



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica

Escuela Profesional de Ingeniería de Minas

Análisis del diseño y proceso constructivo de un enrocado utilizando desmontes para la construcción de una presa de relaves-mina La Bonita, Arequipa

TESIS

Para optar el Título Profesional de Ingeniero de Minas

AUTOR

Alexandro Melly YANAC ISIDRO

ASESOR

Mg. Víctor Abel TOLENTINO YPARRAGUIRRE

Lima, Perú

2021



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Yanac, A. (2021). *Análisis del diseño y proceso constructivo de un enrocado utilizando desmontes para la construcción de una presa de relaves-mina La Bonita, Arequipa*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, Escuela Profesional de Ingeniería de Minas]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	Alexandro Melly, Yanac Isidro
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	47930672
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0003-3120-0315
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Víctor Abel, Tolentino Yparraguirre
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	06656686
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0003-4401-8846
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Jorge Enrique Soto Yen
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	03493146
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Alfonso Alberto, Romero Baylon
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	31625834
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	Mariano, Pacheco Ortiz
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	06284228
Datos de investigación	
Línea de investigación	C.0.5.9. Tecnología de la construcción.
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento.
Ubicación geográfica de la investigación	15°15'50.9"S 74°39'52.6"W
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2018
URL de disciplinas OCDE	Geotecnia https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.07.02



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
(Universidad del Perú - Decana de América)
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA Y GEOGRÁFICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

Av. Colonial cdra. 53 – Ciudad Universitaria
Central Telefónica: 619-7000 anexos: 1110 - 1111
Lima 1 – Perú

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR TÍTULO
PROFESIONAL DE INGENIERO DE MINAS**

Vídeo conferencia Google Meet de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, el viernes 22 de octubre del 2021, siendo las 13:00 horas, en presencia de los Señores Docentes designados como Miembros del Jurado.

Dr. JORGE ENRIQUE SOTO YEN	Presidente
Mg. MARIANO PACHECO ORTÍZ	Miembro
Dr. ALFONSO ALBERTO ROMERO BAYLÓN	Miembro

Reunidos para el Acto Académico Público de la Sustentación de la TESIS de Don **ALEXANDRO MELLY YANAC ISIDRO**, Bachiller en Ingeniería de Minas, quien sustentó la Tesis Titulada: **“ANÁLISIS DEL DISEÑO Y PROCESO CONSTRUCTIVO DE UN ENROCADO UTILIZANDO DESMONTES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UNA PRESA DE RELAVES- MINA LA BONITA, AREQUIPA”**, para la obtención del Título Profesional de Ingeniero de Minas.

Los miembros del Jurado Calificador, escuchada la sustentación respectiva, plantearon al graduando las observaciones pertinentes, que fueron absueltas a:

Aprobado, sobresaliente

El Jurado procedió a la calificación, cuyo resultado fue la nota de:

17 (Diecisiete)

Habiendo sido aprobada la Sustentación de la Tesis por el Jurado Calificador, el Miembro Presidente del Jurado, recomienda que la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, otorgue el **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE MINAS**, a Don **ALEXANDRO MELLY YANAC ISIDRO**.

Siendo las catorce horas, se dio por concluido el acto académico, expidiéndose cinco (05) Actas Originales de la Sustentación de Tesis.

Ciudad Universitaria, 22 de octubre del 2021

Dr. JORGE ENRIQUE SOTO YEN
MIEMBRO PRESIDENTE

Mg. MARIANO PACHECO ORTÍZ
MIEMBRO

Dr. ALFONSO ALBERTO ROMERO BAYLÓN
MIEMBRO

Dr. JORGE ENRIQUE SOTO YEN
DIRECTOR
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



RECOMENDACIONES

Datos de la plataforma virtual institucional del acto de sustentación:

ID: meet.google.com/kei-ncfb-jtp

Grabación archivada en: <https://drive.google.com/file/d/1hVRxL7NyBkM28vDvTNdgqfSV1rdjc3wl/view>

NOTA OBTENIDA: 17 (Diecisiete)

PÚBLICO ASISTENTE: (Nombre, apellido y DNI)

Víctor Abel Tolentino Yparraguirre DNI: 06656686

Dedicado a mis padres, hermanos y familia en general.

Agradecimientos:

A Dios quien cuida los pasos.

A la UNMSM por permitirme ser parte de esta gran familia.

A la escuela de Minas por permitirme formarme en sus bellas aulas.

A los docentes de la escuela de minas por la formación, experiencias, oportunidades y demás invaluable acciones brindadas a los jóvenes mineros.

A H&N Ingenieros Consultores y Asesores S.A., por la disposición en apoyar esta tesis.

INDICE

CAPITULO 1	10
1.- INTRODUCCIÓN:	10
CAPITULO 2	11
2.- METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	11
2.1.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
2.2.- OBJETIVO GENERAL:	12
2.3.- OBJETIVO ESPECÍFICO:	12
2.4.- HIPOTESIS	13
2.5.- JUSTIFICACIÓN:	13
2.6.- ORIGINALIDAD:	13
2.7.- METODOLOGÍA:	13
CAPITULO 3	14
3.- MARCO TEÓRICO:	14
3.1.- ANTECEDENTES:	14
3.2.- BASE TEÓRICA	15
3.3.- TIPOLOGÍA DE PRESAS DE RELAVE:	20
3.4.- PRESA DE RELAVES CON ARRANQUE A BASE DE ROCAS (RockFill)	23
3.5.- OBRAS AUXILIARES DE PRESA	26
3.6.- INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA DE PRESAS DE RELAVE.	28
CAPITULO 4	30
4.- GENERALIDADES DEL PROYECTO:	30
4.1.- UBICACIÓN:	30
4.2.- CLIMA Y METEOROLOGÍA:	30
4.3.- ESTUDIOS PRELIMINARES	31
CAPITULO 5	60
5.- INGENIERÍA BÁSICA	60
5.1.- DIQUE DE ARRANQUE	60
5.2.- GEOSINTÉTICOS	63
5.3.- OBRAS AUXILIARES	66
5.4.- CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN	69
CAPITULO 6	71
6.- CONSTRUCCIÓN	71
6.1.- DESBROCE DE SUELO	71

6.2.- PERFORACIÓN Y VOLADURA	72
6.3.- CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE SUBDRENAJE	73
6.4.- CONSTRUCCIÓN DE DIQUE DE ARRANQUE	74
6.5.- CONSTRUCCIÓN DEL DIQUE DE PIE	76
6.6.- CONSTRUCCIÓN DE POZA DE SEDIMENTACIÓN	77
6.7.- CONSTRUCCIÓN DE POZA COLECTORA FINAL	78
6.8.- IMPERMEABILIZACIÓN CON GEOSINTÉTICOS	79
6.9.- INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA	80
6.10.- CONSTRUCCIÓN DEL CANAL DE CORONACIÓN	82
CAPITULO 7	83
7.- CONTROL DE CALIDAD	83
7.1.- TOPOGRAFICO	83
7.2.- CONTROL DE CALIDAD EN INSTALACIÓN DE GEOSINTÉTICOS	84
CAPITULO 8	86
8.- RESULTADOS	86
8.1.- ANALISIS DE ESTABILIDAD	86
8.2.- CONTROL TOPOGRAFICO DE PUNTOS	87
8.3.- DIQUE DE ARRANQUE	88
8.4.- ENSAYO DE ASENTAMIENTOS:	89
8.5.- SISTEMA DE SUBDRENAJE	90
8.6.- INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA	91
8.7.- CANAL DE CORONACIÓN	92
9.- CONCLUSIONES	93
10.- RECOMENDACIONES	95
11.- BIBLIOGRAFIA	96
12.- ANEXOS	98

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.-	<i>Ultimas presas de relaves falladas en el Perú desde el 2010 (INGEMMET).....</i>	20
Tabla 2.-	<i>Coordenadas de la estación 0 del proyecto, ubicado en Atico- Arequipa.....</i>	31
Tabla 3.-	<i>Coordenadas de los puntos GPS-A y GPS –B ubicados en el proyecto.</i>	32
Tabla 4.-	<i>Columna estratigráfica de la zona de estudio.....</i>	35
Tabla 5.-	<i>Sistemas de discontinuidades estructurales.</i>	39
Tabla 6.-	<i>Puntos de sondajes eléctricos verticales.....</i>	43
Tabla 7.-	<i>Clasificación hidrogeológica de cuerpos, definida según información geológica.</i>	47
Tabla 8.-	<i>Resumen de resultados de laboratorio de las muestras extraídas de las calicatas C-1, C-2, C-3.</i>	48
Tabla 9.-	<i>Clasificación geotécnica del suelo en la zona de estudio.....</i>	48
Tabla 10.-	<i>Resultados de los ensayos de laboratorio de suelos C-1, C-2, C-3.....</i>	48
Tabla 11.-	<i>Criterios de clasificación geomecánica adaptada.</i>	55
Tabla 12.-	<i>Resultados de los ensayos de mecánica de suelos –antes de la construcción</i>	58
Tabla 13.-	<i>Resultados de los ensayos de mecánica de suelos –durante de la construcción</i>	58
Tabla 14.-	<i>Resultados de los ensayos de mecánica de suelos –posterior a la construcción.....</i>	58
Tabla 15.-	<i>Resultados de los ensayos de mecánica de rocas –posterior a la construcción.....</i>	59
Tabla 16.-	<i>Propiedades de resistencia en suelos, materiales de préstamo y relaves</i>	59
Tabla 17.-	<i>Propiedades de resistencia en masas rocosas</i>	59
Tabla 18.-	<i>Factores de seguridad, según los criterios de estabilidad según U.S. Corp. of Engieneers)</i>	61
Tabla 19.-	<i>Requerimiento de Geosintéticos global.</i>	65
Tabla 20.-	<i>Línea del sistema de subdrenaje del proyecto en segmentos.</i>	67
Tabla 21.-	<i>Resultados del análisis de estabilidad por secciones de análisis geotécnicos.....</i>	87
Tabla 22.-	<i>Resumen de metrados en la construcción del dique de arranque.....</i>	89

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig 1.- Sección típica de una presa de relaves (Carvajal, 2019).....	18
Fig 2.- Modos de colapso de presas de relave tomado de: Causas y Mecanismos de Falla en presas de Relave(ICG,2005)	19
Fig 3.- Estadísticas de presas falladas en el Perú y sus causas Tomado(De la Torre Sobrevilla,UNI,2002).....	20
Fig 4.- Presa de relaves con el método de aguas arriba. (Seminario de Minería Chilena y sus Desafíos, 2016).....	21
Fig 5.- Presa de relaves método con el método de aguas abajo. (Seminario de Minería Chilena y sus Desafíos, 2016).....	22
Fig 6.- Presa de relaves con el método de Linea Central. (Seminario de Minería Chilena y sus Desafíos, 2016).....	22
Fig 7.- Tendencia de presas de ECC(compactado y no compactado) en número y altura en el tiempo (Academia de Ingeniería Mexico, 2013)	23
Fig 8.- Zonificación y nomenclatura típica (ICOLD ,2010)	24
Fig 9.- “Granulometrías de la zona 3B utilizadas en diversos proyectos” (Academia de Ingeniería Mexico, 2013).....	25
Fig 10.- Sección simple de canal de coronación.....	26
Fig 11.- Sección simple de canal de un subdrén.	27
Fig 12.- Piezómetro e Inclínómetro en la cresta de presa (Extraído de Pan-Am Geotechnical Conference- Instrumentación geotécnica de presa Pillones-Perú).....	28
Fig 13.- Instrumentación geotécnica, piezómetro tipo casa grande (izquierda) y equipo indicador de nivel de agua (derecha).....	29
Fig 14.- Vista de la geología regional en el sector del emplazamiento de la presa de relaves (Geocatmin).`	35
Fig 15.- Vista de la geología local en el sector del emplazamiento de la presa de relaves dentro de conglomerados semicompactados (Geocatmin).	37
Fig 16.- Distribución de polos de diaclasas que muestra las 03 familias de diaclasas.	40
Fig 17.- Contornos de densidad de polos.	40
Fig 18.- Diagrama de rosetas.	40
Fig 19.- Diagrama de planos máximos.....	41
Fig 20.- Vista en planta de plano de ubicación de los puntos de sondajes eléctricos verticales (SEV), con los ejes de sección geofísica A-A’ y B-B’.....	44
Fig 21.- Sección geofísica A-A’ producto del análisis de sondajes eléctricos (SEV), ver figura 20.	45
Fig 22.- Sección geofísica B-B’ producto del análisis de sondajes eléctricos(SEV), ver figura 20.	46
Fig 23.- Distribución granulométrica de una muestra de desmonte producto de la voladura superficial, utilizando el software Wipfrag.	50
Fig 24.- Distribución granulométrica de una muestra de desmonte producto de la voladura subterránea (mina), utilizando el software Wipfrag.	51
Fig 25.- Vista del dique de arranque en su cota 1723 en compactación, haciendo 8 ciclos (resultado de los ensayos de asentamiento).....	52
Fig 26.- Ensayo de asentamientos realizado en el dique de arranque a cota 1720	53
Fig 27.- Modelo de diseño utilizado para calcular espesor de la geomembrana (Koerner, 2005)	63
Fig 28.- “Sección transversal de la longitud de desarrollo de una geomembrana con zanja de anclaje y fuerzas actuantes” (Koerner, 2005).	65

Fig 29.-	Equipos de compactación de la línea Caterpillar y su recomendación en función al material y al espesor de la capa de compactación.....	66
Fig 30.-	Vista en planta y perfil de la poza de sedimentación.....	68
Fig 31.-	Vista en planta y perfil de la poza colectora final.....	68
Fig 32.-	Vista de Norte a Sur desde la cota 1750 de la ubicación y descripción de los elementos del proyecto.....	71
Fig 33.-	Malla de perforación 1.5 x 1.5 por frontoneo, en el nivel 1710 del vaso de presa.....	72
Fig 34.-	Sistema de subdrenaje ubicado bajo el dique de arranque, cota 1710.....	73
Fig 35.-	Sistema de subdrenaje en el área de recrecimiento de la presa de relaves, poza de sedimentación y poza colectora final.....	74
Fig 36.-	Control topográfico del talud aguas debajo del dique de arranque de 1V/2H.....	75
Fig 37.-	Ensayo de asentamientos en el nivel 1723.....	76
Fig 38.-	Movimiento de desmonte al dique de pie.....	77
Fig 39.-	Poza de sedimentación de finos.....	78
Fig 40.-	Poza colectora de aguas, final.....	79
Fig 41.-	Vista de la impermeabilización del vaso de presa con Geotextil 420g/m ² , GCL (membrana de arcilla), geomembrana 1.5 y 2 mm de espesor.....	79
Fig 42.-	Vista del vaso de presa impermeabilizado.....	80
Fig 43.-	Instalación de piezómetro 02, en el dique de arranque a cota 1710.....	81
Fig 44.-	Vista de piezómetros e Inclínómetro de la presa de relaves.....	81
Fig 45.-	Sistema de control topográfico de asentamientos diferenciales en el tiempo.....	81
Fig 46.-	Canal de coronación, vista Este a Oeste.....	82
Fig 47.-	Tira de 2cm x 30 cm, vista en sección, para su posterior ensayo.....	84
Fig 48.-	Control de calidad de soldadura por fusión.....	85
Fig 49.-	Comparación de la curva granulométrica de presa La Bonita.....	89
Fig 50.-	Resultados del ensayo de asentamientos en el dique de arranque, cota 1711.....	90

RESUMEN:

En la historia de las fallas de presas de relave el Centro de Estudios Experimentación de Obras Publicas (CEDEX-2017), presenta como primera causa de fallas de presa de relaves la OPERACIÓN y segundo en la CONSTRUCCIÓN, en el Perú el orden se repite y resulta que éstas fallan por desbordamiento , fugas de fisonamiento en el talud externo, licuefacción sísmica de suelos, desbordamiento del espejo de agua por lo que una opción más ajustada a estos requerimientos serían las presas construidas a base de rocas pues son menos propensos a sufrir del fenómeno de la licuefacción y fisonamiento, esto según las últimas presas de gran altura construidas a base de rocas en México y otros países.

Por ende este proyecto tiene como finalidad analizar el diseño y proceso constructivo de un enrocado como presa de relaves, utilizando tanto desmonte producto de la voladura interior mina y desmonte de canteras producto de construcción de planta de tratamiento y vaso de presa. Para este fin se describió de forma detallada los estudios previos para continuar con el diseño y finalizar con la construcción de la presa de relaves de la unidad minera La Bonita ubicada en el departamento de Arequipa.

Palabras Clave: Presa de relaves, enrocado, desmonte de mina.

CAPITULO 1

1.- INTRODUCCIÓN:

Las presas de relave son un elemento de gran importancia en el proyecto minero y es necesario impartir conceptos y criterios básicos de su diseño, construcción así como de su manejo en las escuelas de ingeniería de minas; a nivel de pregrado la ingeniería de presas de relave no es tomado por las escuelas de ingeniería minas, esto motivó el contribuir con una descripción básica del diseño y construcción de una presa de relaves construida a base de desmontes. Para esto se tomará como materia ejemplar la presa de relaves de la unidad minera La Bonita, Arequipa.

En el capítulo tres se hace una introducción a la historia, terminología, tipología, etc. de las presas de relave con una mayor orientación a las presas construidas a base de material rocoso. En el capítulo cuatro se describe de forma resumida las generalidades del proyecto desde su ubicación, geología, sismicidad, hidrogeología, estudios de laboratorio, etc. que aportarán en el diseño de la presa.

En el capítulo cinco se explica resumidamente que consideraciones técnicas se tomaron, en base a los estudios previos, para el diseño de los elementos más importantes de la presa de relaves, entre ellas: el vaso, el dique de arranque, el sistema de subdrenaje, la impermeabilización y la instrumentación geotécnica para el control de la presa post-construcción.

En el capítulo seis y siete se describe el proceso constructivo de las partidas más importantes, considerando, materiales, equipos, personal, métodos del proceso de construcción, la pega de material geosintético de impermeabilización, ensayos de compactación de presa y los controles de calidad realizados.

En el capítulo ocho se muestran los resultados finales de la construcción como las geometrías finales, metrajes realizados, etc.

CAPITULO 2

2.- METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Se tiene registro de presas construidas a base de rocas en el mundo desde 2600 AC la presa Sadd-el-Kafara, en Egipto y posiblemente en el Perú desde las culturas preincaicas como el caso de presa Collpa ubicado en Huarney –Ancash, construidas con el método de empedrado, mampostería o vuelco, que seguramente muchas se mantuvieron firmes y muchos también han fallado. En los años 60-70 La geotecnia como ciencia se formaliza y se difunde con TERZAGHI Y otros investigadores y como consecuencia las presas construidas en el siglo XX presentan un aumento del número en los años 50, debido a ingreso de maquinaria especializada en la compactación, y mayor cantidad de ejemplares en los años 70.

Hoy en día se cuenta con entes internacionales que difunden los últimos avances y experiencias en materia de presas como lo son la ICOLD, SPANCOLD, CDA, etc. Instituciones que muestran en experiencias pasadas la importancia de múltiples partidas tanto en el DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, MANEJO de presas.

En la presente tesis se aborda la importancia de los estudios de mecánica de suelos, estudios geológicos, geoquímicos, estructurales que se deben hacer previamente para el diseño de la presa de relaves a base de rocas; así mismo las partidas a considerar para la construcción de los elementos de presa como lo son, el dique de arranque, dique de pie, sistema de subdrenaje y drenaje, canal de coronación impermeabilizado.

Teresa V. B. en su libro “Diseño de presas de tierra y enrocado en El Perú” lista 07 presas construidas a base de rocas. Las presas más importantes son las presas de Antamina ubicada en la cuenca del Rio Mosna en San Marcos con 135 y 209 metros de

altura construidas por el año 2000 y que hasta la actualidad en éste proyecto de investigación no se tiene referencia de otra presa a base de rocas lo que alimentó el interés en la presente tesis.

2.1.1.- FORMULACION DEL PROBLEMA

¿Cuál es la importancia de analizar el diseño y proceso constructivo de un enrocado utilizando desmontes para la construcción de una presa de relaves-mina La Bonita, Arequipa?

2.1.2.- PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- ✓ ¿Cuál es la importancia de analizar las características geológicas del terreno de emplazamiento de presa de relaves a base de desmontes, mina La Bonita, Arequipa?
- ✓ ¿Cuál es la importancia de analizar la ingeniería básica de los elementos de presa de relaves a base de desmontes, mina La Bonita, Arequipa?
- ✓ ¿Cuál es la importancia de analizar el control de calidad de la construcción de presa de relaves a base de desmontes, mina La Bonita, Arequipa?

2.2.- OBJETIVO GENERAL:

Analizar el diseño y proceso constructivo de un enrocado utilizando desmontes para la construcción una presa de relave, mina La Bonita, Arequipa.

2.3.- OBJETIVO ESPECÍFICO:

- ✓ Analizar las características geológicas del terreno de emplazamiento de presa de relaves a base de desmontes, mina La Bonita, Arequipa
- ✓ Analizar la ingeniería básica de los elementos de presa de relaves a base de desmontes, mina La Bonita, Arequipa.
- ✓ Analizar el control de calidad de la construcción de presa de relaves a base de desmontes, mina La Bonita, Arequipa.

2.4.- HIPOTESIS

Para la construcción de un enrocado, a base de desmonte, como presa de relaves en mina La Bonita, Arequipa, es importante analizar el diseño y proceso constructivo de la presa de relaves.

2.5.- JUSTIFICACIÓN:

El presente estudio muestra la características únicas en la construcción de presa de relaves a base de enrocado como la descripción de los materiales a utilizar, estudios previos necesarios, los equipos, requerimiento de agua, procedimientos que en suma dan un criterio básico de cómo construir una presa de relaves a base de desmontes en lugares donde es muy costoso o de difícil acceso los materiales clásicos de construcción como la arcilla, grava, limo, etc.

2.5.1.- ALCANCE

La presente investigación se realizó en mina La Bonita ubicada en el distrito de Bella Unión-Arequipa.

2.6.- ORIGINALIDAD:

El presente estudio trata sobre la construcción de presas de relave a base de enrocado en un área desértica con un mínimo de precipitación anual y altamente sísmico, por tanto los parámetros técnicos asumidos difieren de otras construcciones de presas en el Perú.

2.7.- METODOLOGÍA:

La presente tesis se desarrollará tomando en cuenta dos metodologías de trabajo.

DESCRIPTIVA

Se describe de forma detallada el proceso constructivo de cada elemento de una presa de relaves a base de enrocado de mina La Bonita, Arequipa.

ANALÍTICA

Se realizará un análisis de los estudios previos de ingeniería para la determinación de procedimientos y estándares que contribuyan a la construcción de la presa de relaves a base de enrocado de mina La Bonita, Arequipa.

CAPITULO 3

3.- MARCO TEÓRICO:

3.1.- ANTECEDENTES:

En España, De La Cruz Elizabeth (2017) de la Universidad Politécnica de Madrid en la tesis de Maestría en Minería Sostenible: “ ”, que tiene como objetivo principal *“definir una metodología, con del Árbol de Fallos, que permita determinar las causas que condicionan el fallo de las presas de relaves y su liberación catastrófica al medio ambiente”*; muestra entre sus conclusiones que *“el mayor índice de incidentes se produce en presas de relave no mayores a los 35 metros, con especial incidencia en aquellas que tienen entre 5 y 10 metros de altura”*, y que estas son las pertenecientes a pequeña y mediana minería que fallan por concepto de no contar el adecuado equipo y procedimiento de construcción de presas.

En Cajamarca-Perú, Cruzado Filadelfio (2014) de la Universidad Nacional de Cajamarca - Perú en la tesis de grado: *“Zonificación Geotécnica para la cimentación de la presa de relaves Fraylones – Proyecto La Arena- La Libertad”* que tiene como objetivo principal *“realizar la zonificación geotécnica de suelos y rocas del lugar donde se va a cimentar la presa de relaves Fraylones”*, donde muestra una serie de estudios previos a la construcción de presa y concluye que a en base a recopilación de estudios, cartografiado geológico-geomorfológico-estructural, 13 líneas de refracción sísmica, 07 sondajes geotécnicos y 24 estaciones Geomecánicas se determinó 11 unidades geotécnicas en suelo y roca que dieron favorable para la cimentación de la presa de relaves Fraylones.

En La Libertad-Perú, Villanueva Martin (2006) de la Universidad Nacional de Ingeniería en la tesis: “ que tiene como objetivo presentar el uso de los materiales provenientes de la explotación de minera como material de préstamo para la construcción de una presa para almacenamiento de relaves, tales como desmonte de mina y ‘relaves, donde concluye que la construcción de la presa de relaves con desmonte de mina es menos costosa que la construcción de presa con material de préstamo gravo-arcillosa de cantera

en un 36% del costo total del proyecto y un 50% en solamente en costo del material, carguío y transporte a la presa

En Lima, Rivas Carlos(2013) de la Universidad Nacional de ingeniería en la tesis: *“Procedimientos utilizados para el control de calidad de los materiales de relleno empleados en la construcción de la Presa de Relaves Pallancata-Ayacucho”*, tiene como objetivo *establecer procedimientos de control de calidad para los materiales de relleno*, con dichos procedimientos se van a cumplir las especificaciones técnicas tal que garantice la funcionalidad y durabilidad de los componentes que forman parte de la construcción de una presa. En este proyecto la presa de relaves tiene como material estructural la grava arcillosa y roca de cantera, en este último se consideró de forma visual realizar 4 pasadas de rodillo de 10 Tn para su conformidad.

En Lima Stuart Neil (2015) de la Universidad Nacional de Ingeniería en la tesis: *“Análisis comparativo de los métodos de estabilidad de taludes aplicado en la presa de tierra del depósito de relaves Bateas”*, tiene como objetivo *comprar los diferentes métodos de equilibrio límite usados en el análisis de estabilidad de taludes de una presa de tierra del depósito de relaves de minera Bateas*, con ello determinar la influencia de los diferentes parámetros tomados en cuenta para dicha comparativa. En este proyecto se concluye que no existe un procedimiento que proporcione un factor de seguridad totalmente confiable, por lo que se realizó el análisis de estabilidad usando los métodos de Janbú, Fellenius, Bishop modificado, Spencer y Morgenstem –Price; en los que el menor fue resultado de Fellenius y el mayor por Bishop. El factor de seguridad estático mínimo resultante la presa de re;aves de minera Bateas fue de 1.586 , pudiendo concluir que la presa auditada es estable.

3.2.- BASE TEÓRICA

Las presas de relave tienen su aparición en la industria extractiva cuando los primeros investigadores como Everson, Potter, Bradfor, etc en los inicios del siglo XX, descubren las formas de concentrar los minerales por flotación; con esto la industria comienza la extracción a gran escala de minerales de baja ley y dejando mayores cantidades de relave y la incógnita de donde y como almacenar dicho residuo.

En contraste con lo anterior las presas de embalse de agua tienen mayor data histórica y desarrollo ingenieril, por lo que es concebible que la industria minera adapte esta realidad a las características químicas, físicas del relave.

En el Perú las primeras presas de relave datan de forma paralela al posicionamiento del Nitrato de Amonio (ANFO), en los años 50, como explosivo más económico en comparación a los explosivos de la época; al reducir el costo de extracción y el costo de procesamiento sumado a una nueva política nacional dirigida a la extracción de minerales, inicia en el Perú la extracción masiva de éstos.

RELAVE

Una definición formal de relave sería “... *residuos de partículas finas que se originan del procesamiento de varios materiales en la industria... Esas partículas de grano fino pueden tener el tamaño natural de la fracción de desperdicio, pero comúnmente su tamaño proviene del fracturamiento de molienda o mineral de roca, pequeño con el fin de incrementar su área superficial y ayudar en el proceso de extracción del material deseado.*” (ICOLD, 1996).

PRESA DE RELAVES

En la literatura, existen definiciones de presa de relaves, una definición que engloba la mayoría de tipos de presa de relaves es la presentada en la legislación chilena, y esta la define como “*Toda obra estructurada en forma segura para contener los relaves provenientes de una planta concentradora de especies minerales. La función principal de un depósito de relaves es almacenar de manera definitiva los materiales sólidos provenientes del relave transportado desde la planta, permitiendo así la recuperación de un gran porcentaje del agua que transporta dichos sólidos*” (D.S. 248, Chile).

Las presas de relaves son depósitos en los cuales el muro de contención está construido de material de empréstito compactado, éste material está compuesto por material gravo-arcilloso o rocas de zonas aledañas al depósito de relaves.

PRESA DE MATERIALES SUELTOS

Formalmente se llaman materiales sueltos a aquellos que tienen un factor de cohesión de cero o mínima, por lo tanto una presa de materiales sueltos sería un muro de

contención construido artificialmente a base de rocas, suelos o mixtas que no poseen cohesión.

