque almacenan el agua a escalas regionales. La dinámica de sus movimientos es a través de sus poros intergranulares muy finos y en ocasiones en fisuras.

Ejm.: Arenas arcillosas, areniscas, rocas compactas con alteración y/o fracturación moderada.

ACUICLUDOS:

Es la formación geológica que contiene agua en cantidad apreciable y que no permite que el agua circule a través de ella.

Los Acuicludos son aquellas formaciones geológicas que pueden almacenar agua en cantidades, pero no tienen la capacidad de transmitirla y se drenan con gran dificultad, el agua se encuentra encerrada en los poros de la formación y no puede ser liberada.

Ejm.: limos, arcillas.

ACUÍFUGOS:

Es la formación geológica que no contiene agua por qué no permite que circule a través de ella. Los acuífugos son aquellas formaciones geológicas incapaces de almacenar y de transmitir el agua, están representados por las rocas compactas, como granitos y gneises, ya a veces incluso calizas muy compactas sin carstificar; se muestran como impermeables salvo que existan fracturas que puedan permitir el flujo de las aguas. Unidades de impermeabilización total donde la circulación del agua subterránea es casi nula, en ciertos casos condicionan a otras unidades actuando como controles de los reservorios acuíferos. En general lo conforman estratos de formación micáceas, lutíticos, horizontes de fallas, anfibolitas e intrusivos.

Ejm.: granito o esquisto inalterado y no fracturado.

2.2.1.3 TIPOS DE ACUÍFEROS

De acuerdo con la posición de las capas acuíferas con respecto a la superficie de la tierra y la presión hidrostática ejercida en ellas, estas se pueden clasificar como acuíferos libres, confinados y semiconfinados.

ACUÍFEROS LIBRES

Son aquellos acuíferos donde el límite superior (la superficie freática) está a presión atmosférica, y a medida que se extraiga agua de él, descenderá la superficie freática, la cual no es fija, sino que varía en función de las épocas secas o lluviosas. Entre la superficie del terreno y el nivel freático del acuífero se encuentra la zona no saturada.

ACUÍFEROS CONFINADOS

Son acuíferos donde el agua contenida está sometida a una presión superior a la atmosférica y ocupa totalmente los poros o huecos de la formación geológica, saturándola totalmente. Generalmente, si se perforan pozos en un acuífero confinado donde la presión del agua es alta, se pueden obtener pozos surgentes.

ACUÍFEROS SEMICONFINADOS

Son acuíferos a presión en el que alguna de las capas confinantes es semipermeable (acuitardos) de modo que se producirá un flujo de agua ascendente o descendente a través del acuitardo hacia el acuífero semiconfinado, recargándolo por filtración.

2.2.1.4 PROPIEDADES HIDRÁULICAS DE LOS ACUÍFEROS

Las propiedades hidráulicas de las formaciones y los depósitos no consolidados determinan de manera importante la cantidad de agua que pueden proporcionar y almacenar.

Estas propiedades dependen de diversos factores geológicos, como la granulometría, composición mineralógica, compactación, cementación, fracturamiento, erosión, disolución, entre otros.

Las definiciones de las principales características hidráulicas de acuíferos fueron tomadas del Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, escrito por la Comisión Nacional del Agua de México (Edición 2007. ISBN: 978-968-817-880-5).

POROSIDAD

La porosidad se define como el volumen de vacíos o poros que existen en un material por unidad de volumen. Específicamente se establece como la relación que existe entre el volumen que ocupan dichos espacios vacíos y el volumen total que ocupa el material expresada en porcentaje.

En rocas y materiales consolidados se distinguen dos tipos de porosidad, una primaria, generada cuando la roca se formó y una secundaria, desarrollada después de su formación, como resultado de eventos tectónicos. Las fracturas en las rocas que se orientan en diferentes direcciones seccionan al macizo rocoso en bloques. En los materiales clásticos, entre los factores que controlan la porosidad se destacan la distribución granulométrica, el grado de compactación, la redondez de los granos y el empaquetamiento. En términos generales se establece que, entre menor es el tamaño del grano, mayor es la porosidad. Así mismo, se establece que los materiales mal clasificados son menos porosos que los bien clasificados. Por otra parte, la porosidad de los materiales clásticos decrece al aumentar la profundidad a que se encuentran, debido, principalmente, a la compactación provocada por el peso del material suprayacente.

Las rocas y materiales no consolidados tienen porosidad primaria, generada al momento de su formación, y secundaria, producida como resultado de procesos geológicos y tectónicos que afectan a dichos materiales después de su formación.

PERMEABILIDAD

La permeabilidad mide la capacidad de la roca para permitir el paso de un fluido. La permeabilidad depende principalmente de factores como tamaño, forma y orientación de los granos, distribución granulométrica, tamaño y forma de los poros, grado de compactación y cementación, densidad y abertura del fracturamiento y el grado de meteorización química de la roca.

En general se establece que cuanto menor es el tamaño de las partículas, menor es su permeabilidad, debido a que su área de contacto con el agua es elevada y su resistencia al flujo es alta; por ello es que materiales de grano fino como arcillas, son poco permeables. Generalmente, una permeabilidad elevada indica la existencia de una porosidad alta, excepto en las arcillas.

Tabla N° 2.1 Características de las unidades hidrogeológicas según la permeabilidad

Permeabilidad (m/día)	10^4	10^3	10^2	10^1	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}
Tipo de terreno	Grava Limpia		Arena limpia; mezcla de grava y arena			Arena fina; arena arcillosa; mezcla de arena, limo y arcilla; arcillas estratificadas.			Arcillas no meteorizadas	
Calificación	Buenos Acuíferos					Acuíferos Pobres			Impermeables	
Capacidad de drenaje	Drenan bien					Drenan mal			No drenan	

Fuente: Custodio y Llamas, 1996. Hidrología Subterránea. Tomo I.

CONDUCTIVIDAD HIDRAÚLICA

Se conoce como conductividad hidráulica (K) a la cantidad de agua, que, bajo condiciones físicas específicas, circula a través de una sección de área unitaria normal al sentido de flujo, bajo un gradiente hidráulico unitario.

Esta propiedad depende de las características del fluido, la permeabilidad del medio poroso a través del cual circula y de la fuerza de gravedad (g). En la tabla 2.2 se muestran valores aproximados del orden de magnitud de la conductividad hidráulica para algunos materiales y rocas.

Tabla N° 2.2. Valores de Conductividad Hidráulica (K) para diferentes materiales.

MATERIAL	K (m/día)
Arcilla	10^{-3} - 10^{-8}
Arcilla débilmente arenosa	10^{-1} - 10^{-2}
Arcilla Arenosa	10^{-1} - 1
Arena Arcillosa	0.5-1.0
Arena de Grano fino	1-5
Arena de grano medio	5-15
Arena de grano grueso	15-50
Arena con grava	5-100
Grava	100-200
Arcilla, arena y grava mezclados	10^{-3} - 10^{-4}
ROCAS	K (m/día)
Arenisca	10^{-3} - 1
Roca carbonatada con porosidad secundaria	10^{-2} - 1
Lutita	10^{-7}
Rocas Sólidas	$<10^{-5}$
Rocas Fracturadas	3×10^2
Rocas Volcánicas	10^3

Fuente: Comisión Nacional del Agua de México. Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, 2007.

TRANSMISIVIDAD

La transmisividad se define como la cantidad de agua que circula a través de una sección vertical de un metro de anchura y de altura igual al espesor saturado del acuífero, afectado por un gradiente hidráulico cuyo valor es igual a uno. Tiene dimensiones de longitud al cuadrado sobre tiempo y se expresa en m^2 /día o m^2 /s.

La transmisividad viene dada por la siguiente expresión:

$$T = Kb$$

Dónde:

T = Transmisividad del acuífero ($m^2 / día$)
 K = Conductividad hidráulica promedio el acuífero (permeabilidad m/día)
 b = Espesor saturado del acuífero (m)

Tabla N° 2.3 Clasificación de terrenos por su transmisividad.

$T m^2 / día$	1	10	10^2	10^3	
Clasificación	Impermeable	Poco Permeable	Algo Permeable	Permeable	Muy Permeable
Calificación de acuífero	Sin acuífero	Acuífero muy pobre	Acuífero Pobre	Acuífero de regular a bueno	Acuífero excelente
Tipo de materiales	Arcilla compacta pizarra granito.	Limo arenoso, limo arcilla limosa.	Arena fina, arena limosa, caliza poco fracturada, basaltos.	Arena limpia, grava y arena, arena fina, caliza fracturada.	Grava limpia, dolomitas, calizas muy fracturadas.

Fuente: Adaptado de Custodio y Llamas, 1983.

El valor de la transmisividad es uno de los resultados de las pruebas de bombeo, del cual puede estimarse una conductividad hidráulica media del acuífero. Sin embargo, el concepto de transmisividad aporta información limitada sobre valores "promedio" de conductividad hidráulica y porosidad (en el caso de acuíferos confinados) y no describe satisfactoriamente la velocidad real de movimiento del agua subterránea.

COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO

El coeficiente de almacenamiento determina la capacidad que tiene un acuífero, para almacenar o ceder agua. Este coeficiente (S) se define como la cantidad de agua que libera (o toma) una columna del acuífero, de sección horizontal unitaria y altura igual a su espesor saturado, cuando la carga hidráulica desciende (o asciende) una unidad. Este factor depende de las características físicas del agua, condiciones petrofísicas e hidráulicas del acuífero y las presiones a las que se encuentra sometida el agua (presión intersticial o de poro) y las partículas granulares (presión intergranular o

efectiva), que en general se consideran constantes, por tanto, depende principalmente de la porosidad efectiva. El coeficiente de almacenamiento (S) es adimensional.

Tabla N° 2.4 Valores típicos de coeficiente de almacenamiento en acuíferos

Tipo de Acuífero	Coeficiente de Almacenamiento (S)	Característica
Acuífero Libre	3×10^{-1} a 10^{-2}	El agua proviene del vaciado de los poros
Acuífero semiconfinado	10^{-3} a 10^{-4}	El agua proviene de descompresión y de los rezumes desde las capas confinantes
Acuífero confinado	10^{-4} a 10^{-5}	El agua proviene de descompresión

Fuente: Adaptado de Sánchez San Román, Javier. 2014.²

PRUEBA DE BOMBEO

La prueba de bombeo tiene como objetivo determinar las principales características hidráulicas del acuífero. Debido a que esta prueba estudia al acuífero y al pozo en sí, más no a la bomba, también es llamada prueba de acuífero. Cuando se planifican y llevan a cabo correctamente, estas pruebas pueden proporcionar información básica sobre el flujo del agua subterránea en un lugar determinado. Como paso previo a la realización de una prueba de bombeo, se debe contar con información sobre la geología e hidrología superficial del área, con el fin de conocer las características del acuífero como su litología, espesor y límites horizontales, así como las características geológicas y comportamiento de las rocas que lo limitan.

2.2.1.5 MODELAMIENTO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL

Los modelos hidrogeológicos conceptuales son representaciones físicas o numéricas de un sistema hidrogeológico real. Esto permite observar a escala el comportamiento hidrogeológico de un acuífero como herramienta de la investigación hidrogeológica, la cual se fundamenta con información

proveniente del campo y el laboratorio. La relación directa entre la información proveniente de estas fuentes y los modelos asistidos por ordenador se basa en sus características espaciales definiendo un grupo de geo datos del área objeto de interés.

Los modelos hidrogeológicos conceptuales pueden ser representaciones en dos o tres dimensiones de las condiciones estáticas y dinámicas de sistemas hidrogeológicos. Esta representación incluye características tales como la geometría de los acuíferos, delimitación de unidades hidrogeológicas de acuerdo con sus posibilidades de almacenar y transmitir agua, características hidráulicas de los acuíferos, posición de los niveles piezométricos, condiciones del flujo de las aguas subterráneas y su relación con los componentes del ciclo hidrológico, características hidroquímicas y eventualmente isotópicas y delimitación de zonas de recarga, tránsito y descarga.

En términos generales, sintetiza las condiciones básicas del estado y dinámica de las aguas subterráneas en el subsuelo y sus relaciones con los cuerpos de agua superficial y los aportes atmosféricos. Se realiza con base en el análisis e interpretación de información geológica, hidrológica, hidráulica, hidroquímica e isotópica y permite tener una visión del comportamiento de los acuíferos o sistemas acuíferos de un área dada a la escala deseada.

Se debe tomar en cuenta varios aspectos o componentes para desarrollar un modelo hidrogeológico conceptual:

Modelo Geológico Básico: -

- Descripción geológica
- Unidades geológicas
- Unidades hidrogeológicas
- Corte Hidrogeológico
- Mapa Geológico
- Mapa Hidrogeológico

Modelo Hidrológico

- Precipitación
- ETP (Evapotranspiración potencial)
- Infiltración
- Recarga
- Condiciones de flujo
- Inventario Puntos de agua

Gracias al modelamiento hidrogeológico del acuífero se podrá determinar la naturaleza de este determinando factores como líneas de flujo subterráneas, fronteras del acuífero, límite de la cuenca, recarga de este, escorrentía superficial, unidades hidrogeológicas para poder determinar posteriormente la dinámica del mismo.

2.2.2 TAPÓN HERMÉTICO

2.2.2.1 DEFINICIÓN

(MEM, 2007), Tapón hermético se consideran en general como una estructura de concreto puro o armado, tales como las que se usarían para embalsar agua o relaves a presiones que superen significativamente los 100 kPa (es decir, el equivalente a una columna de agua desde 10 m de alto hasta varios cientos); su diseño tiende a tener factores de seguridad más altos y que cumpla con las especificaciones de control de calidad durante su construcción. Se definen como permanentes y por lo tanto no se prevé que requieran mantenimiento.

2.2.2.2 DISEÑO DE TAPONES PARA EL CIERRE DE LABORES

MINERAS

(MEM, 2007) La decisión de construir un tapón, que por su definición es de naturaleza permanente, debe estar respaldada por información técnica referente a características geológicas, hidráulicas, ambientales, geotécnicas y geomecánicas del lugar donde se construirá. Estas son consideradas como las características mínimas que deberán ser presentadas. No obstante, cabe la posibilidad de que haya otros factores que influyan en el diseño, los cuales deben acompañar al estudio de ingeniería de detalle del proyecto. Con el propósito de mantener un alto estándar en el diseño de compuertas y tapones, el Ministerio de Energía y Minas (MEM) - Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros - presenta la Guía de para el Diseño de Tapones para el Cierre de Labores

Mineras con un enfoque estandarizado, de conformidad con la Ley de Cierre de Minas y su Reglamento.

2.2.2.3 INVESTIGACIONES DE CAMPO, RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN Y ENSAYOS DE LABORATORIO

Las investigaciones geomecánicas y geotécnicas de campo se desarrollan con el objetivo de recopilar información sobre las condiciones del suelo y macizo rocoso en la zona donde se construirá el tapón. Para ello se pueden desarrollar las siguientes actividades: mapeo de labores subterráneas, mapeo geológico de superficie, mapeo por la línea de detalle y logueo geomecánico de testigos de perforación. Asimismo, se requiere realizar ensayos de laboratorio de muestras para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la roca intacta.

2.2.2.4 CARACTERIZACIÓN DEL MACIZO ROCOSO

2.2.2.4.1 GEOLOGÍA

En esta sección, se deberá incluir principalmente información relacionada con la litología y principales estructuras geológicas de la zona donde se planea construir el tapón.

2.2.2.4.2 GEOMECÁNICA

Esta sección tiene por finalidad determinar las propiedades de los materiales (suelo y roca) presentes, basándose en investigaciones de campo, recopilación de información y ensayos de laboratorio. Las actividades principales a desarrollarse son las siguientes:

- Caracterización de suelos: Determinación de las condiciones y propiedades del suelo en la zona de interés y espesor de estos.
- Caracterización del macizo rocoso: Uso de los parámetros de la roca intacta para determinar las correspondientes propiedades de resistencia del macizo rocoso mediante la aplicación de los criterios de falla de Hoek & Brown y Mohr-Coulomb. Asimismo, se debe establecer la clasificación del macizo rocoso a partir de los sistemas recomendados por la Guía de referencia (RMR y Q).
- Análisis geoestructural: Análisis estereográfico para determinar los sistemas de familias de discontinuidades más representativas, los cuales serán necesarios para la formación de cuñas correspondiente a la zona de interés.
- Dominios geomecánicos: Considera estructuras, discontinuidades, geología, grado de fracturamiento (RQD), Índice RMR y propiedades de resistencia de la roca para establecer zonas o dominios con características más o menos uniformes.

2.2.2.4.3 CONDICIONES HIDROGEOLÓGICAS

Se deben establecer las condiciones del agua subterránea, la presencia o ausencia de cuerpos de agua, la calidad y las principales sustancias en su composición. Por otro lado, se debe revisar el modelo hidrogeológico para determinar las condiciones del régimen de agua subterránea a fin de evaluar la presión hidrostática o la altura piezométrica a la que estará sometido el tapón a diseñar.

2.2.2.4.4 PELIGRO SÍSMICO

El peligro sísmico debe considerarse en el diseño de tapones cuando la actividad sísmica representa un problema en la zona de interés. Se deben realizar los cálculos y análisis respectivos para considerar los efectos de las cargas dinámicas y su respectivo impacto. Ello permitirá evaluar el potencial de la zona en cuestión de sufrir eventos sísmicos y definir los parámetros de aceleración sísmica de diseño utilizados en la verificación de la estabilidad del tapón.

2.2.2.5 DISEÑO DE TAPÓN

2.2.2.5.1 ARREGLO GENERAL DEL TAPÓN

Antes de realizar el análisis de estabilidad de los tapones, es necesario considerar los siguientes puntos:

- Dimensiones de la sección donde se planea la construcción del tapón.
- La presión hidrostática máxima que soportará el tapón.
- La altura de cobertura roca sobre la galería de la bocamina.
- Tipo de tapón propuesto.
- Ubicación preliminar del tapón (zona con roca competente y libre de discontinuidades significativas).
- Relleno de concreto a utilizarse (considerando las características del agua que estará en contacto con el tapón).

- Inyección del contacto (si se considera necesario).
- Características del relleno masivo, completo o parcial, como componente de cierre adicional (si se considera necesario, como en el caso de tapones herméticos).
- Cobertura de cierre y revegetación propuesta.

2.2.2.5.2 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TAPONES

La evaluación de estabilidad del tapón, su geometría y ubicación, debe considerar por lo menos los primeros cinco modos siguientes de inestabilidad potencial:

- Falla por corte: Se produce la falla a través del concreto, a lo largo del contacto de la roca con el concreto o a través del macizo rocoso.
- Falla por flexión: Se consideran los esfuerzos de flexión y tracción. Generalmente, se presenta como una falla confinada a través del mismo material del tapón.
- Falla por filtración excesiva: Falla debida a efectos de erosión producto de un gradiente hidráulico elevado a lo largo del eje del tapón.
- Falla por levante hidráulico: Falla que ocurre a lo largo de la interfaz roca/concreto, en discontinuidades y/o como rotura hacia la superficie.

- Falla por descomposición química o física del concreto del tapón:
El tapón puede verse afectado debido a los efectos negativos que pueda generar cualquier ataque químico a lo largo del tiempo sobre el concreto.
- Por tal motivo, se debe caracterizar adecuadamente el agua que retendrá el tapón y determinar las medidas de prevención correspondientes.
- Falla debido a cargas dinámicas: Falla debido a las cargas dinámicas de impactos de ariete hidráulico e impactos dinámicos, sobre todo cuando éste está construido en zonas donde la actividad sísmica es relevante.

2.2.2.5.3 MODELAMIENTO NUMÉRICO DE TAPONES

- Si el diseño va a ser fundamentado adicionalmente como modelamiento numérico, se debe establecer claramente las consideraciones de dicho análisis y ser ejecutado con programas de cómputo reconocidos por la industria.
- Asimismo, los resultados que verifiquen/modifiquen el diseño del tapón deberán mostrarse de manera gráfica o esquemática.

2.2.2.5.4 INSTRUMENTACIÓN Y MONITOREO POST CIERRE

La instrumentación geotécnica de un tapón puede consistir en diversos componentes, que dependerán de las condiciones de esfuerzos identificadas alrededor del tapón y de las condiciones geomecánicas y

geológicas de la zona donde se le ubicará. Ello permitirá evaluar el grado de instrumentación necesaria para garantizar la estabilidad futura del tapón. Asimismo, el programa de monitoreo dependerá de las condiciones mencionadas, para que garantice la seguridad y estabilidad física y química.

2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

- **ACUÍFERO.** - Una o más capas subterráneas de roca o de otros estratos geológicos que tienen la suficiente porosidad y permeabilidad para permitir ya sea un flujo significativo de aguas subterráneas o la extracción de cantidades significativas de aguas subterráneas.
- **ACUICLUDO.** - Formación geológica que contiene agua en cantidad apreciable y que no permite que el agua circule a través de ella.
- **ACUITARDO.** - Formación geológica que contiene agua en cantidad apreciable pero que el agua circula a través de ella con dificultad.
- **ACUÍFUGO.** - Formación geológica que no contiene agua porque no permite que circule a través de ella.
- **AGUAS CONTINENTALES.** - Todas las aguas quietas o corrientes en la superficie del suelo y todas las aguas subterráneas situadas hacia tierra desde la línea que sirve de base para medir la anchura de las aguas territoriales.

- **AGUAS SUBTERRÁNEAS.** - Todas las aguas que se encuentran bajo la superficie del suelo en la zona de saturación y en contacto directo con el suelo o el subsuelo.
- **AGUAS SUPERFICIALES.** - Las aguas continentales, excepto las aguas subterráneas; las aguas de transición y las aguas costeras, y, en lo que se refiere al estado químico, también las aguas territoriales.
- **ARTESIANOS.** - Término comúnmente utilizado para referirse a pozos o acuíferos de los cuales el agua emana por presión hidráulica sin necesidad de bombearse.
- **CALIDAD DEL AGUA.** - Término genérico que se utiliza para medir el grado de pureza química, física y biológica del agua.
- **CAUDAL.** - Cantidad de agua que pasa por un punto específico en un sistema hidráulico en un momento o periodo dado.
- **CAUDAL BASE.** - Caudal en los ríos y cauces menores que discurre en estiaje, que normalmente procede de la descarga de aguas subterráneas.
- **CONTAMINACIÓN DE AGUA.** - Alteración de las propiedades naturales de un cuerpo de agua de forma que ocasione daños o sea perjudicial a la salud humana, o a la de los animales o las plantas, o cause malos olores o impurezas, o altere adversamente sus propiedades físicas, químicas, microbiológicas o radioactivas, de tal modo que interfiera con el disfrute de la vida.

- **DESCARGA.** - Flujo o caudal de agua en un canal, corriente, conducto, bomba, tubería de impulsión, estanque o proceso de tratamiento a un cuerpo de agua.
- **ESCORRENTIA.** - Parte del agua de precipitación que discurre por la superficie de la tierra hacia corrientes u otras aguas superficiales.
- **EVAPOTRANSPIRACIÓN.** - Pérdida de agua del suelo a través de la vaporación, por vaporación directa y por la transpiración de las plantas.
- **HIDROGEOLOGÍA.** - Ciencia que estudia la interrelación entre la geología y la hidrología de las aguas terrestres (superficiales o subterráneas).
- **IMPERMEABLE.** - No penetrable fácilmente por el agua.
- **IMPACTO AMBIENTAL.** - Modificación del ambiente ocasionada por la acción del hombre o de la naturaleza.
- **MANANTIAL.** - Descarga de agua subterránea al exterior, concentrada en un punto o a lo largo de una línea.
- **MITIGACIÓN.** - Conjunto de medidas estructurales y no-estructurales adoptadas o previstas para limitar el impacto adverso de los riesgos.
- **MODELO CONCEPTUAL HIDROLÓGICO.** - Es una representación matemática simplificada de algunos o de todos los procesos del ciclo hidrológico a partir de una serie de conceptos hidrológicos expresados matemáticamente y relacionados con una secuencia espacio temporal que se corresponde con la que se da en la naturaleza. Los modelos

conceptuales hidrológicos se utilizan para simular el comportamiento de una cuenca o de un acuífero.

- **NIVEL DE CONFINAMIENTO.** - Es la superficie superior del agua subterránea que se encuentra sometida a una presión mayor que la atmosférica. Coincide con la superficie superior de un acuífero confinado. Si se excava un pozo el nivel del agua asciende hasta alcanzar la superficie piezométrica.
- **NIVEL DEL AGUA SUBTERRÁNEA.** - Es la altura, en un determinado punto y para un tiempo en concreto, del nivel freático o de la superficie piezométrica de un acuífero. Puede variar con la profundidad.
- **NIVEL FREÁTICO O LIBRE.** - Es el nivel de agua subterránea de un acuífero no confinado, dónde la presión es igual a la presión atmosférica.
- **NIVEL PIEZOMÉTRICO.** **-(a)** Es el nivel al que asciende el agua de un determinado acuífero cuando se mide con un piezómetro. **(b)** Es la suma de los términos de energía potencial y de presión, expresados en unidades de longitud.
- **PERMEABILIDAD.** - Es la propiedad o la capacidad de una roca porosa, sedimento o terreno para transmitir un fluido; es una medida de la facilidad relativa del flujo del fluido bajo un gradiente piezométrico. Las expresiones "permeable" e "impermeable" tienen un significado relativo. Cuando se tiene una capa con una misma permeabilidad entre capas de permeabilidad menor, ésta puede actuar como un acuífero.

- **PIEZÓMETRO.** - es un tubo sellado longitudinalmente, abierto por su parte inferior de modo que pueda intercambiar agua con el acuífero, y abierto a la atmósfera por su parte superior. Se usa para medir el nivel piezométrico en un punto del acuífero.
- **POZO.** - Hoyo profundo con el objetivo de alcanzar agua subterránea para suministros.
- **RECARGA.** - La recarga es la porción de lluvia o del caudal del río que percola a través del suelo y de las formaciones litológicas hasta alcanzar una masa de agua subterránea.
- **TAPÓN HERMÉTICO.** - Se consideran en general como una estructura de concreto puro o armado, tales como las que se usarían para embalsar agua o relaves a presiones que superen significativamente los 100 kPa.
- **UNIDAD HIDROGEOLÓGICA.** - Es un conjunto de formaciones geológicas cuyo funcionamiento hidrogeológico conviene considerar conjuntamente.

2.4 FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS

2.4.1 HIPÓTESIS GENERAL

El modelo hidrogeológico conceptual influye significativamente en el diseño, ubicación y construcción de tapones de cierre herméticos en el proyecto Pariguanas - Unidad minera Orcopampa-Cía. de minas Buenaventura S.A.A.

2.4.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

- Los parámetros básicos de ingeniería determinados para la elaboración de un modelo hidrogeológico conceptual influyen directamente en el diseño, ubicación y construcción de tapones de cierre herméticos en el proyecto Pariguana- Unidad minera Orcopampa-Cía. de minas Buenaventura S.A.A..
- Las características geológicas y Geomecánicas consideradas en el modelo Hidrogeológico conceptual influyen en el diseño, ubicación y construcción de tapones de cierre herméticos en el proyecto Pariguana Unidad minera Orcopampa-Cía. de minas Buenaventura S.A.A..
- El análisis e interpretación correcta del modelo hidrogeológico conceptual influyen positivamente en el diseño, ubicación y construcción de tapones de cierre herméticos en el proyecto Pariguana- Unidad minera Orcopampa-Cía. de minas Buenaventura S.A.A..

2.5 IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

2.5.1 VARIABLES INDEPENDIENTES

Modelo Hidrogeológico conceptual

2.5.2 VARIABLES DEPENDIENTES

Ubicación, diseño y construcción de tapones de cierre hermético.

2.5.3 VARIABLES INTERVINIENTES

Calidad de agua

2.6 DEFINICIÓN OPERACIONAL DE VARIABLES E INDICADORES

CUADRO DE OPERACIONALIZACION DE VARIABLES					
VARIABLES	DEFINICION CONCEPTUAL	DIMENSIONES	SUBDIMENSIONES	OPERACIONALIZACIÓN	
				INDICADORES	TIPO DE VARIABLE
VARIABLE INDEPENDIENTE Modelo Hidrogeologico conceptual	Son representaciones Físicas o numéricas de un sistema hidrogeológico real	Modelo geologico básico	Geología regional	Plano geologico regional	Nominal
			Geología local	Plano geologico local	Nominal
			Geología estructural	Fallas, pliegues	Nominal
			Litoestratigrafía	Unidades litoestratigráficas	Nominal
		Modelo Hidrológico	Características hidrográficas	identificación de las microcuencas	Nominal
			Geomorfología de las cuencas	Área, perímetro longitud, ancho, factor de forma, rectángulo equivalente y radio de circularidad	Ordinal
			Hidroestratigrafía	Unidades hidrogeológicas, (acuíferos, acuitardos, acuícludos, acuífugos), nivel freático	Nominal
			Parámetros climatológicos	Precipitación, temperatura, humedad relativa, evaporación, viento, evapotranspiración.	Ordinal
			Balance hídrico	Precipitación media mensual (P), evapotranspiración potencial (ETP), Diferencia de la precipitación y la evapotranspiración (P-ETP), reserva (RE), variación de reserva (ΔRE), Evapotranspiración real (ETP), lluvia útil (LU), el déficit (DE), El superávit (SU) y la Recarga (Re)	Ordinal
			Inventario de fuentes de agua	Ríos, Quebradas, Manantiales y Bofedales	Nominal
		Modelo geomecánico	Calidad de agua	Aniones, cationes, Parámetros Físicos (Ph, Conductividad eléctrica)	Ordinal
			geomecánicas de la matriz rocosa	Identificación, Meteorización, resistencia.	Nominal
			geomecánicas del macizo rocoso	RMR -89 Bieniawski; Q-Bartón; Rmi Palmstron.	Ordinal
VARIABLE DEPENDIENTE Diseño, ubicación y construcción de tapones hermeticos	Estructura de concreto puro o armado, tales como las que se usarían para embalsar agua o relaves a presiones que superen significativamente los 100 kPa	Diseño, ubicación y construcción de tapones de tapones Indentados	Parámetros de Diseño especiales y/o permanentes	Ancho y altura de las labores	Ordinal
				presión hidrostática	Ordinal
				resistencia a la compresión del concreto	Ordinal
				cobertura de suelo y roca e inclinación del mismo	Ordinal
				Peso específico del suelo, roca y fluido	Ordinal
				Aceleración de la gravedad sísmica	Ordinal

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

El trabajo de investigación a desarrollarse es el de tipo no experimental - Tecnológico.

3.2 MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

Los métodos de investigación aplicarse en el presente estudio, es el empírico de observación basado en el conocimiento directo sobre el estudio del objeto en su totalidad además del lógico deductivo y analítico basados en el razonamiento.

3.3 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El diseño de investigación utilizado es descriptivo, cuyo esquema es el siguiente:

$$M_1 \rightarrow O_1$$

Donde M_1 , = Muestras; O_1 = Información de cada muestra

3.4 POBLACIÓN Y MUESTRA

Población

Está constituido por el Proyecto Pariguana, ubicado en la Unidad Minera Orcopampa, Cía. de Minas Buenaventura.

Muestra

Caracterización geológica, geomecánica hidrogeológica en galería de exploración San Pedro.

3.5 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

- Levantamientos topográficos, geológicos (rumbos y Buzamientos)
- Caracterización Geomecánicos (RMR, RQD)
- Caracterización hidrogeológica

3.6 TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

Se emplearon procedimientos manuales normalizados y software aplicativos en el área de geología, hidrogeología y mecánica de rocas.

3.7 TRATAMIENTO ESTADÍSTICO

Si bien la geología es una ciencia principalmente observacional, los parámetros usados han sido de mediciones como medida de rumbo e inclinación de las estructuras mayores y menores y, finalmente la identificación de estos parámetros no métricos cualitativos, han sido los atributos los cuales permitieron describir al objeto de estudio. Para la interpretación hidrológica e hidrogeológica se realizaron diversos tratamientos como cálculo de los parámetros estadísticos media, máximo, mínimo, desviación típica y el análisis de la data con regresión lineal; los cuales son representados en tablas y gráficos; estos valores fueron determinantes para reconstruir sucesos hidrológicos y poder formular el modelo Hidrogeológico conceptual.

3.8 SELECCIÓN, VALIDACIÓN Y CONFIABILIDAD DE LOS INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

La validez y confiabilidad reflejan la manera en que el instrumento se ajusta a las necesidades de la investigación (Hurtado, 2012). La validez hace referencia a la capacidad de un instrumento para cuantificar de forma significativa y adecuada el rasgo para cuya medición ha sido diseñado. Para nuestra investigación se hizo uso de códigos internacionales y formatos del manual de estándares de cartografía para la digitalización de los mapas geológicos (carta geológica Nacional); Instrumentos internacionales para evaluación de los parámetros geomecánicos como las clasificaciones de RMR de Bieniawski-1989 y RMI de Plamstron-1995); y formatos dentro del manual de hidrología, hidráulica y drenaje del Ministerio de Transportes y comunicaciones Perú.

3.9 ORIENTACIÓN ÉTICA

La importancia del estudio hidrogeológico conceptual en la presente investigación permite brindar información de gran valor para la mina durante todos sus fases desde la exploración hasta el cierre de mina; en el estudio permitió determinar el comportamiento de los acuíferos subterráneos a fin de diseñar, ubicar correctamente y construir tapones herméticos, apoyándose con otra disciplina como el estudio geotécnico- geomecánico para caracterizar las propiedades hidrogeológicas en la galería San Pedro.

Estos estudios son de mayor relevancia en el cierre de mina, que permiten tomar decisiones correctas y sostenibles en el tiempo.

CAPITULO IV

RESULTADO Y DISCUSIÓN

4.1 DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE CAMPO

4.1.1 GENERALIDADES

4.1.1.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA Y POLÍTICA DEL PROYECTO

El proyecto de exploración Pariguana, como objeto del presente estudio, se ubica al sureste de la ciudad de Lima. Políticamente, se encuentra ubicado en el Distrito de Chachas, provincia de Castilla, región de Arequipa, a 15 km del anexo Tolconi; comprendido a una altitud que varía de 4350 y 4950 msnm; dentro de la Carta Nacional 31-r (cuadrángulo de Orcopampa).

Las Coordenadas UTM del área minera son:

Datum : UTM WGS-84 registradas en la bocamina.

Zona	: 18
BOCAMINA SAN PEDRO Nv	: 4747:
ESTE	: E - 802697;
NORTE	: N - 8322627

4.1.1.2 ACCESIBILIDAD

La accesibilidad al proyecto comprende por carretera desde Arequipa a través de 02 rutas:

- Arequipa - Yura, vía asfaltada, continuando por carretera afirmada Caylloma - Tolconi, prosiguiendo por trocha carrozable hasta el Proyecto, recorriendo 288 km.
- Arequipa - Aplao, vía asfaltada, continuando por trocha carrozable Viraco-Orcopampa- Tolconi-Proyecto, haciendo un recorrido de 320 km.

4.1.2 CONTEXTO GEOLÓGICO

4.1.2.1 GEOLOGÍA REGIONAL

El área de estudio se encuentra emplazado en la Cordillera Occidental Andina, comprendiendo un territorio montañoso que se caracteriza por su particular desarrollo geo histórico, estructural, altitudinal y litológico. El relieve principalmente agreste, se encuentra emplazada en rocas volcánicas del Neógeno y sobre las cuales se asientan las acumulaciones cuaternarias.

Las rocas más antiguas reconocidas en la región pertenecen al Grupo Tacaza, con la Formación Orcopampa correspondiente al mioceno; le suprayacen presentando una disconformidad los volcánicos de la Formación Alpabamba y sobre ella en discordancia angular el Grupo Barroso, la cual litológicamente está determinada como lavas afaníticas de color negro a gris de composición andesítica, ligeramente meteorizadas. Así mismo constituyendo los depósitos más recientes del área de estudio son aquellos materiales poco o nada consolidados de naturaleza aluvial, glacial y morrénicos (fluvioglacial).

Así mismo las rocas intrusivas del Terciario, Intrusivo Riodacítico, de naturaleza subvolcánica ubicada en el extremo noreste del área de estudio formando parte de los cerros Huayllaconga y Huayllahualla, ocurriendo de manera de domos u stock intruyendo a la secuencia volcánica Orcopampa, litológicamente se encuentra formada por rocas con aspecto de riodacita a cuarzolatitas, de textura porfirítica, con ligera a moderada meteorización.

4.1.2.2 ESTRATIGRAFÍA

La columna geológica de la zona de estudio comprende rocas volcánicas, las más antiguas en el área pertenecen a la Formación Orcopampa, siguiéndole la Formación Alpbamba y sobre ella en discordancia angular el Grupo Barroso. Y por último los depósitos cuaternarios que se dividen entre depósitos aluviales, morrénicos o glaciales de variada granulometría, siendo las morrenas los depósitos que cubrieran los flancos de las altas cumbres asociadas principalmente, a las zonas de distribución de los aparatos volcánicos del Grupo Barroso.

A continuación, se detallan los aspectos litológicos, estructurales y morfológicos más resaltantes de cada una de las formaciones mencionadas, siguiendo el orden del más antiguo al más reciente.

4.1.2.2.1 Grupo Tacaza (Tms-ta)

Este fue estudiado inicialmente por Jenks W. (1949), Marocco en 1966 lo eleva a la categoría de Grupo, se trata de una secuencia volcano-sedimentaria, con afloramientos de rocas sedimentarias tipo areniscas

feldespáticas, gravas volcánicas y conglomerados, mientras que la secuencia volcánica consta de andesitas, dacitas y piroclásticos.

En el sector, Noble (1972) reporta edades entre 19.5 y 18.9 Ma (método K/Ar) en secuencias tobáceas de composición ácido, por lo que lo asigna al mioceno inferior.

hacia la parte inferior se le denomina formación Orcopampa mientras que hacia la parte superior se le denomina formación Alpbamba. (Miranda M, 2005). La potencia estimada de esta formación es de 1000 m.

4.1.2.2 Formación Orcopampa (Nm-or)

En la zona inferior del Grupo Tacaza, siendo sus afloramientos de mayor extensión la zona de Orcopampa, son característicos los niveles de tufos y que están generalmente asociados a sedimentos lacustres.

Muchas veces se presentan en forma lenticular estos tufos y en posición subhorizontal, se encuentra debajo de la formación Alpbamba en aparente concordancia.

Se compone hacia la parte inferior fundamentalmente de tobas blanco-amarillentas de composición dacítica, textura porfirítica y con fenocristales de plagioclasas, biotita y hornblenda, se exponen pequeños niveles de brechas verdosas y moradas, se presentan asimismo niveles de 16 tobas de composición latítica. En la parte superior se exponen niveles de brechas de clastos compuestos de andesitas porfiríticas y fenocristales de plagioclasas, se presentan además derrames volcánicos

verdosos y violáceos, de composición dacítica gradando a latítica, intercalados con delgados niveles de conglomerados, calizas y areniscas. Se le estima un grosor aproximado de 1,500 m.(Miranda M. (2005).

Esta formación se reconoce en ambas laderas que encajonan el río Huancarama (Choquipunco), en la zona occidental del área de estudio; también en las quebradas de Jallo y San Pedro.

- **Miembro Santa Rosa (Nm-ta-or/sr).**- Se compone de una secuencia de brechas de flujo y lavas gris oscuras, gris claras, gris verdosas, gris violáceas y gris amarillenta.

Dataciones radiométricas realizadas en muestras de este miembro, en el cuadrángulo vecino de Orcopampa, por métodos K-Ar y Ar-Ar indican un rango de edad entre $22,8 \pm 0,7$ y $19,47 \pm 0,6$ Ma (SWANSON, E., 1998), por esta razón el Miembro Santa Rosa correspondería al Mioceno inferior

- **Miembro Manto (Nm-ta-or/ma).**- Litológicamente está compuesta por tobas e ígnimbritas gris claras a gris amarillenta, con mayor afloramiento al NW y SW del área de estudio.

En el cuadrángulo de Orcopampa (31-r) se tienen dos dataciones por K-Ar que indican edades de $19,1 \pm 0,3$ y $18,9 \pm 0,4$ (NOBLE D. et al., 1974). De acuerdo a estas dataciones las tobas del Miembro Manto indican la parte superior del Mioceno inferior.

- **Miembro Aicaje (Mn-ta-or/ai).**- Corresponde al Miembro superior de la Formación Orcopampa se halla en discordancia erosional

directamente sobre el Miembro Santa Rosa. Litológicamente está compuesto por una secuencia de coladas volcánicas andesíticas grises porfiríticas.

Una datación radiométrica realizada en el cuadrángulo de Orcopampa por el método K-Ar indica una edad de $11,4 \pm 0,6$ Ma correspondiente al Mioceno medio a superior

4.1.2.2.3 Formación Alpabamba (Tm-al)

Esta formación está yaciendo aparentemente con discordancia angular a las rocas de la Formación Orcopampa, resaltando regionalmente por su menor ángulo de buzamiento.

Sus características litológicas son variables, sin embargo, destacan las tobas dacíticas, lapillis, tobas brechoides; que en conjunto presentan una coloración que varía de blanquecino a marrón grisáceo con coloración superficial violácea, que permite identificarla en el campo. Interestratificadas ocurren lavas riolíticas a dacíticas, observándose también tobas soldadas con fragmentos rocosos de tamaños variables.

Una datación radiométrica realizada en el cuadrángulo de Orcopampa por el método K-Ar indica una edad de $11,4 \pm 0,6$ Ma correspondiente al Mioceno medio a superior.

- **Miembro Alpabamba 1-Unidad Parihuana (Nm-al1/ Nm-pa)** Está compuesto por ígnimbritas consistentes de una unidad de tobas de cenizas riolíticas ricas en cristales y fuerte a pobremente soldadas de color canela claro, contiene 15-35% de fenocristales de plagioclasas,

sanidina, biotita hornblenda, ortopiroxeno, rutilo, esfena y circón; En el área de estudio sus afloramientos se reconocen en el sector este-oeste cerca conformando los cerros Huiscayo y Pitanayo, y en el sector SE, conformando el cerro Huayllahuaylla; con presencia de tobas dacíticas brechoides, tobas soldadas gris claro-amarillo; gris claro a verdes. En el área de estudio sus afloramientos se reconocen en el sector este-oeste cerca conformando los cerros Huiscayo y Pitanayo, y en el sector sur, conformando el cerro Huayllahuaylla.

4.1.2.2.4 Grupo Barroso (TQ-Ba)

Este grupo se halla constituido por una serie de rocas volcánicas compuestas mayormente de lavas andesíticas e ígnimbritas. Las andesitas son de estructura masiva, de color violáceo a gris oscuras que al intemperizarse dan una pátina rojiza; se intercalan con lavas y en menor proporción con brechas y bancos de tufos riolíticos blandos y de color mayormente blanquecinos. Hacia el tope ocurren ígnimbritas blancas pobremente estratificadas.

Esta unidad sobreyace con notoria discordancia angular a los paquetes de la formación Alpabamba y a su vez, en algunos sectores es cubierto mediante discordancia erosional por sedimentos cuaternarios. Al volcánico Barroso se le asigna una edad comprendida entre las postrimerías del terciario (plioceno) y el cuaternario (pleistoceno), considerándose que su espesor alcanza los 500 metros.

- **Unidad Lávica (NQ-ba/an).**- En el área de estudio sus afloramientos se reconocen en el sector NO-SE, circundando la laguna Corococha,

en el Cerro Cahuaña y en el cerro Huishalli; Su litología consiste en derrames lávicos principalmente de naturaleza andesítica, variando a dacíticas con tonalidades grises claras a oscuras afaníticas,

- **Formación Barroso 3 (NQ-ba3).**- En el área de estudio sus afloramientos se reconocen en el sector Norte, conformando el área de Huillacota, Loma Tojroruyoc, su litología consiste en lavas afaníticas de color negro a gris de composición andesítica.

4.1.2.2.5 Depósitos Cuaternarios

Estos están ampliamente distribuidos en la zona del proyecto, constituidos por depósitos aluviales antiguos como recientes y depósitos glaciales, en algunos casos afectados por procesos de remoción y deposición. Además, algunos afloramientos han sido altamente alterados y erosionados, originando suelos residuales. A continuación, se describen las principales características litológicas de los depósitos cuaternarios agrupados por su origen.

a) Depósitos Morrénicos (Qpl-mo)

Consiste predominantemente de gruesos depósitos glaciares compuestos de bloques y cantos del pleistoceno y posiblemente Holoceno Fragmentos volcánicos angulosos a subangulosos diámetro variable en matriz.

b) Depósitos Fluvioglaciares (Qpl-fg)

Las cubiertas fluvioglaciares ocupan los sectores bajos y de relieve moderado, como prolongación de las morrenas resultantes de la erosión fluvial y acarreo en medio fluido; consistente en gravas en matriz arenosa.

c) Depósitos Aluviales Antiguos (Qp-al)

Son gruesas acumulaciones conglomerádicas de clastos gruesos con matriz limoarcillosa, de litología variada, medianamente consolidados que se presentan cerca de la laguna Pariguanas y en la zona centro-oriental del área de estudio.

Por sus relaciones de campo la edad de estos depósitos es asignada al cuaternario antiguo (pleistoceno); su espesor alcanza los 20 a 30 metros.

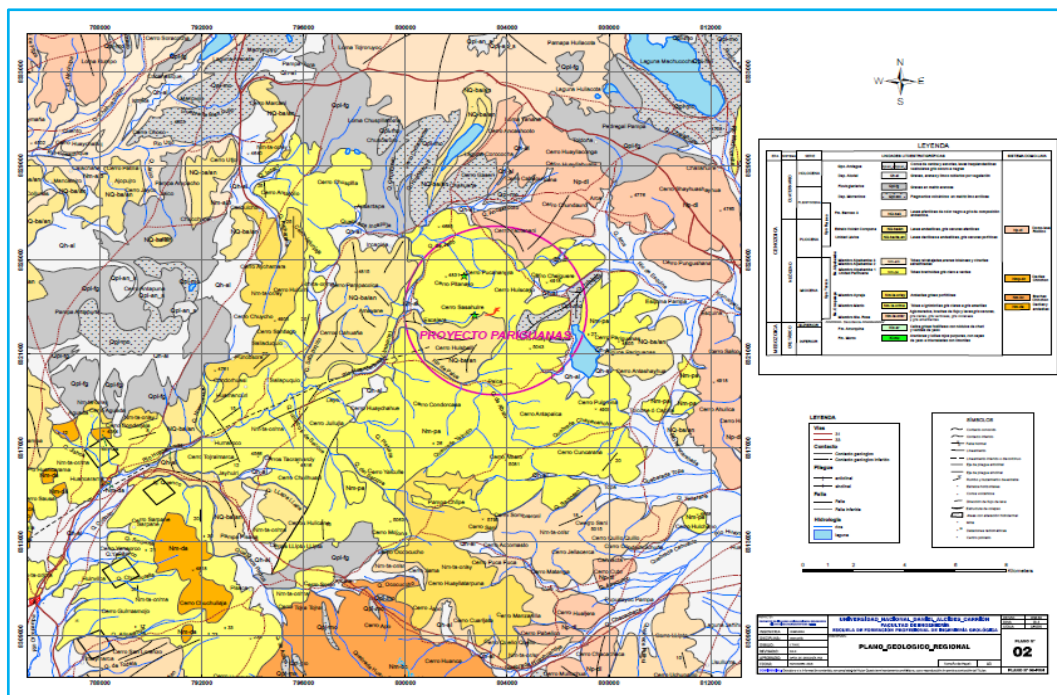


Imagen N°4.1 Mapa geológico Regional

4.1.2.3 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Desde el punto de vista estructural, la zona de estudio se halla inmersa en la región tectónica, conocida como “Zona de Fallamiento en Bloques”, donde la serie rocosa volcánica de edad miocena expone un plegamiento comparativamente débil, debido sólo a los efectos de la fase Quichuana de la Orogenia Andina, que se halla representado por pliegues abiertos y de corto recorrido. La formación Orcopampa presenta pliegues cuyos ejes tienen una dirección predominante N-S; en cambio, la formación Alpabamba presenta un plegamiento más apretado, debido a sus paquetes rocosos menos competentes.

En tanto, las fallas siguen una dirección NO-SE y son mayoritariamente de desplazamiento de rumbo, con sistemas generalmente conjugados.

Subsidiariamente, un juego de fallas de naturaleza mayormente tensional y de dirección NE-SO (transversales a las fallas de desplazamiento de rumbo), ocurre en esta zona estructural, afectándolas en su rumbo y buzamiento o truncando su recorrido.

4.1.2.4 GEOLOGÍA LOCAL

El área de estudio se encuentra rodeada por zonas de varios niveles tobáceos blanco amarillentos y brechas volcánicas moradas y verdes, asociados con sedimentos lacustres. No siempre todos los componentes están presentes, probablemente debido a que cubren una topografía irregular que le dio una característica lenticular a los depósitos. Siendo la

Veta San Pedro una de las labores principales que se desarrollaron durante el proyecto exploratorio, ubicados al NW de la laguna Pariguanas.

Se expone un conjunto tobáceo correspondiente a la Formación Alpbamba, cubriendo la mayor área del proyecto. Los estilos de alteración hidrotermal de interés incluyen sílice masiva, silicificación Débil, argilización y Propilitización.

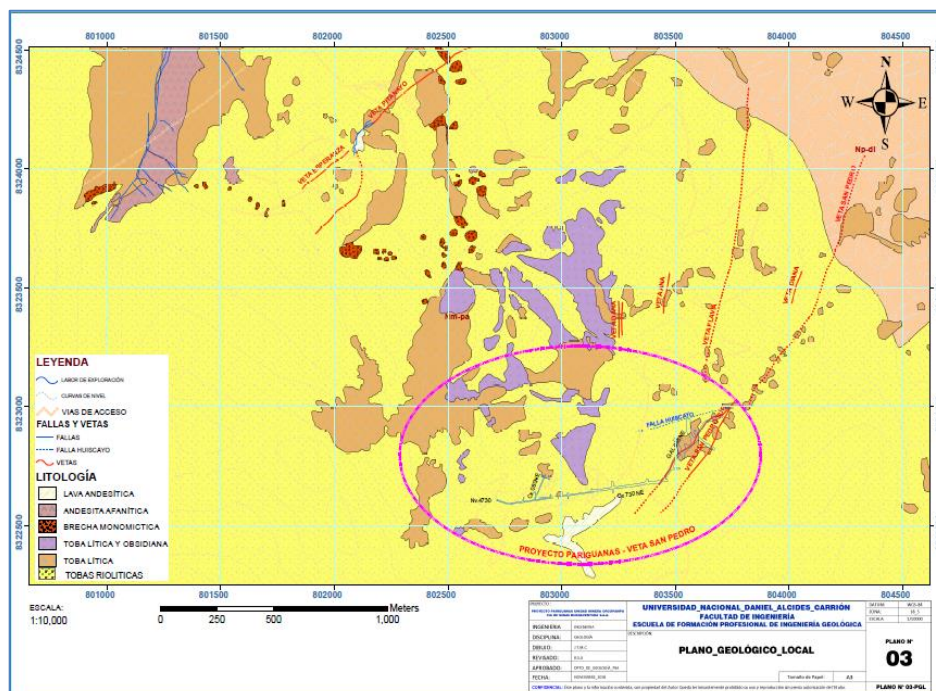


Imagen N°4.2 Mapa geológico local

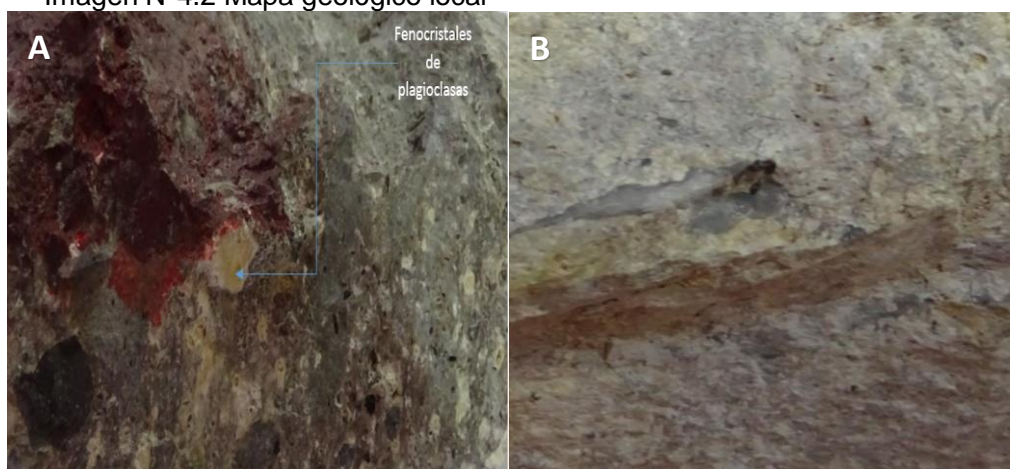


Imagen N° 4.3; A) Tobas dacíticas brechoides de colores gris – amarillentos de textura porfírica con fenocristales desarrollados de plagioclasas argilizadas de color beige; B) Secuencias tobácea de composiciones riolíticas con variación a Dacíticas bien alteradas con tonalidades gris claras a amarillentas de textura afanítica a fanerítica

4.1.3 ASPECTOS HIDROLÓGICOS

4.1.3.1 CARACTERÍSTICAS HIDROGRÁFICAS

4.1.3.1.1 UBICACIÓN HIDROGRÁFICA

Hidrográficamente, las microcuencas de estudio se ubican en la parte alta de la cuenca del río Camaná, por encima de los 4300 msnm correspondientes a la cuenca húmeda, esta cuenca a su vez descarga sus aguas a la vertiente del Pacífico.

El sistema hidrográfico del río Camaná, se origina de las precipitaciones que ocurren en la parte alta, las cuales se presentan concentradas durante los meses de diciembre a marzo y el deshielo de los nevados ubicados dentro de la cuenca.

El régimen natural del río se caracteriza por presentar cuatro periodos definidos; uno de avenidas, que abarca los meses de enero a marzo y durante el cual descarga el 63% del volumen total anual; otro de estiaje, que se inicia en el mes de junio y concluye a mediados de noviembre, en el cual descarga solo el 17% del volumen total anual y por último, dos periodos transicionales comprendido entre los periodos antes citado.

Las características generales del régimen de descargas del río Camaná son similares a las que presentan la mayoría de los ríos de la Costa del Perú, con descargas irregulares, torrentoso y marcadas diferencias entre sus parámetros extremos.

La cuenca del río Camaná, tiene una forma ensanchada en su sector superior y alargada en su sector inferior; esta cuenca, como la mayoría de los ríos de la Costa, es de fondo profundo y quebrado y de fuertes pendientes, encontrándose limitada por cadenas de cerros que, en dirección del Océano Pacífico, muestran un descenso sostenido y rápido del nivel de cumbres.

La zona de estudio se enmarca en tres (03) microcuencas; en donde son quebradas que por lo general contienen agua sólo cuando llueve en tiempos prolongados y después se secan, mientras que los ríos siempre tienen agua.

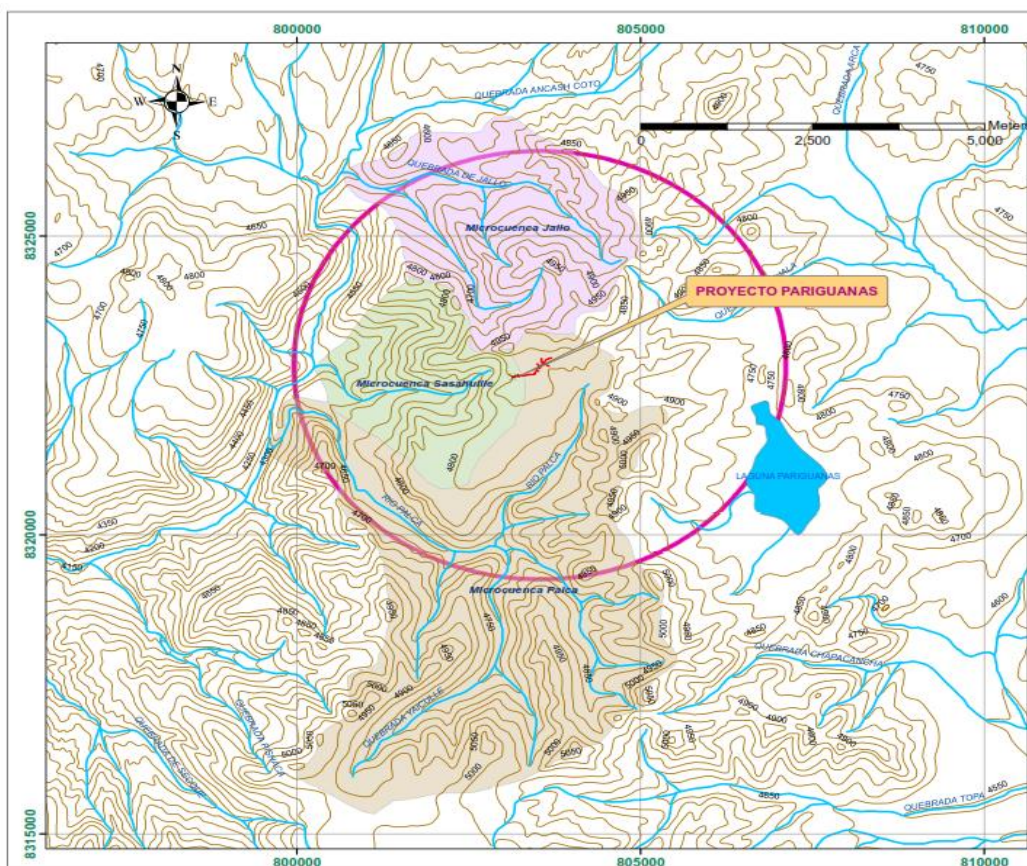


Imagen N°4.3.1- tres microcuencas donde se emplaza el proyecto

4.1.3.1.2 DEMARCACIÓN ADMINISTRATIVA

Dentro del análisis del Área de Influencia Ambiental Directa se encuentran ubicados 3 microcuencas las cuales son: Qda. Jallo, Qda. Sasahuille y Río Palca.

Las tres microcuencas descargan sus aguas al río Huancarama, el cual a su vez vierte sus aguas al río Orcopampa, con el cual se une con el río Chilcaymarca formando el río Andahua, el cual en unión con otros afluentes como el río Ocoruro y la quebrada Ayaviri vierten sus aguas a la laguna Chachas, el cual aguas abajo alimenta a la laguna Mamacocha, el cual vierte sus aguas al río Colca, luego este río se une con el río Colca formando el río Majes el cual discurre sus aguas al río Camaná, que finalmente este río vierte sus aguas al Océano Pacífico. **(Ver Anexos: Anexo 06 – Planos N°06: PSH).**

4.1.3.1.3 GEOMORFOLOGÍA DE LAS CUENCAS

La morfología de una cuenca queda definida por su forma, relieve y drenaje, para lo cual se han establecido una serie de parámetros, que, a través de ecuaciones matemáticas, sirven de referencia para la clasificación y comparación de cuencas.

Las características físicas desempeñan un papel esencial en la respuesta hidrológica de una cuenca hidrográfica. Recíprocamente, el carácter hidrológico de la misma contribuye considerablemente a formar sus características físicas.

Entonces, esta interrelación debería suministrar la base para predecir cuantitativamente la respuesta hidrológica, a partir de aquellos parámetros físicos que son fáciles de medir.

4.1.3.1.4 CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA DE LA CUENCA

Para un mejor estudio de las cuencas se han establecido los siguientes parámetros:

4.1.3.1.4.1 PARÁMETROS DE LA FORMA DE LA CUENCA

Para el cálculo de los parámetros de forma se utilizó el archivo shapefile del límite de la subcuenca (obtenido en el proceso anterior) y la información topográfica de base. Esta información fue procesada mediante el empleo del software ArcGis 10 ® y su herramienta “Calculate Geometry”, con la cual se obtuvieron los valores de estos parámetros (Beltrán & Rosales, 2012).

Por esta razón se han buscado relaciones de similitud geométrica entre las características medias de una cuenca y de su red de canales con esas de otras cuencas. Los cálculos de los parámetros de forma se muestran en la Tabla N°4.1

Tabla N° 4.1.- Parámetros de forma de las microcuencas de estudio

Morfometría de las microcuencas de estudio					
Parámetros de forma		Unidades	Microcuenc a Palca	Microcuenc a Sasahuille	Microcuenc a Jallo
Área de la cuenca		Km ²	26.80	6.40	10.20
Perímetro de la cuenca		Km	26.20	10.20	13.70
Longitud del río principal		Km	10.20	3.10	5.00
Ancho promedio de la cuenca		Km	2.60	2.00	2.10
Coefficiente de compacidad o índice de gravelius		--	1.40	1.10	1.20
Factor de forma		--	0.30	0.70	0.40
Rectángulo equivalente	Lado mayor	Km	10.50	3.00	4.60
	Lado menor	Km	2.50	2.10	2.20
Radio de circularidad		--	0.50	0.80	0.70

Fuente: Elaboración propia

❖ AREA DE LA CUENCA (A)

Es la superficie encerrada por la divisoria de aguas medida en kilómetros, que permite definir el tamaño y el nombre para la caracterización de la cuenca (Gaspari, et. al., 2010).

❖ PERÍMETRO DE LA CUENCA (P)

Es la medición del contorno que encierra el área de la cuenca hidrográfica, por la divisoria de aguas (Gaspari, et. al., 2010).

❖ LONGITUD DEL RÍO PRINCIPAL

Es la longitud mayor de recorrido que realiza el río, desde la cabecera de la cuenca, siguiendo todos los cambios de dirección o sinuosidades, hasta un punto fijo de interés, puede ser una estación de aforo o desembocadura, expresado en unidades de longitud.

❖ ANCHO PROMEDIO DE LA CUENCA (A_p)

Es la relación entre la superficie de la cuenca con su longitud axial obtenida en kilómetros (Burbano, 1989). cuya expresión es la siguiente:

$$A_p = \frac{A}{L}$$

Donde:

A_p = Ancho promedio de la cuenca (Km)

A = Área de la cuenca (Km²)

L = Longitud del cauce principal (Km)

❖ COEFICIENTE DE COMPACIDADES O ÍNDICE DE GRAVELIUS (K_c)

Es un índice adimensional que relaciona el perímetro de la cuenca con el perímetro de un círculo de área equivalente al de la cuenca (Burbano, 1989). El valor de este parámetro varía entre 1 y 1,75, este valor será mayor a medida que aumente la irregularidad de la forma de la cuenca. Cuando el valor es más cercano a 1 la cuenca se asemeja a una circunferencia y el tiempo de concentración es menor, haciéndola más susceptible a las crecidas (Gaspari, et. al., 2010), cuya expresión es la siguiente:

$$K_c = 0.282 * \left[\frac{P}{\sqrt{A}} \right]$$

Donde:

K_c = Coeficiente de compacidad o índice de Gravelius

P = Perímetro de la cuenca (Km)

A = área de la cuenca (Km²)

De la expresión se desprende que K_c siempre es mayor o igual a 1, y se incrementa con la irregularidad de la forma de la cuenca. Este factor a dimensional constituye un índice indicativo de la tendencia de avenida en una cuenca.

Una cuenca de forma circular posee el coeficiente mínimo igual a 1 y tiene mayor tendencia a las crecientes en la medida que el valor de K_c se aproxima a la unidad; cuando se aleja de la unidad, presenta una forma más irregular con relación al círculo.

Cuando el $K_c = 1$: tiempo de concentración menor, cuenca circular, mayor tendencia a crecientes y $K_c = 2$: tiempo de concentración mayor, cuenca de forma alargada, menor tendencia a crecientes.

❖ **FACTOR DE FORMA (IF)**

Este es un indicador que nos permite aproximar la forma de la cuenca a una forma geométrica, a fin de poder determinar la velocidad con la que el agua llega al río principal de la cuenca (Fierro & Jiménez, 2011). Por este motivo es importante conocerlo para tener referencias en las crecientes de la red hidrográfica; una cuenca alargada es

menos susceptible a crecidas de gran magnitud que una redondeada (Beltrán, 2010).

$$Ff = \frac{A}{L^2}$$

Donde:

Ff = factor de forma.

A = área de la cuenca (Km²)

L = Longitud de cauce principal de la cuenca (Km)

Cuando IF es similar a 1, se está ante una cuenca de forma redondeada, y en los casos en que IF es menor a 1, se caracteriza por ser una cuenca alargada (Gaspari, et. al., 2010: 7).

❖ RECTÁNGULO EQUIVALENTE

Asimila la superficie y el perímetro de la cuenca a un rectángulo equivalente. En el caso de dos cuencas con rectángulos equivalentes similares, se admite que poseen un comportamiento hidrológico análogo siempre que posean igual clima y que el tipo y la distribución de sus suelos, de su vegetación y de su red de drenaje sean comparables. (Martínez et al., 1996)

La longitud de sus lados está dada por:

$$R_e = 0.25 * P \pm \sqrt{\left(\frac{P}{4}\right)^2 - A}$$

Dónde:

R_e = Longitud de sus lados (mayor y menor) en km

P = Perímetro de la cuenca (km)

A = Área de la cuenca (km²)

❖ RADIO DE CIRCULARIDAD

Relaciona el área de la cuenca y la del círculo que posee una circunferencia de longitud igual al perímetro de la cuenca. Su valor es 1 para una cuenca circular y 0.785 para una cuenca cuadrada.

$$R_c = \frac{4 * \pi * A}{P^2}$$

Dónde:

R_c = Radio de circularidad

P = Perímetro de la cuenca (km)

A = Área de la cuenca (km²)

4.1.3.1.4.2 PARÁMETROS DE RELIEVE DE LA CUENCA

Los parámetros de relieve se obtuvieron mediante el análisis topográfico de la subcuenca; para lo cual se realizó un modelo de elevación digital (DEM) empleando el software ArcGis 10 ®. Se calcularon las áreas de los polígonos formadas entre las cotas principales de la información topográfica de base (equidistancia 200 m) y el límite de la subcuenca (Beltrán & Rosales, 2012); y se realizó la gráfica de la curva

hipsométrica utilizando el software Excel 2013 ®. Los cálculos de los parámetros de relieve se muestran en la Tabla N° 4.2

Tabla N° 4.2. Parámetros de relieve de las microcuencas de estudio

Morfometría de las microcuencas de estudio					
Parámetros de relieve		Unidades	Microcuenc a Palca	Microcuenc a Sasahuille	Microcuenc a Jallo
Altitud media de la cuenca		msnm	4640	4640	4690
Pendiente media de la cuenca	Altitud máxima	msnm	5050	4950	4950
	Altitud mínima	msnm	4230	4330	4430
	Pendiente media	%	8	21	11
Coeficiente de masividad		--	0.01	0.06	0.02
Coeficiente orográfico		--	0.00	0.02	0.00

Fuente: Elaboración propia

Para describir el relieve de una cuenca existen numerosos parámetros que han sido desarrollados por varios autores; entre los más utilizados destacan:

❖ ALTITUD MEDIA DE LA CUENCA(h)

Se determinó la altura media de la subcuenca utilizando el “Método de Áreas Elementales”, el cual determina que la altura media es la medida ponderada de todas las alturas correspondientes a áreas elementales (Beltrán & Rosales, 2012). Para llevar a cabo este proceso se usó la ecuación 1 (Ec.1) (Burbano, 1.989): Para obtener la elevación media se aplica un método basado en la siguiente fórmula:

$$Hm = \frac{\sum_{i=1}^n (Ci * a_i)}{A}$$

Dónde:

Hm = Altura media de la cuenca (msnm)

Ci = Cota media del área i, delimitada por 2 curvas de nivel (msnm)

a_i = Área i entre curvas de nivel (km²)

A = Área total de la cuenca (km²)

❖ **PENDIENTE MEDIA DE LA CUENCA(PM)**

La pendiente de la cuenca tiene una importante pero compleja relación con la infiltración, el escurrimiento superficial, la humedad del suelo y la contribución del agua subterránea al flujo de los cauces. Es uno de los factores físicos que controlan el tiempo del flujo sobre el terreno y tiene una influencia directa en la magnitud de las avenidas o crecidas. (Aranda, 1998).

En la medida que se incremente el valor de la pendiente media, mayor será la posibilidad de generar crecidas, ya que la capacidad de arrastre de sedimentos y la velocidad del caudal en el caso de tormentas se incrementa, en el caso contrario los valores bajos contribuyen a que los picos de las crecidas sean menos violentos. (Ruiz, 2001).

Para la estimación de la pendiente media de la cuenca, se consideró los tres criterios que son ampliamente utilizados como: el criterio de J.W. Alvord, criterio de R.E. Horton y el criterio de Nash, del cual se aplicará el criterio de J.W. Alvord.

❖ **CRITERIO DE ALVORD**

Este criterio está basado, en la obtención previa de las pendientes existentes entre las curvas de nivel. Dividiendo el área de la cuenca,

en áreas parciales por medio de sus curvas de nivel, y las líneas medias de las curvas de nivel.

La pendiente de una porción del área de la cuenca es:

$$S = \frac{D}{Wi}$$

Siendo: $Wi = \frac{a_i}{L_i}$

Donde:

D = desnivel entre líneas medias, aceptada como desnivel entre curvas (m)

Wi = ancho de la faja analizada (m)

a_i = área de la faja (m^2)

L_i = Longitud de las curvas de nivel correspondiente a la Faja.

Así la pendiente media de la cuenca será la media ponderada de la pendiente de cada faja en relación con su área:

$$s = \frac{(Dn \times Lb)}{A} = \left[\frac{(D \times L1)}{a1} + \frac{a1}{A} \right] + \left[\frac{(D \times L2)}{a2} + \frac{a2}{A} \right] + \dots + \left[\frac{(D \times Ln)}{an} + \frac{an}{A} \right]$$

Dónde:

Lb : Longitud total de las curvas de nivel dentro de la cuenca (km)

$L1$: Longitud de una sección

D : Desnivel constante entre curvas de nivel (km)

a_i : área entre curvas

A : área de la cuenca, en Km^2

s : pendiente media de la cuenca

❖ **COEFICIENTE DE MASIVIDAD**

Es la relación entre la elevación media y el área de la cuenca.

$$C_m = \frac{E}{A}$$

Dónde:

E =Extensión media del escurrimiento superficial (km)

A =Área de la cuenca (km^2)

❖ **COEFICIENTE OROGRÁFICO**

Es el producto del coeficiente de masividad y la elevación media de la cuenca, este valor permite determinar el relieve en distintos puntos de la cuenca.

$$C_o = C_m * E$$

Dónde:

C_m = Coeficiente de masividad de la cuenca

E = Extensión media del escurrimiento superficial (km)

4.1.3.1.4.3 PARÁMETROS DE LA RED HIDROGRÁFICA

La red hidrográfica corresponde al drenaje natural, permanente o temporal, por el que fluyen las aguas de los escurrimientos superficiales, hipodérmicos y subterráneos de la cuenca. La red de drenaje es, probablemente, uno de los factores más importantes a la hora de definir un territorio.

Diversos autores coinciden en afirmar que mientras mayor sea el grado de bifurcación del sistema de drenaje de una cuenca, es decir, entre más corrientes tributarias presente, más rápida será la respuesta de la cuenca frente a una tormenta, evacuando el agua en menos tiempo. En efecto, al presentar una densa red de drenaje, una gota de lluvia deberá recorrer una longitud de ladera pequeña, realizando la mayor parte del recorrido a lo largo de los cauces, donde la velocidad del escurrimiento es mayor. Los cálculos de los parámetros de la red hidrográfica se muestran en la Tabla N° 4.3.

Tabla N°4.3. Parámetros de la red hidrográfica de las microcuencas de estudio.

Morfometría de las microcuencas de estudio					
Parámetros de red hidrométrica		Unidades	Microcuenca Palca	Microcuenca Sasahuille	Microcuenca Jallo
Tipo de corriente		--	Perenne	Intermitente	Intermitente
Número de orden de los ríos	Orden 1	--	9	2	5
	Orden 2	--	3	1	2
	Orden 3	--	1	--	1
	Orden 4	--	--	--	--
	Nº total de ríos	--	13	3	8
	Grado de ramificación	--	3	2	3
Longitud de los ríos		Km	26.70	4.26	11.47
Frecuencia de densidad de los ríos		ríos/Km ²	0.49	0.47	0.78
Densidad de drenaje		Km/Km ²	1.00	0.67	1.12
Extensión media del escurrimiento superficial		Km ² /Km	0.25	0.37	0.22
Cotas de cauce principal	Altitud máxima	msnm	4900	4750	4850
	Altitud mínima	msnm	4230	4330	4430
Pendiente media del río principal		%	7	14	8
Altura media del río principal		msnm	4565	4540	4640
Tiempo de concentración		minutos	67.80	20.60	35.50

Fuente: Elaboración propia

Para analizar la red hidrográfica superficial de una cuenca, se han utilizado los siguientes parámetros:

❖ TIPO DE CORRIENTE

Una manera comúnmente usada para clasificar el tipo de corriente es tomar como base la permanencia del flujo en el cauce del río. Los tipos de corriente en una cuenca es la siguiente:

Ríos perennes. - son ríos que contienen agua permanentemente todo el año.

Ríos intermitentes. - son ríos que en general contienen agua sólo durante épocas de lluvia y se secan en épocas de estiaje.

Ríos efímeros. - son ríos que contienen agua, sólo cuando llueve, después se secan (quebradas).

❖ **NÚMERO DE ORDEN DE LOS RÍOS**

Es el grado de ramificación de las corrientes de agua, para su determinación se considera el número de bifurcaciones que tienen sus tributarios, asignándoles un orden a cada uno de ellos en forma creciente desde su nacimiento hasta su desembocadura. De manera que el orden atribuido al curso nos indique el grado de ramificación del sistema de drenaje. Es decir, los ríos del primer orden son las corrientes que no tienen tributarios, dos ríos del primer orden forman un río de segundo orden, dos ríos de segundo orden forman un río de tercer orden y así sucesivamente hasta llegar al curso principal y finalmente se obtiene el grado de ramificación del sistema de drenaje de una cuenca, las microcuencas de estudio son de orden 1, orden 2, orden 3 y orden 4.

❖ **FRECUENCIA DE DENSIDAD DE LOS RÍOS**

Es el número de ríos por unidad de superficie de la cuenca. Se encuentra al dividir el número total del curso de agua (número de ríos) entre el área total de la cuenca.

$$D_r = \frac{\text{Número de ríos}}{\text{Área}}$$

❖ **DENSIDAD DE DRENAJE**

Se define como el grado de dificultad que presenta una cuenca hidrográfica para evacuar el agua de las precipitaciones por su red hidrográfica (Yaguachi, 2013). La red hidrográfica es el drenaje

natural, permanente o temporal, por el que el escurrimiento superficial (Rosero, 2014).

$$D_d = \frac{L_T}{A}$$

Dónde:

D_d = Densidad de drenaje (km/km²)

L_T = Longitud total de ríos de la cuenca (km)

A = Área de la cuenca (km²)

❖ EXTENSIÓN MEDIA DEL ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL

Es la relación entre el área de la cuenca y la longitud total de la red hídrica de la misma cuenca. También se puede definir como la distancia promedio en línea recta que el agua precipitada tendría que recorrer para llegar al lecho de un curso de agua. Su valor se calcula con la siguiente fórmula:

$$E = \frac{A}{L_T}$$

Dónde:

A = Área de la cuenca (km²)

L_T = Longitud total de ríos de la cuenca (km)

❖ PENDIENTE MEDIA DEL RÍO PRINCIPAL (J)

La velocidad de la escorrentía superficial de los cursos de agua depende de la pendiente de sus cauces fluviales; así a mayor pendiente habrá mayor velocidad de escurrimiento. La pendiente media del río es un parámetro empleado para determinar la declividad de una corriente de agua entre dos puntos extremos.

La pendiente media del cauce principal, según Taylor y Schwarz (Aparicio Mijares,1992), considera que un río está formado por n tramos de igual longitud, cada uno de ellos con pendiente uniforme, para este caso es:

$$S = \left[\frac{A}{\frac{1}{\sqrt{S_1}} + \frac{1}{\sqrt{S_2}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{S_n}}} \right]^2$$

Dónde:

n = Número de tramos iguales, en los cuales se subdivide el perfil

S_1, S_2, \dots, S_n = Pendiente de cada tramo según $S = H/L$

S = Pendiente media del cauce

La ecuación mostrada líneas arriba, tiene una mejor aproximación, cuando más grande sea el número de tramos, en los cuales se subdivide el perfil longitudinal del río analizar.

Por lo general, se espera en la práctica, de que los tramos sean de diferentes longitudes, en este caso, Taylor y Schwarz recomiendan utilizar la siguiente ecuación:

$$S = \left[\frac{\sum_{i=1}^n L_i}{\sum_{i=1}^n \frac{L_i}{S_i^2}} \right]^2$$

Dónde:

S = Pendiente media del cauce

L_T = Longitud del tramo i

S_i = Pendiente del tramo i

❖ ALTURA MEDIA DEL RÍO PRINCIPAL

Es el valor medio entre las alturas de los extremos del río principal.

$$H = \frac{(H_{max} + H_{min})}{2}$$

Dónde:

H = Altura media del río principal

H_{max} = Altura máxima del lecho del río principal (msnm)

H_{min} = Altura mínima del lecho del río principal (msnm)

❖ TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

Este parámetro se refiere al tiempo que tarda el agua en su recorrido entre dos puntos determinados, los cuales son: el extremo superior de la cuenca y el punto donde se mide el flujo. Para el cálculo del tiempo de concentración existen numerosas fórmulas empíricas, para el presente se ha utilizado la fórmula de Kirpich, cuya ecuación es la siguiente:

$$TC = 0.0195 * \left(\frac{L^3}{H}\right)^{0.385}$$

Dónde:

TC = Tiempo de concentración (min)

L = Longitud del curso principal (m)

H = Diferencia de elevación entre los puntos extremos del cauce principal (m)

4.1.3.2 PARÁMETROS CLIMATOLÓGICOS

El Perú se localizado en la zona tropical del hemisferio sur, comprendida entre la línea ecuatorial y el Trópico de Capricornio; del cual el Perú debería tener un clima tropical en todo su territorio, con una estación de abundantes lluvias en verano y escasas en invierno; sin embargo, diversos factores geográficos como: La Corriente Peruana, la Zona de Convergencia Intertropical, el Anticiclón del Pacífico Sur, la Baja de Chaco, la Alta de Bolivia y la Cordillera de los Andes, hacen que el

Perú posea un abanico de climas, característicos tanto de latitudes tropicales como de latitudes medias y altas.

Por otro lado, debido a la topografía andina y a las diferencias de altitud, en espacios cortos es posible encontrar variaciones de temperatura entre, por ejemplo, el fondo de un cañón (que puede superar los 20 a 25°C) y las frías alturas sobre 4.000 metros (temperatura bajo cero); las diferencias altitudinales constituyen el factor geográfico preponderante en la variedad de climas de la región andina, donde se escalonan diferentes pisos con su propio clima. Algunas características de los climas andinos son la sequedad atmosférica, la insolación, que disminuye en verano, y las diferencias de temperatura entre sol y sombra, noche y día, mañana y tarde. A continuación, se describen los parámetros meteorológicos que describen la climatología de la zona.

4.1.3.2.1 PRECIPITACIÓN

Para el desarrollo de la precipitación en las microcuencas de estudio se hallan estaciones de tipo climatológica ordinaria y pluviométrica, las cuales se encuentran aledañas al área de estudio; a partir del cual se puede cuantificar la precipitación pluvial en forma directa.

Por tal motivo para determinar el comportamiento de la precipitación en el ámbito de estudio se ha considerado la información registrada en 12 estaciones: Caylloma, Cabanaconde, Tisco, Huambo, Pusapusa, Andahua, Orcopampa, Condorama, Machaguay, Chuquibamba, Chivay y Yanque todas operadas por SENAMHI.

Para el análisis de consistencia se realizará con dos (2) métodos, tales como son:

- a. Análisis visual de Pluviograma
- b. Análisis del método del Vector Regional

❖ **Análisis visual de Pluviograma**

Este análisis se realiza para detectar e identificar la inconsistencia de la información pluviométrica en forma visual, e indicar el período de datos faltantes, los períodos en los cuales los datos son dudosos, lo cual se puede reflejar como “picos” muy altos o valores muy bajos, “saltos” y/o “tendencias”, los cuales se deben comprobarse si son fenómenos naturales que efectivamente han ocurrido o son producidos por errores sistemáticos, mediante un gráfico o Pluviograma de las series de análisis, en coordenadas cartesianas ploteando la información histórica de la variable pluviométrica a nivel anual y mensual; en las ordenadas se ubica los valores anuales o mensuales de la serie pluviométrica en unidades respectivas y en las abscisas el tiempo en años y meses.

Las estaciones analizadas en el estudio, mediante este análisis visual de los Pluviogramas, se puede observar que presentan una tendencia estable, debida a que no existe periodos dudosos significativos en las series mensuales; como se muestra en los Pluviogramas respectivas de cada estación (Ver Figura N° 4.2 a la Figura N° 4.13).

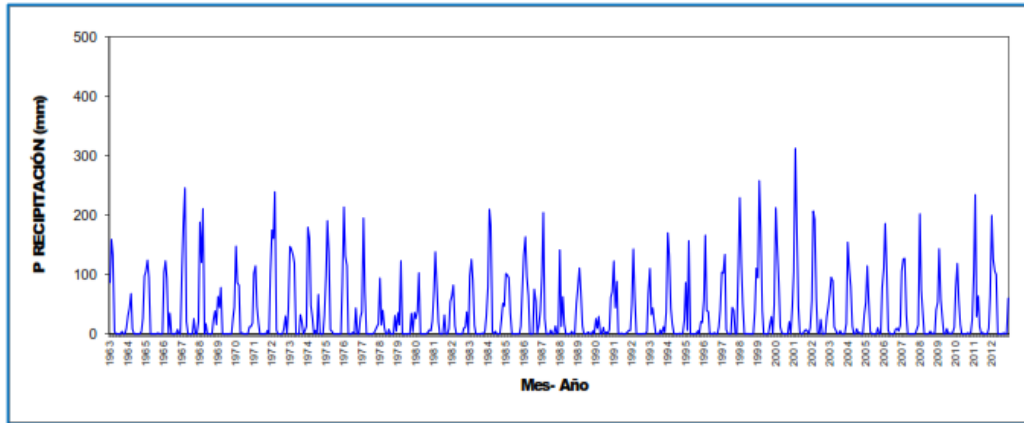


Figura N° 4.2 Pluviograma mensual de la estación Cabanaconde

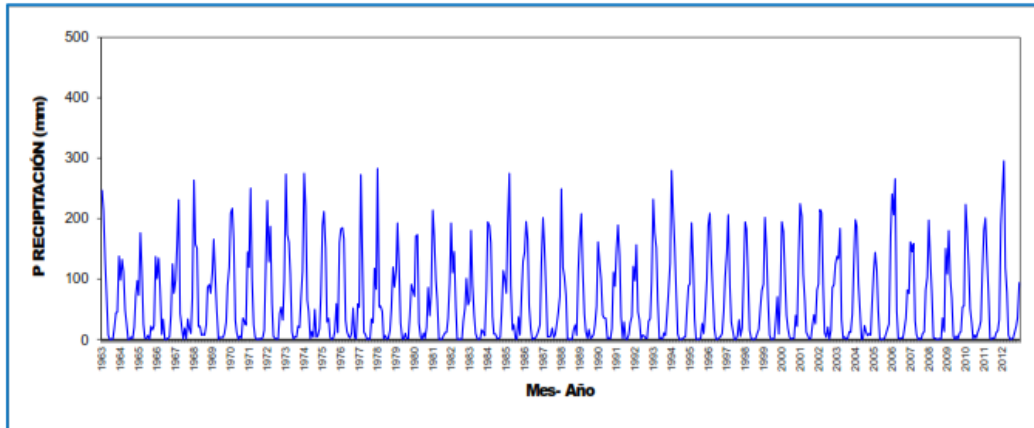


Figura N° 4.3 Pluviograma mensual de la estación Caylloma

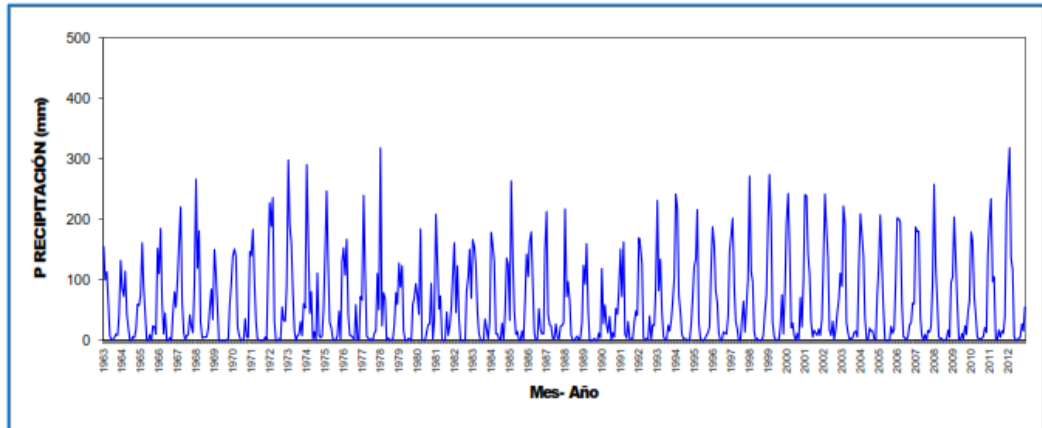


Figura N° 4.4. Pluviograma mensual de la estación Tisco

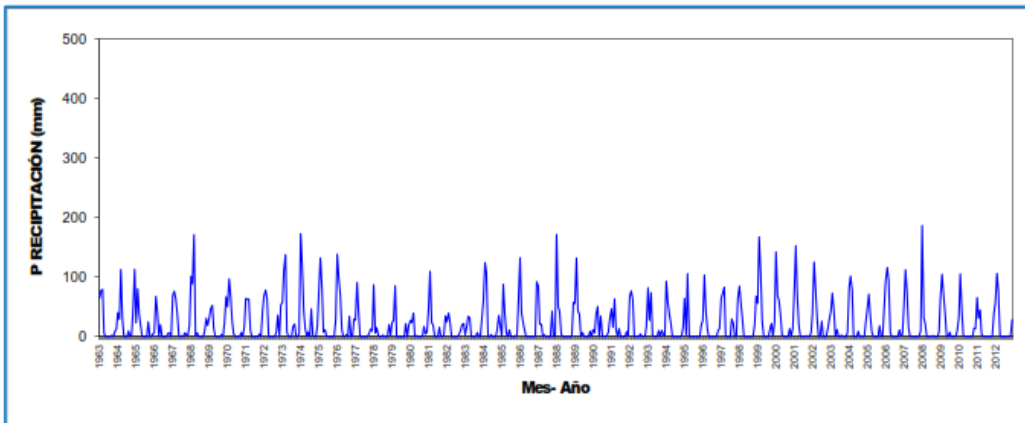


Figura N° 4.5. Pluviograma mensual de la estación Huambo

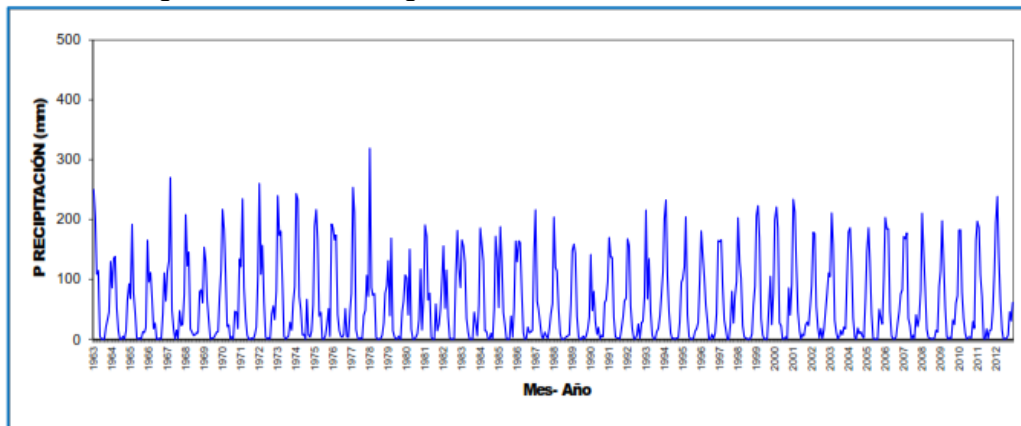


Figura N° 4.6. Pluviograma mensual de la estación Pusapusa

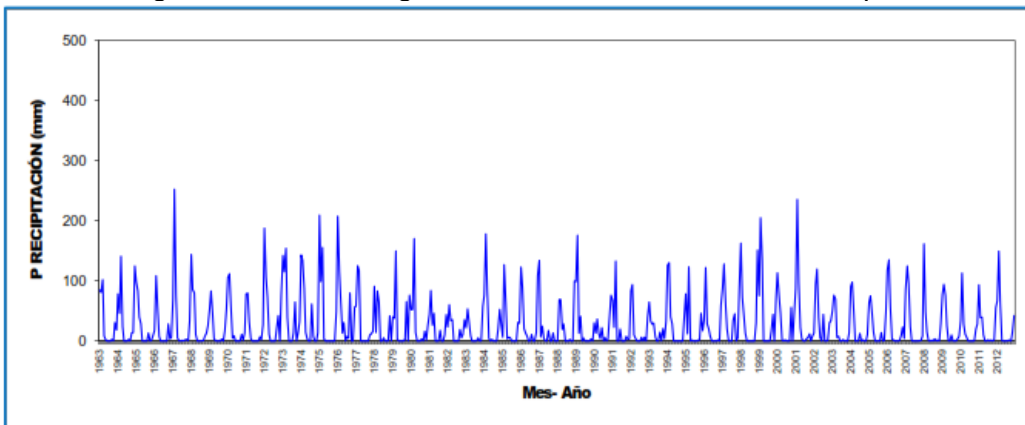


Figura N° 4.7. Pluviograma mensual de la estación Andahua

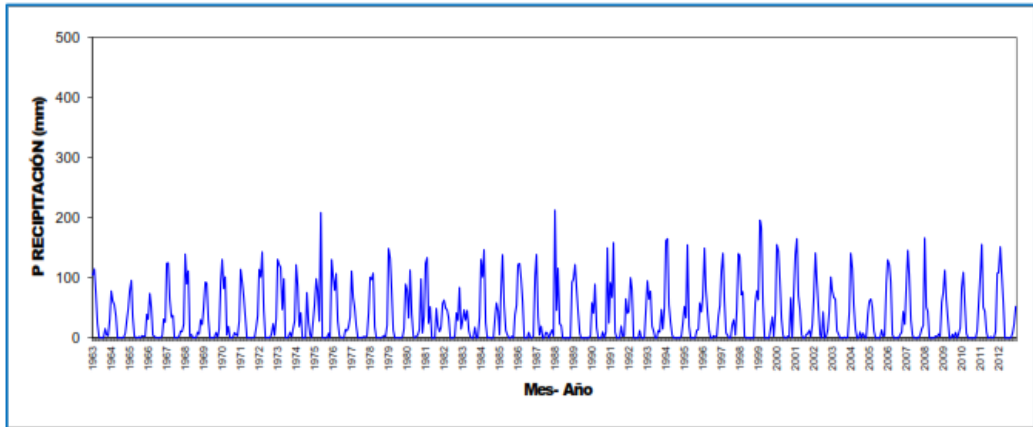


Figura N° 4.8. Pluviograma mensual de la estación Orcopampa

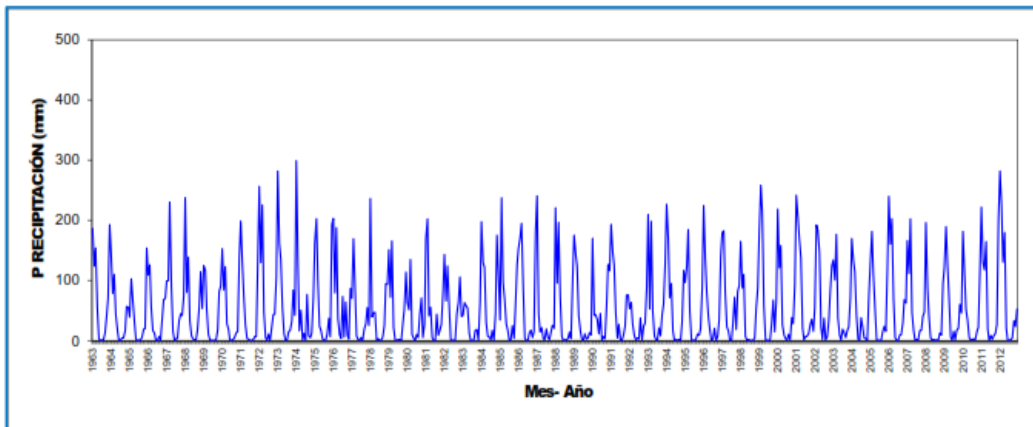


Figura N° 4.9. Pluviograma mensual de la estación Condorama

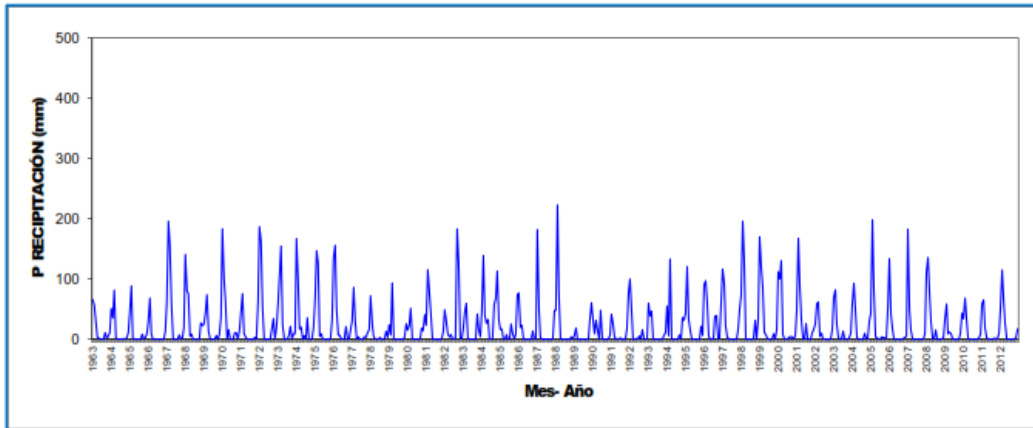


Figura N° 4.10. Pluviograma mensual de la estación Machaguay

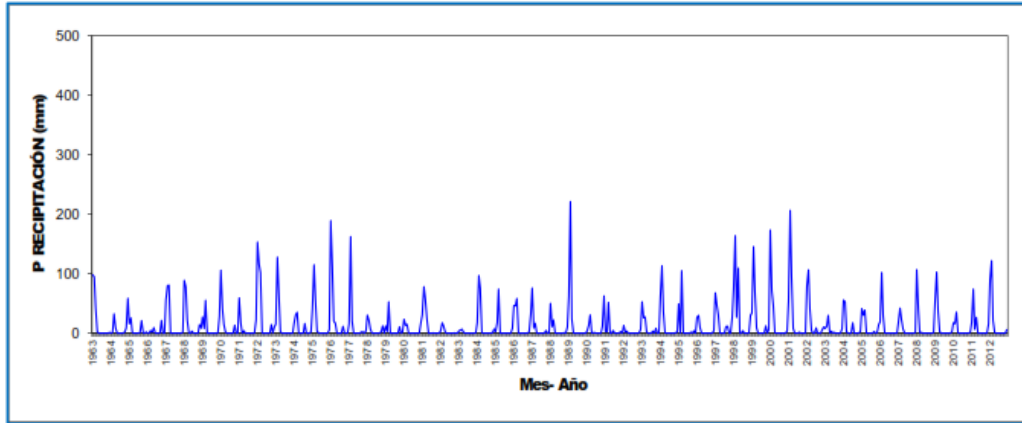


Figura N° 4.11. Pluviograma mensual de la estación Chuquibamba

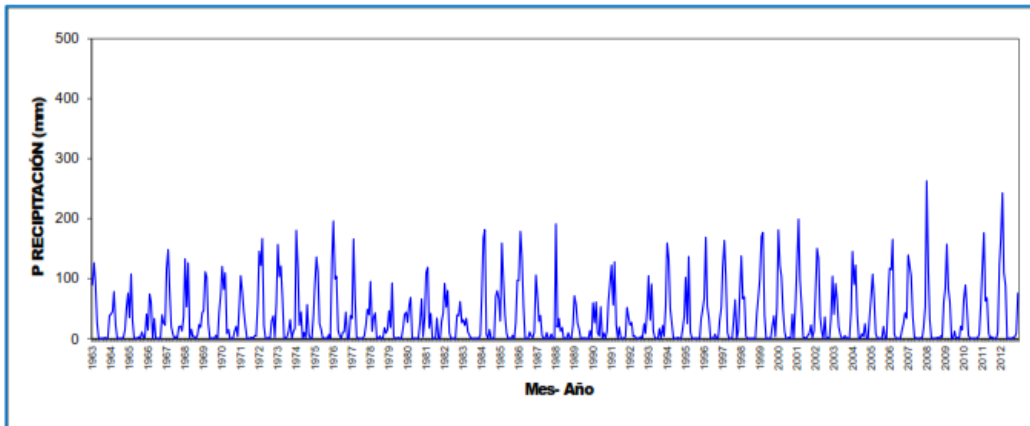


Figura N° 4.12. Pluviograma mensual de la estación Chivay

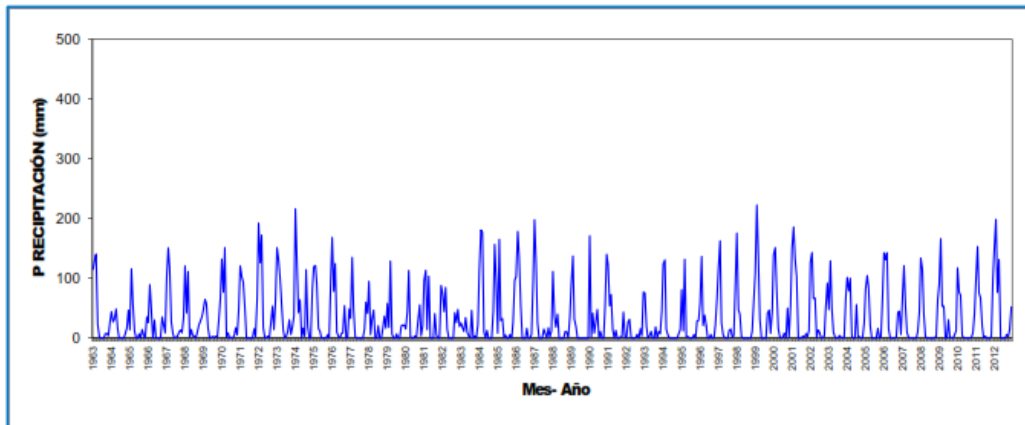


Figura N° 4.13. Pluviograma mensual de la estación Yanque

❖ **Análisis de consistencia por el método de vector regional (mrv)**

Para el análisis de consistencia de la precipitación se ha empleado el Método del Vector Regional (MVR) que consiste en elaborar, a partir de la información disponible, una especie de estación ficticia que sea

representativa de toda la zona de estudio, luego para cada estación se calcula un promedio extendido sobre todo el período de estudio, y para cada año, se calcula un índice. A esta serie de índices anuales se le llama Vector Regional, ya que toma en cuenta la información de una región que es climáticamente homogénea.

El vector regional es un modelo simple orientado al análisis de la información pluviométrica de una región y a la síntesis de esa información. Este método fue desarrollado por el IRD (Instituto de investigación para el desarrollo) en los años 70's con el objetivo de homogenizar los datos pluviométricos. Se elaboraron dos métodos para el cálculo del Vector Regional uno por G. Hiez y Brunet Moret.

Este método permite representar la información pluviométrica regional bajo la forma de índices anuales representativos de las precipitaciones en esa región y por coeficientes característicos de cada punto de observación. El método de G. Hiez está basado en el cálculo de la moda, mientras que el de Brunet Moret se basa en el promedio, eliminando los valores demasiado alejados del promedio. Cada método estima una media extendida para cada estación sobre el período de trabajo y calcula los índices anuales de cada estación.

A continuación, se presenta en la Figura N° 4.14 el análisis de consistencia de las estaciones por el Método de MVR donde se grafican los valores acumulados de las estaciones, presentándose en el grafico la una buena consistencia entre las estaciones. Podemos observar que las series de precipitaciones cumplen con la hipótesis

de pseudos-proporcionalidad lo cual indica que tienen una buena calidad de sus datos por presentar un “Correl. /Vector” mayor a 0.5, como se muestra en la Tabla N° 4.5 y la Figura N°4.15.

Tabla N° 4.5.-Variación de la Correl/Vector de las estaciones

Id Estación	Media Observada	Media Calculada	Correl./ Vector	Calidad (/10)	Evaluación(/10)
Caylloma	744.4	750.5	0.697	8.1	7.8
Cabanaconde	411.9	429.9	0.874	8.4	8.4
Tisco	696.4	685	0.804	9.1	9.1
Huambo	258.6	245.7	0.717	7.6	7.6
Pusapusa	713.1	695.8	0.75	9.1	9.1
Andahua	338	337	0.735	8.4	8.4
Orcopampa	413.1	403.4	0.803	8.8	8.8
Condoroma	664.5	669.1	0.854	8.8	8.8
Machaguay	268.6	280.8	0.577	4.9	4.9
Chuquibamba	163.1	165.2	0.743	1.7	1.7
Chivay	410	422.4	0.889	7.8	7.8
Yanque	408	414.5	0.834	8	8

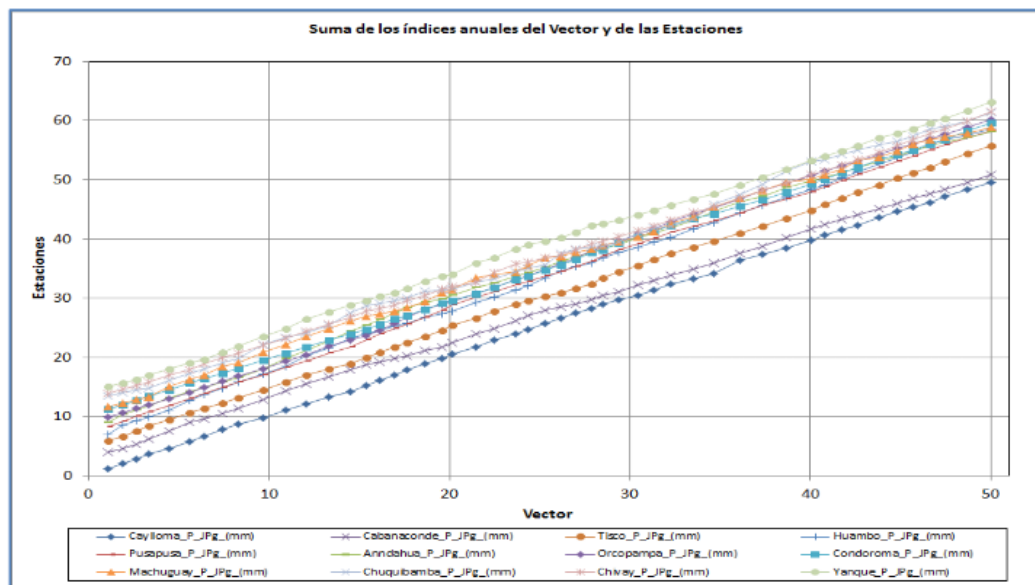


Figura N° 4.14. Análisis de dobles acumulados por estaciones

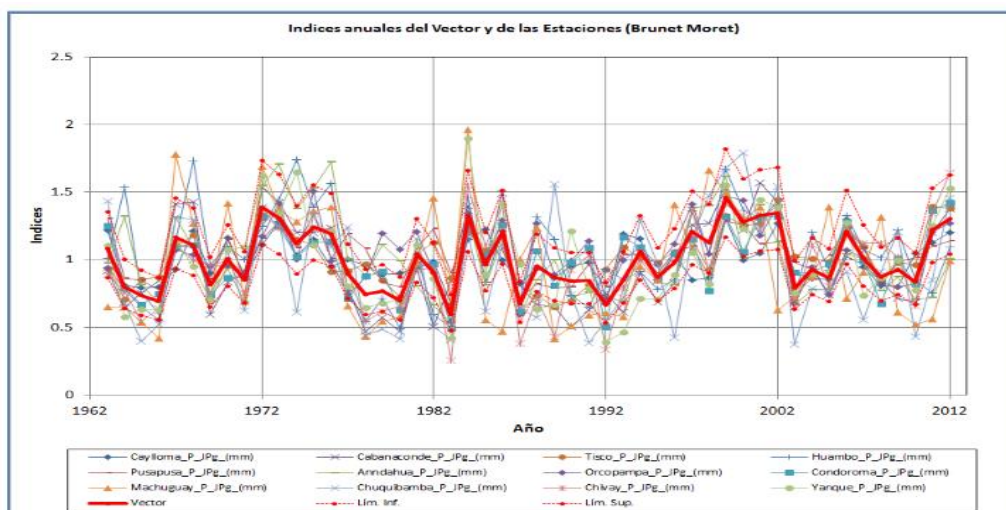


Figura N° 4.15. Índices anuales del vector regional de las estaciones

4.1.3.2.1.2 COMPLEMENTACIÓN Y EXTENSIÓN DE DATOS

Una vez realizada la consistencia se realizó la complementación y extensión de datos debido a que las estaciones presentan registros incompletos, las cuales se completarán y extenderán. Si fuera el caso de datos faltantes de 1 o 2 meses se completaría con los promedios mensuales correspondientes. Cuando los registros presentan muchos vacíos, la complementación y extensión de los registros se efectúa mediante la aplicación del modelo HEC-4 lo que permite obtener registros comunes en los períodos seleccionados como período común de análisis.

A continuación, se presenta en la Tabla N° 4.6 y la Figura N°4.16, el resumen de las precipitaciones medias mensuales completadas y extendidas para el periodo 1963-2012, para cada una de las estaciones.

Tabla N°4.6 Variación de la precipitación total mensual completada y extendida por estaciones periodo 1963-2012

ESTACIONES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
CAYLLOMA	168.47	179.3	132.02	46.05	9.08	3.47	3.64	3.21	14.75	28.16	48.82	101.84	738.81
CABANACONDE	106.87	123.84	96.08	18.04	1.75	0.44	1.22	5.57	5.36	5.31	9.89	37.48	411.85
TISCO	171.38	157.27	128	45.13	8.35	3.39	4.22	10.5	16.35	25.21	38.03	88.55	696.38
HUAMBO	65.58	74.21	61.16	11.46	1.3	1.56	0.98	2.74	3.32	4.69	6.05	25.56	258.61
PUSAPUSA	169.34	157.76	128.95	42.2	9.78	1.08	2.93	6.8	20.28	34.22	44.87	94.86	713.07
ANDAHUA	84.98	95.25	69.76	14.5	2.67	1.14	1.98	3.72	6.27	8.15	9.97	39.56	337.95
ORCOPAMPA	100.2	99.2	82.83	27.29	10.06	0.18	1.51	4.93	6.66	10.6	20.42	49.22	413.1
CONDOROMA	168.66	126.76	120.11	51.08	8.59	2.88	5.35	7.99	12.58	25.02	44.1	91.37	664.49
MACHAGUAY	71.72	83.64	52.07	7.57	2.39	1.11	1.29	2.24	8.69	7.37	7.88	22.6	268.57
CHUQUIBAMBA	47.17	61.21	35.49	4.83	0.28	0.17	0.63	0.66	0.99	1.85	1.28	8.51	163.07
CHIVAY	99.83	101.72	84.58	23.51	3.41	2.06	1.94	4.16	8.17	12.15	17.85	50.6	409.98
YANQUE	101.29	102.95	74.83	26.52	4.11	2.41	3.65	6.55	7.35	11.77	16.93	49.59	407.95
PROMEDIO	112.96	113.59	88.82	26.52	5.15	1.66	2.45	4.92	9.23	14.54	22.17	54.98	456.99

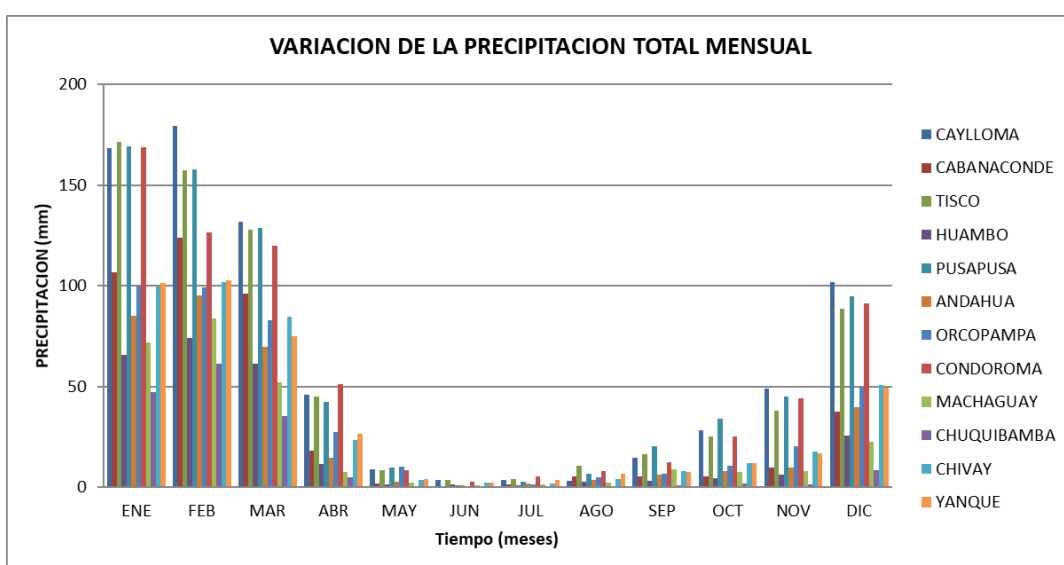


Figura N° 4.16. Variación de la precipitación total mensual por estaciones

4.1.3.2.1.3 VARIABILIDAD TEMPORAL DE LA PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL

La precipitación durante un año normal tiene un régimen estacional marcado, este fenómeno está ligado a las fluctuaciones de la zona de convergencia intertropical que para los meses de verano se traslada a mayores latitudes, relacionado con precipitaciones intensas en los meses de verano (diciembre-marzo) en los que se produce el 80% - 85% de la precipitación anual, en los meses de abril–noviembre esta zona permanece más en el Ecuador donde se presenta entre el 20% - 15% de

la precipitación en la cuenca, los meses más secos son los comprendidos entre junio y agosto en los que se da solo entre el 1% y 2% de la precipitación anual, como se muestran en la Figura N° 4.17.

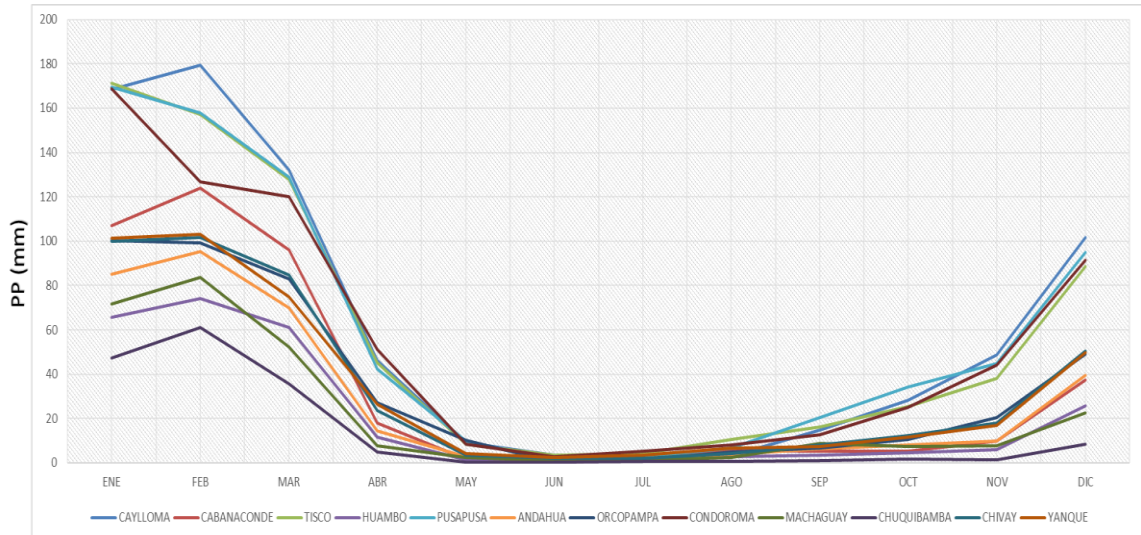


Figura N° 4.17. Variabilidad temporal de la precipitación total mensual por estaciones

4.1.3.2.1.4 ECUACIÓN REGIONAL DE LA PRECIPITACIÓN TOTAL ANUAL

Con el objeto de determinar el régimen pluviométrico en el ámbito del estudio, se empleó información de las estaciones meteorológicas, cuyos registros fueron previamente analizados para evaluar su consistencia y calidad de datos.

En base al cual se ha determinado el modelo de regresión Lineal que relaciona la variación de la precipitación Total anual con la altitud, como se muestra en la Figura 4.18. Podemos mencionar que con esta relación de precipitación – altitud, nos permitirá generar valores de precipitación total anual a la altitud del proyecto.

Como resultado se obtiene una ecuación Lineal:

$P_p = 0.3869 \cdot h - 966.46$ y con una correlación de $R^2=0.92$, lo que explica un 92% de relación de la altitud con la precipitación.

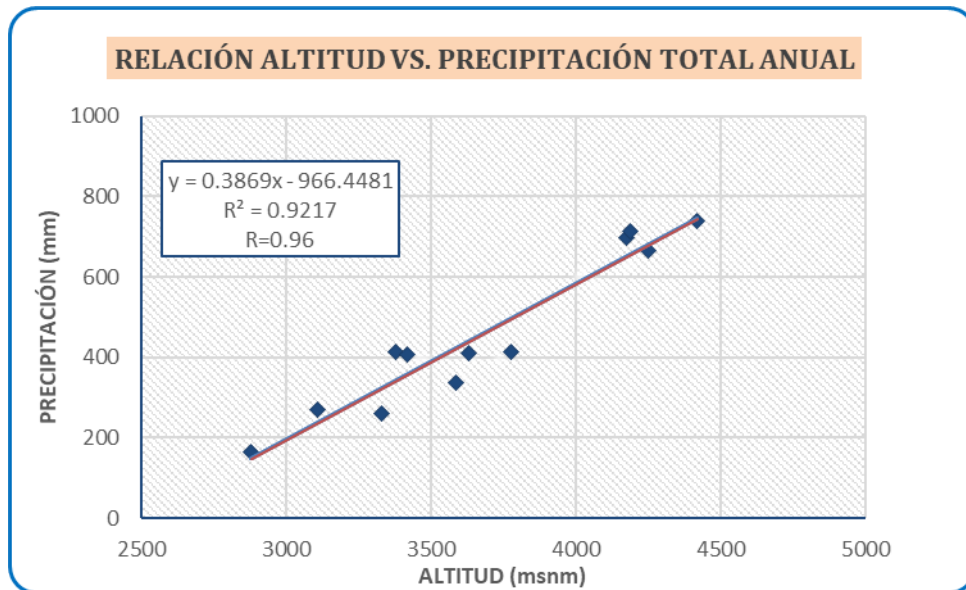


Figura N° 4.18. Relación altitud vs precipitación total anual

Con esta relación de precipitación – altitud, se ha generado los valores de precipitación total anual a la altura de la zona del proyecto, teniendo como base la estación Caylloma, como se muestra en la Tabla N° 4.7 y en la Figura N° 4.19.

Reemplazando los datos correspondientes se obtiene lo siguiente:

La altura del Proyecto Pariguanas : 4,600 msnm

Precipitación Total anual : 816.38 mm/año

Tabla N° 4.7. Variación de la precipitación total mensual generada para la zona del proyecto periodo 1963-2012

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Anual
1963	272.15	235.14	142.98	81.44	7.85	-	-	0.88	19.89	48.07	49.94	151.82	1,010.16
1964	108.40	145.75	123.54	53.26	29.28	-	-	4.09	1.33	22.43	78.23	107.40	673.71
1965	80.44	194.48	126.85	27.62	2.43	1.10	6.96	-	23.76	16.91	24.64	150.94	656.13
1966	110.94	148.18	88.84	8.95	36.57	-	-	1.70	4.64	43.65	137.57	84.42	665.46
1967	108.51	172.82	255.03	46.96	22.76	0.55	20.33	0.73	37.13	20.00	10.83	76.02	771.67
1968	290.94	173.81	166.63	23.20	23.76	7.73	8.84	7.51	25.97	94.92	100.00	84.42	1,007.73
1969	121.55	182.87	108.62	52.04	-	3.43	3.20	3.20	11.38	31.38	98.56	131.71	747.94
1970	230.72	239.12	181.33	34.36	11.60	0.01	5.52	2.21	38.60	32.72	25.86	159.58	961.63
1971	131.73	276.35	110.63	26.34	3.99	0.02	-	1.12	0.02	3.67	16.46	148.08	718.41
1972	253.27	141.67	206.20	64.99	5.20	1.79	0.66	0.80	47.08	58.67	35.25	105.43	921.01
1973	301.78	191.53	176.92	118.80	13.71	0.78	4.54	3.90	23.77	21.33	79.90	124.76	1,061.72
1974	303.54	243.11	71.82	50.33	1.33	14.27	3.88	54.38	4.10	6.32	19.12	80.90	853.10
1975	209.17	233.61	166.63	31.61	38.12	3.12	0.01	2.21	14.27	64.97	12.17	176.27	952.16
1976	201.44	203.99	183.99	35.04	13.61	5.64	2.45	11.93	56.80	3.09	0.88	64.57	783.43
1977	59.45	301.03	160.25	13.06	9.06	-	1.23	-	37.02	30.61	129.55	91.83	833.09
1978	312.49	59.12	60.33	50.73	0.67	6.54	0.33	1.48	16.02	56.92	131.96	95.91	792.50
1979	126.44	212.28	122.29	29.76	1.05	0.56	10.75	1.24	2.13	40.87	100.18	89.98	737.53
1980	78.81	188.76	190.93	29.77	4.49	0.12	11.17	1.69	22.19	94.48	43.19	83.40	749.00
1981	236.08	189.14	108.63	71.64	0.48	0.06	0.08	7.04	11.64	12.92	38.14	104.30	780.15
1982	212.32	122.03	159.98	58.70	0.25	0.09	0.07	0.56	33.27	56.66	111.19	63.05	818.17
1983	70.38	198.94	99.49	44.76	10.80	1.51	0.17	0.95	17.57	12.48	6.38	89.96	553.39
1984	214.44	207.78	176.19	41.91	9.86	9.36	1.28	1.52	3.54	50.14	125.58	110.88	952.48
1985	84.38	211.54	303.27	97.73	17.59	26.28	1.36	0.42	40.56	8.32	83.73	142.35	1,017.53
1986	159.52	215.30	182.39	60.61	19.17	0.10	1.67	1.93	7.28	14.92	26.18	137.94	827.01
1987	222.31	170.07	87.83	4.87	4.99	5.80	20.11	3.44	8.81	28.81	49.18	78.20	684.42
1988	274.81	131.37	114.51	79.46	0.60	0.09	0.11	0.07	17.18	26.06	7.31	123.62	775.19
1989	184.11	229.30	126.09	46.54	14.01	1.97	17.85	1.19	3.75	8.63	26.06	60.34	719.84
1990	177.97	137.48	109.58	44.03	39.09	38.17	0.67	2.98	0.96	19.31	122.71	97.14	790.09
1991	165.25	208.63	152.77	40.95	1.23	31.65	0.76	0.01	8.60	29.52	41.76	133.32	814.45
1992	107.23	172.73	50.22	35.66	0.45	7.38	6.08	2.23	1.96	32.96	37.88	104.34	559.12
1993	255.69	195.37	167.60	70.88	1.31	3.04	0.54	11.66	6.98	46.28	86.94	139.48	985.77
1994	308.55	228.92	171.87	82.83	9.82	0.01	0.08	0.59	3.05	5.07	50.64	97.36	958.79
1995	101.23	212.71	149.33	37.86	0.48	0.09	0.08	1.49	28.78	10.98	52.98	108.70	704.71
1996	208.31	230.07	147.05	75.66	19.90	-	0.10	2.46	5.46	10.51	51.57	114.97	866.06
1997	158.24	227.35	98.96	31.88	14.69	0.10	0.11	6.14	35.38	5.77	20.52	106.29	705.43
1998	214.27	200.88	105.89	16.09	0.74	0.10	-	2.23	11.46	18.44	59.03	89.49	718.62
1999	100.52	222.50	161.60	76.30	7.12	0.09	0.52	1.77	33.08	77.72	9.76	85.08	776.06
2000	214.97	196.73	120.42	43.83	19.85	4.22	0.45	1.46	1.85	43.39	23.61	157.78	828.56
2001	247.68	224.60	118.81	70.06	12.88	5.99	0.39	2.63	24.59	44.49	28.32	90.24	870.68
2002	101.03	236.67	231.54	97.68	12.04	3.76	22.32	0.01	16.36	94.48	100.00	137.02	1,052.91
2003	151.49	147.51	202.54	36.35	1.66	3.98	0.44	1.10	13.70	12.39	45.31	132.15	748.62
2004	218.56	206.74	101.11	55.58	-	1.22	24.86	13.70	6.96	9.83	7.51	66.20	712.27
2005	123.54	158.90	126.75	52.49	-	-	-	1.66	9.86	20.00	27.73	188.96	709.89
2006	265.64	227.73	293.38	51.27	2.43	0.23	2.65	1.77	17.46	38.46	90.17	83.98	1,075.17
2007	178.01	160.35	174.81	33.72	8.62	-	1.78	0.01	10.19	14.03	90.39	113.59	785.50
2008	217.57	143.43	85.30	2.45	1.88	0.01	-	0.66	0.55	39.13	14.27	165.75	671.00
2009	119.56	198.78	109.62	76.14	5.43	-	6.19	-	10.83	14.04	58.80	61.44	660.83
2010	246.41	200.63	133.92	56.42	29.79	0.75	7.54	2.45	13.29	19.96	33.80	122.40	867.36
2011	199.96	221.93	147.79	86.54	1.60	0.03	2.87	2.15	11.96	15.85	36.18	209.28	936.14
2012	265.86	326.19	131.05	85.08	7.62	0.18	0.25	2.00	11.92	23.18	39.58	103.31	996.22
Media	186.15	198.12	145.88	50.88	10.04	3.84	4.03	3.55	16.30	31.11	53.95	112.53	816.38
Desv Std	72.38	45.62	52.67	25.51	10.68	7.90	6.47	7.93	13.59	23.95	38.90	34.51	131.29
Min	59.45	59.12	50.22	2.45	-	-	-	-	0.02	3.09	0.88	60.34	553.39
Max	312.49	326.19	303.27	118.80	39.09	38.17	24.86	54.38	56.80	94.92	137.57	209.28	1,075.17

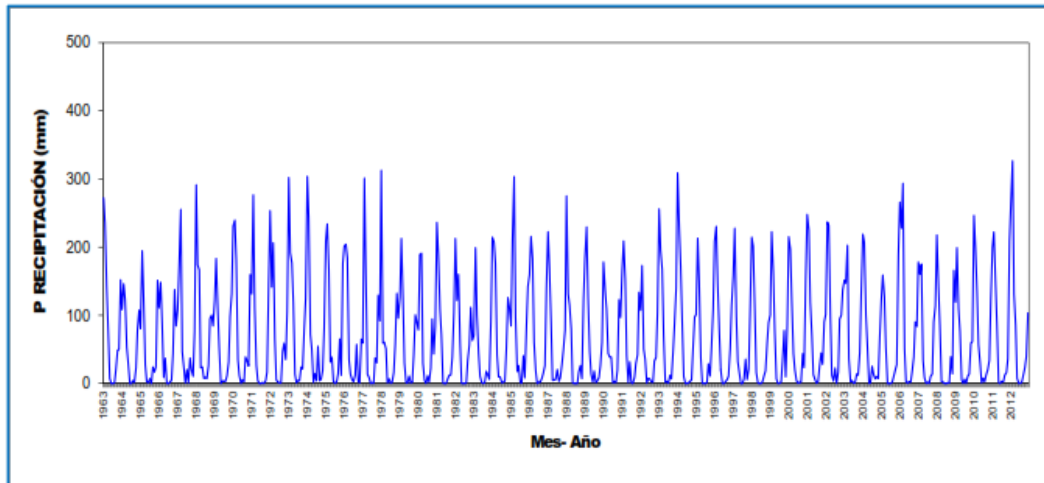


Figura N° 4.19. Serie generada mensual de precipitación total en la zona del Proyecto

4.1.3.2.2 TEMPERATURA

Es un parámetro meteorológico cuya variación está ligada al factor altitudinal, disminuyendo a medida que ésta aumenta. El decrecimiento de la temperatura con la altura recibe la denominación de Gradiente Vertical de Temperatura (GVT), definido como un cociente entre la variación de la temperatura y la variación de altura, entre dos niveles.

En la troposfera el Gradiente Vertical de Temperatura medio es de aproximadamente $6.5^{\circ} \text{C} / 1000 \text{ m}$. Sin embargo, a menudo se registra un aumento de temperatura, con la altura, en determinadas capas de la atmósfera.

Para determinar la temperatura media mensual se ha considerado los datos de temperatura media registrados en 6 estaciones (Caylloma, Cabanaconde, La Angostura, Sibayo, Chivay y Condorama), observándose una variación en los meses de noviembre–abril una temperatura media mensual cercana a los 8.91°C y en los meses de mayo-octubre una temperatura media mensual cercana a los 6.45°C ,

como se presenta en la Tabla N° 4.8 y la Figura N° 4.20. Data Hidrometeorológica: Registro histórico de la Temperatura).

Tabla N° 4.8. Variación mensual de la temperatura de las estaciones que circundan la zona de estudio

ESTACIONES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Prom
CAYLLOMA	6.80	6.90	6.70	6.10	4.40	2.90	2.60	4.00	5.10	6.10	6.90	7.00	5.5
CABANAACONDE	11.40	11.00	11.20	11.30	10.70	10.10	9.90	10.70	11.70	12.40	12.40	12.20	11.3
LA ANGOSTURA	7.20	7.20	7.10	6.70	5.10	3.50	3.20	4.20	5.50	6.90	7.40	7.50	6.0
SIBAYO	10.00	10.80	10.00	9.40	6.60	4.70	4.40	5.90	7.40	9.20	10.70	10.80	8.33
CHIVAY	10.90	10.80	10.70	10.20	8.80	7.40	7.40	8.50	9.90	10.80	11.20	11.20	9.82
CONDOROMA	7.10	7.20	7.00	6.30	4.20	2.60	2.10	3.10	4.40	6.00	6.80	7.10	5.33

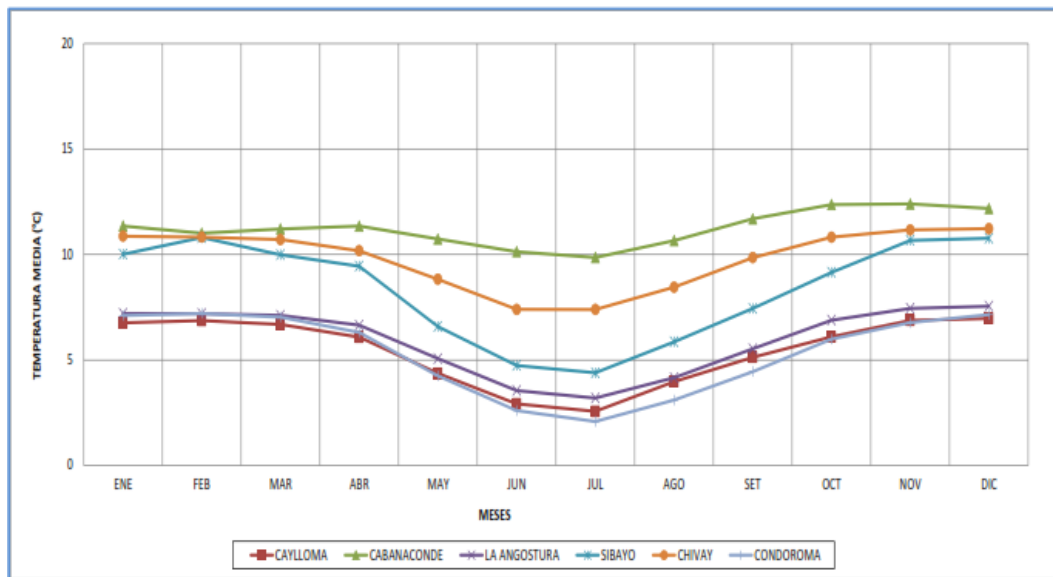


Figura N° 4.20. Temperatura promedio mensual de las estaciones que circundan la zona de estudio

Una vez calculada la temperatura media anual de las 06 estaciones, se ha realizado un análisis de correlación espacial en función de su altitud, observándose una disminución de la temperatura con la altitud; teniendo como resultado una ecuación lineal con su respectivo coeficiente de correlación (R) igual a 0.97, siendo R un valor aceptable para el ajuste de la ecuación, como se muestra en la Figura N° 21.

$$T_{med} = -0.0061 * H + 31.902$$

Dónde:

T_{med} = Temperatura media anual estimada (°C)

H = Altitud (m.s.n.m.) de la estación o punto de interés

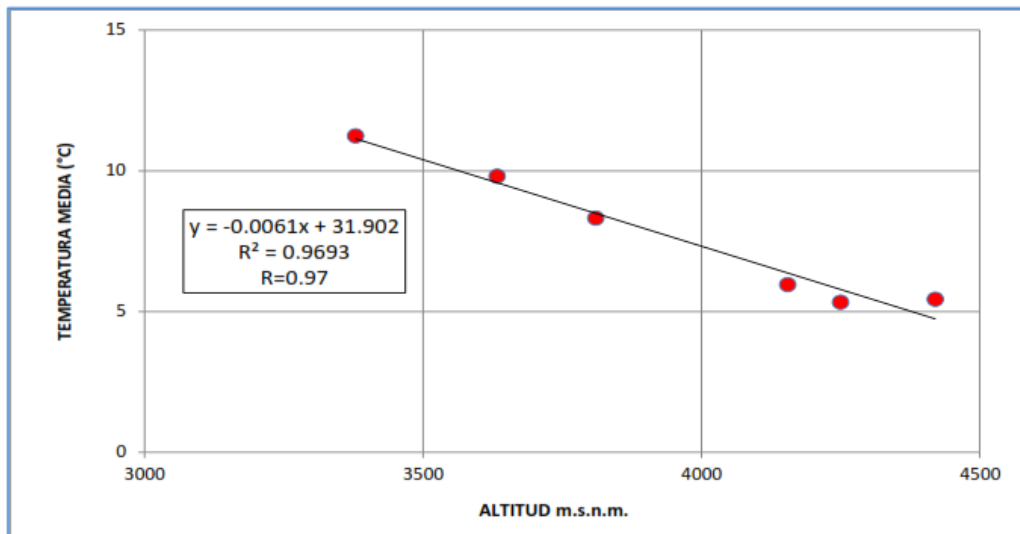


Figura N° 4.21. Análisis de la correlación de la Altitud vs Temperatura media

Para determinar la temperatura media en la zona del proyecto (4,600 m.s.n.m.), se ha considerado la ecuación característica y como base los registros históricos de la estación Caylloma (4,420 m.s.n.m.) por encontrarse a una altitud cercana al área del proyecto. De acuerdo a los resultados se presenta en la zona del Proyecto Pariguanas se tiene una temperatura media anual de 3.8 °C, con una variación máxima de 4.9 °C en los meses de noviembre, diciembre y febrero y una mínima de 1.8 °C en el mes de julio, como se muestra en la Tabla N° 4.9

Tabla N° 4.9 Variación Mensual de la Temperatura Media (°C) en la Zona del Proyecto

ESTACIONES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Prom
Zona del proyecto	4.80	4.90	4.70	4.30	3.10	2.00	1.80	2.80	3.60	4.30	4.90	4.90	3.8

4.1.3.2.3 HUMEDAD RELATIVA

El contenido de agua en la atmósfera depende, principalmente de la temperatura, cuanto más caliente está una masa de aire, mayor es la

cantidad de vapor de agua que puede retener. En contrapartida, a temperaturas bajas puede almacenar menos vapor de agua.

Cuando una masa de aire caliente se enfría, por la causa que fuere, se desprende del vapor que le sobra en forma de precipitación, esto nos indica que a mayor altitud la humedad disminuye.

Para estimar la variación de la Humedad Relativa representativa de la zona de estudio, se tomó la información de la estación Caylloma por encontrarse a una altura semejante a la zona de estudio.

En la Figura N° 4.22 se puede observar que el menor valor se da en el mes de Octubre (60.0 %), mientras que el mayor valor se da en el mes de Febrero (79.3 %), su promedio multianual es 68.4 %. (Ver el cuadro N° 4.22; Data Hidrometeorológica: Registro histórico de la Humedad).

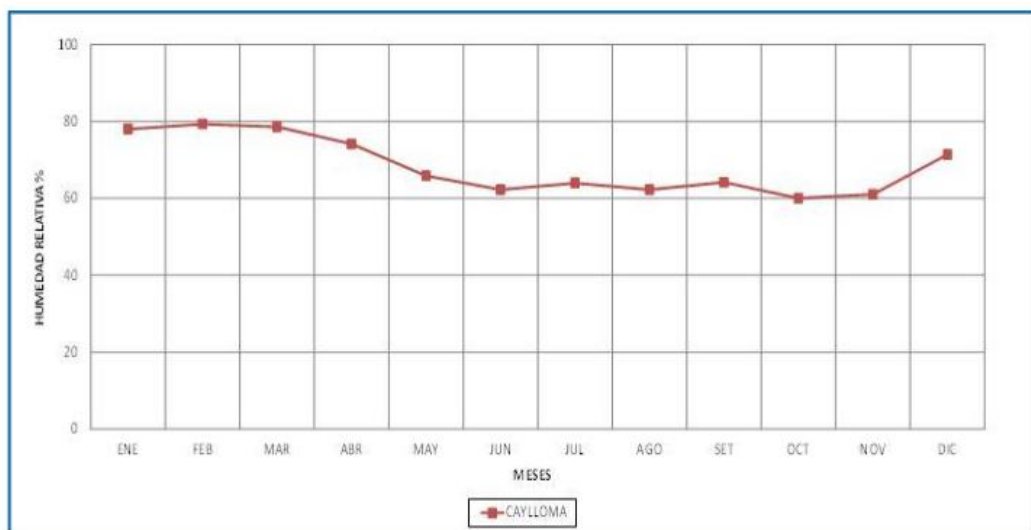


Figura N° 4.22. Humedad relativa de la estación Caylloma

4.1.3.2.4 EVAPORACIÓN

El conocimiento de la pérdida de agua de una superficie natural es de suma importancia ya que te permite conocer la pérdida de agua en los cauces, canales y otras infraestructuras donde contengan agua.

Este parámetro es registrado en la estación meteorológica La Angostura registrado para el periodo 1970-2006, en la Figura N° 4.23 se muestra la variabilidad a lo largo del año de la evaporación total mensual, el máximo valor es de 178.0 mm en el mes de noviembre y una mínima de 99.0 mm en el mes de junio. La evaporación total multianual es de 1550.1 mm. (Registro histórico de la Evaporación).

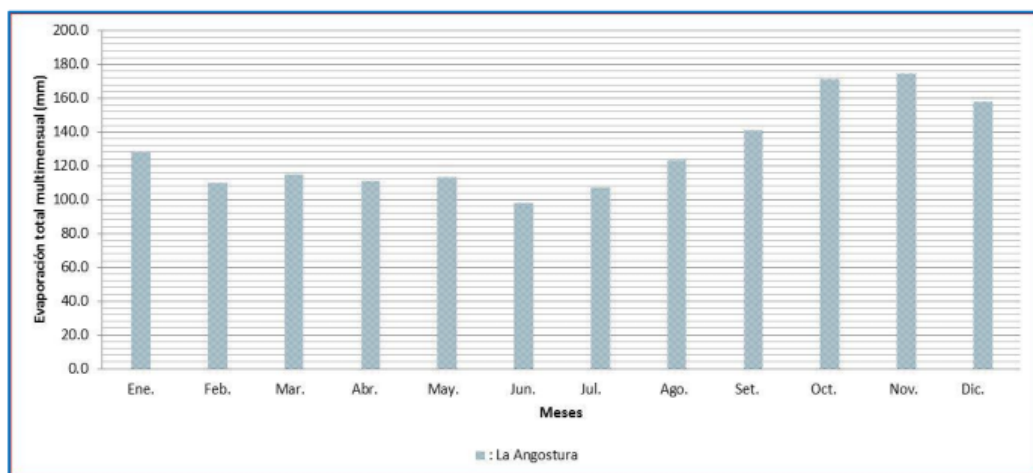


Figura N° 4.23. Evaporación Total Mensual de la estación La Angostura

4.1.3.2.5 VIENTO

El viento es el desplazamiento horizontal del aire con respecto a la superficie terrestre. Se origina como consecuencia de las diferencias de presión y viaja desde las zonas de alta presión hasta las de baja presión.

Para caracterizar los vientos utilizamos dos magnitudes: La dirección y la velocidad.

La dirección del viento la observamos con la veleta y la velocidad se mide con el anemómetro y está expresado en m/s, en km/h o en nudos.

La zona está influenciada por vientos locales denominados de valle y ladera, los cuales tienen un comportamiento de acuerdo con las gradientes térmicas establecidas en el lugar y determinan la intensidad de estos.

La data histórica de vientos entre los años 2003 al 2012, procede de la estación meteorológica Caylloma, en la Figura N° 4.24, se muestra los valores registrados de la velocidad promedio del viento a través del año, se observa una variación de la velocidad promedio del viento anual de 2.7 m/s, con una variación máxima de 3.4 m/s en el mes de setiembre y una mínima de 2.2 m/s en el mes de abril.

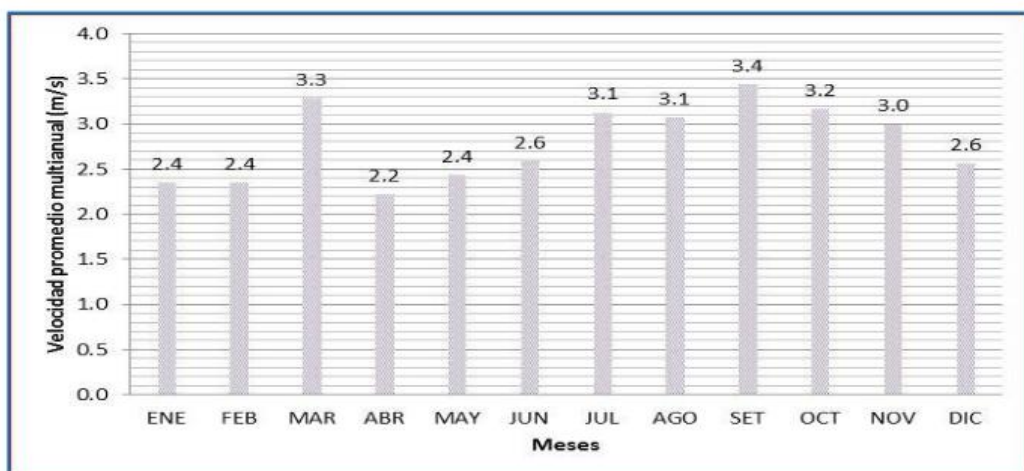


Figura N° 4.24. Velocidad (m/s) y Dirección del Viento de la zona de estudio

4.1.3.2.6 VAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL

Ante la dificultad de cuantificar por separado la evaporación física (evaporación) y la evaporación biológica (transpiración), y desde un punto de vista de las necesidades en hidrogeología, se hace necesario acudir a un concepto de evapotranspiración, que alude a la suma de ambos, es decir; sería el conjunto del agua que pasa al estado de vapor, sea por fenómenos físicos o a través de las plantas.

Thornthwaite (1948) introdujo el concepto de evapotranspiración potencial, que definió como “la cantidad de agua que pasaría al estado de vapor en una superficie cubierta de vegetación en crecimiento activo, de existir en el suelo suficiente humedad para su uso máximo por las plantas”. Dado que raramente esto se cumple, se hace necesario acudir al concepto de evapotranspiración real, que alude a la cantidad de agua evapotranspirada en realidad, la cual nunca podrá superar en el valor a la evapotranspiración potencial (podría ser a lo sumo igual). Adicionalmente la evapotranspiración potencial, es un elemento importante dentro del balance hídrico, debido a que es el principal parámetro responsable del déficit hidrológico.

Son muy numerosos los métodos aplicables para determinar la evapotranspiración potencial. Las fórmulas empíricas son muy empleadas pues requieren, en general, datos de partida asequibles. Así, numerosos científicos de todo el mundo han trabajado sobre este tema aportando un sin número de fórmulas matemáticas; pero ninguno de estos métodos provee una solución completamente adecuada a los problemas de

evapometría, dado que ninguno está libre de suposiciones, constantes arbitrarias o dificultades técnicas de observación y medición. A pesar de las deficiencias, un número de trabajadores ha sostenido que estos métodos permiten al climatólogo estimar la evapotranspiración total con una mayor exactitud que lo que pueda lograr los especialistas en suelos midiéndola.

Para el cálculo de la evapotranspiración potencial se aplicó el método Thornthwaite, que, a pesar de su simplicidad y las limitaciones obvias del método, funciona bien para las regiones húmedas. La formulación del método Thornthwaite es la siguiente:

Se calcula un “índice de calor mensual” (i) a partir de la temperatura media mensual (t) como se muestra en esta fórmula:

$$i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1.514}$$

Se calcula el “índice de calor anual (I) sumando los 12 valores de i :

$$I = \sum i$$

Se calcula la ETP mensual “sin corregir” mediante la fórmula:

$$ETP_{\text{sin corr.}} = 16 * \left(\frac{10 * t}{I}\right)^a$$

Dónde:

$ETP_{\text{sin corr.}}$ = ETP mensual en mm/mes sin corregir

t = temperatura media mensual, °C

I = índice de calor anual, sumando los 12 valores de i

$$a = 675 * 10^9 * I^3 - 771 * 10^{-7} * I^2 + 1792 * 10^{-5} * I + 0.49239$$

Corrección para la evapotranspiración potencial:

$$ETP = ETP_{sin\ corr.} * \frac{N}{12} * \frac{d}{30}$$

Dónde:

N = Número máximo de horas de sol, dependiendo del mes y de la latitud, los valores son tomados de tablas.

d = Número de días del mes.

En la Tabla N° 4.9 se muestra el cálculo de la evapotranspiración potencial, en el cual se muestra la variabilidad a lo largo del año de la evapotranspiración potencial total mensual, el máximo valor es de 54.9 mm en los meses de diciembre y una mínima de 25.4 mm en el mes de Julio. La evapotranspiración potencial total anual es de 513.9 mm.

Tabla N° 4.9 Cálculo de la evapotranspiración potencial

Meses	Temperatura (°C)	índice mensual	ETP sc (mm/mes)	N	# de días	ETP (mm/mes)
Enero	4.80	0.94	48.70	12.80	31.00	53.70
Febrero	4.90	0.96	49.20	12.50	28.00	47.60
Marzo	4.70	0.92	48.30	12.10	31.00	50.30
Abril	4.30	0.79	45.50	11.70	30.00	44.20
Mayo	3.10	0.48	36.90	11.40	31.00	36.10
Junio	2.00	0.26	28.30	11.20	30.00	26.30
Julio	1.80	0.22	26.40	11.20	31.00	25.40
Agosto	2.80	0.42	34.80	11.50	31.00	34.40
Septiembre	3.60	0.61	40.60	11.90	30.00	40.20
Octubre	4.30	0.79	45.50	12.40	31.00	48.40
Noviembre	4.90	0.96	49.20	12.80	30.00	52.30
Diciembre	4.90	0.98	49.60	12.90	31.00	54.90
Indice de calor anual		8.33		ETP anual		513.80
a		0.69				
latitud		15° Sur				

Fuente: Elaboración Propia

4.1.3.3 CAUDAL MEDIO

Las estaciones hidrométricas en las cuencas hidrográficas del país están ubicadas generalmente en la parte inferior de la cuenca húmeda, y muy pocas a nivel de subcuencas. El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), perteneciente al Ministerio del Ambiente, administra la mayor parte de las estaciones en las tres regiones hidrográficas del Perú.

En la zona de estudio se identificó la estación Hidrométrica “MARIA PEREZ” (ya extinguido) con registro de caudales históricos. La estación Hidrométrica “MARIA PEREZ”, geográficamente se localiza en las coordenadas geográficas de 15°17' de latitud sur y 72°01' de longitud oeste, y a una altitud de 4540 msnm.

La estación hidrométrica, políticamente se encuentra ubicada en el distrito de Choco, provincia de Castilla y Departamento de Arequipa.

El registro histórico disponible de descargas medias mensuales es del período 1964-1965:1978-1979. Los datos faltantes en los periodos que faltan información se completaron con el promedio.

4.1.3.3.1 GENERACIÓN DE CAUDALES MEDIOS EN LAS QUEBRADAS DE ESTUDIO

Las relaciones lluvia-escorrentía se utilizan principalmente para el diseño, los pronósticos y la evaluación. Si los datos de escorrentías no están disponibles o son insuficientes para una interpretación o extrapolación fiables, las relaciones lluvia- escorrentía pueden ser muy útiles porque permiten extraer la información de escorrentía a partir de los registros de precipitación.

El hecho de contar con escasas estaciones de aforo dentro de una cuenca nos sitúa en un punto de incertidumbre por contar solamente con información localizada y a veces discontinuas mediciones de caudal, no existiendo la real posibilidad de contrastar y validar la información disponible.

Los modelos Precipitación-Escorrentía más extendidos en hidrología son aquellos que estiman el balance entre las entradas (precipitación) de agua al sistema y las salidas de este (evaporación, transpiración, escorrentía superficial y aporte a los acuíferos) reproduciendo simplificadaamente el proceso del ciclo hidrológico.

En las microcuencas de estudio, no dispone de una estación hidrométrica y por tanto una manera de conocer sus caudales es a través de la generación caudales mediante métodos indirectos.

Los datos de caudal han sido generados basados en un criterio de regionalización y similitud hidrológica, para hacer la transferencia de información hidrológica de otra cuenca hacia la cuenca de interés, lo cual ha permitido caracterizar el ciclo anual de los caudales y su variabilidad en el tiempo.

4.1.3.3.1.1 CRITERIOS DE REGIONALIZACIÓN

Para hacer las estimaciones de los caudales en las cuencas de estudio, primero se centra el análisis en la esorrentía regional que fue propuesta por el estudio del Atlas del Potencial Hidroeléctrico del Perú, elaborado por (Halcrow, 2011). En el citado estudio se establece la regionalización hidrológica del Perú en base a criterios de similitud física de cuencas y homogeneidad hidroclimática.

Halcrow propone 6 regiones homogéneas para la región hidrográfica del Pacífico, 7 para la región hidrográfica del Atlántico y 1 para la región hidrográfica del Titicaca. Según esta delimitación hidrográfica, las subcuencas de estudio se ubican en la región Pacífico 2. (Ver Anexos: Anexo 08 – Planos N°08 RH – Regionalización hidrológica).

Para esta Región Pacífico 2 el caudal anual puede ser estimado por el modelo regional de regresión múltiple propuesto por Halcrow, el cual tiene la siguiente formulación:

$$Q = \exp(a) * A^b * Pa^c$$

Dónde:

Q : caudal promedio anual en m³/s

$a = -20.449$ $b=0.96$ $c=2.45$

A : Área de la cuenca en Km²

Pa : Precipitación anual en mm

Asimismo, se ha identificado en la región Pacífico 2, la existencia de la estación hidrológica “MARIA PEREZ”, (ya extinguida) que cuenta con información de caudales del periodo 1964-1965:1978-1979. La matriz de variabilidad de esta información hidrológica será utilizada para la generación de las series de caudal mensual de las microcuencas de estudio, teniendo en cuenta que la estación hidrométrica se encuentra en la parte alta de la cabecera de cuenca como las microcuencas de estudio.

Aplicando el modelo regional de caudales de la Región Pacífico 2, y en base a la matriz de variabilidad de las series históricas de la estación “MARIA PEREZ” (ya extinguida), se genera las series sintéticas de caudales mensuales para las microcuencas de estudio.

- Data Hidrometeorológica: Serie sintética de la descarga media mensual de las microcuencas de estudio.

4.1.3.3.2 CAUDAL BASE

Las técnicas de separación de caudales usan series temporales de registro de caudales con el fin de discretizar las aportaciones del sistema en forma de caudal base. Los métodos más comunes de separación de caudales suelen ser de tipo gráfico; es decir, a partir de la información de caudales registrados.

Los primeros métodos que se elaboraron para la estimación del caudal base se basaban en métodos gráficos, en los que se trazaba una línea de unión entre el inicio de la curva de crecimiento de un hidrograma determinado y el inicio de la curva de agotamiento, considerando éste como el punto en el que, debido al cambio de pendiente de la curva, se podía considerar agotada la contribución del caudal correspondiente a la escorrentía directa.

Estos métodos no se muestran suficientemente eficientes cuando se pretende separar el caudal base en períodos de tiempo largos, dada su laboriosidad y exigencia en cuanto a la particularización de cada uno de los hidrogramas que componen una serie continua. Además, al tener un fuerte carácter subjetivo, estos métodos pueden proporcionar resultados inconsistentes.