*“La literatura divide los materiales sueltos en dos grupos dependiendo de la granulometría, se denomina a los trozos de roca mayores de 75 mm de diámetro como **enrocado** o **escollera**, mientras que el término **tierra** se suele aplicar a los materiales cuyas partículas tengan diámetros por debajo de los 100 mm., los que a su vez se subdividen en gravas, gravillas, arenas, limos y arcillas”.* (Espinoza, 2010)

- ✓ **Presas de tierra**, es el tipo de presa cuyo cuerpo de presa está construido con materiales naturales (suelos), tales como arcillas, limos, arenas, gravas, dispuestos de tal forma de garantizar la función de retención del agua y de estabilidad ante los efectos que la naturaleza pueda ejercer.
- ✓ **Presas de enrocado**, es el tipo de presa cuyo cuerpo *“está formado principalmente por enrocados volcados (en una proporción superior al 50 %) y compactados, cuyo tamaño depende del tipo de roca y actualmente de los equipos de colocación y compactación empleados. Por ser los cuerpos resistentes muy permeables, se requiere recurrir a otros materiales para lograr la función de retención del agua embalsada.”* (Espinoza, 2010)

PARTES DE UNA PRESA DE RELAVES

- ✓ **Vaso de presa.-** Ensanchamiento natural o artificial que es propicio para el asentamiento de una presa de relaves.
- ✓ **Dique de arranque.-** Estructura conformada por material gravo-arcillo, rocoso, de relave o mixto, que actúa como muro de contención del residuo de la concentración de minerales.
- ✓ **Dique de pie.-** Estructura conformada por material gravo-arcillo, rocoso o mixto, que actúa como límite inferior (pie) del talud final del recrecimiento de la presa, también tiene como función reducir los modos de falla que normalmente comprometen la cresta y el pie del talud final (falla circular). Fue propuesta por la ICOLD 1975 con fines estabilizantes.
- ✓ **Línea de sub-drenaje.-** Sistema de captación de agua por filtración, tanto en vaso de presa como en el área de recrecimiento. El relave puede estar

constituido entre 20% a 50% en peso por agua por lo que es importante su recuperación y más en sectores desérticos.

- ✓ **Canal de coronación.-** Sistema de captación de agua por escorrentía superficial para derivarla fuera de los límites laterales del área de disposición propuesta.
- ✓ **Espejo de agua.-** Acumulación de agua por gravedad en la parte más baja de la playa de relaves finos.
- ✓ **Cimentación.-** Roca y/o suelo natural debidamente desbrozado y limpiado; para conformar la base de apoyo de la presa.

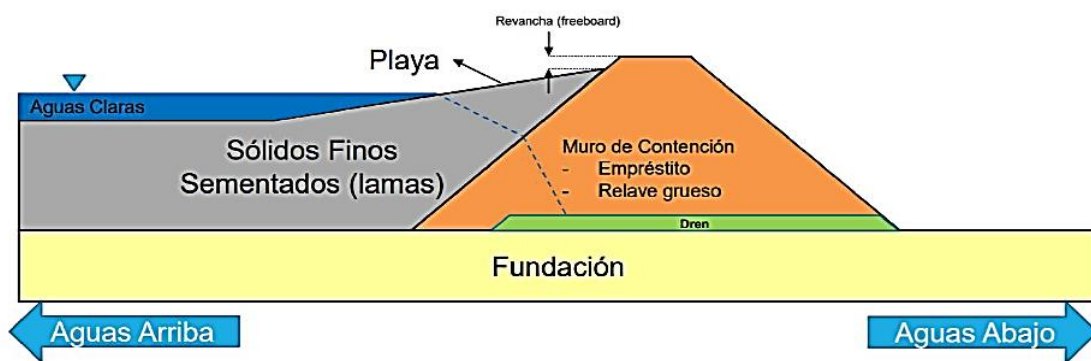


Fig 1.- Sección típica de una presa de relaves (Carvajal, 2019)

MECANISMOS DE FALLA DE PRESAS DE RELAVE

Los posibles diagramas de fallas que pueden presentarse en las roturas de las presas de relave, se presenta en el siguiente cuadro.

TIPO DE FALLA	CARACTERÍSTICA	DIAGRAMA DE FALLA
1) Inestabilidad del apoyo (Falla Estructural)	- Falla del talud aguas abajo por deslizamiento	
	- Hundimientos en el pie del dique.	
2) Desbordamiento (Overtopping)	- Erosión regresiva en el talud externo del dique.	









3) Desordenes por flujo de agua o filtraciones descontroladas. (Excesivas)	.- Socavación del talud aguas abajo por tubificación. .-Erosión regresiva.	
4) Diques y muros de arranque inadecuados.	.- Movimiento de finos a través de un dique de esteriles gruesos.	
5) Diques y muros de arranque inadecuados.	.- Inestabilidad de taludes inicial.	
	.-Erosión regresiva.	
6) Desórdenes por mal funcionamiento del sistema de deposición.	.- Deslizamientos catastróficos (Soplarse la relavera)	
	.- Flujo rápido de agua que produce sifonamiento en la arena del dique.	
	.- Deslizamientos de talus aguas abajo.	
7) Vibraciones y otros	.- Licuación de arenas saturadas que originan falla total de la presa.	

Fig 2.- Modos de colapso de presas de relave tomado de: *Causas y Mecanismos de Falla en presas de Relave*(ICG,2005)

En el Perú las estadísticas de colapso muestran que el modo de colapso más recurrente es el de fuga y sifonamiento el cual está relacionado al ítem 4 y 5 de la lista anterior y relaciona

directamente a la mala construcción, impermeabilización del dique de contención y hasta posible mala selección de materiales de construcción.

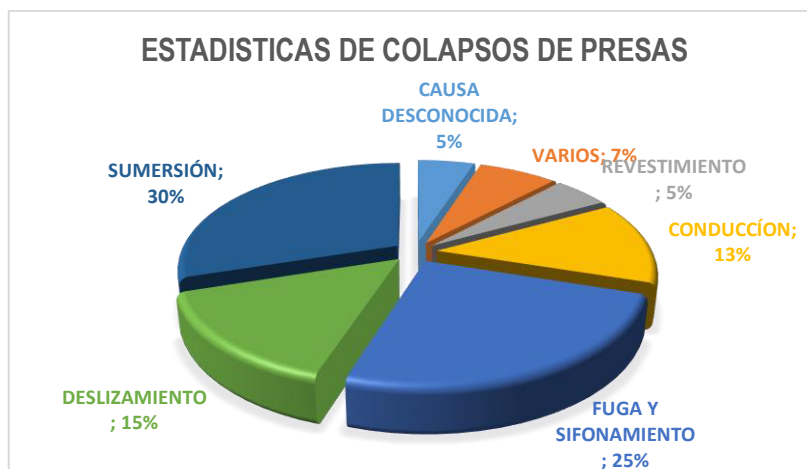


Fig 3.- Estadísticas de presas falladas en el Perú y sus causas Tomado(De la Torre Sobrevilla, UNI, 2002)

A esto hay que añadir los siguientes colapsos ocurridos en los últimos años.

Unidad	Lugar	Tipo	Año
Huancavelica	Huaral-Lima	Falla	2010
Shila y Paula	Arequipa	Revestimiento	2016
Huancapetí	Huaraz-Ancash	Fuga	2018

Tabla 1.- Últimas presas de relaves falladas en el Perú desde el 2010 (INGEMMET)

3.3.- TIPOLOGÍA DE PRESAS DE RELAVE:

La disposición de relaves en superficie, construida a base de materiales sueltos y relave cicloneado(gruesa), tiene 03 tipos de presas en función a la forma de recrecimiento, la selección del tipo de presa depende entre otros a la relación volumétrica fino/grueso en el relave planteada en el diseño estratégico, pues la presa que requiere mayor cantidad de relave para crecer es la presa de tipo aguas abajo, mientras que la presa de tipo línea central requiere menos material para alcanzar la misma altura. La presa aguas arriba según la legislación peruana no está permitida su construcción por su historial de deslizamientos por licuefacción.

Los tipos de presas de relave se clasifican en función a su recrecimiento a base de relave en su mayoría.

- ✓ Presa aguas arriba.
- ✓ Presa Aguas abajo.
- ✓ Presa de línea central.

PRESA DE RELAVES AGUAS ARRIBA (UPSTREAM)

“Esta presa es levantada por la construcción progresiva de “diques perimétricos” sobre la superficie de la acumulación de relaves precedente, de tal manera que cada dique avance sucesivamente hacia el interior conforme la presa es levantada. La característica de este método es que la integridad estructural de la presa está gobernada por las propiedades y comportamiento de los relaves descargados hidráulicamente los cuales forman la base del talud de la presa” (Guía ambiental para manejo de relaves Mineros, DGAAM, 2005).

Este tipo de presa fue prohibida su construcción en el Perú desde la promulgación de la constitución del 93, ya que es conocido el historial que tiene por deslizamientos a causa de la licuefacción sísmica.

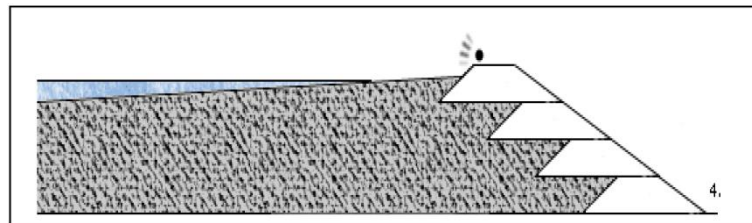


Fig 4.- Presa de relaves con el método de aguas arriba. (Seminario de Minería Chilena y sus Desafíos, 2016)

PRESA DE RELAVES AGUAS ABAJO (DOWNSTREAM)

Como su nombre, este tipo de presa crece en el sentido de la caída de aguas por efecto de la gravedad.

“Son levantadas colocando material adicional de relleno en el talud «aguas abajo», o exterior del levantamiento previo. El relleno de la presa, que puede consistir de material de varios tipos, no tiene como basamento relaves depositados hidráulicamente, y las

propiedades de estos materiales de relleno pueden ser especificados y controlados para asegurar que sus características sean las adecuadas. Al final, el método aguas abajo alcanza una configuración muy similar a la de una presa convencional de retención de agua, con similares características estructurales en la mayor parte” (Dirección General de Minería(DGM), 2005).

Posee el mejor récord histórico para la estabilidad y se utiliza comúnmente como terraplén para almacenamiento de agua, para lo cual debe contar con filtros adecuados y drenes de control (XXVII Reunión Nacional de Ingeniería Geotécnica, 2016) .

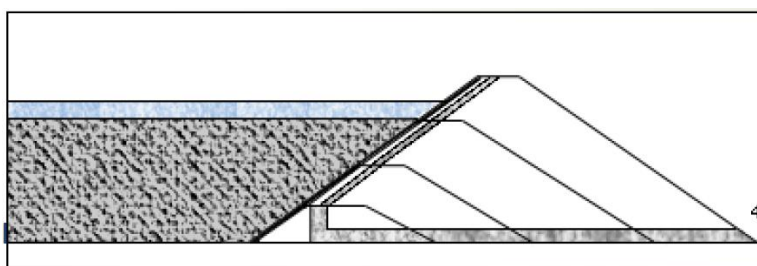


Fig 5.- Presa de relaves método con el método de aguas abajo. (Seminario de Minería Chilena y sus Desafíos, 2016)

PRESA DE LINEA CENTRAL (CENTERLINE)

Es la presa de relaves que crece independiente del sentido de la caída de agua en la cuenca hidrográfica donde se construye.

“Esta presa se levanta colocando el relleno de la represa en el talud aguas abajo y sobre la cresta de la elevación previa. El método de línea central comparte muchas de las características estructurales de las presas tipo «aguas abajo», pero usa menos material de relleno para alcanzar la misma altura” (Dirección General de Minería(DGM), 2005).

Esta presa tiene mayor velocidad de recrecimiento, además que requiere menos material de construcción (relave grueso).

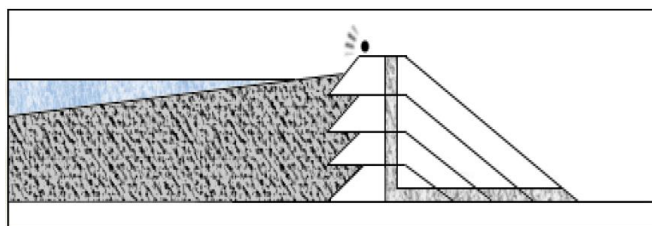


Fig 6.- Presa de relaves con el método de Línea Central. (Seminario de Minería Chilena y sus Desafíos, 2016)

3.4.- PRESAS DE RELAVES CON ARRANQUE A BASE DE ROCAS (RockFill)

El estudio que las presas construidas a base de roca (pedraplén, enrocado) desde sus inicios (siglo XX) ha tenido un desarrollo lento con pérdidas que provocaron críticas, una de ellas fue la de Anthiniac et al en 2002, esto causó un mayor interés de la comunidad geotécnica cuyas propuestas mejoraron la calidad de construcción y se demostró dicho avance por ejemplo en las presas de México: Presa el Cajón -2006 y Presa Yesca-2012, “éstas presas han permitido demostrar que es posible realizar un diseño más racional de una presa de este tipo, no únicamente basado en la experiencia, sino también en el estudio de las propiedades de deformabilidad y resistencia de los enrocamientos, y en su ejecución de análisis numéricos que permitan predecir su comportamiento de esfuerzo-deformación” (Academia de Ingeniería Mexico, 2013).

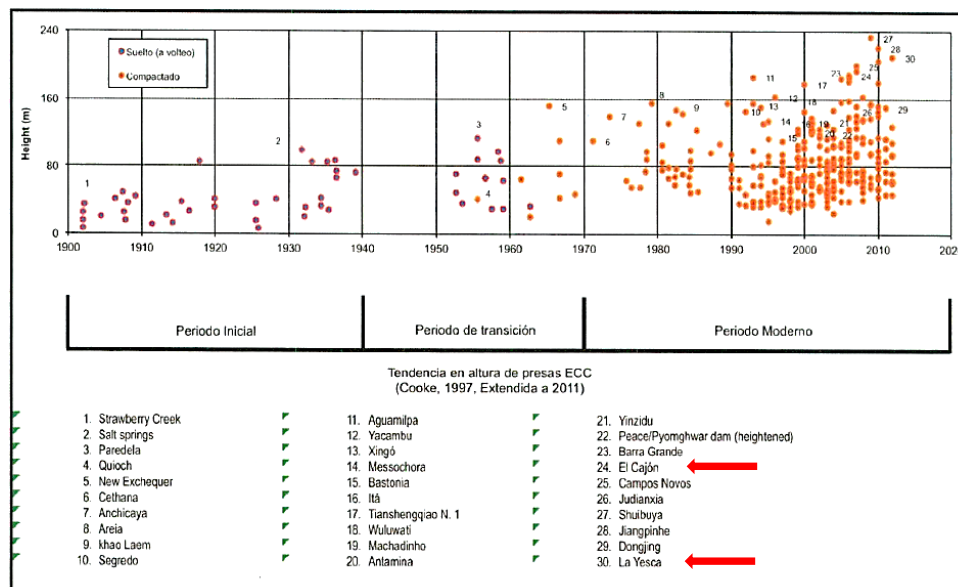


Fig 7.- Tendencia de presas de ECC (compactado y no compactado) en número y altura en el tiempo (Academia de Ingeniería Mexico, 2013)

3.4.1.- DISEÑO DE PEDRAPLÉN

Siguiendo las recomendaciones del ICOLD -2010 para presas de gran altura, el muro debe tener una zonificación por tipos de roca (2A, 2B, 3A, 3B, 3C), esto es porque cada tipo de roca cumple una función distinta, por ejemplo las tres primeras capas en contacto con el relave deben tener poca deformabilidad y baja permeabilidad para evitar

que la geomembrana falle, el mayor volumen lo ocupan las rocas de tipo 3B y 3C con mayor granulometría cuya función es de anclaje y resistencia.

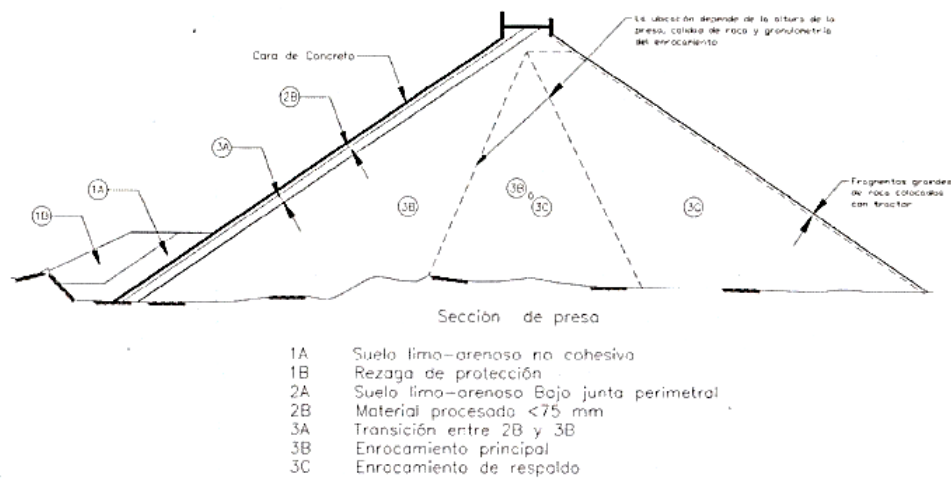


Fig 8.- Zonificación y nomenclatura típica (ICOLD ,2010)

Las grafica anterior es una presa de tipo ECC (Enrocamiento con cara de concreto) donde se puede observar que casi la totalidad del cuerpo está constituido por rocas de tipo 3B y 3C, cuyas granulometrías superan los 0.2m`.

Zona 1A, 2A, 2B

Material no cohesivo como arena fina no plástica con función selladora, seguido de una arena gruesa o partículas de roca menuda, seguido de desmonte de granulometría menor a 7cm con limo. Estas capas cumplen una función impermeabilizante ligeramente deformable para no afectar la geomembrana.

Zona 3A, 3B, 3C

Roca de cantera con tamaño máximo de 1 m considerando capas delgadas menores a 1m (2m considerando presas de gran altura), considerar rocas variedad de granulometrías para cubrir las oquedades y agregar agua para su compactación. Tiene la función de anclaje y resistencia.

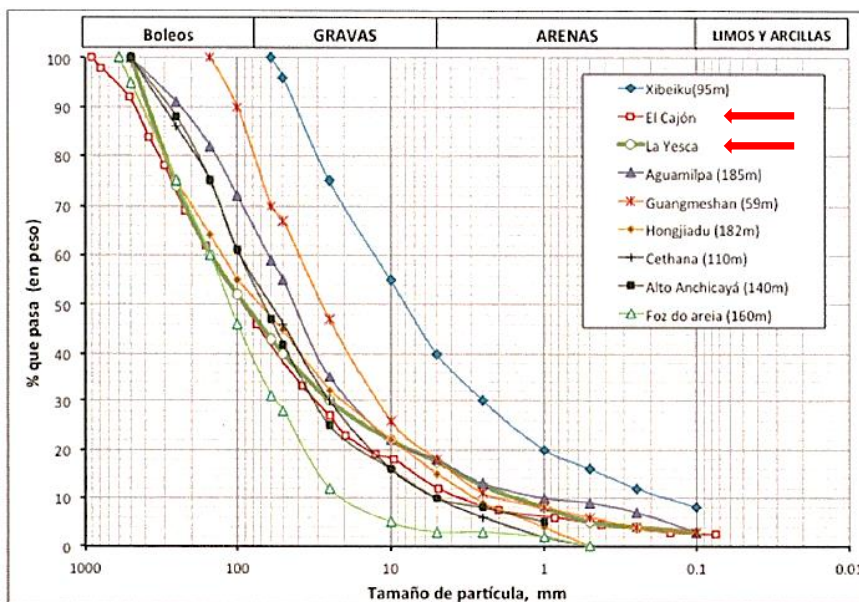


Fig 9.- “Granulometrías de la zona 3B utilizadas en diversos proyectos”
(Academia de Ingeniería Mexico, 2013)

Se puede apreciar que la disposición en peso de materiales de construcción que se debe considerar consta de 5 a 10% de material fino (limo arcillosos), 20 a 30% material arenoso (0.1 a 5mm de diámetro) 40 a 70% de material gravoso (1cm a 10cm) y hasta 40% de bancos (10cm a 1 m).

3.4.2.- ESTUDIOS DE CAMPO

Pruebas de laboratorio.- Gran parte de las características de deformabilidad de un Enrocamiento depende de sus propiedades físicas intrínsecas, tales como sanidad, (forma y dureza de los granos. En efecto, a menor dureza, mayor angulosidad y mayor tamaño de grano, este sufrirá mayor rotura y por tanto el enrocamiento será más deformable, mientras que enrocamientos con granos duros, redondeados (como en los aluviones) y del tamaño de las grava-arenas sufrirán menos rotura de partículas y serán por lo tanto menos deformables (Marsal, 1972, Marsal y Reséndiz, 1983).

(Academia de Ingeniería Mexico, 2013) “Sabemos que enrocamientos sanos y con granos duros (con carga de rotura mayor que 10 kN y resistencia en compresión simple mayor que 75 MPa) podrán ser utilizados generalmente en la zona 3B en capas de 80 cm de espesor siempre que tengan una granulometría bien graduada.”

Ensayos de Prueba.- Se localiza y se cuantifica las canteras o depósitos de desmonte potenciales como materiales de construcción de presa (aluvión y/o roca), seguidamente se determinaron sus propiedades (Resistencia en compresión simple, abrasión, intemperismo acelerado, rotura de granos), se diseñan pedraplenes de pruebas dirigido a definir la granulometría, espesor de capa y número de pasadas, así como sus características de deformabilidad.

“Deben evitarse enrocamientos uniformes y muy angulosos, aun cuando sean de roca muy dura como los basaltos, ya que serán altamente deformables. Si no existe otra opción, será necesario emplear capas más delgadas y tamaños máximos menores que lo usual para reducir la deformabilidad de este tipo de enrocamientos” (Academia de Ingeniería Mexico, 2013)

3.5.- OBRAS AUXILIARES DE PRESA

3.5.1.- CANAL DE CORONACIÓN

Es un canal construido en la periferia superior de la presa de relaves para captar el agua de escorrentía, es importante la construcción de canales de coronación desde el inicio de operaciones ya que estas se mantendrán de manera definitiva para el Plan de Cierre de pasivos. En el diseño para determinar el caudal se considera el caudal pico estimado en el estudio hidrológico, considerando un período de retorno de 500 años.

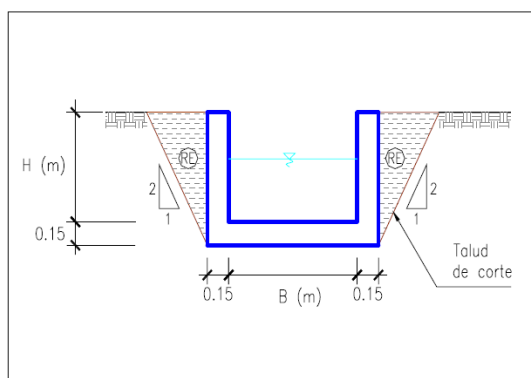


Fig 10.- Sección simple de canal de coronación

3.5.2.- CIRCUITO DE RECUPERACION DE AGUAS

Sistema dren francés (subdrenaje).- En la etapa de operación se puede suscitar fugas puntuales en el vaso de presa por falla en la soldadura de geosintéticos, perforaciones por parte del personal, fracturas térmicas, etc. Es ahí donde trabaja el sistema de subdrenaje colectando y evacuando el agua de la parte inferior del depósito de relaves. Se consideran dos tipos de drenes que permiten la evacuación de fluidos, el dren secundario que realiza la recolección de agua de las fugas del vaso y del área de recrecimiento de presa, así también el agua que se infiltra del terreno natural, y el dren principal que realiza la misma función y adicionalmente conduce toda el agua captada a la poza colectora.

“El control de la infiltración interna dentro de la presa por medio de drenes para reducir los niveles de saturación o la “superficie freática”, y zonas de filtración para prevenir el socavamiento, son esenciales para la estabilidad estática.” (Dirección General de Minería(DGM), 2005).

“La infiltración es una causa significativa de las fallas de las presas aguas abajo, de línea central y de retención de aguas. Muchos de esos casos están relacionados con la infiltración emergente en la cara del dique y pueden ser prevenidos con la inclusión de drenajes internos adecuados. Las arenas cicloneadas también requieren de drenes para remover el agua de descarga interior del ciclon que las acompaña durante su disposición. Klohn (1979) y Griffin (1990) revisaron los requerimientos de filtración y drenaje para presas de relaves, mientras que Velarde, et. al. (1983) describe el diseño y técnicas de ubicación de los filtros para una presa de relaves de oro. (Dirección General de Minería(DGM), 2005)

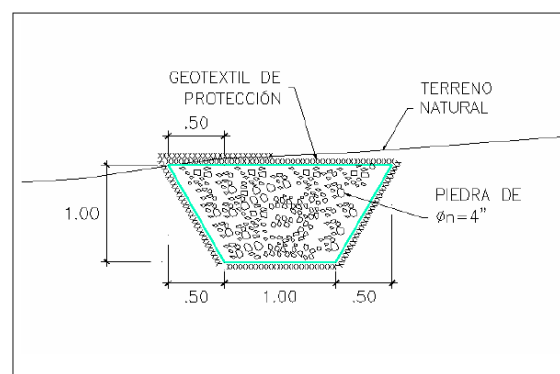


Fig 11.- Sección simple de canal de un subdrén.

3.6.- INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA DE PRESAS DE RELAVE.

3.6.1.- PIEZÓTROS CASA GRANDE

Los piezómetros son instrumentos de control de nivel freático, presión de poros, deformación del cuerpo de dique de contención; los cuales pueden ser de tubo abierto, neumáticos o de cable vibratorio. El tipo de piezómetro a elegir para cada estudio depende de las características, precisión, funciones que realizará el piezómetro.

3.6.2.- INCLINÓMETRO

La instrumentación mediante inclinometría permite localizar y medir los desplazamientos laterales y deformaciones del terreno. La metodología para la medida de los inclinómetros es la recomendada por la norma ASTM D6230-98 (2005): “Standard Test Method for Monitoring Ground Movement Using Probe-Type Inclinometers”, para la instrumentación del terreno mediante inclinómetros.

La metodología para la obtención de datos inclinométricos es la siguiente:

- ✓ Instalación de la tubería inclinométrica.
- ✓ Se realiza la primera lectura para ser considerada como línea base u origen, ésta primera lectura sirve de referencia para siguientes mediciones y poder determinar el sentido de la deformación, desplazamiento y para obtener el perfil de la tubería instalada.
- ✓ Medidas posteriores de seguimiento (Según el plan de monitoreo del área de Geotecnia)

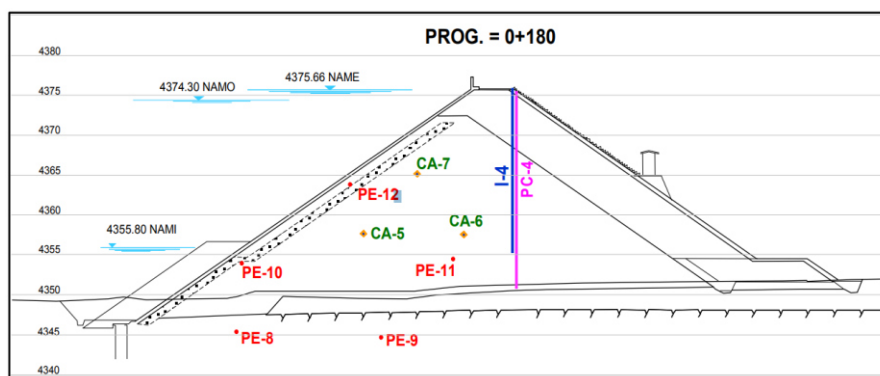


Fig 12.- Piezómetro e Inclinómetro en la cresta de presa (Extraído de Pan-Am Geotechnical Conference- Instrumentación geotécnica de presa Pillones-Perú)

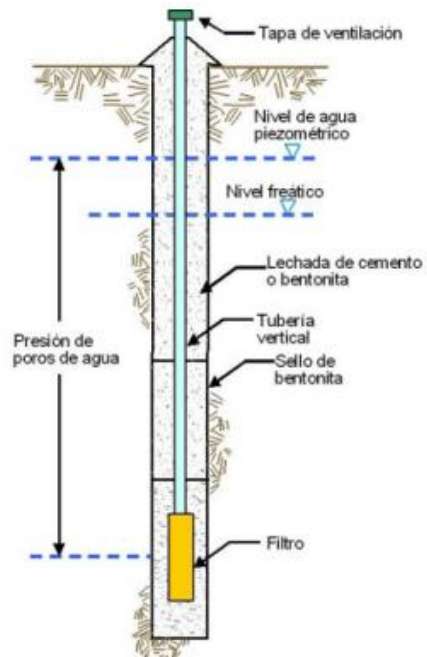


Fig 13.- Instrumentación geotécnica, piezómetro tipo casa grande (izquierda) y equipo indicador de nivel de agua (derecha).