La Teoría de los Filtros Digitales puede ofrecer resultados más fiables en análisis hidrográficos, además de posibilitar el análisis automático y la sistematización de los métodos de cálculo. La Teoría se ha empleado para separar el caudal base basándose en el concepto de que las ondas de alta frecuencia pueden asociarse con la escorrentía

superficial, mientras que las ondas de baja frecuencia pueden asociarse al caudal base, para la obtención del caudal base se han empleado el método Eckhardt, el cual se describe a continuación:

4.1.3.3.2.1 MÉTODO ECKHARDT

En el año 2004 Eckhardt propuso un algoritmo para los filtros digitales que tenía en cuenta tanto el parámetro de filtro α como el BFI_{\max} (Maximum Baseflow Index). El método de Eckhardt aporta un sentido más físico al análisis.

El algoritmo de Eckhardt tiene la siguiente expresión:

$$b_t = \frac{(1 - BFI_{\max}) * \alpha * b_{t-1} + (1 - \alpha) * BFI_{\max} * Q_t}{1 - \alpha * BFI_{\max}}$$

Donde:

b_t = Es el caudal base filtrado en el instante t.

b_{t-1} = Es el caudal base filtrado en el instante t-1.

α es el parámetro de filtro, el rango de variación estimado de este parámetro se estima entre 0.925 y 0.980.

Q_t = Es el caudal total en el instante t.

BFI_{\max} = Es el valor máximo del ratio caudal base – caudal total, que tomará los valores siguientes:

0.80 para corrientes perennes con acuíferos porosos.

0.50 para corrientes efímeras con acuíferos porosos.

0.25 para corrientes perennes con acuíferos de roca dura.

Mediante la aplicación del método Eckhardt se han obtenido los valores del caudal base para cada una de las quebradas y ríos analizados.

4.1.3.4 BALANCE HÍDRICO

4.1.3.4.1 DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA

Entre los modelos de balance hídrico, uno de los más difundidos es el desarrollado por Thornthwaite y Matter (1957), conocido popularmente como ficha hídrica. En este balance los datos de entrada son: la precipitación (P), la evapotranspiración potencial (ETP) a nivel mensual, la reserva del suelo (R) y la capacidad de retención de agua del suelo (CRA), todos ellos de fácil estimación o medida a través de los datos de las estaciones meteorológicas y de las características edáficas.

Los autores citados proponen el balance para los valores mensuales de las variables que se indican en el esquema mostrado en la Figura N° 4.25.

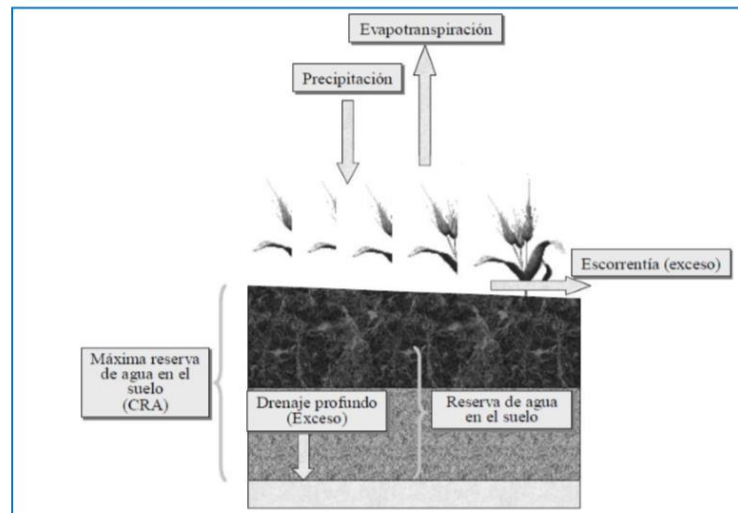


Figura N° 4.25. Esquema general del balance hídrico del suelo

4.1.3.4.1.1 DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO

El método consiste en definir mes a mes los siguientes parámetros (Almorox, 2004): precipitación media mensual (P), evapotranspiración potencial (ETP), diferencia de la precipitación y la evapotranspiración (P-ETP), reserva (RE), variación de la reserva (ΔRE), evapotranspiración real (ETP), lluvia útil (LU), el déficit (DE), el superávit (SU) y la recarga (Re), que a continuación se describe los fundamentos de cada parámetro:

- **Precipitación media mensual (P)**

Para el balance hídrico se ha considerado la precipitación total mensual determinada para las microcuencas de estudio.

- **Evapotranspiración potencial (ETP)**

Es el resultado del proceso por el cual el agua cambia de estado líquido a gaseoso y, directamente o a través de las plantas, vuelve a la atmósfera en forma de vapor, en consecuencia, resulta la suma de dos fenómenos que es la evaporación y transpiración. Para el cálculo de la

evapotranspiración potencial se ha utilizado el método de Thornwaite que los cálculos realizados se detallaron líneas arriba.

- **Diferencia de la precipitación y la evapotranspiración (P-ETP)**

Es el balance mensual de entradas y salidas de agua del suelo. La diferencia nos clasifica los meses en secos ($P-ET < 0$) y en húmedos ($P-ET > 0$) según las entradas superen o no a las salidas.

- **Reserva (RE)**

Cuando en un mes se produzcan más entradas que salidas, ($P > ET$) el agua sobrante pasará a engrosar las reservas del suelo; por el contrario, cuando las salidas sean mayores que las entradas se reducirá la reserva del suelo.

Los poros del suelo pueden estar ocupados por aire y por agua en distintas proporciones según el estado de humedad del suelo. Cuando todos los poros están ocupados por agua se dice que el suelo está saturado. Si el suelo drena, el contenido del agua descende, eliminado primero el agua libre o gravitacional que ocupa los macroporos, hasta que llega un momento en que el suelo no pierde más agua (2 o 3 días).

El contenido de humedad del suelo cuando ha drenado el agua de gravedad se conoce como capacidad de campo o capacidad de retención, en que se define como “el contenido de humedad del suelo cuando la redistribución de agua se hace lenta”. En este estado, los macroporos están ocupados en parte por aire y los microporos por agua.

4.1.3.4.1.2 RELACIÓN AGUA-POROS

Por lo tanto, la reserva útil (RU) es el volumen de agua útil que puede retener un suelo/unidad de superficie y hasta la profundidad desde la que el agua puede ascender por capilaridad. Es característico de cada tipo de suelo. Para nuestro caso se toma la reserva útil (RU) a comienzos del año hidrológico (setiembre) = 0 mm, ya que es el mes más seco.

Sin embargo, el suelo no es un "pozo sin fondo" y cuando se alcance la capacidad de retención del suelo, el agua añadida en "exceso" escurrirá superficialmente o en profundidad. Por tanto, debemos exponer el concepto de reserva máxima ($R_{m\acute{a}x}$) o cantidad de agua por unidad de superficie (mm) que el suelo es capaz de almacenar en su perfil.

Como referencia climática se toma la reserva máxima ($R_{m\acute{a}x}$) de 100 mm. El valor se toma como referencia climática para comparaciones entre distintas zonas (independientemente del suelo y vegetación). Thornwaite y Mather (1955), dieron valores de reserva máxima entre 50 y 400 mm; por otro lado, Thornwaite (1948), en su clasificación climática utilizó como referencia climática la reserva de 100 mm, y Turc en su índice de productividad agrícola emplea una reserva de 100 mm.

Asimismo, otro concepto importante es el agua útil que es cantidad de agua que un suelo puede ceder a las plantas. Su valor máximo se denomina capacidad de campo (cantidad de agua retenida en un suelo sometido a drenaje libre) y el mínimo es el punto de marchitez (cantidad de agua retenida en un suelo cuando la tensión de las partículas del suelo es mayor a la de las raíces).

Pasando al cálculo del balance hídrico, la reserva del mes "i" (en función de la del mes anterior "i-1") será:

$$R_{i-1} + (P_i - ET_i) \text{ si } 0 < R_{i-1} + (P_i - ET_i) < R_{\text{máx}}$$

$$R_i = R_{\text{máx}} \text{ si } R_{i-1} + (P_i - ET_i) > R_{\text{máx}}$$

$$0 \text{ si } 0 > R_{i-1} + (P_i - ET_i)$$

Los valores de la reserva se irán acumulando mes a mes en el período húmedo, según los incrementos $P - ET > 0$, y disminuirán al llegar el período seco, decreciendo mes a mes según los valores mensuales $P - ET < 0$. Como hemos visto, la reserva nunca tendrá como valor uno mayor que la reserva máxima, ni un número negativo.

Como se aprecia en la fórmula, necesitamos la reserva del mes anterior para comenzar el cálculo de la reserva, por ello, asignamos un valor hipotético a un mes y realizamos ciclos anuales de cálculo (aunque el cuadro del balance hídrico tenga un mes inicial y otro final) hasta que la hipótesis de que partimos se confirme al final del ciclo. Se suele suponer que después del período seco la reserva del suelo es nula, en consecuencia, se empieza el cálculo de "R" con el primer mes húmedo y se asigna al mes anterior una reserva nula. Si, después de los cálculos, al final del período seco quedase agua en el suelo, se deberán recalcular las reservas agregando la reserva existente al final del período seco a las reservas del período húmedo. Si de nuevo se modificase la reserva del último mes seco se recalcularían otra vez. Si todos los meses son húmedos podemos utilizar los supuestos anteriores, pero en todo caso

llegaremos a que la reserva es igual a la reserva máxima para todos los meses. Si, por el contrario, todos los meses fueran secos, la reserva en todos los meses sería nula.

- **Variación de la reserva (ΔRE)**

Es la diferencia entre la reserva del mes y la del mes anterior:

$$VR_i = R_i - R_{i-1}$$

- **Evapotranspiración real (ETP)**

Es el volumen de agua que realmente se evapotranspira en el mes dependiendo de que haya suficiente agua disponible para evaporar y así llegar a la ET potencial o de referencia o no (por tanto, la ET_i es siempre mayor o igual a la ETR_i). El agua disponible para evaporar será la que cae como precipitación en el mes considerado y la que mantenemos en el suelo.

En el período húmedo, al cubrir la precipitación la demanda potencial la ET real es igual a la potencial; es decir, $ETR_i = ET_i$.

En el período seco, el agua que se evapora será el agua de precipitación más la que extraemos del suelo o variación de la reserva (la reserva que nos queda menos la que teníamos el mes anterior); es decir, $ETR_i = P_i + |VR_i|$.

- **Lluvia útil (LU)**

Una vez calculada la evapotranspiración real podemos conocer la lluvia útil (LU) mediante la ecuación: $LU = P - ETR$.

La lluvia útil tiene dos componentes la escorrentía y la infiltración. La escorrentía pasa a formar parte de los cursos de agua superficiales y la infiltración a engrosar la reserva útil (agua eficaz) y, contemplada ésta, sigue su recorrido hasta alcanzar un acuífero (agua profunda).

- **Déficit (DE)**

Es el volumen de agua que falta para cubrir las necesidades potenciales de agua (para evaporar y transpirar). Por tanto, la falta de agua es: $F_i = ET_i - ETR_i$.

- **Superávit (SU)**

Es el agua que excede de la reserva máxima y que se habrá perdido por escorrentía superficial o profunda. Por tanto:

$$Ex_i = [P_i - ET_i - VR_i] \text{ si } (P_i - ET_i) > 0$$

$$Ex_i = 0 \text{ si } (P_i - ET_i) \leq 0$$

Como es lógico sólo puede haber exceso si la precipitación ha compensado previamente la ET, es decir, en los meses húmedos.

- **Recarga (Re)**

El exceso de agua denominado superávit, una parte descargará a los ríos de forma más o menos diferida (escorrentía) y el resto se convertirá en recarga del acuífero (infiltración). Para el cálculo de la escorrentía (ES) e infiltración (I) se adopta un convenio, frecuentemente utilizado en hidrogeología, que asigna a cada una de ellas el 75% y 25%, respectivamente, del superávit que se produce una vez satisfecha la demanda de ETP y completada la reserva útil del suelo (Montaner Salas, Sánchez, & Serrano, 1988).

4.1.3.4.1.3 BALANCE HÍDRICO REPRESENTATIVO

El balance hídrico del suelo representativo para las microcuencas de estudio se presenta en la Tabla 4.10, en él se observa que la precipitación media anual es de 816.4 mm, la ETP alcanza un valor de 513.9 mm/año, se observa que hay déficit en los meses de mayo a octubre, las mayores recargas se dan en los meses de avenida (diciembre, enero, febrero, marzo y abril). Asimismo, la recarga se genera en los meses donde existen excedentes, se observa que la mayor recarga se da en el mes de febrero y la recarga estimada es de 86.1 mm/año.

Tabla N° 4.10 Cálculo de componentes del balance hídrico en el suelo

C ÀLCULO DE LOS COMPONENTES DEL BALANCE HÌDRICO EN EL SUELO											
METODOLOGÍA SEGÚN THORTHWAITE											
Reserva máxima											100
MESES	P (mm)	ETP (mm)	P-ETP	Clasificación de meses	RU (mm)	ΔRE (mm)	ETR (mm)	DE(mm) (ETP-ETR)	SU(mm) (PETR-ΔRU)	LU (mm) PETR)	I (mm) (0.25*SUP)
Reserva mínima					0						
Setiembre	16.30	40.20	- 23.90	Seco	0	-	16.30	23.90	-	-	-
Octubre	31.10	48.40	- 17.60	Seco	0	-	31.10	17.30	-	-	-
Noviembre	54.00	52.30	1.70	Húmedo	2	1.70	52.30	-	-	1.70	-
Diciembre	112.50	54.90	57.60	Húmedo	59	57.60	54.90	-	-	57.60	-
Enero	186.20	53.70	132.40	Húmedo	100	40.70	53.70	-	91.70	132.40	22.90
Febrero	198.10	47.60	150.50	Húmedo	100	-	47.60	-	150.50	150.50	37.60
Marzo	145.90	50.30	95.60	Húmedo	100	-	50.30	-	95.60	95.60	23.90
Abril	50.90	44.20	6.70	Húmedo	100	-	44.20	-	6.70	6.70	1.70
Mayo	10.00	36.10	- 26.10	Seco	74	- 26.10	36.10	-	-	-	-
Junio	3.80	26.30	- 22.50	Seco	51	- 22.50	26.30	-	-	-	-
Julio	4.00	25.40	- 21.40	Seco	30	- 21.40	25.40	-	-	-	-
Agosto	3.60	34.40	- 30.90	Seco	0	- 30.10	33.60	0.80	-	-	-
Total	816.40	513.80					471.80	42.00	344.50		86.10

4.1.4 INVENTARIOS DE FUENTES DE AGUA

4.1.4.1 INTRODUCCIÓN

La fase de exploración hidrológica e hidrogeológica ha comprendido el inventariado de las fuentes de agua ubicadas dentro del área de influencia del proyecto Pariguanas, que enmarca la Microcuenca Jallo, Microcuenca Sasahuille y la Microcuenca Palca; asimismo engloba la subcuenca Huancarama, localizada dentro de la cuenca Camaná comprendida dentro de la Región Hidrográfica del Pacífico.

Como se sabe, existen diversas manifestaciones de volúmenes hídricos en la naturaleza, dentro de los que podemos considerar a fuentes que emanan del subsuelo o fuentes subterráneas (manantiales, bofedales, fuentes termales) y aquellas que discurren superficialmente, originando almacenes naturales (lagos y lagunas) y cursos dinámicos (ríos, riachuelos, quebradas).

Estos volúmenes en desplazamiento tienen diversas manifestaciones dadas sus diversas fuentes de alimentación como los aportes de la precipitación, nevados y manantiales, asimismo tendrán influencia en la acción disociadora en el terreno por el cual se mueven, dando una característica de calidad de agua según la litología de donde se desplacen.

4.1.4.2 DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA

La metodología empleada para la elaboración del presente se constituye en dos fases: trabajo de campo y de gabinete.

4.1.4.2.1 TRABAJO DE CAMPO

Los trabajos de campo consistieron en la identificación y toma de datos de las principales características de las fuentes de agua superficial y subterránea existentes dentro del proyecto Pariguanas, comprendido el área de influencia de la bocamina Veta San Pedro (Nv. 4732).

Se hizo un recorrido por toda la zona en estudio, lo cual permitió conocer in situ las características hídricas de los ríos, quebradas y manantiales; en lo que se contó con mapas base de la zona en estudio, constatando in situ la referencia de las fuentes hídricas existentes, asimismo fue necesario contar con diversos instrumentos como el GPS navegador para determinar la ubicación y altitudes referenciales de las fuentes inventariadas, recipiente de volumen conocido para la determinación del caudal, cámara fotográfica y libretas de campo para la toma de datos in situ.

4.1.4.2.2 TRABAJO DE GABINETE

El trabajo de gabinete comprendió el procesamiento de los datos tomados en campo en hojas de cálculo, para ser exportados luego al software del sistema de información geográfica (SIG) y la consiguiente generación de un mapa representativo de inventario de aguas de la zona en estudio, asimismo comprendió el desarrollo descriptivo de las secciones correspondientes al presente capítulo.

4.1.4.3 FUENTES DE AGUA SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA

Dentro del proyecto Pariguanas, comprendido el área de influencia de la bocamina Veta San Pedro (Nv. 4732), se identificaron ríos y quebradas de importancia como el río Palca y las quebradas Sasahuille y Pucanangra, asimismo se identificaron manantiales y bofedales, en el recorrido de la zona de estudio, no se identificaron lagunas.

En la Tabla 4.11 se muestra el tipo y número de fuentes de agua identificadas dentro del proyecto Pariguanas, comprendido el área de influencia de la bocamina Veta San Pedro (Nv. 4732).

Tabla N° 4.11 Resumen general de fuentes de agua superficial y subterránea identificadas dentro del área de influencia de las bocaminas Veta San Pedro (Nv. 4732)

FUENTES DE AGUA SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA				TOTAL
RIOS	QUEBRADAS	MANANTIALES	BOFEDALES	
1	2	4	3	10

Fuente: Elaboración Propia.

4.1.4.3.1 QUEBRADAS Y RÍOS

4.1.4.3.1.1 QUEBRADAS

El inventario de quebradas dentro del proyecto Pariguanas, comprendido el área de influencia de la bocamina Veta San Pedro (Nv. 4732), se ha realizado considerando el concepto de que un río es un cauce natural con agua durante un año hidrológico, los otros cauces tienen la denominación de “quebradas”, que son una parte importante del sistema de drenaje de la cuenca durante la época de precipitaciones pluviales. Identificándose un total de 2 quebradas y un río.

La zona de estudio se ubica en la vertiente occidental andina, zona que se caracteriza por su relieve variado, donde son mayoritarios los relieves montañosos de pendientes empinadas a escarpadas, afectados por varias etapas de erosión glacial cuaternaria, que se alternan con altiplanicies y fondos de valle aluvial.

La quebrada Jallo, se encuentra ubicado en el sector norte del área del proyecto, tiene sus nacientes a una altitud aproximada de 4850 msnm de las filtraciones y de una pequeña distribución de riachuelos que se forman debido a las precipitaciones que escurren de los cerros Pucanagra y Yactayani, sus aguas discurren en dirección SE-O, haciendo su entrega al sistema hídrico del río Chuquipunco, el cual vierte sus aguas hacia el río Huancarama que a su vez desemboca en el río Orcopampa. Tiene una longitud de 5.0 km. A lo largo de su cauce recibe los aportes de pequeños afluentes que tienen sus nacientes en altitudes que sobrepasan los 4650 msnm, siendo el de mayor importancia la

denominada quebrada Pucanangra. Este curso de agua conforma la denominada microcuenca de la quebrada Jallo.

La quebrada Sasahuire, nace a los 4750 msnm, producto de las precipitaciones existentes en las alturas del cerro Sasahuire, sus aguas discurren de NE-O hacia el Río Choquipunco. Tiene una longitud de 3.1 km. Presenta un régimen de característica intermitente, es decir, que acarrear agua solamente durante la estación de lluvias que corresponde a los meses de enero a abril. Este curso de agua conforma la denominada microcuenca de la quebrada Sasahuire.

En la Tabla 4.12 se presenta un listado de las quebradas dentro del proyecto Pariguanas, comprendido el área de influencia de la bocamina Veta San Pedro (Nv. 4732), (**Ver Anexos: Anexo 09 – Planos N°09-IRQ-01 – Inventario de Ríos y Quebradas**).

Tabla N° 4.12. Quebradas identificadas dentro del proyecto Pariguanas, comprendido el área de influencia de la bocamina Veta San Pedro (Nv. 4732)

Denominación	Coordenadas Centrales UTM WGS84 Zona 18 S		Altitud (msnm)	Longitud (Km)	Características	Microcuenca y Bocaminas de influencia
	Este (m)	Norte (m)				
Quebrada Sasahuire	801435	8322409	4750	3.1	Q. Intermitente	Microcuenca Sasahuire-Veta San pedro
Quebrada Pucanangra	802486	8324392	4900	3.8	Q. Intermitente	Microcuenca Jallo



Imagen 4.4 Ubicación de la Quebrada Sasahuire, sobre una imagen satelital.

4.1.4.3.1.2 RÍOS

El río Palca es el principal sistema hidrográfico identificado dentro del área de influencia de las bocaminas Veta San Pedro (Nv. 4732), tiene sus nacientes a una altitud aproximada de 4900 msnm, sus aguas discurren en dirección NE-SW, hacia el río Chuquipunco, el cual vierte sus aguas hacia el río Huancarama. Presenta una cuenca de alimentación indistinta, ya que recibe los aportes de numerosos cursos de agua a lo largo de su recorrido pudiendo mencionar entre las más importantes a las quebradas Alvaro, Yaiculle y Condorcanka que a su vez reciben los aportes de pequeños afluentes localizados sobre los 4000 msnm. Presenta una longitud desde sus nacientes hasta su desembocadura de 9.3 km. Este curso de agua conforma la denominada microcuenca del río Palca.

En la Tabla 4.5, se presenta la ubicación del río Palca de influencia a la bocamina Veta San Pedro (Nv. 4732).

Tabla N° 4.13. Río identificado dentro del área de influencia de la bocamina Veta San Pedro (Nv. 4732)

Denominación	Coordenadas Centrales UTM WGS84 Zona 18 S		Altitud (msnm)	Longitud (Km)	Características
	Este (m)	Norte (m)			
Río Palca	802394	8319717	4900	9.3	Río de corriente permanente

Fuente: elaboración Propia

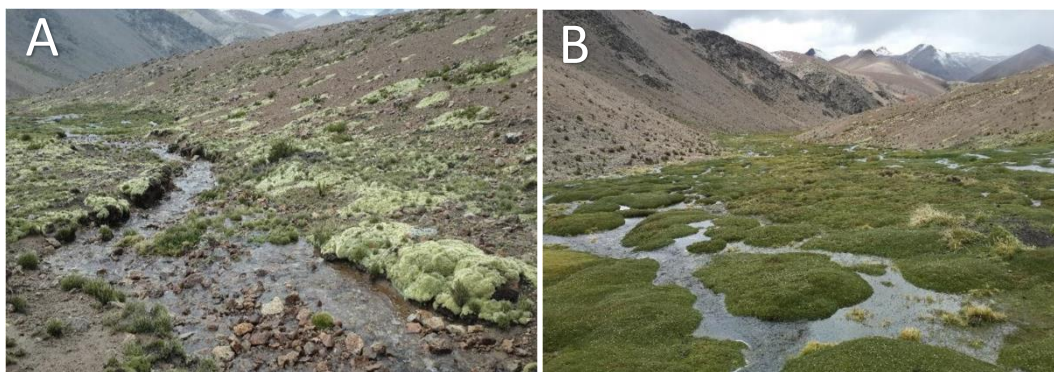


Imagen N° 4.5 (A) Naciente del río Palca (B) Continuidad del río Palca; Río de corriente permanente, Ubicado dentro del área del proyecto Pariguanas; BM San Pedro

4.1.4.3.2 MANANTIALES

Un manantial o naciente es una fuente natural de agua que brota de la tierra o entre las rocas, puede ser permanente o temporal. Se origina en la filtración de agua, de lluvia o de nieve, que penetra en un área y emerge en otra de menor altitud, donde el agua no está confinada en un conducto impermeable. Estas surgencias suelen ser abundantes. Los cursos subterráneos a veces se calientan por el contacto con rocas ígneas y afloran como aguas termales.

Dependiendo de la frecuencia del origen, un manantial o naciente puede ser efímero (intermitente), perenne (continuo), o artesiano.

Dentro del área de influencia del proyecto Pariguanas se ha registrado un total de (04) cuatro manantiales, cuya recarga básicamente se origina debido a las precipitaciones pluviales que se producen en las partes altas de la microcuenca. Cabe indicar que dentro del área de

influencia de la bocamina Veta San Pedro (Nv.4732) no se han identificado manantiales.

En la Tabla 4.14 se presenta la cantidad de manantiales identificados con su respectiva ubicación y caudales estimados. (Ver Anexos: Anexo 10 – Planos N°10: IBM – Inventario de bofedales y manantiales).

Tabla N° 4.14 Manantiales identificados dentro del área de influencia del Proyecto Pariguanas

Denominación	Coordenadas Centrales UTM WGS84 Zona 18S		Altitud (msnm)	Longitud (Km)	Características	Microcuenca
	Este (m)	Norte (m)				
SUB 01	803488	8323895	4857	0.17	Naciente de la Quebrada Pucanangra	Microcuenca Jallo
SUB 01	803510	8324028	4853	-	Naciente de la Quebrada Pucanangra	Microcuenca Jallo
SUB 03	802413	8324514	4665	0.17	Quebrada Pucanangra, parte media	Microcuenca Jallo
SUB 04	802399	8324573	4659	0.14	Quebrada Pucanangra, parte media	Microcuenca Jallo



Imagen N° 4.6 (A) Manantial SUB – 01; (B) Manantial SUB – 02; (C) Manantial SUB – 03; (D) Manantial SU3B – 04

4.1.4.3.3 BOFEDALES

Las bofedales son humedales de altura y se consideran praderas nativas de la región andina, poco extensa y con permanente humedad. Ocupa terrenos horizontales o pocos inclinados el cual proporciona al suelo la suficiente humedad proveniente de las filtraciones.

La flora que habita el bofedal recibe el nombre de “vegetales hidrofíticos”. Las bofedales se forman en zonas como las de los macizos andinos, ubicadas sobre los 3800 metros de altura, en donde las planicies almacenan aguas provenientes de precipitaciones pluviales, deshielo de glaciares y principalmente afloramientos superficiales de aguas subterráneas.

Se caracterizan por su vegetación semejante a un cojín y por su estructura, que podría compararse con la de una esponja, puesto que son colectores de agua.

Por eso están siempre verdes, ya que forman ojos de agua y hasta conservan corrientes subterráneas, recursos hídricos importantes en las zonas áridas del altiplano andino. Esta formación vegetal constituye una fuente importante de alimentación al ganado (camélidos) y a la fauna silvestre durante la época de estiaje por permanecer siempre verdes.

Del inventario efectuado, dentro del proyecto Pariguanas, se ha registrado 3 bofedales, ubicados aproximadamente sobre los 4500 msnm; cuya recarga básicamente se origina debido a las precipitaciones pluviales que se originan en las partes altas de las microcuencas (Ver

Anexos: Anexo 10 – Planos N°10: IBM – Inventario de bofedales y manantiales).

Tabla N° 4.15. Bofedales identificadas dentro del área de influencia de las bocaminas Veta San Pedro (Nv. 4732)

Denominación	Coordenadas Centrales UTM WGS84 Zona 18 S		Área (Km ²)	Perímetro (Km)	Altitud (m.s.n.m)	Microcuenca
	Este (m)	Norte (m)				
Bofedal Palca	804090	8322286	0.06	4.16	4803	Microcuenca Palca –Veta San Padre
Bofedal Pucanangra	803171	8323929	0.039	2.84	4794	Microcuenca Jallo
Bofedal Sasahuire	802603	8322699	0.041	4.11	4723	Microcuenca Sasahuire – Veta San Pedro

Fuente Propia.

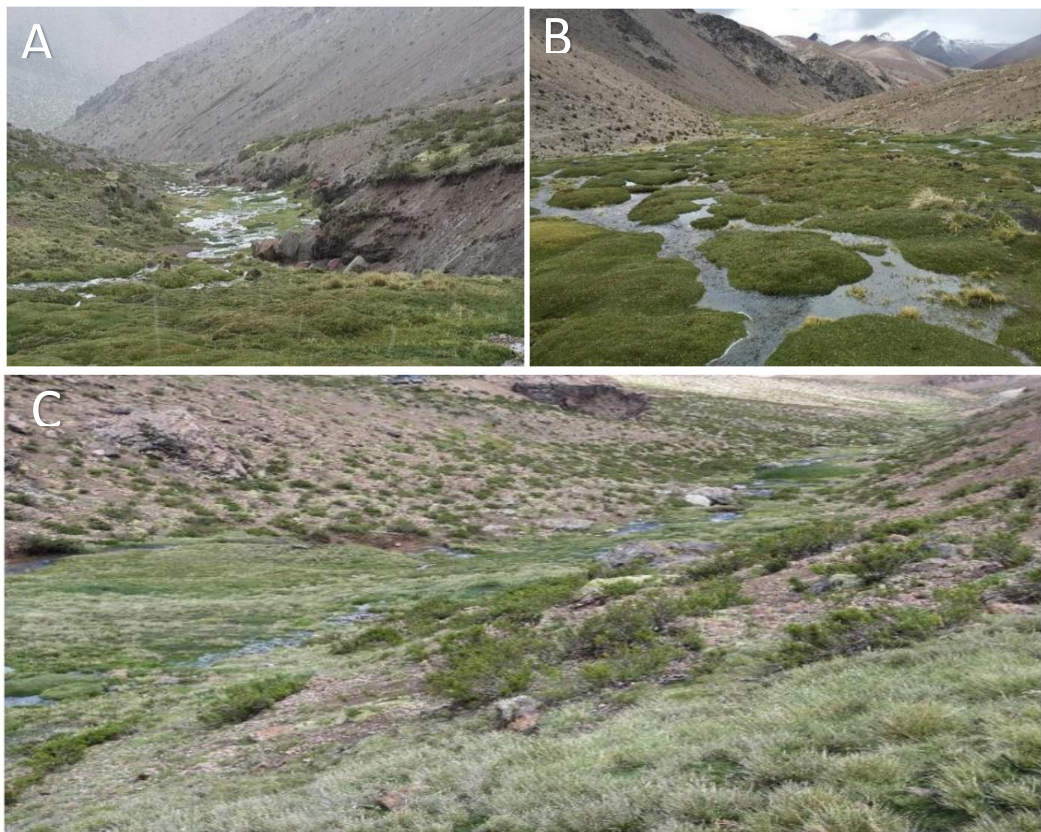


Imagen N° 4.7 (A) Bofedal Sasahuire; (B) Bofedal Palca; (C) Bofedal Pucanangra

4.1.4.4 PIEZOMETROS

Dentro del área del proyecto Pariguanas, se han identificado (07) siete piezómetros localizados sobre los 4500 msnm, en la Tabla

N° 4.8 se presenta la ubicación espacial de los piezómetros identificados con sus niveles, durante la elaboración del estudio; mediciones fueron realizados por personal de la Compañía de Minas Buenaventura S.A.A.

Tabla N° 4.16 Piezómetros identificados en el área del proyecto Pariguanas.

Piezómetros	Coordenadas Centrales UTM WGS84 Zona 18 Sur		Altitud (msnm)	Microcuenca y bocamina de influencia
	Este (m)	Norte (m)		
Piezómetro PZ-SP	802735	8322727	4749	Microcuenca Sasahuire - Veta San Pedro
Piezómetro PZ-04A	803768	8322594	4853	Microcuenca Palca - Veta San Pedro
Piezómetro PZ-04	803767	8322588	4855	Microcuenca Palca - Veta San Pedro
Piezómetro PZ-PT	802041	8324986	4634	Microcuenca Sasahuire
Piezómetro PZ-03	802244	8324366	4698	Microcuenca Jallo
Piezómetro PZ-01	803330	8322065	4866	Microcuenca Palca - Veta San Pedro
Piezómetro PZ-02	803512	8322237	4883	Microcuenca Palca - Veta San Pedro

Fuente: Elaboración Propia

A continuación, en la Tabla 4.17 se presentan los registros históricos de los niveles freáticos expresado en metros (m) para los piezómetros instalados en el área del proyecto de exploración minera Pariguanas y que son de influencia a las bocaminas Veta San Pedro. Se cuenta con dicha información desde el año 2013 hasta el presente año, la cual fue proporcionada por Compañía de Minas Buenaventura.

Tabla N° 4.17. Registro histórico de niveles freáticos (2013-2015)

Nivel freático (m)							
Año 2013							
Código	PZ-PT	PZ-SP	PZ-01	PZ-02	PZ-04	PZ-04A	PZ-03
Diciembre	6.55	4.53	22.6	-	-	-	-
Año 2014							
Enero	6.55	4.53	22.6				
Mayo	5.36	3.76	22.71				
Junio	5.35	3.92	23.03				
Julio	5.4	4.38	23.1	29.9			
Agosto	5.38	4.39	23.08	29.9			
Año 2015							
Febrero	4.72	2.76	21.95	29.28	62.19	9.04	62.59

Fuente: Compañía de Minas Buenaventura S.A.A.



Imagen 4.9 (A) Piezómetro PZSP, Localizado en las cercanías a la Boca mina San Pedro; (B) Piezómetro PZ04A, Localizado en cercanías al Bofedal 02 cercanías a la Boca mina San Pedro; (C) Piezómetro PZ04, Localizado en cercanías al Bofedal 02 cercanías a la Boca mina San Pedro; (D) Piezómetro PZPT, Localizado en cuenca Sasahuire.

4.1.4.5 BOCAMINAS - CAUDALES

A continuación, en la Tabla 4.18 se presentan los registros históricos de los caudales de las bocaminas San Pedro expresado en litros por segundo (l/s) localizados dentro del área del proyecto de exploración minera Pariguanas. Se contó con información desde el año 2013 hasta el año 2015, la cual fue proporcionada por Compañía de Minas Buenaventura.

Tabla N° 4.18. Registro histórico de caudales en bocaminas (2013-2015)

Caudal (l/s)	
Año 2013	
Código	EF-01 (Veta San Pedro)
Febrero	0.028
Agosto	1.887
Septiembre	0.14
Octubre	1.1
Noviembre	1.609
Diciembre	1.528
Año 2014	
Código	EF-01 (Veta San Pedro)
Enero	4.144
Febrero	0.3403
Marzo	3.95
Abril	3.65
Mayo	3.5
Junio	4
Julio	4
Agosto	3.885
Septiembre	3.885
Año 2015	
Código	EF-01 (Veta San Pedro)
Enero	0
Febrero	8.86 *

Fuente: Datos proporcionados por la compañía de minas Buenaventura S.A.A.

4.1.5 CALIDAD DE AGUA

4.1.5.1 INTRODUCCIÓN

Se realizó con el objeto principal de evaluar la composición química del agua retenida y su potencial de ataque químico sobre el concreto de los tapones propuestos para la bocamina San Pedro (Nv. 4732); bocamina de estudio.

Con el interés de conocer el estado actual de los cuerpos de agua de interior mina de las bocaminas de estudio, debido a que el ataque químico a lo largo del tiempo puede reducir la integridad de los tapones propuestos, se realiza el análisis de la calidad del agua, para así poder identificar los niveles de concentración de los parámetros físicos-químicos e inorgánicos presentes, determinando su origen, abundancia y distribución.

Para el desarrollo de este capítulo, fue considerado la toma de muestras de agua en las bocaminas de estudio, las cuales fueron tratadas y analizadas de acuerdo con los ensayos físicos y químicos a cargo del laboratorio de la empresa SGS del Perú S.A., el cual se encuentra acreditado ante el Organismo Peruano de Acreditación del Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual (INDECOPI).

4.1.5.2 METODOLOGÍA DE ESTUDIO DE LAS AGUAS

El presente estudio se realizó mediante una etapa inicial el cual se sustentó a través de la información obtenida por la Compañía de Minas Buenaventura y la programación de una visita de campo. Con ella se pudo dilucidar las acciones a realizar para el planteamiento del estudio.

4.1.5.2.1 ETAPA DE CAMPO

El reconocimiento de campo se realizó dentro del área de influencia de la bocamina de estudio y áreas adyacentes a estas, donde se identificaron los componentes hídricos superficiales y subterráneos, según los planos proporcionados por la mina.

Se realizó un recorrido por la zona de estudio, donde se identificaron las áreas de recarga del nivel freático, tomando en cuenta la presencia de corrientes de agua superficiales, Bofedales y manantiales.

Asimismo, se efectuó un reconocimiento litológico con la finalidad de verificar las estaciones de monitoreo y determinar las características físicas y químicas de las aguas mediante la toma muestras.

4.1.5.2.2 TOMA DE MUESTRA

El método empleado en la caracterización de las aguas de la bocamina denominadas Veta San Pedro (Nv. 4732), del proyecto de exploración minera Pariguanas, fue el establecido por el protocolo de monitoreo para la Calidad de aguas de la Dirección General de Asuntos Ambientales - Ministerio de Energía y Minas.

Los protocolos utilizados permiten el aseguramiento y control de la calidad de la labor de muestreo. Los análisis en laboratorio estuvieron a cargo del laboratorio de la empresa Certimin SAC y SGS del Perú S.A.

Las muestras de agua fueron colectadas en frascos de vidrio y plástico proporcionados por el laboratorio (según parámetros a evaluar), debidamente lavados y provistos de cierre hermético. Para la preservación de las muestras se adicionó soluciones químicas (como HNO_3 , NaOH , etc.). Posteriormente fueron etiquetadas, embaladas adecuadamente y se realizó el llenado de la “cadena de custodia” para el seguimiento histórico de las muestras desde la recolección hasta la presentación del informe.

Se almacenaron las muestras en cajas térmicas (Coolers) para su transporte y conservación a 4°C y garantizar la adecuada preservación hasta su entrega al laboratorio junto con su respectiva “cadena de custodia”. La conservación adecuada de las muestras es muy importante, ya que de ello dependerá evitar la desnaturalización y la pérdida de propiedades químicas que afecten.

4.1.5.2.3 METODOLOGÍA DEL LABORATORIO

4.1.5.2.3.1 PARÁMETROS DE CAMPO

En cada estación de monitoreo se determinaron los parámetros de campo, los cuales reflejan las condiciones reales de las aguas de interior mina de la bocamina Veta San Pedro (Nv. 4732); determinando la temperatura, pH y conductividad eléctrica, mediante el equipo multiparámetro, y el caudal se aforó mediante el uso del correntómetro, de esta manera se pudo conocer los valores de los parámetros fisicoquímicos al momento del muestreo para la estación actual.

4.1.5.2.3.2 ESTACIONES DE MUESTREO

Para el estudio se realizó la caracterización en un punto estratégico de control, con el objetivo de cuantificar la composición química del agua de interior mina de la bocamina Veta San Pedro (Nv. 4732). En la Tabla 4.19 se muestra la ubicación de los puntos de muestreo de calidad de agua.

Tabla N° 4.19. Ubicación de los puntos de muestreo de calidad de agua

Código	Descripción	Este (m)	Norte (m)	Altitud (msnm)
EF-01	Efluente San Pedro	802691	8322622	4510

Fuente: SGS del Perú SAC-Certimin S.A.

4.1.5.2.3.3 ANÁLISIS DE MUESTRAS – LABORATORIO

Las muestras obtenidas de agua fueron analizadas por los laboratorios de las empresas SGS del Perú S.A. y Certimin S.A. en los siguientes parámetros. (Ver Tabla 4.20)

Tabla N°4.20 Parámetros a analizar

Aniones	Cloruros, sulfatos
Cationes	Metales Totales a través ICP MASAS: Al, Sb, As, Ba, Be, Bi, B, Cd, Ca, Co, Cu, Cr, Sn, Sr, P, Fe, Li, Mg, Mn, Hg, Mo, Ni, Ni, Ag, Au, Pb, K, Se, Si, Na, Ta, Ti, U, V, Zn.
Parámetros Físicos	pH Conductividad eléctrica

Fuente: SGS del Perú SAC-Certimin S.A.

4.1.5.2.3.4 ETAPA DE GABINETE

- **Procesamiento de datos**

Para las aguas procedentes de las bocaminas Veta San Pedro (Nv. 4732); se procedió a comparar los resultados con la norma ASTM C94 (Especificación Normalizada para concreto premezclado), en donde se indican los límites químicos para el agua de mezcla del concreto.

Para una mejor apreciación y análisis de los resultados se procedió a la normalización de los datos mediante la razón entre el valor reportado por el laboratorio, sobre el valor máximo permitido por la categoría. (Ver Tabla 4.21).

Tabla N° 4.21. Límites Químicos del Agua de Mezcla (según ASTM C94)

Sustancias químicas	Concentración máxima * (mg/L)	Método de ensayo **
Cloruro (Cl) Concreto prensado Otro concreto armado en ambientes húmedos o que contengan aluminio u otros metales o piezas de metal galvanizado	500 1,000	CSA A 23.3-5B
Sulfato (SO ₄)	3,000	ASTM D516
Álcalis (Na ₂ O + 0.658 K ₂ O)	600	
Sólidos Totales	50,000	AASHTO T26

* El agua de lavado que se reusa como agua de mezcla para el concreto puede exceder las concentraciones indicadas de cloruro y sulfato si se comprueba que la concentración calculada en el agua de mezcla total, incluyendo el agua de mezcla de los agregados y otras fuentes no excede los límites impuestos.

** Pueden usarse otros métodos de ensayo que se haya demostrado arrojan resultados comparables.

Para condiciones que permitan el uso del acelerador CaCl_2 como aditivo, el propietario puede ignorar el límite de cloruro.

Fuente: Guía para el diseño de tapones para el cierre de labores mineras – MEM

Los límites presentados en la Tabla 4.21 deben considerarse como recomendaciones aceptables, a menos que se tomen precauciones especiales. Por lo general, si las condiciones a las que debe quedar expuesto el tapón cumplen con uno o más de los siguientes criterios, el medio debe ser considerado agresivo:

- Un valor de pH menor de 4.5;
- Una resistividad menor de 2000 ohm-cm;
- Presencia de sulfuros o sulfatos;
- Presencia de corrientes extrañas; y
- Antecedentes de ataque químico a estructuras de concreto previas.

4.1.5.2.3.5 CONTROL DE CALIDAD DE LOS DATOS ANALÍTICOS

a) Corrección entre sólidos disueltos, suma de iones y la conductividad

La suma de los iones, analizados por ICP-MS/OES e IC, tiene que ser similar a los sólidos totales disueltos (STD, mg/l), determinados gravimétricamente tras secado de la muestra a 104 ± 1 °C, mayores divergencias ocurren sobre todo debido a errores en la cuantificación de los metales en el ICP-MS o por subestimación de HCO_3 .

Mientras más alta sea la concentración de sólidos totales disueltos (STD en mg/l), más alta será la concentración de iones que puedan transportar carga y en consecuencia más alta la conductividad eléctrica (conductividad en uS/cm) medida in situ. Ambos parámetros correlacionan estrechamente y proveen así una buena correlación mutua. Puntos lejos de la línea de correlación, indican un error en el análisis de uno de los parámetros.

b) Muestras en Blanco (QA/QC)

Durante una campaña se suele preparar por lo menos dos muestras en blanco (B1 y B2) con agua destilada pura. Se agrega los mismos preservantes, usando los mismos procedimientos de preparación para las otras muestras de campo, y al final son analizados en laboratorio, junto con las muestras. Eso provee un mecanismo de QA/QC que ayude a evaluar:

- El error instrumental (ruido analítico y desplazamiento de fondo) y
- La presencia de contaminantes en los frascos, filtros y preservantes utilizados.

c) Análisis de duplicados (QA/QC)

Muestras duplicadas son obtenidos de algunos sitios para proveer una indicación de la varianza de cada parámetro analizado causado por:

- Errores instrumentales
- Errores de muestreo

Las pocas excepciones suelen ser concentraciones cerca del LD, donde pequeños errores insignificantes se magnifican a divergencias visibles entre las dos muestras.

Los estándares con determinada concentración de parámetros, que utilizan los laboratorios por su propio QA/QC, proveen un control de calidad adicional. Esos resultados suelen ser prácticamente idénticos, porque son solamente afectados por el error instrumental, no por los errores del procedimiento de muestreo.

4.1.5.2.4 METODOLOGÍA DEL ANÁLISIS DE RESULTADOS

La metodología de análisis de resultados o el procesamiento de datos incluye lo siguiente:

- Comparación con la norma ASTM C94 – Especificación Normalizada para concreto premezclado, donde se indican los límites químicos para el agua de mezcla del concreto.
- Interpretación geológica de resultados.
- Determinación de acuerdo con la caracterización de las aguas de interior mina de las bocaminas Veta San Pedro (Nv. 4732) del tipo de cemento a utilizar para la construcción de los tapones propuestos.

4.1.5.3 RESULTADOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

4.1.5.3.1 RESULTADO DE CAMPO

Los resultados de los parámetros de campo, para las aguas de interior mina de las bocaminas Veta San Pedro (Nv. 4732), se muestran en la Tabla 4.22.

Tabla N° 4.22. Resultados de datos de campo para aguas de interior mina procedente de las bocaminas Veta San Pedro (Nv. 4732).

Código	Descripción	STS (mg/l)	pH (unidades de pH)	Conductividad Eléctrica (μS/cm)	Caudal (l/s)
EF-01	Efluente Veta San Pedro	82*	7.66*	66..90*	8.86*

Fuente: SGS del Perú SAC - Certimin S.A

*Parámetros referenciales tomados del informe de laboratorio elaborado por SGS del Perú – febrero del 2015.

*Datos de caudal (l/s) tomados en campo por personal de la empresa Consymin Ingenieros SAC - febrero del 2015

4.1.5.3.2 Resultado del pH

De la Tabla 4.26 se observa que el pH de las aguas procedentes de la bocamina Veta San Pedro (Nv. 4732), se presenta con una tendencia ligeramente básica con un pH de 7.66; de acuerdo con la guía GARD¹

Asimismo, la tendencia ligeramente alcalina (7.66 unidades de pH) presente en la muestra de agua analizada en el punto EF-01 (bocamina Veta San Pedro), se produce probablemente por la presencia del ión calcio en las rocas andesíticas, tobas y lapillis emplazadas en la formación Alpbamba de tipo volcánico.

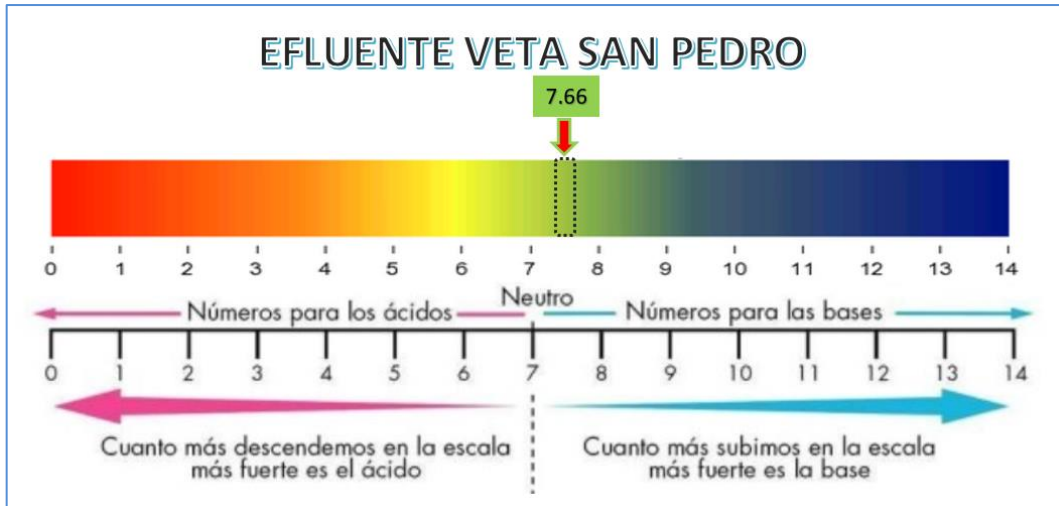


Figura N° 4.26 Resultado del pH del efluente Veta San Pedro (Nv.4732)

4.1.5.3.3 RESULTADO DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

La conductividad eléctrica de un electrolito se puede definir como la capacidad de este para transmitir una corriente eléctrica. La conductividad dependerá en este caso de la cantidad de iones disueltos en el mismo, de la carga y motilidad de estos iones, y de la viscosidad del medio en el que se hallan disueltos. Si el medio fuera agua, tenemos que la viscosidad de esta disminuye con la temperatura, de modo que la conductividad eléctrica aumentará en los electrolitos cuyo solvente es agua, a medida que la temperatura suba.

Para el caso de las aguas procedentes de las bocaminas Veta San Pedro (Nv. 4732); se observa una baja conductividad eléctrica, situación concordante con una baja presencia de iones que sean capaces de transportar electrones. En otras palabras, en aguas que poseen baja conductividad eléctrica, se espera que existan bajas concentraciones de aniones y cationes disueltos.

4.1.5.3.4 RESULTADOS DE SÓLIDOS TOTALES SUSPENDIDOS

La concentración de este parámetro en las aguas procedentes de las bocaminas Veta San Pedro (Nv. 4732), muestran valores muy por debajo del valor límite establecido en la norma ASTM C94 (50,000 mg/l). ver., Figura 4.27

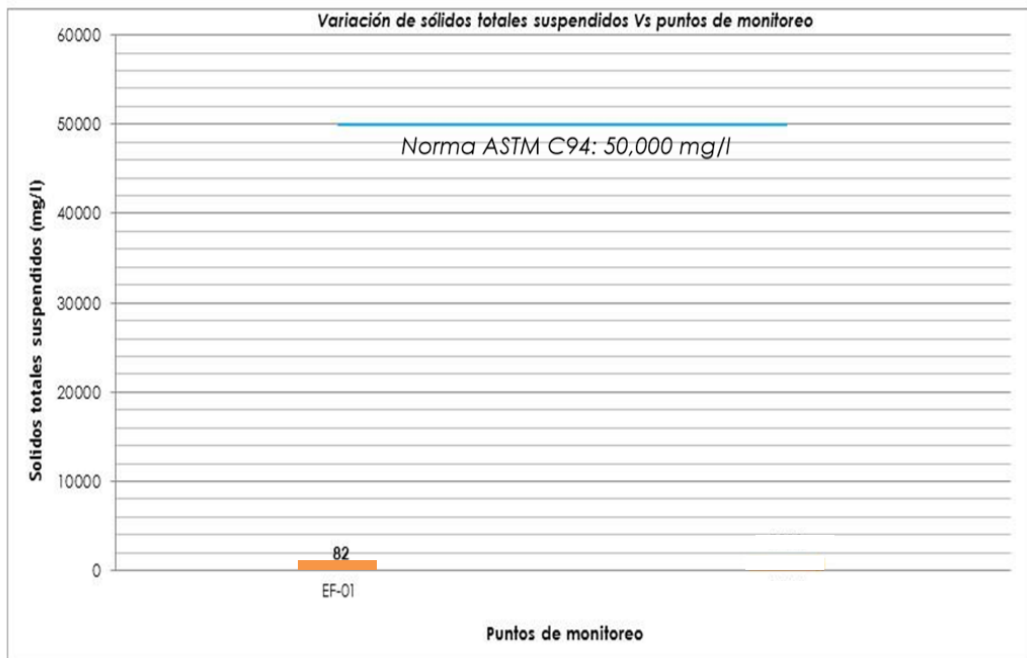


Figura N° 4.27 Variación de sólidos totales suspendidos de agua subterránea procedentes de las bocaminas Veta San Pedro (Nv. 4732).

4.1.5.3.5 RESULTADO DE LABORATORIO

La totalidad de las muestras fueron analizadas por el laboratorio certificado Certimin y SGS.

A continuación, se presentarán algunas aproximaciones simples, para aniones y cationes estudiados. En concreto, se compararán estos resultados con la norma ASTM C94 (Especificación Normalizada para concreto premezclado).

4.1.5.3.5.1 ANÁLISIS DE LABORATORIO: ANIONES

A continuación, se presentan los resultados para análisis de aniones, de acuerdo con la metodología descrita por Certimin y SGS en sus informes, en la siguiente tabla.

Tabla N° 4.23. Análisis de aniones para aguas de interior mina procedentes de las bocaminas Veta San Pedro (Nv. 4732).

Código	Descripción	Sulfatos mg/l
EF-01	Efluente Veta San Pedro	29.66*

Fuente: SGS del Perú SAC - Certimin S.A

*Parámetros referenciales tomados del informe de laboratorio elaborado por SGS del Perú – junio del 2014.

❖ Sulfatos

La concentración del ión sulfato presente en las muestras de agua analizadas en interior mina de las bocaminas Veta San Pedro (Nv. 4732), muestran valores bajos de concentración, lo que explica la presencia de minerales sulfurados como la pirita en las rocas andesíticas.

Cabe señalar que dichos valores en los puntos EF-01 no sobrepasan el nivel límite establecido en la norma ASTM C94 (3000 mg/l). (Ver Fig 4.28)

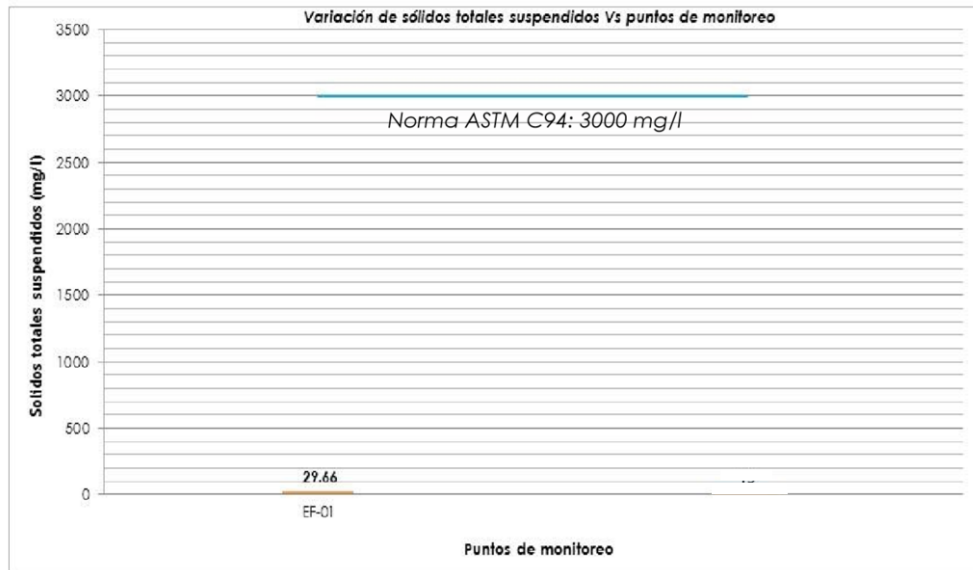


Figura N° 4.28. Variación de sulfatos de agua subterránea procedentes de las bocaminas Veta San Pedro (Nv. 4732).

4.1.5.3.5.2 Análisis de Laboratorio: Cationes

Los componentes mineros que sirven de entrada desde la superficie hasta la zona en la que se emplaza el depósito mineral son más conocidos como bocaminas, por estas zonas se produce también el escape de las aguas de infiltración, fenómeno producido en las zonas más altas y que compromete a sistemas porosos y permeables asociados de manera tal que la conducción o movimiento de las aguas se produzca en coincidencia con la estructura de entrada, habiéndose manifestado a través de filtraciones durante las labores en el proceso extractivo.

Evidentemente estos volúmenes encontrados en el entorno rocoso encuentran una vía de salida hacia la superficie, área en la que la presión litostática es nula y la presión hidrostática es la única que origina su movimiento; el agua que recorre estas estructuras posee características físicas y químicas singulares e independientes de todos los drenajes superficiales comparables a ella.

Una de las características más resaltantes en este aspecto es el contenido iónico metálico; generalmente las áreas de bocamina son las que encuentran un mayor volumen mineralizado, siendo esto también presumible por parte de las aguas que encuentran salida a través de las infiltraciones, pues entran en contacto con el depósito mineralizado poseedor de mayores leyes o valores proporcionales metálicos.

A continuación, se presentan los resultados para análisis de cationes, de acuerdo con la metodología descrita por Certimin y SGS en sus informes, estos resultados son presentados en la Tabla 4.23. Se observa que, para la totalidad de cationes analizados, solo son 6 aquellos que presentan concentraciones relativamente altas; estos son Al, Fe, Mn, Ca, Zn y As.

Esto tiene directa relación con el pH del medio, así como también, con la mineralogía de la zona en donde se encuentra emplazado el lugar de estudio.

Tabla 4.23 cationes analizados

Código	EF-01*
Cromo total	0.004
Litio total	-
Aluminio total	-
Manganeso total	-
Cobalto total	-
Niquel total	-
Cobre total	0.008
Zinc total	0.0824
Arsénico total	0.265
Plata total	-
Cadmio total	0.0002
Plomo total	0.0044
Magnesio total	-
Hierro total	6.685
Calcio total	-
Potasio total	-
Sodio total	-
Boro total	-
Berilio total	-
Selenio total	-
Bario total	-
Mercurio total	0.00028

Fuente: SGS del Perú SAC - Certimin S.A

*Parámetros referenciales tomados del informe de laboratorio elaborado por SGS del Perú – febrero del 2015.

Los amplios rangos obtenidos para casi todos los parámetros de calidad ponen de manifiesto los distintos orígenes de las aguas, siendo el tipo de material que atraviesan y el tiempo de contacto los factores que determinan su composición.

Cabe señalar, que la concentración de los principales elementos de naturaleza alcalina (Na, K, Ca y Mg), evaluadas en las aguas de interior mina de la bocamina Veta San Pedro, se encuentran en concentraciones relativamente bajas no sobrepasando el valor límite establecido en la norma ASTM C94 (600 mg/l). (Ver Tabla 4.23).

4.2 PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.2.1 MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL

4.2.1.1 LITOESTRATIGRAFÍA

La litología predominante de la Unidad Parihuanas están constituidos por ígnimbritas consistentes de una unidad de tobas de cenizas riolíticas, ricas en cristales y fuerte a pobremente soldadas de color canela claro, contiene 15-35% de fenocristales de plagioclasas, sanidina, biotita hornblenda, ortopiroxeno, rutilo, esfena y circón, en el área del proyecto están constituidos básicamente por rocas volcánicas tobácea blanquecina de composición mayormente dacítica brechoides , variando a latítica, meteorizada con matices amarillentos.

El espesor de los paquetes varía entre 150 – 200 m aproximadamente en la zona del proyecto. Sobre ella en discordancia angular el grupo Barroso, la cual litológicamente está determinada como lavas andesíticas ignimbríticas ligeramente meteorizadas; además de se han identificado derrames lávicos principalmente de naturaleza riolítica, variando a dacíticas con tonalidades grises claras a oscuras. La textura de la roca es porfirítica con fenocristales bien desarrollados de plagioclasas y biotita con abundante cuarzo de composición dacítica. Estos minerales están englobados en matriz afanítica, gris oscura o clara. También es común dentro de la unidad la presencia de flujos afaníticos gris claros o gris rosados con estructuras vesiculares. Así mismo constituyendo los depósitos más recientes del área de estudio son aquellos materiales poco o nada consolidados de naturaleza aluvial, glacial y morrénicos (fluvioglacial).

Figura N° 4.29. Columna Litoestratigráfica de la zona de estudio

ERA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS			SISTEMA DOMO-LAVA	
CENOZOICA	CUATERNARIO	HOLOCENA	Dep. Aluvial	Qh-al	Gravas, arenas y limos cubiertos por vegetación		
			Fluvioglaciaris	Qpl-fg	Gravas en matriz arenosa		
			Dep. Morrenicos	Qpl-mo	Fragmentos volcánicos en matriz limo arcillosa		
		PLEISTOCENA	Gpo. Barroso	Fm. Barroso 3	NQ-ba3	Lavas afaníticas de color negro a gris de composición andesítica.	
				Unidad Lávica	NQ-ba/an	Lavas andesíticas, gris oscuras afaníticas	Np-di Domo-lava Riolítico
	NEÓGENO	PLIOCENA	Gpo. Tacaza	Miembro Alpabamba 1	Nm-at	Tobas dacíticas brechoideas	Tobas brechoideas
				Unidad Parihuana	Nm-pa	tobas soldadas gris claro-amarillo	gris claro a verdes
		MIOCENA	Fm. Orcopampa	Miembro Aycaje	Nm-ta-or/ay	Andesitas grises porfíricas	
				Miembro Manto	Nm-ta-or/ma	Tobas e ignimbritas gris claras a gris amarillas	
				Miembro Sta. Rosa	Nm-ta-or/sr	Aglomerados, brechas de flujo y lavas gris oscuras, gris claras, gris verdosas, gris violáceas y gris amarillentas	

4.2.1.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Desde el punto de vista estructural, la zona de estudio se halla inmersa en la región tectónica, conocida como “Zona de Fallamiento en Bloques”, donde la serie rocosa volcánica de edad miocena expone un plegamiento comparativamente débil, debido sólo a los efectos de la fase Quichuana de la Orogenia Andina, que se halla representado por pliegues abiertos y de corto recorrido. La formación Orcopampa presenta pliegues cuyos ejes tienen una dirección predominante N-S; en cambio, la formación Alpabamba presenta un plegamiento más apretado, debido a sus paquetes rocosos menos competentes.

En tanto, las fallas siguen una dirección NO-SE y son mayoritariamente de desplazamiento de rumbo, con sistemas generalmente conjugados. Subsidiariamente, un juego de fallas de naturaleza mayormente tensional y de dirección NE-SO (transversales a las fallas de desplazamiento de

rumbo), ocurre en esta zona estructural, afectándolas en su rumbo y buzamiento o truncando su recorrido.

4.2.1.3 HIDROESTRATIGRAFÍA

La identificación de las unidades litológicas desde el punto de vista hidrogeológico comienza con:

- El estudio de la geología regional (ubicación, identificación, descripción de las rocas y propiedades hidrogeológicas inherentes), la litología, la posición estratigráfica y estructural.
- La geomorfología ligados a procesos de dinámica externa: erosión, transporte y sedimentación dan lugar a diversos depósitos: fluviales, glaciales, aluviales y otros que constituyen acuíferos.
- Medidas de las frecuencias de fracturas y fallas en los afloramientos de rocas que conforman los sistemas fisurados acuíferos.

Una unidad hidroestratigráfica se caracteriza por el grado variable de almacenar y transmitir agua, bajo este punto de vista la terminología aplicada a cada unidad hidrogeológica será la siguiente:

4.2.1.3.1 Unidad Hidrogeológica no consolidada

Se restringe a los materiales cuaternarios, las cuales están situados en el fondo de los valles, materiales aluviales, glaciares, coluviales, lacustres y morrénicos. Se trata de acumulaciones de material de algunas decenas de metros de espesor máximo que se comportarán como un acuífero propiamente dicho favoreciendo el flujo horizontal a

través de las capas sedimentarias de permeabilidad diferencial que los conforman. También lo son aquellos materiales cuaternarios de espesor variable que aparecen dispersos en las vertientes de la zona estudiada.

Existe una estratificación vertical de las permeabilidades con las profundidades (a excepción de los materiales cuaternarios de fondo de valle) de las formaciones rocosas de la zona, disminuyendo la permeabilidad con la profundidad, debido a la menor fracturación y apertura de las fracturas en profundidad, debe ser tomada en cuenta en la conceptualización, dado que limitará los flujos en profundidad. De acuerdo con las pruebas hidrodinámicas, se ha estimado el valor de su permeabilidad en 9×10^{-4} m/s.

4.2.1.3.2 Unidad Hidrogeológica Volcánica Fisurada

Son unidades hidrogeológicas cuya producción y almacenamiento de aguas subterráneas es en las fisuras, fracturas y en una escasa porosidad primaria (porosidad intergranular).

Este tipo de acuíferos se caracterizan por tener caudales de descarga bajos, pero un rendimiento más permanente, es decir que su caudal se mantiene durante gran parte del año, debido a que la velocidad de flujo interno en la zona saturada es lenta. Durante la temporada de lluvias se recargan de manera paulatina, incrementando su caudal de descarga ligeramente.

En la zona existe un entorno de acuíferos fisurados, las aguas infiltradas circulan por las rocas fracturadas, fisuradas, por los planos de

estratificación y junta y zonas de contacto entre la formación Alfabamba y el grupo Barroso, compuestos por tobas y domos riolíticos, y derrames clastolíticos. En este tipo de acuífero el flujo subterráneo circula principalmente a través de fracturas y planos de estratificación, las cuales podrían estar eventualmente conectadas entre sí y manifestarse en superficie a través de filtraciones o manantiales, como en el caso de la formación Alfabamba que pueden constituir acuíferos locales de pequeño interés con productividad baja. De acuerdo con las pruebas hidrodinámicas, se ha estimado el valor de su permeabilidad en $1e^{-6}$ m/s.

4.2.1.3.3 Unidad Hidrogeológica Acuitardo

Son unidades hidrogeológicas que contienen agua y la transmite muy lentamente. Los Acuitardos representan otras unidades hidrogeológicas muy diferenciables en la zona de estudio. Se caracterizan por ser poco productores de agua y que, al ser estratos poco permeables, controlan la descarga y el flujo de las aguas subterráneas.

En la Figura 4.29 se observan las principales unidades litoestratigráficas como unidades hidrogeológicas aflorantes en superficie.

La acumulación y descarga de aguas subterráneas en este tipo de rocas es local, pero debido a su poca capacidad de almacenamiento, localmente pueden tener cierta importancia en aquellas zonas fracturadas.

En el área de estudio la conforman las rocas correspondientes al neógeno cuaternario, con formación de acuíferos locales (detríticos o

fisurados) o algunas zonas sin agua subterránea al en zonas fracturadas o meteorizadas en formaciones consolidadas, sin excluir acuíferos cautivos más productivos (permeabilidad baja a muy baja), constituidos por andesitas y tobas; además de areniscas, limolitas y arcillas. Además de las que están localizados en las capas subyacentes a las rocas volcánicas. Constituidos por la Formación Arcurquina y la Formación Murco de origen sedimentario, debido al aumento de la presión litostática con la profundidad y al menor intemperismo y desagregación de las rocas. Esta unidad hidrogeológica no aflora en la zona de estudio, pero se infiere a mayor profundidad. De acuerdo con las pruebas hidrodinámicas, se ha estimado el valor de su permeabilidad en $7e^{-7}$ m/s.

4.2.1.4 PRUEBAS HIDRODINÁMICAS

Se han realizado investigaciones de la hidráulica subterránea en cuatro puntos, los cuales se emplazan en distintas zonas del área del proyecto, de estos valores, se han estimado las permeabilidades de las unidades hidroestratigráficas descritas anteriormente. En la Tabla 4.24 se han estimado los valores de permeabilidad considerando el alcance máximo del piezómetro PZ-03, dado las características del alcance en profundidad de las investigaciones desarrolladas.

Tabla N° 4.24 Valores de permeabilidad considerando el alcance máximo del piezómetro PZ-03

Punto	Nivel	Permeabilidad
Pz-03	Detrítico	0.000897
	Fisurado	$1.02 e^{-06}$
	Acuitardo	$7.22 e^{-07}$

4.2.1.5 RECARGA Y DESCARGA DEL ACUÍFERO

El relieve topográfico juega un papel importante en la recarga del acuífero, la fuente de toda el agua subterránea en el área de estudio es la infiltración producto de las precipitaciones. Esta infiltración ocurre en casi toda el área del proyecto, excluyendo solo aquellos puntos en donde el agua subterránea descarga en la superficie. El agua que se infiltra a nivel subterráneo (precipitación que no es perdida por evaporación o escorrentía superficial) fluye aguas abajo y lateralmente hacia el fondo de los drenajes donde descarga al flujo de agua superficial.

El trasvase de agua subterránea desde las microcuencas vecinas se realiza por fallas geológicas presentes en la zona. La recarga de la zona de estudio se produce en las partes altas de las microcuencas del área de estudio, en las unidades geomorfológicas de estribaciones andinas, en estos sectores se producen los mayores procesos de precipitación, abarcando áreas que superficialmente superan los 12 Km².

4.2.1.5.1 RECARGA DEL ACUÍFERO A PARTIR DE LA PRECIPITACIÓN

El porcentaje de precipitación que se transforma en recarga es comúnmente usado en modelos y se calcula a partir del caudal base (descarga correspondiente al periodo de estiaje). El incremento según la altitud está relacionado con la morfología de las microcuencas de estudio; en nuestro caso, el área de estudio presenta extensas áreas planas con

presencia de zonas hidromórficas, medio apropiado para la infiltración, influyen además las formaciones geológicas, fallas estructurales, procesos de meteorización, etc.

Según el análisis realizado en el balance hídrico de suelos se estimó una recarga del 11% de la precipitación total anual, que es una precipitación de 86.1 mm/año.

4.2.1.5.2 DESCARGA DEL ACUÍFERO

Las zonas de descarga se emplazan en la base de la microcuenca, donde se acumulan los flujos del río Huancarama y de Palca, las zonas de descarga se encuentran principalmente en los sectores inferiores de los valles interandinos, encontrando contacto con superficie a través de quebradas y surgencias alrededor de los lechos fluviales o en surgencias por debajo de éstos. Además, presenta una descarga artificial producto de la BM Cruzero 730 en el Sector San Pedro, con caudales promedios de 2.4 m³/día.

Estas áreas de descarga generalmente cubren superficies mayores a los 4 Km² y sigue orientaciones de flujos dirigidos hacia las zonas de menor carga hidráulica.

Las zonas de descarga del acuífero en la zona de estudio es el mismo río Huancarama y de Palca, que reflejan los caudales bases en el tiempo de estiaje, así como manantiales existentes en la zona, además de la descarga artificial producto de las labores subterráneas. (Ver Figura 4.30).

En el capítulo de hidrología se determinó el caudal base en el cual se han obtenido los valores del caudal base para cada una de las quebradas y ríos analizados.

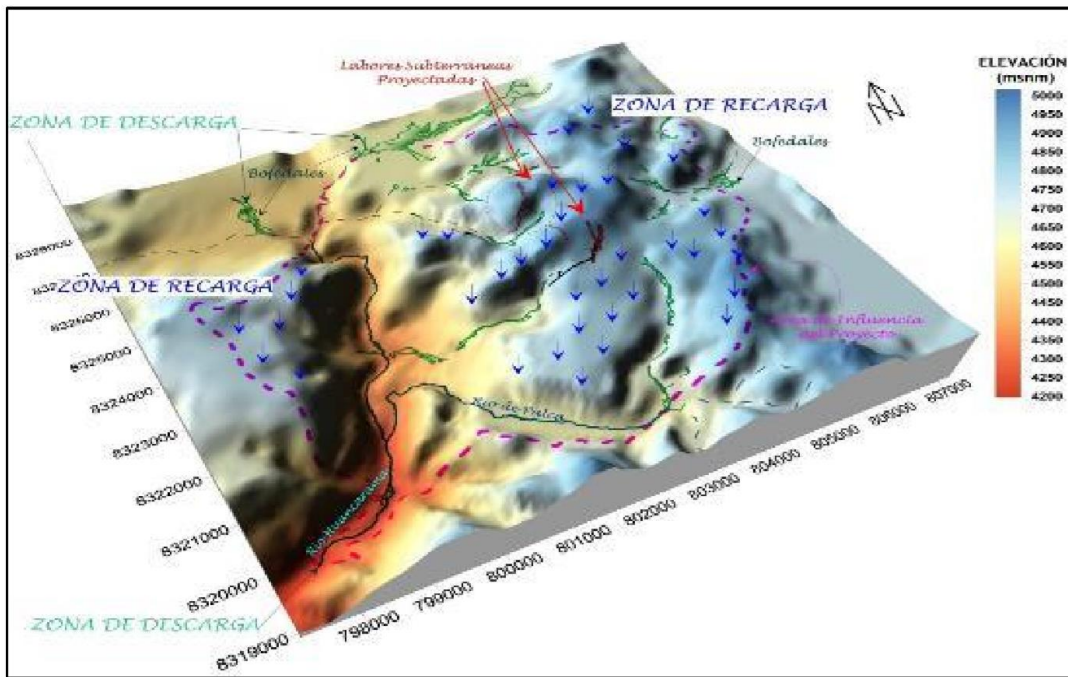


Figura N° 4.30, Zonas de recarga y descarga de la zona de estudio

4.2.1.6 HIDRODINÁMICA SUBTERRÁNEA

El flujo del agua en el acuífero en la zona de estudio es en medio detrítico y fisurado, con un solo sistema de recarga.

El sistema de recarga es el que se produce por la lenta infiltración de la lluvia desde la superficie, es decir la infiltración que se produce a través de los materiales del cuaternario no consolidados o parcialmente consolidados, los cuales se conectan por sectores y a su vez pasan a formar parte del acuífero fracturado.

El reservorio acuífero en la zona de estudio se encuentra dividido en dos zonas importantes; la primera de ellas constituida por el acuífero sub

superficial poroso no consolidado; el segundo acuífero está constituido por materiales de origen volcánicos con presencia de fracturas y fallamientos, éstos son los que principalmente influyen en la zona de la bocamina San Pedro, hacia el Sur, siendo que las fisuras suelen darle direccionalidad en función a la orientación de las bocaminas, de noreste hacia suroeste para la Bocamina San Pedro. (Ver Figura 4.31).

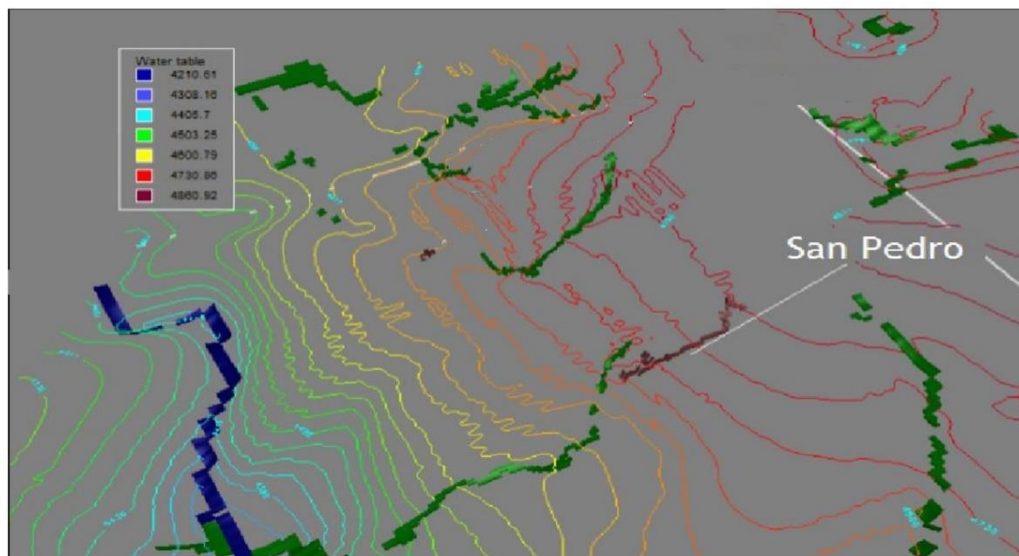


Figura N° 4.31. Niveles freáticos de la zona de estudio

Así mismo se puede inferir que el flujo subterráneo alimenta a varias fuentes de aguas superficiales naturalmente, tales como quebradas, ríos, bofedales y manantiales, constituyendo además fuente de su caudal base. En la Figura 4.32 se demuestra la influencia de las aguas subterráneas especialmente en la presencia de manantiales, los cuales constituyen las manifestaciones superficiales de las aguas subterráneas, siendo además que están influenciadas en cuanto a calidad debido a los procesos de interacción hidrogeoquímica, dadas las características mineralizadas de las aguas que han sido evaluadas y la presencia de mineralización metálica de alta sulfuración en el macizo rocoso, la variación de caudales en la misma

son de 62 a 13 metros cúbicos por día, expresándose así la limitada movilidad de aguas por los medios rocosos, además de la influencia de las zonas de recarga, manifestadas por la presencia de manantiales y zonas de fisura hacia las cabeceras de las principales cuencas.

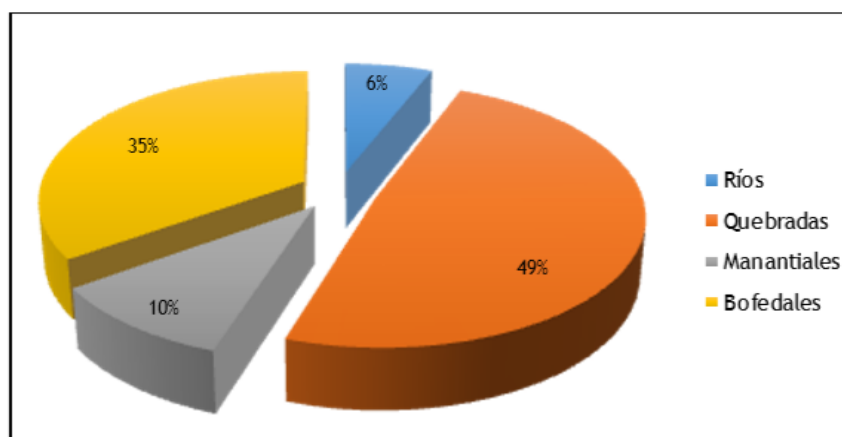


Figura N° 4.32. Fuentes de agua de influencia del proyecto

4.2.1.7 GEOMETRÍA DEL RESERVORIO DEL ACUÍFERO

4.2.1.7.1 FORMAS Y LÍMITES

La forma del acuífero de la zona de estudio es de forma poligonal irregular con flancos moderadamente empinados; de tipo libre y fracturado heterogéneo y anisótropo, donde el agua subterránea se desplaza por medios porosos y medios fracturados. El acuífero está delimitado verticalmente por el grupo Yura de origen sedimentario. En épocas de lluvia la infiltración es mayor, lo que genera la recarga del acuífero fracturado. El movimiento del agua es complejo, pero siempre es por la red de grietas interconectadas y a favor de diferencias de carga hidráulica o presión piezométrica.

Los materiales que de preferencia son propicios como medios permeables son los depósitos sedimentarios fluviales, fluvioglaciares, aluviales y coluviales. La permeabilidad de éstos depende básicamente de la cantidad de arcilla que se presente dentro de la matriz de las rocas y del grado de compactación y cementación que tengan.

Es muy importante analizar la conexión hidráulica entre el agua subterránea y el agua superficial en la zona de recarga, pues aumenta el volumen y el flujo de agua.

En época de lluvia la infiltración a través de los materiales del cuaternario es mayor lo que genera la recarga del acuífero.

En acuíferos de este tipo se distinguen también una zona saturada y una zona no saturada. En la zona de estudio el movimiento del agua es complejo, el cual se produce por medio del flujo intergranular a través de los sedimentos no consolidados o parcialmente consolidados y luego por una red de grietas interconectadas y a favor de diferencias de carga hidráulica o presión piezométrica.

4.2.1.7.2 TIPO DE ACUÍFERO

El acuífero del área de estudio es de tipo libre, determinado esto por los niveles de saturación encontrados a presión atmosférica; adicionando que es del tipo fracturado a semifracturado por la permeabilidad que presenta la roca y que va en descenso en relación con la profundidad, como muestran los resultados de las pruebas hidráulicas realizados para este propósito.

4.2.1.7.3 NIVEL FREÁTICO

De los puntos observados, se observa una variación del nivel freático, siendo que muy cerca de las quebradas y áreas de recarga superficial, los mismos están muy cerca de la superficie (PZ-PT y PZ-SP); no siendo así para aquellos sectores elevados y con presencia de fisuras, en los que el nivel de agua varía desde los 21 hasta los 62 metros, probablemente relacionada a la movilidad del agua subterránea en un medio fisurado. (Ver Tabla 4.25).

Tabla N° 4.25. Niveles freáticos en piezómetros

Nivel Freático (m)						
Puntos observados	PZ-PT	PZ-SP	PZ-01	PZ-03	PZ-04	PZ-04A
Febrero	4.72	2.76	21.95	62.59	62.19	9.04

4.2.1.7.4 PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREÁTICO

La profundidad del nivel freático en el área del proyecto varía desde los 21.95 m (PZ-01) de profundidad en la zona sur del emplazamiento de las labores subterráneas, lavas riolíticas de la Laguna Corococha; hasta los 2.76 m (PZ-SP) de profundidad en la zona de humedales altoandinos, al suroeste del proyecto.

4.2.1.7.5 FLUCTUACIONES DEL NIVEL FREÁTICO

Las variaciones de los niveles freáticos generalmente tienen comportamiento estacional, es decir, varían de acuerdo a la época del año, elevándose mayormente en los meses de avenidas (época de lluvias) debido principalmente a las precipitaciones mayores, sucediendo lo contrario en la época de menor precipitación (época de estiaje), donde

el acuífero subterráneo va disminuyendo su recarga por ende su nivel freático por efecto de las bajas precipitaciones en el área.

4.2.1.8 PREDICCIONES DE REBOTE HIDRÁULICO CONCEPTUAL

4.2.1.8.1 EL REBOTE HIDRÁULICO

El rebote del agua de mina es el proceso donde los trabajos de minado subterráneo se someten a dos fenómenos sucesivos a los efectos del relleno o taponeo de sus estructuras, el primero, de inundación luego del cese del drenaje artificial (canales dispuestos en las galerías), a menudo ocasionando el incremento de flujos concentrados en áreas delimitadas por zonas libres de taponeo.

Consecuentemente es recomendable un manejo de aguas de mina con desarrollo de estrategias de prevención y mitigación de impactos. Estos efectos pueden ser positivos o negativos ambiental e hidrológicamente, teniendo en cuenta además que éstos se inician durante la etapa de extracción y luego del cierre de las bocaminas. Estos efectos se grafican en la siguiente figura, indicándose los niveles piezométricos antes, durante y luego de las actividades de minado, para los efectos del presente modelo, luego del taponeo de las bocaminas.

4.2.1.8.2 EFECTOS PROBABLES

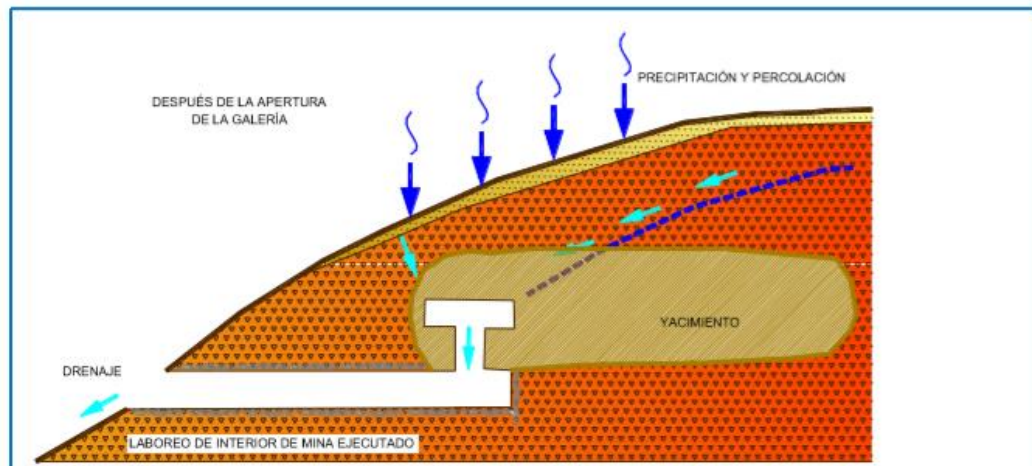
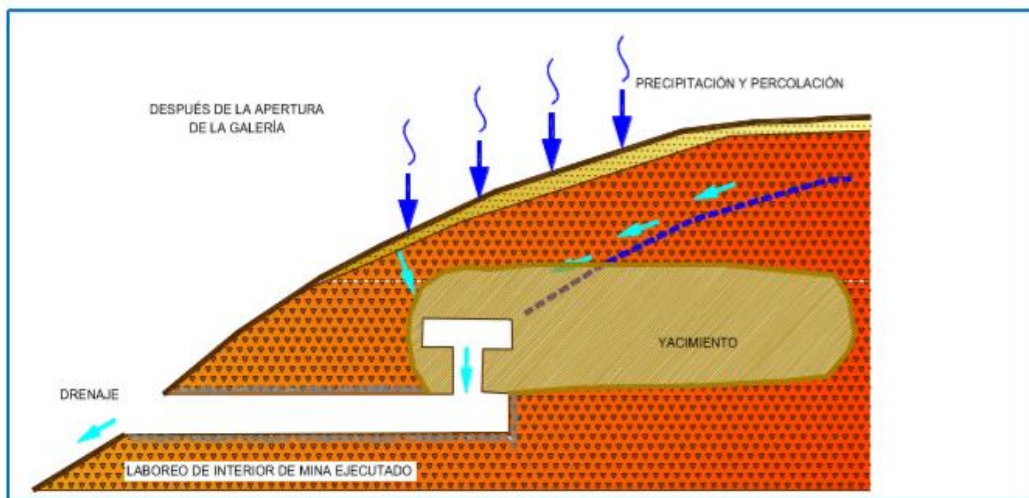
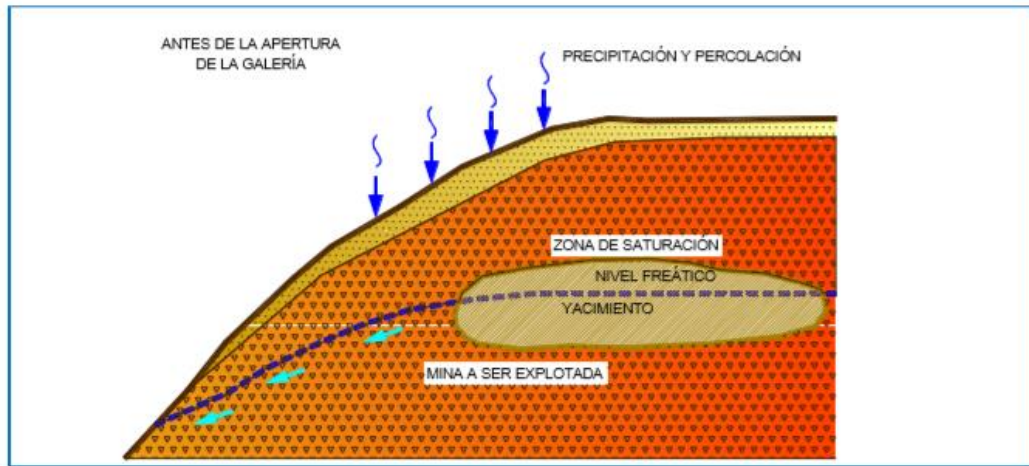
A efectos del cierre o taponeo de las entradas o zonas internas de las galerías (siendo la bocaminas San Pedro zonas de drenaje probado en flujos menores a los 0.5 litros por segundo), tratándose de sistemas de minado largos e interconectados, éstos están afectados al fenómeno de

rebote hidráulico, donde los espacios inicialmente vacíos se llenarán de agua gradualmente hasta un nivel de flujo superior, en donde entrarán en contacto con espacios fracturados del macizo rocoso (valores de permeabilidad máximos de $1e^{-6}$ m/s), generándose así una superficie de ascenso piezométrico, controlado por la susceptibilidad hidrogeológica de los macizos rocosos y sedimentos Inconsolidados suprayacentes, siendo posible además el afloramiento del agua en superficie a manera de manantiales o el incremento de flujos en los cauces superficiales. Así, se estima las cargas máximas de ascenso de cargas hidráulicas, tal y como se muestran en la Tabla 4.26

Tabla N° 4.26. Cargas Hidráulicas estimadas para la zona de estudio

BOCAMINA	Permeabilidad Máxima (m/s)	Ascenso Máximo (m)	Ascenso Mínimo (m)	Promedio de rebote (m)
San Pedro	$1.02e^{-06}$	90	35	62.5

El ascenso del nivel piezométrico a zonas previamente secas generará un incremento en sus propiedades de deformación (tener en cuenta la presencia de materiales finos, limos y arcillas) las cuales sometidas a esfuerzos compresivos (en presencia de agua) tienden a deformarse con mayor facilidad, generándose zonalmente áreas de subsidencia. Es preciso señalar que el hundimiento de los terrenos a efectos del humedecimiento del subsuelo es progresivo y suele estar sujeto no solamente al fenómeno de rebote, sino también a las condiciones de carga que se producen sobre superficie (construcciones o estructuras), esto se grafica en la Figura 4.33



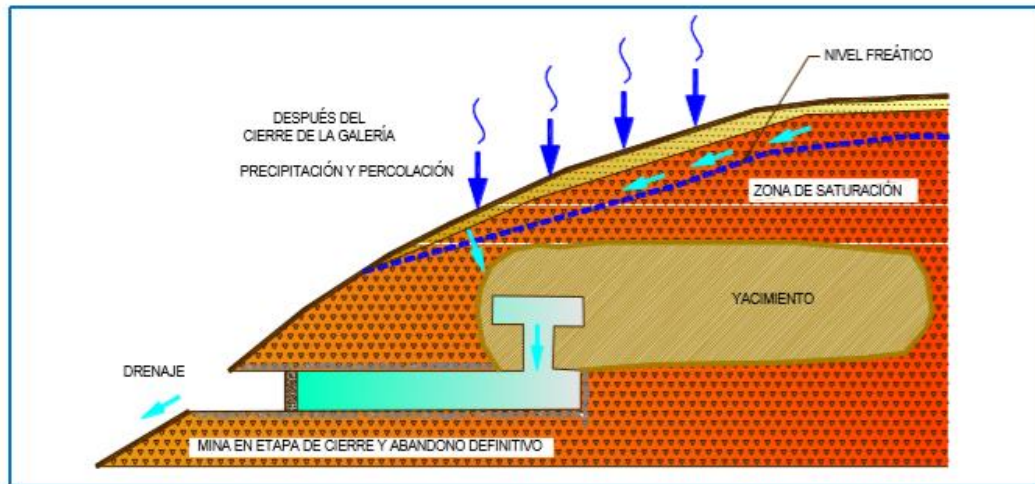


Figura N° 4.33. Rebote Hidráulico conceptual

4.2.2 DISEÑO GEOTÉCNICO – GEOMECÁNICA

4.2.2.1 ALCANCE

El alcance del diseño está referido al diseño de tapones herméticos a nivel de factibilidad, comprendiendo los siguientes aspectos principales:

4.2.2.2 OBJETIVO DE ESTUDIO

El objetivo principal del presente proyecto radica en impactar positivamente en el mejoramiento del medio ambiente en el cual se ubican las galerías de acceso de estos túneles.

Desde el punto de vista del Diseño, el presente proyecto contempla poner a disposición de la empresa la definición de las obras de cierre (tapones) apropiadas para garantizar el sellado hermético de la sección en cada uno de los túneles existentes, mediante la disposición de tapones conformados de concreto anclados sobre roca. Considerando que las

galerías de los túneles actualmente se encuentran en estado húmedo de acuerdo con lo verificado en campo.

4.2.2.3 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

En base al requerimiento del proyecto del cierre de las galerías en el túnel: Nivel 4732 San Pedro, el proyecto propone el cierre con tapones de concreto proyectados en los sitios siguientes: (Ver Anexos: Anexo 05 – Planos: DT (Plano de ubicación y diseño de tapones)).

4.2.2.4 EVALUACIÓN GEOMECÁNICA BOCA MINA - GALERÍA SAN PEDRO

Para la ubicación, diseño y construcción de tapones de cierre hermético y tratamientos complementarios de la galería en plan de cierre, se ha desarrollado una metodología que consiste en la aplicación de los criterios como RMR de Z.T. Bieniawski (1989); y el RMI de Plamastron (1995) en sus versiones vigentes y que son de dominio del ámbito profesional de la ingeniería para proyectos de mecánicas de rocas.

Al realizar el procesamiento de los datos recogidos en campo y analizando los factores que condicionan el comportamiento del macizo rocoso en el área que corresponde a la veta San Pedro; se ha visto por conveniente realizar el diseño en progresivas y evaluación por línea de detalle como se muestra en las siguientes progresivas.

4.2.2.4.1 EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PROGRESIVA 0+055 A 0+095

4.2.2.4.1.1 MAPEO GEOMECÁNICOS PROGRESIVA 0+055 A 0+095 (RMR DE BIENIAWSKI-1989)

Los resultados del mapeo geomecánico entre las progresivas 0+055 a 0+095m, indican la presencia en promedio de 5 sistemas de discontinuidades con ligera variación en el buzamiento y dirección de los buzamientos como se aprecia en los siguientes datos de 82°/155°; 66°/250°; 81°/50°; 60°/270°; 33°/135; siendo las características estimadas promedio de: 25 – 50 MPa de resistencia a la compresión uniaxial; RQD entre 50 – 75%, espaciamentos entre 60 – 200 mm, persistencias para las diaclasas entre <1 y 1-3 m respectivamente, aperturas desde cerradas hasta abierta, de tendencia rugosa, relleno blando menor a 5 mm, altamente alterado, condición goteo constante y orientación de discontinuidades regular a la labor.

Las condiciones de la calidad de las tobas dáciticas brechoides de colores gris amarillentos de textura porfiritica favorables para la consolidación (Valoración de la Masa Rocosa según Bieniawski, 1989), tiene un RMR promedio de 38 (considerándose como una Roca Clase IV – MALA de sub clase IV A).

4.2.2.4.1.2 MAPEO DE DISCONTINUIDADES PROGRESIVA 0+055 A 0+095 (RMI DE PLAMSTRON-1995)

El macizo rocoso presenta zonas de debilidad (perturbado / abierto) con pliegues / fallas y bloques angulares con calidad de macizo rocoso (RMI = 0.14) muy bajo según Palmstrom, calidad del macizo rocoso moderado (RMR = 38 en techo y hastiales) según Bieniawski y de calidad de macizo rocoso según Q – Barton, extremadamente mala (Q techo = 0.03 y Q hastiales = 0.03), con condiciones favorable de formación de bloques (Sr techo = 15.37 y Sr hastiales = 15.37), se concluye:

- Existen problemas potenciales por esfuerzos; en las zonas más críticas de debilidad se produce deformación leve según el Q – Barton (1993) y con presencia de material triturado en el macizo rocoso según RMI (1995).
- Según RMR (1989), el RMR calculado se limita solo a zonas visibles de debilidad de la labor, lo que tiene coincidencia con el RMR de Bieniawski (1989)
- Según el Q de Barton, la labor se limita por la existencia del material triturado.
- Según el RMI, las zonas de debilidad necesitan más evaluaciones.

4.2.2.4.2 PROYECCIÓN ESTEREOGRÁFICA PROGRESIVAS 0+060 A 0+062

El estudio estereográfico permitió conocer las principales familias de discontinuidades que son representativas para el área de estudios de la bocamina San Pedro, mediante la aplicación del software Rocscience, esta proyección se realiza con relación al eje de la bocamina con dirección de N 82°.

Procesado los datos tomados, se tiene 05 familias principales de discontinuidades con buzamiento y dirección de buzamiento:

Discontinuidades	Buzamiento	Dirección Buzamiento
1m	33°	135°
2m	66°	250°
3m	60°	270°
4m	81°	50°
5m	82°	155°

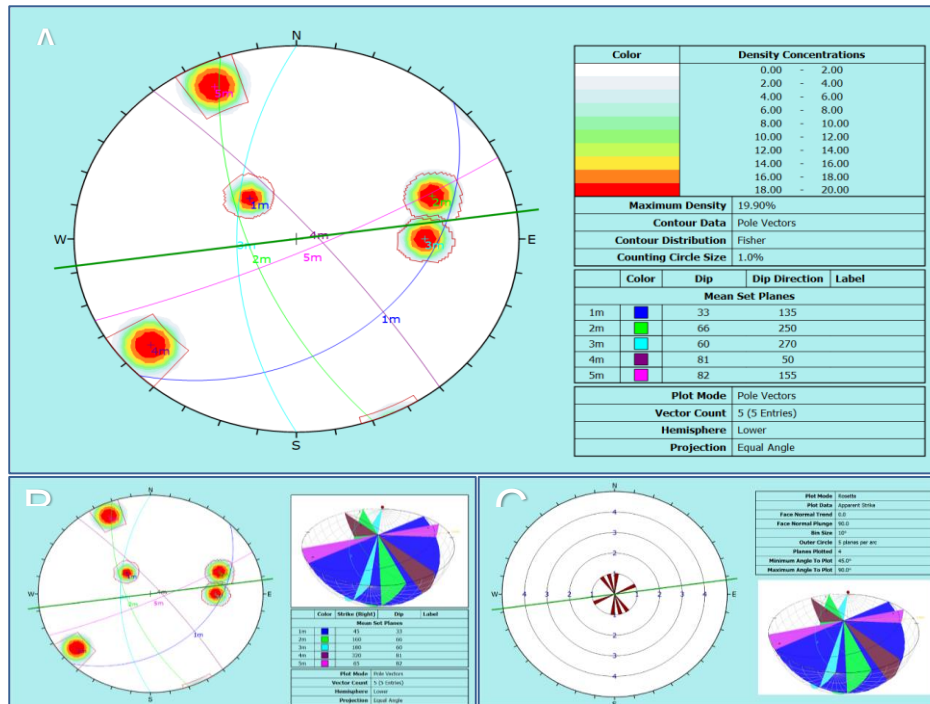


Figura N° 4.33 (A, B) Diagrama estereográfica de la bocamina San Pedro-Progresiva 0+060 – 0+062, con los 5 principales sistemas de discontinuidades. (C) Diagrama de rosetas, en la cual nos indica el predominio de la Dirección de las discontinuidades.

Como se puede apreciar en estos resultados, están marcadamente bien definidos 5 sistemas típicos que se resumen:

Sistema 01.- Es un sistema conformado principalmente por diaclasas con dirección de buzamiento promedio 135° y buzamiento promedio de 33° expresados en Rumbo y Buzamiento $N45^\circ E$ y $33^\circ SE$.

Sistema 02.- Es un sistema conformado principalmente por diaclasas y tiene dirección de buzamiento promedio 250° y buzamiento promedio de 66° expresados en Rumbo y Buzamiento $S20^\circ E$ y $66^\circ SW$.

Sistema 03.- Es un sistema conformado principalmente por diaclasas y tiene dirección de buzamiento promedio 270° y buzamiento promedio de 60° expresados en Rumbo y Buzamiento $N-S$ y $60^\circ SW$.

Sistema 04.- Es un sistema conformado principalmente por diaclasas y tiene dirección de buzamiento promedio 50° y buzamiento promedio de 81° expresados en Rumbo y Buzamiento $N40^\circ W$ y $81^\circ NE$.

Sistema 05.- Es un sistema conformado principalmente por diaclasas y tiene dirección de buzamiento promedio 155° y buzamiento promedio de 82° expresados en Rumbo y Buzamiento $N65^\circ E$ y $82^\circ SE$.

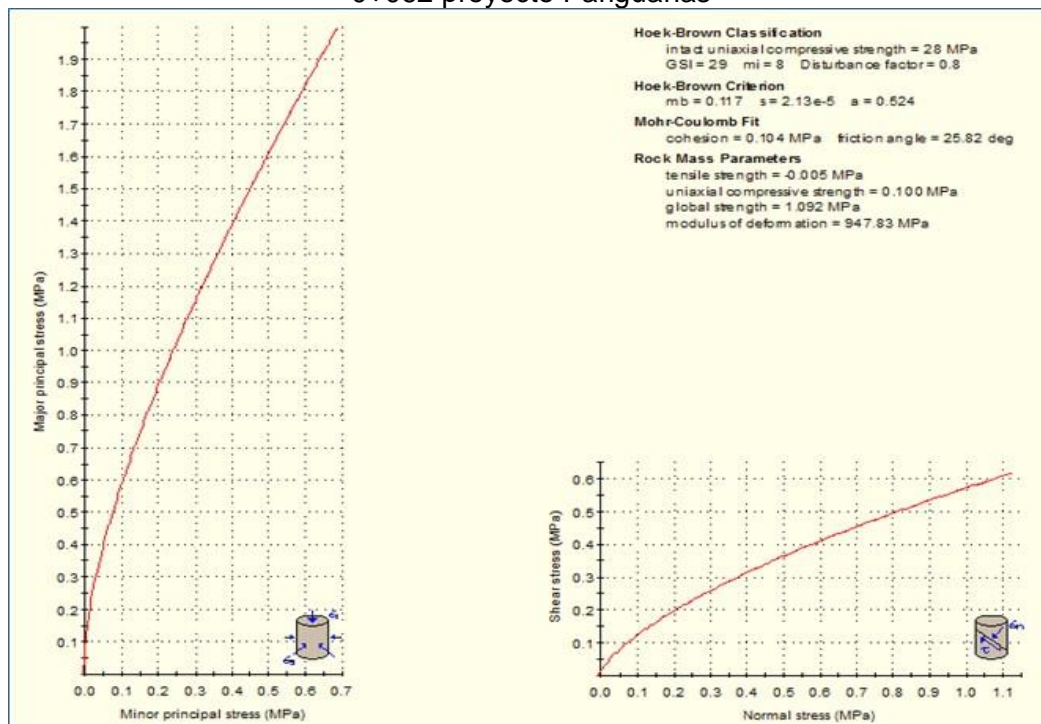
Se aprecia también la dirección de la labor que sigue un rumbo de $N82^\circ$

4.2.2.4.2.1 CRITERIO DE ROTURA ESTIMADA DE LA PROGRESIVAS 0+060 A 0+062

Para la caracterización del macizo rocoso según el criterio de Hoek y Brown generalizado utilizando el software Rocscience con los siguientes parámetros:

Resistencia de la Roca Intacta	: Entre 25 - 50 MPa
Geological Strength Index	: 29
Mi (factor de roca: volcánico)	: 8
Factor de Perturbación	: 0.8
Peso Unitario de la roca	: 0.0249 MN/m ³
Esfuerzo de Compresión del Macizo Rocosos	: 0.100 MPa.
Esfuerzo al Corte del Macizo Rocosos	: - 0.005 MPa
Esfuerzo Global	: 1.092 MPa
Módulo de Deformación del Macizo Rocosos	: 947.83 MPa
Parámetros Estimados de Hoek – Brown (Criterio de Rotura del Macizo)	
mb	: 0.117
s	: 2.13e ⁻⁰⁵
a	: 0.524
Parámetros Estimados del Macizo Rocosos de Mohr – Coulomb	
Cohesión	: 0.104 MPa
Angulo de Fricción	: 25.82°

Figura N° 4.34 Criterio de rotura estimada bocamina san pedro – prog 00+060 a 0+062 proyecto Pariguanas



4.2.2.4.3 EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PROGRESIVA 0+095 A 0+115

4.2.2.4.3.1 MAPEO GEOMECÁNICOS PROGRESIVA 0+095 A 0+115 (RMR DE BIENIAWSKI-1989)

Los resultados del mapeo geomecánico entre las progresivas 0+095 a 0+115 m, indican la presencia en promedio de 5 sistemas de discontinuidades y una falla con ligera variación en el buzamiento y dirección de los buzamientos como se aprecia en los siguientes datos de 81°/215°; 65°/345°; 16°/353°; 82°/114°; 82°/20° y 73°/280° respectivamente distribuidas en la progresiva, además del rumbo de la labor N82°, siendo las características estimadas promedio de: 25 – 50 MPa de resistencia a la compresión uniaxial; RQD entre 50 – 75%, espaciamientos entre 60 – 200 mm, persistencias para las diaclasas entre <1 y 1-3 m respectivamente, y para la falla con persistencia > 20 m aperturas para las diaclasas de condiciones angostas a abiertas, de tendencia ligeramente rugosa, relleno blando a duro, altamente alterado, condición húmedo constante y orientación de discontinuidades desfavorable a la labor.

Las condiciones de la calidad de las tobas dacíticas brechoides de colores gris amarillentos de textura porfirítica favorables para la consolidación (Valoración de la Masa Roca según Bieniawski, 1989), tiene un **RMR promedio de 42** (considerándose como una Roca Clase III – REGULAR de sub clase III B).

4.2.2.4.3.2 MAPEO DE DISCONTINUIDADES PROGRESIVA 0+095 A 0+115 (RMI DE PLAMSTRON-1995)

El macizo rocoso presenta zonas de debilidad (perturbado / abierto) con pliegues / fallas y bloques angulares con calidad de macizo rocoso ($RMI = 0.26$) moderado según Palmstrom (1995), calidad del macizo rocoso admisible ($RMR = 44$ en techo y hastiales) según Bieniawski y de calidad de macizo rocoso según $Q - Barton$, extremadamente mala (Q techo = 0.06 y Q hastiales = 0.06), con condiciones admisibles de formación de bloques ($Sr = 48.86$), se concluye:

- Existen problemas potenciales por esfuerzos; en las zonas más críticas de debilidad se produce deformación leve según el $Q - Barton$ (1993) y con presencia de material triturado en el macizo rocoso según RMI (1995).
- Según RMR (1989), el RMR calculado se limita solo a zonas visibles de debilidad de la labor.
- Según el Q de Barton, la labor se limita por la existencia del material triturado.
- Según el RMI, las zonas de debilidad necesitan más evaluaciones.

4.2.2.4.3.3 PROYECCIÓN ESTEREOGRÁFICA PROGRESIVAS 0+099 A 0+103

El estudio estereográfico permitió conocer las principales familias de discontinuidades representativas para el área de estudios de la bocamina San Pedro, mediante la aplicación del software Rocscience, ésta proyección se realiza con relación al eje de la bocamina con dirección de N 82°.

Procesado los datos tomados, se tiene 05 familias principales más 01 falla de discontinuidades con buzamiento y dirección de buzamiento:

Discontinuidades	Buzamiento	Dirección Buzamiento
1m	16°	353°
2m (F)	73°	280°
3m	65°	345°
4m	82°	20°
5m	81°	215°

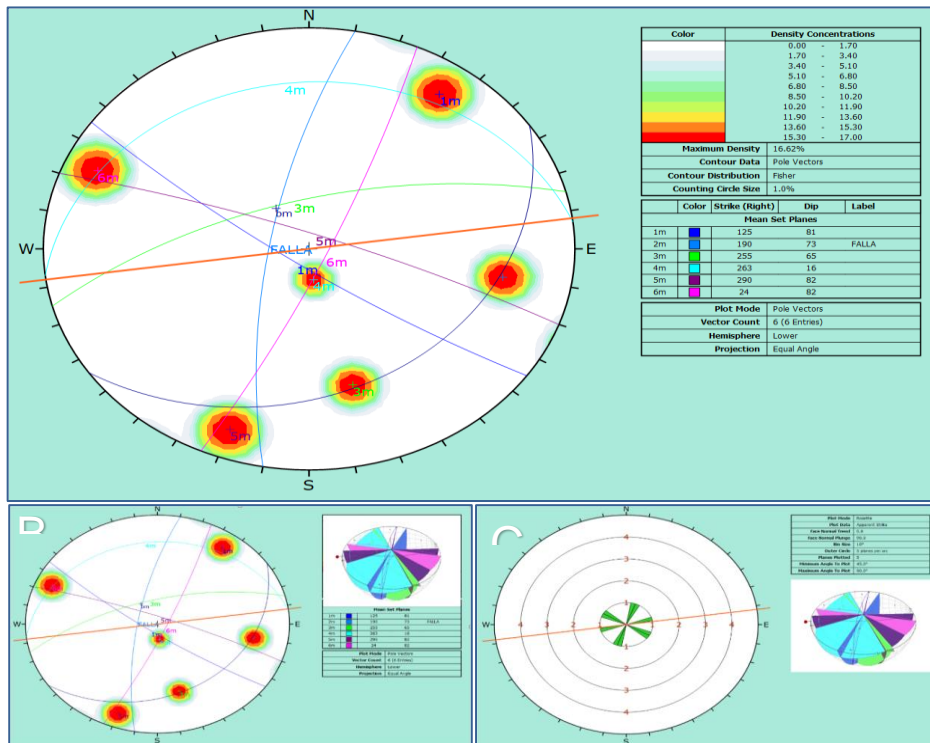


Figura N° 4.35 (A, B) Diagrama estereográfica de la bocamina San Pedro-Progresiva 0+099 – 0+103, con los 5 principales sistemas de discontinuidades. (C) Diagrama de rosetas, en la cual nos indica el predominio de la Dirección de las discontinuidades.

Como se puede apreciar en estos resultados, están marcadamente bien definidos 5 sistemas típicos más una falla estructural que se resumen:

Sistema 01.- Es un sistema conformado principalmente por diaclasas con dirección de buzamiento promedio 353° y buzamiento promedio de 16° expresados en Rumbo y Buzamiento $S83^\circ W$ y $16^\circ NW$.

Sistema 02.- Es un sistema conformado por una falla con dirección de buzamiento promedio 280° y buzamiento promedio de 73° expresados en Rumbo y Buzamiento $S10^\circ W$ y $73^\circ NW$.

Sistema 03.- Es un sistema conformado principalmente por diaclasas y tiene dirección de buzamiento promedio 345° y buzamiento promedio de 65° expresados en Rumbo y Buzamiento $S75^\circ W$ y $65^\circ NW$

Sistema 04.- Es un sistema conformado principalmente por diaclasas y tiene dirección de buzamiento promedio 20° y buzamiento promedio de 82° expresados en Rumbo y Buzamiento $N70^\circ W$ y $82^\circ NE$.

Sistema 05.- Es un sistema conformado principalmente por diaclasas y tiene dirección de buzamiento promedio 215° y buzamiento promedio de 81° expresados en Rumbo y Buzamiento $S55^\circ E$ y $81^\circ SW$

Sistema 06.- Es un sistema conformado principalmente por diaclasas y tiene dirección de buzamiento promedio 114° y buzamiento promedio de 82° expresados en Rumbo y Buzamiento $N24^\circ E$ y $82^\circ SE$.

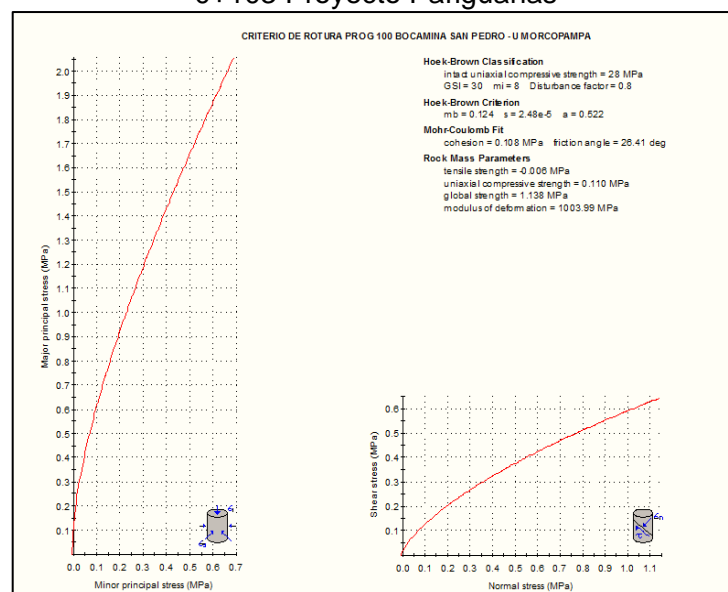
Se aprecia también la dirección de la labor sigue un rumbo aproximado de $N82^\circ$

4.2.2.4.3.4 CRITERIO DE ROTURA ESTIMADA DE LAS PROGRESIVAS 0+099 A 0+103

Para la caracterización del macizo rocoso según el criterio de Hoek y Brown Generalizado utilizando el software Rocscience con los siguientes parámetros:

Resistencia de la Roca Intacta	: Entre 25 - 50 MPa
Geological Strength Index	: 30
Mi (factor de roca: volcánico)	: 8
Factor de Perturbación	: 0.8
Peso Unitario de la roca	: 0.0249 MN/m ³
Obteniendo los siguientes resultados:	
Esfuerzo de Compresión del Macizo Rocosos	: 0.110 MPa.
Esfuerzo al Corte del Macizo Rocosos	: - 0.006 MPa
Esfuerzo Global	: 1.138 MPa
Módulo de Deformación del Macizo Rocosos	: 1003.99 MPa.
Parámetros Estimados de Hoek – Brown (Criterio de Rotura del Macizo)	
mb	: 0.124
s	: 2.48e ⁻⁰⁵
a	: 0.522
Parámetros Estimados del Macizo Rocosos de Mohr – Coulomb	
Cohesión	: 0.108 MPa.
Angulo de Fricción	: 26.41°

Figura N° 4.36 Criterio de rotura estimada bocamina san pedro – Prog. 00+099 a 0+103 Proyecto Pariguanas



4.2.2.4.4 EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PROGRESIVA 0+115 A 0+130

4.2.2.4.4.1 MAPEO GEOMECÁNICOS PROGRESIVA 0+115 A 0+130 (RMR DE BIENIAWSKI-1989)

Los resultados del mapeo geomecánico entre las progresivas 0+115 a 0+130 m, indican la presencia en promedio de 5 sistemas de discontinuidades con ligera variación en el buzamiento y dirección de los buzamientos como se aprecia en los siguientes datos de 80°/160°; 66°/245°; 80°/45°; 65°/267°; 33°/135; siendo las características estimadas promedio de: 25 – 50 MPa de resistencia a la compresión uniaxial; RQD entre 50 – 75%, espaciamientos entre 60 – 200 mm, persistencias para las diaclasas entre <1;1-3; 3-10 m respectivamente, aperturas desde cerradas hasta abierta, de tendencia ligeramente rugosa, relleno blando menor a 5 mm, altamente alterado, condición goteo constante y orientación de discontinuidades regular a la labor.

Las condiciones de la calidad de las tobas dacíticas brechoides de colores gris amarillentos de textura porfirítica favorables para la consolidación (Valoración de la Masa Rocosa según Bieniawski, 1989), tiene un RMR promedio de 36 (considerándose como una Roca Clase IV – MALA de sub clase IV A).

4.2.2.4.4.2 MAPEO DE DISCONTINUIDADES PROGRESIVA 0+015 A 0+130 (RMI DE PLAMSTRON-1995)

El macizo rocoso presenta zonas de debilidad (perturbado / abierto) con pliegues / fallas y bloques angulares con calidad de macizo rocoso (RMI = 0.10) moderado según Palmstrom, calidad del macizo pobre en el techo (RMR = 36) y los hastiales según Bieniawski y de calidad de macizo rocoso según Q – Barton, extremadamente mala (Q techo = 0.025 y Q hastiales = 0.025), con condiciones favorable de formación de bloques (Sr techo = 15.37 y Sr hastiales = 15.37), se concluye:

- Existen problemas potenciales por esfuerzos; en las zonas más críticas de debilidad se produce deformación leve según el Q – Barton (1993) y con presencia de material triturado en el macizo rocoso según RMI (1995).
- Según RMR (1989), el RMR calculado se limita solo a zonas visibles de debilidad de la labor, lo que tiene coincidencia con el RMR de Bieniawski (1989)
- Según el Q de Barton, la labor se limita por la existencia del material triturado.
- Según el RMI, las zonas de debilidad necesitan más evaluaciones.

4.2.2.4.4.3 PROYECCIÓN ESTEREOGRÁFICA PROGRESIVAS 0+122 A 0+129

El estudio estereográfico permitió conocer las principales familias de discontinuidades que son representativas para el área de estudios de la bocamina San Pedro, mediante la aplicación del software Rocscience, esta proyección se realiza con relación al eje de la bocamina con dirección de N 82°. Después de procesar los datos tomados, se tiene 05 familias principales de discontinuidades con buzamiento y dirección de buzamiento:

Discontinuidades	Buzamiento	Dirección Buzamiento
1m	33°	135°
2m	65°	267°
3m	66°	245°
4m	80°	45°
5m	80°	160°

Al procesar la información se tiene los siguientes resultados:

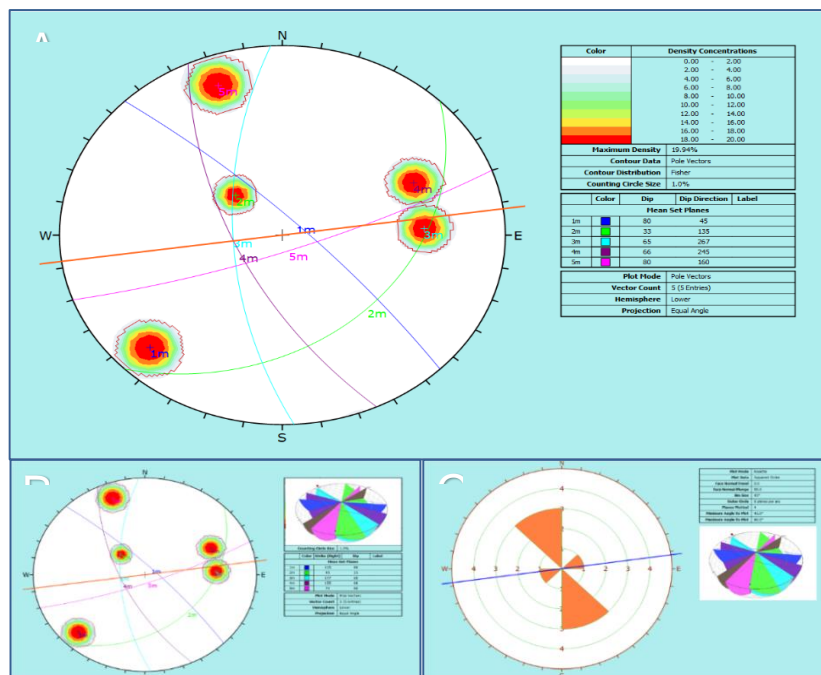


Figura N° 4.37 (A, B) Diagrama estereográfica de la bocamina San Pedro-Progresiva 0+122 – 0+129, con los 5 principales sistemas de discontinuidades. (C) Diagrama de rosetas, en la cual nos indica el predominio de la Dirección de las discontinuidades.

Como se puede apreciar en estos resultados, están marcadamente bien definidos 5 sistemas típicos que se resumen:

Sistema 01.- Es un sistema conformado principalmente por diaclasas con dirección de buzamiento promedio 45° y buzamiento promedio de 80° expresados en Rumbo y Buzamiento $N45^\circ W$ y $80^\circ NE$.

Sistema 02.- Es un sistema conformado principalmente por diaclasas y tiene dirección de buzamiento promedio 135° y buzamiento promedio de 33° expresados en Rumbo y Buzamiento $N45^\circ E$ y $33^\circ SE$.

Sistema 03.- Es un sistema conformado principalmente por diaclasas y tiene dirección de buzamiento promedio 267° y buzamiento promedio de 65° expresados en Rumbo y Buzamiento $S03^\circ E$ y $65^\circ SW$.

Sistema 04.- Es un sistema conformado principalmente por diaclasas y tiene dirección de buzamiento promedio 245° y buzamiento promedio de 66° expresados en Rumbo y Buzamiento $S25^\circ E$ y $66^\circ SW$.

Sistema 05.- Es un sistema conformado principalmente por diaclasas y tiene dirección de buzamiento promedio 160° y buzamiento promedio de 80° expresados en Rumbo y Buzamiento $N70^\circ E$ y $80^\circ SE$.

Se aprecia también la dirección de la labor que sigue un rumbo de $N82^\circ$

4.2.2.4.4 CRITERIO DE ROTURA ESTIMADA DE LA PROGRESIVAS 0+122 A 0+129

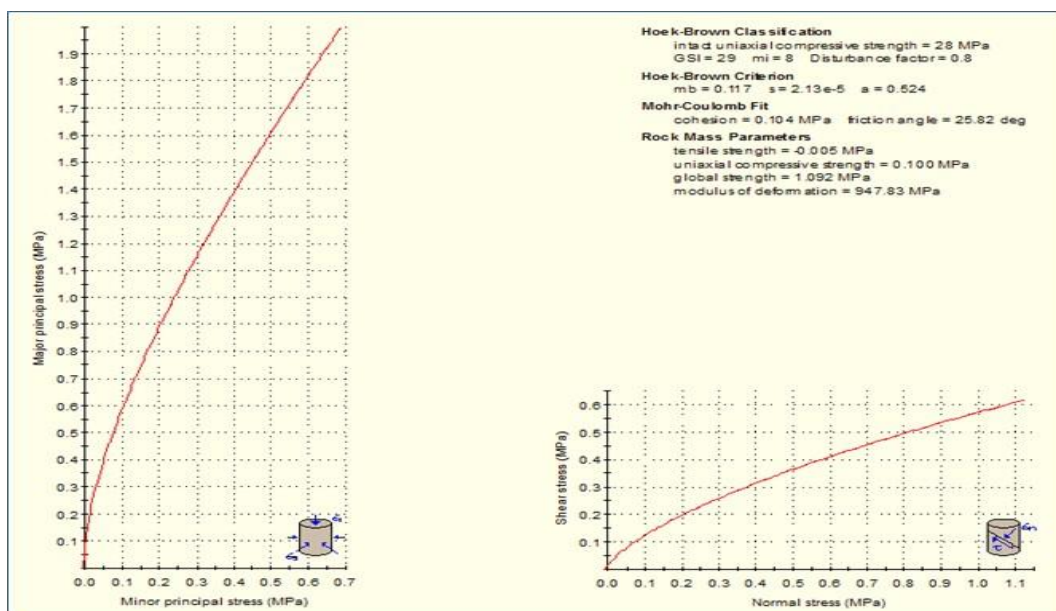
Para la caracterización del macizo rocoso según el criterio de Hoek y Brown Generalizado utilizando el software Rocscience con los siguientes parámetros:

Resistencia de la Roca Intacta : Entre 25 - 50 MPa
 Geological Strength Index : 29
 Mi (factor de roca: volcánico) : 8
 Factor de Perturbación : 0.8
 Peso Unitario de la roca : 0.0249 MN/m³

Obteniendo los siguientes resultados:

Parámetros Estimados del Macizo Rocosos
 Esfuerzo de Compresión del Macizo Rocosos : 0.100 MPa.
 Esfuerzo al Corte del Macizo Rocosos : - 0.005 MPa
 Esfuerzo Global : 1.092 MPa
 Módulo de Deformación del Macizo Rocosos : 947.83 MPa.
 Parámetros Estimados de Hoek – Brown (Criterio de Rotura del Macizo)
 mb : 0.117
 s : $2.13e^{-05}$
 a : 0.524
 Parámetros Estimados del Macizo Rocosos de Mohr – Coulomb
 Cohesión : 0.104 MPa.
 Angulo de Fricción : 25.82°

Figura N° 4.38 criterio de rotura estimada bocamina san pedro – prog 0+122 a 0+129 Proyecto Pariguanas



4.2.2.5 UBICACIÓN, DISEÑO Y SELLADO DE FILTRACIONES DE LOS TAPONES DE CONCRETO EN LA BOCA MINA-GALERÍA-SAN PEDRO-PROYECTO PARIGUANAS

De acuerdo con los resultados de evaluaciones Geomecánicas se ha determinado la Ubicación, Diseño y Sellado de filtraciones de los tapones de concreto en las progresivas: 0+060 a 0+062; 0+099 a 0+103 y 0+122 a 0+129 (tapón principal)

4.2.2.5.1 UBICACIÓN, DISEÑO Y SELLADO DE FILTRACIONES DE LOS TAPONES DE CONCRETO LA PROGRESIVA 0+060 a 0+062

4.2.2.5.1.1 LONGITUD Y DISEÑO DEL TAPÓN DENTRO DE LA PROGRESIVA 0+060 A 0+062

Longitud de tapón para la progresiva 0 + 060, según los cálculos es de 2.13 m que equivale a 2.00 m (Ver Anexo Diseño de tapones).

4.2.2.5.1.2 CALCULO DE DEFORMACIÓN DEL TÚNEL PARA EXCAVACIONES DEL EMPATILLADO DE LA ESTRUCTURA DE CONCRETO EN LA PROGRESIVA 0+060 A 0+062

El fracturamiento constante debido a la orientación de las estructuras, espaciamiento y persistencia, estructuras mayores, esfuerzos in si-situ y esfuerzos inducidos, etc además de la presión del agua subterránea debilitan el contorno de la labor, haciendo que parte del contorno tenga un comportamiento plástico, caracterizado por formación de bloques y cuñas, caídas de roca, fracturamiento fácil; es decir esta

zona se deforma hasta que no pueda recuperar su forma original produciendo falla (rotura). Seguido de esta zona plástica recién se puede encontrar una zona elástica del macizo rocoso donde el grado de daño hacia la roca en esta zona es relativamente bajo, debido a que la deformación en las rocas no produce falla en el macizo rocoso.

Para que el tapón pueda funcionar correctamente se debe de encontrar la zona plástica y desechar o eliminar la zona elástica para que la patilla trabaje correctamente en el diseño. Usando la aplicación Rocscience, esta zona plástica se puede estimar, teniendo los resultados los siguiente:

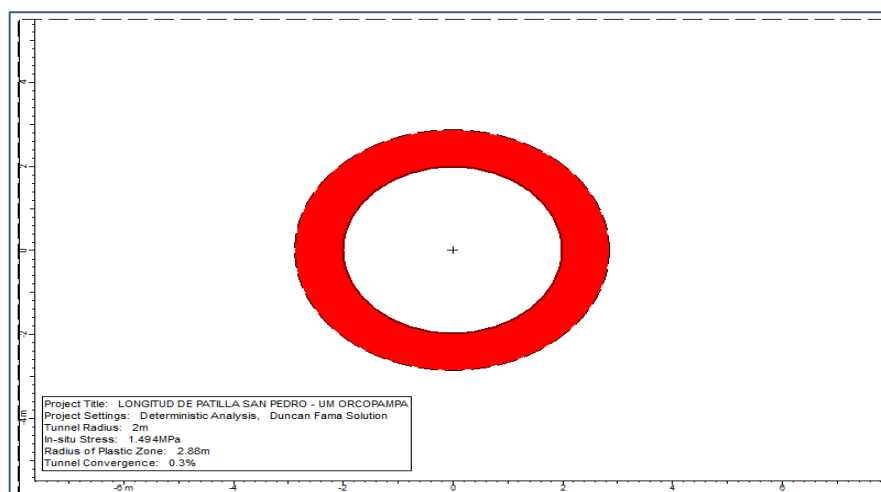


Figura N° 4.39 Longitud de empallado para el tapón de concreto

Longitud de patilla para el Tapón: $2.88 - 2.00 = 0.88$,
aproximadamente la longitud de patilla recomendada para llegar a roca fresca y con propiedades elásticas es de 0.90 m.

4.2.2.5.1.3 LONGITUD DE TALADROS DE IMPERMEABILIZACIÓN Y/O CONSOLIDACIÓN PARA LA PROGRESIVA 0+060 A 0+062

La zona de influencia perturbada es donde la fracturación de la roca es constante hasta la formación de bloques (cuñas) debido a la presión litostática, la presión hidráulica, y voladura no controlada. Esta zona de fracturamiento constante es favorable para la filtración de aguas subterráneas, ya que por medio de estas es posible su movimiento a medida que profundiza el agua en su paso por las discontinuidades, dicha zona tiene una longitud que es posible estimar mediante proyección estereográfica con el fin de conocer la máxima longitud de impermeabilización y/o consolidación.

Para ello tomamos los datos calculados en el estudio de proyección estereográfica y se introduce en el software Rocscience:

Se tiene 2 principales zonas de fracturamiento:

- Zona de Fracturamiento 1 (Roof Wedge (4)) con factor de seguridad de estable, con volumen estimado de 1.708 m^3 , área expuesta a la labor de 1.66 m^2 , longitud de fracturamiento de 3.85 m y orientación de 9.91° .
- Zona de Fracturamiento 2 (Floor Wedge (5)) con factor de seguridad estable, con volumen estimado de 4.134 m^3 , área expuesta a la labor de 2.29 m^2 , longitud de fracturamiento de 5.41 m y orientación de 9.91° .

Al observar la longitud de fracturamiento resultado del estudio, se recomienda realizar taladros de impermeabilización y/o consolidación de longitudes de taladros promedios de 6 m, a fin de impermeabilizar y/o consolidar la zona perturbada.

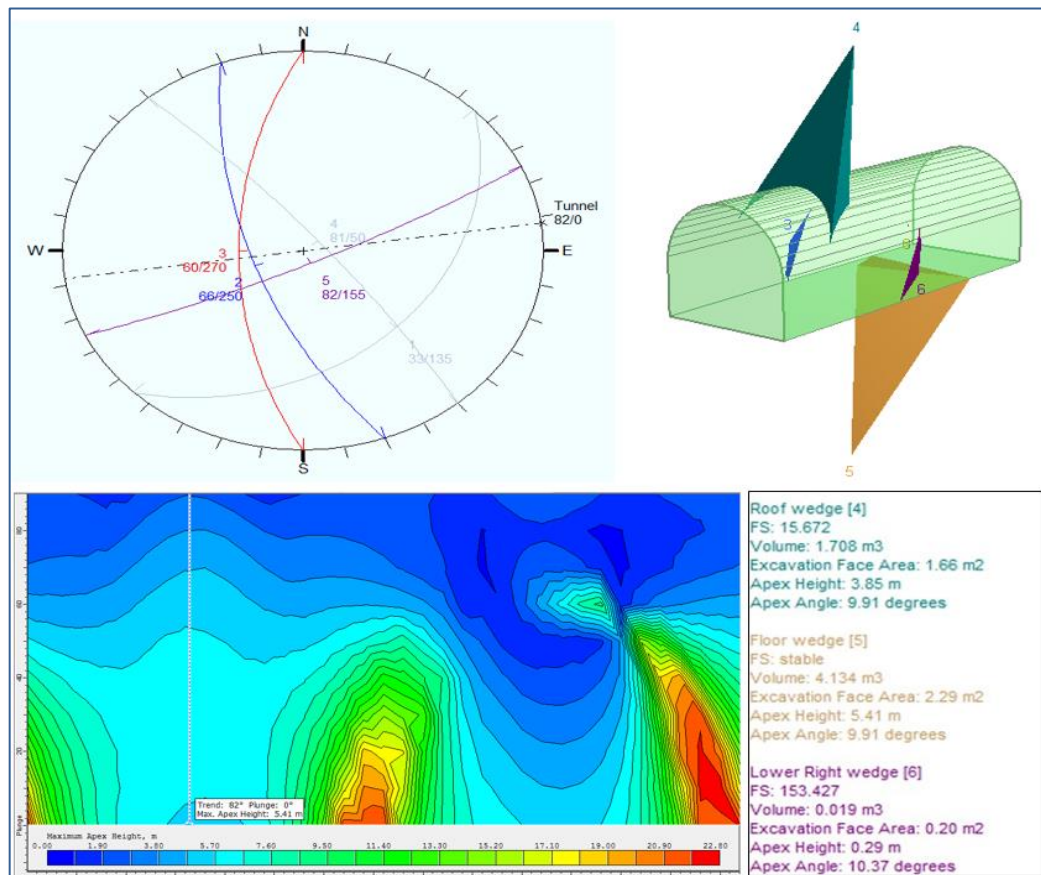


Figura N° 4.40 Longitud de Fracturamiento para impermeabilización y/o consolidación

4.2.2.5.1.4 DISEÑO DE TALADROS DE IMPERMEABILIZACIÓN Y/O CONSOLIDACIÓN DENTRO DE LA PROGRESIVA 0+060 A 0+062

Se requiere 03 anillos (02 anillos de impermeabilización y 01 anillo de consolidación) y 01 anillo (contacto roca – concreto), distribuidos según el siguiente resumen. (ver Anexo diseño de impermeabilización para más detalle)

RESUMEN DE TALADROS DE IMPERMEABILIZACION Y DE CONTACTO ROCA - CONCRETO PARA TAPON L= 2.00 m UBICADA EN LA PROGRESIVA 0 + 060				
	Anillos	Cantidad Tal/anillo	Long. Taladro (m)	Total Taladros
Total taladros de Impermeabilizacion	1.00	16.00	4.00	16
Total taladros de Consolidacion	1.00	16.00	4.00	16
Taladros de Contacto - Roca	1.00	8.00	1.00	8
Galeria de Impermeabilizacion	1.00	16.00	4.00	16
Distribucion de Anillos	Anillo 1	Anillo 2	Anillo 3	
	Resina de Impermeabilizacion	Resina de Consolidación	Resina de Impermeabilizacion	

Figura N° 4.41 Cantidad de Taladros de impermeabilización y de contacto Roca-Concreto.

4.2.2.5.2 UBICACIÓN, DISEÑO Y SELLADO DE FILTRACIONES DE LOS TAPONES DE CONCRETO LA PROGRESIVA 0+099 A 0+103

4.2.2.5.2.1 LONGITUD Y DISEÑO DEL TAPÓN DENTRO DE LA PROGRESIVA 0+099 A 0+103

Longitud de tapón para la progresiva 0 + 099, según los cálculos es de 3.58 m que equivale a 4.00 m (Ver Anexo 4)

4.2.2.5.2.2 CALCULO DE DEFORMACIÓN DEL TÚNEL PARA EXCAVACIONES DEL EMPATILLADO DE LA ESTRUCTURA DE CONCRETO EN LA PROGRESIVA 0+099 A 0+103

El fracturamiento constante debido a la orientación de las estructuras, espaciamiento y persistencia, estructuras mayores, esfuerzos in si-situ y esfuerzos inducidos, etc. además de la presión del agua subterránea debilitan el contorno de la labor, haciendo que parte del contorno tenga un comportamiento plástico, caracterizado por formación de bloques y cuñas, caídas de roca, fracturamiento fácil; es decir esta zona se deforma hasta que no pueda recuperar su forma original produciendo falla (rotura). Seguido de esta zona plástica recién se puede encontrar una zona elástica del macizo rocoso donde el grado de daño hacia la roca en esta zona es relativamente bajo, debido a que la deformación en las rocas no produce falla en el macizo rocoso.

Para que el tapón pueda funcionar correctamente se debe de encontrar la zona elástica y desechar o eliminar la zona plástica para que la patilla trabaje correctamente en el diseño. Usando la aplicación Rocscience, esta zona plástica se puede estimar, teniendo los resultados los siguiente:

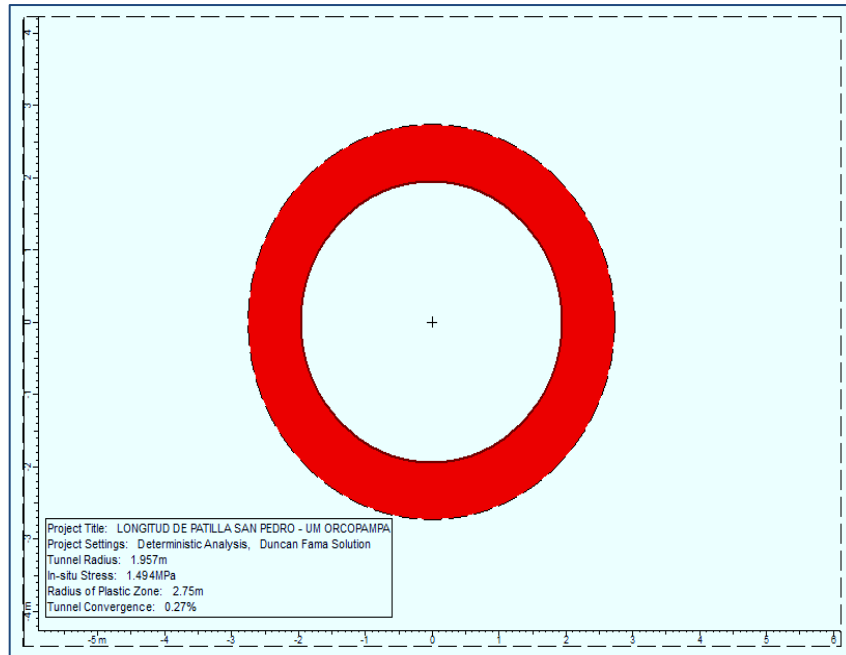


Figura N° 4.42 Longitud de empalme para el tapón de concreto

Longitud de patilla para el Tapón: $2.75 - 1.96 = 0.79$,
aproximadamente la longitud de patilla recomendada para llegar a roca fresca y con propiedades elásticas es de 0.80 m

4.2.2.5.2.3 LONGITUD DE TALADROS DE IMPERMEABILIZACIÓN Y/O CONSOLIDACIÓN PARA LA PROGRESIVA 0+099 A 0+103

La zona de influencia perturbada es donde la fracturación de la roca es constante hasta la formación de bloques (cuñas) debido a la presión litostática, la presión hidráulica, y voladura no controlada. Esta zona de fracturamiento constante es favorable para la filtración de aguas subterráneas, ya que por medio de estas es posible su movimiento a medida que profundiza el agua en su paso por las discontinuidades, dicha zona tiene una longitud que es posible estimar mediante proyección

estereográfica con el fin de conocer la máxima longitud de impermeabilización y/o consolidación.

Para ello tomamos los datos calculados en el estudio de proyección estereográfica y se introduce en el software Rocscience, siendo así:

Se tiene 2 principales zonas de fracturamiento:

- Zona de Fracturamiento 1 (Roof Wegde (4)) con factor de seguridad de 4.04, con volumen estimado de 5.193 m^3 , área expuesta a la labor de 3.27 m^2 , longitud de fracturamiento de 5.71 m y orientación de 11.10° .
- Zona de Fracturamiento 2 (Floor Wegde (5)) con factor de seguridad estable, con volumen estimado de 8.61 m^3 , área expuesta a la labor de 4.05 m^2 , longitud de fracturamiento de 6.61 m y orientación de 11.10° .

Al observar la longitud de fracturamiento resultado del estudio, se recomienda realizar taladros de impermeabilización y/o consolidación de longitudes de taladros promedios de 6 m , a fin de impermeabilizar y/o consolidar la zona perturbada.

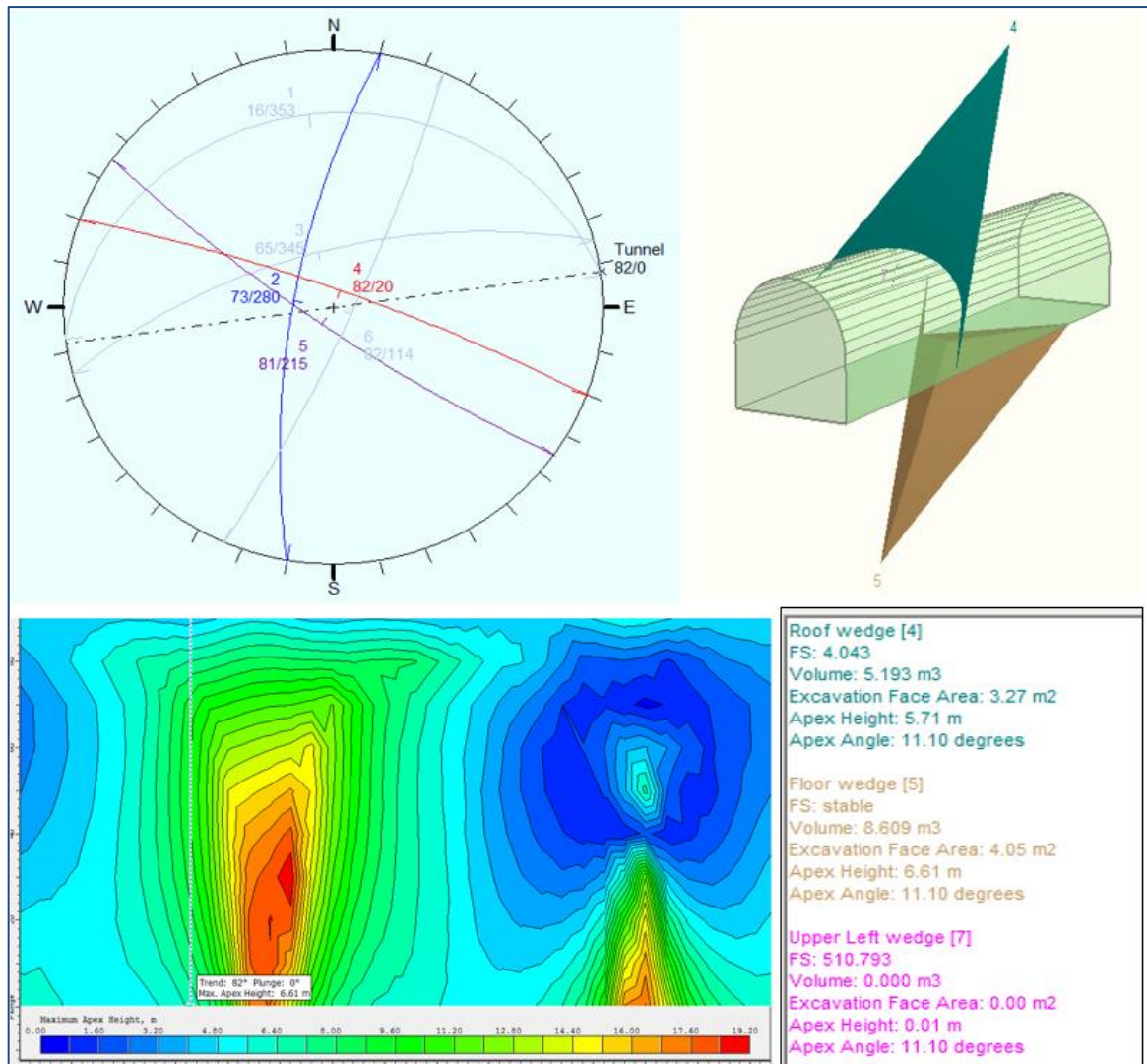


Figura N° 4.43 Longitud de Fracturamiento para impermeabilización y/o consolidación

4.2.2.5.2.4 DISEÑO DE TALADROS DE IMPERMEABILIZACIÓN Y/O CONSOLIDACIÓN DENTRO DE LA PROGRESIVA 0+099 A 0+103

Se requiere 04 anillos (02 anillos de impermeabilización y 02 de consolidación) y 01 anillo (contacto roca – concreto), distribuidos según el siguiente resumen. (ver Anexo 5A y 6B para más detalle).

RESUMEN DE TALADROS DE IMPERMEABILIZACION Y DE CONTACTO ROCA - CONCRETO PARA TAPON L= 4.00 m UBIKADA EN LA PROGRESIVA 0 + 099				
	Anillos	Cantidad Tal/anillo	Long. Taladro (m)	Total Taladros
Total taladros de Impermeabilizacion	2.00	18.00	6.00	36
Total taladros de Consolidacion	2.00	18.00	6.00	36
Taladros de Contacto - Roca	1.00	11.00	2.40	11
Distribucion de Anillos	Anillo 1	Anillo 2	Anillo 3	Anillo 4
	Resina de Impermeabilizacion	Resina de Consolidación	Resina de Consolidación	Resina de Impermeabilizacion

Figura N° 4.44 Cantidad de Taladros de impermeabilización y de contacto Roca-Concreto.

4.2.2.5.3 UBICACIÓN, DISEÑO Y SELLADO DE FILTRACIONES DE LOS TAPONES DE CONCRETO LA PROGRESIVA 0+122 A 0+129

4.2.2.5.3.1 LONGITUD Y DISEÑO DEL TAPÓN DENTRO DE LA PROGRESIVA 0+122 A 0+129

Longitud de tapón para la progresiva 0 + 122, según los cálculos es de 6.67 m que equivale a 7.00 m (Ver Anexo 1)

4.2.2.5.3.2 CALCULO DE DEFORMACIÓN DEL TÚNEL PARA EXCAVACIONES DEL EMPATILLADO DE LA ESTRUCTURA DE CONCRETO EN LA PROGRESIVA 0+122 A 0+129

El fracturamiento constante debido a la orientación de las estructuras, espaciamiento y persistencia, estructuras mayores, esfuerzos in si-situ y esfuerzos inducidos, etc además de la presión del agua subterránea debilitan el contorno de la labor, haciendo que parte del contorno tenga un comportamiento plástico, caracterizado por formación de bloques y cuñas, caídas de roca, fracturamiento fácil; es decir esta

zona se deforma hasta que no pueda recuperar su forma original produciendo falla (rotura). Seguido de esta zona plástica recién se puede encontrar una zona elástica del macizo rocoso donde el grado de daño hacia la roca en esta zona es relativamente bajo, debido a que la deformación en las rocas no produce falla en el macizo rocoso.

Para que el tapón pueda funcionar correctamente se debe de encontrar la zona elástica y desechar o eliminar la zona elástica para que la patilla trabaje correctamente en el diseño. Usando la aplicación Rocscience, esta zona plástica se puede estimar, teniendo los resultados los siguiente:

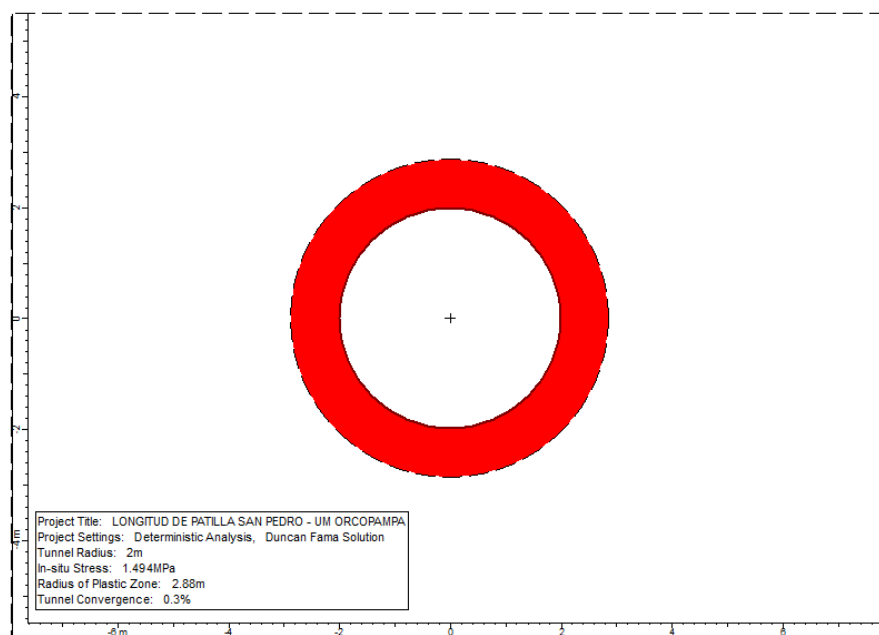


Figura N° 4.45 Longitud de empatillado para el tapón de concreto

Longitud de patilla para el Tapón: $2.88 - 2.00 = 0.88$,
aproximadamente la longitud de patilla recomendada para llegar a roca fresca y con propiedades elásticas es de 0.90 m

4.2.2.5.3.3 LONGITUD DE TALADROS DE IMPERMEABILIZACIÓN Y/O CONSOLIDACIÓN PARA LA PROGRESIVA 0+122 A 0+129

La zona de influencia perturbada es donde la fracturación de la roca es constante hasta la formación de bloques (cuñas) debido a la presión litostática, la presión hidráulica, y voladura no controlada. Esta zona de fracturamiento constante es favorable para la filtración de aguas subterráneas, ya que por medio de estas es posible su movimiento a medida que profundiza el agua en su paso por las discontinuidades, dicha zona tiene una longitud que es posible estimar mediante proyección estereográfica con el fin de conocer la máxima longitud de impermeabilización y/o consolidación.

Para ello tomamos los datos calculados en el estudio de proyección estereográfica y se introduce en el software Rocscience:

Se tiene 2 principales zonas de fracturamiento:

- Zona de Fracturamiento 3 (Floor Wedge (3)) con factor de seguridad de estable, con volumen estimado de 4.530 m^3 , área expuesta a la labor de 2.22 m^2 , longitud de fracturamiento de 6.12 m y orientación de 27.87° .
- Zona de Fracturamiento 6 (Roof Wedge (6)) con factor de seguridad 13.47 , con volumen estimado de 2.63 m^3 , área expuesta a la labor de 21.87 m^2 , longitud de fracturamiento de 5.17 m y orientación de 27.07° .

Al observar la longitud de fracturamiento resultado del estudio, se recomienda realizar taladros de impermeabilización y/o consolidación de longitudes de taladros promedios de 6 m, a fin de impermeabilizar y/o consolidar la zona perturbada.