CAPITULO 4

4.- GENERALIDADES DEL PROYECTO:

4.1.- UBICACIÓN:

La Presa de Relaves, se ubica aproximadamente a 33 Km al Nor-Oeste de Acarí, en el Distrito Bella Unión, Provincia de Caravelí, Región Arequipa, a una distancia aproximada de 585 kilómetros de recorrido terrestre desde la capital (Lima), sus coordenadas UTM-WGS84, Zona 18L.

4.2.- CLIMA Y METEOROLOGÍA:

Según información histórica el área de emplazamiento de la Presa de Relaves, se caracteriza por los siguientes aspectos generales:

✓ Fisiografía: La unidad fisiográfica predominante se constituye por Llanuras costeras en la parte baja (llana, extensa, desértica, arenosa y estéril, < 500 m.s.n.m.), hacia las partes intermedias (Cuenca del Río Acarí 500-1500 m.s.n.m.) se muestran zonas fértiles en los valles que conforman las terrazas del Río Acarí y puntualmente en la zona de interés (Presa de relaves y su entorno físico) se caracteriza por el dominio de geoformas correspondientes a “Estrabaciones Andinas” (1500-1800 m.s.n.m.).

✓ Hidrografía: El sistema hidrográfico corresponde a la Vertiente del Pacífico, que en la zona de interés se caracteriza íntegramente por la Cuenca del Río Acarí, el cual nace en Puquio (parte de la Cordillera Occidental) y drena hacia el Océano Pacífico en dirección Nor-Este a Sur-Oeste, flanqueada por un conjunto de quebradas con orientación Nor-Oeste a Sur-Este los cuales constituyen tributarios estacionales del Río Acarí.

✓ Clima: En el área de interés el clima se define “Seco-Cálido”, zona árida con escasos regímenes de lluvias.

✓ Altitud: La altitud es variable en la zona de interés se sitúa entre “1500 – 1800 m.s.n.m.”.

✓ Temperatura máxima promedio: 32°C.

✓ Temperatura media anual: 25°C.

✓ Temperatura mínima promedio: 18°C, en periodo invernal 10°C.

✓ Velocidad del viento: 4-8 km/hora.

✓ Meses de lluvia: Enero - Marzo (son muy escasas y sólo están asociadas a la ocurrencia de fenómenos estacionarios como el Fenómeno del Niño Costero).

✓ Actividades económicas: Minería incipiente (> 500 m.s.n.m.) y agricultura en los Valles del Río Acarí (Terrazas).

4.3.- ESTUDIOS PRELIMINARES

4.3.1.- EVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

En el reconocimiento se ubicó los puntos geodésicos (GPS-A y GPS-B), se utilizó como base para el relacionamiento de los puntos establecidos en el área de interés la estación de orden 0 de Atico, estación monitoreada directamente por el Instituto Geográfico Nacional del Perú(IGN).

Estación	Coordenadas Geodésicas WGS 84		HAE	Zona UTM	Orden
	Latitud Sur	Latitud Oeste			
ATICO - AQ04	<input type="text"/>	<input type="text"/>	67.5914	18 Sur	0

Tabla 2.- Coordenadas de la estación 0 del proyecto, ubicado en Atico- Arequipa.

Con la compra de la información satelital, se procedió a procesar la información satelital, consiguiendo como resultado las coordenadas UTM de los puntos (GPS-A y GPS-B), la misma que se muestran en el siguiente cuadro.

Identificación del punto		coordenadas UTM - Zona 17 sur		
Nro	Nombre	Este	Norte	Altura
1	GPS - A			1669.659
12	GPS - B			1735.241

Tabla 3.- Coordenadas de los puntos GPS-A y GPS-B ubicados en el proyecto.

4.3.2.- SONIFICACIÓN SÍSMICA

En el territorio peruano se han determinado diversas zonas sísmicas, las cuales registran diferentes características (actividad) de acuerdo a una mayor/menor presencia de eventos sísmicos. La sismicidad en la zona de Bella Unión se asocia principalmente al fenómeno de subducción entre las Placas de Nazca y Continental que ocurre a lo largo de la costa peruana. Según el mapa de zonificación sísmica propuesta en la Norma de Diseño Sismoresistente (E-030) del Reglamento Nacional de Edificaciones (2006 y modificatorias), el área de estudio en Bella Unión-Arequipa está comprendida en la Zona 4, tipificada como una zona de alta sismicidad.

4.3.3.- PELIGRO SÍSMICO

Para la evaluación de la estabilidad física del depósito de relaves de la planta Concentradora de mina La Bonita se estimó con un periodo de retorno de 500 años. Alcanzando 0.35 g de aceleración máxima, de acuerdo a la literatura técnica existente se recomienda que el coeficiente a ser considerado en los análisis pseudoestático de diseño taludes, sea obtenido con una fracción entre 1/3 y 1/2 de la máxima aceleración esperada.

4.3.4.- SELECCIÓN DE COEFICIENTE SÍSMICO PARA EL ANÁLISIS PSEUDO-ESTÁTICO

El coeficiente sísmico a considerar para el depósito de relaves de la planta concentradora de mina La Bonita, está asociado por los siguientes factores:

- ✓ Sismicidad de zona

- ✓ Condición local de la cimentación, cuando la densidad natural sea mayor entonces menor será la amplificación sísmica.
- ✓ Periodo fundamental del proyecto.
- ✓ Estudios de laboratorio para materiales de construcción e impermeabilización de la presa tanto como ensayos in-situ como los ensayos de compactación, permeabilidad, etc.

4.3.5.- COEFICIENTE SÍSMICO

Estudios específicos respecto a la sismicidad en el Perú han sido desarrollados por “Zenón Aguilar y Carlos Gamarra, 2009” los cuales constituyen una versión más actualizada a los estudios realizados por “Alva y Castillo, 1993”. En base a criterios probabilísticos y considerando un periodo de retorno de 50 años para el sismo máximo, en el área en interés, se establece una aceleración máxima de 0.45g. Por otro lado considerando que la aceleración máxima (amáxima) sólo se manifiesta durante un periodo instantáneo, el coeficiente sísmico de diseño a emplearse en los análisis pseudo-estáticos se debe definir como una fracción de la aceleración máxima, en concordancia con investigaciones desarrolladas por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (U.S. Army Corps of Engineers), se recomienda el uso de un coeficiente sísmico equivalente entre “1/2 a 1/3” de la aceleración máxima de diseño, la misma que está basada en numerosos estudios del comportamiento de terraplenes durante eventos sísmicos, con lo que para un período de retorno de 50 años el coeficiente sísmico de diseño será $K=0.17$.

4.3.6.- CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA

En este acápite se resumen características “litológicas, estratigráficas y estructurales de la geología en el contexto regional” y los aspectos más relevantes de la geología en el contexto local para los fines del informe. El desarrollo de este acápite se basa en información histórica del INGEMMET, registros de campo y ensayos de petrografía.

4.3.6.1 GEOLOGÍA REGIONAL

El área donde se ubica la presa de relaves, regionamente se encuentra encima de materiales cuaternarios (eólicos) y rocas sedimentarias del grupo Nazca, éste pertenece al Mioceno, está formada por volcánicos y conglomerados. Este grupo Nazca ha sido intruido por los diversos cuerpos ígneos integrantes del Batolito de la Costa.

Grupo Nazca

“Está conformada por una secuencia de rocas volcánicas sedimentarias que afloran extensamente sobre la altiplanicie al este de Nazca. Se puede diferenciar una sección inferior compuesta de conglomerados polimícticos, gris claros a marrón claros, compuestos de cantos heterogéneos (hasta 20 cm) en una matriz arenosa tobacea de grano fino a grueso mal clasificada” (INGEMMET, 1994)

“En el área de estudio, este grupo aflora en los cerros: San Francisco, Santa Rosa, y Magdalena así como también en la pampa Genova y las Lomas Colorado”. (INGEMMET, 1994)

Grupo Yura

“La cuenca Mesozoica de Arequipa, fue inicialmente dividida en 5 miembros (Jenks, 1948; Benavides, 1962), posteriormente por su extensión regional, estas se elevaron al rango de formaciones (Vargas, 1970; León, 1981). En la actualidad a esta secuencia marina silicoclástica se adicionan en la base a las formaciones Chocolate y Socosani, y en el topo a Muro y Arcurquina, de tal manera que su conjunto de 4.5 a 6 Km de espesor muestra continuidad con cambios graduales entre sus formaciones.” (INGEMMET, 1994)

Depósitos Coluviales (Qh-Co)

Están conformados por fragmentos de roca y suelos que fueron transportándolas por la gravedad únicamente, están acumulados principalmente en las laderas de los valles de altitudes empinados a subempinados. (INGEMMET, 1994)

Depósitos Aluviales (Qr-al)

“Estos materiales aluviales están conformados por depósitos clásticos transportados por medio acuoso, y acumulados principalmente en las quebradas o a partir

de las estribaciones andinas, constituyendo las amplias pampas aluviales características de la penillanura costera.” (INGEMMET, 1994)

Deposito Eólico (Qh-e)

“Estas conformado por dunas de gran volumen y mantos externos de arena de escaso espesor. Las arenas de grano grueso son de color gris oscuro, debido a su alto contenido de ferromagnesianos. Los mantos de arenas más fina y clara está compuesta mayormente de cuarzo, tiene una mayor movilidad y cubren igualmente grandes extensiones, invadiendo incluso las zonas de arena oscuras, en las que muchas veces se deposita. Existen también partículas de arcillas y limos que fueron transportados por los vientos y que están depositados en las faldas de algunos cerros.” (INGEMMET, 1994)

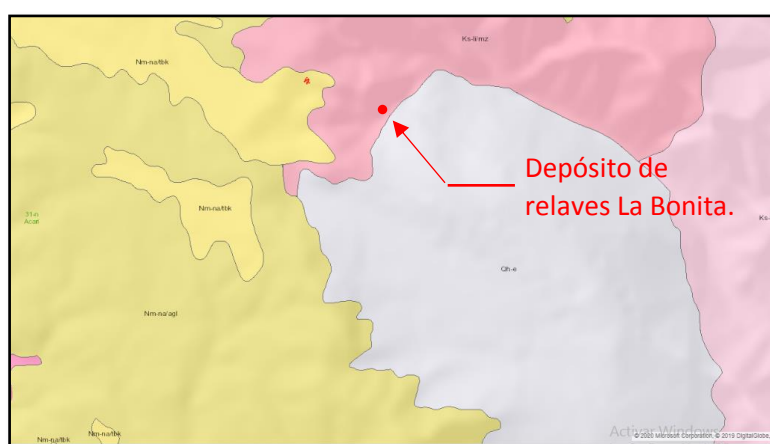


Fig 14.- Vista de la geología regional en el sector del emplazamiento de la presa de relaves (Geocatmin).

LEYENDA							
ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOESTRATIFICADAS			ROCAS INTRUSIVAS	
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCELO	Dep. Eolicos	Qh-e	Arenas Cuarzosas de grano medio a fino	Batolito de la Costa	
			Dep. Aluviales	Qh-al1	Materiales fluviales, aluvionales.		
			Dep. Coluviales	Qh-co	Depositos de bloques, en matriz arenosa.		
	NEÓGENO	MIOCENO	Grupo Nazca	Nm-na	Tobas de criaturas blanquecinas.	Super Unidad	
Nm-na				Agloemrados volcanicos caóticos , polimicticos.	Granodiorita tonalita	Ks-tito	
MESOZOICO	CRETÁCEO	SUPERIOR				Monzonita	Ks-li
		INFERIOR				Unidades no asignadas	
	JURASICO	SUPERIOR	Grupo Yura	Js-ja	Areniscas cuarzosas grises intercaladas con limoarcillitas y limonitas grises	Diorita	Ki-di

Tabla 4.- Columna estratigráfica de la zona de estudio.

4.3.6.2 GEOLOGÍA LOCAL

La geología local está representada por lomas y cerros cuyo macizo rocoso corresponde a intrusivos que pertenecen a intrusiones provenientes del batolito de la costa. Debido a la meteorización superficial fragmentos de rocas forman acumulaciones de depósitos cuaternarios tipo Coluviales y eólicos en las bases y laderas de los cerros, haciendo ver los taludes con menor pendiente.

Volcánico

“Está conformado por una secuencia de rocas volcánicas sedimentarias que afloran extensamente sobre al altiplanicie. Está compuesta por rocas afanítica a porfiríticas que van de matriz andesítica a dacítica y por la presencia de feldespatos potásicos. En la zona se encuentran alterados por el clima seco y árido de la zona.” (INGEMMET, 1994)

Intrusivo

“Está conformado por rocas intrusivas pertenecientes al batolito de la costa compuesta por rocas de matriz granodiorítica a granítica por su alto contenido de feldespato sódico y cálcicos como las plagioclasas, así como también de feldespatos potásicos como la ortosa.” (INGEMMET, 1994)

Conglomerados arenas y limos semicompactos

“Están conformados por cantos, arenas y limos semicompactos que afloran en las laderas de los cerros y algunas pampas, dichos cantos van desde los 3 cm hasta los 5 cm de longitud. Los cantos tienen composición andesítica a granítica debido a que pertenecieron a bloques volcánicos e intrusivos que fueron transportados desde las partes altas de la cordillera.” (INGEMMET, 1994)

Depósitos Cuaternarios.

“Están conformados por depósitos Coluviales, eólicos que afloran en esta zona debido a las altas pendientes, están compuesto por limos, arenas gruesas, cantos y bloques desde los 10 cm hasta los 50 cm, hay escasa presencia de depósitos fluviales debido al bajo grado de precipitación que no permiten se formen ríos.” (INGEMMET, 1994)

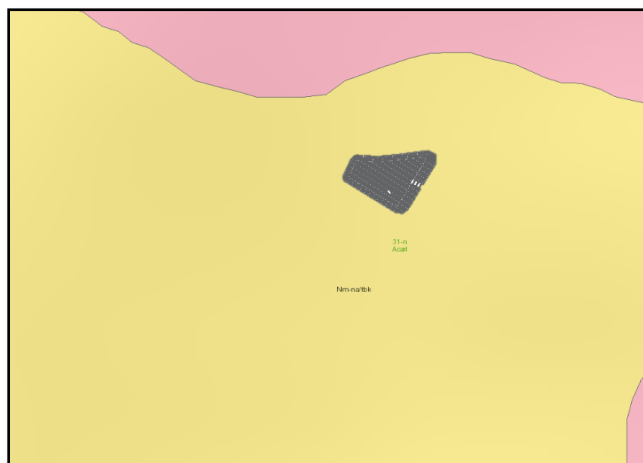


Fig 15.- Vista de la geología local en el sector del emplazamiento de la presa de relaves dentro de conglomerados semicompactados (Geocatmin).

4.3.6.3 LITOLOGÍA

Las unidades litológicas en el área han sido bastante bien diferenciadas en el ámbito geológico regional en estudios e informes realizados por el Instituto Geológico Minero Metalúrgico (INGEMMET). Se puede diferenciar un amplio rango de unidades litológicas (sedimentarias, secuencias volcánicas-sedimentarias, cuerpos intrusivos ígneos y depósitos cuaternarios) que van desde el Jurásico superior (Fm. Labra), Cretáceo superior (Monzonita, Sieno-granitos del Batolito de la Costa), Neógeno (Secuencias de aglomerados volcánico-sedimentarias del Grupo Nazca) hasta el Cuaternario más reciente (Suelos coluviales, aluviales, eluviales y eólicos).

Columna estratigráfica

Estratigráficamente la litología en el área Presa de relaves y su entorno físico se caracteriza por la presencia de las siguientes unidades:

Formación Labra (Js-la). - Esta unidad se encuentra ampliamente distribuida en la parte norte del área de la Presa de relaves. Está constituida por areniscas cuarzosas gris claras a blanquecinas y violáceas en paquetes medianos a gruesos, con intercalaciones delgadas de limolitas y lutitas, gris violáceas y blanquecinas finamente laminadas.

Rocas intrusivas del Batolito de la Costa. - El Batolito de la Costa es la unidad morfoestructural “principal y dominante” con amplia distribución en el área de interés e

importancia económica con fines exploratorios, se constituye por las estribaciones andinas que forman sus afloramientos rocosos y afloramientos en forma de crestones a nivel de las peniplanicie-pliocénicas (mesetas pliocénicas) conformadas por rocas del Grupo Nazca.

Las unidades intrusivas ígneas representativas del Batolito de la Costa en el área corresponden a la Superunidad Linga (Ks-li), cuyos afloramientos están restringidos a la faja más occidental. Según reportes de petrografía microscópica la litología predominante es “monzonitas y sieno-granitos” con variaciones locales en las texturas, cambios en las tonalidades por contenidos mayor o menor en “feldespatos potásicos y minerales máficos”, las plagioclasas se encuentran alteradas. Esta unidad litológica constituye un “target” importante para fines de prospección considerándose que está asociada a la mineralización en Vetas de Cobre (Cobrepampa, La Purísima) y mineralización de oro (Cerro Buena Vista, Mina Orión, Toropampa, Españoles, Puruja y Cotadera).

Grupo Nazca (Nm-na).- Conformados por secuencias volcánico-sedimentarias ampliamente distribuidas constituyen las geoformas del tipo altiplanicies, se caracterizan por la presencia de conglomerados de clastos polimícticos-heterométricos (arenisca, cuarcita, caliza) con diámetros variables entre “1 a 20 pulgadas”, en una matriz arenotobácea de grano fino a grueso mal graduada, color gris-claro amarillento.

Depósitos cuaternarios.- Conformados por suelos coluviales, aluviales, eluviales y eólicos que se describen líneas abajo:

Suelos Coluviales (Qh-co). - Conformados por fragmentos de roca y suelos que fueron transportados por gravedad, están acumulados principalmente en las laderas de los valles con taludes empinados y la parte inferior de los afloramientos rocosos más escarpados (crestones), se constituyen por fragmentos heterométricos “bloques, bolones y gravas” intercalados escasamente con arenas transportadas a modo de Clastos soportados.

Suelos aluviales (Qr-al). - Conformados por acumulaciones clásticas transportadas por medio acuoso, y acumulados principalmente en las partes bajas de las quebradas de geoformas como las estribaciones andinas, constituyen las amplias pampas aluviales características de la penillanura costera.

Suelos Eluviales (Qh-el). - Conformados por “gravas de fragmentos angulosos, limos, arcillas” con escaso a nulo transporte formados por la desintegración de las estructuras rocosas por procesos de meteorización.

Suelos Eólicos (Qh-e). - Conformados por dunas de gran volumen y mantos extensos de arena con escaso espesor. Las arenas de grano grueso presentan un color gris-oscuro debido a su alto contenido de ferromagnesianos, los mantos de arena más fina gris-clara está compuestas mayormente por cuarzo, tiene una mayor movilidad que las arenas gruesas, invadiendo incluso zonas de arena gruesas.

4.3.6.4 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

En el área de la Presa y su entorno físico, se ha realizado el registro geológico-geomecánico de afloramientos rocosos posterior a la etapa de DESBROCE DE SUELOS Y ROCAS, resaltando que no se han identificado fallamientos importantes. Los resultados del registro geológico-geomecánico indican un diaclasamiento importante en las masas rocosas, los cuales se han agrupado en sistemas de discontinuidades por sectores de interés.

Resultados del análisis estereográfico

Los datos estructurales obtenidos del registro geológico-geomecánico de afloramientos rocosos, se han procesado estadísticamente empleando la técnica de proyección estereográfica equiangular, utilizando el software “DIPS, versión 6.103 de Rocscience Inc.2010” cuyos resultados se muestran en la tabla 5 y figuras 16-19.

TIPO DE ESTRUCTURA	SISTEMA DE DISCONTINUIDAD ESTRUCTURAL*		
	D1	D2	D3
Diaclasas y fallas	85/041	46/127	49/297
TIPO DE ESTRUCTURA	SISTEMA DE DISCONTINUIDAD ESTRUCTURAL*		
<i>Nota: * Resultados del análisis estereográfico de datos estructurales (diaclasas) a nivel datos compósitos. El sistema de discontinuidad estructural esta definida en el formato "Buzamiento // Dirección de Buzamiento"; estos resultados son válidos para realizar el análisis cinemático de estabilidad de taludes en el sector Este de la Presa.</i>			

Tabla 5.- Sistemas de discontinuidades estructurales.

Los resultados del análisis estereográfico de discontinuidades estructurales (tabla 1) a nivel de datos globales presentan muestran tres sistemas de diaclasas principales (D1, D2, D3). Estos sistemas de diaclasas constituyen información válida para realizar el análisis de estabilidad estructuralmente controlada” en acápites posteriores. En la figura 19, se muestran los diagramas a nivel de datos globales, indicando contornos de isovalores de densidad de polos (diaclasas) y diagrama de rosetas.

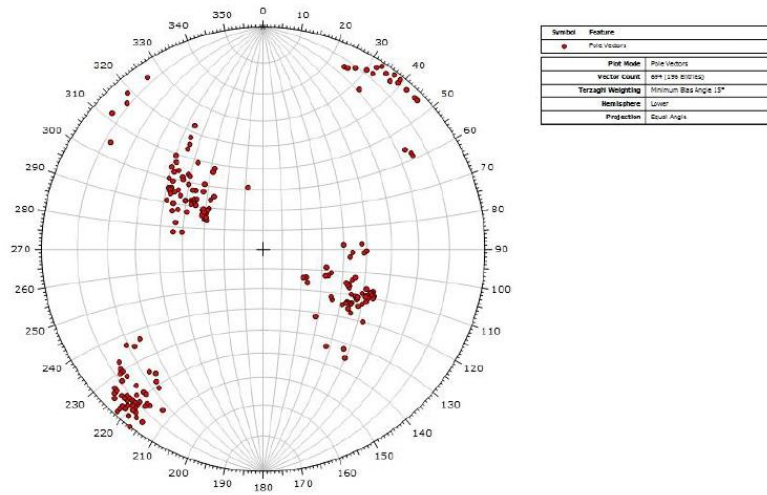


Fig 16.- Distribución de polos de diaclasas que muestra las 03 familias de diaclasas.

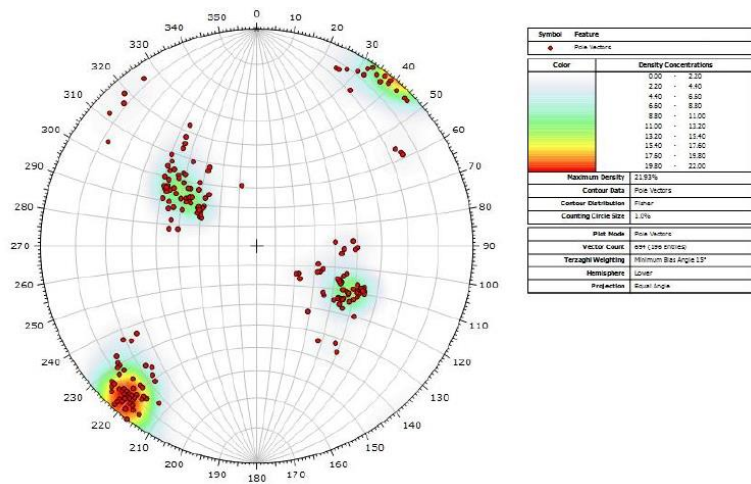


Fig 17.- Contornos de densidad de polos.

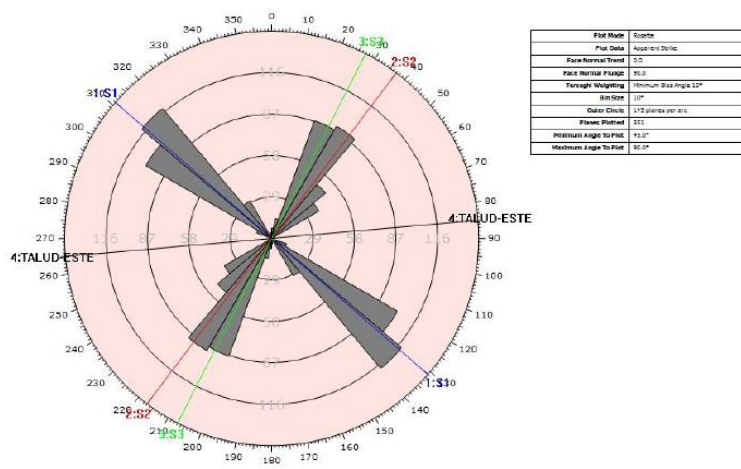


Fig 18.- Diagrama de rosetas.

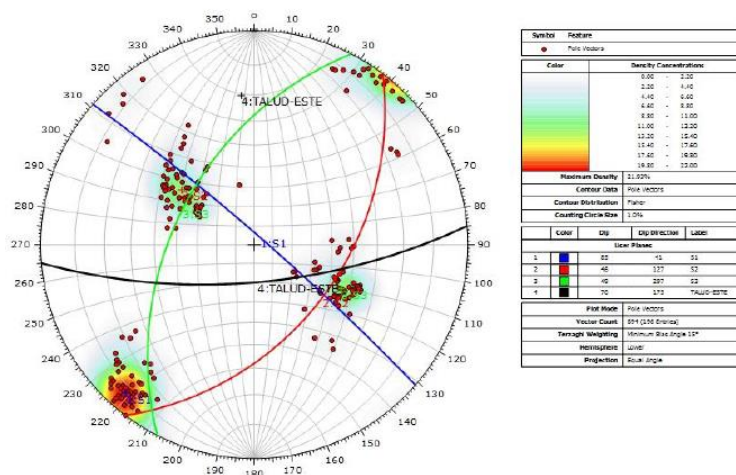


Fig 19.- Diagrama de planos máximos.

4.3.7.- CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA

La quebrada en el proyecto limita por el norte con la quebrada Santa Rosa, por el sur con la quebrada Cuesta de Molín, por oeste limita con la quebrada Negra y Lomas los Colorados, en tanto que por el este colinda con el río Acarí.

El sector de estudio se encuentra entre las altitudes comprendidas desde el nivel de 300 msnm hasta los 1800 msnm.

4.3.7.1 HIDROGRAFÍA

Esta quebrada tiene su nacimiento en los cerros Génova y Conchudo, con una dirección de NE a SO, así mismo pertenece al sistema hidrográfico de la cuenca Acarí, que se encuentra ubicado entre la cuenca Grande y la cuenca Yauca(cuenca del Pacífico).

“Climatológicamente la microcuenca de la quebrada Calapampa es considerada semi-cálido/desértico-árido-sub tropical) cuya temperatura media anual es de 18° a 19°C, decreciendo en los niveles más elevados de la región. En todo el litoral costero hay presencia de cielo nuboso escasa o nula precipitación, lo que la tipifica como una zona árida con temperaturas extremas máximas y mínimas, en otoño e invierno amanece nublada o cubierta y hacia el mediodía las nubes rápidamente se disipan permitiendo intenso brillo solar.” (SENAMHI, 2017)

Las lluvias son muy escasas en la mayor parte del año excepto en los años en que hay presencia del fenómeno del niño ocasionando lluvias de moderada a fuerte intensidad.

La microcuenca de la quebrada Calapampa, tiene un área de drenaje de 33.469 km, asimismo el cauce principal tiene una longitud de 29.768 km y una pendiente promedio de 9.5 %.

4.3.7.2 CLIMATOLOGÍA

TEMPERATURA

“Lo Temperatura Media Mensual que caracteriza a la zona de estudio se ha determinado sobre la base de la estación Chala dicha estación además de estar cercana a la zona de estudio, es la que cuenta con mayor registro histórico (1964/2014), la temperatura promedio anual para la microcuenca Calapampa alcanza los 18.09°C.” (SENAMHI, 2017)

PRECIPITACIÓN

“La precipitación mensual, que caracteriza a la zona de estudio se ha determinado sobre la base de la estación Chala, dicha estación además de estar cercana a la zona de estudio, es la que cuenta con mayor registro histórico (2000/2014), la precipitación promedio anual corregido y completada alcanza los 3.1 mm.” (SENAMHI, 2017)

EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL

Para el cálculo de evapotranspiración potencial se aplicó el método Thornthwaite en la microcuenca Calapampa, con la data extraída de la estación metereológica de Acarí ubicado a 10 km del área de proyecto, como resultado se obtuvo que el máximo de precipitación mensual es de 97.93 mm en el mes de enero y una mínima de 41.93 en el mes de Setiembre. La evapotranspiración potencial promedio anual es de 828.18 mm.

4.3.8.- PROSPECCIÓN GEOFÍSICA

Los trabajos de campo desarrollados en el área de estudio se desarrollaron en el mes de febrero de 2017, el cual consistió de 12 Sondajes Eléctricos Verticales ejecutados dentro del ámbito del área del nuevo depósito de relaves de la Planta Concentradora de mina La Bonita (ver Anexo A-2).

En la siguiente tabla se describen los datos de ubicación de cada uno de los Sondajes Eléctricos Verticales desarrollados dentro del ámbito donde se emplazará el nuevo depósito de relaves; el sistema de coordenadas está referenciado al DATUM WGS 84 (Zona 18 UTM).