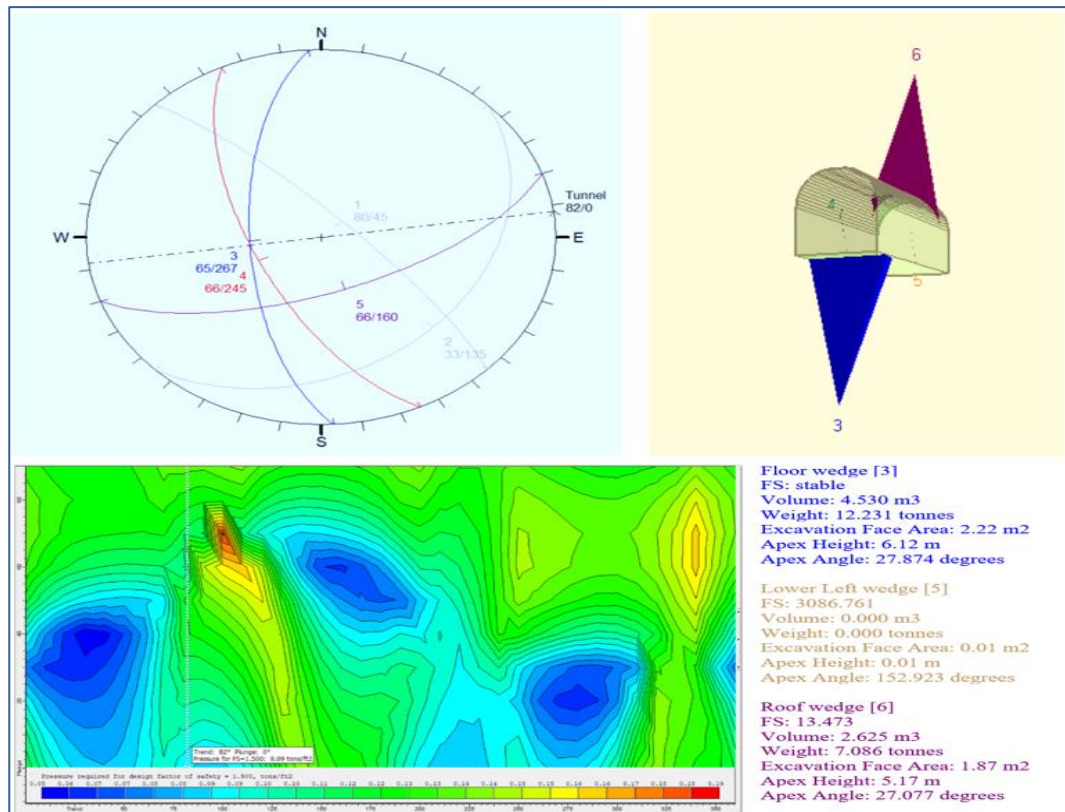


Figura N° 4.46 Longitud de Fracturamiento para impermeabilización y/o consolidación

4.2.2.5.3.4 DISEÑO DE TALADROS DE IMPERMEABILIZACIÓN Y/O CONSOLIDACIÓN DENTRO DE LA PROGRESIVA 0+122 A 0+129

Se requiere 07 anillos (04 anillos de impermeabilización y 03 anillo de consolidación) y 01 anillo (contacto roca – concreto), distribuidos según el siguiente resumen. (ver Anexo 2A y Anexo 3B para más detalle)

RESUMEN DE TALADROS DE IMPERMEABILIZACION Y DE CONTACTO ROCA - CONCRETO PARA TAPON L= 7.00 m UBIADA EN LA PROGRESIVA 120				
	Anillos	Cantidad Tal/anillo	Long. Taladro (m)	Total Taladros
Total taladros de Impermeabilizacion	4.00	18.00	6.00	72
Total taladros de Consolidacion	3.00	18.00	6.00	54
Taladros de Contacto Roca - Concreto	1.00	11.00	2.40	11

DISTRIBUCION DE ANILLOS	Anillo 1	Anillo 2	Anillo 3	Anillo 4	Anillo 5	Anillo 6	Anillo 7
	Resina de Impermeabilizacion	Resina de Consolidación	Resina de Impermeabilizacion	Resina de Consolidación	Resina de Impermeabilizacion	Resina de Consolidación	Resina de Impermeabilizacion

Figura N° 4.47 Cantidad de Taladros de impermeabilización y de contacto Roca-Concreto

4.3 PRUEBA DE HIPÓTESIS

Por las características descriptivas de la investigación, la prueba de hipótesis básicamente está enfocado en alcanzar los objetivos propuestos; como es el caso de la presente investigación, que ha sido indispensable conocer el comportamiento geológico, geomecánicos e hidrológico del macizo rocoso, que compone las labores subterráneas (Galería San Pedro) del proyecto de exploración minera Pariguanas; lo que permitió elaborar un modelo Hidrogeológico conceptual, fundamental para ubicar, diseñar y construir los Tapones de cierre hermético, con la recuperación del nivel freático y evitando la salida de aguas por la Bocamina; razón de nuestro estudio.

4.4 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.4.1 ANÁLISIS DE LA EVALUACIÓN Y SIMULACIÓN HIDROGEOLÓGICA

Una vez terminado el trabajo de campo se pudo analizar e interpretar la evaluación hidrogeológica y el modelado conceptual; Los movimientos del agua subterránea son posibles solamente cuando existen vacíos conectados entre el sí en el suelo o en roca, si no existen vacíos de cualquier tipo o si los vacíos existentes están aislados no se producen movimientos del agua, existen dos grupos de vacíos (vacíos de espacio poroso, los poros representan el único tipo de vacíos que poseen las rocas no consolidadas tales como suelos y sedimentos sueltos como arena, grava, etc y vacíos de espacio de grietas; las grietas, fracturas y diaclasas son los tipos principales e importantes en todas las rocas consolidadas).

Las rocas que permiten el almacenamiento y flujo de agua son llamadas acuífero, las rocas que no permiten el almacenamiento y flujo de agua son llamados acuífugo, las rocas que permiten el almacenamiento de agua y no permiten su flujo son llamados acicludo y las rocas que permiten el almacenamiento de agua y la transmiten lentamente son llamadas acuitardo.

4.4.2 CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA

Las unidades hidrogeológicas se caracterizan por el tipo de almacenamiento de agua que puede realizar principalmente se tiene entonces:

Unidad Hidrogeológica No Consolidada

Caracterizado por los materiales cuaternarios, los cuales están saturados en el fondo de los valles, materiales aluviales, glaciares, morrénicos, etc. Se tratan de acumulaciones de materiales de algunas decenas de metros de espesor se comportan como un acuífero propiamente dicho que favorecen el movimiento del flujo del agua a través de capas de material sedimentario de espesor variable.

Unidad Hidrogeológica Volcánica Fisurada

Esta unidad se caracteriza por tener caudales de descarga bajos pero continuos en el tiempo es decir mantienen su caudal todo el año. Se comportan como acuíferos fisurados, los cuales infiltran por las discontinuidades entre la formación Orcopampa y el grupo Barroso presente compuestos por tobas, domos riolíticos, generalmente de poca dimensión, pero interconectados entre sí que permiten las formaciones de bofedales y/o puntos de filtración en algunos puntos por debajo del nivel freático.

Unidad Hidrogeológica Acuitardo

Unidades que contienen agua, pero la transmiten muy lentamente están conformadas por el grupo Andahua constituidas por andesitas y basaltos, ubicadas en capas subyacentes a las rocas volcánicas, se encuentran la formación Arcurquina y la formación Murco estas unidades no afloran en la zona de estudio, pero están en profundidad interactuando con las demás unidades hidrogeológicas.

Un parámetro fundamental para el estudio hidrogeológico es la conductividad o permeabilidad Hidráulica (representa la mayor o menor facilidad con la que el medio rocoso deja pasar el agua a través de él por unidad de área transversal a la dirección del flujo, generalmente se mide en m/seg).

El valor de la Permeabilidad Hidráulica estimada es de $1.02E^{-06}$ m/seg

Un segundo parámetro fundamental para realizar la simulación de redes de flujo que indica la dirección que el agua superficial toma hasta llegar a la bocamina es la infiltración de aguas subterráneas (es la medida o tasa a la cual el suelo o roca es capaz de absorber la precipitación del agua superficial), según el criterio Noruego y con todos los datos se procede al cálculo:

BOCAMINA SAN PEDRO PROG 100		
Radio del Tunel	1.957	m
Caudal de Infiltracion Alrededor del Túnel	9.38E-05	m3/s
Para 1 m2	9.38E-05	m/s
Velocidad de Infiltración =	9.38E-05	m/s

BOCAMINA SAN PEDRO PROG 120		
Radio del Tunel	2.006	m
Caudal de Infiltracion Alrededor del Túnel	8.84E-05	m3/s
Para 1 m2	8.84E-05	m/s
Velocidad de Infiltración =	8.84E-05	m/s

Finalmente se debe conocer los esfuerzos inducidos alrededor de la bocamina San Pedro el cual se tiene:

BOCAMINA SAN PEDRO				
Esfuerzo Vertical	2.21	MPa		
Esfuerzo Horizontal	0.83	MPa	Esf. Max	5.80
Esfuerzo Z	0.83	MPa	Esf. Min	0.27
GSI	32			

Resultados de la Simulación Hidrogeológica

Se presenta a continuación parte de las simulaciones de la red de flujos de agua subterránea en la zona de estudio.

Figura N° 4.48 SIMULACIÓN DE RED DE FLUJOS DE AGUAS SUBTERRÁNEAS CON LA UBICACIÓN DE LOS TALADROS EN VISTA DE FRENTE BOCAMINA SAN PEDRO

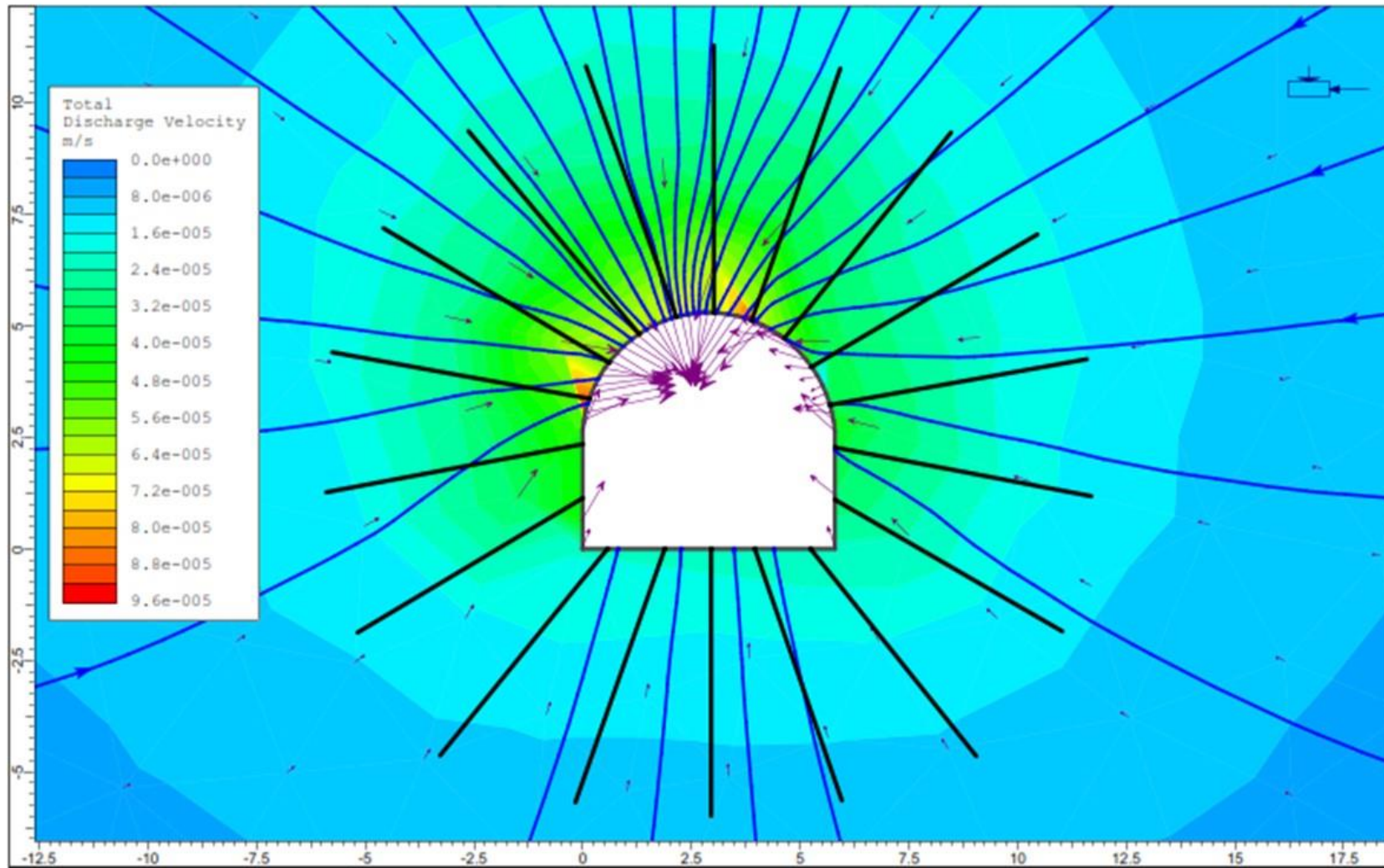


Figura N° 4.49 RED DE FLUJOS DE AGUAS SUBTERRÁNEAS ANTES DE LA CONSTRUCCIÓN DE LOS TAPONES HERMÉTICOS, EN VISTA LONGITUDINAL - BOCAMINA SAN PEDRO

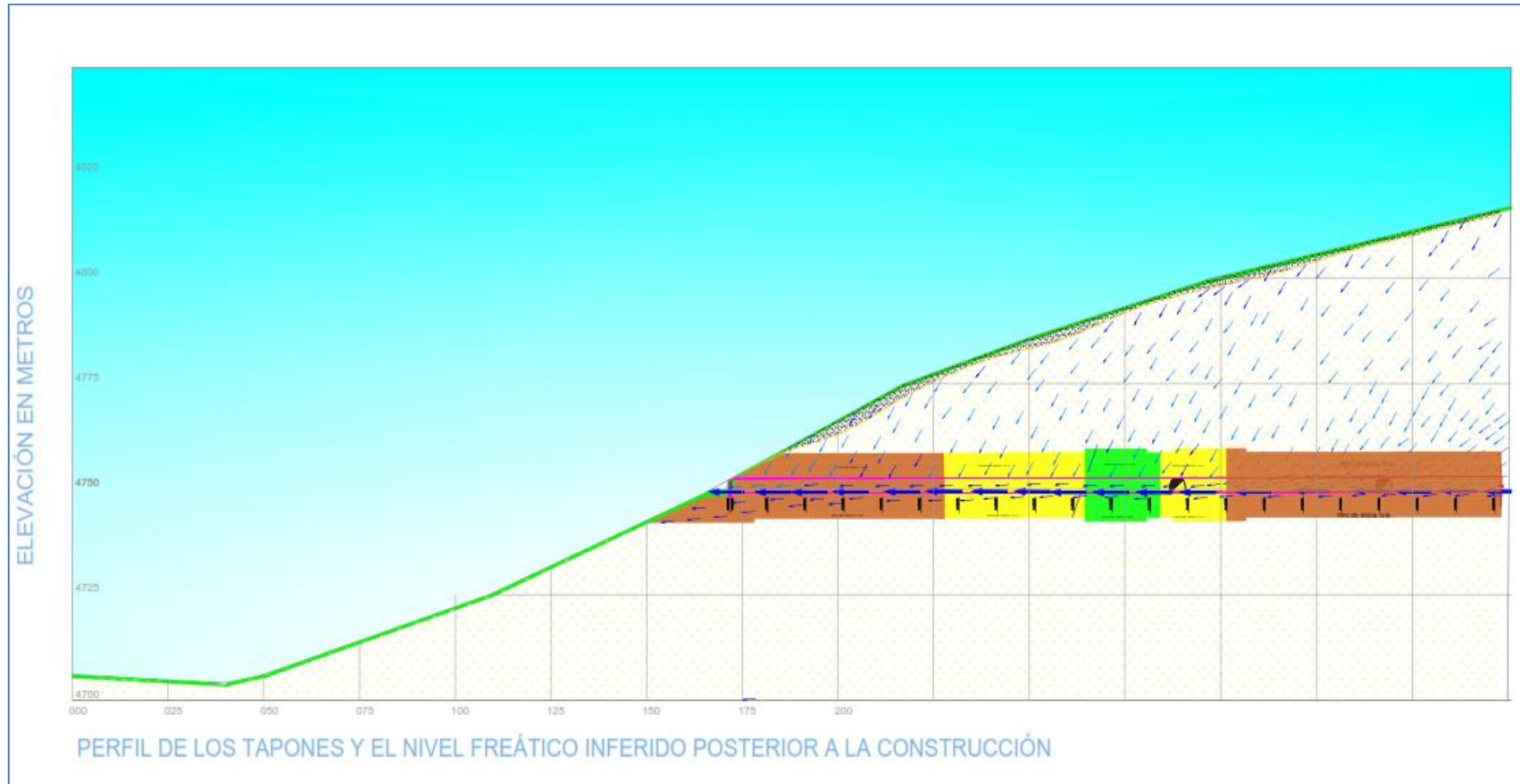


Figura N° 4.50 SIMULACIÓN DE RED DE FLUJOS DE AGUAS SUBTERRÁNEAS CON LA UBICACIÓN DE LOS TAPONES HERMÉTICOS, Y LOS TALADROS DE INYECCIÓN DE RESINA - VISTA LONGITUDINAL - BOCAMINA SAN PEDRO

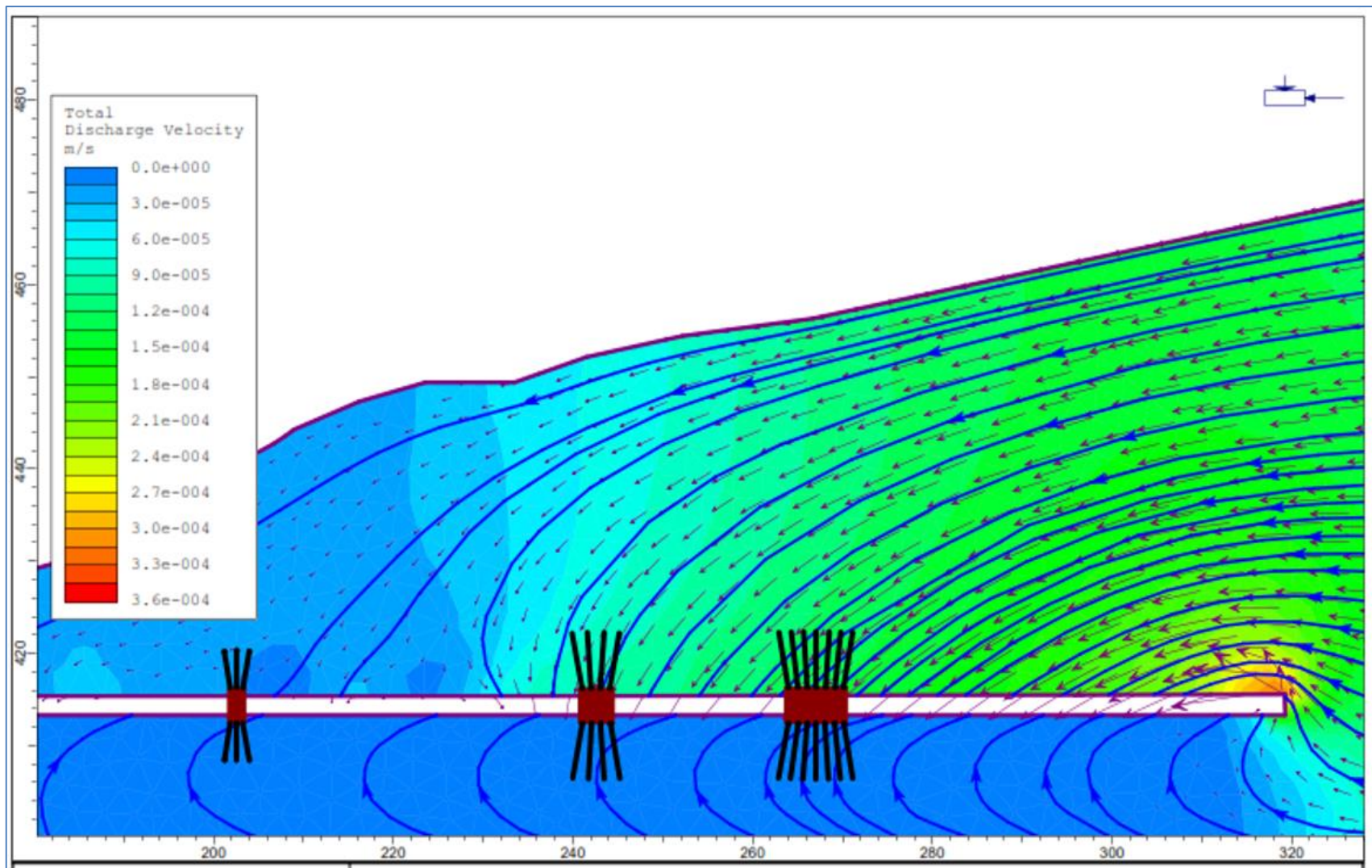
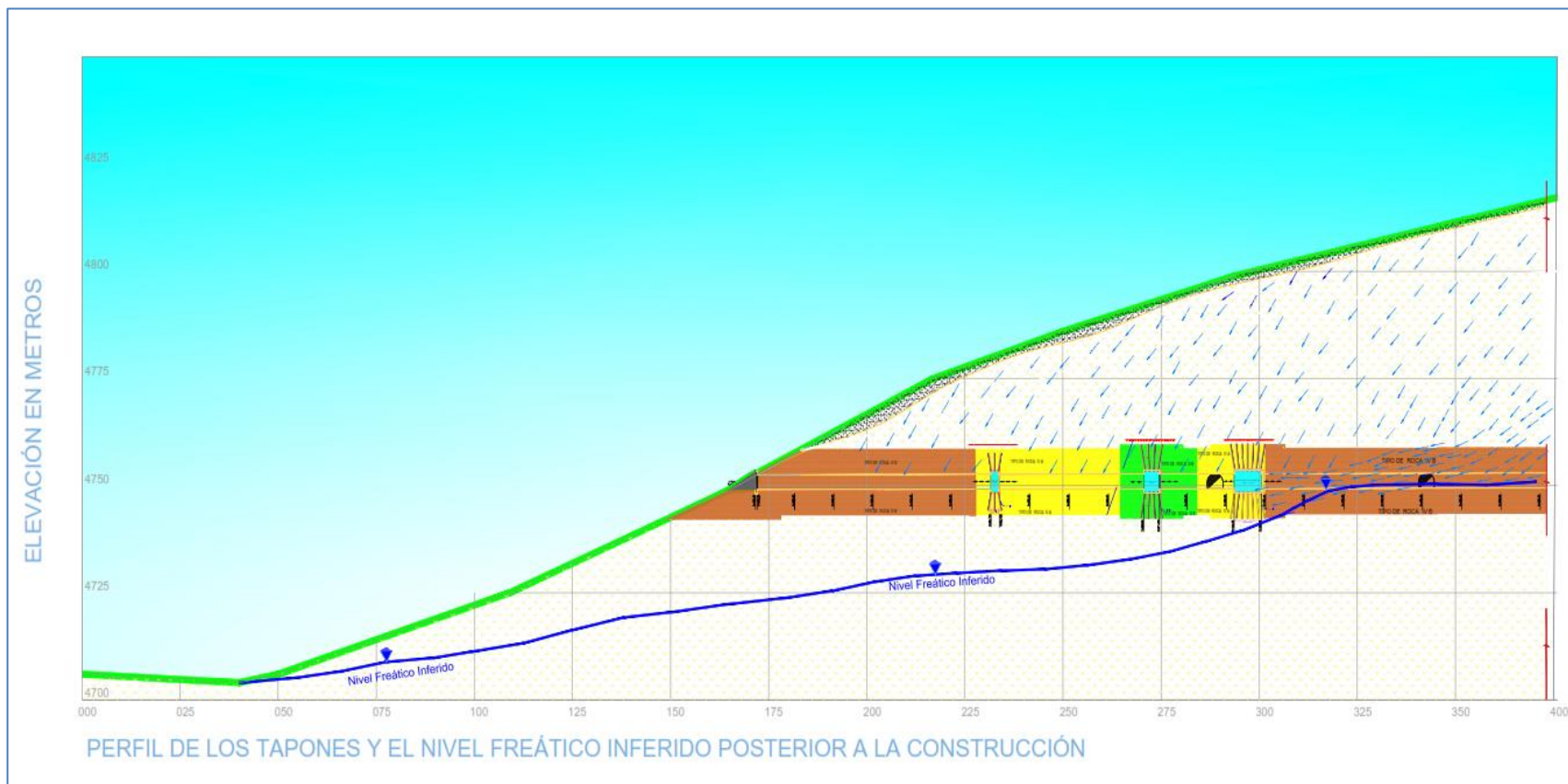


Figura N° 4.51 SIMULACIÓN DE RED DE FLUJOS DE AGUAS SUBTERRÁNEAS Y EL NIVEL FREÁTICO INFERIDO POSTERIOR A LA CONSTRUCCIÓN DE LOS TAPONES HERMÉTICOS, EN VISTA LONGITUDINAL - BOCAMINA SAN PEDRO



- De la simulación hidrogeológica en vista frente, se observa que la red de flujos de agua subterránea tiende a concentrarse en el techo de la labor, representadas con una mayor velocidad de infiltración estimado en $7.2e^{-05}$ m/s como máximo y mínimo de $4.0e^{-05}$ m/s en zonas puntuales. Fig. 4.48
- La zona de mayor probabilidad de filtración de aguas subterráneas está ubicada en la parte izquierda del techo de la labor. Fig. 4.48
- La concentración de infiltración de aguas subterráneas es mayor a partir de la progresiva 0+099 hacia adelante, esta infiltración explica el humedecimiento constante de los hastiales y techo de la labor.
- Según las simulaciones se prevé caudal de infiltración desde el techo y hastiales promedio de 0.64 L/s en la progresiva 0 + 099 y 1.23 L/s en la progresiva 0 + 122, según los datos del cuadro resultados de las simulaciones:

	Prog. 0 + 099	Prog. 0 + 122
	0.00077459	0.00051176
	0.00053908	0.00169630
	0.00061578	0.00143900
		0.00208130
		0.00043069
Promedio (m3/s)	0.00064315	0.00123181
Promedio (L/s)	0.64	1.23

- La dirección del flujo de mayor caudal de las aguas subterráneas tiene un sentido sub- horizontal en dirección a la galería, pudiendo observarse la salida por la cuneta de esta como se muestra en la interpretación conceptual antes de construir los tapones de cierre

hermético; simulaciones hidrogeológicas en sección longitudinal.

Fig. 4.49

- Según las simulaciones se determinó el caudal de 15.30 L/s en época de invierno, según el cuadro siguiente:

Prog. 0 + 122	
	0.009781
	0.014935
	0.017757
	0.016666
	0.016653
	0.016035
Promedio (m ³ /s)	0.0153045
Promedio (L/s)	15.30

- De la simulación se deduce que las mayores concentraciones de aguas subterráneas se originan en la profundidad de las labores, habiendo interceptado posiblemente las bofedales que se encuentran en la parte superior y posterior de la Galería explorada.
- La ubicación de los tapones y la distribución de los taladros de inyección de resina corta la mayor concentración de red de flujos de agua subterránea que se dirigen desde el interior de la labor, con lo que disminuyó la salida de aguas por la cuneta y la infiltración por el techo y los hastiales.
- La interpretación del modelo hidrogeológico subterráneo y de superficie permitió con mayor exactitud ubicar, diseñar y construir los Tapones de cierre hermético, con la recuperación del nivel freático y evitando la salida de aguas por la Bocamina; razón del estudio.

CONCLUSIONES

Una vez terminado la tesis se concluye:

De la evaluación geológica y geomecánica

- De la evaluación, análisis e interpretación geológica realizado se ha determinado que la litología predominante en el área corresponde a Tobas dacíticas brechoides de colores gris – amarillentos de textura porfirítica con fenocristales desarrollados de plagioclasas argilizadas de color beige, además encontramos depósitos recientes afectados por procesos de remoción, deposición y erosión.
- Estructuralmente cabe señalar que la zona de estudio no es ajena a los fallamientos de carácter regional y local de dirección NE-SW como se puede evidenciar al realizar el mapeo geológico; producto del esfuerzo producido en ello y del proceso de gelifracción se aprecia la presencia de más de tres sistemas de diaclasas, hasta en algunos tramos llegándose a observar como roca triturada.
- De la evaluación realizada al macizo rocoso donde se sugiere construir los taponés de cierre y de acuerdo a la clasificación de RMR (BIENNIAWSKI-1989), el macizo rocoso presenta las condiciones de roca de calidad MALA (IV) A REGULAR (III), como se puede evidenciar en el siguiente cuadro de características geomecánicas:

N°	Ubicación más favorable para construcción del Tapón	sc	RQD	RMR	Descripción/Sub clase	RMI	Descripción
		Resistencia a la Compresión					
Progresiva 0+000 hasta 0+055	Presencia de cimbras Metálicas (se refiere a calidad de Macizo rocoso MALA IV-B)						
Progresiva 0+055 hasta 0+095	0+060 hasta 0+062	25 - 50 MPa	50 -75%	38	Roca Mala/ IV-A	0.14	Macizo rocoso moderado
Progresiva 0+095 hasta 0+115	0+099 hasta 0+103	26 - 50 MPa	51 -75%	42	Roca Regular/ III-B	0.26	Macizo rocoso Admisible
Progresiva 0+115 hasta 0+130	0+122 hasta 0+129	27 - 50 MPa	52 -75%	36	Roca Mala/ IV-A	0.1	Macizo rocoso pobre
Progresiva 0+130 hasta 0+250	Presencia de cimbras Metálicas + malla electrosoldada + Shotcrete (se refiere a calidad de Macizo rocoso MALA IV-B)						

- Según los estudios de discontinuidad (Palmstrom 2008) en la progresiva 055-095, el macizo rocoso presenta zonas de debilidad (perturbado / abierto) con pliegues / fallas y bloques angulares con calidad de macizo rocoso ($RMI = 0.14$) muy bajo según Palmstrom, calidad del macizo rocoso moderado ($RMR = 38$ en techo y hastiales) según Bieniawski y de calidad de macizo rocoso según Q – Barton, extremadamente mala ($Q_{techo} = 0.03$ y $Q_{hastiales} = 0.03$), con condiciones favorables de formación de bloques ($Sr = 15.37$ en el techo y hastiales).
- Según los estudios de discontinuidad (Palmstrom 2008) en la progresiva 095-115, el macizo rocoso presenta zonas de debilidad (perturbado / abierto) con pliegues / fallas y bloques angulares con calidad de macizo rocoso ($RMI = 0.26$) moderado según Palmstrom, calidad del macizo rocoso admisible ($RMR = 44$ en techo y hastiales) según Bieniawski y de calidad de macizo rocoso según Q – Barton, extremadamente mala ($Q_{techo} = 0.06$ y $Q_{hastiales} = 0.06$), con condiciones admisibles de formación de bloques ($Sr = 48.86$).
- Según los estudios de discontinuidad (Palmstrom 2008) en la progresiva 115-130, el macizo rocoso presenta zonas de debilidad (perturbado / abierto) con pliegues / fallas y bloques angulares con calidad de macizo rocoso ($RMI = 0.10$) muy bajo según Palmstrom, calidad del macizo rocoso pobre ($RMR = 36$ en techo y hastiales) según Bieniawski y de calidad de macizo rocoso según Q – Barton, extremadamente mala ($Q_{techo} = 0.025$ y $Q_{hastiales} = 0.025$), con condiciones favorable de formación de bloques ($Sr_{techo} = 15.37$ y $Sr_{hastiales} = 15.37$).

- Según la simulación de zona de fracturamiento para las tres progresivas evaluadas, se tiene 2 principales zonas de fracturamiento con diferente variación de inclinación, pero con tendencia a longitudes casi similares.
- Por las características geomecánica y evaluadas In situ, las zonas más favorables para la construcción de tapones principales de cierre serán ubicados en la progresiva 0+122 hasta 0+129; el siguiente tapón en la progresiva 0+099 hasta 0+103, y el tapón final en la progresiva 0+060 hasta 0+062.
- Entre la progresiva 0+060 y 0+062 se considera favorable para la construcción del tapón N° 03 previa consolidación e impermeabilización del macizo rocoso; así mismo construir un tapón final de mampostería al inicio de la Bocamina San Pedro, para el cierre definitivo.
- Por el comportamiento geomecánico, y el tipo de roca se concluye realizar la impermeabilización y consolidación del macizo rocoso donde se va construir los tapones.
- El tratamiento con las inyecciones mejora las características mecánicas del terreno y reduce su permeabilidad, rellenando huecos, fisuras permitiendo el sellado de estructuras.

De la evaluación hidrogeológica

- La zona de estudio se encuentra emplazada dentro de una zona altamente sísmica por lo cual se debe de tener especial cuidado en el diseño del tapón a construir, para lo cual el valor estimado de la aceleración máxima para un periodo de retorno de 50 años con una excedencia del 10% es de 0.35 - 0.40g en promedio.

- Durante la evaluación hidrológica en el sector donde se va a construir el tapón de cierre se nota la presencia de algunos lugares de filtración puntual en el techo con flujo puntual continuo, con humedecimiento constante en todo el piso y parte de los hastiales; pero con flujo de agua constante en el punto de desfogue de la cuneta (caudal estimado = 12.29 l/s – tomado en tiempo de estiaje).
- El origen de este efluente está asociado a infiltración de aguas acumuladas en superficie característicos de la zona glaciaria; así mismos asociados a las aguas que fluyen provenientes de pequeños riachuelos y bofedales existentes en la parte NE-E de la Bocamina y que éstos tienden a infiltrarse hacia la labor, lo cual estaría actuando como fuentes de descarga hacia el Crucero 730 del nivel 4732.
- El caudal de salida al exterior de la bocamina es de 8.51 L/seg, se explica esta disminución con respecto al interior porque parte del caudal que sale por la cuneta se pierde en su trayecto hacia el exterior por filtración de estas hacia el interior del macizo rocoso.
- Según la investigación hidrogeológica la permeabilidad de las rocas es lenta.
- De la evaluación hidrogeológica la velocidad de infiltración estimada en la labor es de 8.84×10^{-5} m/s hasta 9.38×10^{-5} m/s.
- Según el modelo Hidrogeológico conceptual, la dirección de la red de flujos de aguas subterráneas tiene un sentido horizontal hasta cambiar su dirección a medida que se acerca a la galería tomando una dirección subvertical al eje de esta, descargando parte de su caudal al interior de la galería y parte de la misma altera el contorno del macizo rocoso.

- Por las características hidrogeológicas de la zona evaluada, las zonas más favorables para la construcción de tapones principales de cierre serán ubicados en la progresiva 0+122 hasta 0+129 (tapón principal para la contención del caudal aguas arriba de la galería) y el siguiente tapón en la progresiva 0+099 hasta 0+103 (tapón secundario para la contención del agua proveniente de la filtración del primer tapón en la ventana ubicada en la progresiva 117).
- Entre la progresiva 0+055 y 0+095 considerar la construcción de tapones finales por la presencia de goteos constantes en el techo de la galería.
- Por el comportamiento hidrogeológico y el tipo de roca es necesario realizar la impermeabilización y consolidación del macizo rocoso donde se va construir los tapones.
- Por las características evaluadas permiten realizar taladros de impermeabilización y consolidación de 6.00 metros de longitud en el primer y el segundo tapón, los cuales permitirán aumentar el área de influencia del resalto del flujo de agua y conseguir su cauce normal y evitar la salida y filtración de aguas por el tapón construido; considerar los ángulos propuestos en el plano para cada taladro, teniendo un radio de acción de cada taladro de 0.53 m. Estos taladros por su radio de acción tendrán una separación de 1.00 metros con respecto al siguiente; estableciéndose la cantidad de 04 anillos para el tapón y 02 anillos para la galería de impermeabilización en la primera construcción y de 07 anillos en la segunda construcción.

RECOMENDACIONES

- Por las características Geológicas, geomecánicas e hidrogeológicas se recomienda ubicar, diseñar y construir tapones de cierre hermético de tipo identado y en las áreas destinadas.
- Se recomienda construir 02 tapones principales (un primer tapón principal de 7.00 m y segundo tapón de 4.00 m de longitud) en el cual se considera la carga estática y dinámica del agua de la zona evaluada.
- Previo a la construcción del primer tapón se debe de construir un muro de contención aguas arriba de la ubicación, que permita realizar los trabajos previos a la misma.
- Por el comportamiento geomecánico, hidrogeológico y el tipo de macizo rocoso es necesario realizar la impermeabilización y consolidación del macizo en el área de construcción de los tapones; con Inyecciones de resinas; así mismo ampliar la zona de impermeabilización hacia la bocamina a partir del segundo tapón construido, con tres anillos de inyección.
- Es necesario que la inyección con resina de consolidación y resina poliuretano se efectúe de manera intercalada, para lograr mayor consolidación e impermeabilización de estas áreas críticas.
- En las áreas consideradas para inyección de resinas y resina de consolidación se sugiere cumplir con las especificaciones y distribución de taladros según plano.

- Además, se recomienda realizar el sellado concreto roca para así evitar futuras salidas de aguas por el contacto, con inyecciones de resina líquida con taladros de 2.40 de longitud a nivel de toda la estructura de concreto construidos con espaciamentos de 1.18 m entre taladros.
- Las ubicaciones de los taladros de inyección de resina deben proyectarse a intersectar la mayor cantidad de fracturas que conducen la filtración de agua.

BIBLIOGRAFÍA

1. Alulema del Santo R. A. (2017), Caracterización Hidrogeológica del macrodeslizamiento Guarumales Quito, Ecuador 32 p.
2. Barceló P. (2018), Hidrogeología: “Una importante herramienta para combatir la escasez del agua”; Chile.
3. Bendez B.y Mayury Y. (2016); Modelo Hidrogeológico Conceptual de la Mina de Sal de Memocon, Contrato de concesión HIQO-01; Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, 50-58 p.
4. Betancur T; Mejía O; Palacios C. (2009), “Modelo Hidrogeológico conceptual del bajo Cauca antioqueño: un sistema de acuífero tropical”, Revista Facultad de Ingeniería –Universidad de Antioquia, n° 48; Medellín, Colombia; 107-118.
5. Beltrán, G. & Rosales, O. (2012), Manual de Trabajos de Hidrología. Universidad Técnica del Norte. Ibarra-Ecuador. 72 p.
6. Burbano, F. (1989), Notas de Hidrología Preparado para el 4° Año de ingeniería Forestal. Universidad Técnica del Norte. Ibarra-Ecuador. 125 p.
7. Comisión Nacional del Agua de México (Edición 2007. ISBN: 978-968-817-880-5).
8. Custodio E. y Llamas, M.R. (1996). Hidrología Subterránea. Editorial Omega, Tomo I., Barcelona, España; 263 Pag.
9. Fierro, D. & Jiménez, L. (2011), Caracterización de la Microcuenca del río Manzano, Cantón Alausí, Provincia de Chimborazo y Propuesta de Plan de Manejo, Utilizando Herramientas SIG. Escuela Politécnica del Ejército. Sangolquí-Ecuador. Tesis de Grado, 237p. (Inédito). Disponible en: repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/4531/1/T-ESPE-032673.pdf
10. Gaspari, F., et, al (2010). Manual de Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas. Grupo de Manejo de Cuencas. La Plata - Argentina. 321 p.
11. Hernández S.R et, al (1997) Metodología de la investigación, Mc Graw Hill, Mexico 1-128 pp
12. Mijailov, L. (1985), Hidrogeología. Editorial Mir. Moscú, Rusia. 285 p
13. Mudder, T. and Kevin H.(1999) Closure Concepts. Mineral Resources forum, UNEP.

14. Rosero, N. (2014). Impacto Ambiental y Plan de Manejo Ambiental en la Descarga de Aguas Residuales Generada por la Operación y Mantenimiento de la Planta de Tratamiento del Barrio La Primavera, de la Parroquia Yanayacu, Cantón Quero, Provincia de Tungurahua. Universidad Técnica de Ambato. Ambato-Ecuador. Tesis de Grado. 247p. (Inédito). Disponible en:
<http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/6798/1/tesis007%20Maestr%C3%Ada%20en%20Agroecolog%C3%ADa%20y%20Ambiente%20-%20CD%20221.pdf>
15. Sánchez S.R. et,al; (2014), hidrogeología; Departamento de Geología. Universidad de Salamanca. España, septiembre de 2014. Consultado en línea en:
http://hidrologia.usal.es/temas/Conceptos_Hidrogeol.Pdf.
16. Yaguachi, T. (2013). Diagnóstico Ambiental y Desarrollo del Plan de Manejo y Conservación de la Subcuenca del Río Chillayacu de la Cuenca Media del Río Jubones en la Provincia de el Oro. Universidad Central del Ecuador. Quito-Ecuador, 188 p. (Inédito). Disponible en:
www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/1282

ANEXOS

RESUMEN DE LOS DATOS INGRESADOS, PROCESADOS Y CALCULADOS

Unidad : U.M. Orcopampa
Labor / Tunel : Bocamina San Pedro
Responsable : Ingeniería PSA
Coordenadas : X : 802697
 : Y : 8322627
 : Z : 4732

Fecha : 1/11/2016
Ubicación : Arequipa
Roca : Tobas dacíticas Brechoides
Observaciones : Progresiva 0+ 055- 0 +095

DATOS INGRESADOS Y PROCESADOS

Valores de Entrada usango rangos de acuerdo al Sistema de Clasificación Geomecánica						
DATOS INGRESADOS Y PROCESADOS						
PARÁMETROS DE ENTRADA						
		RMR (1989)	Q (1993)	RMI (2008)		
Datos de la Excavacion Subterranea y/o Tunel	Span de Tunel (m)		Span = 3.50	Span = 3.50 Dt = 3.50		
	Altura de Pared (m)		Pared = 3.50	Pared = 3.50 Pared = 3.50		
A	Roca	A1 Resistencia a la Compresion Uniaxial de la Roca Intacta (UCS o)	A1 = 4	- $\sigma_c = 37.5$ MPa		
B	Grado de las Discontinuidades	B1 RQD (Rock Quality Designation)	A2 = 13	RQD = 61 -		
		B2 Volumen del Block (Vb)	-	Vb = 0.003586 m ³		
		B3 Densidad de Juntas Volumétricas (Jv)	A3 = 8	-		
C	Patron de Discontinuidades	C1 Forma de los Bloques	-	$\beta = 27$		
		C2 Numero de Sets de Juntas	-	Jn = 12 Nj = 0.85		
		C3 Orientacion del Set de Discontinuidades Principal	En techo	B = -5	-	Co = 1.5
			En paredes	-	-	Co = 1.5
D	Características de las Discontinuidades	D1 Suavidad de las Discontinuidades	A4c = 3	Jr = 2.5 js = 1.25		
		D2 Ondulacion de las Discontinuidades	-	jw = 2		
		D3 Alteracion de las Discontinuidades	En techo	A4e = 0	Ja = 8 jA = 8	
			En paredes	A4d = 2		
		D4 Longitud de las Discontinuidades o Persistencia	A4a = 4	-	jL = 1.5	
D5 Separacion de las Discontinuidades o Apertura	A4b = 5	-	-			
E	Compactación	E Compactacion del Macizo Rocoso	-	- IL = 0.8		
F	Aguas Subterraneas	F Aguas Subterraneas en el Tunel y/o Exc. Sub.	A5 = 4	Jw = 0.5 GW = 2.5		
G	Esfuerzos de Roca	G1 Nivel de Esfuerzos	-	SL = ?		
		G2 Radio de Esfuerzos/ Competencia del terreno	-	SRF = 10 Cg = 0.75		
H	Zonas de Debilidad	H1 Tipo	-	-		
		H2 Espesor o ancho de la Zona (m)	-	Tz = 1.00		
		H3 Orientacion de la Zona	En techo	-	-	Co = 1.50
			En paredes	-	-	Co = 2.00

RESUMEN DE LOS DATOS INGRESADOS, PROCESADOS Y CALCULADOS

Unidad : U.M. Orcopampa
Labor / Tunel : Bocamina San Pedro
Responsable : Ingeniería PSA
Coordenadas : X : 802697
 : Y : 8322627
 : Z : 4732

Fecha : 1/11/2016
Ubicación : Arequipa
Roca : Tobas dacíticas Brechoides
Observaciones : Progresiva 0+ 055- 0 +095

RESULTADO DE LOS CALCULOS

PARAMETROS DE SALIDA		RMR (1989)	Q (1993)	RMi (2008)
Continuidad del Macizo Rocosos (Alrededor del Tunel)		-	-	Zona de Debilidad
Compacidad de la Estructura del Macizo Rocosos (MR = Macizo Rocosos)		-	-	Perturbado/abierto MR con pliegues / fallas y bloques angulares
Calidad del Macizo Rocosos (aproximadamente esfuerzo)		-	-	RMi = 0.14 Moderado
Calidad del Terreno (Relacionada a la Estabilidad)	En techo	RMR = 38 Pobre	Q = 0.0317708 Extremadamente mala	
	En paredes	RMR = 38	Q = 0.0318	
Formacion de Bloques (Relacionado a la Inestabilidad de Bloques en el Macizo Rocosos)	En techo	-	-	Sr = 15.37 Admisible
	En paredes	-	-	Sr = 15.37 Admisible
Zona de Debilidad (m)		-		Tamaño = 1
Esfuerzos en el Macizo Rocosos			Zonas de Debilidad	
Problemas Potenciales por Esfuerzos		-	Deform. Leve	Macizo Rocosos con material triturado
Limitaciones		El RMR se limita a zonas visibles de debilidad	Posible limitacion por terreno triturado	Las zonas de debilidad necesitan mas evaluaciones

MAPEO GEOMECANICO

MAPEO LINEAL

Nivel: 4732

Labor: Gal. BM San Pedro

Fecha: Agosto 2016

Litología: Tobas Dacíticas

Hecho por: RSG/JMC

Registro N°

Observaciones

CLASIFICACION DEL MACIZO

ROCOOSO RMR

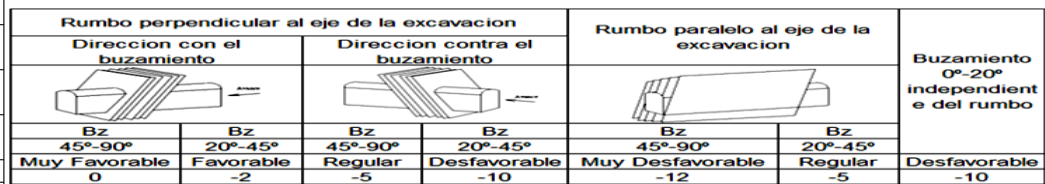
RMR	DESCRIPCION
91 - 100	MUY BUENA "A"
81 - 90	MUY BUENA "B"
71 - 80	BUENA "A"
61 - 70	BUENA "B"
51 - 60	REGULAR "A"
41 - 50	REGULAR "B"
31 - 40	MALA "A"
21 - 30	MALA "B"
0 - 20	MUY MALA "A"

# Fract/ml	RQD
2	98
3	96
4	94
5	91
6	88
7	84
8	81
9	77
10	74
11	70
12	66
13	63
14	59
15	56
16	53
17	49
18	46
19	43
20	41
21	38
22	35
23	33
24	31
25	29
26	27
27	25
28	23
29	21
30	20

N°	Tipo de Discontinuidad	RUMBO	DIP (BUZAMIENTO)	DIP DIR (AZIMUT) (DIREC. BUZAMIENTO)	OC		RQD		Espaciamiento entre Discontinuidad		CONDICIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES										Agua Subterránea		Orientación Discontinuidades					RMR												
					Resistencia a la Compresión		Puntaje		Puntaje		Puntaje		Persistencia		Apertura		Rugosidad		Relleno		Alteración		Puntaje		Puntaje		Puntaje		Puntaje											
					15	12	7	4	2	20	17	13	8	6	5	6	5	4	3	2	1	0	6	5	4	3	2		1	0	15	10	7	4	0	0	2	-5	-10	-12
1	F	5°	73°	280°	05	2	05	3	01	20	03	2	05	0	03	3	05	0	02	10	04	-10	30																	
2	D	295°	81°	215°	04	4	03	13	04	8	02	4	05	0	03	3	04	1	05	0	02	-2	41																	
3	D	250°	65°	345°	04	4	03	13	04	8	01	6	01	6	02	5	04	1	05	0	02	-5	48																	
4	D	255°	16°	353°	04	4	03	13	03	10	02	4	04	1	03	3	04	1	04	1	02	-5	42																	
5	D	22°	82°	114°	04	4	03	13	03	10	03	2	04	1	03	3	04	1	04	1	01	-5	45																	
6	D	295°	82°	20°	03	7	03	13	05	5	01	6	02	5	03	3	01	6	03	3	03	-10	45																	
7																																								
8																																								
9																																								
10																																								
11																																								
12																																								
13																																								
14																																								
15																																								
16																																								
17																																								
18																																								
19																																								
20																																								
21																																								

Promedio 42

GRADO	INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACION DE CAMPO	RANGO RESIS. COMP. Mpa
R1	Deleznable con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo se desconcha con una cuchilla	1,0 - 5,0
R2	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)	5 - 25
R3	No se raya ni desconcha con cuchillo. La muestra se rompe con golpe firme del martillo	25 - 50
R4	La muestra se rompe con mas de un golpe del martillo	50 - 100
R5	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra	100 - 250
R6	Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo	> 250



Descripción	Sub Clase	RMR
Roca Muy Buena	I	81 - 100
Roca Buena	II A	71 - 80
Roca Buena	II B	61 - 70
Roca Regular	III A	51 - 60
Roca Regular	III B	41 - 50
Roca Mala	IV A	31 - 40
Roca Mala	IV B	21 - 30
Roca Muy Mala	V A	11 - 20
Roca Muy Mala	V B	1 - 10

RESUMEN DE LOS DATOS INGRESADOS, PROCESADOS Y CALCULADOS

Unidad : U.M. Orcopampa
Labor / Tunel : Bocamina San Pedro
Responsable : Ingeniería-PSA
Coordenadas : X : 802697
 : Y : 8322627
 : Z : 4732

Fecha : 11/11/2016
Ubicación : Arequipa
Roca : Tobas dacíticas Brechoides
Observaciones : Progresiva 0+ 95 - 0+115

DATOS INGRESADOS Y PROCESADOS

Valores de Entrada usango rangos de acuerdo al Sistema de Clasificación Geomecánica

PARÁMETROS DE ENTRADA				RMR (1989)	Q (1993)	RMi (2008)	
Datos de la Excavacion Subterranea y/o Tunel	Span de Tunel (m)			Span = 3.50	Span = 3.50	Dt = 3.50	
	Altura de Pared (m)			Pared = 3.50	Pared = 3.50	Pared = 3.50	
A	Roca	A1	Resistencia a la Compresion Uniaxial de la Roca Intacta (UCS o)	A1 = 4	-	$\sigma_c = 44$ MPa	
B	Grado de las Discontinuidades	B1	RQD (Rock Quality Designation)	A2 = 13	RQD = 65.5	-	
		B2	Volumen del Block (Vb)	-	-	Vb = 0.004787 m ³	
		B3	Densidad de Juntas Volumétricas (Jv)	A3 = 8	-	-	
C	Patron de Discontinuidades	C1	Forma de los Bloques	-	-	$\beta = 27$	
		C2	Numero de Sets de Juntas	-	Jn = 12	Nj = 0.85	
		C3	Orientacion del Set de Discontinuidades Principal	En techo	B = -5	-	Co = 1.5
		En paredes		-	-	Co = 1.5	
D	Caracteristicas de las Discontinuidades	D1	Suavidad de las Discontinuidades	A4c = 5	Jr = 2.1	js = 1.5	
		D2	Ondulacion de las Discontinuidades	-		jw = 1.4	
		D3	Alteracion de las Discontinuidades	En techo	A4e = 0	Ja = 6	jA = 6
		En paredes		A4d = 4			
		D4	Longitud de las Discontinuidades o Persistencia	A4a = 4	-	jL = 1.5	
D5	Separacion de las Discontinuidades o Apertura	A4b = 4	-	-			
E	Compactación	E	Compactacion del Macizo Rocoso	-	-	IL = 0.8	
F	Aguas Subterraneas	F	Aguas Subterraneas en el Tunel y/o Exc. Sub.	A5 = 7	Jw = 0.66	GW = 1	
G	Esfuerzos de Roca	G1	Nivel de Esfuerzos	-	SRF = 10	SL = ?	
		G2	Radio de Esfuerzos/ Competencia del terreno	-		Cg = 0.75	
H	Zonas de Debilidad	H1	Tipo	-	-	-	
		H2	Espesor o ancho de la Zona (m)	-	-	Tz = k	
		H3	Orientacion de la Zona	En techo	-	-	Co = 1.50
				En paredes	-	-	Co = 3.00

RESUMEN DE LOS DATOS INGRESADOS, PROCESADOS Y CALCULADOS

Unidad	: U.M. Orcopampa	Fecha	: 11/11/2016
Labor / Tunel	: Bocamina San Pedro	Ubicación	: Arequipa
Responsable	: Ingeniería-PSA	Roca	: Tobas dacíticas Brechoides
Coordenadas	X : 802697	Observaciones	: Progresiva 0+ 95 - 0+115
	Y : 8322627		
	Z : 4732		

RESULTADO DE LOS CALCULOS

PARAMETROS DE SALIDA		RMR (1989)	Q (1993)	RMi (1995)
Continuidad del Macizo Rocoso (Alrededor del Tunel)		-	-	Discontinuidades (En bloques)
Compacidad de la Estructura del Macizo Rocoso (MR = Macizo Rocoso)		-	-	Perturbado/abierto MR con pliegues / fallas y bloques angulares
Calidad del Macizo Rocoso (aproximadamente esfuerzo)		-	-	RMi = 0.26 Moderado
Calidad del Terreno (Relacionada a la Estabilidad)	En techo	RMR = 44 Admisible	Q = 0.0600417 Extremadamante mala	
	En paredes	RMR = 44	Q = 0.0600	
Formacion de Bloques (Relacionado a la Inestabilidad de Bloques en el Macizo Rocoso)	En techo	-	-	Sr = 48.86 Desfavorable
	En paredes	-	-	Sr = 48.86 Desfavorable
Zona de Debilidad (m)		-		Tamaño = k
Esfuerzos en el Macizo Rocoso			Zonas de Debilidad	
Problemas Potenciales por Esfuerzos		-	Deform. Leve	Macizo Rocoso con material triturado
Limitaciones		El RMR se limita a zonas visibles de debilidad	Posible limitacion por terreno triturado	Las zonas de debilidad necesitan mas evaluaciones

MAPEO GEOMECANICO

MAPEO LINEAL

Nivel: 4732

Labor: Gal. BM San Pedro

Fecha: Agosto 2016

Litología: Tobas Dácíticas

Hecho por: RSG/JMC

Registro N°

Observaciones

CLASIFICACION DEL MACIZO

ROCOOSO RMR

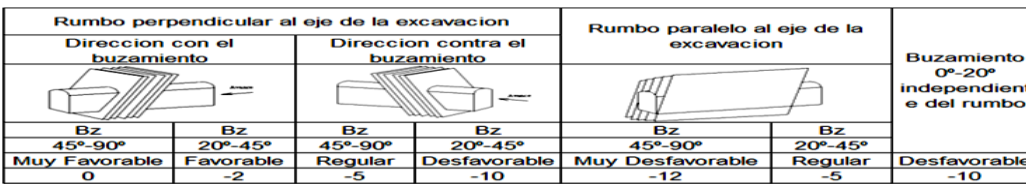
RMR	DESCRIPCION
91-100	MUY BUENA "A"
81-90	MUY BUENA "B"
71-80	BUENA "A"
61-70	BUENA "B"
51-60	REGULAR "A"
41-50	REGULAR "B"
31-40	MALA "A"
21-30	MALA "B"
0-20	MUY MALA "A"

# Fract/ml	RQD
2	98
3	96
4	94
5	91
6	88
7	84
8	81
9	77
10	74
11	70
12	66
13	63
14	59
15	56
16	53
17	49
18	46
19	43
20	41
21	38
22	35
23	33
24	31
25	29
26	27
27	25
28	23
29	21
30	20

N°	Tipo de Discontinuidad	D. Dióclasis, F. Falla	RUMBO	DIP (BUZAMIENTO)	DIP DIR. (AZIMUT) (DIREC. BUZAMIENTO)	Resistencia a la Compresión		RQD		Espaciamiento entre Discontinuidad		CONDICIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES										Agua Subterránea		Orientación Discontinuidades		RMR
						15	12	20	17	6	4	Persistencia		Apertura		Rugosidad		Relleno		Alteración		15	10	0	-2	
						7	4	13	8	1	0	6	5	4	3	2	1	0	6	5	4	3	2	1	0	
1	D	50°	80°	160°	04	4	03	13	03	10	03	2	01	6	03	3	04	1	04	1	04	4	03	-5	39	
2	D	345°	66°	245°	04	4	03	13	04	8	02	4	04	1	02	5	04	1	05	0	04	4	03	-5	35	
3	D	145°	80°	45°	04	4	03	13	04	8	01	6	04	1	03	3	05	0	04	1	04	4	02	-2	38	
4	D	358°	65°	267°	04	4	03	13	03	10	02	4	04	1	03	3	03	2	04	1	04	4	03	-5	37	
5	D	245°	33°	135°	04	4	04	8	04	8	01	6	01	6	03	3	03	2	04	1	04	4	04	-10	32	
6																										
7																										
8																										
9																										
10																										
11																										
12																										
13																										
14																										
15																										
16																										
17																										
18																										
19																										
20																										
21																										
22																										

Promedio 36

GRADO	INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACION DE CAMPO	RANGO RESIS. COMP. Mpa
R1	Deleznable con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo se desconcha con una cuchilla	1,0 - 5,0
R2	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)	5 - 25
R3	No se raya ni desconcha con cuchillo. La muestra se rompe con golpe firme del martillo	25 - 50
R4	La muestra se rompe con mas de un golpe del martillo	50 - 100
R5	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra	100 - 250
R6	Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo	> 250



Descripción	Sub Clase	RMR
Roca Muy Buena	I	81 - 100
Roca Buena	II A	71 - 80
Roca Buena	II B	61 - 70
Roca Regular	III A	51 - 60
Roca Regular	III B	41 - 50
Roca Mala	IV A	31 - 40
Roca Mala	IV B	21 - 30
Roca Muy Mala	V A	11 - 20
Roca Muy Mala	V B	1 - 10

RESUMEN DE LOS DATOS INGRESADOS, PROCESADOS Y CALCULADOS

Unidad : U.M. Orcopampa
Labor / Tunel : Bocamina San Pedro
Responsable : Ingeniería PSA
Coordenadas : X : 802697
 : Y : 8322627
 : Z : 4732

Fecha : 1/11/2016
Ubicación : Arequipa
Roca : Tobas dacíticas Brechoides
Observaciones : Progresiva 0+ 055- 0 +095

DATOS INGRESADOS Y PROCESADOS

Valores de Entrada usango rangos de acuerdo al Sistema de Clasificación Geomecánica

PARÁMETROS DE ENTRADA				RMR (1989)	Q (1993)	RMi (2008)	
Datos de la Excavacion Subterranea y/o Tunel	Span de Tunel (m)			Span = 3.50	Span = 3.50	Dt = 3.50	
	Altura de Pared (m)			Pared = 3.50	Pared = 3.50	Pared = 3.50	
A	Roca	A1	Resistencia a la Compresion Uniaxial de la Roca Intacta (UCS o)	A1 = 4	-	$\sigma_c = 35.5$ MPa	
B	Grado de las Discontinuidades	B1	RQD (Rock Quality Designation)	A2 = 13	RQD = 61	-	
		B2	Volumen del Block (Vb)	-	-	Vb = 0.003586 m ³	
		B3	Densidad de Juntas Volumétricas (Jv)	A3 = 8	-	-	
C	Patron de Discontinuidades	C1	Forma de los Bloques	-	-	$\beta = 27$	
		C2	Numero de Sets de Juntas	-	Jn = 12	Nj = 0.85	
		C3	Orientacion del Set de Discontinuidades Principal	En techo	B = -5	-	Co = 1.5
		En paredes		-	-	Co = 1.5	
D	Caracteristicas de las Discontinuidades	D1	Suavidad de las Discontinuidades	A4c = 3	Jr = 2.5	js = 1.25	
		D2	Ondulacion de las Discontinuidades	-		jw = 2	
		D3	Alteracion de las Discontinuidades	En techo	A4e = 0	Ja = 10	jA = 10
				En paredes	A4d = 0		
		D4	Longitud de las Discontinuidades o Persistencia	A4a = 4	-	jL = 1.5	
D5	Separacion de las Discontinuidades o Apertura	A4b = 5	-	-			
E	Compactación	E	Compactacion del Macizo Rocoso	-	-	IL = 0.8	
F	Aguas Subterraneas	F	Aguas Subterraneas en el Tunel y/o Exc. Sub.	A5 = 4	Jw = 0.5	GW = 2.5	
G	Esfuerzos de Roca	G1	Nivel de Esfuerzos	-	SRF = 10	SL = ?	
		G2	Radio de Esfuerzos/ Competencia del terreno	-		Cg = 0.75	
H	Zonas de Debilidad	H1	Tipo	-	-	-	
		H2	Espesor o ancho de la Zona (m)	-	-	Tz = 1.00	
		H3	Orientacion de la Zona	En techo	-	-	Co = 1.50
				En paredes	-	-	Co = 2.00

RESUMEN DE LOS DATOS INGRESADOS, PROCESADOS Y CALCULADOS

Unidad	: U.M. Orcopampa	Fecha	: 1/11/2016
Labor / Tunel	: Bocamina San Pedro	Ubicación	: Arequipa
Responsable	: Ingeniería PSA	Roca	: Tobas dacíticas Brechoides
Coordenadas	X : 802697	Observaciones	: Progresiva 0+ 055- 0 +095
	Y : 8322627		
	Z : 4732		

RESULTADO DE LOS CALCULOS

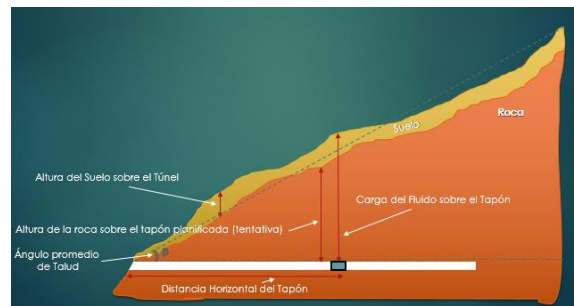
PARAMETROS DE SALIDA		RMR (1989)	Q (1993)	RMi (2008)
Continuidad del Macizo Rocoso (Alrededor del Tunel)		-	-	Zona de Debilidad
Compacidad de la Estructura del Macizo Rocoso (MR = Macizo Rocoso)		-	-	Perturbado/abierto MR con pliegues / fallas y bloques angulares
Calidad del Macizo Rocoso (aproximadamente esfuerzo)		-	-	RMi = 0.10 Moderado
Calidad del Terreno (Relacionada a la Estabilidad)	En techo	RMR = 36 Pobre	Q = 0.0254167 Extremadamante mala	
	En paredes	RMR = 36	Q = 0.0254	
Formacion de Bloques (Relacionado a la Inestabilidad de Bloques en el Macizo Rocoso)	En techo	-	-	Sr = 15.37 Admisible
	En paredes	-	-	Sr = 15.37 Admisible
Zona de Debilidad (m)		-	-	Tamaño = 1
Esfuerzos en el Macizo Rocoso Problemas Potenciales por Esfuerzos		-	Zonas de Debilidad	
			Deform. Leve	Macizo Rocoso con material triturado
Limitaciones		El RMR se limita a zonas visibles de debilidad	Posible limitacion por terreno triturado	Las zonas de debilidad necesitan mas evaluaciones

DISEÑO DE TAPONES

PROYECTO	PARIGUANAS	COORDENADAS	X : 802697
UBICACIÓN	BOCAMINA SAN PEDRO		Y : 8322627
LABOR	NV. 4732		Z : 4747

I PARÁMETROS DE DISEÑO

Ancho de la labor (b)	5.80	m
Altura de la labor (h)	5.30	m
Densidad de la roca	2490	kg/m ³
Densidad del suelo	1800	kg/m ³
RMR	36	
carga del fluido al tapón	36	m
Altura de la roca sobre el tapón planificada	45	m
Angulo promedio de talud	20	Grados
Altura del Suelo sobre el tunel	1.00	m
Aceleracion Maxima del Terreno	0.38	g
Tipo de Roca para la filtración	Roca Mala	



II CONDICIONES INICIALES

REQUISITOS PARA CONCRETOS EXPUESTOS A SULFATOS					
Tipo de Exposición a Sulfatos	Sulfatos (SO4) Solubles en Agua Presentes en el Soluta (%)	Sulfatos (SO4) en Agua	Tipo de Cemento Recomendado	Relación Agua/Cemento Recomendada (concreto normal)	f'c minimo (Kg/cm2)
Despreciable	0 a 0.10	0 a 150	-	-	-
Moderada	0.10 a 0.20	150 a 1 500	II, IP(MS), IS (MS), IPM (MS), I (SM)(MS)	0.5	280
Severa	0.20 a 2.00	1 500 a 10 000	V	0.45	315
Muy Severa	> 2.00	> 10 000	V+ Puzolana	0.45	315

Fuente ACI 318-05

Tipo de Exposición de Sulfatos

Severa

Cemento Tipo
f'c

Cemento Puzolanico
315 Kg/cm2

Resistencia a la compresion del concreto
Resistencia al corte del concreto

f'c	30.89	MPa
f's	923.18	KPa

RESISTENCIA AL CORTE Y GRADIENTES HIDRAÚLICAS DE DISEÑO PARA TAPONES DE TÚNEL (BENSON 1989)					
Condición General de la Roca RMR, Clasificación del Macizo Rocoso	RMR	Resistencia al Corte (KPa)	Máxima Resistencia al corte Admisible F.S. = 3 (KPa)	Gradiente Hidráulica (m/m) Max. Permissible	Gradiente de Presión Max. Permissible (Kpa/m)
Roca Muy Buena	81 < RMR < 100	1500	500	15 - 30	150 - 300
Roca Buena Dura a Moderadamente dura, con discontinuidades moderadas	61 < RMR < 80	900	300	10 - 14	100 - 140
Roca Regular Moderada a Débil, con discontinuidades moderadas	41 < RMR < 60	600	200	7 - 9	70 - 90
Roca Mala Débil, con muchas Discontinuidades	21 < RMR < 40	300	100	5 - 6	50 - 60
Roca Muy Mala , Muy Débil, Posiblemente Erosionados	RMR < 20	150	50	3 - 4	30 - 40

Tipo de Macizo Rocoso :

36

Roca Mala Débil, con muchas Discontinuidades

Resistencia Maxima Admisible al Corte del Macizo Rocoso

100

 KPa

CONDICIÓN 1: Comparar las resistencias de corte admisibles del macizo rocoso y del concreto y elegir el menor

Resistencia Maxima Admisible al Corte del concreto

923.18

 KPa

Resistencia Maxima Admisible al Corte del Macizo Rocoso

100

 KPa

CONDICIÓN 1

100

KPa

La falla por corte es controlada por el Concreto

II LONGITUD DEL TAPON BASADA EN LA RESISTENCIA AL CORTE EN LA INTERFAZ CONCRETO/ROCA

Esf. Cortante Máximo Permissible =	923.18	KPa
Esf. Cortante Permissible menor de los dos =	100	KPa
Máxima Gradiente de Presión =	60	KPa/m
Densidad del fluido =	1000	Kg/m3
Const. Gravitacional =	9.81	m/s2
Carga del fluido al Tapón =	36	m
Pf (presión de Fluido Aplicada) =	353160	Pa
Área de la parte frontal del Tapón =	30.74	m2
Perímetro de la Sección =	22.20	m

Longitud del Tapón basada en la resistencia al corte en la interfaz concreto roca

$$L = \frac{P_f * A}{P_e * f'_s}$$

3.67

m

Longitud del Tapón basada en la resistencia al soporte del concreto y la roca en la interfaz

$$L = \frac{2 * P_f * A}{P_e * f'_c}$$

1.96

m

III DISEÑO DE TAPONES POR EL CRITERIO DE VIGA PROFUNDA PARA TAPONES DE CONCRETO NO REFORZADO (Esfuerzo de Tensión Admisible en la cara aguas abajo)

CONDICIÓN 2: Según ACI 318-95 un tapón es de categoría de viga gruesa cuando la relación ancho/longitud del tapón > 1.25 y necesitara refuerzos de acero

Ancho / Long. De Tapón

2.97

Condición 2

Es tapón de viga gruesa y necesita refuerzo

LONGITUD DE TAPÓN POR EL CRITERIO DE VIGA PROFUNDA SIN REFORZAR

Esfuerzo de Tensión Admisible en la Cara aguas abajo :

$$f't = 415.2\sqrt{f'_c}$$

$f_t =$	2307.7	KPa
Altura de fluido al Tapón=	36.0	m
(Factor de Carga) $\alpha =$	1.5	
Carga por metro de longitud de fluido =	529.74	KN/m
Máximo momento de flexión ($wl^2/8$) =	2227.56	KN-m (simplemente apoyada - carga distribuida)
Factor de Reducción =	0.65	
Momento Último ($M_u = Mn/\phi$) =	3427.01	KN-m
Peso Unitario de la viga (b)	0.95	
$L = \sqrt{\frac{6M_n}{b(f'_t)}}$	2.30	m

IV FALLA DEBIDO A LA FRACTURACION HIDRAÚLICA POR EL CRITERIO EMPÍRICO

$$H_r = \frac{1.3H_w - H_s\gamma_s}{\gamma_r}$$

H_r = Altura de la roca sobre el túnel (m)
 γ_r = Densidad de la roca (tn/m3)
 H_s = Altura del suelo sobre el túnel (m)
 γ_s = Densidad del suelo (tn/m3)
 H_w = carga estática máxima (m)

Carga Estática máxima (H_w)	36.0	m
Altura del suelo sobre el tunel (H_s)	1	m
Densidad del suelo (γ_s)	1.8	t/m3
Densidad de la roca (γ_r)	2.49	t/m3
Altura de la roca sobre el túnel (H_r)	18.07	m

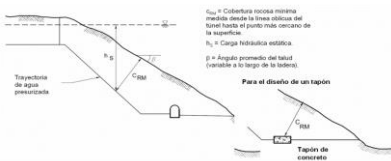
CONDICIÓN 3: La altura de la roca sobre el túnel donde se ubica el tapon debe de ser menor que el altura planificado para asegurar la estabilidad del tapon, caso contrario es recomendable mover el tapón mas hacia el interior o ejecutar mediciones de esfuerzo in-situ

Condición 3 CUMPLE CON LA PROFUNDIDAD REQUERIDA

V FALLA DEBIDO A LA FRACTURACIÓN EXCESIVA CRITERIO NORUEGO

$$C_{RM} = \frac{\gamma_w * h_s * FS}{\gamma_r * \cos\beta}$$

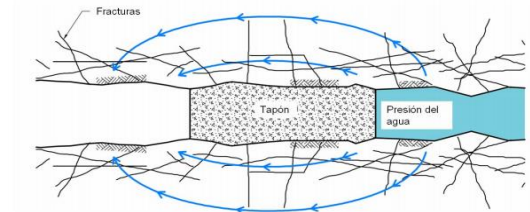
C_{RM} = Cobertura mínima de roca medida desde el túnel oblicuamente hasta el punto mas cercano de la superficie del terreno (i.e. la distancia mas corta a la superficie) (m)
 h_s = Carga de agua estática del diseño (m)
 γ_w = Peso Unitario del agua (MN/m3)
 γ_r = Peso Unitario de la roca (MN/m3)
 β = Ángulo promedio del talud de la ladera (varia con el talud)
 FS Factor de Seguridad, se deberia aplicar un mínimo de 1.3



FS =	1.3	
$\beta =$	20	
Carga de agua estática de diseño (h_s) =	36.0	m
Peso Unitario del agua (γ_w) =	1	MN/m3
Peso Unitario de la roca (γ_r) =	2.49	MN/m3
Altura de la roca sobre el túnel (C_{RM}) =	20.00	m

Condición 3 CUMPLE CON LA PROFUNDIDAD REQUERIDA

VI FALLA POR FILTRACIÓN EXCESIVA (BAJO GRADIENTES HIDRAÚLICAS ADVERSAMENTE ALTAS)



Gradiente Hidráulica Maxima	9.82	m
Maxima Gradiente Hidráulica Admisible	6	m/m

Longitud Equivalente de Tapon sin Carga Hidráulica Adicional **4.50** m

CONDICIÓN 4: Gradiente Hidráulica Empírica/Verificaciones de Infiltración

Carga de Fluido de Diseño (P)	353.16	KPa				
Factor de Seguridad	10					
					Factor de Seguridad	
					Roca Buena	4
					Roca Mala	10

P/L <=	470	KPa/m	Cuando el contacto entre el tapón y la roca no esta inyectado
P/L <=	3660	KPa/m	Quando la presion de la inyección aplicada dentro del macizo rocoso alrededor del tapón es por lo menos dos veces la presión hidrostática de diseño.