SONDAJES	COTA
sev-01	1730
sev-02	1700
sev-03	1700
sev-04	1698
sev-05	1709
sev-06	1698
sev-07	1699
sev-08	1697
sev-09	1698
sev-10	1697
sev-11	1695
sev-12	1696

Tabla 6.- Puntos de sondajes eléctricos verticales.

4.3.8.1 ANALISIS Y DISCUSIÓN

Se realizaron 12 sondajes, en materiales aluviales que conforman el subsuelo del área de estudio, con la finalidad de conocer los valores de resistividades que éstos poseen, y generar un rango de resistividades para la interpretación de las curvas de resistividad. Estos rangos se generaron a partir de las medidas de calibración y se terminó de conformar a medida que se analizaban las curvas interpretadas correspondientes a materiales aluviales en superficie y en profundidad una formación geológica específica.

De los trabajos de prospección geofísica se han logrado determinar datos de voltaje e intensidad y muestran que las resistividades son mayores conforme se incrementa la profundidad de inducción eléctrica, esto se comprueba debido a la diferencia de materiales en superficie se observa arenas limosas y gravas mal graduadas con arena ya mayor profundidad se encuentra afloramiento volcánico fisurado perteneciente a la formación Quilmaná constituido por derrames andesíticos masivos, poco estratificados.

4.3.8.2 CORTES GEOFÍSICOS

La elaboración del análisis espacial de los datos de geofísica analizados en el entorno de trabajos del nuevo depósito de relaves tiene como finalidad un entendimiento y correlación con los datos estudiados de la geología y la presencia de volúmenes de agua dentro de sus entornos, o la susceptibilidad de los materiales existentes ante la posibilidad de infiltraciones y escorrentía subterránea.

Se han elaborado dos perfiles geofísicos tomando en cuenta el área de interés donde se emplazará el nuevo depósito de relaves (Anexo A-2), además de las zonas de probable influencia con respecto a la presencia potencial de agua subterránea dentro del entorno de trabajo de la zona de estudio.

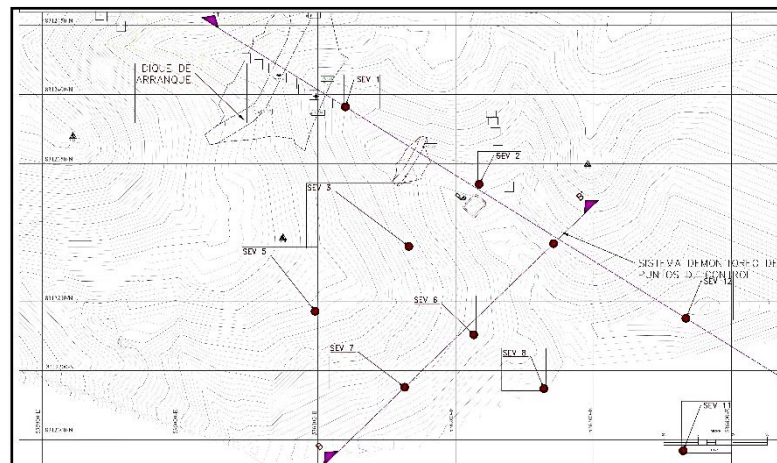


Fig 20.- Vista en planta de plano de ubicación de los puntos de sondajes eléctricos verticales (SEV), con los ejes de sección geofísica A-A' y B-B'.

CORTE GEOFÍSICO A-A'

- Longitud: 350 m.
- Sondajes Utilizados: Sev-01 , Sev-02, Sev-04, Sev-12

De este perfil, elaborado con orientación de Sureste hacia Noroeste de pueden extraer las siguientes informaciones.

- ✓ En la sección geofísica A-A, de acuerdo al esquema se observa que el área donde se emplazará en nuevo depósito de relaves, se encuentra delimitado por 3 capas de diferente material divididos de acuerdo a los valores de resistividad.

- ✓ Se evidencia en superficie una capa de limo a medio de espesor uniforme a una profundidad hasta 1.4 metros, seguida de una capa de arena arcillosa, esta capa presenta un espesor entre 12.5 a 17.2 metros de profundidad; finalmente se encuentra una capa de macizo rocoso conformado por granito.

En la figura 21, se esquematiza el perfil Geofísico:

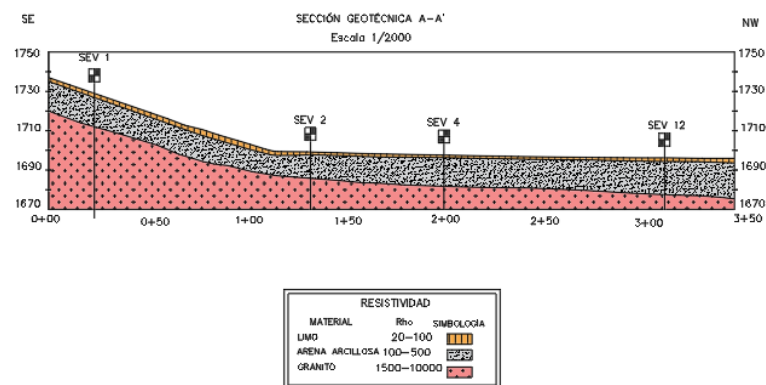


Fig 21.- Sección geofísica A-A' producto del análisis de sondajes eléctricos (SEV), ver figura 20.

CORTE GEOFÍSICO B-B'

- Longitud: 200 metros
- Sondajes Utilizados: SEV-7, SEV-6 y SEV-4

Este perfil, elaborado con orientación Noroeste hacia Sureste sirvió para llegar a las siguientes inferencias:

- ✓ El área donde se emplazará el nuevo componente minero se encuentra sobre suelo limoso de espesor entre 0.6-1.3 metros de profundidad con valores de resistividad de 20-100 ohm.m, además ésta se encuentra sobre arena arcillosa de espesor variable entre 11.9-15.7 metros de profundidad con resistividad entre 100-500 ohm.m.
- ✓ A mayor profundidad está conformado por granito, presentando valores de resistividad de 1500-10000 ohm. y un espesor aproximadamente de 27.7-36.5 metros de profundidad.

En la siguiente figura, se observa se esquematizado el corte geofísico descrito.

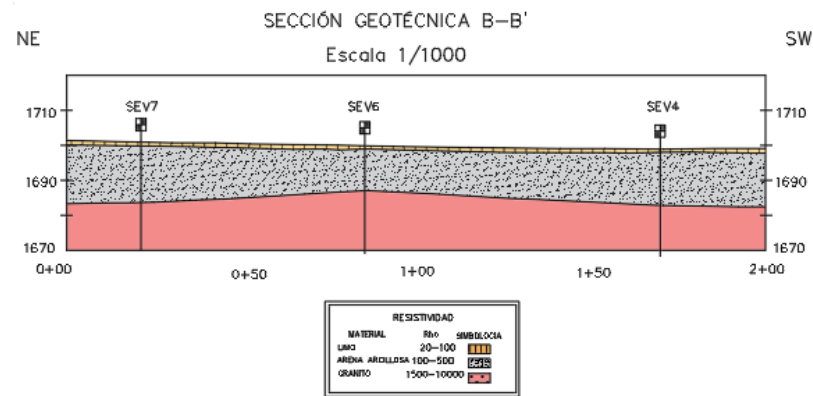


Fig 22.- Sección geofísica B-B' producto del análisis de sondajes eléctricos(SEV), ver figura 20.

4.3.9.- CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA

4.3.9.1 HIDROESTRATIGRAFÍA

La Hidrogeología del presente estudio tiene la finalidad de caracterizar las unidades hidrogeológicas en la zona, apoyándonos de planos hidrogeológicos así como también de imágenes satélites, las unidades hidrogeológicas en la zona de estudio se caracterizaron de acuerdo a sus propiedades como son la permeabilidad y transmisividad, los materiales que preferentemente se comportan como medios permeables son los depósitos sedimentarios aluviales y las rocas sedimentarias que por sus características como la alta permeabilidad y alta transmisividad son caracterizados como acuífero presentes en el entorno del proyecto, la permeabilidad del suelo depende principalmente de la concentración de arcilla presente dentro de la matriz de las rocas y del grado de compactación y cementación que tengan los materiales, los materiales que por sus características dejan transmitir lentamente el agua son denominados Acuitardo en la zona de estudio hay Acuitardo volcánico, también encontramos materiales que debido a su origen y por presentar una matriz cristalina original que tenga características de baja transmisividad y permeabilidad las cuales han sido denominadas acuífugo.

Las unidades hidrogeológicas presentes en el área de estudio están caracterizadas en función a las características litológicas y geomorfológicas observadas en campo. Para esta

caracterización hemos clasificado las formaciones geológicas en tres grupos principales, acuífero poroso no consolidado, acuitardos y acuífugo.

A continuación, se presentan las distintas unidades hidrogeológicas, definidas en función a la información geológica e hidrogeológica obtenida durante las investigaciones de campo, para el área de estudio.

CLASIFICACIÓN HIDROGEOLÓGICA		FORMACIONES
Acuífero	Poroso No Consolidado	Dep. Cuaternarios Eólicos y aluviales
Acuífugo	Intrusivo Volcánico	Roca intrusivas, de la Superunidad linga y la Superunidad Tiabaya.
Acuitardo	Sedimentario	Grupo Nazca

Tabla 7.- Clasificación hidrogeológica de cuerpos, definida según información geológica.

4.3.10.- ENSAYOS DE LABORATORIO Y CAMPO

4.3.10.1 ENSAYO DE LABORATORIO

A las muestras obtenidas en las calicatas, se le realizaron ensayos de laboratorio los cuales serán realizados por Garudha Ingenieros S.A.C, los mismos que estarán conformados por los ensayos que se indican a continuación:

- ✓ Análisis granulométrico por tamizado (ASTM D-422).
- ✓ Límites de Atterberg (ASTM D-4318).
- ✓ Contenido natural de humedad (ASTM D-2216).
- ✓ Ensayo de Corte directo.
- ✓ Ensayo de comprensión triaxial.
- ✓ Ensayos de permeabilidad.

Todos los ensayos de laboratorio de suelos fueron llevados a cabo siguiendo los procedimientos recomendados según las versiones actualizadas de los métodos de ensayo de la American Society for Testing and Materials (ASTM).

Luego de realizados los ensayos de laboratorio, se procedió a comparar los resultados obtenidos con las características de los suelos estimados en el campo, efectuándose las compatibilizaciones correspondientes en los casos en que es necesario. El resumen de estos ensayos se muestra en las siguientes tablas.

Calicata	Muestra	Prof.(m)	Granulometria			L.L.	L.P.	SUCS
			Grava	Arena	Finos			
C-1	M-1	0.5-1.5	27.58	50.11	22.32	29.116	21.222	SC
C-2	M-1	0.5-1.20	37.69	49.21	13.1	-	-	SM
C-3	M-1	0.5-2.00	0	56.77	43.23	22.365	-	SM

Tabla 8.- Resumen de resultados de laboratorio de las muestras extraídas de las calicatas C-1, C-2, C-3.

Calicata	Muestra	Profundidad	Densidad Natural (g/cm ³)	Porcentaje de Humedad (%)	Densidad Seca(g/cm ³)
C-3	D-1	2	1.47	1.91	1.47

Tabla 9.- Clasificación geotécnica del suelo en la zona de estudio

Resultados del ensayo de Densidad de Campo en la zona de estudio.

Luego haber realizado los trabajos en laboratorio, se procedió a comparar los resultados obtenidos con las características de los suelos estimadas en el campo, efectuándose las compatibilizaciones correspondientes; de esta manera, se obtuvieron los perfiles estratigráficos definitivos.

ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL

Este ensayo fue realizado en dos muestras de suelo, la calicata C-2 y la calicata C-7, por Garudha ingenieros S.A.C.

Calicata	Muestra Clasificación	Cohesión (kpa)	Angulo de Fricción(°)
C-1	M-1	4	26.1
C-2	M-1	0	27.2
C-3	M-1	1	25.4

Tabla 10.- Resultados de los ensayos de laboratorio de suelos C-1, C-2, C-3.

4.3.10.2 PUEBAS DE POTENCIAL DE ACIDÉS

Las prueba de acides demuestra que la construcción de la presa de relaves con material de préstamo de las canteras y de los depósitos de desmonte de mina, no generará aguas acidas, para esto muestreó en el dique de arranque (M15, M16, M17) y en la planta concentradora (M18, M19, M20), ver el Anexo D-2.

Las muestras M18, M19 y M20 correspondientes a muestras de relave, tuvieron como resultados “POTENCIAL GENERADOR” de drenajes ácidos, esto debido a su composición con elevadas concentraciones en metales pesados, sulfatos y otros elementos generadores de acidez, producto del proceso de flotación de la planta de procesamiento de mineral.

Las muestras M15, M16 y M17 correspondientes a muestras de roca y material de préstamos de Canteras (Material de préstamo = Relleno de Dique de Arranque-Dique de Pie), por su naturaleza mineragráfica estos materiales no son fuentes generadoras de acidez en condiciones normales, pero sometidas al paso del tiempo el agua de infiltraciones los reactivos, es posible generen cierto nivel de acidez por lixiviación de componentes ferromagnesianos de la estructura rocosa.

Durante la fase de construcción de la presa de relaves, se ha realizado la construcción del sistema de subdrenajes, el cual en los terminales (aguas abajo de toda la Presa) se ha construido las pozas de sedimentación y poza colectora de infiltraciones con la finalidad de captar todas las infiltraciones y recircular al sistema de la Presa y garantizar efluente cero en la Presa de relaves.

4.3.10.3 ENSAYO DE CAMPO

El material de construcción de presa está conformado por desmonte extraído por perforación y voladura del área de proyecto y desmonte de mina. Para remplazar el ensayo de macro granulometría por tamices fabricados se usara el software utilizado en perforación y voladura para medir las granulometrías post-voladura como un control de calidad, el programa es el WIPFRAG, con el determinaremos la granulometría del desmonte producto de la voladura en el área del proyecto y del desmonte extraído de mina.

El desmonte de mina es producto del desbroce que se realizó en área de construcción de la planta de beneficio cuya malla de perforación, explosivo, longitud de taladro y macizo rocoso coincide con el que se usará en el proyecto de construcción de presa de relaves. El desmonte de mina será el que se encuentra en el depósito de desmonte del Nivel 03 cuya granulometría ya se tiene por estudios de productividad de la unidad minera, la cual varía entre 2 a 8 pulgadas como máximo.

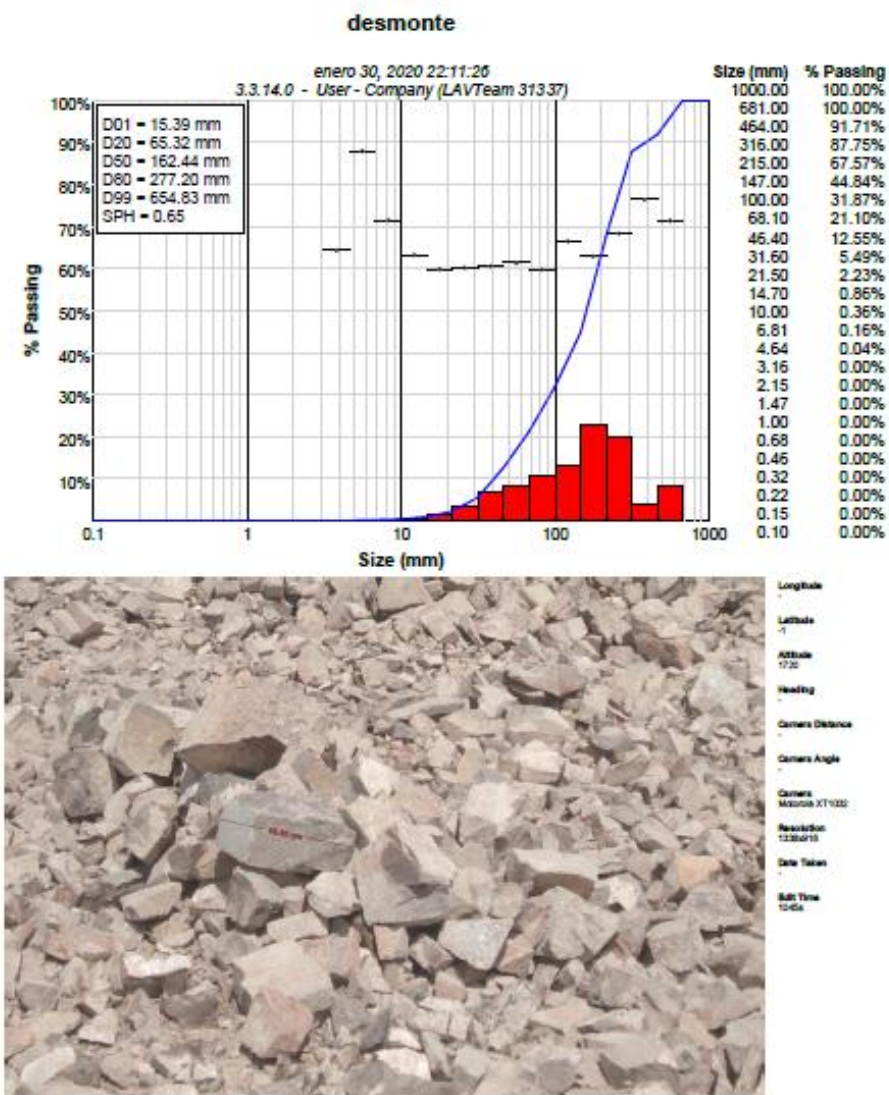


Fig 23.- Distribución granulométrica de una muestra de desmonte producto de la voladura superficial, utilizando el software Wipfrag.

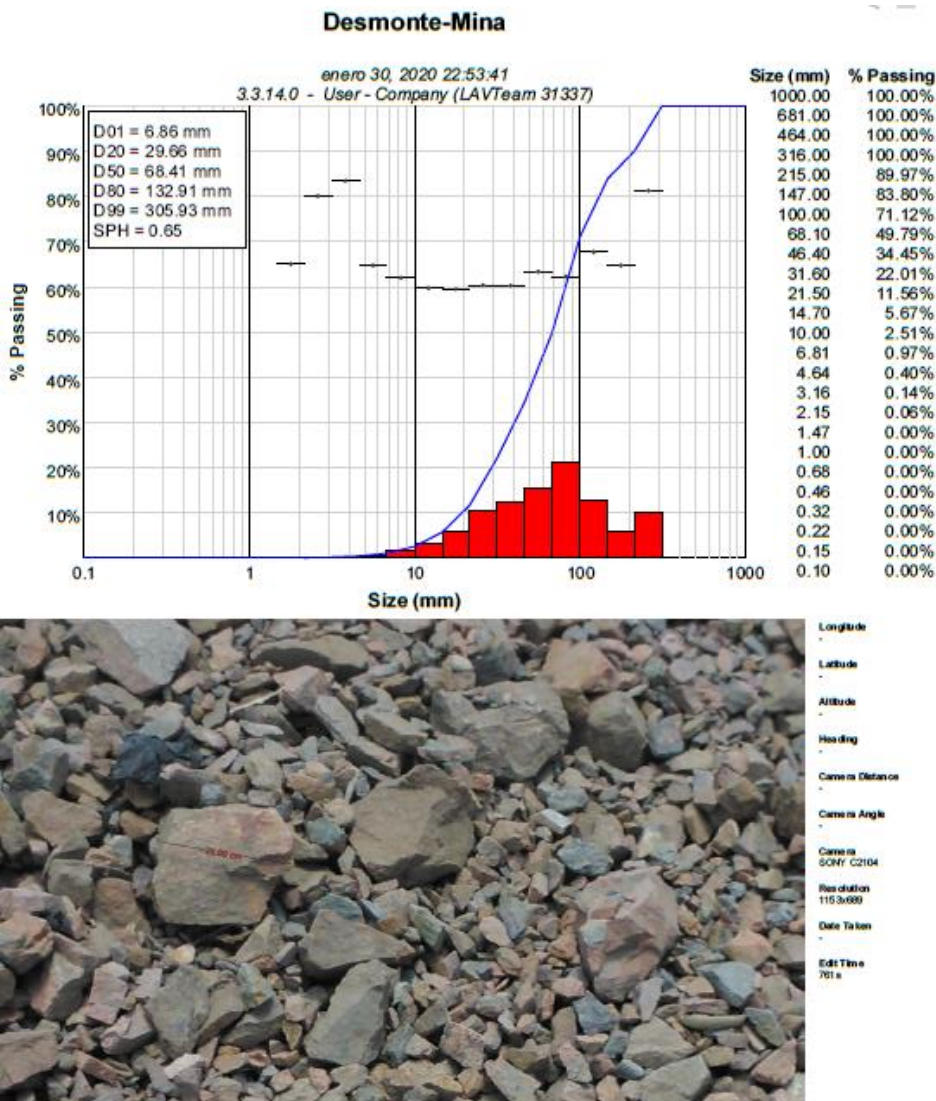


Fig 24.- Distribución granulométrica de una muestra de desmonte producto de la voladura subterránea (mina), utilizando el software Wipfrag.

4.3.10.4 ENSAYO DE ASENTAMIENTOS

Para dimensionar el número de pasadas del rodillo en función a las características del rodillo y el material a compactar fue necesario ensayar insitu el material obtenido de la mezcla hidratada para conseguir mayor acomodo de las rocas.

El procedimiento contempla los siguientes pasos:

- ✓ Descarga de desmonte de mina y desmonte del área de proyecto en orden intercalado.

- ✓ Hidratación durante la descarga de material, el tendido, compactación con sistema de riego con un equivalente de flujo de 4 L/s.
- ✓ Dispersión y tendido de material con Tractor CAT D8T.
- ✓ Trazo de plantilla de levantamiento topográfico con 12 a 15 puntos de control con espaciamiento de 2 m.
- ✓ Compactación con Rodillo CAT CS56 de 12tn con 4, 8, 12 , 15 pasadas.
- ✓ Levantamiento topográfico de puntos de control post-compactado después de 4, 8 , 12, 15 pasadas.
- ✓ Tratamiento de datos en gabinete.

La interpretación de los resultados muestran que la compactación pasada las 12 pasadas muestra un diferencial mínimo por lo que el número de pasadas optimo se encuentra entre 8 y 12 pasadas, tomando en cuenta el tiempo se determina en campo 8, 10, 12 pasadas(revisar Anexo B-1).



Fig 25.- Vista del dique de arranque en su cota 1723 en compactación, haciendo 8 ciclos (resultado de los ensayos de asentamiento).

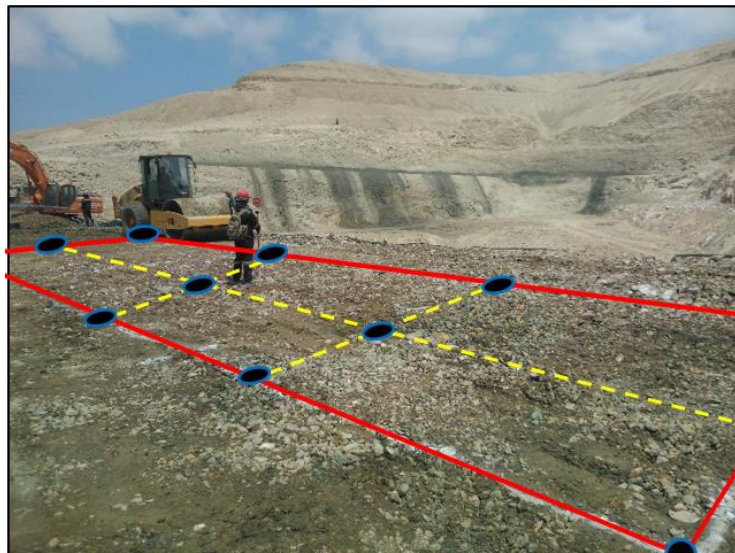


Fig 26.- Ensayo de asentamientos realizado en el dique de arranque a cota 1720

4.3.11.- CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA

En este contexto, se han realizado una serie de trabajos de campo “registro geológico-geomecánico de afloramientos rocosos, registro geológico-geotécnico en calicatas y cortes de talud, ensayos de mecánica de suelos y ensayos de mecánica de rocas en campo, toma de muestras para ensayos de laboratorio, toma de las muestras de relaves en Planta Otapara” y otros controles de campo (Anexo B-2).

4.3.11.1 ASPECTOS ESTRUCTURALES DE LA MASA ROCOSA

Las características más relevantes de los aspectos estructurales en las masas rocosas se describen en los siguientes párrafos:

Diaclasas. - Discontinuidades estructurales caracterizadas por su persistencia moderada y sistemas homogéneos (poca dispersión de datos en la proyección estereográfica). Según resultados de investigaciones estas diaclasas presentan espaciamientos variables entre “200-60 centímetros, 20-60 centímetros y puntualmente 6-20 centímetros”, la persistencia es variable entre “>20 metros, 10-20 metros, 3-10 metros”, el grado de apertura en las paredes de discontinuidades varía desde “abiertas, angostas, muy angostas y cerradas”, la rugosidad

en las paredes de discontinuidades varían desde “muy rugosas a rugosas”, el relleno de discontinuidades se tipifica como “rellenos suaves óxidos-carbonatos, limpias y sin relleno”. Las masas rocosas que afloran en el área estudio presentan calidades de roca variable (Buena IIB, regular IIIA, Regular IIIB, Mala IVA) según valoraciones RMR de Bieniawski.

4.3.11.2 METEORIZACIÓN

La meteorización definida como la “desintegración, descomposición y disgregación de la estructura rocosa” en las cercanías de la superficie terrestre como efecto de su exposición a la acción de agentes “atmosféricos, físico-químicos y biológicos”, afecta al macizo rocoso considerablemente. En el área la Presa y su entorno físico, como se evidencian en los resultados de las investigaciones geotécnicas de campo, a través de la desintegración de la estructura rocosa en diversos grados que van desde superficies “sanas, ligeramente meteorizadas, meteorizadas”, excepcionalmente muy meteorizadas en sectores muy puntuales (rocas Mala tipo IVA, RMR:31-40).

4.3.11.3 AGUA SUBTERRANEA

El principal efecto de la presencia del agua subterránea en la masa rocosa, es la presión que ejerce en discontinuidades, disminuyendo la resistencia al esfuerzo de corte y favoreciendo la inestabilidad de taludes y excavaciones. De manera similar ocurre en los suelos, el agua induce presiones intersticiales disminuyendo significativamente los parámetros de “cohesión y fricción”. En esta condición es muy importante evaluar la presencia del agua y cómo degrada el comportamiento físico-mecánico de las litoestructuras (suelos y rocas) en el ámbito de la Presa de relaves, luego de evaluaciones de campo e interpretaciones geológica-estructurales realizadas se puede aseverar que en la zona no se aprecian rasgos visibles de presencia de aguas subterráneas y nivel freático. Finalmente, en base a las características de permeabilidad natural e inducida en “suelos y rocas” del sector se infiere que no existe vulnerabilidad a las aguas subterráneas.

4.3.11.4 CLASIFICACIÓN DE LA MASA ROCOSA

Según información obtenida en las investigaciones de “campo y laboratorio” los suelos y rocas que constituyen la Presa de relaves, han sido tipificados usando el sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS) y la Clasificación geomecánica Bieniawski (RMR89). En los siguientes párrafos se realiza un resumen de características litológicas, estructurales y geotécnicas” que definen a las masas rocosas y suelos constitutivos del modelo geológico-geotécnico de la Presa de relaves y su entorno físico.

La clasificación geomecánica de la masa rocosa para el estudio implica “analizar e interpretar” información desarrollada en etapas previas (investigaciones de campo e información topográfica proporcionada por la empresa Minera) usando el sistema de “Clasificación geomecánica RMR89 de Bieniawski, modificado por Romana el 2000” como se muestra en el Anexo B-2 (Registro de campo). Los valores de resistencia a la compresión uniaxial de la roca fueron estimados usando “el martillo de rebote y la picota de geólogo”, los valores del índice de calidad de roca “R.Q.D.” fueron determinados mediante el registro volumétrico de diaclasas utilizando la relación propuesta por “Palmstrom $RQD=110-2.5J_v$, J_v : Número de discontinuidades/m³”.

Según información obtenida de investigaciones de campo en el área de interés, se ha determinado la calidad de masa rocosa usando el sistema de clasificación geomecánica RMR89 de Bieniawski, modificada por Romana el 2000 con adaptaciones de H&N para fines del informe, definiendo los dominios geomecánicos en rangos de calidad según el criterio mostrado en la tabla siguiente.

Tabla 11.- Criterios de clasificación geomecánica adaptada.

TIPO DE ROCA	RANGO "RMR"	CLASIFICACIÓN "RMR"
I	81-100	Muy Buena
II	71-80	Buena A
	61-70	Buena B
III	51-60	Regular A
	41-50	Regular B
IV	31-40	Mala A
	21-30	Mala B
V	< 21	Muy Mala

Nota: Clasificación "RMR89", según Romana 2000.
Adaptación de H&N, PRESA DE RELAVES AGROMIN.

La clasificación geomecánica del macizo rocoso para propósitos del Estudio en el área de interés, se obtiene del análisis e interpretación de la información litológica-estructural registrada por H&N a través del registro geomecánico (Anexo B-2), Ensayos de mecánica de rocas en laboratorio (Anexo C-3). Los resultados del proceso de clasificación geomecánica en este informe se expresan en términos del RMR, líneas abajo se muestra un resumen de las características “estructurales y geomecánicas” que describen a cada uno de los dominios en áreas de interés.

RESUMEN CLASIFICACIÓN GEOMECAÁNICA RMR89

Buena IIB (RMR: 61-70).- Estructuralmente se clasifica como un material ligeramente fracturado (RQD: 75-90, menor al <10%) y fracturado (RQD: 50-75, hasta el 90%); presentan una resistencia a compresión simple variable entre 100-150 MPa. Las características geomecánicas de las discontinuidades presentan espaciamientos variables entre “2.0-0.6 y 0.6-0.2 metros”; las persistencias varían entre los rangos “>20, 10-20 y 3-10 metros”; las aperturas entre paredes opuestas de las discontinuidades varían entre “cerradas, <0.1, 0.1-1.0 y 1.0-5.0 mm”; las superficies de discontinuidades se muestran rugosas; presentan rellenos blandos <5.0 mm; la meteorización en las paredes expuestas de discontinuidades es “ligera”, la condición del agua subterránea es “seco a húmedo y puntualmente mojado”. Este dominio se observa en rocas encajonantes.

Regular IIIA (RMR: 51-60).- Estructuralmente se tipifica como un material fracturado (RQD: 50-75, entre 70%) a muy fracturado (RQD: 35-50, < 30%); presentan una resistencia a compresión simple variable entre “75-100 MPa”. Las características geomecánicas de las discontinuidades presentan espaciamientos variables entre “0.6-0.2 y 0.2-0.06 metros”; las persistencias varían entre los rangos “10-20, 3-10 y 1-3 metros”; las aperturas entre paredes opuestas de las discontinuidades varían entre “0.1-1.0, 1.0-5.0 y > 5.0 mm”; las superficies de discontinuidades se muestran “rugosas a ligeramente rugosas”; por lo general sin relleno, puntualmente presentan rellenos blandos (óxidos, carbonatos, sericita y cloritas); la meteorización en las paredes de discontinuidades es “ligera a moderada”, la condición del agua subterránea es “húmedo a mojado”. Este dominio se observa en rocas encajonantes y estructura mineralizada.

Regular IIB (RMR: 41-50).- Estructuralmente se tipifica como un material fracturado (RQD: 50-75, entre 40%) a muy fracturado (RQD: 35-50, < 60%); presentan una resistencia a compresión simple variable entre “50-75 MPa”. Las características geomecánicas de las discontinuidades presentan espaciamientos variables entre “0.6-0.2 y 0.2-0.06 metros”; las persistencias varían entre los rangos “10-20, 3-10 y 1-3 metros”; las aperturas entre paredes opuestas de discontinuidades varían entre “0.1-1.0, 1.0-5.0, > 5.0 mm”; las superficies de discontinuidades se muestran “ligeramente rugosas”; muestran algunas discontinuidades sin relleno, por lo general discontinuidades presentan rellenos blandos (óxidos, sericita, clorita, arcillas, carbonatos); la meteorización en las paredes de discontinuidades es “moderada”, la condición del agua subterránea es “húmedo a mojado”. Este dominio se observa en rocas encajonantes y estructura mineralizada.

Mala IVA (RMR: 31-40).- Estructuralmente se tipifica como un material muy fracturado (RQD: 35-50, entre 70%) a intensamente fracturado (RQD: 25-35, entre 30%); presentan una resistencia a compresión simple variable entre “35-50 MPa”. Las características geomecánicas de las discontinuidades presentan espaciamientos variables entre “0.2-0.06 y < 0.06 metros”; las persistencias varían entre los rangos “3-10, 1-3 y <1 metros”; las aperturas entre paredes opuestas de las discontinuidades varían entre “1.0–5.0 y >5.0 mm”; las superficies de discontinuidades se muestran “ligeramente rugosas a lisas”; presentan rellenos blandos (óxidos, arcillas, sericitas y cloritas); la meteorización en las paredes de discontinuidades es “moderada a alta”, la condición del agua subterránea es “húmedo, mojado a goteo”. Este dominio se observa en rocas encajonantes y estructura mineralizada.

Sobreyaciendo a las masas rocosas descritas en párrafos anteriores (Buena IIB, Regular IIIA, Regular IIB y Mala IVA) se encuentran secuencias volcánico-sedimentarias del Grupo Nazca , los cuales se caracterizan por la presencia de conglomerados con clastos polimícticos-heterométricos (arenisca, cuarcita, caliza) con diámetros variables entre “1 a 20 pulgadas” en una matriz areno-tobácea de grano fino a grueso mal graduada, color gris a marrón claro, el mismo que se define en este informe como un suelos para fines del modelo constitutivo debido a sus características geotécnicas. En la tablas 12-15 se resumen las propiedades geotécnicas de “suelos de fundación, material de préstamo constitutivos de los diques de Arranque-Pie, Relaves del Vaso de presa y Dique de recrecimiento” en el área de la Presa y sus componentes.

4.3.11.5 PROPIEDADES DE RESISTENCIA

Para estimar los parámetros de resistencia a nivel de las unidades geotécnicas se han realizado ensayos de campo y laboratorio (Anexo C-1, Anexo C-2) en distintas fases (antes, durante y posterior a la construcción de la Presa de relaves). El resumen de resultados de ensayos en “suelos de fundación, materiales de préstamo, relaves y rocas” en laboratorios se muestra en las tablas 12-14.

Tabla 12.- Resultados de los ensayos de mecánica de suelos –antes de la construcción

RESUMEN: RESULTADOS DE ENSAYOS DE MECÁNICA DE SUELOS EN LABORATORIO																
PROYECTO	ENSAYO NORMA	UBICACIÓN	COMPRESIÓN TRIAXIAL CONSOLIDADO-NO DRENADO (CU)				LÍMITES DE CONSISTENCIA							PROCTOR MODIFICADO		
			ASTM-D4767				ASTM-D4767	ASTM-D2216	ASTM-D422			ASTM-D424/ASTM-423			ASTM-D1557	
			P.e Seco (KN/m3)	P.e Saturado (KN/m3)	Cohesión (kPa)	Ángulo de fricción (°)	Clasificación de suelos	Humedad (%)	Gravas (%)	Arenas (%)	Finos (%)	Limite Líquido (%)	Limite Plástico (%)	Índice Plástico (%)	M.D.S	O.C.H
CÓDIGO																
LAKSHMI-GARUDHA	C-1	VASO DE LA PRESA	17.4	21.7	4.0	26.61	SC	2.07	27.58	50.11	22.32	29.12	21.22	7.89	1.8	17.4
	C-2	DIQUE DE LA PRESA	16.0	18.8	0.0	27.20	SM	1.42	37.69	49.21	13.10	-	N.T	-	1.7	18.6
	C-3	ÁREA DE EMPLAZAMIENTO	15.0	18.1	1.0	25.40	SM	1.91	0.00	56.77	43.23	22.36	N.T	N.P	1.6	22.0

Nota: * Los Ensayos de Mecánica de Suelos, se han realizado en el Laboratorio LAKSHMI-GARUDHA (Fuente; AGROMIN).

Tabla 13.- Resultados de los ensayos de mecánica de suelos –durante de la construcción

RESUMEN: RESULTADOS DE ENSAYOS DE MECÁNICA DE SUELOS EN LABORATORIO																		
PROYECTO	ENSAYO NORMA	DESCRIPCIÓN / MUESTRA	PROF. (mts)	CORTE DIRECTO				LÍMITES DE CONSISTENCIA							PROCTOR MODIFICADO		PESO ESPECÍFICO DE SÓLIDOS	
				ASTM-D3080				ASTM-D2216	ASTM-D2487/D3282	ASTM-D427 / D4818			ASTM-D1557		ASTM-D854			
				Densidad Seco (gr/cm3)	Humedad natural (%)	c (kPa)	φ (°)	Humedad natural (%)	Clasificación de suelos	Gravas (%)	Arenas (%)	Finos (%)	Limite líquido (%)	Limite Plástico (%)	Índice Plástico (%)	M.D.S (gr/cm3)	O.C.H (%)	P.E. relativo de sólidos (Gs)
CÓDIGO																		
WSH	C-ALB-01	Gravas-sólidos/Relavera	0.2 - 1.0	-	-	-	-	7.87	ML	0.00	11.00	89.00	40.92	86.8	13.12	-	-	2.88
	C-ALB-02	Suelo del vaso/Cantera B	0.4 - 1.2	1.5710	2.0300	0.68	29.93	2.08	SC-SM	24.00	49.00	27.00	21.81	17.27	4.04	2.132	8.7	2.654
	C-ALB-03	Cantera de rocas	0.0 - 0.5	-	-	-	-	3.73	GP-GM con arena	58.00	33.00	9.00	NT	NP	-	-	-	2.88

Nota: * Los Ensayos de Mecánica de Suelos, se han realizado en el Laboratorio de la empresa WSH INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C. (WSH).

Tabla 14.- Resultados de los ensayos de mecánica de suelos –posterior a la construcción

RESUMEN: RESULTADOS DE ENSAYOS DE MECÁNICA DE SUELOS EN LABORATORIO																								
PROYECTO	ENSAYO NORMA	UBICACIÓN	CORTE DIRECTO				LÍMITES DE CONSISTENCIA			PROCTOR MODIFICADO	PESO ESPECÍFICO DE SÓLIDOS		PERMEABILIDAD		COMPRESIÓN TRIAXIAL CONSOLIDADO-NO DRENADO (CU)									
			ASTM-D3080				ASTM-D2216	ASTM-D2487/D3282	ASTM-D422	AASTHO-T-190-A	ASTM-9554	ASTM-D-5054		ASTM-D4767										
			Densidad Seco (gr/cm3)	Humedad natural (%)	Cohesión (kg/cm2)	Ángulo de fricción (°)	C.H (%)	Clasificación de suelos	Limite líquido (%)	Limite Plástico (%)	Índice Plástico (%)	M.D.S (gr/cm3)	O.C.H (%)	P.E. relativo de sólidos (Gs)	Gradiente hidráulico	Coefficiente de permeabilidad (cm/s)	Densidad Seco (gr/cm3)	P.e de sólidos	C.H (%)	c (kg/cm2)	φ (°)	c (kg/cm2)	φ (°)	
CÓDIGO																								
ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA	RF-1	RELAVES FINOS	-	-	-	-	61.56	CL-ML	24.42	18.14	6.28	1.942	12.65	2.9300	10.38	3.5224 x 10 ⁻⁶	-	-	-	-	-	-	-	
	RG-1	RELAVES GRUESOS	1.7470	22.05	0.07	39.26	32.76	SM	21.7	-	N.P	1.81	11.8	2.9080	-	-	1.976	2.93	16.3	0.206	20.053	0.1966	22.773	
	RT-1	RELAVES TOTALES	1.8640	18.34	0.1	28.13	83.37	CL-ML	24.04	17.69	6.35	-	-	2.9640	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0010	DIQUE-CANTERA	-	-	-	-	3.27	GP-GM	19.14	16.42	2.72	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0025	DIQUE-CANTERA	-	-	-	-	6.45	GP-GM	19.43	16.37	3.06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0004	DIQUE-CANTERA	-	-	-	-	1.14	GP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Nota: * Los Ensayos de Mecánica de Suelos, se han realizado en el Laboratorio de la empresa ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA S.R.L. (EP DE INGENIERÍA).

Tabla 15.- Resultados de los ensayos de mecánica de rocas –posterior a la construcción

RESUMEN: RESULTADOS DE ENSAYOS DE MECÁNICA DE ROCAS EN LABORATORIO											
PROYECTO	ENSAYO	PROPIEDADES FÍSICAS	COMPRESIÓN UNIAXIAL	CARGA PUNTUAL	CORTE DIRECTO		COMPRESIÓN TRIAXIAL			CONSTANTES ELÁSTICAS	
	NORMA	ASTM-D2216-98	ASTM-D2938	ASTM-D5731-95	ASTM-D5607-95		ASTM-2664-95			ASTM-D3148-86	
	PROPIEDADES	γ (KN/m ³)	σ (Mpa)	σ (Mpa)	c (Kpa)	f(°)	c (Mpa)	f(°)	mi	E (Gpa)	ν (Poisson)
TECSUP	CÓDIGO										
	EM-AG-R-01 (ROCA FRESCA)	25.54	147.4	-	94.00	26.98	27.71	#####	#####	17.30	0.26
	EM-AG-R-02 (ROCA ALTERADA)	25.57	77.4	-	104.00	26.86	21.92	#####	#####	12.23	0.29
	M-04 CL (SUELO SEMI-CONSOLIDADO)	10.44	8.52	8.52	-	-	-	-	-		
UNI	CÓDIGO	ASTM-C9702								ASTM-D7012-04	
	M-01	25.87	205.7	-	-	-	-	-	-	29.06	0.21

Nota: * Los Ensayos de Mecánica de Rocas se han realizado en los Laboratorios del Instituto de Educación Superior Tecnológico Privado (TECSUP) y Universidad Nacional de Ingeniería (UNI).

En las tablas, se definen las propiedades físico-mecánicas a nivel de unidades geotécnicas con fines del análisis de estabilidad física en la Presa de relaves.

Tabla 16.- Propiedades de resistencia en suelos, materiales de préstamo y relaves

DOMINIO	DOMINIOS GEOTÉCNICOS		PROPIEDADES DE RESISTENCIA EN SUELOS					
	DESCRIPCIÓN	CLASIFICACIÓN (SUCS)	Peso específico seco (KN/m ³)	Peso específico saturado (KN/m ³)	ÁNGULO DE FRICCIÓN Φ (°)	COHESIÓN (Kpa)	COHESIÓN Saturado (Kpa)	(Kg/cm ²)
5	Conglomerados de arenas y limos semi-consolidados	GP/ SC- SM	19.0	20.3	29.9	0.9800	0.0010	0.0100
6	Suelos-eólicos (Qh-e)	ML-SM	17.4	18.6	32.0	0.0012	0.0006	0.0000
7	Relleno de los Diques "Arranque - Pie"	GP-GM	23.0	24.6	42.0	0.1500	0.0800	0.0015
8	Relave grueso (RG- Dique de recrecimiento)	SM	21.0	22.5	39.3	0.1080	0.0500	0.0011
9	Relave fino (RF- Vaso de la presa)	CL-ML	17.0	18.2	18.0	0.2500	0.1000	0.0025

Nota: Estimaciones realizadas en base a resultados de ensayos de campo y laboratorio, revisión bibliográfica en materiales con similares características.

Tabla 17.- Propiedades de resistencia en masas rocosas

PROPIEDADES DE RESISTENCIA DE LA MASA ROCOSA EN FUNCIÓN AL RMR				
σ_c	e	RMR ₈₉		CRITERIO
120	2.718281	65		
σ_M		54.5		Aydan-Ulusay-Kawamoto
σ_M		27.9		Kalamaras-Bieniawski
COHESIÓN Y FRICCIÓN DE LA MASA ROCOSA EN FUNCIÓN AL RMR				
ϕ_M		23		Aydan-Kawamoto
ϕ_M		41.3		Sen-Sadagh
c_M		9.19		Kalamaras-Bieniawski
RESULTADOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA DE LA MASA ROCOSA				
RMR	σ_{ci}	σ_M^*	c_M (COHESIÓN Mpa)*	ϕ_M (ÁNGULO DE FRICCIÓN)*
65	120	41.21	9.19	41.3
55	80	24.08	4.08	38.3
45	60	13.90	2.04	36.3
35	40	7.13	0.90	33.8

Nota: Estimaciones realizadas en base a resultados de ensayos de campo y laboratorio, aplicación de criterios empíricos ampliamente utilizados y revisión bibliográfica en materiales con similares características.

Los valores mostrados en las tablas 16-17, son propiedades físico-mecánicas que caracterizan a los materiales constitutivos del modelo geológico-geotécnico conceptualizado en la Presa de relaves, estos serán empleados como datos de ingreso (INPUT-GEOTÉCNICO) para el análisis de estabilidad física.

CAPITULO 5

5.- INGENIERÍA BÁSICA

5.1.- DIQUE DE ARRANQUE

5.1.1.- ANALISIS DE ESTABILIDAD FÍSICA

Para el análisis de la estabilidad física de taludes en la Presa de relaves, se emplearán secciones geológicas-geotécnicas representativas en base a información topográfica, modelo geológico-geotécnico (ver Anexo A-6), características sísmicas de la región y propiedades que tipifican a cada una de las unidades geotécnicas (ver Anexo A-2) en el área de la Presa de relaves. El análisis de estabilidad se realizará mediante aplicación del programa de cómputo “Slide, versión 6.014 de Rocscience INC” el cual emplea el “Método de Equilibrio Límite” a través de los algoritmos de “Morgenstern –Price, Bishop modificado”. Este software SLIDE, es un programa completamente integrado que permite desarrollar la geometría del talud iterativamente hasta llegar a una solución aproximada cuyo resultado estima el factor de seguridad crítico de la superficie de rotura más probable en el sector analizado (ver Anexo D-4).

En este informe los análisis de estabilidad usando Software (SLIDE) se efectúan para condiciones “estáticas y pseudo-estáticas”. Una de las bondades del software es que permite al usuario realizar de manera automática el análisis de un número limitado de superficies de roturas circulares, no circulares y en forma de bloques, motivo por el cual será empleado en el análisis de estabilidad de taludes a nivel local (fases) y global en la Presa de relaves, adicionalmente se realizarán el análisis cinemático de cuñas usando el programa SWEDGE para el análisis de estabilidad de taludes a nivel de banco considerando un modelo de rotura por cuñas deducidos del análisis de estabilidad estructuralmente controlada (ver acápite 5.4), donde se advierte que los modos probables de inestabilidad en el proyecto serían “roturas circulares y roturas tipo cuña”, ver resultados en Anexo D-4 (Análisis de Estabilidad).

5.1.2.- CRITERIO DE DISEÑO

Para el análisis de estabilidad física en presas de tierra el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (U.S. Corp. of Engineers) sugiere que los factores de seguridad mínimos para considerar un talud estable, son los valores mostrados en la tabla 18, para condiciones de análisis “estático y pseudo-estático” de la estructura a evaluar (terraplén, taludes en roca, etc.). En este informe se adoptan estas sugerencias del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos, para analizar la estabilidad de talud en la Presa de relaves.

RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE ESTABILIDAD	CRITERIO DE ESTABILIDAD
ANÁLISIS EN CONDICIONES ESTÁTICAS	F.S: 1.25-1.5
ANÁLISIS EN CONDICIONES PSEUDO-ESTÁTICAS	F.S: 1.0-1.25
<i>Nota: En base a resultados de las investigaciones "geológicas y geotécnicas", para los materiales constitutivos de la "Presa de relaves y sus componentes" y las condiciones de análisis (estático y pseudo-estático) se realiza el Análisis de estabilidad por MÉTODOS DE EQUILIBRIO LÍMITE.</i>	

Tabla 18.- Factores de seguridad, según los criterios de estabilidad según U.S. Corp. of Engineers)

Los valores mostrados en la tabla 18, son valores mínimos referenciales del “Factor de seguridad” obtenidos en los análisis de estabilidad de taludes considerados en la práctica de acuerdo a estándares internacionales y con aprobación en el medio local. Considerando que los materiales (rocas y suelos) presentes en el área evaluada se caracterizan por su comportamiento homogéneo a nivel de dominios geotécnicos, ausencia de control estructural importante y fallas neógenas, en este informe se asumirá que los factores de seguridad indicados en la tabla 18, serán usados como parámetros e indicadores de estabilidad física de taludes en condiciones estáticas y pseudo-estáticas.

5.1.3.- CONDICIONES DEL ANALISIS

- ✓ Para el “Análisis de estabilidad de taludes”, se han considerado las secciones geológicas-geotécnicas A-A’, B-B’, C-C’, D-D’ (Anexo A-6) del modelo geológico- geotécnico. Estas secciones son representativas (críticas) desde el punto de vista “topográfico, geológico-geotécnico” y adecuadas para realizar el análisis de estabilidad física de taludes en este informe.

- ✓ En las secciones geológicas-geotécnicas de interés A-A', B-B', C-C', D-D', de la Presa de relaves, se han incorporado la geometría de la presa y realizado el análisis de estabilidad iterativamente evaluar el factor de seguridad que garantice conjuntamente con la implementación y aplicación de las recomendaciones para el manejo y gestión adecuada de la estabilidad de taludes OPERACIONES SEGURAS A “CORTO, MEDIANO Y LARGO PLAZO”.
- ✓ Las propiedades de los materiales (tablas 12-14) constitutivos del modelo geológico-geotécnico en las secciones analizadas se consideran homogéneas e isotrópicas a nivel de dominios geotécnicos (simplificación del modelo para propósitos de análisis por métodos de equilibrio límite), donde la rotura del talud se produciría como resultado de roturas simultáneas y progresivas a lo largo de la superficie potencial de rotura.
- ✓ Los mecanismos de rotura potencial para el análisis de estabilidad de taludes serán “rotura circular y rotura tipo cuña”; en este contexto el método adoptado para el análisis es el desarrollado por “Morgenstern–Price, Bishop Modificado” los cuales se encuentran incorporados en el entorno del programa de cómputo SLIDE y el análisis cinemático de taludes a Nivel de Banco usando el Software “DIPS y SWEDGE”.
- ✓ Para el análisis de estabilidad en condiciones “pseudo-estáticas”, se ha considerado la aceleración sísmica pico “ $a_{max}=0.49g$ ” para cuyo valor se establece como coeficiente sísmico de diseño el resultado estimaciones realizadas mediante la aplicación del modelo de “Saragoni; 1993” en función al resultados de la aceleración sísmica pico y el comportamiento tectónico de regiones ubicadas entre Perú y Chile frente a la línea de subducción, siendo el resultado un valor del coeficiente sísmico de “ $K=0.17$ ” para un periodo de retorno de 475 años.
- ✓ Los resultados del análisis de estabilidad de taludes en la Presa de relaves se presentan en términos de superficies potenciales de rotura; donde la superficie

crítica de deslizamiento es aquella que proporciona el menor factor de seguridad. En el Anexo D-4 (Análisis de estabilidad de taludes) se presenta el resultado numérico de los análisis para condiciones estáticas y pseudo-estáticas usando el programa SLIDE y SWEDGE.

5.2.- GEOSINTÉTICOS

En función a las propiedades elasto-plásticas definidas en las especificaciones técnicas del geosintético (Anexo D-2) y las características geométricas de la presa de relaves se puede diseñar el espesor de las láminas de geomembrana, densidad del geotextil y la profundidad de las zanjas de anclaje.

Una forma de calcular estos requerimientos lo describe Robert Koerner en su libro *Designing with Geosynthetics*, 5ta edición.

5.2.1.- DIMENSIONAMIENTO DE GEOMEMBRANA

El espesor necesario para la geomembrana dependerá del polímero de fabricación y de las condiciones a las que será sometida membrana, en el proyecto debido a las paredes rocosas se consideran espesores superiores.

Para el cálculo del espesor de geomembrana se ejecuta el equilibrio límite teniendo en cuenta la carga a la que estará sometida y la deformación que generará como se muestra a continuación:

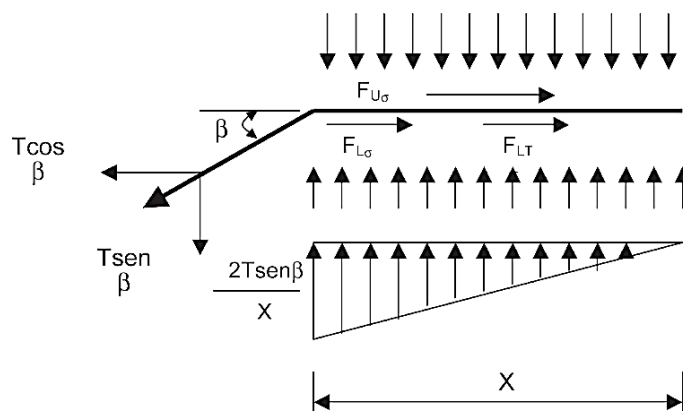


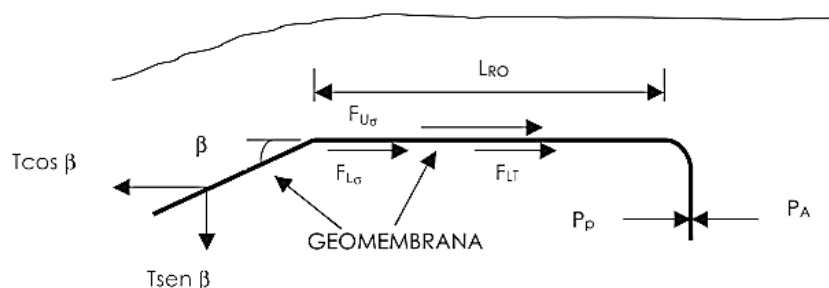
Fig 27.- Modelo de diseño utilizado para calcular espesor de la geomembrana (Koerner, 2005)

$$t = \frac{\sigma_n \times (\tan \delta_U + \tan \delta_L)}{\sigma_{adm} (\cos \beta - \sin \beta \tan \delta_L)}$$

t	=	Espesor de la geomembrana
β	=	Ángulo que forma el movimiento de la geomembrana a tensión con la horizontal
$F_{U\sigma}$	=	Fuerza de fricción sobre la geomembrana debido al suelo de cubierta (para suelos de cubierta demasiado delgados, la fracturación de este puede ocurrir por tensión, en estos casos este valor suelo despreciable)
$F_{L\sigma}$	=	Fuerza de fricción debajo de la geomembrana debido al suelo de cubierta
F_{LT}	=	Fuerza de fricción debajo de la geomembrana al componente vertical de T admisible
σ_n	=	Esfuerzo aplicado por el material de relleno
δ_U	=	Ángulo de fricción entre la geomembrana y el material superior (ASTM D 5321)
δ_L	=	Ángulo de fricción entre la geomembrana y el material inferior (ASTM D 5321)
x	=	Distancia de movilización de la deformación de la geomembrana

5.2.2.- ANCLAJE DE GEOSINTÉTICOS

Para esto se tiene en consideración un estado de esfuerzos dentro de la zanja de anclaje y las características del material. Dentro de la zanja de anclaje se ejercen fuerzas laterales actuando sobre la geomembrana, “*más específicamente una presión activa de tierras tendiendo a desestabilizar el sistema y una presión pasiva de tierra que lo tiende a soportar*”. (Koerner, 2005)



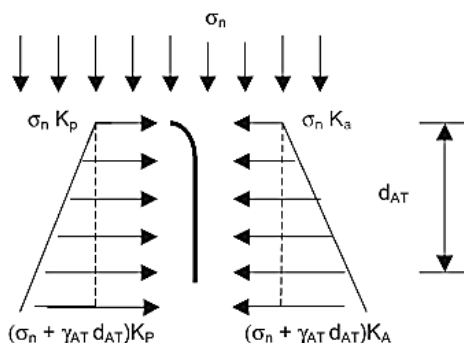


Fig 28.- “Sección transversal de la longitud de desarrollo de una geomembrana con zanja de anclaje y fuerzas actuantes” (Koerner, 2005).

$$T_{adm} = \frac{\sigma_n L_{RO} (\tan \delta_U + \tan \delta_L) - P_A + P_P}{\cos \beta - \sin \beta \tan \delta_L}$$

$$P_A = (0.5 \gamma_{AT} d_{AT} + \sigma_n) K_A d_{AT}$$

$$P_P = (0.5 \gamma_{AT} d_{AT} + \sigma_n) K_P d_{AT}$$

Donde:

L_{RO}	=	Longitud de desarrollo
P_A	=	Presión activa de tierras contra el material de relleno de la zanja de anclaje
P_P	=	Presión pasiva de tierras contra el suelo in-situ de la zanja de anclaje
γ_{AT}	=	Peso Específico del suelo de la zanja de anclaje
d_{AT}	=	Profundidad de la zanja de anclaje
σ_n	=	Esfuerzo normal aplicado por el suelo de cobertura
K_A	=	Coefficiente de presión de tierra activa = $\tan^2 (45 - \phi/2)$
K_P	=	Coefficiente de presión de tierra pasiva = $\tan^2 (45 + \phi/2) = 1/K_A$
ϕ	=	Ángulo de fricción del suelo respectivo

RESULTADOS - SISTEMA DE IMPERMEABILIZACIÓN			
PARTIDA	SUBPARTIDA	DESCRIPCIÓN	UNIDAD
IMPERMEABILIZACIÓN	VASO	Geotextil 400 g/m ²	m ²
		GCL-EUROVENT-NT35	m ²
		Geomembrana HDPE 1.5mm	m ²
		Geomembrana HDPE 2.0 mm	m ²
	DIQUE DE PIE	Geotextil 400 g/m ²	m ²
		GCL-EUROVENT-NT35	m ²
		Geomembrana HDPE 1.5mm	m ²
	POZA COLECTORA	Geotextil 400 g/m ²	m ²
		GCL-EUROVENT-NT35	m ²
Geomembrana HDPE 2.0mm		m ²	

Tabla 19.- Requerimiento de Geosintéticos global.