P/L	366.00	KPa/m	
Longitud Mínima de Tapon	0.96	m	

Condición 4 CUMPLE CON LA ESPECIFICACIÓN DE INYECTADO EN INTERFAZ CONCRETO/ROCA

VII FALLA POR PELIGRO SÍSMICO

Ariete Hidráulico debido a Carga Sísmica

$$P_H = cvp \quad \frac{v_{max}}{a_{max}} = 55 \text{ cm/s/g}$$

- a = Aceleración Sísmica Máxima
- c = Velocidad acústica del agua (1437 m/s)
- v = Velocidad en tierra (m/s)
- p = Densidad del agua (kg/m³)

a max	0.38	g	
v max	20.9	cm/s	
Velocidad Acústica del Agua	1435	m/s	
Densidad del agua	1000	Kg/m ³	

Ariete Hidráulico 224.94 KPa

CARGA HIDRAÚLICA ADICIONAL POR ARIETE

Carga Hidraulica Adicional Generada por el Ariete 22.93 m

Maxima Gradiente Hidráulica Admisible 6 m/m

Longitud de tapon por Ariete (Carga Dinamica) 2.87 m

LONGITUD TOTAL DE TAPON EQUIVALENTE CON CARGA ESTATICA + DINAMICA

Total Carga Hidraulica 58.93 m

Longitud Total de Tapon 9.82 m

ÁNÁLISIS Y DISEÑO FINAL

TIPO DE TAPON INDENTADO

Por tener caudal de agua (según el tipo de acuerdo a estudios) por infiltracion y/o estancamiento el cual produce licuefaccion del macizo rocoso ademas por la continuidad de sismos en la zona por lo cual debe construirse el tapon teniendo en cuenta la carga estática + la carga dinámica con inyeccion de consolidacion e impermeabilizacion

Longitud de Tapon por Carga Estatica 4.50 m

Longitud de Tapon por Carga Dinamica 2.87 m

Longitud Total de Tapon (Carga Estatica + Dinámica) 7.37 m → **Tapon para la Prog. 124 m**

Progresiva de ubicación horizontal del Tapon desde la Bocamina según Encampane 123.64 m

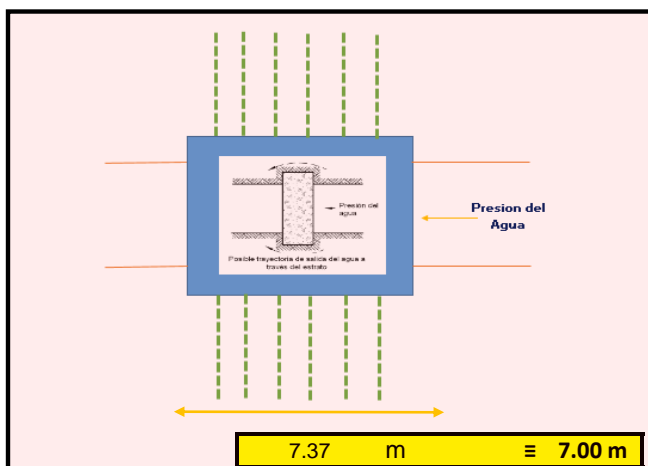
Progresiva de ubicación horizontal del Tapon desde la Bocamina según Criterio Noruego y Empirico 52.30 m

LONGITUD DE TAPONES MODIFICADO CON GALERIA DE IMPERMEABILIZACION

Longitud Total de Tapon	7.37	m	Para retener la filtración excesiva con factor de seguridad, tipo de fracturamiento (RMR) y Gradiente Hidráulica
Longitud Promedio de Tapon Compuesto	3.67	m	Para retener la carga del agua estática
Longitud de Impermeabilizacion	3.70	m	Para retener la carga del agua dinamica

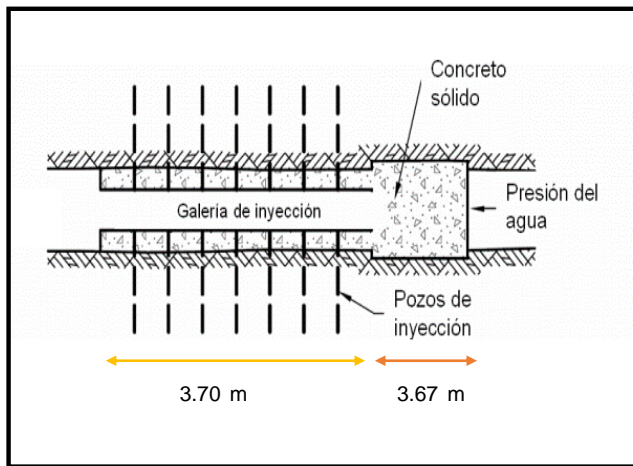
TAPON INDENTADO

Para caudales Constantes de infiltración o estancamiento



TAPON COMPUESTO

Para escaso caudal de infiltración o estancamiento



DISEÑO DE IMPERMEABILIZACION Y CONSOLIDACION BOCAMINA SAN PEDRO (L = 7.00 m) - UM ORCOPAMPA

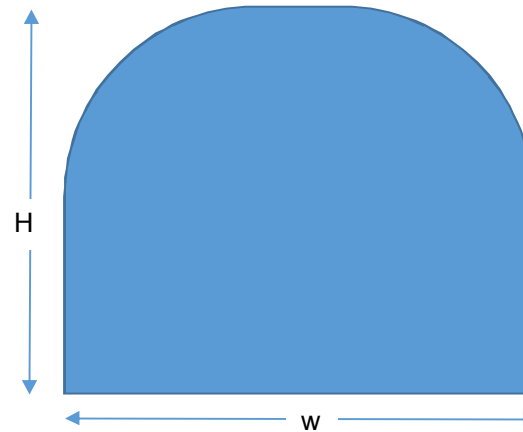
AREA Y PERIMETRO DE LA LABOR

Ancho Labor m

Altura Labor m

Area m²

Perimetro m



CANTIDAD DE ANILLOS DE IMPERMEABILIZACION

Longitud de Tapon m

Espacimiento Promedio m

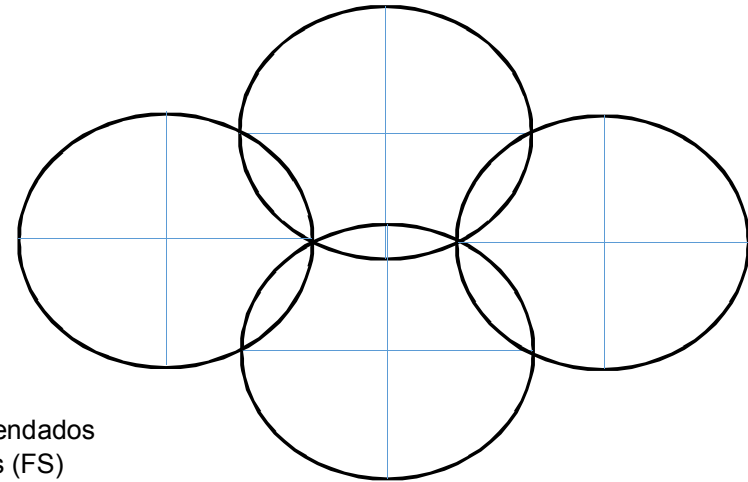
Numero de Anillos

Numero de Anillos

*Espac. Recomendado por Houlsby
para condiciones de humedad y goteo lento

RADIO DE INFLUENCIA DE LOS TALADROS CON INYECCION DE RESINA

Capacidad de Soporte Esperada (P) Ton
 Longitud Efectiva del Taladro (L) m
 Densidad de la Roca ton/m³
 Factor de Seguridad (FS)
Radio de Accion (r) m
Diametro de Accion (D) m



OBS: La cantidad de taladros es referencial por la cantidad de anillos recomendados por lo cual al disminuir la cantidad de anillos aumenta la cantidad de taladros (FS)

Longitud de Superposicion (x) m
Radio de Influencia Parcial de Resina (d) m
Diametro Efectivo de Accion (D) m
Altura de Superposicion (h) m

DISTRIBUCION DE TALADROS

	Long	# Tal	Dist. Tal	Distr. Tal
Piso	5.80	5.45	5.00	5.00
Hastial Der	2.65	2.49	2.00	2.00
Hastial Izq	2.65	2.49	2.00	2.00
Techo	9.99	9.38	9.00	9.00
	21.09	19.81		18.00

DISEÑO DE IMPERMEABILIZACION DE CONTACTO ROCA - CONCRETO

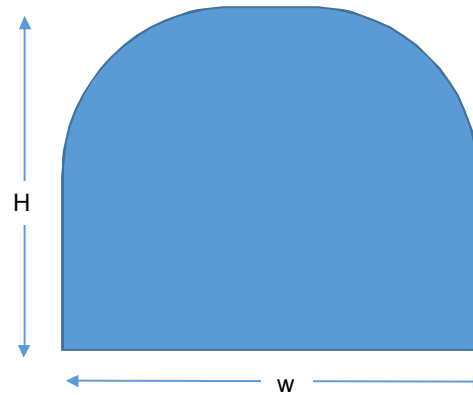
AREA Y PERIMETRO DE LA LABOR

Ancho Labor m

Altura Labor m

Area m²

Perimetro m



RADIO DE INFLUENCIA DE LOS TALADROS CON INYECCION DE RESINA

Capacidad de Soporte Esperada (P) Ton

Longitud Efectiva del Taladro (L) m

Densidad de la Roca ton/m³

Factor de Seguridad (FS)

Radio de Accion (r) m

Diametro de Accion (D) m

DISTRIBUCION DE TALADROS

	Long	# Tal	Dist. Tal	Distr. Tal
Piso	4.00	3.39	3.00	3.00
Hastial Der	1.75	1.48	1.00	1.00
Hastial Izq	1.75	1.48	1.00	1.00
Techo	6.72	5.69	6.00	6.00
	14.22	12.04		11.00

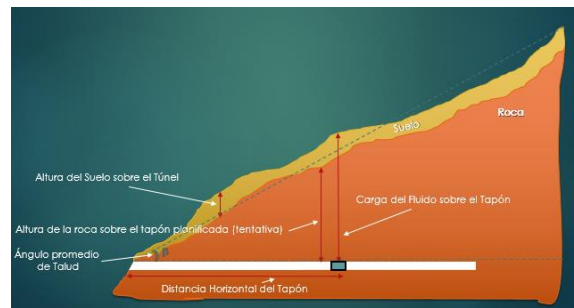
OBS: La cantidad de taladros es referencial por la cantidad de anillos recomendados por lo cual al disminuir la cantidad de anillos aumenta la cantidad de taladros (FS)

DISEÑO DE TAPONES

PROYECTO	PARIGUANAS	COORDENADAS	X : 802697
UBICACIÓN	BOCAMINA SAN PEDRO		Y : 8322627
LABOR	NV. 4732		Z : 4747

I PARÁMETROS DE DISEÑO

Ancho de la labor (b)	5.80	m
Altura de la labor (h)	5.30	m
Densidad de la roca	2490	kg/m ³
Densidad del suelo	1800	kg/m ³
RMR	42	
carga del fluido al tapón	29	m
Altura de la roca sobre el tapón planificada	37	m
Angulo promedio de talud	20	Grados
Altura del Suelo sobre el tunel	1.00	m
Aceleracion Maxima del Terreno	0.38	g
Tipo de Roca para la filtración	Roca Mala	



II CONDICIONES INICIALES

REQUISITOS PARA CONCRETOS EXPUESTOS A SULFATOS					
Tipo de Exposición a Sulfatos	Sulfatos (SO4) Solubles en Agua Presentes en el Soluta (%)	Sulfatos (SO4) en Agua	Tipo de Cemento Recomendado	Relación Agua/Cemento Recomendada (concreto normal)	f'c minimo (Kg/cm2)
Despreciable	0 a 0.10	0 a 150	-	-	-
Moderada	0.10 a 0.20	150 a 1 500	II, IP(MS), IS (MS), IPM (MS), I (SM)(MS)	0.5	280
Severa	0.20 a 2.00	1 500 a 10 000	V	0.45	315
Muy Severa	> 2.00	> 10 000	V+ Puzolana	0.45	315

Fuente ACI 318-05

Tipo de Exposición de Sulfatos

Severa

Cemento Tipo
f'c

Cemento Puzolanico
315 Kg/cm2

Resistencia a la compresion del concreto
Resistencia al corte del concreto

f'c	30.89	MPa
f's	923.18	KPa

RESISTENCIA AL CORTE Y GRADIENTES HIDRAÚLICAS DE DISEÑO PARA TAPONES DE TÚNEL (BENSON 1989)					
Condición General de la Roca RMR, Clasificación del Macizo Rocoso	RMR	Resistencia al Corte (KPa)	Máxima Resistencia al corte Admisible F.S. = 3 (KPa)	Gradiente Hidráulica (m/m) Max. Permissible	Gradiente de Presión Max. Permissible (Kpa/m)
Roca Muy Buena	81 < RMR < 100	1500	500	15 - 30	150 - 300
Roca Buena Dura a Moderadamente dura, con discontinuidades moderadas	61 < RMR < 80	900	300	10 - 14	100 - 140
Roca Regular Moderada a Débil, con discontinuidades moderadas	41 < RMR < 60	600	200	7 - 9	70 - 90
Roca Mala Débil, con muchas Discontinuidades	21 < RMR < 40	300	100	5 - 6	50 - 60
Roca Muy Mala , Muy Débil, Posiblemente Erosionados	RMR < 20	150	50	3 - 4	30 - 40

Tipo de Macizo Rocoso :

42

Roca Regular Moderada a Débil, con discontinuidades moderadas

Resistencia Maxima Admisible al Corte del Macizo Rocoso

200

 KPa

CONDICIÓN 1: Comparar las resistencias de corte admisibles del macizo rocoso y del concreto y elegir el menor

Resistencia Maxima Admisible al Corte del concreto

923.18

 KPa

Resistencia Maxima Admisible al Corte del Macizo Rocoso

200

 KPa

CONDICIÓN 1

200

KPa

La falla por corte es controlada por el Concreto

II LONGITUD DEL TAPON BASADA EN LA RESISTENCIA AL CORTE EN LA INTERFAZ CONCRETO/ROCA

Esf. Cortante Máximo Permissible =	923.18	KPa
Esf. Cortante Permissible menor de los dos =	200	KPa
Máxima Gradiente de Presión =	90	KPa/m
Densidad del fluido =	1000	Kg/m3
Const. Gravitacional =	9.81	m/s2
Carga del fluido al Tapón =	29	m
Pf (presión de Fluido Aplicada) =	284490	Pa
Área de la parte frontal del Tapón =	30.74	m2
Perímetro de la Sección =	22.20	m

Longitud del Tapón basada en la resistencia al corte en la interfaz concreto roca

$$L = \frac{P_f * A}{P_e * f'_s}$$

1.48

m

Longitud del Tapón basada en la resistencia al soporte del concreto y la roca en la interfaz

$$L = \frac{2 * P_f * A}{P_e * f'_c}$$

0.79

m

III DISEÑO DE TAPONES POR EL CRITERIO DE VIGA PROFUNDA PARA TAPONES DE CONCRETO NO REFORZADO (Esfuerzo de Tensión Admisible en la cara aguas abajo)

CONDICIÓN 2: Según ACI 318-95 un tapón es de categoría de viga gruesa cuando la relación ancho/longitud del tapón > 1.25 y necesitara refuerzos de acero

Ancho / Long. De Tapón

7.36

Condición 2

Es tapón de viga gruesa y necesita refuerzo

LONGITUD DE TAPÓN POR EL CRITERIO DE VIGA PROFUNDA SIN REFORZAR

Esfuerzo de Tensión Admisible en la Cara aguas abajo :

$$f't = 415.2\sqrt{f'_c}$$

$f_t =$	2307.7	KPa
Altura de fluido al Tapón=	29.0	m
(Factor de Carga) $\alpha =$	1.5	
Carga por metro de longitud de fluido =	426.735	KN/m
Máximo momento de flexión ($wl^2/8$) =	1794.42	KN-m (simplemente apoyada - carga distribuida)
Factor de Reducción =	0.65	
Momento Último (Mu= Mn/ ϕ) =	2760.65	KN-m
Peso Unitario de la viga (b)	0.95	
$L = \sqrt{\frac{6M_n}{b(f'_t)}}$	2.06	m

IV FALLA DEBIDO A LA FRACTURACION HIDRAÚLICA POR EL CRITERIO EMPÍRICO

$$H_r = \frac{1.3H_w - H_s\gamma_s}{\gamma_r}$$

H_r = Altura de la roca sobre el túnel (m)
 γ_r = Densidad de la roca (tn/m3)
 H_s = Altura del suelo sobre el túnel (m)
 γ_s = Densidad del suelo (tn/m3)
 H_w = carga estática máxima (m)

Carga Estática máxima (Hw)	29.0	m
Altura del suelo sobre el tunel (Hs)	1	m
Densidad del suelo (γ_s)	1.8	t/m3
Densidad de la roca (γ_r)	2.49	t/m3
Altura de la roca sobre el túnel (Hr)	14.42	m

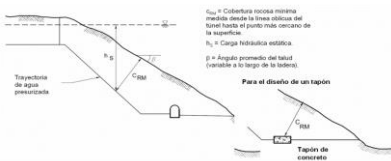
CONDICIÓN 3: La altura de la roca sobre el túnel donde se ubica el tapon debe de ser menor que el altura planificado para asegurar la estabilidad del tapon, caso contrario es recomendable mover el tapón mas hacia el interior o ejecutar mediciones de esfuerzo in-situ

Condición 3 CUMPLE CON LA PROFUNDIDAD REQUERIDA

V FALLA DEBIDO A LA FRACTURACIÓN EXCESIVA CRITERIO NORUEGO

$$C_{RM} = \frac{\gamma_w * h_s * FS}{\gamma_r * \cos\beta}$$

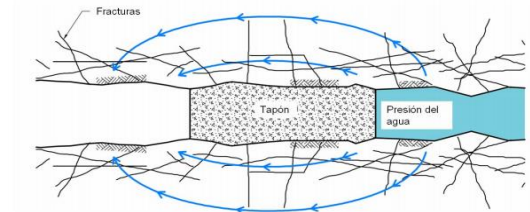
C_{RM} = Cobertura mínima de roca medida desde el túnel oblicuamente hasta el punto mas cercano de la superficie del terreno (i.e. la distancia mas corta a la superficie) (m)
 h_s = Carga de agua estática del diseño (m)
 γ_w = Peso Unitario del agua (MN/m3)
 γ_r = Peso Unitario de la roca (MN/m3)
 β = Ángulo promedio del talud de la ladera (varia con el talud)
 FS Factor de Seguridad, se deberia aplicar un mínimo de 1.3



FS =	1.3	
$\beta =$	20	
Carga de agua estática de diseño (hs) =	29.0	m
Peso Unitario del agua (γ_w) =	1	MN/m3
Peso Unitario de la roca (γ_r) =	2.49	MN/m3
Altura de la roca sobre el túnel (C_{RM}) =	16.11	m

Condición 3 CUMPLE CON LA PROFUNDIDAD REQUERIDA

VI FALLA POR FILTRACIÓN EXCESIVA (BAJO GRADIENTES HIDRAÚLICAS ADVERSAMENTE ALTAS)



Gradiente Hidráulica Maxima	19.63	m
Maxima Gradiente Hidráulica Admisible	9	m/m

Longitud Equivalente de Tapon sin Carga Hidráulica Adicional **2.42** m

CONDICIÓN 4: Gradiente Hidráulica Empírica/Verificaciones de Infiltración

Carga de Fluido de Diseño (P)	284.49	KPa		
Factor de Seguridad	10			

		Factor de Seguridad	
		Roca Buena	4
		Roca Mala	10

P/L <=	470	KPa/m	Cuando el contacto entre el tapón y la roca no esta inyectado
P/L <=	3660	KPa/m	Quando la presion de la inyección aplicada dentro del macizo rocoso alrededor del tapón es por lo menos dos veces la presión hidrostática de diseño.

		KPa/m		
P/L	366.00	KPa/m		
Longitud Mínima de Tapon	0.78	m		

Condición 4 CUMPLE CON LA ESPECIFICACIÓN DE INYECTADO EN INTERFAZ CONCRETO/ROCA

VII FALLA POR PELIGRO SÍSMICO

Ariete Hidráulico debido a Carga Sísmica

$$P_H = cvp \quad \frac{v_{max}}{a_{max}} = 55 \text{ cm/s/g}$$

- a = Aceleración Sísmica Máxima
- c = Velocidad acústica del agua (1437 m/s)
- v = Velocidad en tierra (m/s)
- p = Densidad del agua (kg/m³)

a max	0.38	g		
v max	20.9	cm/s		
Velocidad Acústica del Agua	1435	m/s		
Densidad del agua	1000	Kg/m ³		

Ariete Hidráulico 224.94 KPa

CARGA HIDRAÚLICA ADICIONAL POR ARIETE

Carga Hidraulica Adicional Generada por el Ariete 22.93 m

Maxima Gradiente Hidráulica Admisible 9 m/m

Longitud de tapon por Ariete (Carga Dinamica) 1.91 m

LONGITUD TOTAL DE TAPON EQUIVALENTE CON CARGA ESTATICA + DINAMICA

Total Carga Hidraulica 51.93 m

Longitud Total de Tapon 5.77 m

ÁNÁLISIS Y DISEÑO FINAL

TIPO DE TAPON INDENTADO

Por tener caudal de agua (según el tipo de acuerdo a estudios) por infiltracion y/o estancamiento el cual produce licuefaccion del macizo rocoso ademas por la continuidad de sismos en la zona por lo cual debe construirse el tapon teniendo en cuenta la carga estática + la carga dinámica con inyeccion de consolidacion e impermeabilizacion

Longitud de Tapon por Carga Estatica 2.42 m

Longitud de Tapon por Carga Dinamica 1.91 m

Longitud Total de Tapon (Carga Estatica + Dinámica) 4.33 m → **Tapon para la Prog. 101 m**

Progresiva de ubicación horizontal del Tapon desde la Bocamina según Encampane 101.66 m

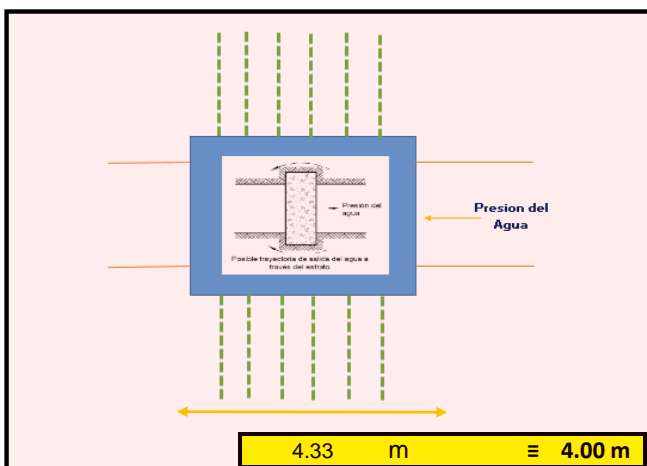
Progresiva de ubicación horizontal del Tapon desde la Bocamina según Criterio Noruego y Empirico 41.94 m

LONGITUD DE TAPONES MODIFICADO CON GALERIA DE IMPERMEABILIZACION

Longitud Total de Tapon	4.33	m	Para retener la filtración excesiva con factor de seguridad, tipo de fracturamiento (RMR) y Gradiente Hidráulica
Longitud Promedio de Tapon Compuesto	2.06	m	Para retener la carga del agua estática
Longitud de Impermeabilizacion	2.27	m	Para retener la carga del agua dinamica

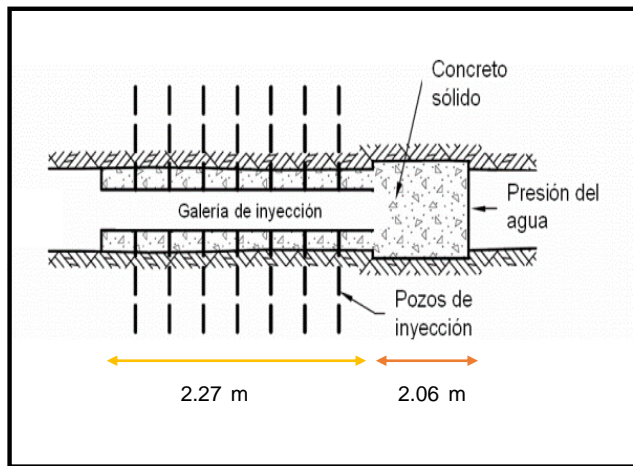
TAPON INDENTADO

Para caudales Constantes de infiltración o estancamiento



TAPON COMPUESTO

Para escaso caudal de infiltración o estancamiento



DISEÑO DE IMPERMEABILIZACION Y CONSOLIDACION BOCAMINA SAN PEDRO (L =4.00 m) - UM ORCOPAMPA

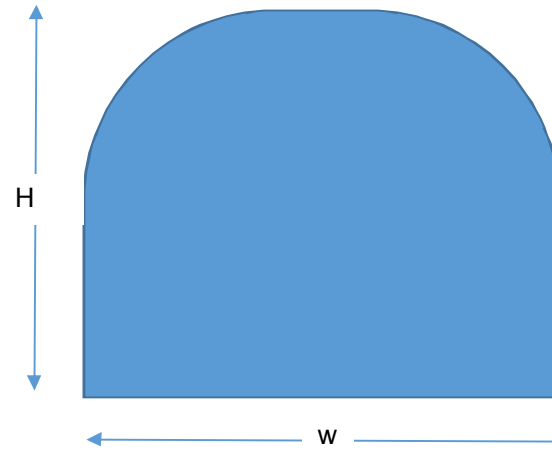
AREA Y PERIMETRO DE LA LABOR

Ancho Labor m

Altura Labor m

Area m²

Perimetro m



CANTIDAD DE ANILLOS DE IMPERMEABILIZACION

Longitud de Tapon m

Espacimiento Promedio m

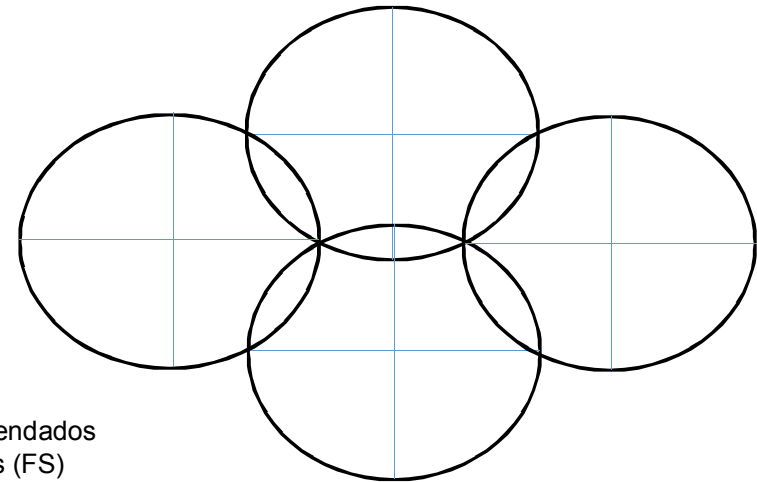
Numero de Anillos

Numero de Anillos

*Espac. Recomendado por Houlby
para condiciones de humedad y goteo lento

RADIO DE INFLUENCIA DE LOS TALADROS CON INYECCION DE RESINA

Capacidad de Soporte Esperada (P)	<input type="text" value="20.00"/>	Ton
Longitud Efectiva del Taladro (L)	<input type="text" value="6.00"/>	m
Densidad de la Roca	<input type="text" value="2.49"/>	ton/m ³
Factor de Seguridad (FS)	<input type="text" value="1.50"/>	
Radio de Accion (r)	<input type="text" value="0.53"/>	m
Diametro de Accion (D)	<input type="text" value="1.07"/>	m



OBS: La cantidad de taladros es referencial por la cantidad de anillos recomendados por lo cual al disminuir la cantidad de anillos aumenta la cantidad de taladros (FS)

Longitud de Superposicion (x)	<input type="text" value="0.05"/>	m
Radio de Influencia Parcial de Resina (d)	<input type="text" value="0.48"/>	m
Diametro Efectivo de Accion (D)	<input type="text" value="0.97"/>	m
Altura de Superposicion (h)	<input type="text" value="0.23"/>	m

DISTRIBUCION DE TALADROS EN LA SECCION

	Long	# Tal	Dist. Tal	Distr. Tal
Piso	5.80	5.45	5.00	5.00
Hastial Der	2.65	2.49	2.00	2.00
Hastial Izq	2.65	2.49	2.00	2.00
Techo	9.99	9.38	9.00	9.00
	21.09	19.81		18.00

DISEÑO DE IMPERMEABILIZACION DE CONTACTO ROCA - CONCRETO

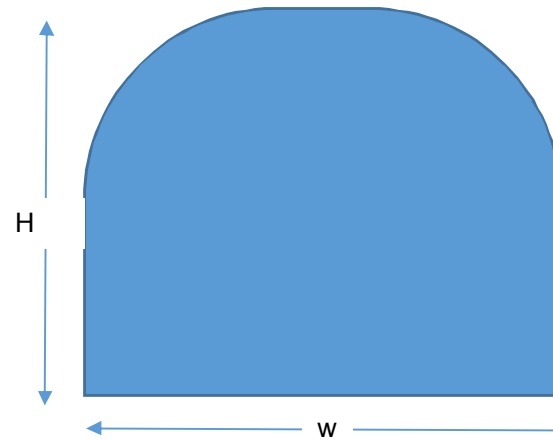
AREA Y PERIMETRO DE LA LABOR

Ancho Labor m

Altura Labor m

Area m²

Perimetro m



RADIO DE INFLUENCIA DE LOS TALADROS CON INYECCION DE RESINA

Capacidad de Soporte Esperada (P) Ton

Longitud Efectiva del Taladro (L) m

Densidad de la Roca ton/m³

Factor de Seguridad (FS)

Radio de Accion (r) m

Diametro de Accion (D) m

DISTRIBUCION DE TALADROS CONTACTO

	Long	# Tal	Dist. Tal	Distr. Tal
Piso	4.00	3.39	3.00	3.00
Hastial Der	1.75	1.48	1.00	1.00
Hastial Izq	1.75	1.48	1.00	1.00
Techo	6.72	5.69	6.00	6.00
	14.22	12.04		11.00

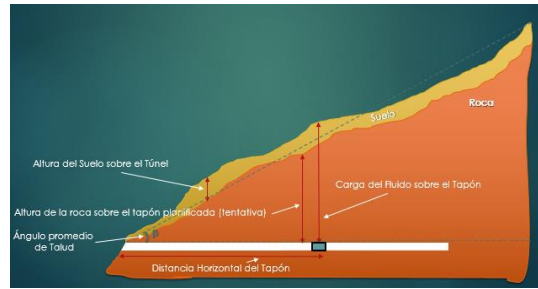
OBS: La cantidad de taladros es referencial por la cantidad de anillos recomendados por lo cual al disminuir la cantidad de anillos aumenta la cantidad de taladros (FS)

DISEÑO DE TAPON SECUNDARIO

PROYECTO	PARIGUANAS	COORDENADAS	X : 802697
UBICACIÓN	BOCAMINA SAN PEDRO		Y : 8322627
LABOR	NV. 4732		Z : 4747

I PARÁMETROS DE DISEÑO

Ancho de la labor (b)	5.80	m	
Altura de la labor (h)	5.30	m	
Densidad de la roca	2490	kg/m ³	
Densidad del suelo	1800	kg/m ³	
RMR	38		
carga del fluido al tapón	17	m	
Altura de la roca sobre el tapón planificada	25	m	
Angulo promedio de talud	25	Grados	
Altura del Suelo sobre el tunel	1.50	m	
Aceleracion Maxima del Terreno	0	g	
Tipo de Roca para la filtración	Roca Mala		



II CONDICIONES INICIALES

REQUISITOS PARA CONCRETOS EXPUESTOS A SULFATOS					
Tipo de Exposición a Sulfatos	Sulfatos (SO4) Solubles en Agua Presentes en el Solutó (%)	Sulfatos (SO4) en Agua	Tipo de Cemento Recomendado	Relación Agua/Cemento Recomendada (concreto normal)	f'c mínimo (Kg/cm2)
Despreciable	0 a 0.10	0 a 150	-	-	-
Moderada	0.10 a 0.20	150 a 1 500	II, IP(MS), IS (MS), IPM (MS), I (SM)(MS)	0.5	280
Severa	0.20 a 2.00	1 500 a 10 000	V	0.45	315
Muy Severa	> 2.00	> 10 000	V+ Puzolana	0.45	315

Fuente ACI 318-05

Tipo de Exposición de Sulfatos

Moderada

Cemento Tipo
f'c

Cemento Puzolanico
280 Kg/cm2

Resistencia a la compresion del concreto
Resistencia al corte del concreto

f'c 27.46 MPa
f's 870.38 KPa

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE TAPONES HERMÉTICOS EN EL PROYECTO PARIGUANAS
UNIDAD MINERA ORCOPAMPA-CIA DE MINAS BUENAVENTURA S.A.A.**

RESISTENCIA AL CORTE Y GRADIENTES HIDRÁULICAS DE DISEÑO PARA TAPONES DE TÚNEL (BENSON 1989)					
Condición General de la Roca RMR, Clasificación del Macizo Rocoso	RMR	Resistencia al Corte (KPa)	Máxima Resistencia al corte Admisible F.S. = 3 (KPa)	Gradiente Hidráulica (m/m) Max. Permisible	Gradiente de Presión Max. Permisible (Kpa/m)
Roca Muy Buena	81 < RMR < 100	1500	500	15 - 30	150 - 300
Roca Buena Dura a Moderadamente dura, con discontinuidades moderadas	61 < RMR < 80	900	300	10 - 14	100 -140
Roca Regular Moderada a Débil, con discontinuidades moderadas	41 < RMR < 60	600	200	7 - 9	70 - 90
Roca Mala Débil, con muchas Discontinuidades	21 < RMR < 40	300	100	5 - 6	50 - 60
Roca Muy Mala , Muy Débil, Posiblemente Erosionados	RMR < 20	150	50	3 - 4	30 - 40

Tipo de Macizo Rocoso : **Roca Mala Débil, con muchas Discontinuidades**

Resistencia Maxima Admisible al Corte del Macizo Rocoso KPa

CONDICIÓN 1: Comparar las resistencias de corte admisibles del macizo rocoso y del concreto y elegir el menor

Resistencia Maxima Admisible al Corte del concreto KPa

Resistencia Maxima Admisible al Corte del Macizo Rocoso KPa

CONDICIÓN 1 KPa **La falla por corte es controlada por el Concreto**

II LONGITUD DEL TAPON BASADA EN LA RESISTENCIA AL CORTE EN LA INTERFAZ CONCRETO/ROCA

Esf. Cortante Máximo Permisible =	<input type="text" value="870.38"/>	KPa
Esf. Cortante Permisible menor de los dos =	<input type="text" value="100"/>	KPa
Máxima Gradiente de Presión =	<input type="text" value="60"/>	KPa/m
Densidad del fluido =	<input type="text" value="1000"/>	Kg/m ³
Const. Gravitacional =	<input type="text" value="9.81"/>	m/s ²
Carga del fluido al Tapón =	<input type="text" value="17"/>	m
Pf (presión de Fluido Aplicada) =	<input type="text" value="166770"/>	Pa
Área de la parte frontal del Tapón =	<input type="text" value="30.74"/>	m ²
Perímetro de la Sección =	<input type="text" value="22.20"/>	m

Longitud del Tapón basada en la resistencia al corte en la interfaz concreto roca $L = \frac{P_f * A}{P_e * f'_s}$ m

Longitud del Tapón basada en la resistencia al soporte del concreto y la roca en la interfaz $L = \frac{2 * P_f * A}{P_e * f'_c}$ m

III DISEÑO DE TAPONES POR EL CRITERIO DE VIGA PROFUNDA PARA TAPONES DE CONCRETO NO REFORZADO (Esfuerzo de Tensión Admisible en la cara aguas abajo)

CONDICIÓN 2: Según ACI 318-95 un tapón es de categoría de viga gruesa cuando la relación ancho/longitud del tapón > 1.25 y necesitara refuerzos de acero

Ancho / Long. De Tapón

Condición 2 Es tapón de viga gruesa y necesita refuerzo

LONGITUD DE TAPÓN POR EL CRITERIO DE VIGA PROFUNDA SIN REFORZAR

Esfuerzo de Tensión Admisible en la Cara aguas abajo : $f't = 415.2\sqrt{f'c}$

$f't =$	2175.7	KPa
Altura de fluido al Tapón=	17.0	m
(Factor de Carga) $\alpha =$	1.5	
Carga por metro de longitud de fluido =	250.155	KN/m
Máximo momento de flexión ($wl^2/8$) =	1051.90	KN-m (simplemente apoyada - carga distribuida)
Factor de Reducción =	0.65	
Momento Último (Mu= Mn/ ϕ) =	1618.31	KN-m
Peso Unitario de la viga (b)	0.95	
$L = \sqrt{\frac{6M_n}{b(f_t)}}$	1.63	m

IV FALLA DEBIDO A LA FRACTURACION HIDRAÚLICA POR EL CRITERIO EMPÍRICO

$$H_r = \frac{1.3H_w - H_s\gamma_s}{\gamma_r}$$

H_r = Altura de la roca sobre el túnel (m)
 γ_r = Densidad de la roca (tn/m3)
 H_s = Altura del suelo sobre el túnel (m)
 γ_s = Densidad del suelo (tn/m3)
 H_w = carga estática máxima (m)

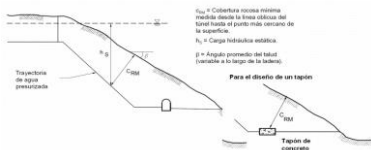
Carga Estática máxima (Hw)	17.0	m
Altura del suelo sobre el tunel (Hs)	1.5	m
Densidad del suelo (γ_s)	1.8	t/m3
Densidad de la roca (γ_r)	2.49	t/m3
Altura de la roca sobre el túnel (Hr)	7.79	m

CONDICIÓN 3: La altura de la roca sobre el túnel donde se ubica el tapon debe de ser menor que el altura planificado para asegurar la estabilidad del tapon, caso contrario es recomendable mover el tapón mas hacia el interior o ejecutar mediciones de esfuerzo in-situ

Condición 3 CUMPLE CON LA PROFUNDIDAD REQUERIDA

V FALLA DEBIDO A LA FRACTURACIÓN EXCESIVA CRITERIO NORUEGO

$$C_{RM} = \frac{\gamma_w * h_s * FS}{\gamma_r * \cos\beta}$$

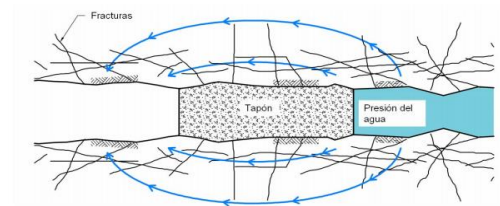


C_{RM} = Cobertura mínima de roca medida desde el túnel oblicuamente hasta el punto mas cercano de la superficie del terreno (i.e. la distancia mas corta a la superficie) (m)
 h_s = Carga de agua estática del diseño (m)
 γ_w = Peso Unitario del agua (MN/m3)
 γ_r = Peso Unitario de la roca (MN/m3)
 β = Ángulo promedio del talud de la ladera (varia con el talud)
 FS Factor de Seguridad, se debería aplicar un mínimo de 1.3

FS =	1.3	
$\beta =$	25	
Carga de agua estática de diseño (hs) =	17.0	m
Peso Unitario del agua (γ_w) =	1	MN/m3
Peso Unitario de la roca (γ_r) =	2.49	MN/m3
Altura de la roca sobre el túnel (C_{RM}) =	9.79	m

Condición 3 CUMPLE CON LA PROFUNDIDAD REQUERIDA

VI FALLA POR FILTRACIÓN EXCESIVA (BAJO GRADIENTES HIDRAÚLICAS ADVERSAMENTE ALTAS)



Gradiente Hidráulica Maxima	9.82	m
Maxima Gradiente Hidráulica Admisible	6	m/m

Longitud Equivalente de Tapon sin Carga Hidráulica Adicional **2.83** m

CONDICIÓN 4: Gradiente Hidráulica Empírica/Verificaciones de Infiltración

Carga de Fluido de Diseño (P)	166.77	KPa			
Factor de Seguridad	10				
					Factor de Seguridad
				Roca Buena	4
				Roca Mala	10

P/L <=	470	KPa/m	Cuando el contacto entre el tapón y la roca no esta inyectado
P/L <=	3660	KPa/m	Cuando la presion de la inyección aplicada dentro del macizo rocoso alrededor del tapón es por lo menos dos veces la presión hidrostática de diseño.

P/L	366.00		
Longitud Mínima de Tapon	0.46	m	

Condición 4 CUMPLE CON LA ESPECIFICACIÓN DE INYECTADO EN INTERFAZ CONCRETO/ROCA

VII FALLA POR PELIGRO SÍSMICO

Ariete Hidráulico debido a Carga Sísmica

$$P_H = cvp \quad \frac{v_{max}}{a_{max}} = 55 \text{ cm/s/g}$$

- a = Aceleración Sísmica Máxima
- c = Velocidad acústica del agua (1437 m/s)
- v = Velocidad en tierra (m/s)
- p = Densidad del agua (kg/m³)

a max	0	g	
v max	0	cm/s	
Velocidad Acústica del Agua	1437	m/s	
Densidad del agua	1000	Kg/m ³	
Ariete Hidráulico	0.00	KPa	

CARGA HIDRAÚLICA ADICIONAL POR ARIETE

Carga Hidraulica Adicional Generada por el Ariete	0.00	m
Maxima Gradiente Hidráulica Admisible	6	m/m
Longitud de tapon por Ariete (Carga Dinamica)	0.00	m

LONGITUD TOTAL DE TAPON EQUIVALENTE CON CARGA ESTÁTICA + DINAMICA

Total Carga Hidraulica	17.00	m
Longitud Total de Tapon	2.83	m

ANÁLISIS Y DISEÑO FINAL

TIPO DE TAPON

INDENTADO

Por tener caudal de agua (según el tipo de acuerdo a estudios) por infiltración y/o estancamiento el cual produce licuefacción del macizo rocoso además por la continuidad de sismos en la zona por lo cual debe construirse el tapon teniendo en cuenta la carga estática + la carga dinámica con inyección de consolidación e impermeabilización

Longitud de Tapon por Carga Estatica	2.13	m	→	Tapon para la Prog. 060
Longitud de Tapon por Carga Dinamica	0.00	m		
Longitud Total de Tapon (Carga Estatica + Dinámica)	2.13	m		
Progresiva de ubicación horizontal del Tapon desde la Bocamina según Encampane	60.05	m		
Progresiva de ubicación horizontal del Tapon desde la Bocamina según Criterio Noruego y Empirico	18.85	m		

LONGITUD DE TAPONES MODIFICADO CON GALERIA DE IMPERMEABILIZACION

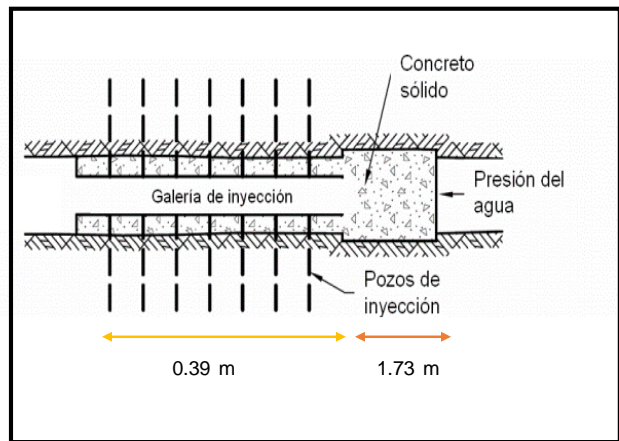
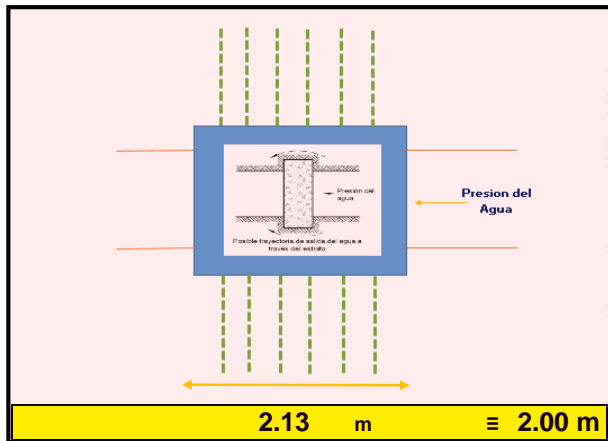
Longitud Total de Tapon	2.13	m	Para retener la filtración excesiva con factor de seguridad, tipo de fracturamiento (RMR) y Gradiente Hidráulica
Longitud Promedio de Tapon Compuesto	1.73	m	Para retener la carga del agua estática
Longitud de Impermeabilizacion	0.39	m	Para retener la carga del agua dinamica

TAPON INDENTADO

Para caudales Constantes de infiltración o estancamiento

TAPON COMPUESTO

Para escaso caudal de infiltración o estancamiento



DISEÑO DE IMPERMEABILIZACION Y CONSOLIDACION BOCAMINA SAN PEDRO (L =2.00 m) - UM ORCOPAMPA

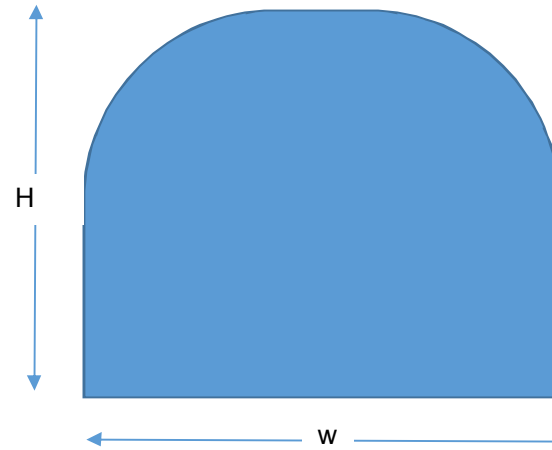
AREA Y PERIMETRO DE LA LABOR

Ancho Labor m

Altura Labor m

Area m²

Perimetro m



CANTIDAD DE ANILLOS DE IMPERMEABILIZACION

Longitud de Tapon m

Espacimiento Promedio m

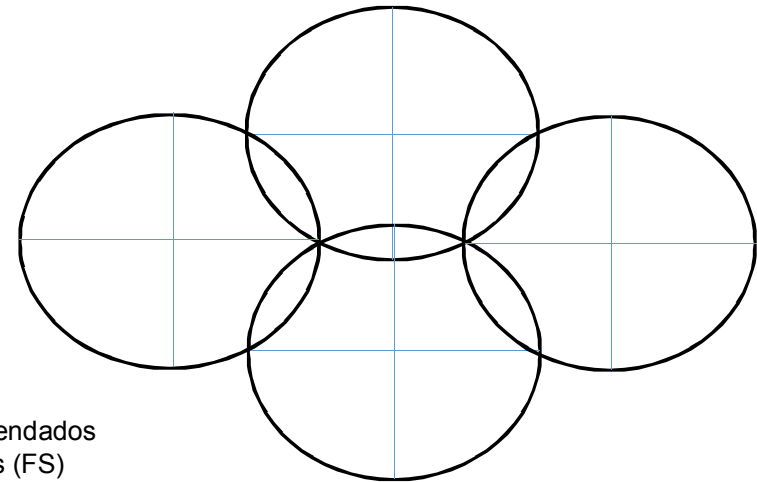
Numero de Anillos

Numero de Anillos

*Espac. Recomendado por Housby
para condiciones de humedad y goteo lento

RADIO DE INFLUENCIA DE LOS TALADROS CON INYECCION DE RESINA

Capacidad de Soporte Esperada (P)	<input type="text" value="20.00"/>	Ton
Longitud Efectiva del Taladro (L)	<input type="text" value="4.00"/>	m
Densidad de la Roca	<input type="text" value="2.49"/>	ton/m ³
Factor de Seguridad (FS)	<input type="text" value="1.50"/>	
Radio de Accion (r)	<input type="text" value="0.65"/>	m
Diametro de Accion (D)	<input type="text" value="1.31"/>	m



OBS: La cantidad de taladros es referencial por la cantidad de anillos recomendados por lo cual al disminuir la cantidad de anillos aumenta la cantidad de taladros (FS)

Longitud de Superposicion (x)	<input type="text" value="0.06"/>	m
Radio de Influencia Parcial de Resina (d)	<input type="text" value="0.59"/>	m
Diametro Efectivo de Accion (D)	<input type="text" value="1.18"/>	m
Altura de Superposicion (h)	<input type="text" value="0.28"/>	m

DISTRIBUCION DE TALADROS EN LA SECCION

	Long	# Tal	Dist. Tal	Distr. Tal
Piso	5.80	4.45	4.00	4.00
Hastial Der	2.65	2.03	2.00	2.00
Hastial Izq	2.65	2.03	2.00	2.00
Techo	9.99	7.66	8.00	8.00
	21.09	16.17		16.00

DISEÑO DE IMPERMEABILIZACION DE CONTACTO ROCA - CONCRETO

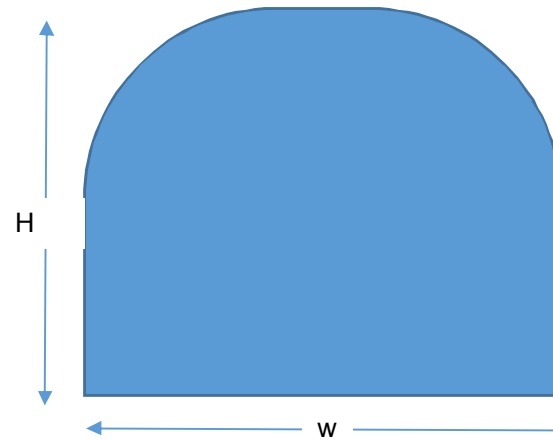
AREA Y PERIMETRO DE LA LABOR

Ancho Labor m

Altura Labor m

Area m²

Perimetro m



RADIO DE INFLUENCIA DE LOS TALADROS CON INYECCION DE RESINA

Capacidad de Soporte Esperada (P) Ton

Longitud Efectiva del Taladro (L) m

Densidad de la Roca ton/m³

Factor de Seguridad (FS)

Radio de Accion (r) m

Diametro de Accion (D) m

DISTRIBUCION DE TALADROS CONTACTO

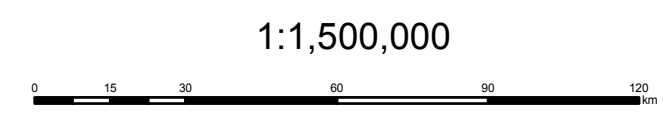
	Long	# Tal	Dist. Tal	Distr. Tal
Piso	4.00	2.40	2.00	2.00
Hastial Der	1.75	1.05	1.00	1.00
Hastial Izq	1.75	1.05	1.00	1.00
Techo	6.72	4.02	4.00	4.00
	14.22	8.52		8.00

OBS: La cantidad de taladros es referencial por la cantidad de anillos recomendados por lo cual al disminuir la cantidad de anillos aumenta la cantidad de taladros (FS)

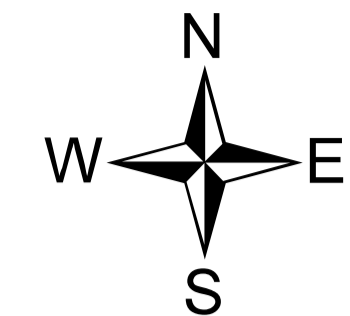
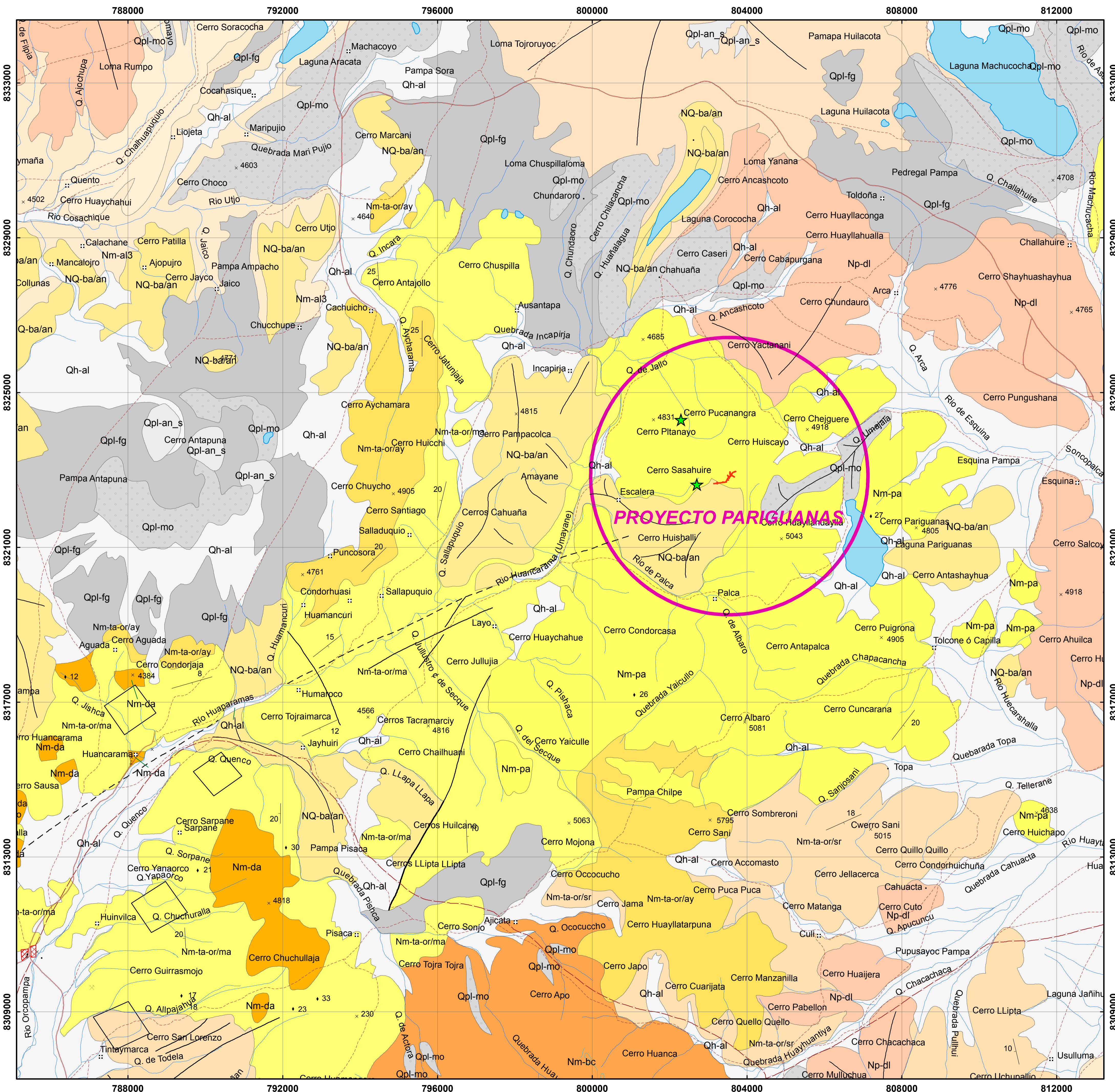


LEYENDA

	Ubicación
	Distrito de Chachas
	Provincia Castilla
	Departamento de Arequipa



PROYECTO: PROYECTO PARAGUAS UNIDAD MINERA OROCOMPA S.A. DE MINAS BUENAVENTURA S.A.S.	UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA	DATUM: WGS 84 ZONA: 18 S ESCALA: IND
INGENIERIA: INGENIERIA	DESCRIPCIÓN:	PLANO N°
DIBUJO: J.T.M.C.	PLANO DE UBICACIÓN	01
REVISADO: R.S.G.		Tamaño de Papel: A3
APROBADO: DPTO. DE GEOLÓGIA PSA		PLANO N° 01-PU
FECHA: NOVIEMBRE 2018	CONFIDENCIAL: Este plano y la información contenida, son propiedad del Autor. Queda terminantemente prohibido su uso y reproducción sin previa autorización del Titular.	



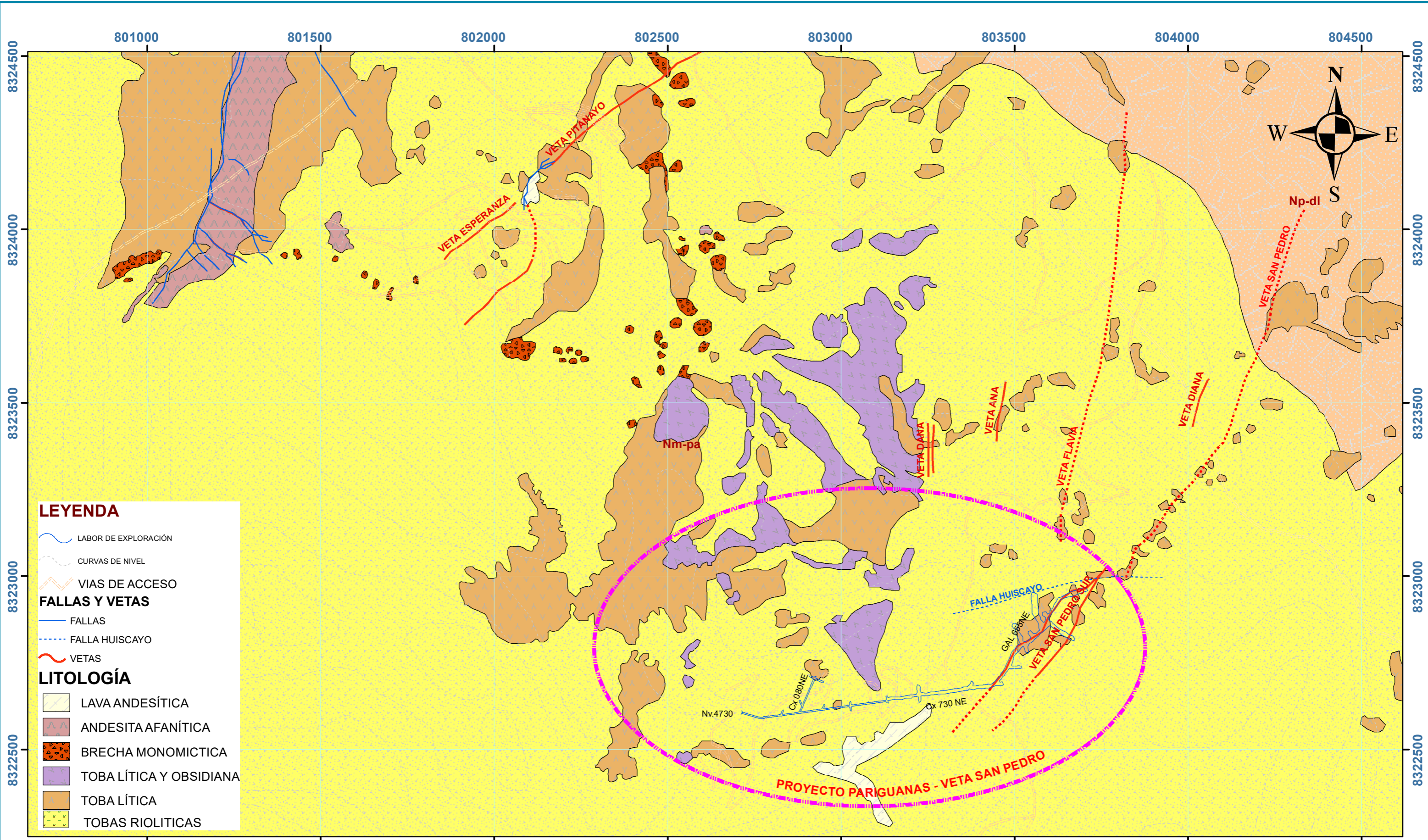
LEYENDA						
ERA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITESTRATIGRAFICAS	SISTEMA DOMO-LAVA		
CENOZOICA	CUATERNARIO	Holocena	Gpo. Andagua (Qpl-an_s, Qpl-an_u) Dep. Aluvial (Qh-al) Fluvioglaciar (Qpl-fg) Dep. Morrenicos (Qpl-mo)	Conos de ceniza y escorias, lavas traquiandesíticas vesiculares gris oscuro a negras Gravas, arenas y limos cubiertos por vegetación Gravas en matriz arenosa Fragmentos volcánicos en matriz limo arcillosa		
		PLEISTOCENA	Gpo. Barroso	Fm. Barroso 3 (NQ-ba-3) Estrato Volcán Coropuna (NQ-ba/an) Unidad Lávica (NQ-ba-da/an)	Lavas afaníticas de color negro a gris de composición andesítica. Lavas andesíticas, gris oscuras afaníticas Lavas dacíticas a andesíticas, gris oscuras porfíricas	Np-dl Domo-lava Riolítico
			PLIOCENA	Fm. Alpabamba	Miembro Alpabamba 3 (Nm-al-3) Miembro Alpabamba 2 (Nm-pa) Miembro Alpabamba 1 (Nm-pa)	Tobas retrabajadas, arenas tobáceas y cineritas estratificadas Tobas brechoides gris claro a verdes
		NEÓGENO		MIOCENA	Gpo. Tacaza	Miembro Aycaje (Nm-ta-or/ay) Miembro Manto (Nm-ta-or/ma) Miembro Sta. Rosa (Nm-ta-or/sr)
	CRETÁCICO		SUPERIOR		Fm. Arcurquina (Kis-ar) Fm. Murco (Ki-mu)	Caliza grises fosilíferas con nódulos de chert y venillas de yeso Areniscas y lutitas rojas purpuras, con capas de yeso e intercaladas con limonitas

LEYENDA	
Vías	31 (línea roja) 33 (línea roja discontinua)
Contacto	Contacto geológico (línea negra) Contacto geológico inferido (línea negra discontinua)
Piiegue	anticlinal (línea con flechas hacia afuera) sindinal (línea con flechas hacia adentro)
Falla	Falla (línea con trazo perpendicular) Falla inferida (línea con trazo perpendicular discontinua)
Hydrología	rios (línea azul) laguna (área azul)

SÍMBOLOS	
(línea ondulada)	Contacto conocido
(línea ondulada discontinua)	Contacto inferido
(línea con trazo perpendicular)	Falla Normal
(línea)	Lineamiento
(línea con trazo perpendicular discontinua)	Lineamiento inferido o discontinuo
(línea con flechas hacia afuera)	Eje de pliegue anticlinal
(línea con flechas hacia adentro)	Eje de pliegue sindinal
(línea con flechas hacia afuera y adentro)	Rumbo y buzamiento de estratos
(línea con flechas hacia afuera)	Estratos horizontales
(línea con flechas hacia adentro)	Conos volcánicos
(línea con flechas hacia afuera y adentro)	Dirección de flujo de lava
(línea con flechas hacia adentro)	Estructura de colapso
(línea con flechas hacia afuera)	Áreas con alteración hidrotermal
(círculo)	Mina
(círculo con asterisco)	Dataciones radiométricas
(círculo con punto)	Centro poblado



UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA		DATUM: WGS-84 ZONA: 18_S ESCALA: 1/50000
PROYECTO: PROYECTO PARIGUANAS UNIDAD MINERA ORCOPAMPA CIA DE MINAS BUENAVENTURA S.A.S. INGENIERIA: INGENIERIA DISCIPLINA: GEOLOGIA DIBUJO: J.T.M.C. REVISADO: R.S.G. APROBADO: DPTO. DE GEOLOGIA, PSA FECHA: NOVIEMBRE_2018	DESCRIPCION: PLANO GEOLOGICO REGIONAL	Tamaño de Papel: A3 PLANO N° 02 PLANO N° 08-PRH



LEYENDA

- LABOR DE EXPLORACIÓN
- CURVAS DE NIVEL
- VIAS DE ACCESO

FALLAS Y VETAS

- FALLAS
- FALLA HUISCAYO
- VETAS

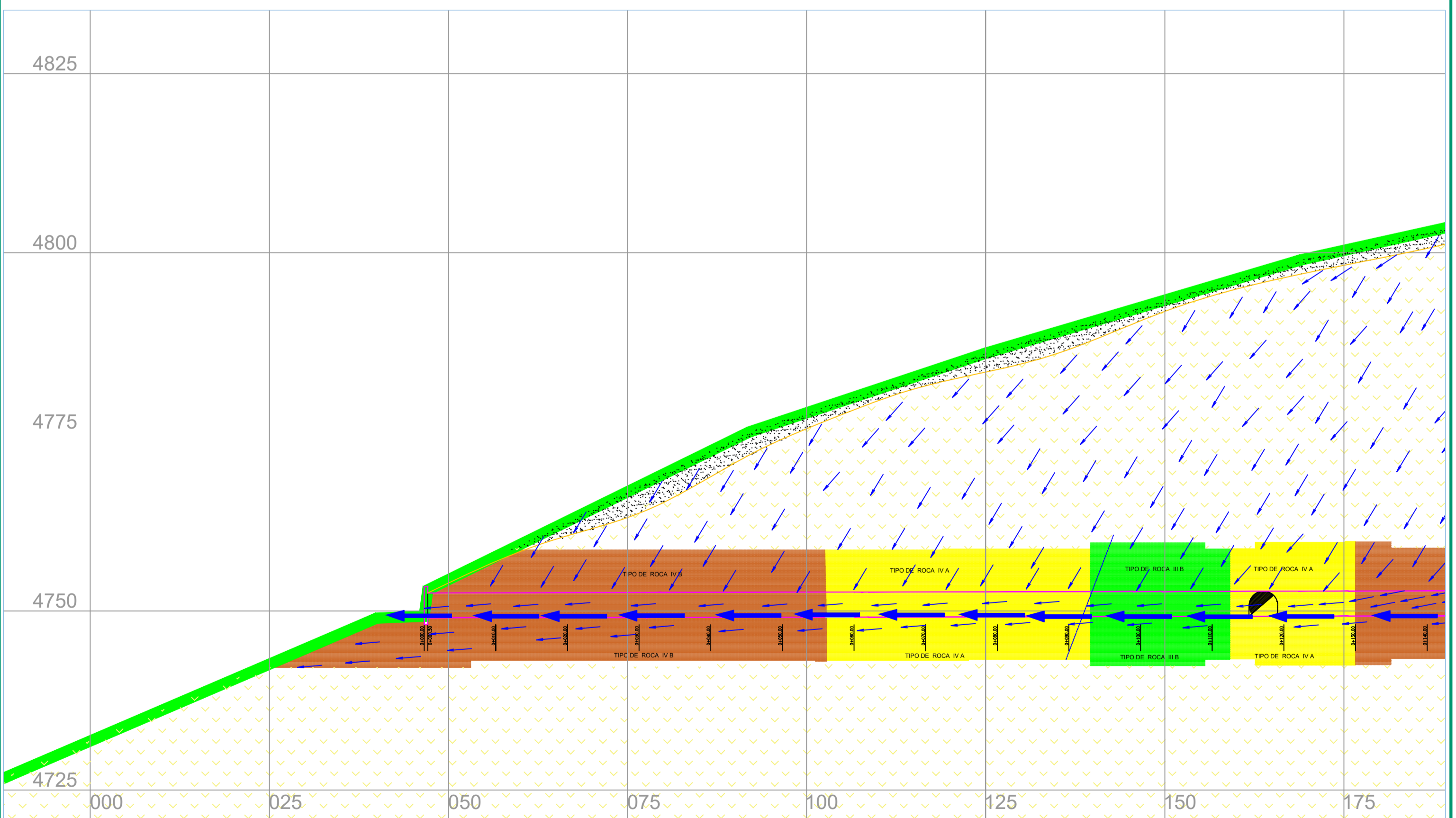
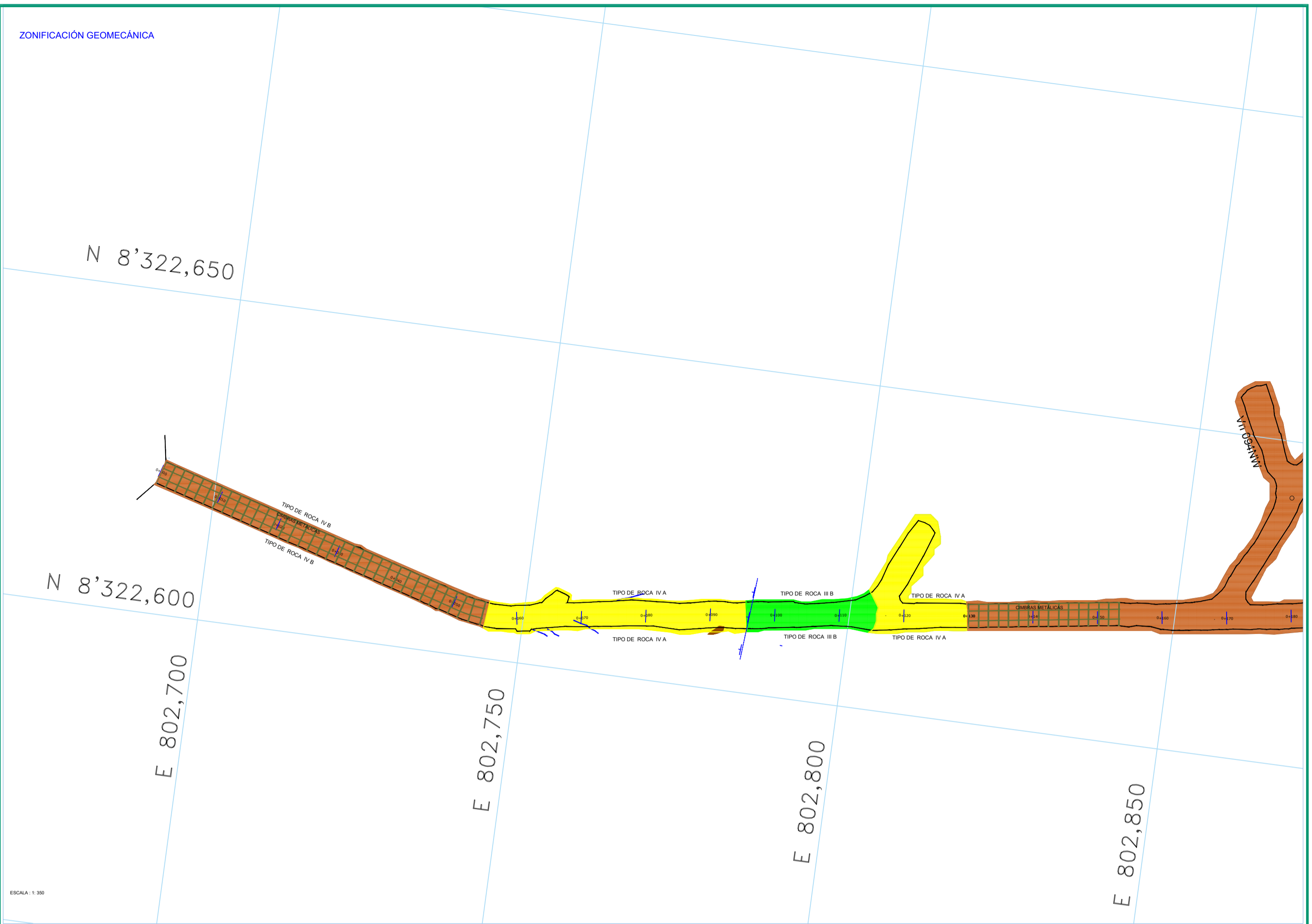
LITOLOGÍA

- LAVA ANDESÍTICA
- ANDESITA AFANÍTICA
- BRECHA MONOMICHTICA
- TOBA LÍTICA Y OBSIDIANA
- TOBA LÍTICA
- TOBAS RIOLÍTICAS

ESCALA: 1:10,000

0 250 500 1,000 Meters

PROYECTO: PROYECTO PARIGUANAS UNIDAD MINERA ORCOPAMPA CIA DE MINAS BUENAVENTURA S.A.A.		UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA		DATUM: WGS-84 ZONA: 18_S ESCALA: 1/10000
INGENIERIA:	INGENIERIA	DESCRIPCIÓN: <h2 style="text-align: center;">PLANO_GEOLÓGICO_LOCAL</h2>		
DISCIPLINA:	GEOLÓGÍA			
DIBUJO:	J.T.M.C.			
REVISADO:	R.S.G			
APROBADO:	DPTO_DE_GEOLOGÍA_PSA			
FECHA:	NOVIEMBRE_2018			
CONFIDENCIAL: Éste plano y la información contenida, son propiedad del Autor Queda terminantemente prohibido su uso y reproducción sin previa autorización del Titular.		Tamaño de Papel: A3	PLANO N° <h1 style="text-align: center;">03</h1> PLANO N° 03-PGL	



LEYENDA

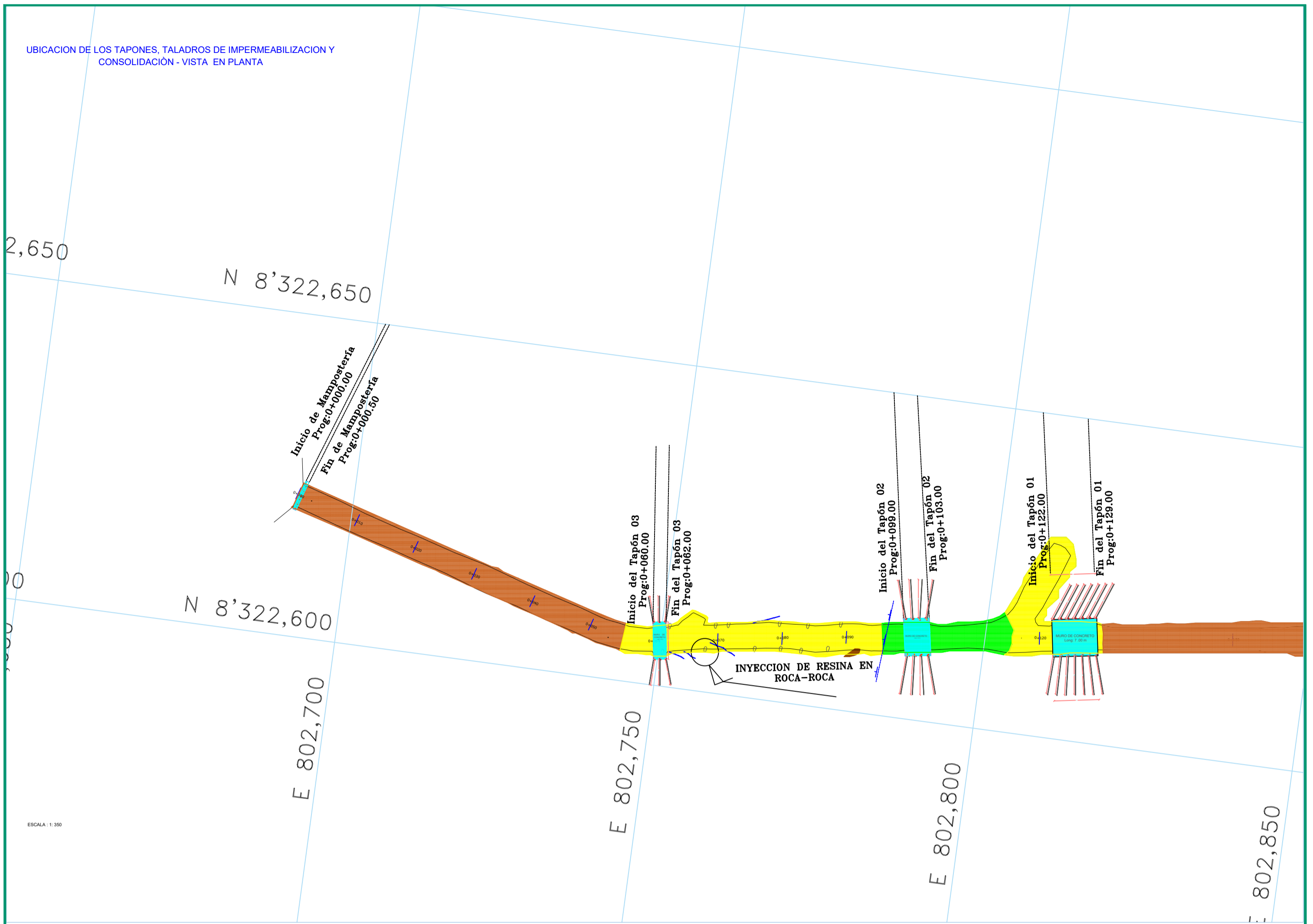
	BOCAMINA
	TERRENO NATURAL
	MATERIAL ARCILLOSO
	TOP SOIL
	TIPO DE LITOLOGIA
	TIPO DE ROCA IV-B
	TIPO DE ROCA IV-A
	TIPO DE ROCA III-B
	RED DE FLUJO DE AGUA

PROYECTO: UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN	
INGENIERIA: INGENIERIA	
DISCIPLINA: GEOLOGIA	
DIBUJO: J.T.M.C.	
REVISADO: R.S.G.	
APROBADO: DPTO. DE GEOLOGIA, PSA	
FECHA: NOVIEMBRE 2018	