5.3.- OBRAS AUXILIARES

5.3.1.- COMPACTACIÓN

El diseño del equipo de compactación depende de dos factores principales, el peso del rodillo vibrador y del tipo de material a compactar. El peso y la frecuencia de vibración del rodillo tienen un alcance en profundidad dependiendo del tipo de material, para suelo arcilloso el alcance es menor que en material no cohesivo.

Caterpillar proveedor de equipo pesado a nivel mundial, presentó un esquema de selección de rodillos desde 7 a 20 Tn de tambor vibrador, como se muestra seguidamente.

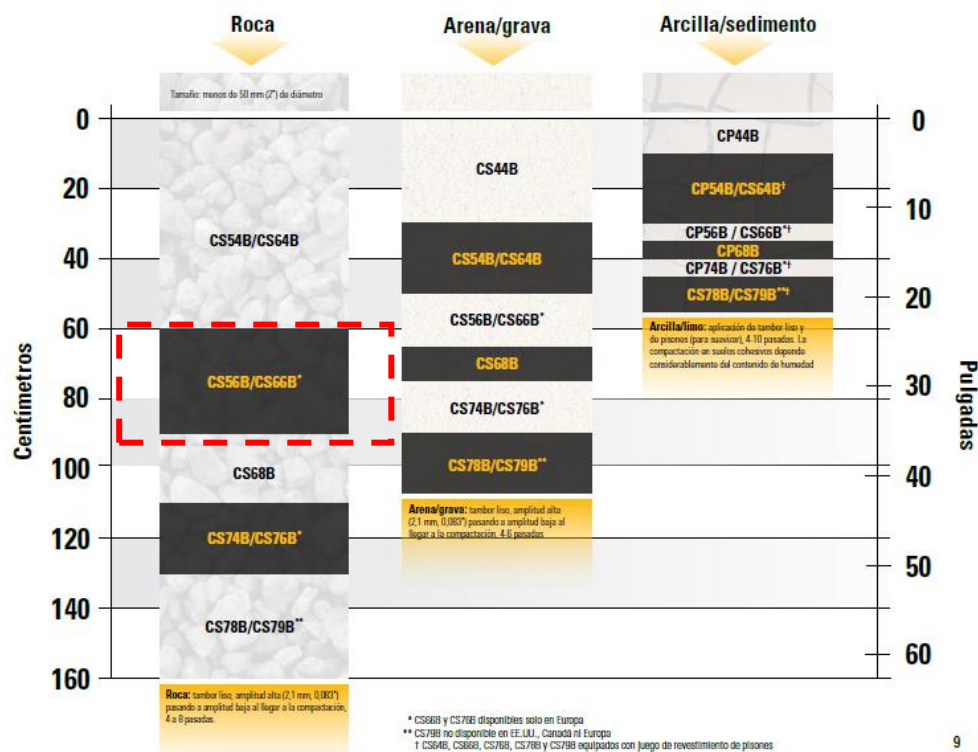


Fig 29.- Equipos de compactación de la línea Caterpillar y su recomendación en función al material y al espesor de la capa de compactación.

El tipo de material a compactar es desmonte de mina con granulometría de 4" a 8" y el espesor de las capas de compactación es de 50 cm por lo que el equipo seleccionado sería CS54B en adelante, finalmente en operación se utilizó el CS56B de 12 Tn.

5.3.2.- SISTEMA DE SUBDRENAJE Y COLECCIÓN DE AGUAS

El caudal a drenar por los filtros resulta de la suma de los aportes por infiltración depende de la permeabilidad del geotextil, gradiente, del diámetro de los agujeros, sección transversal y numero de huecos por metro de la tubería, de la sección transversal, con el caudal estimado por unidad de longitud y el diseño de la distribución geométrica de las tuberías (Espina de pescado en el interior del vaso y en la zona de recrecimiento) se puede estimar el caudal total.

Resultados del diseño de tuberías corrugadas perforadas para el subdren es un sistema de tuberías distribuidas en tres zonas, el vaso de presa, dique de arranque, área de recrecimiento (ver Anexo A-1).

COORDENADAS(WGS84) DE SISTEMA DE SUBDRENAJES - PRESA DE RELAVES				
TRAMO		LONGITUD	GRADIENTE	DIÁMETRO
a-b	a	39.02	-0.01	6"
	b			
b-c	b	65.91	-0.01	8"
	c			
c-d	c	14.37	-0.43	8"
	d			
d-e	d	10.59	-0.29	8"
	e			
m-n	m	63.19	-0.05	6"
	n			
d-n	d	25.57	-0.05	8"
	n			
:	i	:	:	:
	i'			
j-j'	j	9.08	-0.02	4"
	j'			
k-k'	k	11.58	-0.03	4"
	k'			

Tabla 20.- Línea del sistema de subdrenaje del proyecto en segmentos.

La poza de sedimentación recibe el caudal final recuperado del vaso de presa y del área de recrecimiento para precipitar la mayor parte de sus macropartículas y deja pasar fluido con sedimento muy fino a la poza colectora final.

Las dimensiones de la poza de sedimentación son de 2.5 x2.5 x1.5 con espesor de 0.2 m y concreto armado de 210 kg/cm².

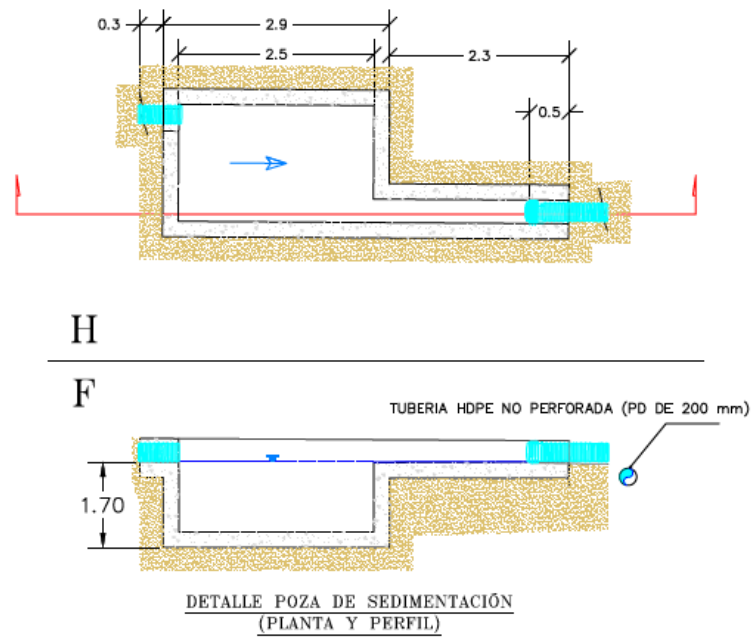


Fig 30.- Vista en planta y perfil de la poza de sedimentación.

La poza de sedimentación final recibe caudal de la poza de sedimentación por rebose por ende el fluido no tiene potencial considerable de erosión por ende en la poza colectora final se utilizará geomembrana como superficie impermeabilizante, el diseño se da en función al caudal máximo recibido, finalmente la poza colectora tiene las dimensiones 8x10x2 y 70 m³ de capacidad.

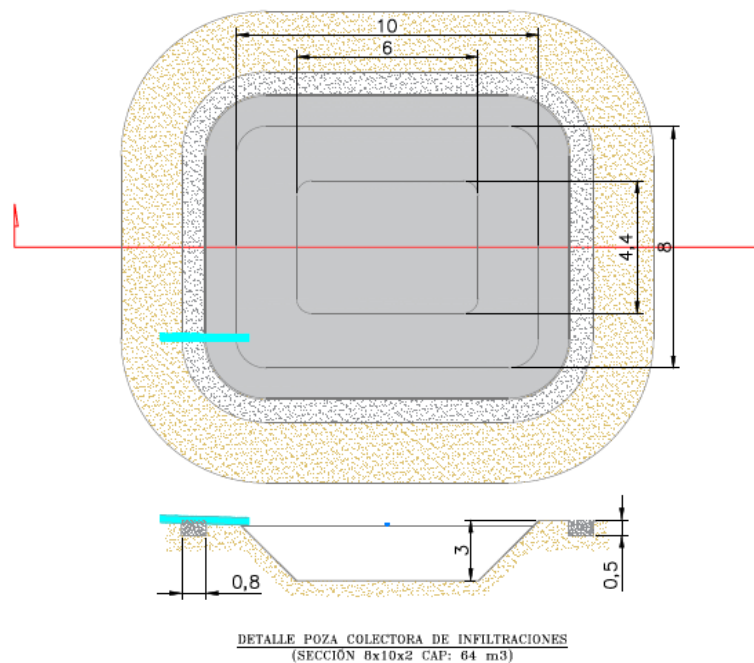


Fig 31.- Vista en planta y perfil de la poza colectora final.

5.4.- CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN

Mediante el planeamiento del proyecto se determina el curso de acción para que un proyecto cumpla sus etapas y satisfaga los objetivos de calidad, costos, tiempo y rendimiento técnico. Para el desarrollo de la planeación es de vital importancia tener en cuenta la necesidad de la Empresa, el cual consistía en iniciar las etapas de prueba de la planta de tratamiento a mediados del 2018 y poder comenzar su producción en agosto del mismo año.

Un cronograma de ejecución es un gráfico en el cual se establecen actividades a realizar durante la ejecución de las partidas individuales, estableciendo fechas de inicio y finalización además de las holguras(ver Anexo D-5). El cronograma se realiza con el fin de lograr la fecha de entrega, además de proporcionar el tiempo establecido para lo presupuestado.

Una forma de representar el cronograma de construcción son mediante los graficos de Gantt, en la fase de construcción del proyecto tenemos como

El cronograma de construcción considera las siguientes partidas:

- ✓ Movilización al proyecto
- ✓ Trazo y replanteo topográfico (canal de coronación, vaso, dique de arranque)
- ✓ Plataformado del canal de coronación: oeste - este
- ✓ Perforación - voladura de rocas sector norte
- ✓ Desbroce y excavación para plataformado 1, dique de arranque
- ✓ Relleno y conformación del dique de arranque plataforma 1
- ✓ Desbroce y excavación para plataformado 2, dique de arranque
- ✓ Relleno y conformación del dique de arranque plataforma 2
- ✓ Desbroce y excavación para plataformado 3, dique de arranque
- ✓ Relleno y conformación del dique de arranque plataforma 3
- ✓ Desbroce y excavación y plataformado, nivel 1731, vaso de presa.
- ✓ Desbroce y excavación y plataformado, nivel 1724, vaso de presa.
- ✓ Desbroce y excavación y plataformado, nivel 1710, vaso de presa.
- ✓ Excavación de zanjas y conformación del sistema de sub-drenajes, vaso de presa.
- ✓ Construcción del canal de coronación, oeste - este.
- ✓ Relleno y conformacion del dique de arranque hasta la cota 1724.
- ✓ Perfilado de la superficie interna del vaso de presa, cota 1724.

- ✓ Construcción de la zanja para anclaje de geosintéticos, cota 1724.
- ✓ Impermeabilización con arcillas del talud aguas arriba, dique de arranque
- ✓ Impermeabilización del vaso de presa con geosintéticos, cota 1710-1724.
- ✓ Desbroce y excavación para plataformado, dique de pie.
- ✓ Relleno y conformación del dique de pie.
- ✓ Excavación y construcción de la poza colectora del sistema de subdrenajes.
- ✓ Construcción e instalación de instrumentación geotécnica, presa de relaves.
- ✓ Conformación de accesos a la presa de relaves (d. Pie, d. Arranque).
- ✓ Estandarización (señalización, controles de seguridad), presa de relaves.
- ✓ Levantamiento topográfico detallado de obra concluida.
- ✓ Movilización del proyecto.
- ✓ Elaboración del informe de construcción (incluye firmas cqa).
- ✓ Entrega de obra.

CAPITULO 6

6.- CONSTRUCCIÓN

6.1.- DESBROCE DE SUELO

En esta partida se han ejecutado las siguientes actividades:

- ✓ Preparación de vías para el tránsito de equipo de carguío y acarreo.
- ✓ Preparación de canchas de desmonte y de suelos (A y B), para su acumulación y posterior extracción en el caso de desmonte producto de la voladura.
- ✓ Desbroce y limpieza, excavación de suelo coluvial en toda el área del vaso, carguío, transporte y acondicionamiento de excedentes de excavación en depósito de desmontes).

Debido a la distancia a los depósitos y al área operativa y demás, los equipos que intervienen son:

- ✓ Tractor CAT D8
- ✓ Excavadora CAT 324D
- ✓ Cargador Frontal CAT
- ✓ Convoy de 04 camiones de capacidad 10 m³

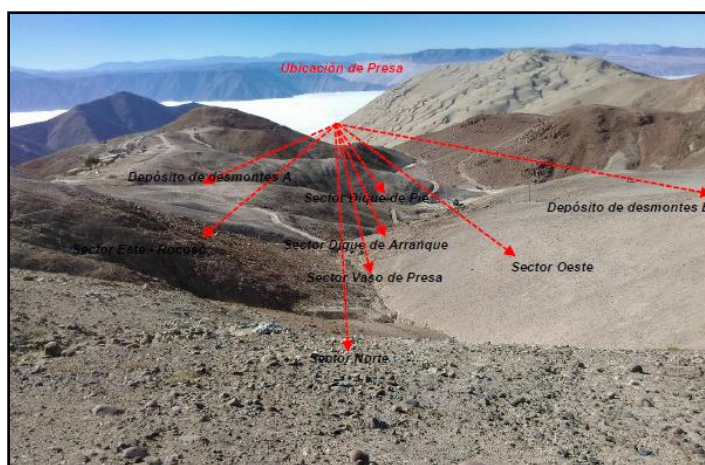


Fig 32.- Vista de Norte a Sur desde la cota 1750 de la ubicación y descripción de los elementos del proyecto.

6.2.- PERFORACIÓN Y VOLADURA

Por las características del macizo rocoso se utilizan 2 mallas de perforación de 0.8 x 0.8 y de 1.5 x 1.5.

La de 0.8 x 0.8 x 6' se utiliza en frentes de perforación cuyo macizo está conformado por roca sedimentaria compactada caracterizada en el registro de laboratorio (revisar Anexo C-1), por ser expansiva y por ende teóricamente requiere mayor VOD o explosivo deflagrante.

La malla de 1.5 x 1.5 x 8' se utiliza en frentes de perforación con macizo rocoso competente caracterizada en el registro de laboratorio (revisar Anexo C-2)

La perforación es en vía seca con un equipo de perforación Jack Leg.

El explosivo con el que se cuenta en la unidad es el Nitrato de amonio (ANFO) con iniciador y buster de dinamita.

En esta partida se han ejecutado las siguientes actividades:

- ✓ Generación de 02 frentes de voladura y 01 frente de desbroce de suelo.
- ✓ La voladura se realiza dos veces al día, la primera a las 1:15 pm y la segunda a las 6:15 pm, cada una sale con 25 taladros con malla variable, en función al terreno, de 0.8x0.8 a 1.5 x 1.5 y 6' a 8' de profundidad, con el método de frontoneo con equipo de perforación Jack Leg.

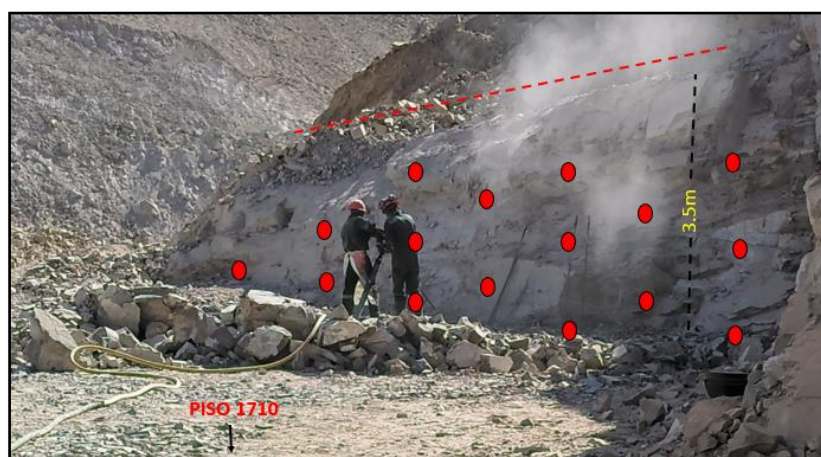


Fig 33.- Malla de perforación 1.5 x 1.5 por frontoneo, en el nivel 1710 del vaso de presa.

6.3.- CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE SUBDRENAJE

En esta partida se han ejecutado las siguientes actividades:

- ✓ Acopio de material de Canteras (Arena gruesa y Canto rodado 1-4" de diámetro) desde Río Acarí.
- ✓ Carguío, transporte y acondicionamiento de materiales de Cantera (Arena Gruesa y Canto rodado) en Obra.
- ✓ Excavación de zanjas en suelo natural, para construcción de los subdrenajes según diseño modificado por la supervisión de obra (principal y secundario) con gradiente de -2% y -1% aguas abajo, con asistencia del área de topografía.
- ✓ Suministro y colocación de cama de Arena gruesa (e=0.20 metros).
- ✓ Suministro y colocación de geotextil no tejido de 400 gr/m².
- ✓ Suministro y colocación de tubería HDPE corrugada perforada, según diseño modificado por la supervisión (4-6" dren secundario y 6-8" dren principal).
- ✓ Suministro y colocación de relleno drenante (canto rodado) según diseño modificado.
- ✓ Traslape de geotextiles sobre el filtro drenante.
- ✓ Suministro y colocación de relleno con material propio seleccionado.
- ✓ Compactación del material de préstamo y ensayos estándar de compactación según especificaciones de diseño.

Equipos que intervienen:

- ✓ Retro-Excavadora CAD 329 DL
- ✓ Cargador Frontal CAT 950 H
- ✓ Plancha Compactadora manual



Fig 34.- Sistema de subdrenaje ubicado bajo el dique de arranque, cota 1710.



Fig 35.- Sistema de subdrenaje en el área de recrecimiento de la presa de relaves, poza de sedimentación y poza colectora final.

6.4.- CONSTRUCCIÓN DE DIQUE DE ARRANQUE

En esta partida se han ejecutado las siguientes actividades:

- ✓ Movimiento de tierras (desbroce y limpieza en suelos, excavación de material inadecuado en el sector del dique de Pie hasta los niveles de cimentación proyectados, carguío-transporte y acondicionamiento de excedentes de excavación de suelos en depósitos de desmontes).
- ✓ Conformación de la cimentación inicial con desmonte de voladura de mayor granulometría (> 1 pie de diámetro) en dos niveles 1705 y 1700, y posterior compactación.
- ✓ Conformación del dique de Pie con materiales de préstamo obtenido en las canteras, según especificaciones técnicas y recomendaciones de la supervisión.
- ✓ Hidratación directa con 3 mangueras de 2' precedente a la compactación con rodillo.
- ✓ Controles de campo (compactación en Panel-Test) y toma de muestras para ensayos de laboratorio en suelos, rocas (EMS, EMR, PETROGRAFÍA, GEOQUÍMICA, ver Anexo D-1).
- ✓ Control topográfico interno y externo de dique con asistencia del área de topografía-mina.

- ✓ Perfilado de la superficie interna del 100% del talud aguas arriba del Dique de pie hasta el Dique de arranque (área de recrecimiento) y perfilado del talud externo (aguas abajo del dique de pie).
- ✓ Orden y limpieza de áreas disturbadas.
- ✓ Traslado de excedentes y acopio en depósito de desmontes.

Los equipos que intervienen son:

- ✓ Retro-Excavadora CAD
- ✓ Retro-Excavadora CAD
- ✓ Cargador Frontal CAT 950 H
- ✓ Plancha Compactadora manual
- ✓ Rodillo compactador de 12 Tn CAT CS56
- ✓ Excavadora 329DL
- ✓ Excavadora DOOSAN.
- ✓ Tractor Oruga CAT D8T
- ✓ Convoy de Camiones.



Fig 36.- Control topográfico del talud aguas debajo del dique de arranque de 1V/2H.

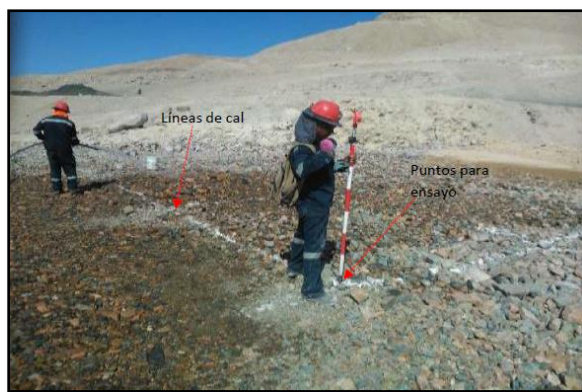


Fig 37.- Ensayo de asentamientos en el nivel 1723

6.5.- CONSTRUCCIÓN DEL DIQUE DE PIE

En esta partida se han ejecutado las siguientes actividades:

- ✓ Movimiento de tierras (desbroce y limpieza en suelos, excavación de material inadecuado en el sector del dique de Pie hasta los niveles de cimentación proyectados, carguío-transporte y acondicionamiento de excedentes de excavación de suelos en depósitos de desmontes).
- ✓ Conformación del dique de Pie con materiales de préstamo obtenido en las canteras, según especificaciones técnicas y recomendaciones de la supervisión.
- ✓ Hidratación directa con 3 mangueras de 2' precedente a la compactación con rodillo.
- ✓ Controles de campo (compactación en Panel-Test) y toma de muestras para ensayos de laboratorio en suelos, rocas (EMS, EMR, PETROGRAFÍA, GEOQUÍMICA, ver Anexo D-1)
- ✓ Perfilado de la superficie interna del 100% del talud aguas arriba del Dique de pie hasta el Dique de arranque (área de recrecimiento) y perfilado del talud externo (aguas abajo del dique de pie).
- ✓ Orden y limpieza de áreas disturbadas.
- ✓ Traslado de excedentes y acopio en depósito de desmontes.

Los equipos que intervienen son:

- ✓ Retro-Excavadora CAD 329 DL

- ✓ Cargador Frontal CAT 950 H
- ✓ Rodillo compactador de 12 Tn CAT CS56
- ✓ Excavadora 329DL
- ✓ Tractor Oruga CAT D8T
- ✓ Convoy de Camiones.



Fig 38.- Movimiento de desmonte al dique de pie.

6.6.- CONSTRUCCIÓN DE POZA DE SEDIMENTACIÓN

Como obra civil de manejo de aguas la poza de sedimentación tiene como objetivo separar las partículas en suspensión de mayor tamaño y dejar pasar a la poza colectora final agua con sedimentos finos.

En esta partida se han ejecutado las siguientes actividades:

- ✓ Movimiento de tierras (desbroce y limpieza, excavación de suelos hasta los niveles de cimentación proyectados).
- ✓ Perfilado y nivelación de la superficie interna de excavación.
- ✓ Acopio de materiales (agregados, cemento, agua, fierros, maderas y herramientas).
- ✓ Encofrado de la estructura de la poza.
- ✓ Preparación de concreto armado y vaciado en el encofrado.
- ✓ Desencofrado, orden y limpieza del área.

Los equipos que intervienen son:

- ✓ Excavadora 329DL

- ✓ Retro-Excavadora CAT



Fig 39.- Poza de sedimentación de finos

6.7.- CONSTRUCCIÓN DE POZA COLECTORA FINAL

En esta partida se han ejecutado las siguientes actividades:

- ✓ Movimiento de tierras (desbroce y limpieza en suelos, excavación de material inadecuado en el sector de Poza colectora hasta los niveles de cimentación proyectados, carguío-transporte y acondicionamiento de excedentes de excavación de suelos en depósitos de desmontes).
- ✓ Perfilado y nivelación de la superficie interna del 100% de la poza.
- ✓ Orden y limpieza de áreas disturbadas.
- ✓ Traslado de excedentes y acopio en depósito de desmontes.
- ✓ Excavación de zanjas para anclaje de geosintéticos.

Los equipos que intervienen son:

- ✓ Excavadora 329DL
- ✓ Retro-Excavadora CAT



Fig 40.- Poza colectora de aguas, final.

6.8.- IMPERMEABILIZACIÓN CON GEOSINTÉTICOS

En esta partida se han ejecutado las siguientes actividades:

- ✓ Suministro e instalación de geotextiles no tejidos de 400 gr/m2.
- ✓ Suministro e instalación de geomembranas HDPE lisa de 1.5 mm y 2.0 mm de espesor.
- ✓ Suministro e instalación de GCL-EUROBENT.
- ✓ Detalles del sistema de impermeabilización con geosintéticos en los distintos componentes de la presa de relaves (Vaso, Dique de Arranque, Dique de Pie, Poza colectora de infiltraciones) revisar en los Anexos A-3, A-4, D-2)

Los equipos que intervienen son:

- ✓ Equipo de soldadura por extrusión.
- ✓ Equipo de soldadura por cuña.
- ✓ Equipo de soldadura por aire caliente(LEISTER)
- ✓ Retro-Excavadora CAT



Fig 41.- Vista de la impermeabilización del vaso de presa con Geotextil 420g/m2, GCL (membrana de arcilla), geomembrana 1.5 y 2 mm de espesor.



Fig 42.- Vista del vaso de presa impermeabilizado.

6.9.- INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA

En esta partida se han ejecutado las siguientes actividades:

- ✓ Construcción de Bases fijas de concreto (BM-01 y BM-02).
- ✓ Construcción de Hitos de concreto, para medición y control topográfico.
- ✓ Construcción de Briquetas de concreto, para medición y control topográfico.
- ✓ Perforación e instalación de piezómetros tipo Casagrande (PZ-IN-01, PZ-IN-02, PZ-03), incluido materiales, insumos y lectura de base(ver Anexo A-5, D-3).

Perforación e instalación de inclinómetros verticales (PZ-IN-01 y PZ-IN-02), incluido materiales, insumos y lecturas de base.

Es necesario indicar que los “piezómetros-inclinómetros” instalados en la etapa 1 (crecimiento hasta la cota 1724 m.s.n.m.), deben ser cambiados a cuerda vibrante conforme progresa la etapa de recrecimiento de la presa para no quedar obsoletos y posteriormente (mediano plazo) se debe evaluar la necesidad de incrementar la red de piezómetros e inclinómetros.

Los equipos que intervienen son:

- ✓ Equipo de perforación diamantina.
- ✓ Retro-Excavadora CAT



Fig 43.- Instalación de piezómetro 02, en el dique de arranque a vota 1710.



Fig 44.- Vista de piezómetros e Inclinómetro de la presa de relaves.

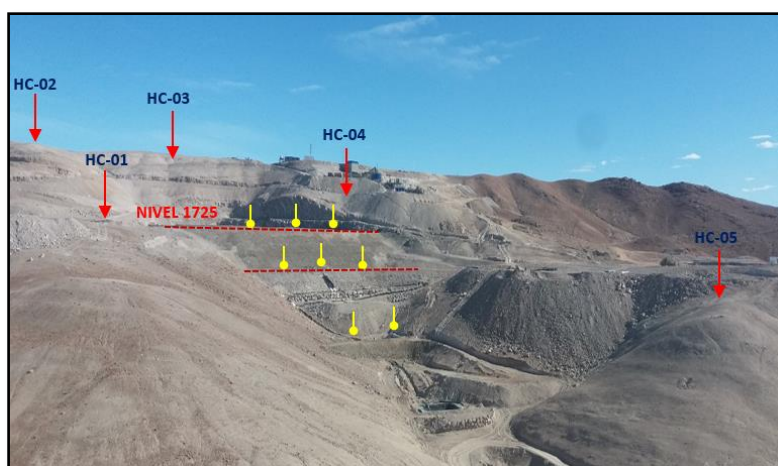


Fig 45.- Sistema de control topográfico de asentamientos diferenciales en el tiempo.

6.10.- CONSTRUCCIÓN DEL CANAL DE CORONACIÓN

En esta partida se han ejecutado las siguientes actividades:

- ✓ Construcción del canal de coronación Este y Oeste, mediante excavación de suelo natural con excavadora, perfilado y nivelación, conformación de canal e impermeabilización con concreto simple ($f'c$: 210 kg/cm²).

Los equipos que intervienen son:

- ✓ Retro-Excavadora CAT
- ✓ Cargador Frontal CAT 950H
- ✓ Equipo de mezclado de concreto.



Fig 46.- Canal de coronación, vista Este a Oeste.

CAPITULO 7

7.- CONTROL DE CALIDAD

7.1.- TOPOGRAFICO

Los trabajos de control topográfico, se han realizado durante todo el horizonte de duración del proyecto con la finalidad de tener un control adecuado de los niveles de excavación, niveles de compactación en la conformación de los diques, control de gradientes en las zanjas de subdrenajes, mediciones de trabajos ejecutados y valorización a contratistas que han ejecutado los trabajos de impermeabilización con geosintéticos e instalación de instrumentación geotécnica. Así como también garantizar los criterios de diseño base y modificaciones al mismo. La base topográfica para desarrollo de todo el proyecto se constituye por los puntos “BM-01 y BM-02”.

En el proceso constructivo se ha realizado el control topográfico usando el siguiente instrumental de campo, 100% bajo la administración de la empresa:

Estación total Leica “TS-06 PLUS-R1000, 1 segundo de precisión”, con accesorios completos.

- ✓ Cintas métricas de lona de 30-50 metros.
- ✓ Flexómetro de 5-8 metros.
- ✓ Vernier digital Marca “Trupper”.
- ✓ Brújula Brunton.

7.1.1.- ENSAYOS DE CAMPO

- ✓ Densidad de campo. - Durante los trabajos de construcción de los diques de arranque-pie, construcción del sistema de subdrenajes, anclaje de geosintéticos se han realizado controles de densidad de campo para verificar el grado de compactación de los rellenos respectivos, según especificaciones técnicas del Proyectista y aspectos variados por la supervisión de obra (ver Anexo B-1).

- ✓ Registros piezométricos e inclinométricos. - Este control ha sido desarrollado con la finalidad de ver el comportamiento del nivel de agua en los piezómetros. Para esto se ha empleado los siguientes instrumentos (Sensor inclinométrico biaxial de Geokon, serie 1514502, Modelo GK-604D-M y Sensor del nivel de agua Modelo 01-Hydratechnik).
- ✓ Control de asentamientos diferenciales. - Este control ha sido desarrollado con la finalidad de evaluar los asentamientos diferenciales (Dx, Dy, Dz), en los componentes principales de la Presa de relaves (ver Anexo A-5).
- ✓ Ensayos de compactación “PANEL-TEST”. - Este control ha sido realizado para garantizar el grado de compactación adecuado en la conformación del “Dique de arranque y Dique de Pie de la Presa de relaves” (ver Anexo B-1).

7.2.- CONTROL DE CALIDAD EN INSTALACIÓN DE GEOSINTÉTICOS

Durante la instalación de geosintéticos, se ha realizado un control detallado de los protocolos de prueba revisados por el Supervisor, aprobados y validados por la empresa minera (Anexo: B-3, B-4), Certificados de calibración de equipos: Certificados de calidad de materiales (Anexo D-2)

Los ensayos destructivos de control de calidad son los siguientes:

-Por tensión.- En el cual se extrae una muestra de la unión soldada, por extrusión, de dos paños de geomembrana de una dimensión aproximada de 0.4x0.5, el que se secciona obteniendo tiras (> 25) de 2cm x 30 cm, los cuales se ensayan a tensión determinando la calidad de la soldadura por extrusión (ver Anexo D-4).



Fig 47.- Tira de 2cm x 30 cm, vista en sección, para su posterior ensayo.

-Por presión.- En el cual se selecciona una unión por fusión térmica de dos paños de geomembrana, se sella de ambos extremos con soldadura de extrusión y se perfora de un lado con un barómetro al cual se le inyecta aire hasta los 30 Mpa y esperar por un tiempo no menor a 5 min, determinando la calidad de la soldadura y las características de presión y temperatura para las características de la geomembrana (ver Anexo D-4).



Fig 48.- Control de calidad de soldadura por fusión.

CAPITULO 8

8.- RESULTADOS

8.1.- ANALISIS DE ESTABILIDAD

Los análisis de estabilidad de taludes, se efectuaron empleando parámetros de cohesión, fricción y peso específico; asignándoles un comportamiento según el criterio de Mohr–Coulomb en el caso de unidades geotécnicas conformadas por “Suelos y Rocas Malas”. En el caso de unidades geotécnicas conformadas por rocas “Buena, Regular” se les asignó un comportamiento según el criterio de rotura de Hoek-Brown a los materiales constitutivos del “modelo geológico-geotécnico” para condiciones “estáticas y pseudo-estáticas”.

Los resultados del análisis de estabilidad, se describen líneas abajo:

✓ Resultados estáticos. - Los resultados del análisis de estabilidad mostrados en la tabla 19 (Anexo D-4) para condiciones estáticas muestran factores de seguridad “F.S” mayores a los criterios de diseño establecidos en la tabla 18, por tanto, esperan condiciones estables en la Presa de relaves.

✓ Resultados pseudo-estáticos. - Los resultados del análisis de estabilidad mostrados en la tabla 19 (Anexo D-4) para condiciones pseudo-estáticas muestran factores de seguridad “F.S” mayores a los criterios de diseño establecidos en la tabla 18, por tanto, esperan condiciones estables en la Presa de relaves.

Tabla 21.- Resultados del análisis de estabilidad por secciones de análisis geotécnicos.

SECCIÓN GEOTÉCNICA	FASEO ETAPA DE OPERACIONES EN LA PRESA DE RELAVES	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD	
		CONDICIONES ESTÁTICAS	CONDICIONES PSEUDO-ESTÁTICAS
A-A'	Zona Norte	1.67	1.26
B-B'	Zona Oeste	2.11	1.57
C-C'	Zona Este	1.96	1.22
D-D'	Fase 01 (Crecimiento 1730 msnm)	1.54	1.06
	Fase 02 (Recrecimiento 1735 msnm)	1.33	0.94
	Fase 03 (Recrecimiento 1740 msnm)	1.48	1.04

8.2.- CONTROL TOPOGRAFICO DE PUNTOS

En la Presa de relaves y sus componentes, se han ubicado estratégicamente “Hitos de control topográfico” en terreno firme (no expuesto a movimientos) enlazados a controles de referencia del Proyecto (MB-01 y BM-02) los cuales también están enlazados a señales del Instituto Geográfico Nacional (I.G.N.), estos hitos servirán de base para el control topográfico durante el monitoreo de taludes (Control de asentamientos diferenciales). En áreas susceptibles a deslizamientos (zonas potencialmente inestables dentro de la Presa de relaves y sus componentes) se han colocado Puntos de control topográfico (cabeza de los piezómetros y briquetas de concreto) para evaluar los asentamientos diferenciales (desplazamiento vertical y/o horizontal), este monitoreo podría realizarse inicialmente con una frecuencia de 7 días, hasta obtener una curva de tendencias de acuerdo a las consideraciones y sugerencias del ingeniero geotecnista. Adicionalmente al control topográfico debe realizarse la evaluación geotécnica de toda la instrumentación geotécnica (piezómetros e inclinómetros, red de Hitos-Puntos de control topográfico, ensayos de mecánica de suelos). Para el monitoreo de estabilidad física en la Presa de debe implementar un cronograma de inspecciones de rutina (semanal, mensual y trimestral), pudiéndose variar de acuerdo a las consideraciones que pueda tomar el ingeniero responsable en base a criterios técnicos.

Por otro lado, se debe inspeccionar indistintamente del cronograma de monitoreo en los siguientes eventos particulares:

- ✓ Movimientos sísmicos de intensidad moderada en la región con Magnitud >4.5 en la escala de Richter.
- ✓ Acto de sabotaje conocido o que se sospeche en contra de alguna instalación del proyecto.
- ✓ Desastres naturales que podrían comprometer la estabilidad de los taludes.

8.3.- DIQUE DE ARRANQUE

Esta componente de la Presa de Relaves, han sido construida íntegramente con material de préstamo obtenido en canteras adyacentes al área de la presa de relaves. Estos materiales de préstamo (rellenos) han sido conformados mediante compactación rodillo liso vibratorio de 12 toneladas y equipos LHD (Carga-Acarreo y Descarga) en capas sucesivas de 0.4-0.6 metros de espesor, desde el nivel de cimentación hasta el nivel de coronación, según especificaciones técnicas del Proyectista y sugerencias de la supervisión. La geometría final del Dique de arranque se resume en los siguientes párrafos.

- ✓ Volumen de material de préstamo instalado: 43,601.0 m³.
- ✓ Talud aguas arriba: 1.0H/1.0 V.
- ✓ Talud aguas abajo: 1.8.0H/1.0 V.
- ✓ Cota de cresta de coronación: 1725 m.s.n.m.
- ✓ Ancho de cresta de coronación: >6.0 metros.
- ✓ Longitud de cresta de coronación: 120.0 metros.
- ✓ Cota máxima de embalse: 1724 m.s.n.m.
- ✓ Tipo de Material: GP-GM.
- ✓ Estructura: Homogénea (Terraplén).

Los planos de construcción, registros de ensayos de campo, ensayos de laboratorio, registro fotográfico y cuaderno de obra se encuentran detallados en los anexos respectivos. El resumen de los metrados de la construcción del dique de arranque se muestra en la tabla siguiente.

Tabla 22.- Resumen de metrados en la construcción del dique de arranque

RELLENO CON MATERIALES DE PRÉSTAMO EN DIQUE DE ARRANQUE				
CANTERA	DESTINO	VOLUMEN	UNIDAD	% RELATIVO
CANtera VASO DE PRESA	Dique de arranque	18726	m3	42.9%
CANtera CÁRCAMO	Dique de arranque	20725	m3	47.5%
CANtera GAVILÁN	Dique de arranque	1125	m3	2.6%
CANtera NIVEL 03	Dique de arranque	1450	m3	3.3%
CANtera PLANTA	Dique de arranque	1413	m3	3.2%
CANtera "A"-GARITA	Dique de arranque	163	m3	0.4%
		43601	m3	100%

Cuando el conjunto de materiales utilizados en la construcción de presa La Bonita es representado en la curva granulométrica de algunas presas construidas a base de desmorte en el mundo se puede observar que se aproxima en su gradación, orden suave y constante de granulometría conjunta.

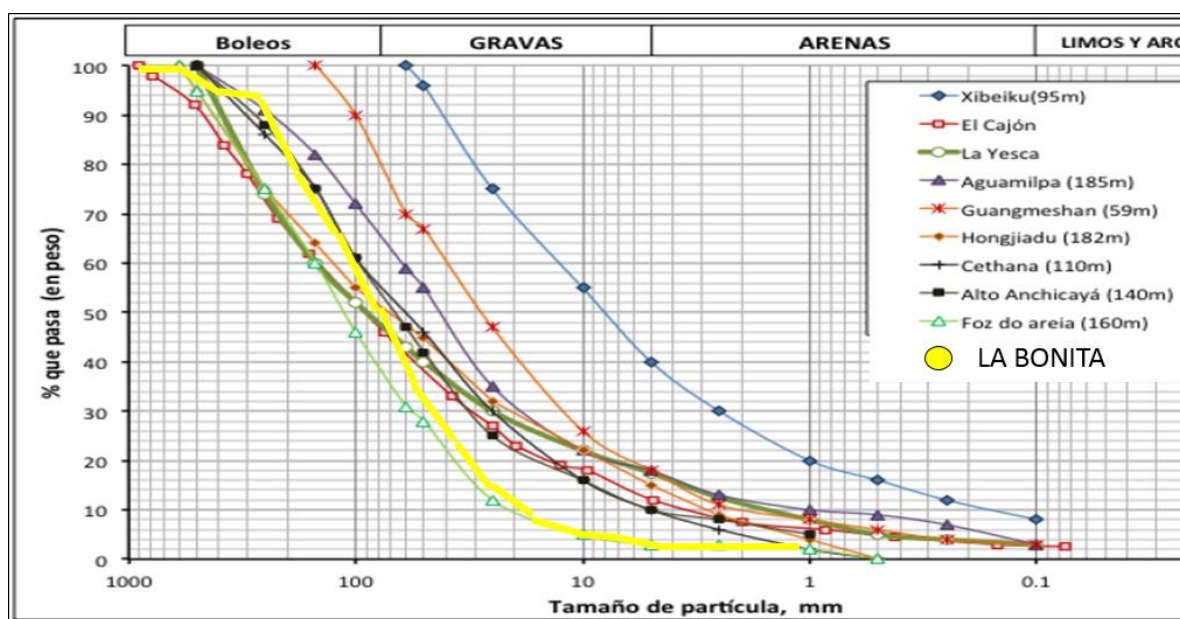


Fig 49.- Comparación de la curva granulométrica de presa La Bonita .

8.4.- ENSAYO DE ASENTAMIENTOS:

El asentamiento inicial que corresponde a la primera capa conformada por rocas de mayor granulometría tipo 3B y 3C (<1m) conformada enteramente por desmorte de cantera (ver tabla granulométrica de la sección diseño), hidratada a razón de 100 L/m³, obtuvo como resultado un asentamiento máximo de 20 cm y un asentamiento promedio de 8 cm luego de 12 pasadas, también se determinó que el número de pasadas óptimo es de 8 a 10

pasadas pues manifiesta un diferencial de milímetros, con esto se reafirma los propuestos de la literatura sobre la compactación de presas y también las recomendaciones de Manual de Manejo Ambiental de Relaves Mineros – DGAAM-2005.

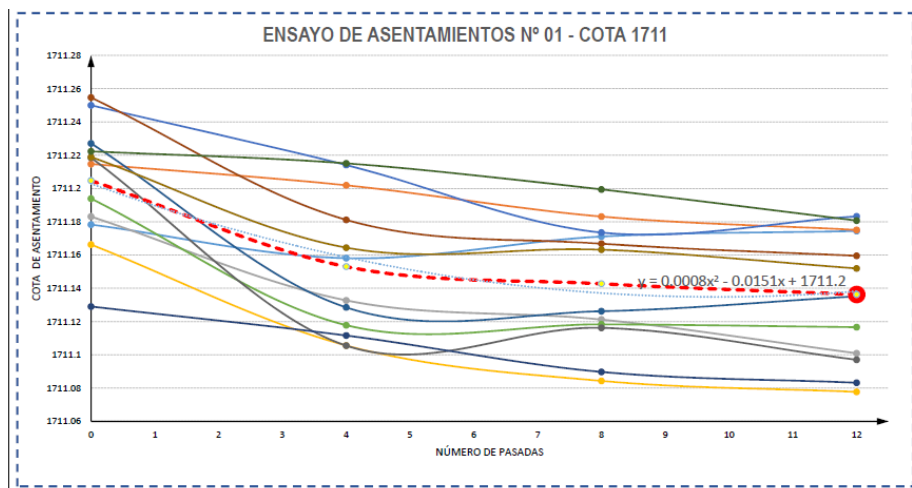


Fig 50.- Resultados del ensayo de asentamientos en el dique de arranque, cota 1711

Estos ensayos se realizaron para cada metro de altura que crecía el dique de arranque obteniendo resultados similares tanto en material de cantera como en el material resultante de la mezcla de cantera y desmonte de mina.

8.5.- SISTEMA DE SUBDRENAJE

La construcción del sistema de subdrenajes, ha sido realizada mediante la excavación de zanjas usando “excavadoras y retroexcavadoras”, según disponibilidad de maquinarias y equipos, los cuales posteriormente se han rellenado con filtros compuestos de materiales altamente permeables ($K > 2.5 \times 10^{-1}$ cm/s) para garantizar su eficacia del sistema de subdrenaje de las infiltraciones que deben ser conducidas hacia las pozas de sedimentación y poza colectora de infiltraciones respectivamente, en un hipotético evento de rotura de geomembranas del sistema de impermeabilización. El sistema de subdrenajes se compone por una red de subdrenes “principales y secundarios”, cuyas dimensiones, distribución y gradientes hidráulicos están en función al área tributaria asignada a cada uno de los tramos en evaluación (Anexo A-1)

El resumen de las características más importantes en los sistemas de subdrenajes “principal y secundario” se muestran en los siguientes párrafos:

Subdren Principal:

- ✓ Longitud 391 metros.
- ✓ Zanjas de sección rectangular 1.0x0.8m².
- ✓ Material de base (cama) conformado por arenas y gravas de e=0.2 metros de altura.
Geotextil no tejido de 400 gr/m².
- ✓ Tuberías HDPE corrugada-perforada de 6-8”de diámetro y accesorios para empalme a la red secundaria de 4-6” de diámetro (Yeé 45°), tapas HDPE y Uniones HDPE.
- ✓ Filtro drenante (Gravas y cantos rodados de 1-8 pulgadas de diámetro), espesor 0.40 metros de altura.
- ✓ Relleno con material propio seleccionado del sitio, compactado y consolidado usando plancha compactadora vibratoria de 9.5 HP, altura-espesor variable del relleno entre 0.20-0.60 metros.

Subdren Secundario:

- ✓ Longitud 71 metros.
- ✓ Zanjas de sección trapezoidal 0.8x0.8m².
- ✓ Material de base (cama) conformado por arenas y gravas de e=0.2 metros de altura.
- ✓ Geotextil no tejido de 400 gr/m².
- ✓ Tuberías HDPE corrugada-perforada de 4-6”de diámetro y accesorios para empalme a la red principal de 6-8” de diámetro (Yeé 45°), tapas HDPE y Uniones HDPE.
- ✓ Filtro drenante (Gravas y cantos rodados de 1-8 pulgadas de diámetro), espesor 0.40 metros de altura.
- ✓ Relleno con material propio seleccionado del sitio, compactado y consolidado usando plancha compactadora vibratoria de 9.5 HP, altura-espesor variable del relleno entre 0.20-0.60 metros.

8.6.- INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA

La instrumentación geotécnica correspondiente a la etapa 1, se constituye de instrumentación geotécnica profunda (Piezómetros de tubo abierto tipo Casagrande e

inclinómetros) e instrumentación geotécnica superficial (Red de puntos e hitos de control topográfico). La distribución de la instrumentación es acorde con el desarrollo y crecimiento de la presa hasta la cota 1725 m.s.n.m:

- ✓ Piezómetros tipo Casagrande: 03 unidades (55 ejecutados).
- ✓ Inclinómetros: 02 unidades (45 metros ejecutados).
- ✓ Bases fijas de medición: 05 unidades.
- ✓ Hitos de control: 06 unidades.

8.7.- CANAL DE CORONACIÓN

Esta componente de la Presa de Relaves, ha sido construida íntegramente por la empresa contratista obras civiles. El material que conforma la estructura del canal de coronación es concreto simple (mezcla de agregados, cemento, agua y aditivos). Los detalles se resumen en los siguientes párrafos.

Canal de coronación – Sector Este:

- ✓ Tipo de sección transversal: Rectangular
- ✓ Dimensiones de sección transversal: 0.3x0.4m².
- ✓ Gradiente: 0.01
- ✓ Longitud de cresta de coronación: 215.0 metros.
- ✓ Tipo de Material de fundación: GP/SC-SM.
- ✓ Tipo de Material de construcción: Concreto simple f'c: 210 Kg/cm².
- ✓ Estructura: Homogénea (Concreto simple).

Canal de coronación – Sector Oeste:

- ✓ Tipo de sección transversal: Rectangular
- ✓ Dimensiones de sección transversal: 0.3x0.4m².
- ✓ Gradiente: 0.01
- ✓ Longitud de cresta de coronación: 215.0 metros.
- ✓ Tipo de Material de fundación: GP/SC-SM.
- ✓ Tipo de Material de construcción: Concreto simple f'c: 210 Kg/cm².
- ✓ Estructura: Homogénea (Concreto simple).

9.- CONCLUSIONES

- ✓ Las presas históricamente fallaron principalmente en su manejo y en su proceso constructivo, de ahí la importancia de ejecutar un conjunto de estudios previos como lo son los estudios de suelos del área de asentamiento para el dimensionamiento de equipos, material geosintético; el ensayos de permeabilidad y estudios fisicoquímicos del desmonte a utilizar con la finalidad de identificar rocas reactivas; cuando los estudios previos dan viabilidad, el diseño de presa comienza con la estimación del volumen de material requerido considerando la granulometría en la fundación (base de presa), centro del cuerpo de presa, talud interno y externo.

El proceso constructivo de presa comienza con la preparación del área de fundación del cual se extrajo el material suelto y meteorizado de superficie y se realiza un corte escalonado para un mejor asentamiento del dique de contención, seguidamente se realizan los trabajos de instalación del sistema de subdrenaje siguiendo el modelo de un dren francés y pozas de acumulación. Seguido se inicia con los ensayos de compactación para determinar el número de pasadas del material que se va a utilizar (suelo, grava, desmonte mina, desmonte de voladura o mixtas), se inicia la construcción de la presa de relaves con el tendido de desmonte mixto en el centro de la presa y desmonte de mina en el talud interno con grava y suelos hasta alcanzar una altura de 0.5m posterior mojado a razón de 100-200 L/m³ este procedimiento se realiza hasta alcanzar los 15m de altura de diseño y finaliza con la conformación de toda la pared interna de presa para su impermeabilización inicialmente con geotextil, GSL y geomembrana.

- ✓ El proyecto se emplaza sobre el grupo Nazca (Nm-na) que son rocas volcánicas sedimentarias y rocas ígneas pertenecientes al batolito de la costa, reafirmada por las calicatas y sondeos sísmicos realizados, mismos que con el desbroce de suelos hasta llegar en contacto con roca (en su mayoría) e implementando medidas de seguridad (GSL) y siguiendo con las recomendaciones de manejo de presa, aseguraron una correcta fundación para el dique de arranque.
- ✓ En la ingeniería básica para definir los equipos a utilizar en el proyecto se realizó un estudio sísmico y calicatas y poder identificar el tipo de suelo, roca se va a encontrar; para definir el número de equipos se realizó el modelamiento de la presa

de relaves y se seccionó en estratos de 1 metro de potencia y el volumen resultante debe ser movido en uno o dos días pues solo se tiene un turno de trabajo; para la selección de materiales se utilizó el software WIP-FRAG y identificar la granulometría del material y poder destinar su descarga(desmante < 8” al talud interno y externo, desmante grueso>10” al centro del cuerpo de dique); para la selección del número de pasadas de compactación se realizó ensayos de compactación, cada capa de construcción se realizó como mínimo 08 ciclos de rodillo; para la selección de materiales de impermeabilización se consideró los estudios del terreno, materiales utilizados y cagas con el acompañamiento de una empresa de control de calidad de pegado de geosintéticos.

- ✓ Los ensayos de asentamientos, como control de calidad de la construcción del dique de contención, resultó en una variación máxima de 20 cm y un asentamiento promedio de 8 cm luego de 12 pasadas en promedio de todas las capas donde se realizó el ensayo, también se determinó que el número de pasadas optimo es de 8 a 10 pasadas pues manifiesta un diferencial de milímetros, con esto se reafirma los propuestos de la literatura sobre la compactación de presas y también las recomendaciones de Manual de Manejo Ambiental de Relaves Mineros – DGAAM-2005.

10.- RECOMENDACIONES

- ✓ Las presas de relaves a base de desmonte con el tiempo tienen un fenómeno de asentamiento debido a que en material roto tiende a debilitarse en sus superficies angulosas y por ende a acomodarse, existen estudios al respecto realizados en España que mencionan que esta deformación puede llegar hasta un 5% de la altura final pero no existen o no se ha podido encontrar uno en el Perú y sería interesante profundizar en futuras investigaciones.
- ✓ Dentro de los estudios de suelos no se realizó un estudio de las características físicas del suelo dirigido a la voladura de estos, esto generó que 50 taladros se anillaran (no rompe) debido a que el suelo conglomerado de canto rodado y suelo arcilloso compactado absorbe la energía y solo se deforma, este hecho debe ser considerado en próximas obras a realizar en el lugar y en futuros proyectos, estudios.
- ✓ La ingeniería básica estimó 10% adicional de materiales en tuberías utilizados al fin de obra y resultó en 15%, el GCL resultó en -10%, por lo que es necesario un estudio experimental de ratios de consumos en materiales geosintéticos.
- ✓ En el control de calidad los ensayos de asentamientos se realizaron para establecer el número de pasadas óptimo, pero sería recomendable tener una gráfica de asentamientos por equipo y material para ser considerados desde la etapa de ingeniería básica y ajustar la estimación del volumen de desmonte requerido, horas rodillo, etc.

11.- BIBLIOGRAFIA

- Academia de Ingeniería Mexico. (2013). *DISEÑO GEOTÉCNICO DE PRESAS DE GRAN ALTURA DE ENROCAMIENTO CON CARA DE CONCRETO*. Cuauhtémoc-México.
- Alva Hurtado, J. E., & Escalaya Advíncula, M. (2011). Instrumentación Geotécnica de la Presa Pillones-Perú. *Canadian Geotechnical Conference*. Toronto-Canadá.
- Antezana, H. G., & Gandarillas Rodriguez, L. (2010). *ENFOQUE DE DISEÑO DE [RESAS DE ENROCADO CON MEMBRANA IMPERMEABLE*. La Paz-Bolivia: Universidad Privada de Bolivia .
- Aquiles, J. V. (2006). *DISEÑO DE PRESA DE RELAVES ALPAMARCA Y EL USO DE AMTERIAL DE MINA COMO CUERPO DE PRESA*. Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Carvajal, D. F. (2019). *ANÁLISIS DE DEFORMACIONES DE DEPÓSITOS DE RELAVES CON MUROS DE MATERIAL DE EMPRÉSTITO SOMETIDOS A SISMOS CHILENOS*. Santiago de Chile - Chile.
- Caterpillar. (2016). *CONSEJOS PARA LA COMPACTACIÓN DE SUELOS*. Obtenido de <http://s7d2.scene7.com/is/content/Caterpillar/CM20161021-44560-59026>
- Dirección General de Minería(DGM). (2005). *Guía Ambiental Para el Manejo de Relaves Mineros*. Lima-Perú.
- Espinoza, M. E. (2010). *Ingeniería de Pesas de Escollera*. Cuyo-Argentina: Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cuyo.
- Fernandez, S. E. (2017). *EVALUACIÓN DEL FALLO DE PRESA DE RELAVES CON EL MÉTODO DEL ARBOL DE FALLOS*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Filadelfio, C. M. (2014). *ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA PARA LA CIMENTACIÓN DE LA PRESA DE RELAVES FRAYLONES-PROYECTO LA ARENA - LA LIBERTAD*. Cajamarca-Perú: Universidad Nacional de Cajamarca.
- Grupo de Geotecnia-Pontificia Universidad de Valparaiso. (2016). *OPERACIÓN Y CONTROL DE TRANQUES DE RELAVE*. Ciuda de Valparaiso - Chile.
- INGEMMET. (diciembre de 1994). *Repositorio Ingemmet*. Obtenido de https://repositorio.ingemmet.gob.pe/bitstream/20.500.12544/174/67/A-053-Boletin_Lomitas-Nasca-Palpa-Puquio.pdf
- INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS. (2001). *TAILING DAMS RISK OF DANGEROUS OCURRENCES-BULLETIN 121*. Haussmann-Paris.
- Koerner, R. M. (2005). *Desinig With Geosynthetics*. New Jersey-EEUU: Pearcing.
- Martínez, A. P. (2004). *ESTUDIO DE DEFORMABILIDAD DE ESCOLLERAS* . España: Universidad Politécnica de Madrid.
- Oldecop, L., & Rodriguez, R. (2007). *MECANISMOS DE FALLAS DE LAS PRESAS DE ESIDUOS MIENROS*. España: Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX).
- Peña, A. S., & Martínez, A. S. (2016). Presas de tierra y balsas de residuos mineros. *CONGRESO ICOLD DE STAVANGER*. Stavanger, Noruega.