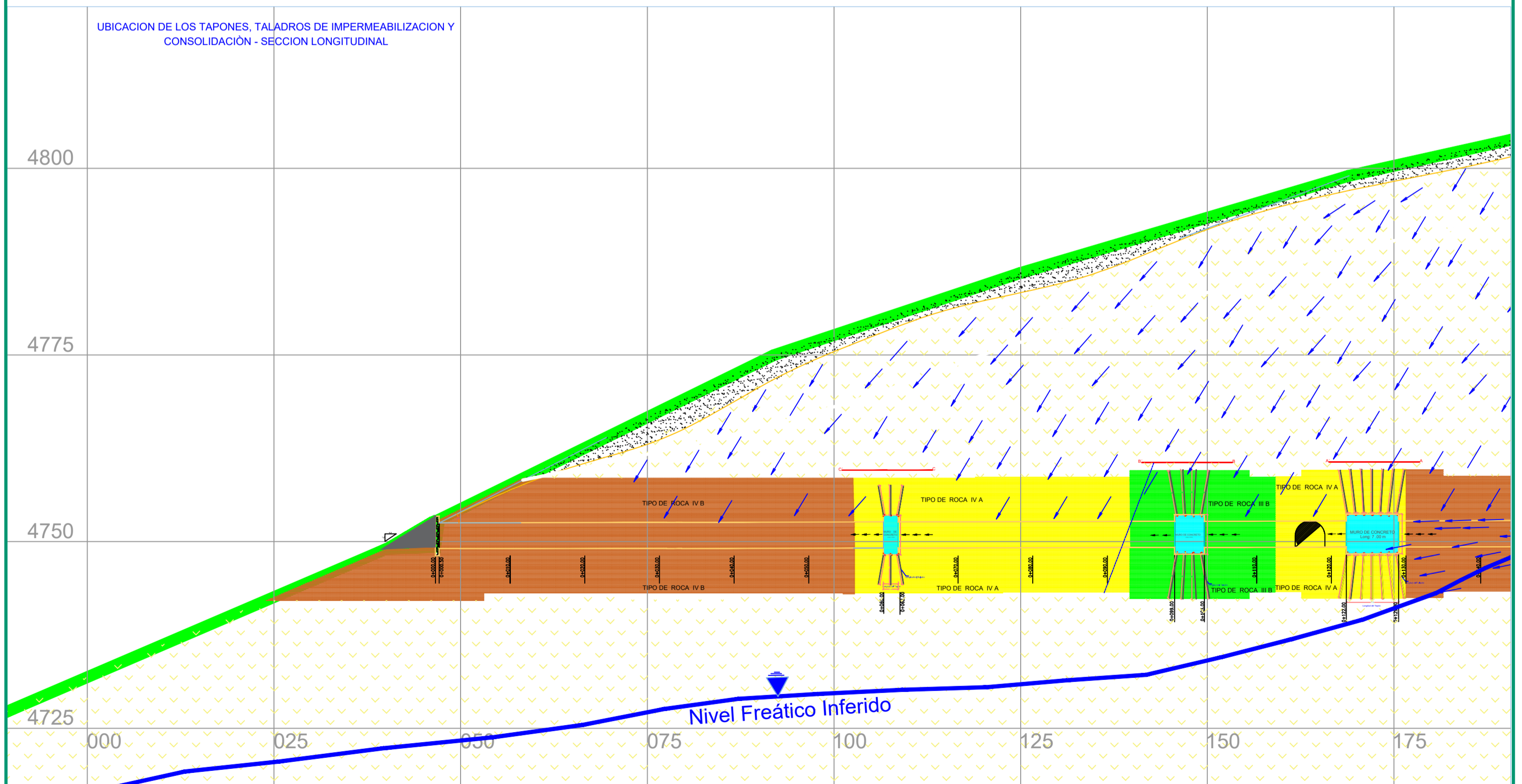
UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN	
FACULTAD DE INGENIERÍA	
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA	
DESCRIPCIÓN:	
PLANO_ZONIFICACION_GEOMECÁNICA	
Tamaño de Papel:	A2

DATUM:	WGS-84
ZONA:	18 S
ESCALA:	1/500
PLANO N° 04-1	
CONFIDENCIAL: Este plano y la información contenida, son propiedad del Autor. Queda terminantemente prohibido su uso y reproducción sin previa autorización del Titular.	
PLANO N° 04-PZG	

UBICACION DE LOS TAPONES, TALADROS DE IMPERMEABILIZACION Y CONSOLIDACION - VISTA EN PLANTA



UBICACION DE LOS TAPONES, TALADROS DE IMPERMEABILIZACION Y CONSOLIDACION - SECCION LONGITUDINAL

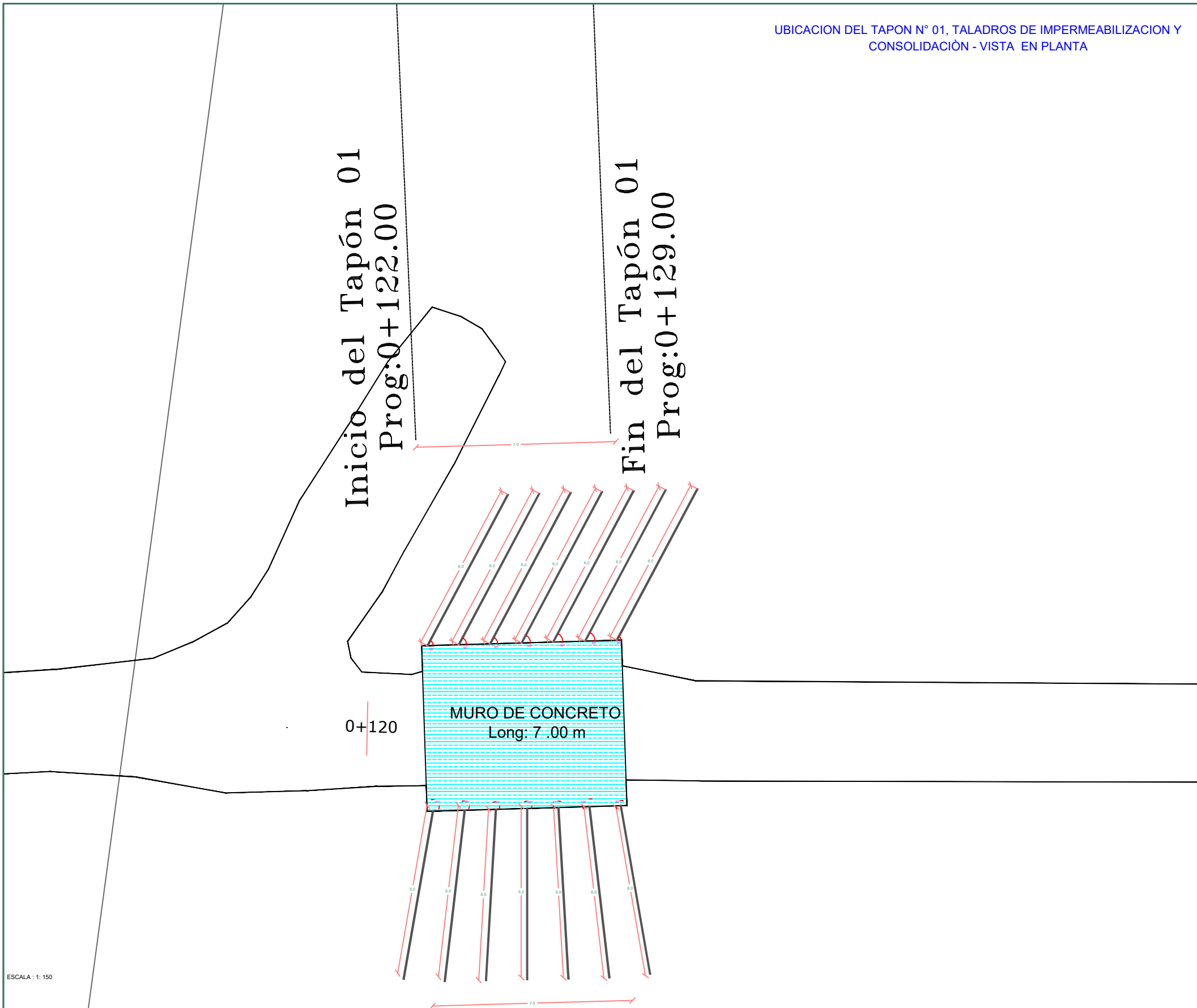


	ROCAMINA		TAPONES DE RETENCION DE INfiltrACIONES (VISO LINDA) (PROG. 0+000,00)
	TERRENO NATURAL		TAPONES DE RETENCION DE FLECCION E INFILTRACIONES (VISO LINDA) (PROG. 0+000,50)
	MATERIAL ANCLADO		TAPONES PRINCIPALES DE RETENCION DE FLECCION E INFILTRACIONES (VISO LINDA) (PROG. 0+060,00)
	TOP SOIL		TAPONES PRINCIPALES DE RETENCION DE FLECCION E INFILTRACIONES (VISO LINDA) (PROG. 0+103,00)
	TIPO DE LITOLOGIA		MATERIAL DE RELLENO
	TIPO DE ROCA IV B		INYECCIONES DE CONSOLIDACION
	TIPO DE ROCA IV A		IMPENMEABILIZACION
	TIPO DE ROCA III B		

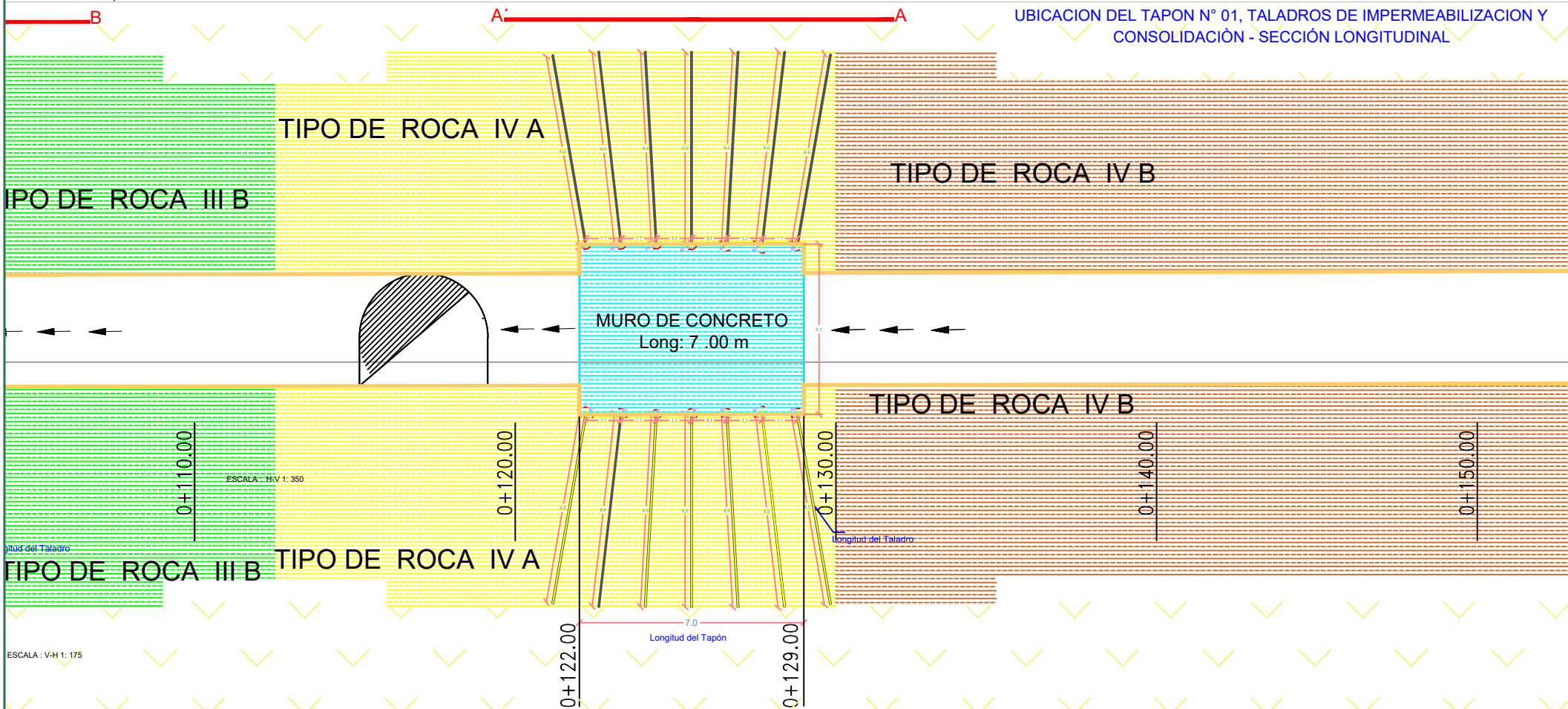
	INYECCION DE RESINA EN ROCA-ROCA
--	----------------------------------

PROYECTO: PROYECTO PARAGUAYANA UNIDAD MINERA ONCORAMPA CIA DE MINAS BUENAVENTURA S.A.A. INGENIERIA: INGENIERIA DISCIPLINA: GEOLOGIA DIBUJO: J.T.M.C. REVISADO: R.S.G. APROBADO: OPTO. DE GEOLOGIA PSA FECHA: NOVIEMBRE, 2018	UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRION FACULTAD DE INGENIERIA ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA PLANO_ZONIFICACION_GEOMECANICA	DATUM: WGS-84 ZONA: 18_S ESCALA: 1/500 PLANO N° 04-2 Tamaño de Papel: A2 PLANO N° 04-PZG
--	--	---

CONFIDENCIAL: Este plano y la información contenida, son propiedad del Autor. Queda terminantemente prohibido su uso y reproducción sin previa autorización del Titular.



ESCALA : 1: 150

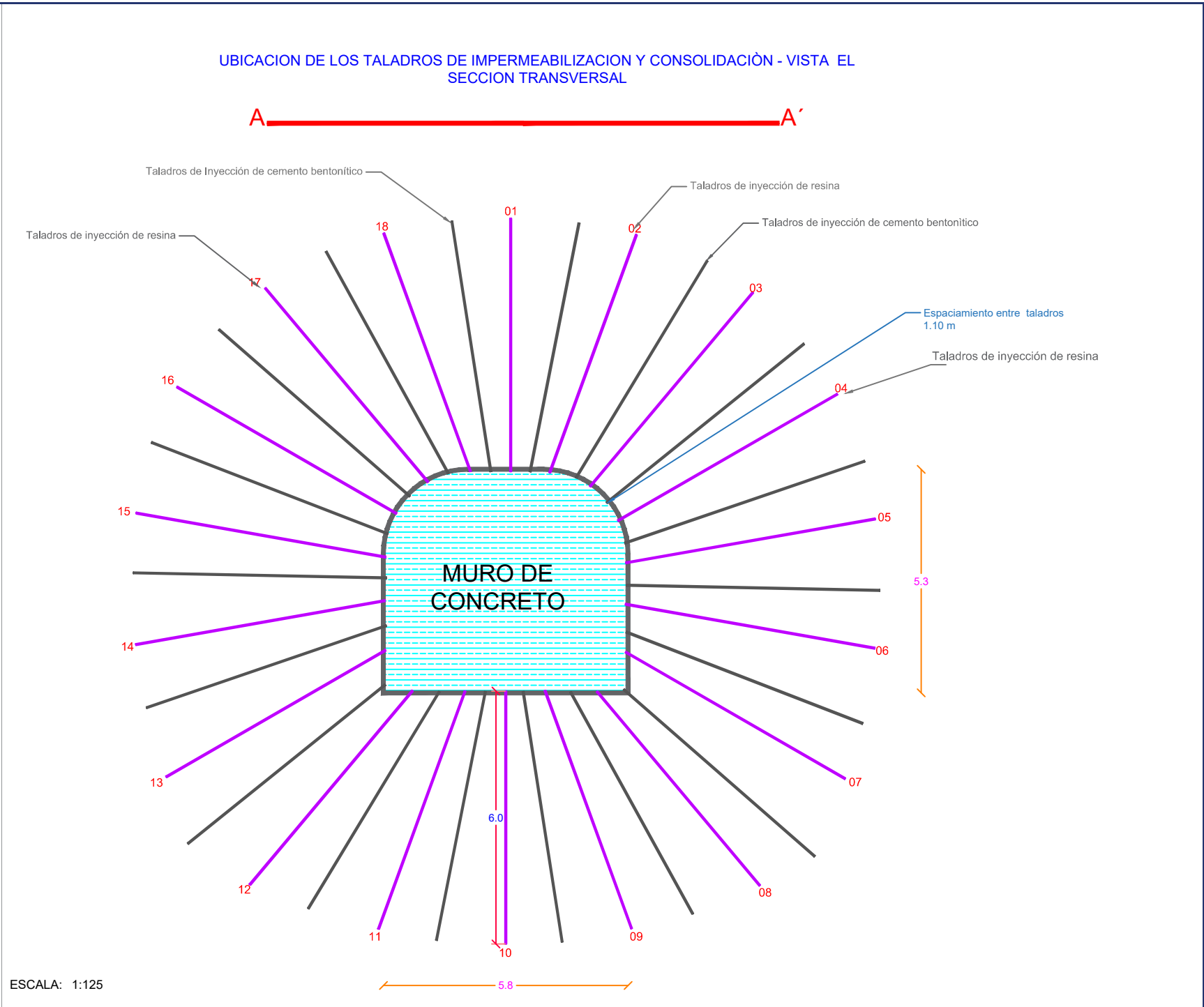
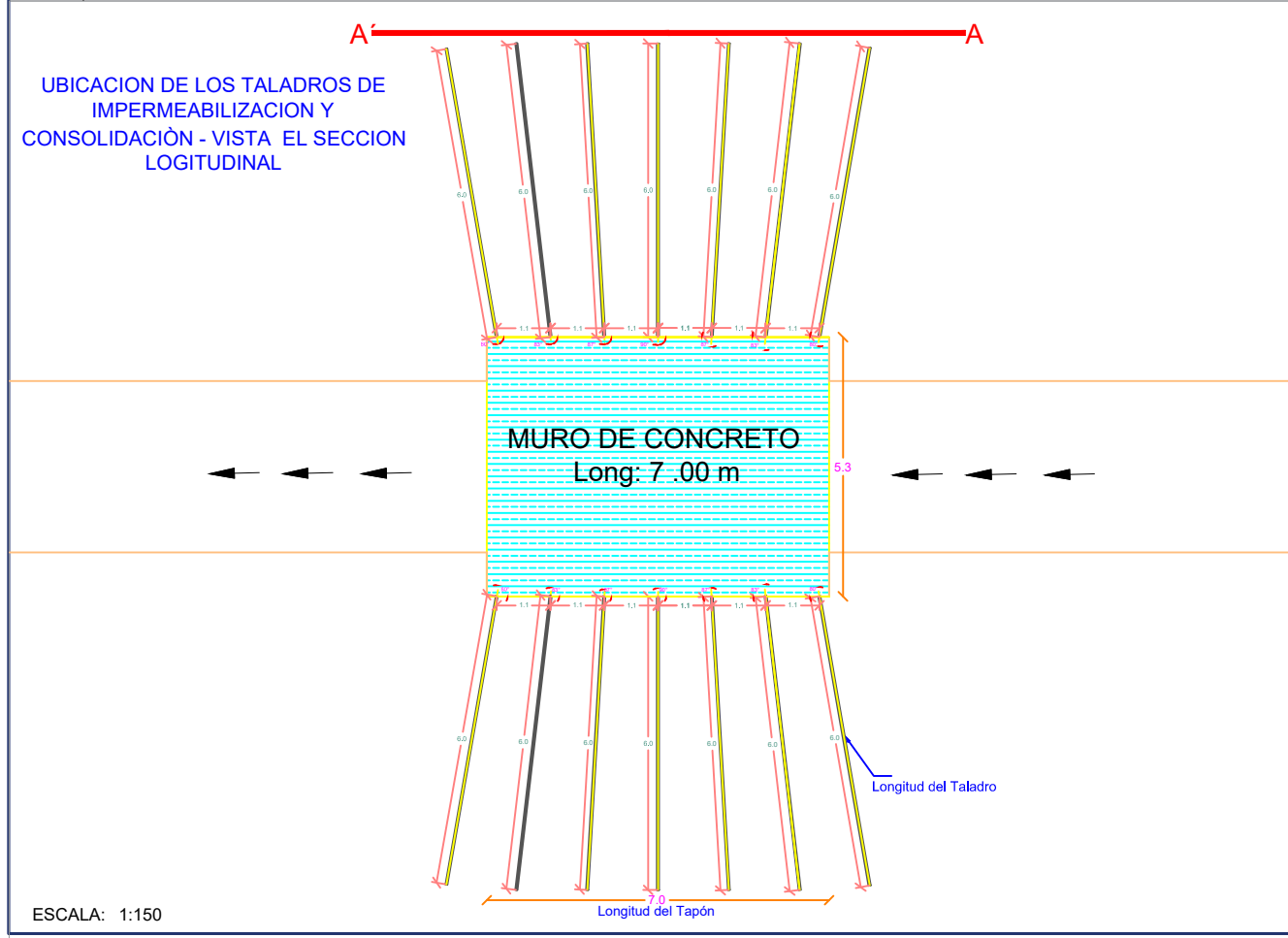
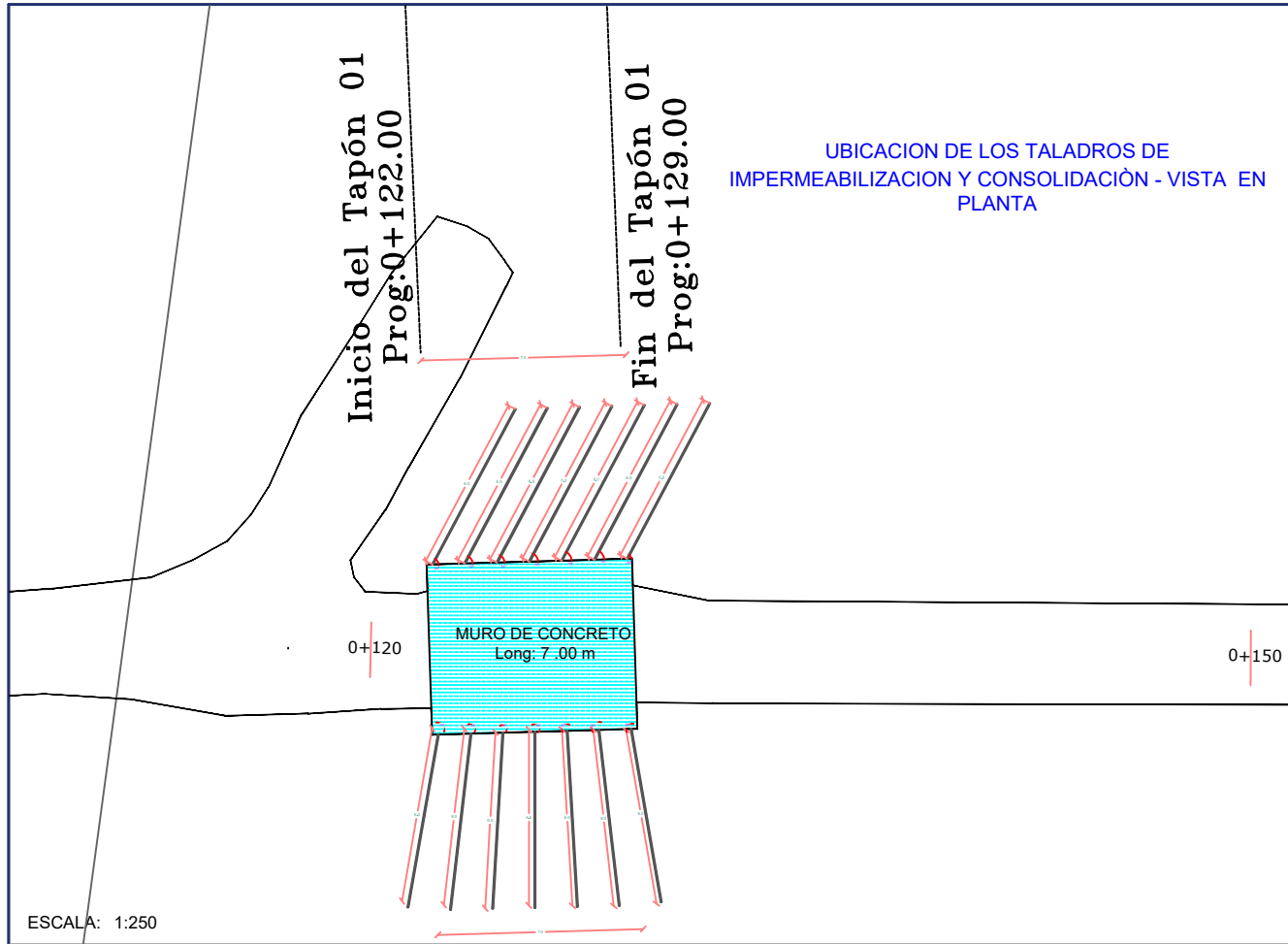


ESCALA : V:H 1: 175

	BOCAMINA		TAPON PRINCIPAL DE RETENCION DE FLUJO DE AGUA N°01 - L=7m, prog 0+122 al 0+129
	TERRENO NATURAL		MATERIAL DE RELLENO
	MATERIAL ARCILLOSO		INYECCIONES DE CONSOLIDACION Y/O IMPERMEABILIZACION
	TOP SOIL		
	TIPO DE LITOLOGIA		
	TIPO DE ROCA IV-B		
	TIPO DE ROCA IV-A		
	TIPO DE ROCA III-B		

ESPECIFICACIONES TECNICAS	
CONCRETO - TAPON	ESPECIFICACIONES TECNICAS
INYECCION DE CONTACTO CONCRETO - ROCA	ESPECIFICACIONES TECNICAS

PROYECTO:	UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRION	DATUM:	WGS-84
INGENIERIA:	INGENIERIA	ZONA:	18_S
DISCIPLINA:	GEOLOGIA	ESCALA:	IND
DIBUJO:	J.T.M.C.	PLANO EN PLANTA Y SECCION A-A'-TAPON 01 05-1	
REVISADO:	R.S.G		
APROBADO:	DPTO. DE GEOLOGIA_PSA		
FECHA:	NOVIEMBRE_2018		
Tamaño de Papel: A3		PLANO N° 05-PPS-T	



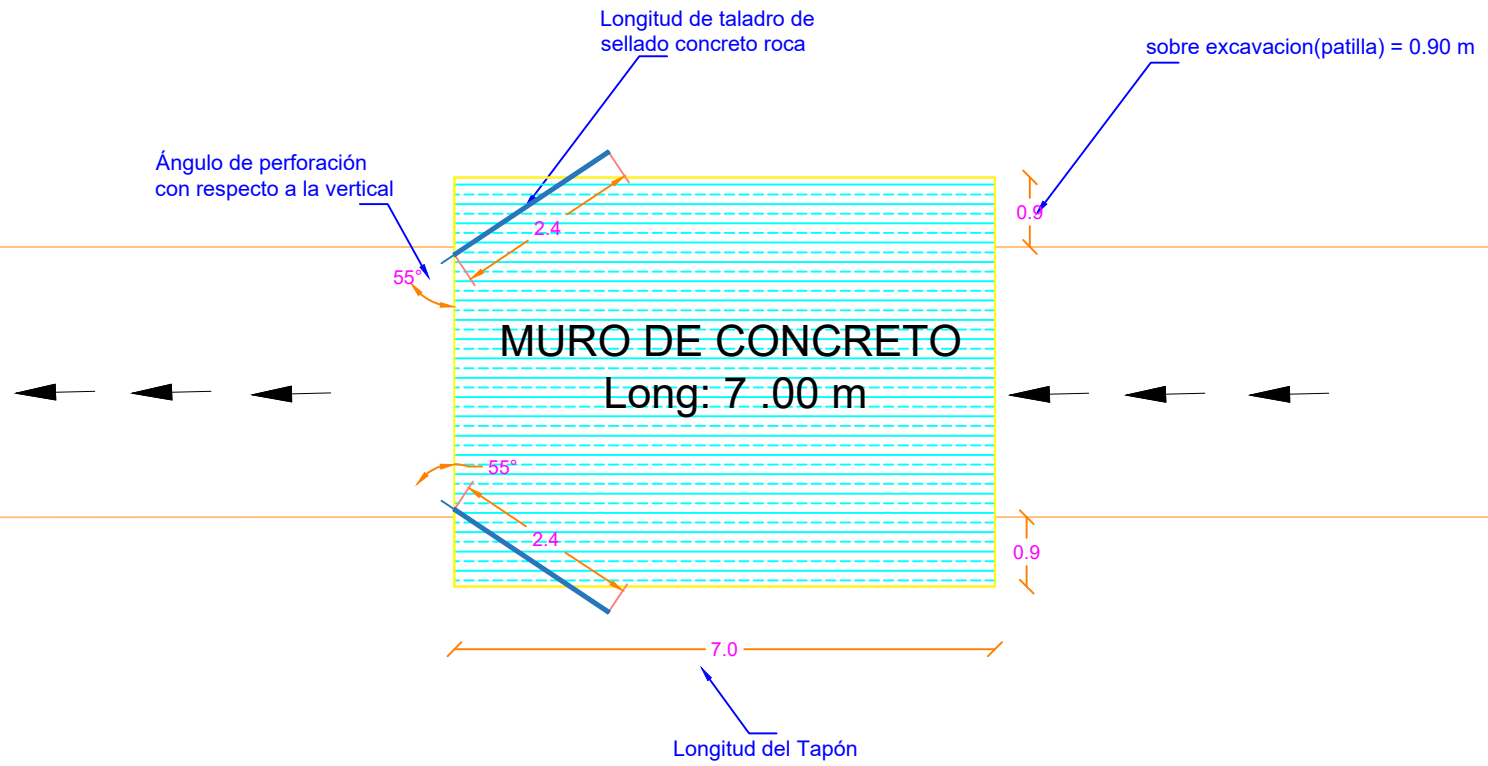
ESPECIFICACIONES UBICACION DE INYECCIONES:

SE UTILIZARAN RESINA CONSOLIDANTE E IMPERMEABILIZANTE EN FUNCION DE LA PERMEABILIDAD PRESENTE EN CADA UNO DE LOS TALADROS DE INYECCION.

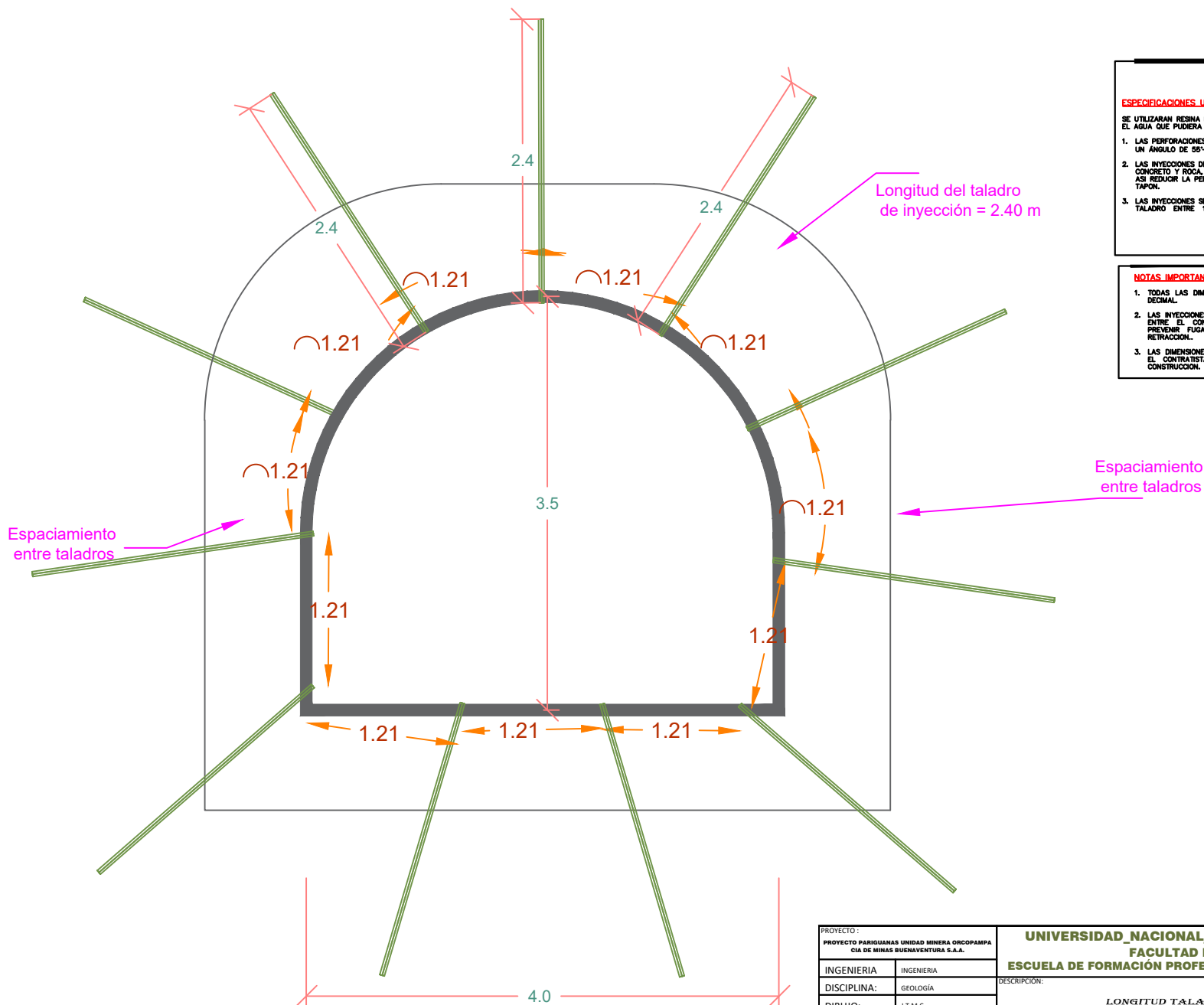
1. LAS PERFORACIONES DEBERAN SER EJECUTADAS POR ROTACION CON DIAMETRO ADECUADO, Y PERFORADOS PERPENDICULARES A LAS PAREDES, CON LA INCLINACION Y PROFUNDIDAD INDICADA EN LOS PLANOS.
2. LAS INYECCIONES DE IMPERMEABILIZACION Y CONSOLIDACION SERAN APLICADAS PARA ASEGURAR QUE LAS DISCONTINUIDADES DE LA ROCA SE LLENEN Y SELLEN ADECUADAMENTE, Y ASI REDUCIR LA PERMEABILIDAD DEL MACIZO ROCOSO EN LA ZONA INMEDIATAMENTE ALREDEDOR DEL TAPON Y EVITAR EL FRACTURAMIENTO HIDRAULICO.
3. LOS RESULTADOS DE LOS ULTIMOS TALADROS PERMITIRAN EVALUAR EL GRADO DE CONSOLIDACION E IMPERMEABILIZACION ALCANZADO.
4. LAS INYECCIONES SE EJECUTARAN EN 7 CORTINAS DISTANCIADAS CADA CORTINA a 1.10 m, CADA UNO DONDE TENDRA UNA LONGITUD DE PERFORACION DE 6.00 m, DEL MISMO MODO LA SEPARACION ENTRE TALADROS DE INYECCION SERAN DE 1.10 m, CON RESPECTO AL SIGUIENTE.
5. LAS DISTRIBUCIONES DE LAS CORTINAS DE INYECCIONES SERAN LOS SIGUIENTES:

PROYECTO: PROYECTO PARIGUANAS UNIDAD MINERA ORCOPAMPA CIA DE MINAS BUENAVENTURA S.A.S.		UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA		DATUM: WGS-84
INGENIERIA: INGENIERIA	INGENIERIA	DESCRIPCIÓN: UBICACION Y LONGITUD DE TALADROS DE IMPERMEABILIZACION - TAPON 01 VISTAS: PLANTA, DE FRENTE, SECCION LONGITUDINAL		ZONA: 18_5
DISCIPLINA: GEOLOGIA	J.T.M.C.	Tamaño de Papel: A3		ESCALA: IND
DIBUJO: R.S.G	R.S.G			PLANO N° 05-2
REVISADO: R.S.G	DPTO. DE GEOLOGIA, PSA	CONFIDENCIAL: Este plano y la información contenida, son propiedad del Autor. Queda terminantemente prohibido su uso y reproducción sin previa autorización del Titular.		PLANO N° 05-LTI-T
APROBADO: NOVIEMBRE 2018	NOVIEMBRE 2018			

DISEÑO DE INYECCION DE RESINA PARA CONTACTO CONCRETO ROCA



ESCALA: 1:100



ESPECIFICACIONES UBICACION DE INYECCIONES DE SELLADO CONCRETO-ROCA:

- SE UTILIZARAN RESINA LIQUIDA PARA EL SELLADO DEL CONTACTO ENTRE CONCRETO Y CONTROLARA EL AGUA QUE PUDIERA SALIR POR EL CONTACTO.
1. LAS PERFORACIONES DEBERAN SER EJECUTADAS POR ROTACION CON DIAMETRO ADECUADO, Y CON UN ANGULO DE 55°-60° RESPECTO AL TAPON, CADA TALADRO TENDRA UNA LONGITUD DE 2.40 m.
 2. LAS INYECCIONES DE CONTACTO SERAN APLICADAS PARA ASEGURAR QUE EL CONTACTO ENTRE CONCRETO Y ROCA, ADEMAS DE ALGUNAS FRACTURAS SE LLENEN Y SELLEN ADECUADAMENTE, Y ASI REDUCIR LA PERMEABILIDAD DEL MACIZO ROCOSO EN LA ZONA INMEDIATAMENTE ALREDEDOR DEL TAPON.
 3. LAS INYECCIONES SE EJECUTARAN EN 01 CORTINA DE 11 TALADROS, DISTANCIADAS CADA TALADRO ENTRE 1.20 -1.22 m, DONDE TENDRA UNA LONGITUD DE PERFORACION DE 2.40 m.

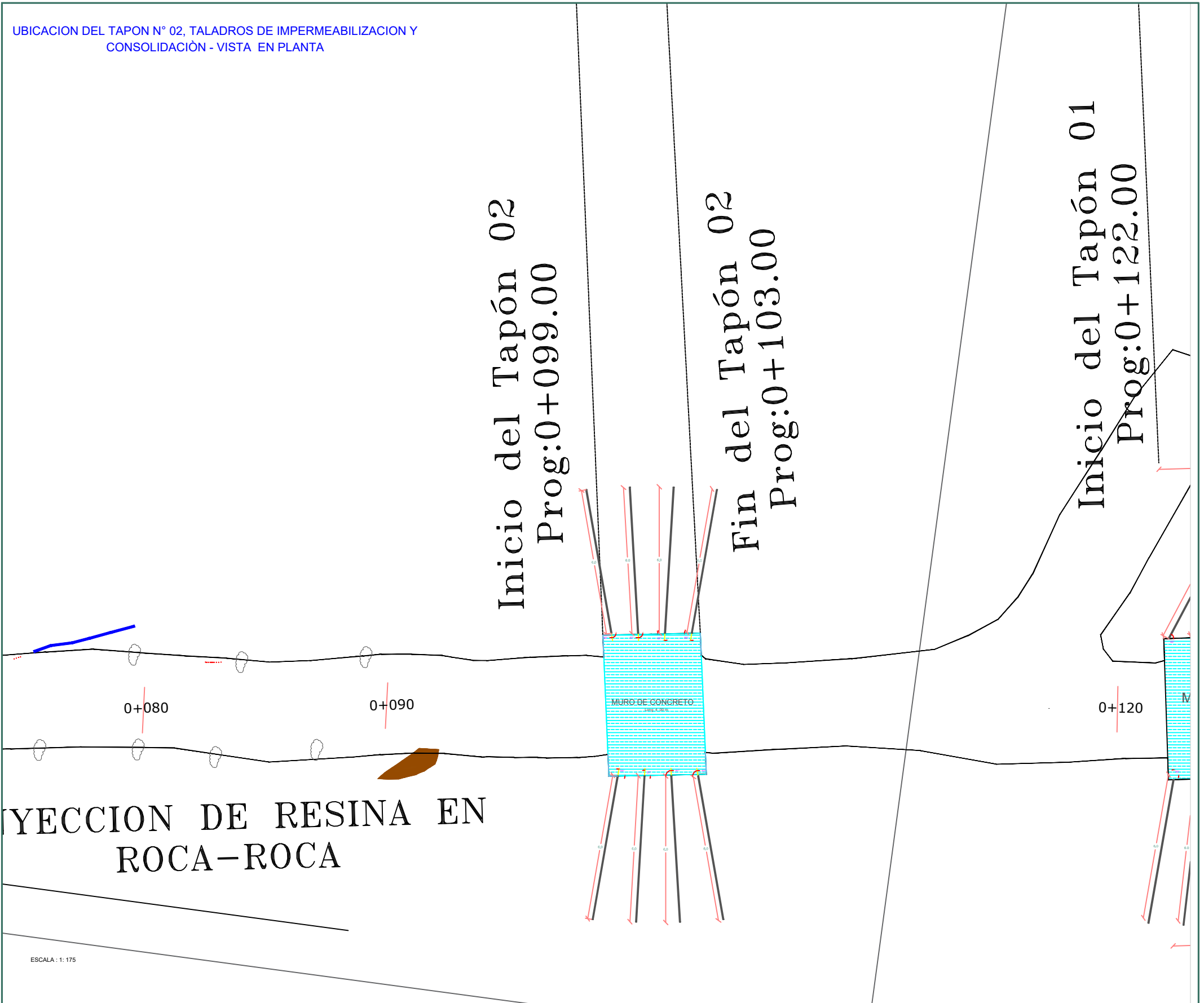
NOTAS IMPORTANTES:

1. TODAS LAS DIMENSIONES ESTAN DADAS EN EL SISTEMA METRICO DECIMAL.
2. LAS INYECCIONES DE CONTACTO SON PARA RELLENAR LOS VACIOS ENTRE EL CONCRETO Y LA ROCA, SERAN APLICADAS PARA PREVENIR FUGAS A TRAVES DE CUALQUIER SEPARACION POR RETRACCION.
3. LAS DIMENSIONES FINALES DE LAS GALERIAS SON APROXIMADAS, EL CONTRATISTA DEBERA VERIFICARLAS ANTES DE INICIAR LA CONSTRUCCION.

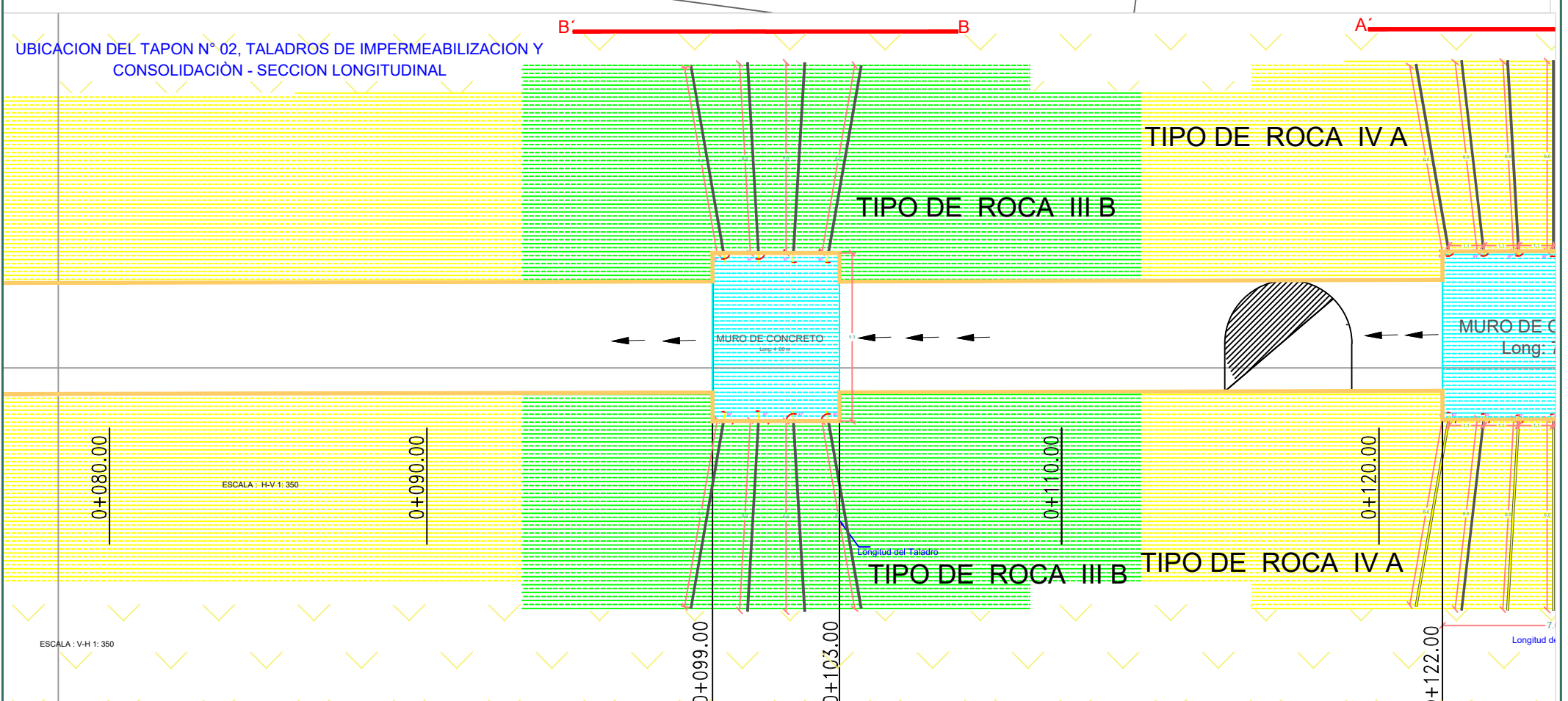
ESCALA: 1:50

PROYECTO: PROYECTO PANIGUAMAS UNIDAD MINERA ORICOPAMPA CIA DE MINAS BUENAVENTURA S.A.A. INGENIERIA: INGENIERIA DISCIPLINA: GEOLOGIA DIBUJO: J.T.M.C. REVISADO: R.S.G. APROBADO: DPTO_DE_GEOLOGIA_PSA FECHA: NOVIEMBRE 2018		UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRION FACULTAD DE INGENIERIA ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA DESCRIPCION: LONGITUD TALADROS DE INYECCION DE CONTACTO CONCRETO-ROCA TAPON 01		DATUM: WGS-84 ZONA: 18_S ESCALA: IND
CONFIDENCIAL: Este plano y la información contenida, son propiedad del Autor Queda terminantemente prohibido su uso y reproducción sin previa autorización del Titular.			Tamaño de Papel: A3	PLANO N° 05-3 PLANO N° 05-ICR-T

UBICACION DEL TAPON N° 02, TALADROS DE IMPERMEABILIZACION Y CONSOLIDACION - VISTA EN PLANTA



UBICACION DEL TAPON N° 02, TALADROS DE IMPERMEABILIZACION Y CONSOLIDACION - SECCION LONGITUDINAL



	BOCAMINA		TAPON DE RETENCION DE FLUJO E INFILTRACIONES N°03 - L=4m. prog: 0+089 al 0+103
	TERRENO NATURAL		MATERIAL ARCILLOSO
	TOP SOIL		MATERIAL DE RELLENO
	TIPO DE LITOLOGIA		INYECCIONES DE CONSOLIDACION Y/O IMPERMEABILIZACION
	TIPO DE ROCA IV-A		
	TIPO DE ROCA III-B		

ESPECIFICACIONES TECNICAS	
CONCRETO - TAPON	Grado de resistencia: f _{cd} = 200 Kg/cm ²
INYECCION DE CONTACTO CONCRETO - ROCA	Material: Mortar de cemento y arena

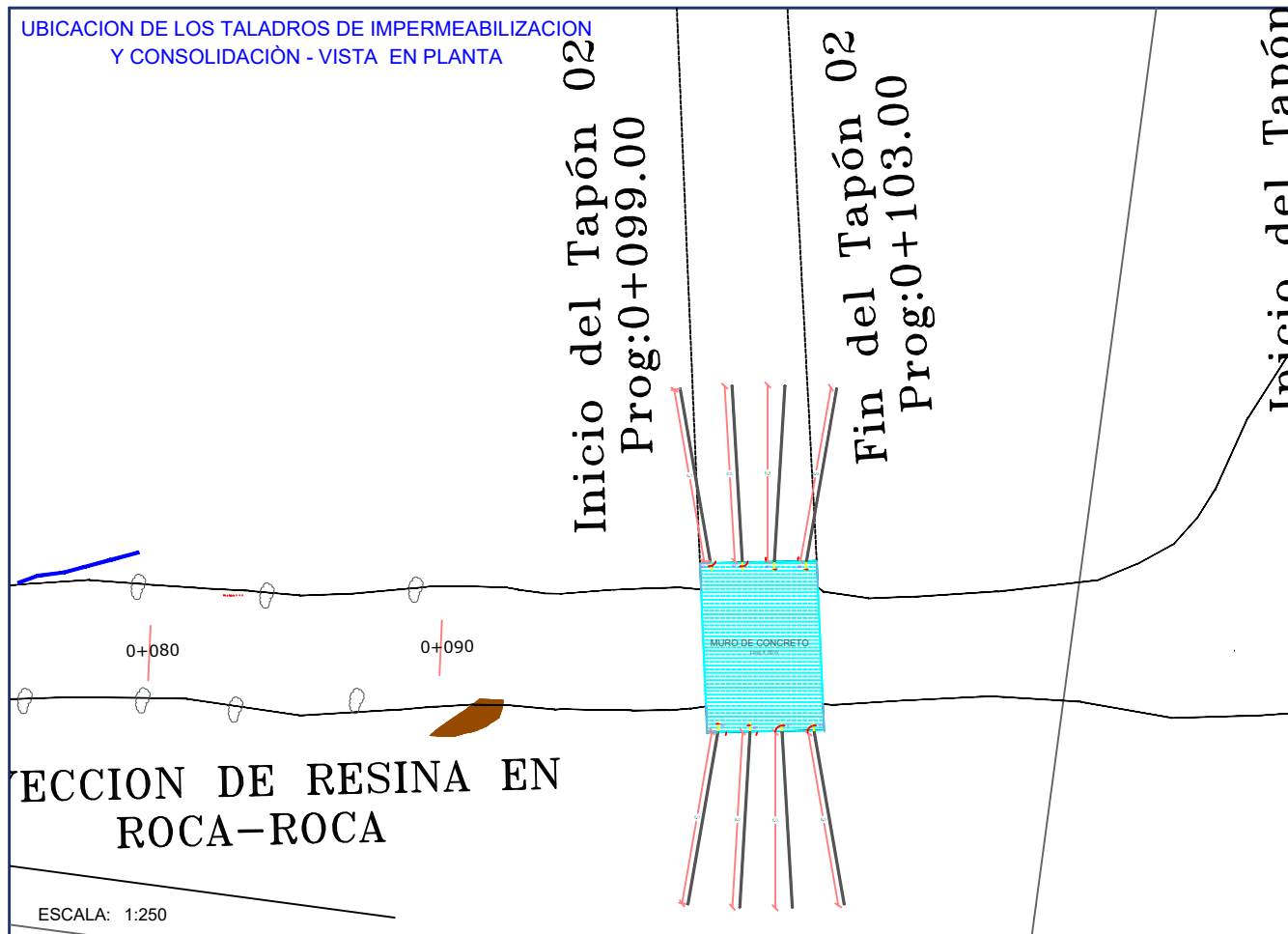
PROYECTO:	UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRION
INGENIERIA:	INGENIERIA
DISCIPLINA:	GEOLOGIA
DIBUJO:	J.T.M.C.
REVISADO:	R.S.G.
APROBADO:	DPTO. DE GEOLOGIA, PSA
FECHA:	NOVIEMBRE, 2018

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRION	
FACULTAD DE INGENIERIA	
ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA	
DESCRIPCION:	
PLANO EN PLANTA Y SECCION A-A - TAPON 01	
Tamaño de Papel:	A3

DATUM:	WGS-84
ZONA:	18_S
ESCALA:	IND
PLANO N° 05-1	
PLANO N° 05-PPS-T	

CONFIDENCIAL: Este plano y la información contenida, son propiedad del Autor. Queda terminantemente prohibido su uso y reproducción sin previa autorización del Titular.

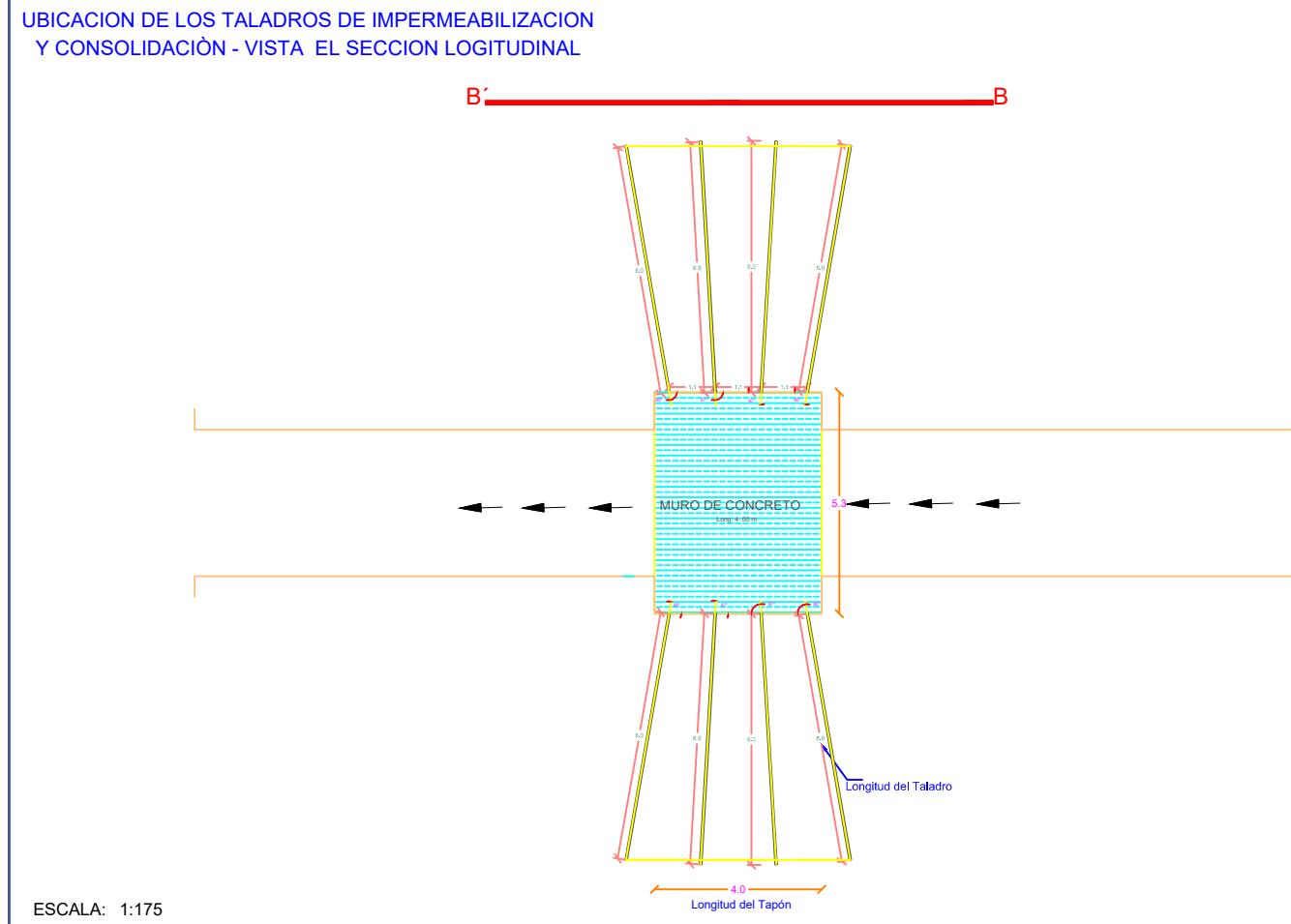
UBICACION DE LOS TALADROS DE IMPERMEABILIZACION Y CONSOLIDACION - VISTA EN PLANTA



SECCION DE RESINA EN ROCA-ROCA

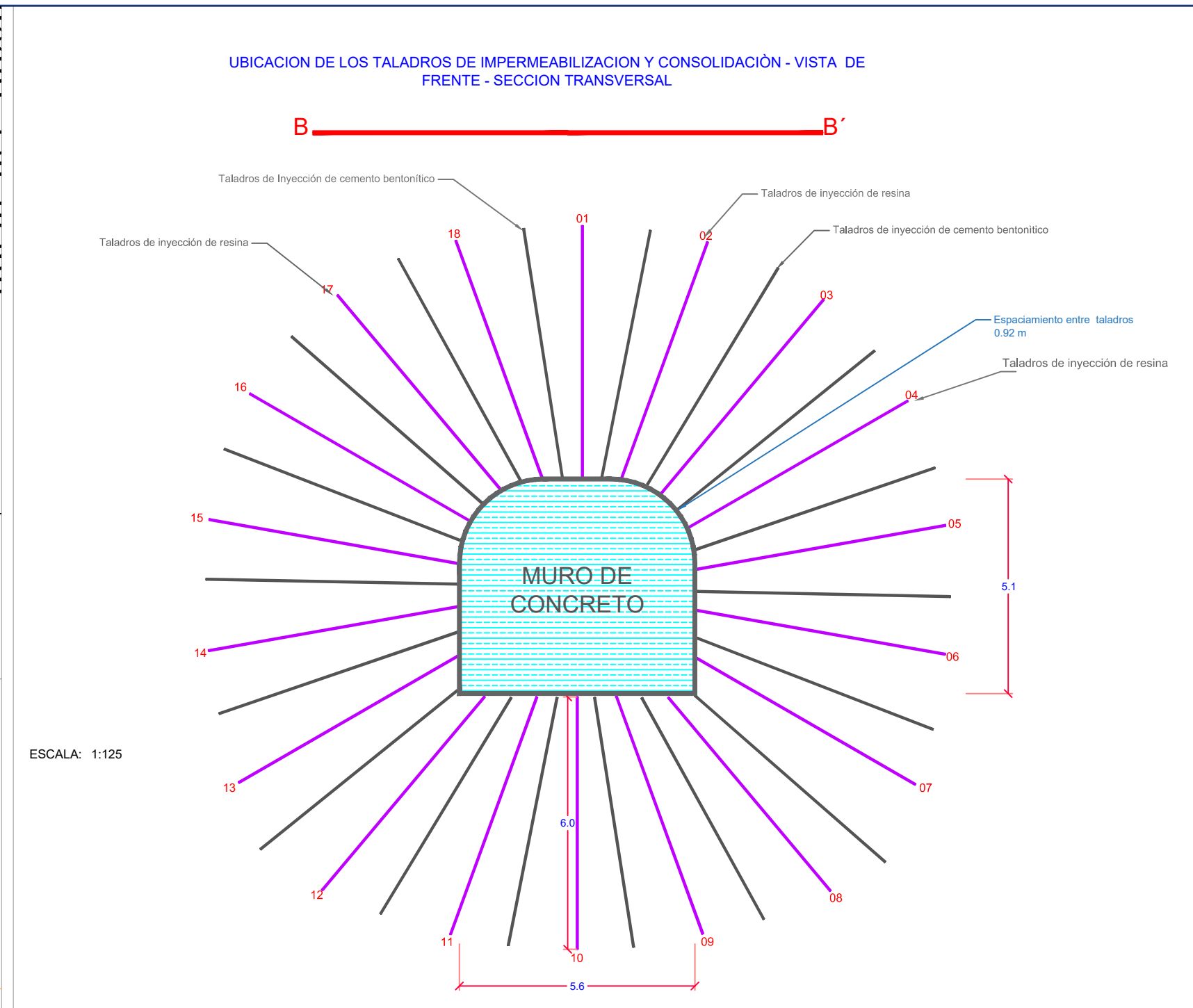
ESCALA: 1:250

UBICACION DE LOS TALADROS DE IMPERMEABILIZACION Y CONSOLIDACION - VISTA EL SECCION LOGITUDINAL



ESCALA: 1:175

UBICACION DE LOS TALADROS DE IMPERMEABILIZACION Y CONSOLIDACION - VISTA DE FRENTE - SECCION TRANSVERSAL



ESCALA: 1:125

- ESPECIFICACIONES UBICACION DE INYECCIONES:**
- SE UTILIZARAN RESINA CONSOLIDANTE E IMPERMEABILIZANTE EN FUNCION DE LA PERMEABILIDAD PRESENTE EN CADA UNO DE LOS TALADROS DE INYECCION.
1. LAS PERFORACIONES DEBERAN SER EJECUTADAS POR ROTACION CON DIAMETRO ADECUADO, Y PROFUNDIZADAS PERPENDICULARES A LAS PAREDES, CON LA INCLINACION Y PROFUNDIDAD INDICADA EN LOS PLANOS.
 2. LAS INYECCIONES DE IMPERMEABILIZACION Y CONSOLIDACION SERAN APLICADAS PARA ASEGURAR QUE LAS DISCONTINUIDADES DE LA ROCA SE LLENEN Y SELLEN ADECUADAMENTE, Y AS REDUCIR LA PERMEABILIDAD DEL MASO ROCOSO EN LA ZONA INMEDIATAMENTE ALREDEDOR DEL TAPON Y EVITAR EL FRACTURAMIENTO HIDRAULICO.
 3. LOS RESULTADOS DE LOS ULTIMOS TALADROS PERMITIRAN EVALUAR EL GRADO DE CONSOLIDACION E IMPERMEABILIZACION ALCANZADO.
 4. LAS INYECCIONES SE EJECUTARAN EN 4 CORTINAS DISTANCIADAS CADA CORTINA a 0.92 m, CADA UNO DONDE TENDRA UNA LONGITUD DE PERFORACION DE 6.00 m, DEL MISMO MODO LA SEPARACION ENTRE TALADROS DE INYECCION SERAN DE 0.92 m, CON RESPECTO AL SIGUIENTE.
 5. LAS DISTRIBUCIONES DE LAS CORTINAS DE INYECCIONES SERAN LAS SIGUIENTES:

PROYECTO: PROYECTO PARIGUANAS UNIDAD MINERA ORCOOPAMPA CIA DE MINAS BUENAVENTURA S.A.S.		DATUM: WGS-84 ZONA: 18_S ESCALA: IND	
INGENIERIA: INGENIERIA	DISCIPLINA: GEOLOGIA	UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRION FACULTAD DE INGENIERIA ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA	
DIBUJO: J.T.M.C.	REVISADO: R.S.G.	DESCRIPCION: UBICACION Y LONGITUD DE TALADROS DE IMPERMEABILIZACION - TAPON 01 VISTAS: PLANTA, DE FRENTE, SECCION LONGITUDINAL	
APROBADO: DPTO. DE GEOLOGIA, PSA	FECHA: NOVIEMBRE 2018	Tamaño de Papel: A3	PLANO N° 05-2 PLANO N° 05-LTI-T

CONFIDENCIAL: Este plano y la información contenida, son propiedad del Autor. Queda terminantemente prohibido su uso y reproducción sin previa autorización del Titular.

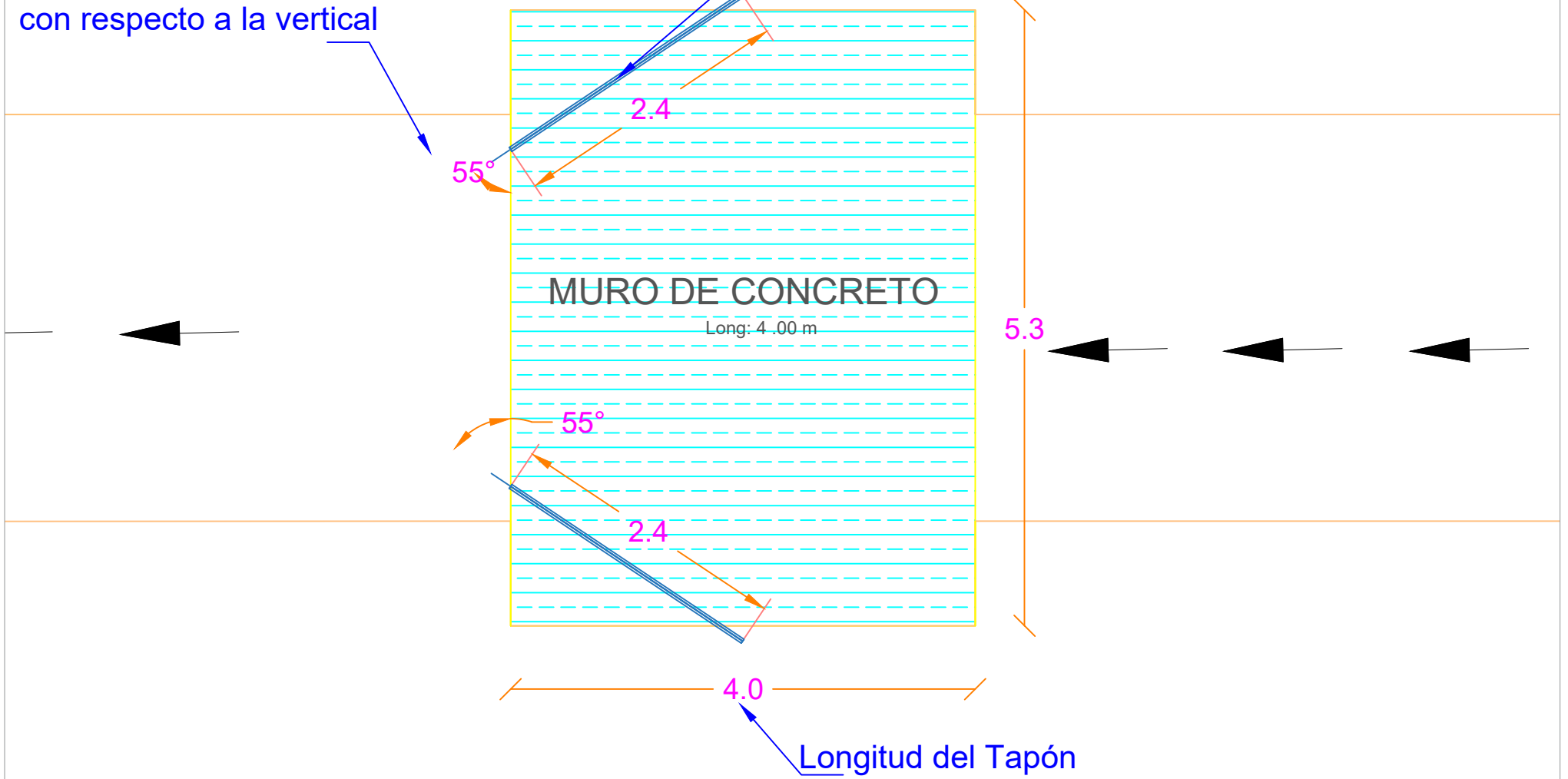
DISEÑO DE INYECCION DE RESINA PARA CONTACTO CONCRETO ROCA

B

B'

Ángulo de perforación con respecto a la vertical

Longitud de taladro de sellado concreto roca



ESCALA: 1:50

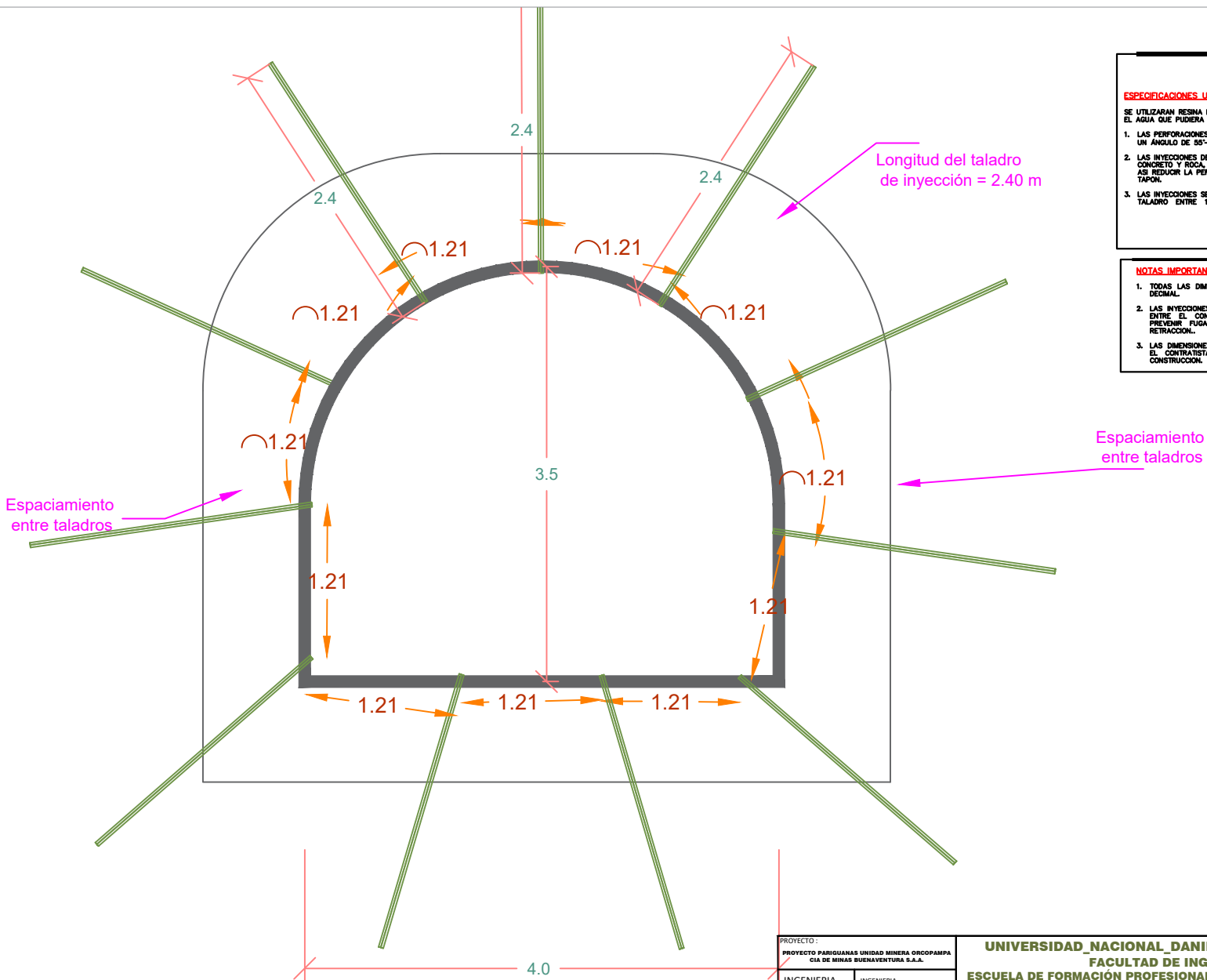
ESPECIFICACIONES UBICACION DE INYECCIONES DE SELLADO CONCRETO-ROCA:

SE UTILIZARAN RESINA LIQUIDA PARA EL SELLADO DEL CONTACTO ENTRE CONCRETO Y CONTROLARA EL AGUA QUE PUEDERA SALIR POR EL CONTACTO.

1. LAS PERFORACIONES DEBERAN SER EJECUTADAS POR ROTACION CON DIAMETRO ADECUADO, Y CON UN ANGULO DE 55-60° RESPECTO AL TAPON, CADA TALADRO TENDRA UNA LONGITUD DE 2.40 m.
2. LAS INYECCIONES DE CONTACTO SERAN APLICADAS PARA ASEGURAR QUE EL CONTACTO ENTRE CONCRETO Y ROCA, ASIMAS DE ALGUNAS FRACTURAS SE LLENEN Y SELLEN ADECUADAMENTE, Y ASI REDUCIR LA PERMEABILIDAD DEL MAGCZO ROCOSO EN LA ZONA INMEDIATAMENTE ALREDEDOR DEL TAPON.
3. LAS INYECCIONES SE EJECUTARAN EN 01 CORTINA DE 11 TALADROS, DISTANCIADAS CADA TALADRO ENTRE 1.20 -1.22 m, DONDE TENDRA UNA LONGITUD DE PERFORACION DE 2.40 m.

NOTAS IMPORTANTES:

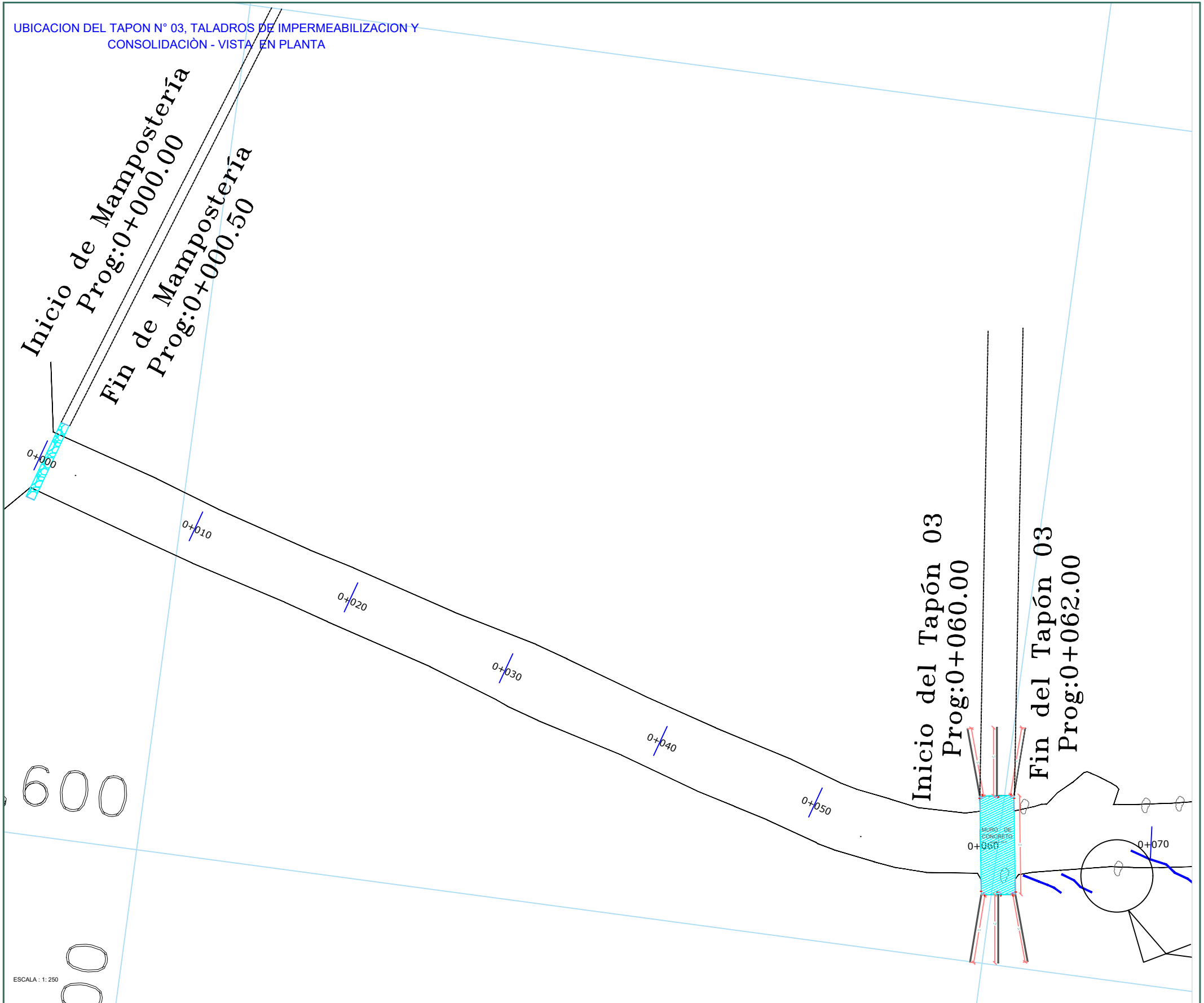
1. TODAS LAS DIMENSIONES ESTAN DADAS EN EL SISTEMA METRICO DECIMAL.
2. LAS INYECCIONES DE CONTACTO SON PARA RELLENAR LOS VACIOS ENTRE EL CONCRETO Y LA ROCA, SERAN APLICADAS PARA FRENAR FUGAS A TRAVES DE CUALQUIER SEPARACION POR RETRACCION.
3. LAS DIMENSIONES FINALES DE LAS GALERIAS SON APROXIMADAS, EL CONTRATISTA DEBERA VERIFICARLAS ANTES DE INICIAR LA CONSTRUCCION.



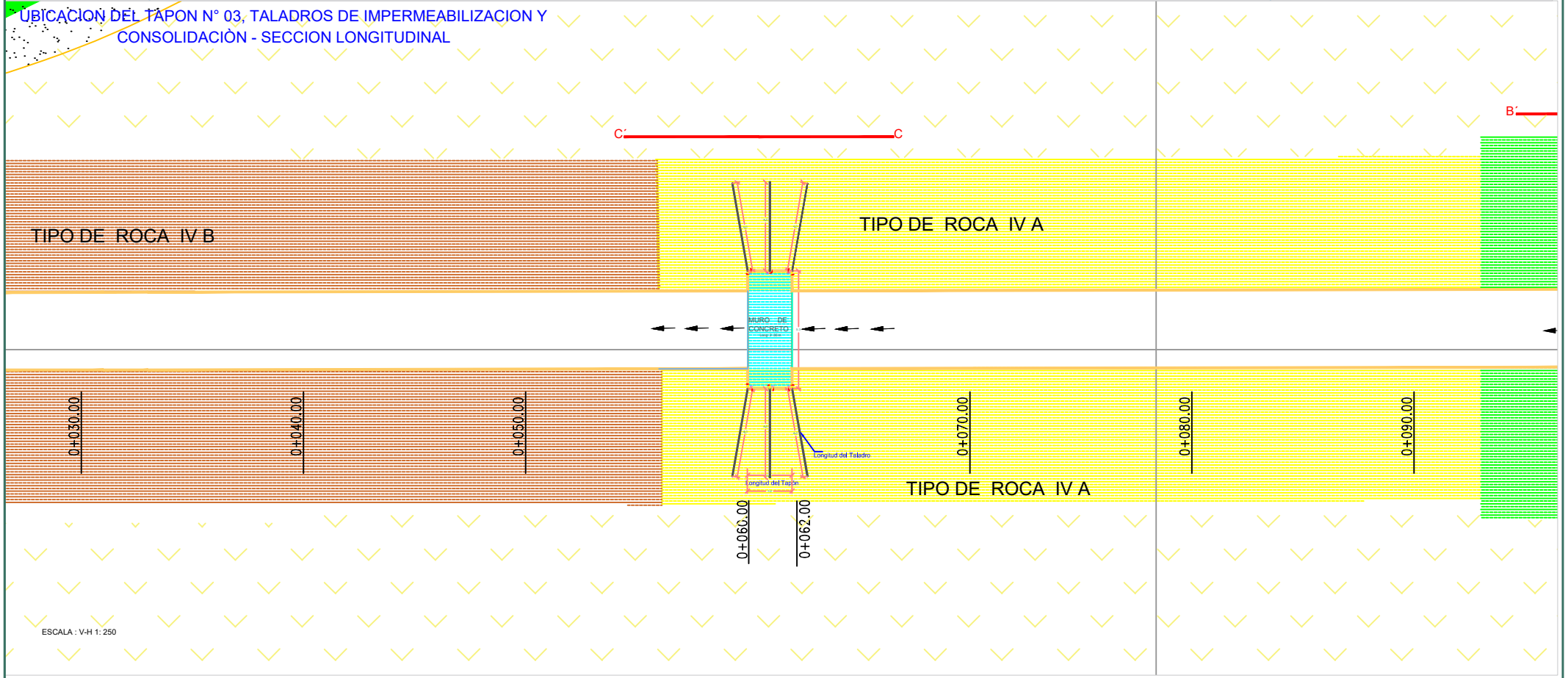
ESCALA: 1:50

PROYECTO: PROYECTO PARISHANAS UNIDAD MINERA OROCPAMPA CIA DE MINAS BUENAVENTURA S.A.S.		UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA		DATUM: WGS-84
INGENIERIA: INGENIERIA	DISCIPLINA: GEOLOGIA	DESCRIPCION: LONGITUD TALADROS DE INYECCION DE CONTACTO CONCRETO-ROCA TAPON 01	ESCALA: IND	ZONA: 18.5
DIBUJO: J.T.M.C.	REVISADO: R.S.G.			ESCALA: IND
APROBADO: DPTO. DE GEOLOGIA, PSA	FECHA: NOVIEMBRE, 2018			
CONFIDENCIAL: Este plano y la información contenida, son propiedad del Autor. Queda terminantemente prohibido su uso y reproducción sin previa autorización del Titular.			Tamaño de Papel: A3	
				PLANO N° 05-3
				PLANO N° 05-ICR-T

UBICACION DEL TAPON N° 03, TALADROS DE IMPERMEABILIZACION Y CONSOLIDACION - VISTA EN PLANTA



UBICACION DEL TAPON N° 03, TALADROS DE IMPERMEABILIZACION Y CONSOLIDACION - SECCION LONGITUDINAL



ESCALA : V-H 1: 250

	BOCAMINA		TAPON DE RETENCION DE INFILTRACIONES N°03 - 11cm. prog. 0+060 al 0+062
	TERRENO NATURAL		MATERIAL DE RELLENO
	MATERIAL ARCILLOSO		INYECCIONES DE CONSOLIDACION Y/O IMPERMEABILIZACION
	TOP SOIL		
	TIPO DE LITOLOGIA		
	TIPO DE ROCA IV-B		
	TIPO DE ROCA IV-A		
	TIPO DE ROCA III-B		

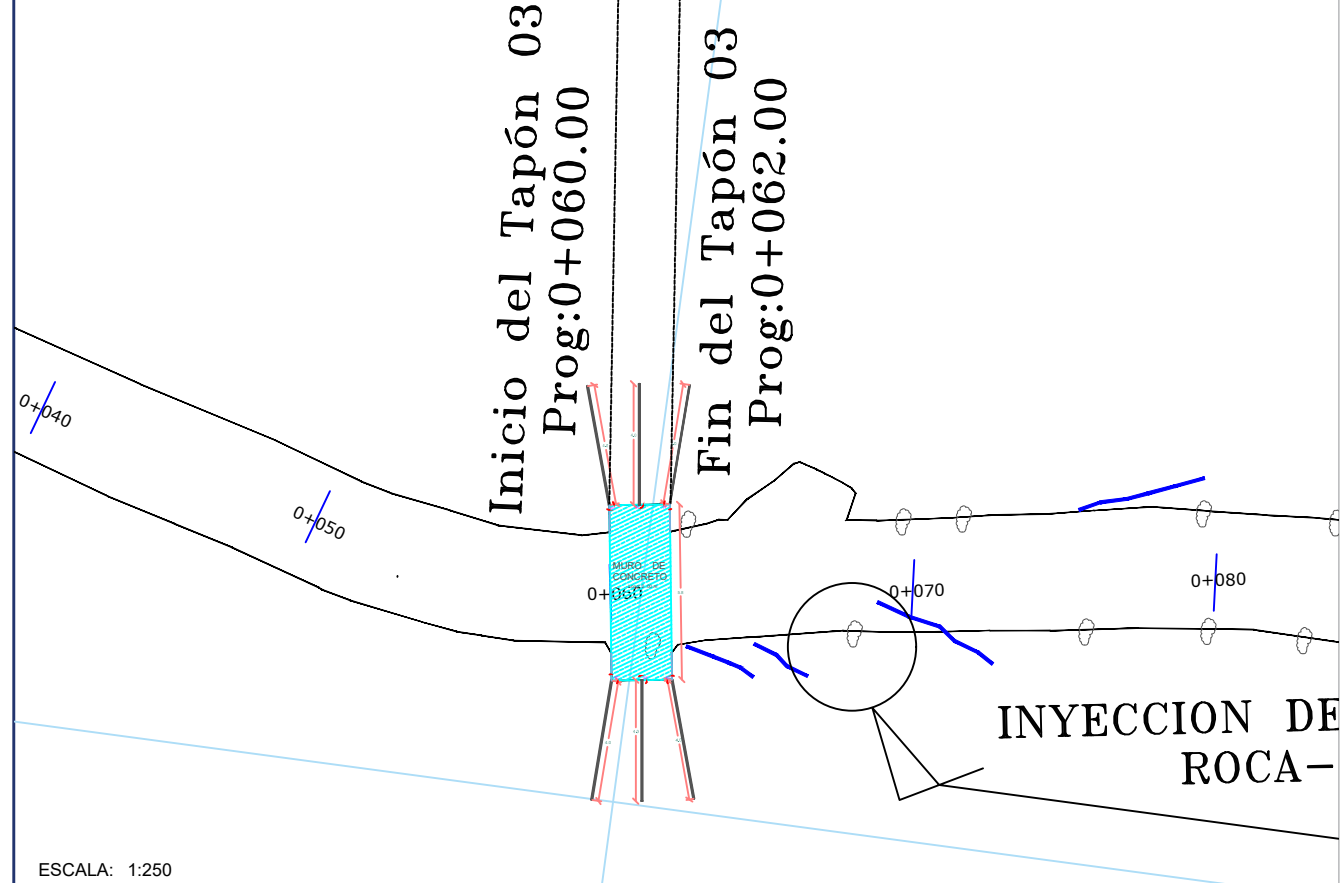
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS
CONCRETO - TAPON
 INYERCIÓN A LA COMPRESIÓN f_{ck} = 280 Kg/cm²
 INYERCIÓN DE CONTACTO CONCRETO - ROCA DE EMPLEAR: UNA RESINA PARA ALTAS PRESIONES DE AGUAS

PROYECTO:	UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
INGENIERIA:	INGENIERIA
DISCIPLINA:	GEOLOGIA
DIBUJO:	J.T.M.C.
REVISADO:	R.S.G.
APROBADO:	DPTO. DE GEOLOGIA, PSA
FECHA:	NOVIEMBRE 2018

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN	ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLOGICA
PLANO EN PLANTA Y SECCIÓN A-A - TAPON 01	
Tamaño de Papel:	A3

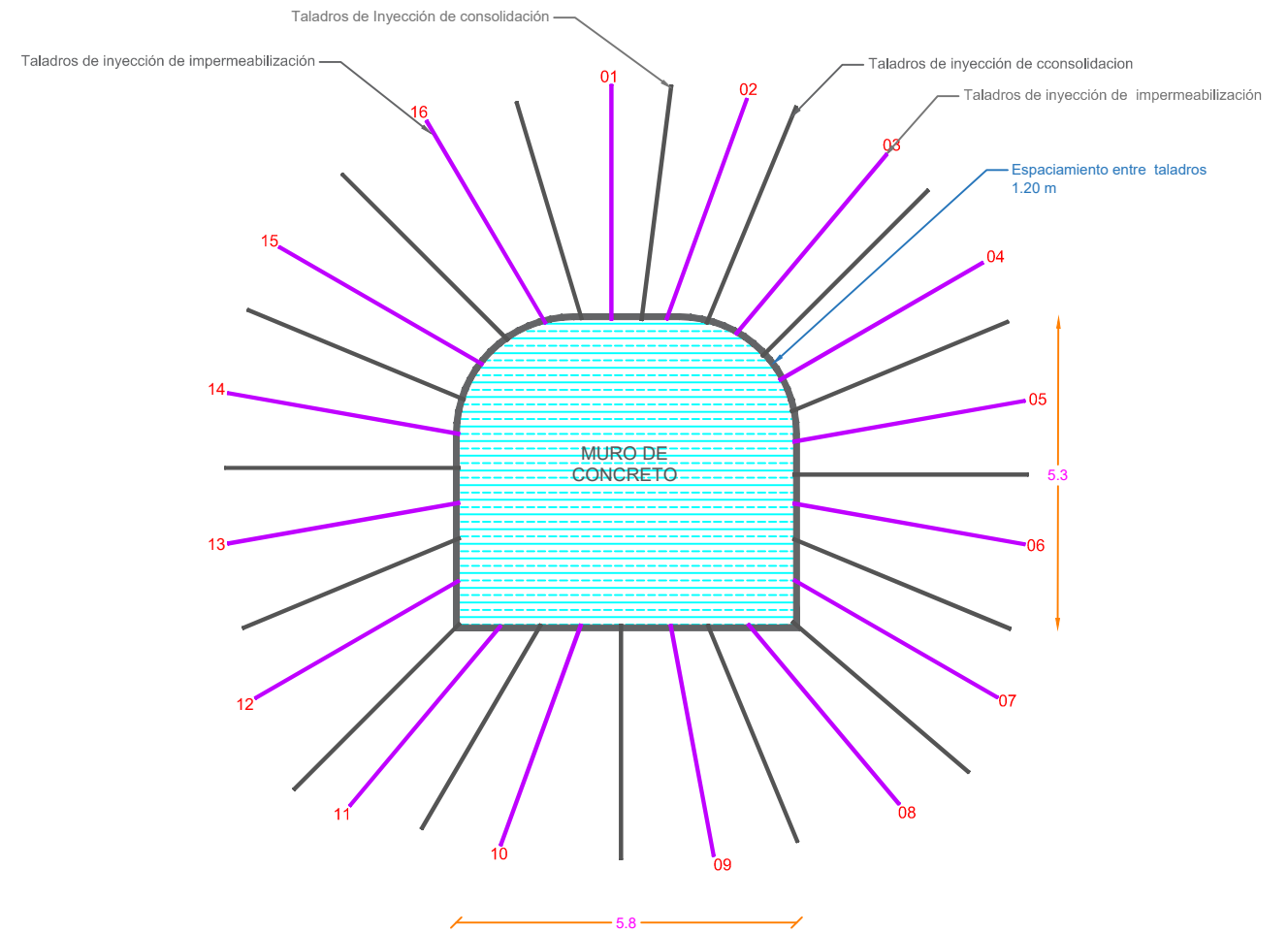
DATUM:	
ZONA:	
ESCALA:	
PLANO N°	05-1
PLANO N° 05-PPS-T	

UBICACION DE LOS TALADROS DE IMPERMEABILIZACION Y CONSOLIDACION - VISTA EN PLANTA



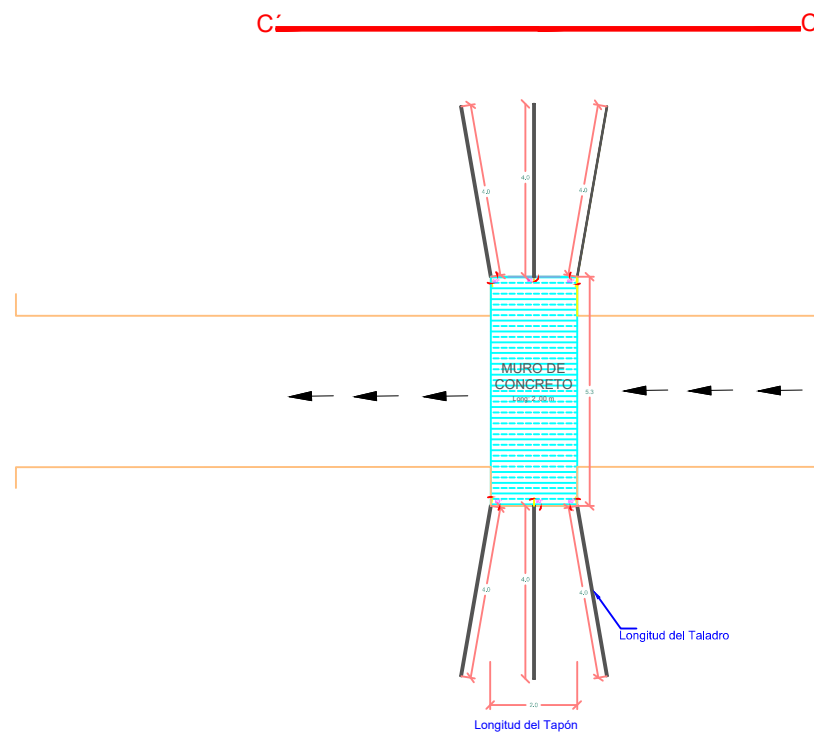
ESCALA: 1:250

UBICACION DE LOS TALADROS DE IMPERMEABILIZACION Y CONSOLIDACION - VISTA DE FRENTE - SECCION TRANSVERSAL



ESCALA: 1:125

UBICACION DE LOS TALADROS DE IMPERMEABILIZACION Y CONSOLIDACION - VISTA EL SECCION LOGITUDINAL



ESCALA: 1:175

- ESPECIFICACIONES UBICACION DE INYECCIONES:**
- SE UTILIZARAN RESINA CONSOLIDANTE E IMPERMEABILIZANTE EN FUNCION DE LA PERMEABILIDAD PRESENTE EN CADA UNO DE LOS TALADROS DE INYECCION.
1. LAS PERFORACIONES DEBERAN SER EJECUTADAS POR ROTACION CON DIAMETRO ADECUADO, Y PERFORADOS PERPENDICULARES A LAS PAREDES, CON LA INCLINACION Y PROFUNDIDAD INDICADA EN LOS PLANOS.
 2. LAS INYECCIONES DE IMPERMEABILIZACION Y CONSOLIDACION SERAN APLICADAS PARA ASEGURAR QUE LAS DISCONTINUIDADES DE LA ROCA SE LLENEN Y SELLEN ADECUADAMENTE, Y ASI REDUCIR LA PERMEABILIDAD DEL MACIZO ROCOSO EN LA ZONA INMEDIATAMENTE ALREDEDOR DEL TAPON Y EVITAR EL FRACTURAMIENTO HIDRAULICO.
 3. LOS RESULTADOS DE LOS ULTIMOS TALADROS PERMITIRAN EVALUAR EL GRADO DE CONSOLIDACION E IMPERMEABILIZACION ALCANZADO.
 4. LAS INYECCIONES SE EJECUTARAN EN 3 CORTINAS DISTANCIADAS CADA CORTINA a 1.20 m, CADA UNO, DONDE TENDRA UNA LONGITUD DE PERFORACION DE 4.00 m DEL MISMO MODO LA SEPARACION ENTRE TALADROS DE INYECCION SERAN DE 1.20 m, CON RESPECTO AL SIGUIENTE.
 5. LAS DISTRIBUCIONES DE LAS CORTINAS DE INYECCIONES SERAN LOS SIGUIENTES:

PROYECTO:	UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRION	DATUM:	WGS-84
INGENIERIA:	INGENIERIA	ZONA:	18.5
DISCIPLINA:	GEOLOGIA	ESCALA:	IND
DIBUJO:	J.T.M.C.	DESCRIPCION:	UBICACION Y LONGITUD DE TALADROS DE IMPERMEABILIZACION - TAPON 01
REVISADO:	R.S.G.	VISTAS:	PLANTA, DE FRENTE, SECCION LONGITUDINAL
APROBADO:	DPTO. DE GEOLOGIA, PSA	Tamaño de Papel:	A3
FECHA:	NOVIEMBRE 2018		

PLANO N°
05-2

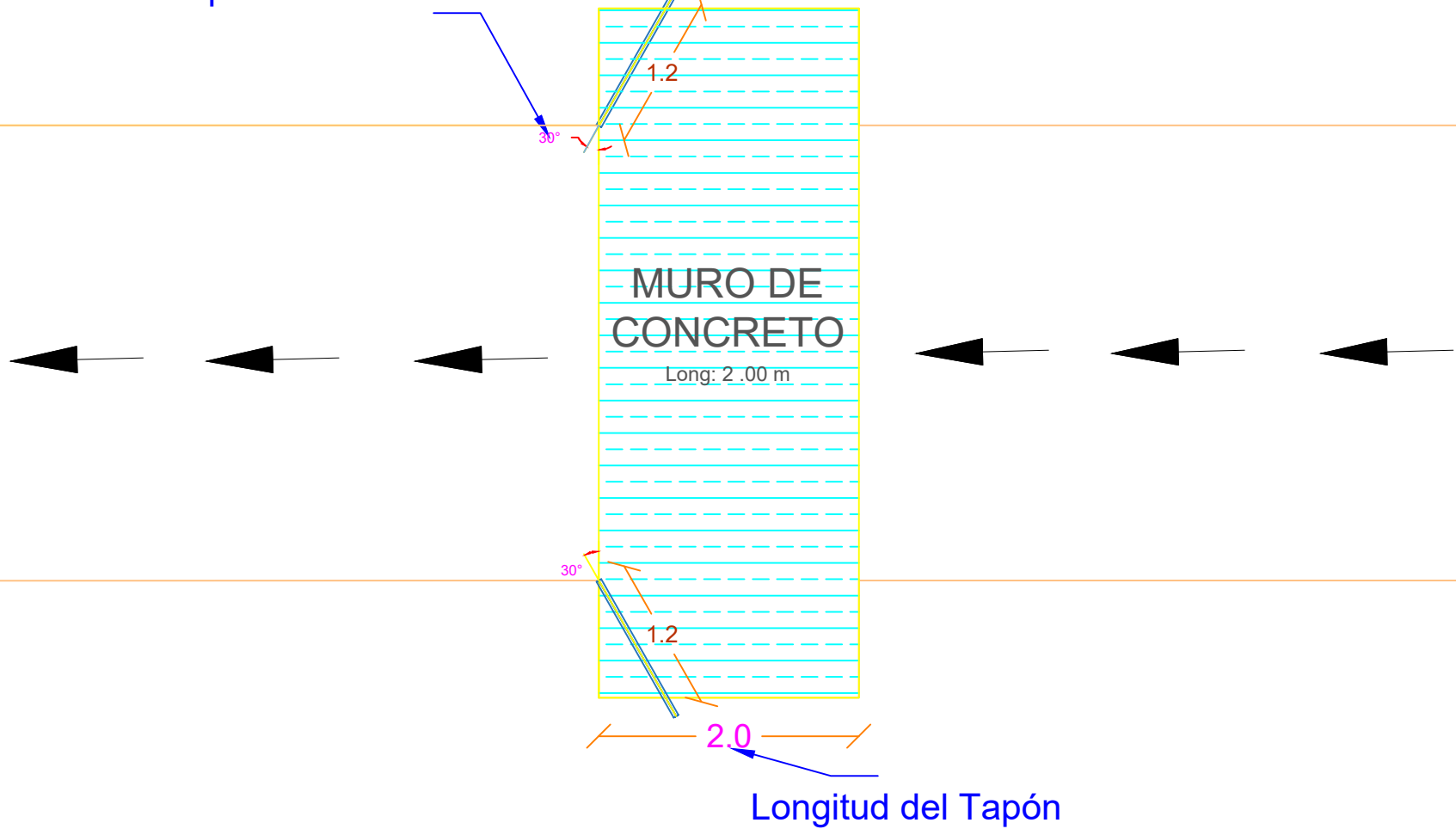
PLANO N° 05-LTI-T

CONFIDENCIAL: Este plano y la información contenida, son propiedad del Autor. Queda terminantemente prohibido su uso y reproducción sin previa autorización del Titular.

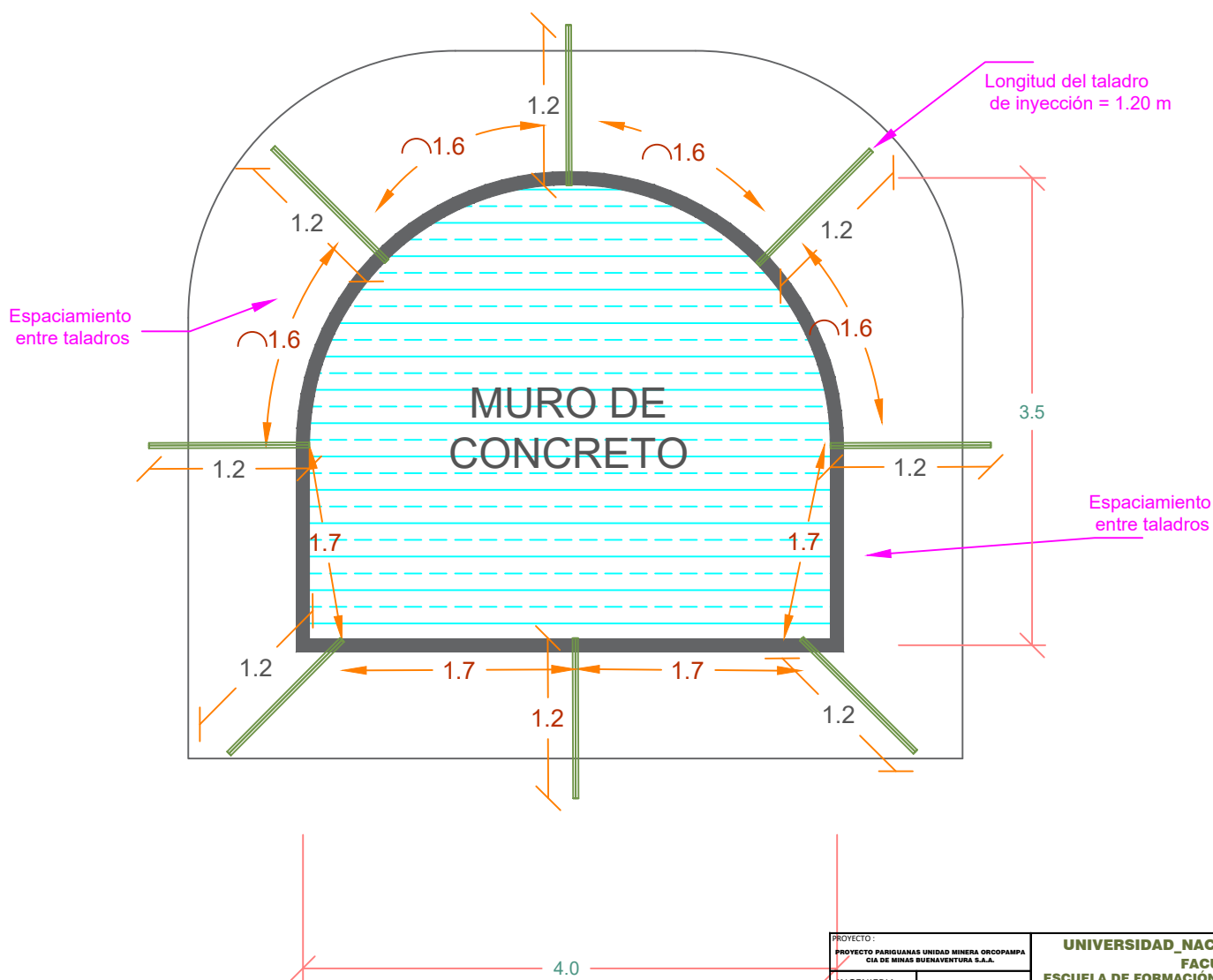
DISEÑO DE INYECCION DE RESINA PARA CONTACTO CONCRETO ROCA

Longitud de taladro de sellado concreto roca

Ángulo de perforación con respecto a la vertical



ESCALA: 1:50



ESPECIFICACIONES UBICACIÓN DE INYECCIONES DE SELLADO CONCRETO-ROCA:
SE UTILIZARAN RESINA LIQUIDA PARA EL SELLADO DEL CONTACTO ENTRE CONCRETO Y CONTROLARA EL AGUA QUE PUDIERA SALIR POR EL CONTACTO.

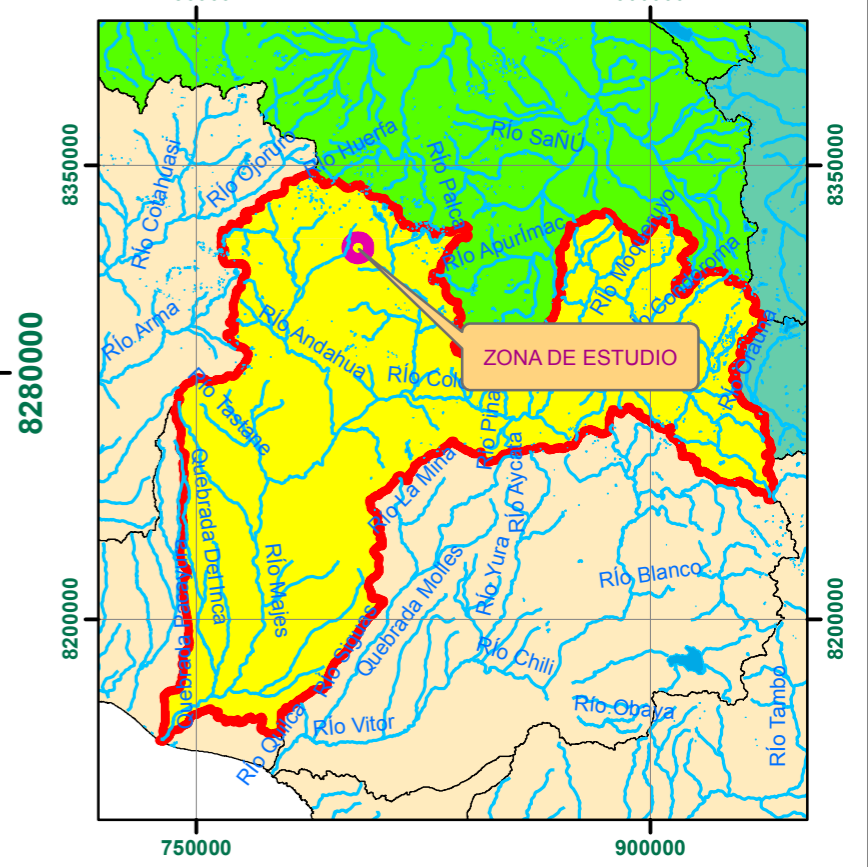
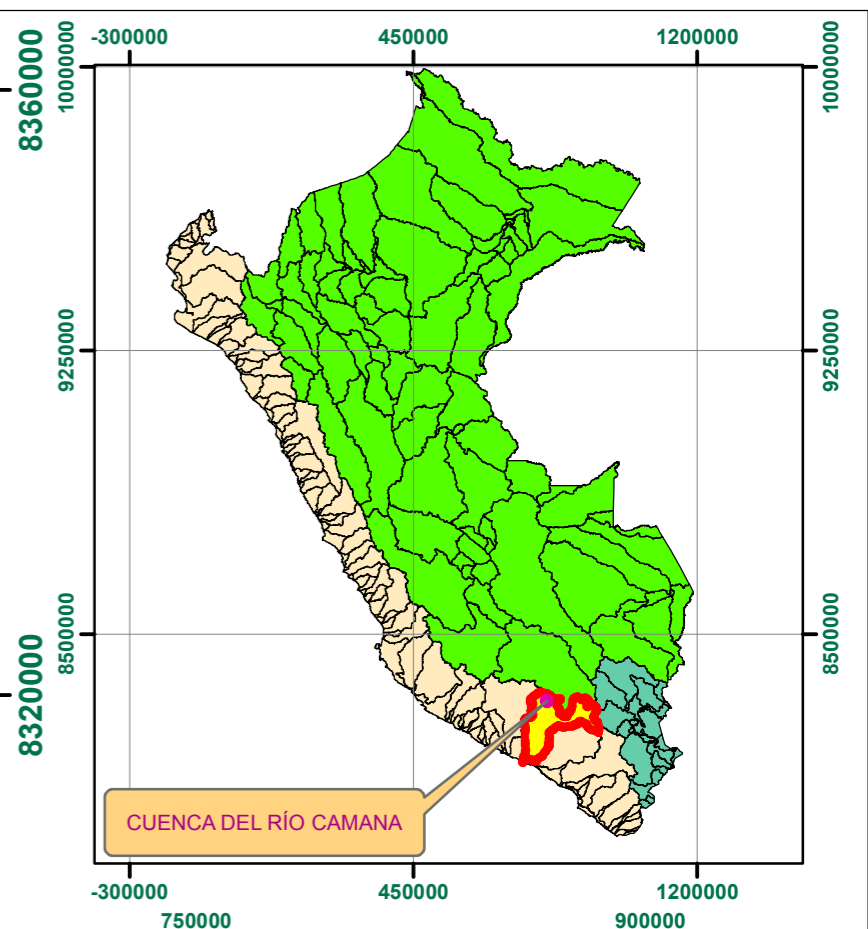
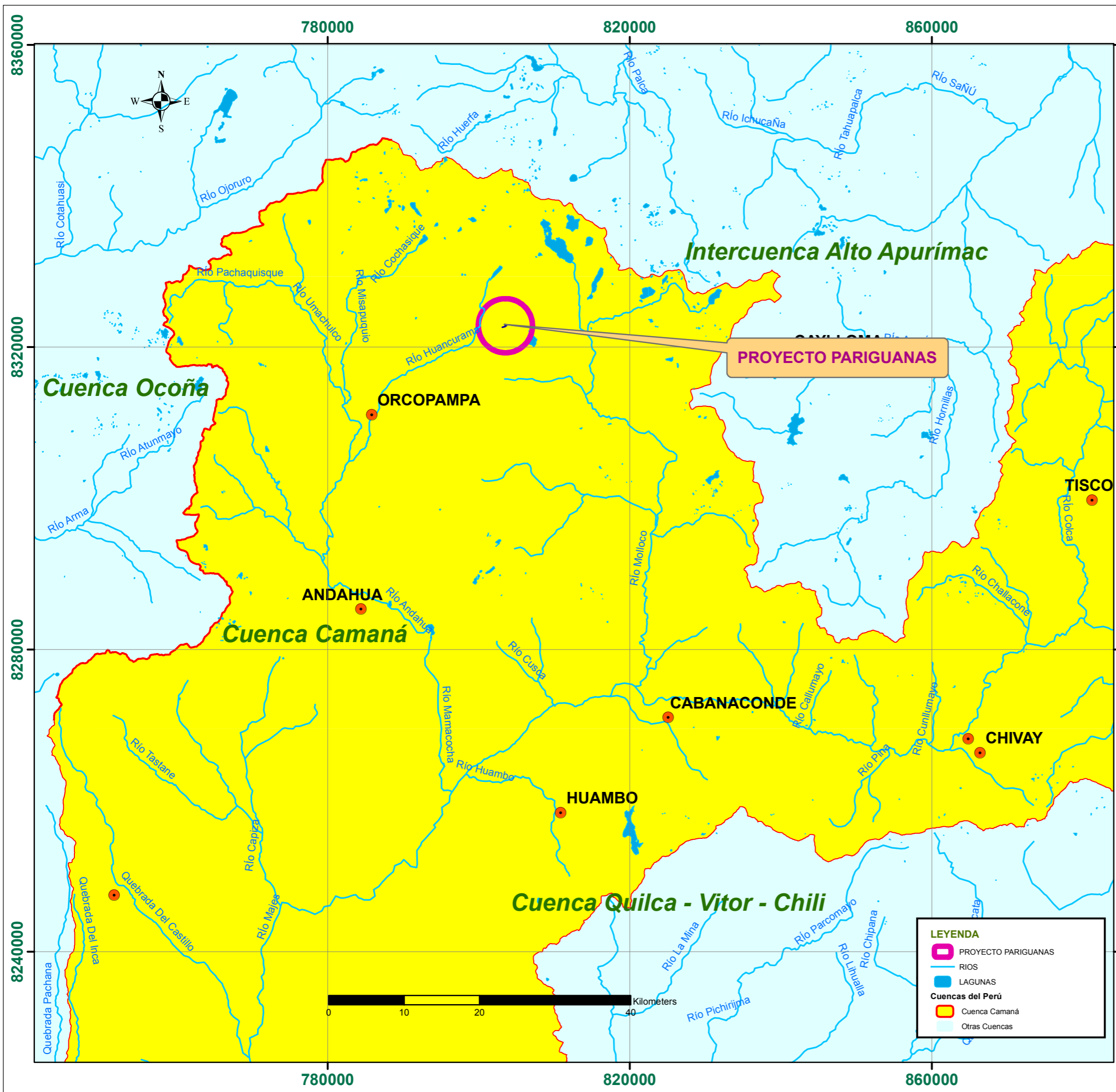
1. LAS PERFORACIONES DEBERAN SER EJECUTADAS POR ROTACION CON DIAMETRO ADECUADO Y CON UN ANGULO DE 30° RESPECTO AL TAPON, CADA TALADRO TENDRA UNA LONGITUD DE 1.20 m.
2. LAS INYECCIONES DE CONTACTO SERAN APLICADAS PARA ASEGURAR QUE EL CONTACTO ENTRE CONCRETO Y ROCA, ADICIAS DE ALGUNAS FRACTURAS SE LLENEN Y SELLEN ADECUADAMENTE, Y ASI REDUCIR LA PERMEABILIDAD DEL MAZO ROCOOSO EN LA ZONA INMEDIATAMENTE ALREDEDOR DEL TAPON.
3. LAS INYECCIONES SE EJECUTARAN EN 01 CORTINA DE 08 TALADROS, DISTANCIADAS CADA TALADRO ENTRE 1.60 -1.70 m, DONDE TENDRA UNA LONGITUD DE PERFORACION DE 1.20 m.

NOTAS IMPORTANTES:

1. TODAS LAS DIMENSIONES ESTAN DADAS EN EL SISTEMA METRICO DECIMAL.
2. LAS INYECCIONES DE CONTACTO SON PARA RELLENAR LOS VACIOS ENTRE EL CONCRETO Y LA ROCA, SERAN APLICADAS PARA PREVENIR FUGAS A TRAVES DE CUALQUIER SEPARACION POR RETRACCION.
3. LAS DIMENSIONES FINALES DE LAS GALERIAS SON APROXIMADAS, EL CONTRATISTA DEBERA VERIFICARLAS ANTES DE INICIAR LA CONSTRUCCION.

PROYECTO: PROYECTO PARQUEANAS UNIDAD MINERA OROCOMPAMA C/O DE MINAS BUENAVENTURA S.A.S.		UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRION FACULTAD DE INGENIERIA ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA		DATUM: WGS-84	
INGENIERIA	INGENIERIA	DESCRIPCION: LONGITUD TALADROS DE INYECCION DE CONTACTO CONCRETO-ROCA TAPON 01		ZONA: 18_5	
DISCIPLINA:	GEOLOGIA			ESCALA: IND	
DIBUJO:	J.T.M.C.			PLANO N° 05-3	
REVISADO:	R.S.G.				
APROBADO:	DPTO. DE GEOLOGIA, PSA				
FECHA:	NOVIEMBRE_2018	Tamaño de Papel:	A3	PLANO N° 05-ICR-T	

ESCALA: 1:50

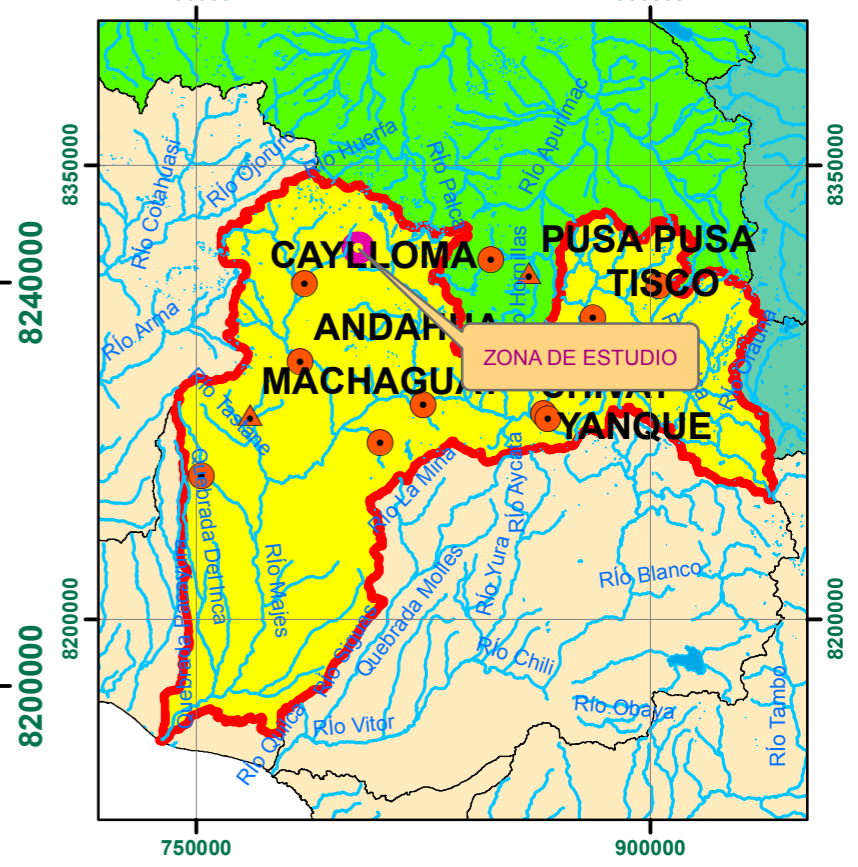
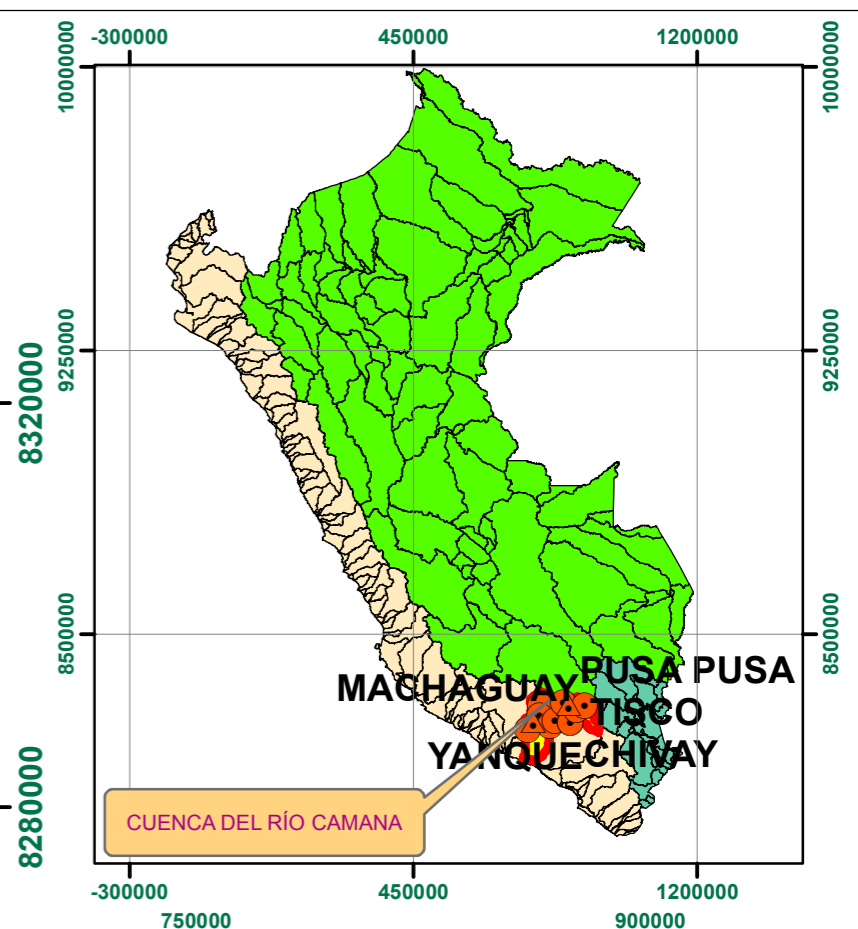
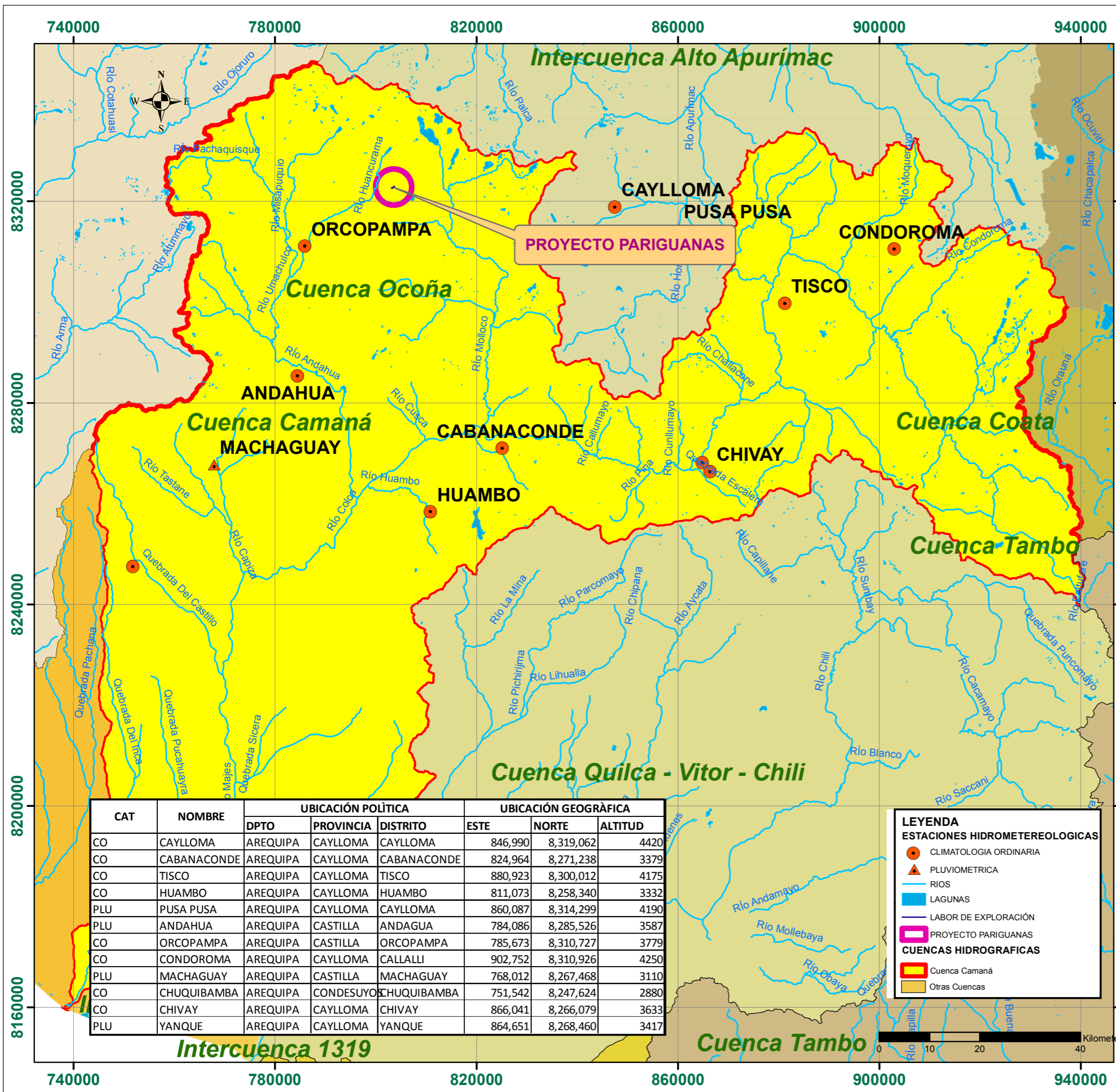


LEYENDA

- PROYECTO PARIGUANAS
- RIOS
- LAGUNAS
- Cuenca Camaná
- Otras Cuencas

PROYECTO: PROYECTO PARIGUANAS (SERVICIO MINERAL ORCOPAMPA) S.A. DE INGENIERIA BOONAVENTURA S.A.S.	UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA	DATUM: WGS-84 ZONA: 18_S ESCALA: 1/500000
INGENIERIA: INGENIERIA	DESCRIPCIÓN:	PLANO N°
DIBUJO: J.T.M.C.		06
REVISADO: R.S.G.		PLANO N° 04-PSH
APROBADO: DPTO. DE GEOLOGIA P.S.A.		Tamaño de Papel: A3
FECHA: NOVIEMBRE 2018		

PLANO SISTEMA HIDROGRÁFICO



CAT	NOMBRE	UBICACIÓN POLÍTICA			UBICACIÓN GEOGRÁFICA		
		DPTO	PROVINCIA	DISTRITO	ESTE	NORTE	ALTITUD
CO	CAYLLOMA	AREQUIPA	CAYLLOMA	CAYLLOMA	846,990	8,319,062	4420
CO	CABANAACONDE	AREQUIPA	CAYLLOMA	CABANAACONDE	824,964	8,271,238	3379
CO	TISCO	AREQUIPA	CAYLLOMA	TISCO	880,923	8,300,012	4175
CO	HUAMBO	AREQUIPA	CAYLLOMA	HUAMBO	811,073	8,258,340	3332
PLU	PUSA PUSA	AREQUIPA	CAYLLOMA	CAYLLOMA	860,087	8,314,299	4190
PLU	ANDAHUA	AREQUIPA	CASTILLA	ANDAGUA	784,086	8,285,526	3587
CO	ORCOPAMPA	AREQUIPA	CASTILLA	ORCOPAMPA	785,673	8,310,727	3779
CO	CONDOROMA	AREQUIPA	CAYLLOMA	CALLALI	902,752	8,310,926	4250
PLU	MACHAGUAY	AREQUIPA	CASTILLA	MACHAGUAY	768,012	8,267,468	3110
CO	CHUQUIBAMBA	AREQUIPA	CONDESUYO	CHUQUIBAMBA	751,542	8,247,624	2880
CO	CHIVAY	AREQUIPA	CAYLLOMA	CHIVAY	866,041	8,266,079	3633
PLU	YANQUE	AREQUIPA	CAYLLOMA	YANQUE	864,651	8,268,460	3417

LEYENDA

ESTACIONES HIDROMETEREOLÓGICAS

- CLIMATOLOGIA ORDINARIA
- PLUVIOMETRICA
- RIOS
- LAGUNAS
- LABOR DE EXPLORACIÓN
- PROYECTO PARIGUANAS

CUENCAS HIDROGRÁFICAS

- Cuenca Camaná
- Otras Cuencas

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

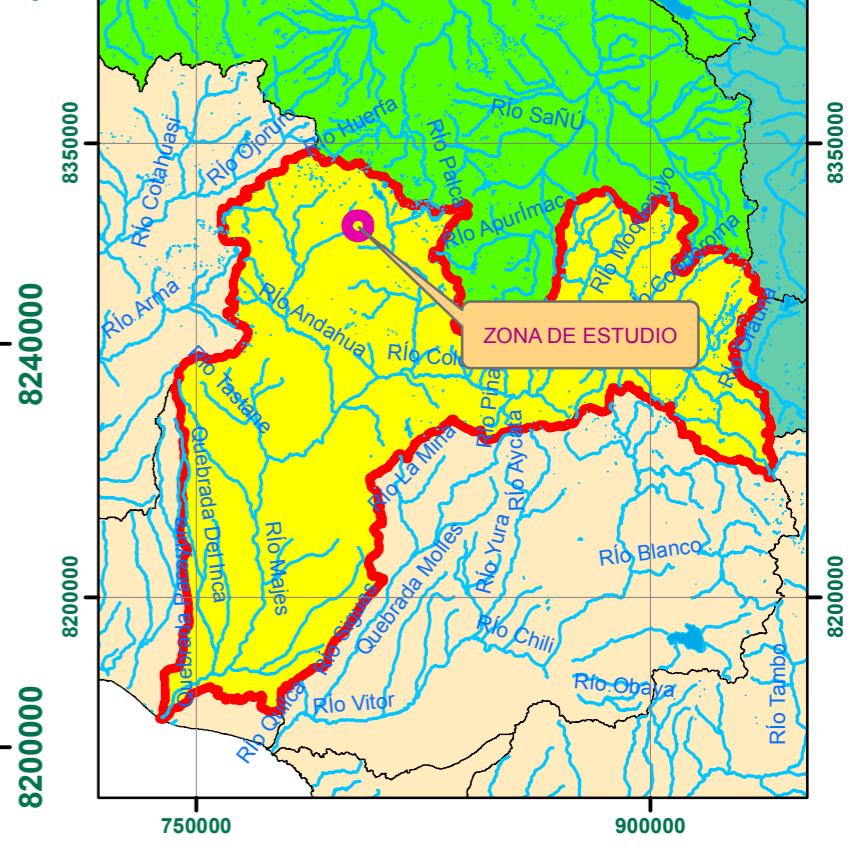
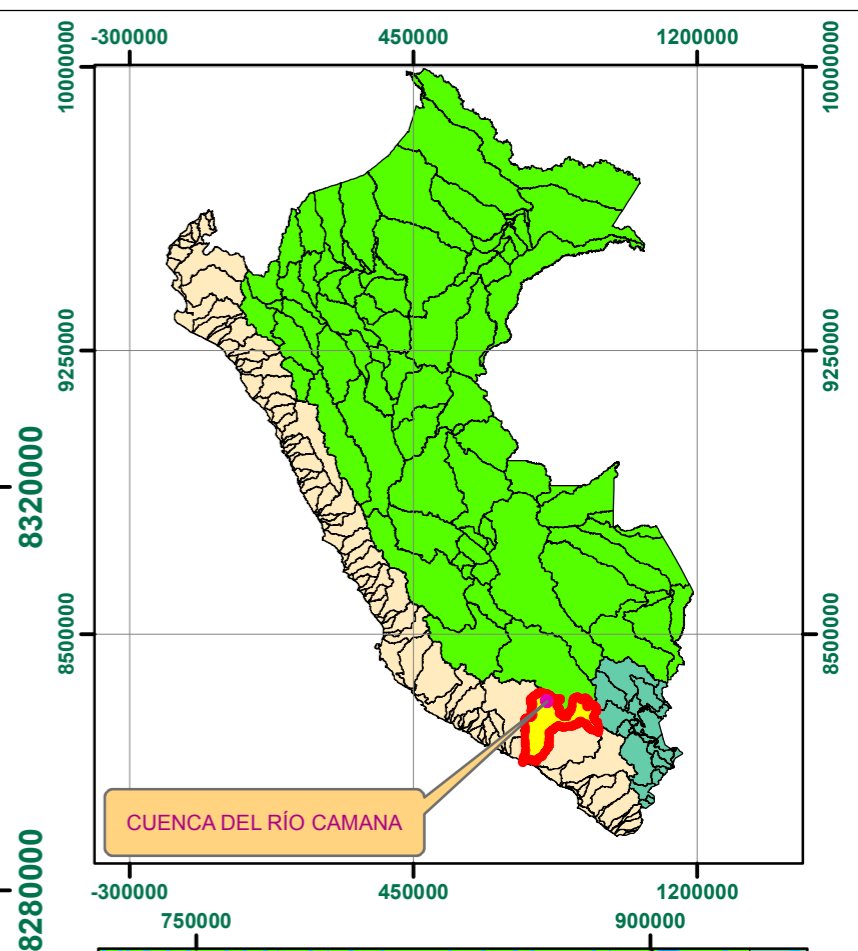
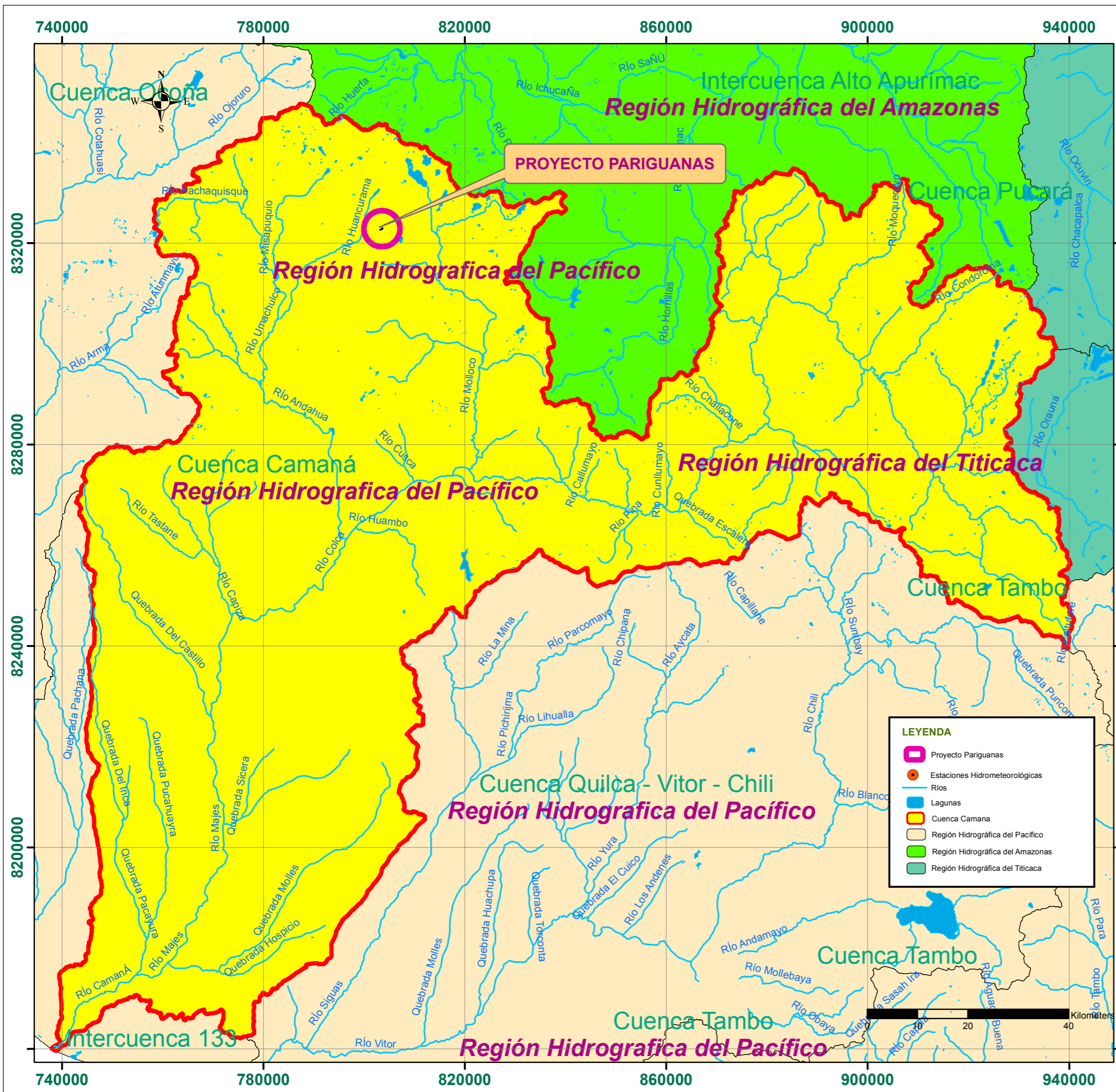
PLANO DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS

PLANO N° **07**

PROYECTO: PROYECTO PARIGUANAS OBRAS DE MEJORA DEL SERVICIO DE AGUAS POTABLES S.A.S.
 INGENIERIA: INGENIERIA
 DISCIPLINA: GEOLOGIA
 DIBUJO: J.T.M.C.
 REVISADO: R.S.G.
 APROBADO: DPTO. DE GEOLOGIA, PSA
 FECHA: NOVIEMBRE, 2018

Tamaño de Papel: A3

CONFIDENCIAL: Este plano y la información contenida, son propiedad del Autor. Queda terminantemente prohibido su uso y reproducción sin previa autorización del Titular.

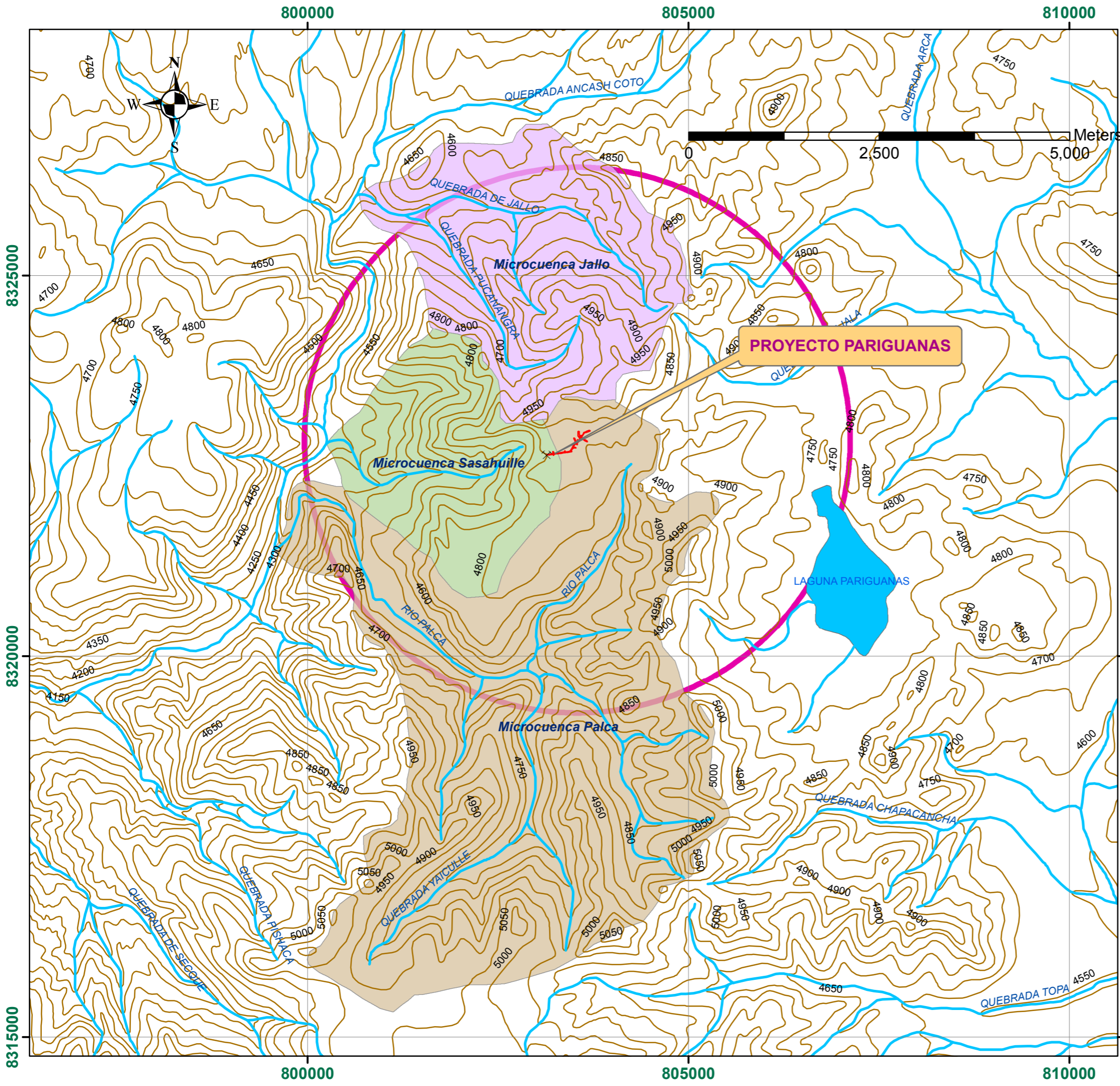


LEYENDA

- Proyecto Pariguanas
- Estaciones Hidrometeorológicas
- Ríos
- Lagunas
- Cuenca Camana
- Región Hidrográfica del Pacifico
- Región Hidrográfica del Amazonas
- Región Hidrográfica del Titicaca

PROYECTO: PROYECTO PARIGUANAS UNIDAD INGENIERIA GEOLOGICA C.A. DE SERVICIOS INGENIERIA S.A.S.	UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLOGICA	DATUM: WGS-84 ZONA: 18 S ESCALA: 1/75000
INGENIERIA: INGENIERIA	PLANO REGIONALIZACION HIDROLOGICAS	PLANO N° 08
DISCIPLINA: GEOLOGIA		
DIBUJO: J.T.M.C.		
REVISADO: R.S.G.		
APROBADO: DFTO. DE GEOLOGIA, PSA		Tamaño de Papel: A3
FECHA: NOVIEMBRE 2018		PLANO N° 08-PRH

CONFIDENCIAL: Este plano y la información contenida, son propiedad del Autor Queda terminantemente prohibido su uso y reproducción sin previa autorización del Titular.



Denominación	Coordenadas centrales UTM WGS 84 Zona 18 Sur		Altitud (msnm)	Longitud (Km)	Características
	Este (m)	Norte (m)			
Quebrada Sasahuille	802722	8322704	4750	3.1	Quebrada intermitente
Quebrada Pucanagra	802,534	8,324,329	4900	3.8	Quebrada intermitente

Denominación	Coordenadas centrales UTM WGS 84 Zona 18 Sur		Altitud (msnm)	Longitud (Km)	Características
	Este (m)	Norte (m)			
Río Palca	803539	8320806	4900	9.3	Río de corriente permanente

PROYECTO PARIGUANAS

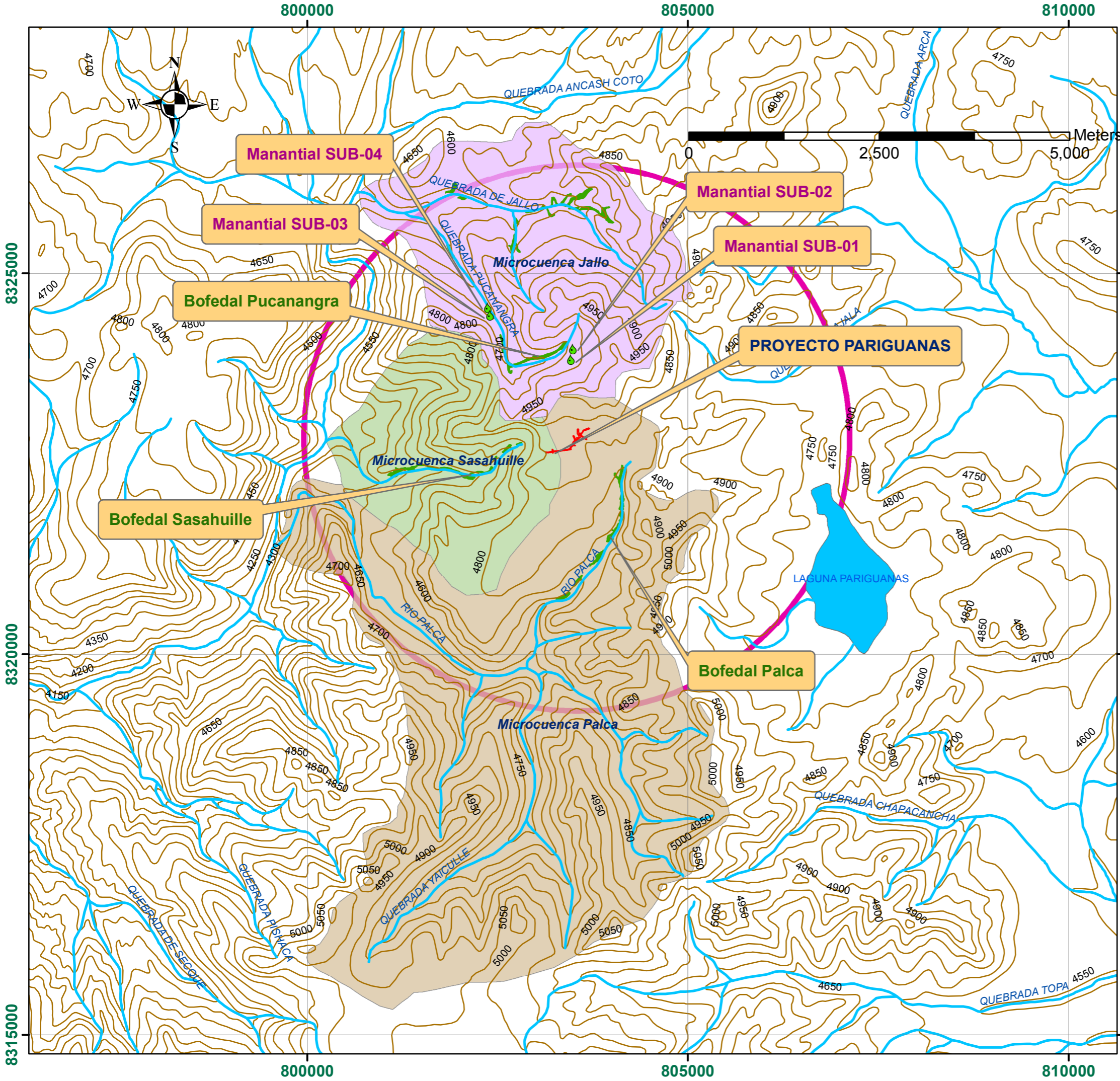
LEYENDA

- Bocamina de Estudio
- Rios
- Lagos
- Labor de Exploracion
- Curvas de Nivel
- PROYECTO PARIGUANAS

Microcuencas

- Microcuenca Jallo
- Microcuenca Palca
- Microcuenca Sasahuille

PROYECTO: PROYECTO PARIGUANAS UNIDAD MINERA ORICAMPANA CIA DE MINAS OROAVENTURA S.A.S. INGENIERIA: INGENIERIA DISCIPLINA: GEOLOGIA DIBUJO: L.T.M.C. REVISADO: S.S.B. APROBADO: DPTO. DE GEOLOGIA, PSA FECHA: NOVIEMBRE_2018		UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA PLANO INVENTARIO RIOS_Y_QUEBRADAS Tamaño de Papel: A3		DATUM: WGS-84 ZONA: 18 S ESCALA: 1/50000 PLANO N° 09 PLANO N° 08-PRH
---	--	---	--	---



Manantiales	Coordenadas centrales UTM WGS 84 Zona 18 Sur		Altitud (msnm)	Descripción
	Este (m)	Norte (m)		
SUB-01	803,471	8,323,857	4857	Naciente de la quebrada Pucanangra
SUB-02	803,485	8,323,983	4853	Naciente de la quebrada Pucanangra
SUB-03	802,420	8,324,421	4665	Quebrada Pucanangra parte media
SUB-04	802,384	8,324,563	4659	Quebrada Pucanangra parte media

Bofedales	Coordenadas centrales UTM WGS 84 Zona 18 Sur		Area (Km ²)	Perimetro (Km)	Altitud (msnm)
	Este (m)	Norte (m)			
Bofedal Palca	803,983	8,321,542	0.06	4.16	4803
Bofedal Pucanangra	803,038	8,323,916	0.039	2.84	4794
Bofedal Sasahuille	802,152	8,322,358	0.041	4.11	4723

LEYENDA

- Manantial
- Bofedal Jallo
- Bocamina de Estudio
- Rios
- Lagos
- Labor de Exploracion
- Curvas de Nivel
- PROYECTO PARIGUANAS

Microcuencas

- Microcuenca Jallo
- Microcuenca Palca
- Microcuenca Sasahuille

PROYECTO: PROYECTO PARIGUANAS (SERVICIO DE INGENIERIA GEOLOGICA) S.A.S.	UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRION FACULTAD DE INGENIERIA ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA	DATUM: WGS-84
INGENIERIA: INGENIERIA	DESCRIPCION: PLANO INVENTARIO BOFEDALES MANANTIALES	ZONA: 18_S
DISCIPLINA: GEOLOGIA		ESCALA: 1/25000
DIBUJO: J.T.M.C.		PLANO N° 10
REVISADO: R.S.G.		
APROBADO: DFTO. DE GEOLOGIA, PSA		
FECHA: NOVIEMBRE 2018	Tamaño de Papel: A3	PLANO N° 08-PH

8315000

8325000

8320000

8315000

8325000

8320000

800000

805000

810000

800000

805000

810000

MATRIZ DE CONSISTENCIA

Modelo hidrogeológico conceptual para la ubicación, diseño y construcción de tapones herméticos en el proyecto Pariguanas unidad minera Orcopampa-cia de minas Buenaventura S.A.A.

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLES	MARCO TEÓRICO
¿De qué manera el modelo Hidrogeológico conceptual influye en el diseño, ubicación y construcción de tapones de cierre herméticos en el proyecto Pariguanas en la Unidad minera Orcopampa-Cía. de minas Buenaventura S.A.A.?	Determinar la influencia del modelo Hidrogeológico Conceptual en el diseño, ubicación y construcción de tapones de cierre herméticos en el proyecto Pariguanas - Unidad minera Orcopampa-Cía. de minas Buenaventura S.A.A.	El modelo hidrogeológico conceptual influye significativamente en el diseño, ubicación y construcción de tapones de cierre herméticos en el proyecto Pariguanas - Unidad minera Orcopampa-Cía. de minas Buenaventura S.A.A.	<u>Variable Independiente</u> Modelo Hidrogeológico conceptual	Hidrogeología El agua subterránea Clasificación de las formaciones geológicas según su comportamiento geológico
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS		Tipos de acuíferos:
• ¿Cuáles son los parámetros básicos de ingeniería para elaborar un modelo hidrogeológico conceptual que influye en el diseño, ubicación y construcción de tapones de cierre herméticos en el proyecto Pariguanas - Unidad minera Orcopampa-Cía. de minas Buenaventura S.A.A.?	• Determinar los parámetros básicos de ingeniería para la elaboración de un modelo hidrogeológico conceptual que influye en el diseño, ubicación y construcción de tapones de cierre herméticos en el proyecto Pariguanas- Unidad minera Orcopampa-Cía. de minas Buenaventura S.A.A.	• Los parámetros básicos de ingeniería determinados para la elaboración de un modelo hidrogeológico conceptual influyen directamente en el diseño, ubicación y construcción de tapones de cierre herméticos en el proyecto Pariguanas- Unidad minera Orcopampa-Cía. de minas Buenaventura S.A.A..	<u>Variable Dependiente</u> Ubicación Diseño Construcción de tapones de cierre hermético	Acuíferos libres, Acuíferos confinados, Acuíferos semiconfinados Propiedades hidráulicas de los acuíferos Modelamiento Hidrogeológico conceptual
• ¿De qué manera, las características geológicas y geomecánicas involucradas en el modelo Hidrogeológico conceptual influye en el diseño, ubicación y construcción de tapones de cierre herméticos en el proyecto Pariguanas - Unidad minera Orcopampa-Cía. de minas Buenaventura S.A.A.?	• Evaluar las características geológicas y geomecánicas involucradas en el modelo Hidrogeológico conceptual para el diseño, ubicación y construcción de tapones de cierre herméticos en el proyecto Pariguanas- Unidad minera Orcopampa-Cía. de minas Buenaventura S.A.A.	• Las características geológicas y Geomecánicas considerados en el modelo Hidrogeológico conceptual influyen en el diseño, ubicación y construcción de tapones de cierre herméticos en el proyecto Pariguanas- Unidad minera Orcopampa-Cía. de minas Buenaventura S.A.A.	<u>Variable Interviniente</u> Calidad del agua	Modelo Hidrológico Tapón Hermético Diseño de tapones para el cierre de labores mineras
•¿Cómo, el análisis e interpretación correcta del modelo hidrogeológico conceptual influye en el diseño, ubicación y construcción de tapones de cierre herméticos en el proyecto Pariguanas - Unidad minera Orcopampa-Cía. de minas Buenaventura S.A.A.?	• Analizar e interpretar correctamente el modelo hidrogeológico conceptual para el diseño, ubicación y construcción de tapones de cierre herméticos en el proyecto Pariguanas - Unidad minera Orcopampa-Cía. de minas Buenaventura S.A.A.	• El análisis e interpretación correcta del modelo hidrogeológico conceptual influyen positivamente en el diseño, ubicación y construcción de tapones de cierre herméticos en el proyecto Pariguanas- Unidad minera Orcopampa-Cía. de minas Buenaventura S.A.A..		Investigaciones de campo, recopilación de información y ensayos de laboratorio Caracterización del macizo rocoso: Geología, Geomecánica