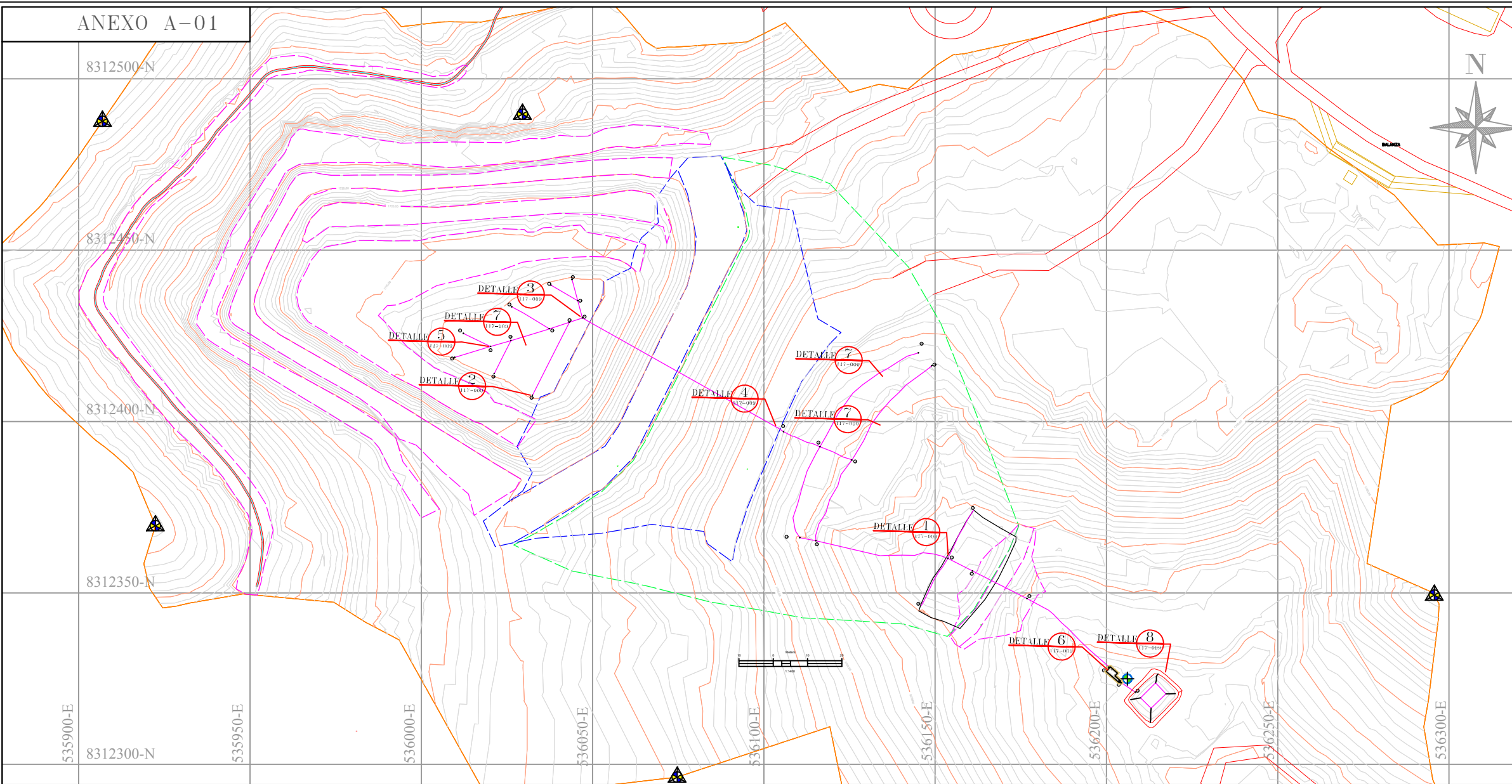
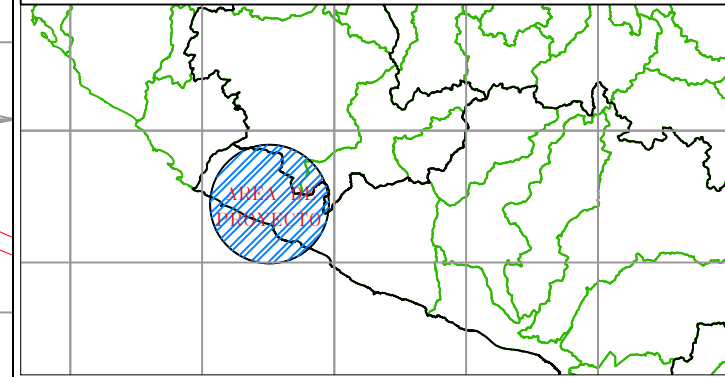
- Quispe, A. I. (2014). *ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA EL DISEÑO DE LA PRESA DE RELAVES COLLPARACRA MINERA MILPO*. Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.
- S., R. V. (2010). La ingeniería geotécnica en las presas de jales mexicanas. *XXV Reunion Nacional de Mecanica Suelos e Ingeniería Geotécnica*. Acapulco, México.
- Seminario de Minería Chilena y sus Desafíos. (2016). *Una vision Integral, Operacion y control de Traques de Relave*. Chile.
- SENAMHI. (2017). *Mapa Climatico del Perú*. Obtenido de <http://www.senamhi.gob.pe/?p=mapa-climatico-del-peru>
- Servicio Nacional de Geología y Minería. (2018). *ESTUDIOS DE NORMATIVAS INTERNACIONALES DE DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, OPERACIÓN, CIERRE Y POST CIERRE DE DEPÓSITOS DE RELAVES*. Chile.
- Servicio Nacional de Geología y Minería, Departamento de Seguridad Minera. (2007). *GRUIA TECNICA DE OPERACION Y CONTROL DE DEPÓSITOS DE RELAVE*. Chile.
- SRK Consulting -Argentina. (s.f.). Mohr Coulom con angulo de fricción interna variable con la presion. Argentina : Universidad de Buenos Aires.
- XXVII Reunión Nacional de Ingeniería Geotécnica. (2016). *Fuerzas de Filtración en Depósitos de Relaves Mineros*. México.
- Zevallos, C. A. (2013). *PROCEDIMIENTOS DE CONTROL DE LA CALIDAD DE MATERIALES DE RELLENO EN LA PRESA DE RELAVES PALLANCATA- AYACUCHO* . Lima, Perú.

12.- ANEXOS

ANEXO A

PLANOS

- A-1) PLANO DE SISTEMA DE SUBDRENAJE
- A-2) PLANO DE SECCIONES GEOFÍSICAS
- A-3) PLANO DE IMPERMEABILIZACIÓN CON GCL
- A-4) PLANO DE IMPERMEABILIZACIÓN CON GEOMEMBRANA 2.0 Y 1.5 mm
- A-5) PLANO DE INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA DE SUPERFICIE
- A-6) PLANO DE SECCIONES GEOTÉCNICAS A, B, C, D.



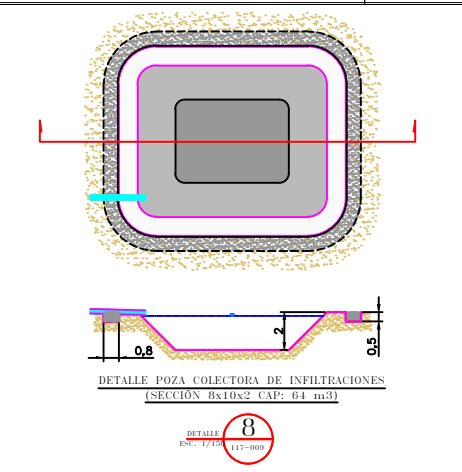
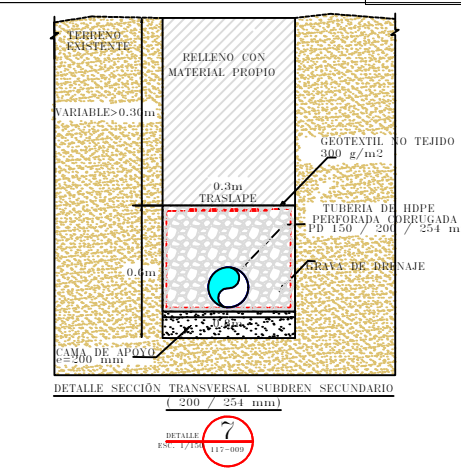
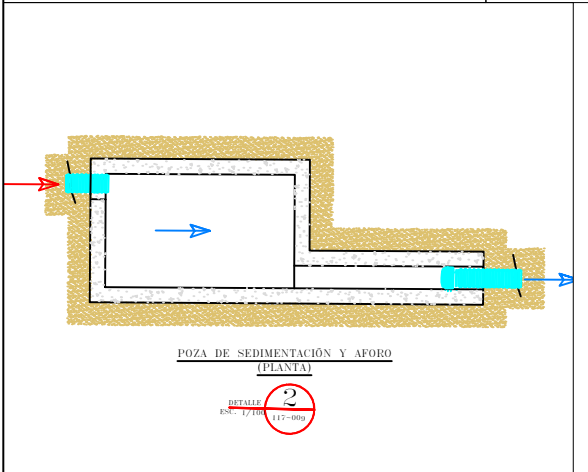
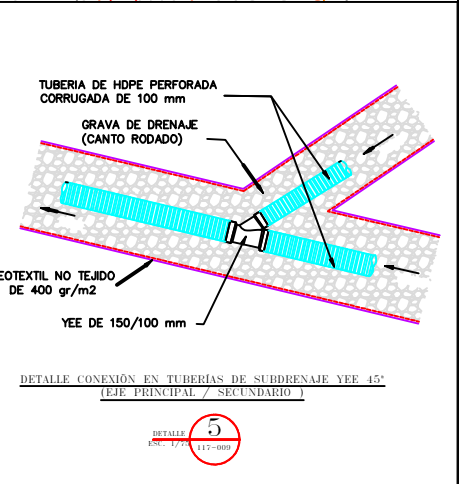
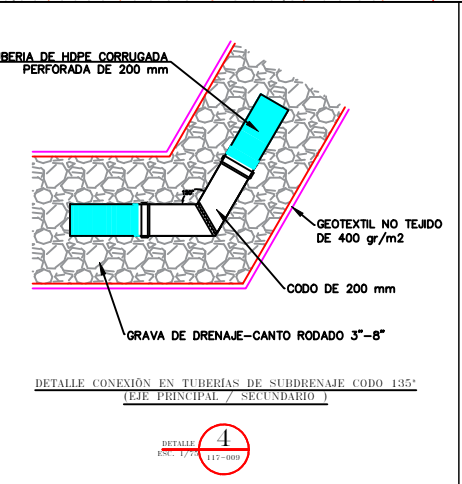
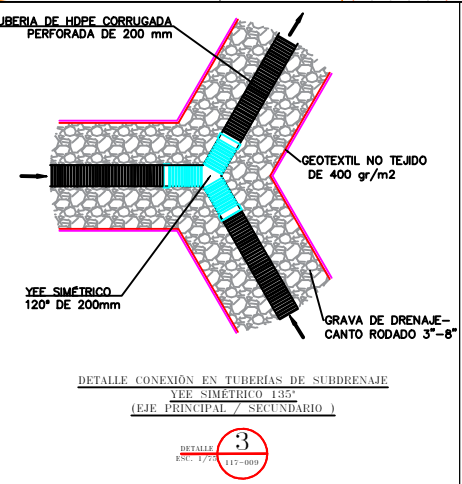
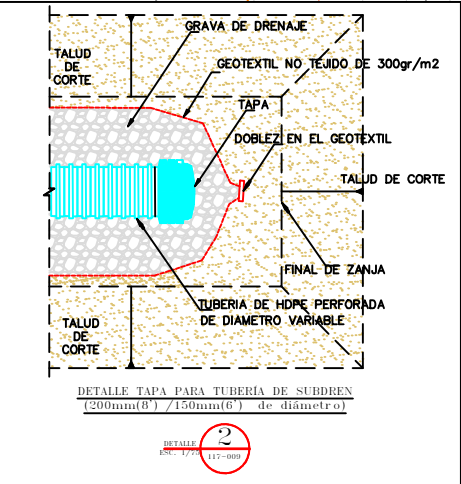
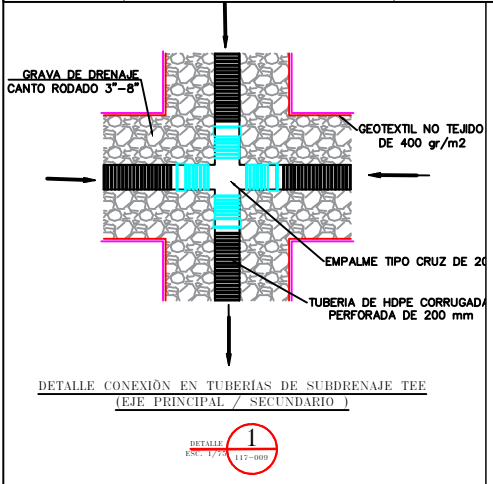
LEYENDA

	CARRETERA AFIRMADA
	CURVAS DE NIVEL 1m/ 5m
	BORDE DIQUE DE ARRANQUE
	BORDE DIQUE DE PIE
	AREA DE RECRECIMIENTO
	BM-BASE FIJA
	POZAS DE SEDIMENTACIÓN Y AFORO
	POZA COLECTORA
	INSTALACIONES PLANTA CONCENTRADORA

TABLA Nº 01
ZANJAS DE SUBDRENAJE PRINCIPAL Y SECUNDARIO

DIAMETRO DE TUBERÍAS mm	ANCHO BASE mm	PROFUNDIDAD mm
203.2	0.5	0.5
152.4	0.5	0.5
101.6	0.5	0.5

DESCRIPCIÓN	METRADO EJECUTADO
Suministro e instalación de tubería ranurada perforada HPDE 8"(Subdrén línea principal)	228
Suministro e instalación de tubería ranurada perforada HPDE 6"(Subdrén línea secundaria)	90
Suministro e instalación de tubería ranurada perforada HPDE 4"(Subdrén línea secundaria)	141



ACUERDO DE CONFIDENCIALIDAD:
ESTE PLANO E INFORMACIÓN CONTENIDA SON PROPIEDAD EXCLUSIVA DE COMPAÑÍA MINERA LINCUNA S.A., EL USO Y REPRODUCCIÓN SIN AUTORIZACIÓN PREVIA DE LA MISMA ESTÁ PROHIBIDA.

BASE TOPOGRAFICA:	I.G.N
TOPOGRAFIA	COMPAÑIA
DIBUJO	R. TAPE
DISEÑO	N. CABELLO
REVISIÓN	J. ESCALANTE
APROBACIÓN	---

AGROMIN S.A.C **AGROMIN LA BONITA S.A.C. LIMA**

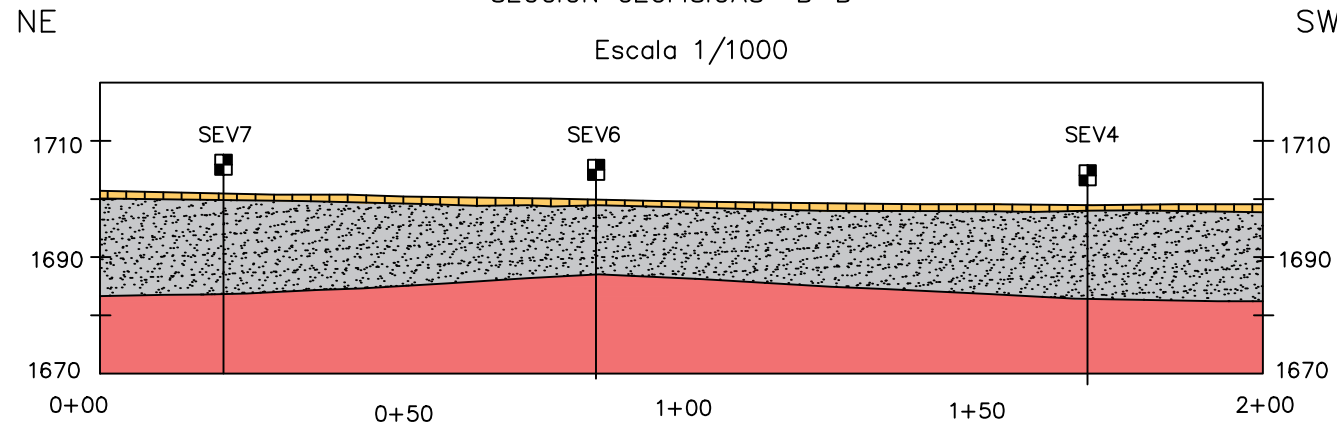
SUPERINTENDENCIA DE PLANTA Y PROCESOS

PROYECTO: PLANTA DE SULFUROS 350 TPD

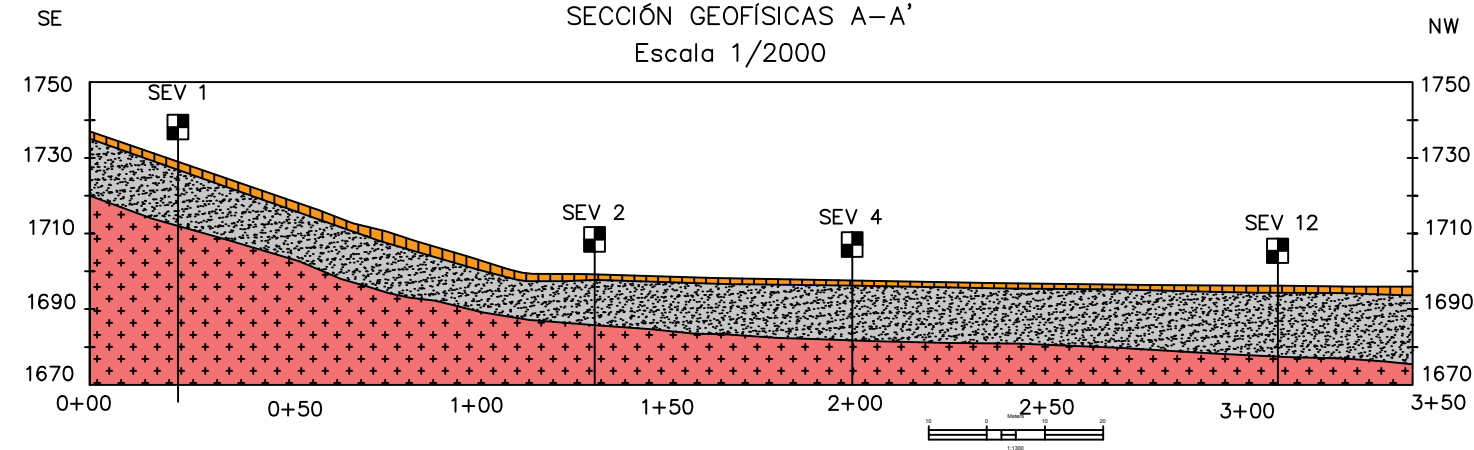
DESCRIPCIÓN DEL PLANO: PRESA DE RELAVES PLANO DE SISTEMA DE SUBDRENAJE

COD.PROYECTO	H&N-117
SUB-CÓDIGO	117
PLANO	H&N-117-002
VERSIÓN	01
FECHA	27/01/2018
ESCALA	1/650

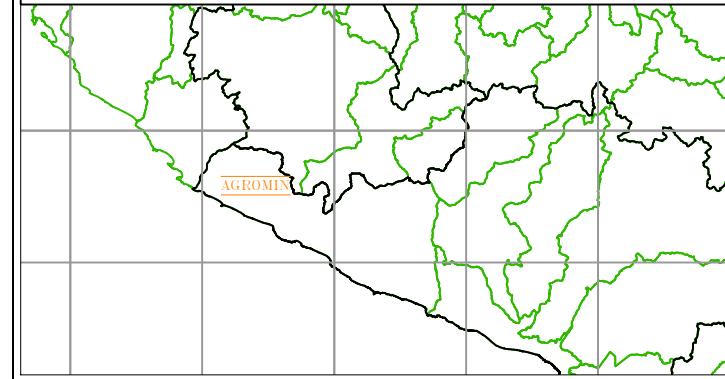
SECCIÓN GEOFÍSICAS B-B'



SECCIÓN GEOFÍSICAS A-A'



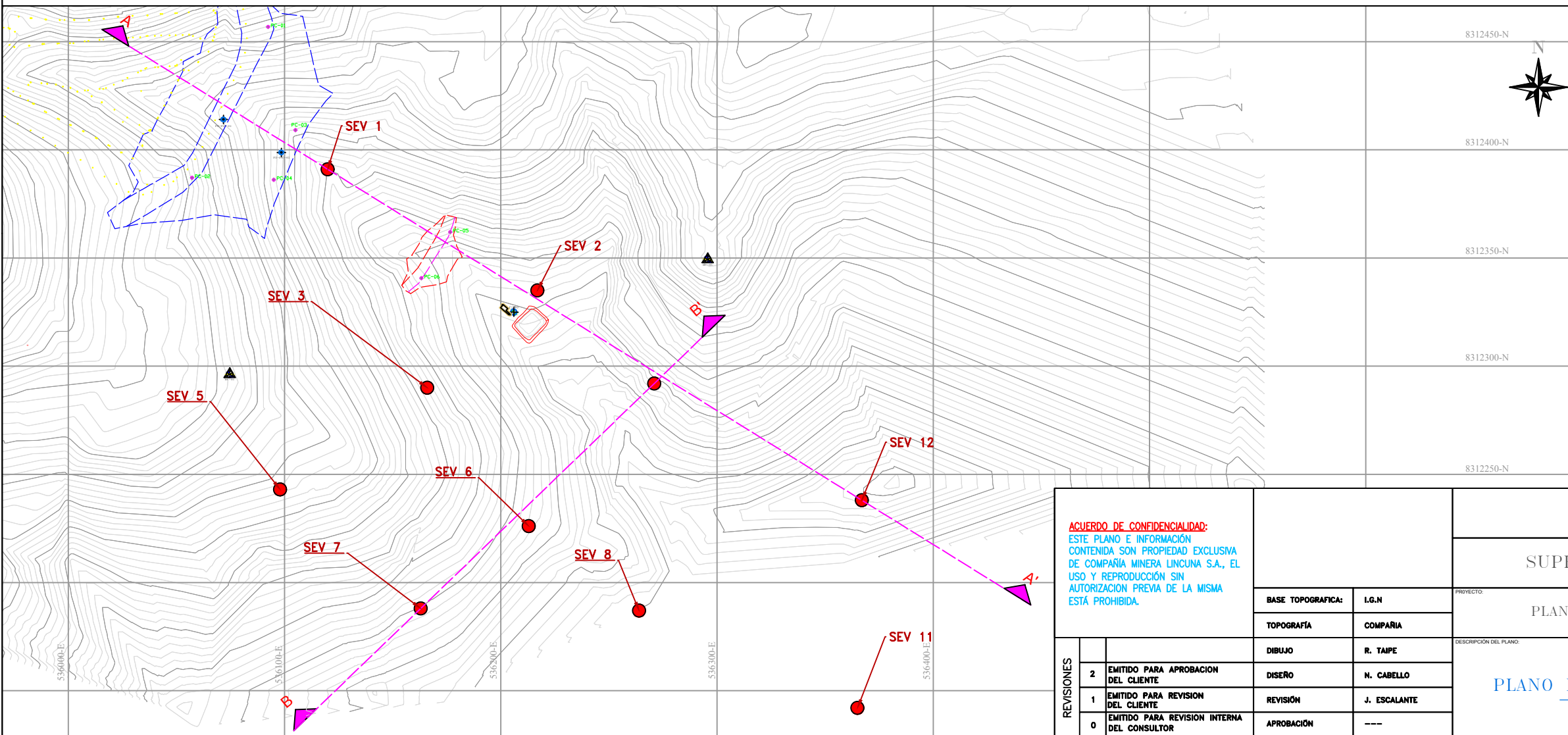
UBICACIÓN DEL PROYECTO



LEYENDA

[Symbol]	CARRETERA AFIRMADA
[Symbol]	CURVAS DE NIVEL 1m/ 5m
[Symbol]	BORDE DIQUE DE ARRANQUE
[Symbol]	BORDE DIQUE DE PIE
[Symbol]	BM-BASE FIJA
[Symbol]	INCLINÓMETRO
[Symbol]	PIEZÓMETRO TIPO CASAGRANDE / CUERDA VIBRANTE
[Symbol]	PUNTO DE CONTROL
[Symbol]	POZAS DE SEDIMENTACIÓN Y AFORO
[Symbol]	POZA COLECTORA
[Symbol]	INSTALACIONES PLANTA CONCENTRADORA
[Symbol]	DIRECCIÓN DE FLUJO DE SUBDRENAJE

PUNTOS E.V.			
SONDAJES	ESTE	NORTE	COTA
SEV-01	536120	8312391	1730
SEV-02	536217	8312335	1700
SEV-03	536166	8312290	1700
SEV-04	536271	8312292	1698
SEV-05	536098	8312243	1709
SEV-06	536213	8312226	1698
SEV-07	536163	8312188	1699
SEV-08	536264	8312187	1697
SEV-09	536263	8312037	1698
SEV-10	536370	8312045	1697
SEV-11	536365	8312142	1695
SEV-12	536367	8312238	1696



ACUERDO DE CONFIDENCIALIDAD:
ESTE PLANO E INFORMACIÓN
CONTENIDA SON PROPIEDAD EXCLUSIVA
DE COMPAÑIA MINERA LINCUNA S.A., EL
USO Y REPRODUCCIÓN SIN
AUTORIZACION PREVA DE LA MISMA
ESTÁ PROHIBIDA.

REVISIONES	DESCRIPCIÓN DEL PLANO	APROBACIÓN
2	EMITIDO PARA APROBACION DEL CLIENTE	R. TAPE
1	EMITIDO PARA REVISION DEL CLIENTE	N. CABELLO
0	EMITIDO PARA REVISION INTERNA DEL CONSULTOR	J. ESCALANTE

AGROMIN S.A.C

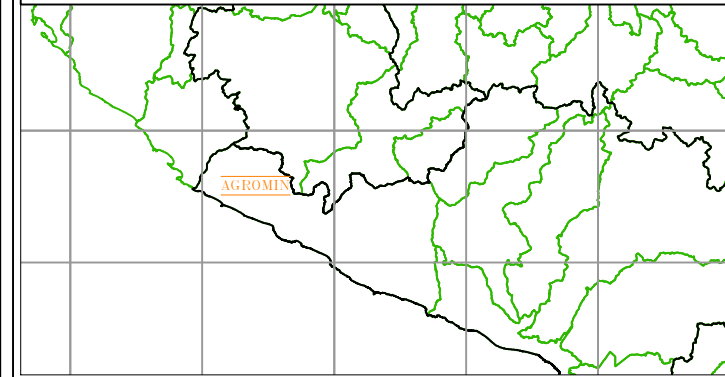


SUPERINTENDENCIA DE PLANTA Y PROCESOS

PLANTA DE SULFUROS 350 TPD

PLANO DE SECCIONES GEOFÍSICAS

COD.PROYECTO	H&N-117
SUB-CÓDIGO	117
PLANO	H&N-117-002
VERSIÓN	01
FECHA	27/01/2018
ESCALA	1/650

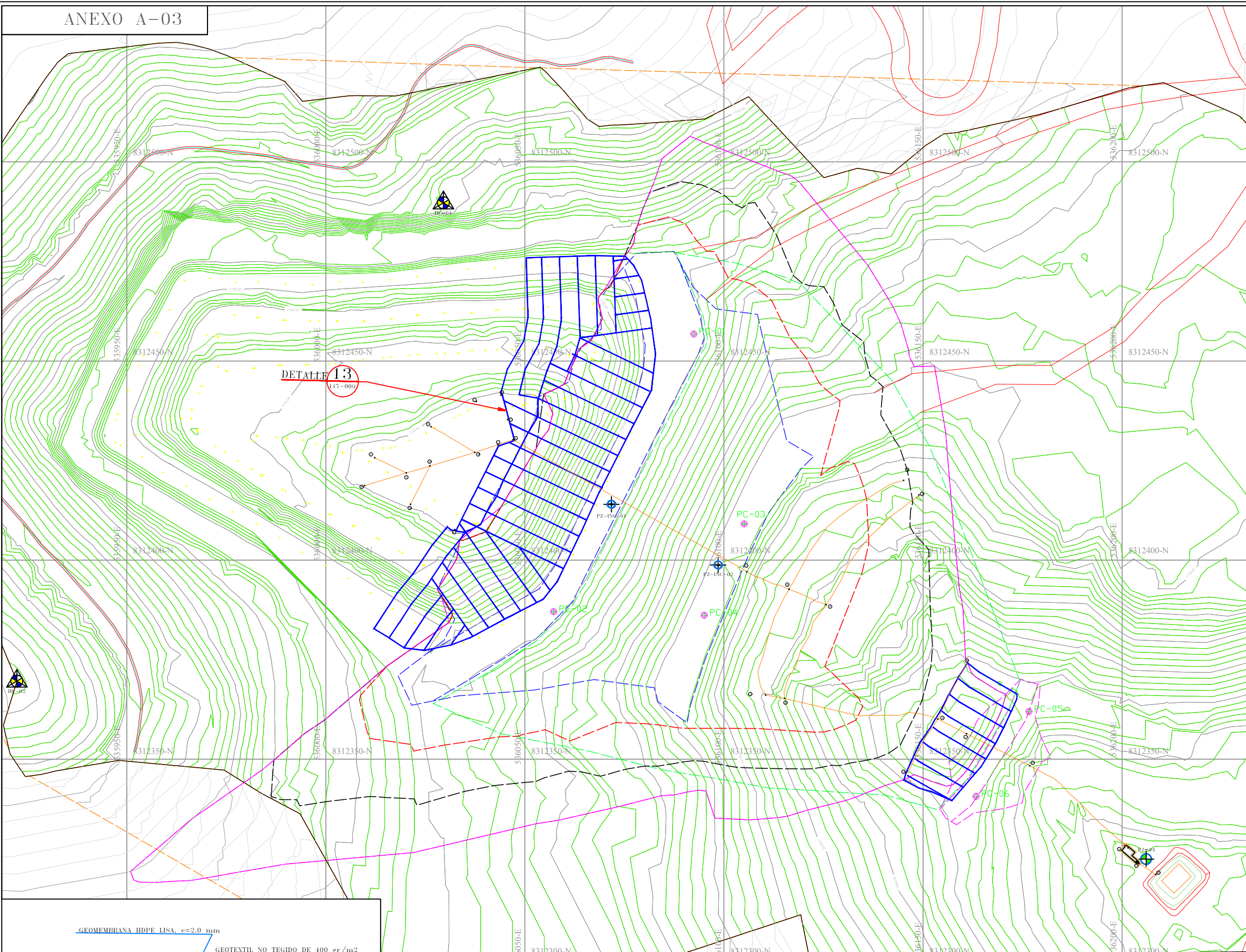


LEYENDA

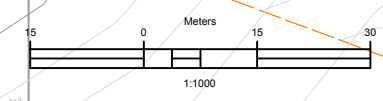
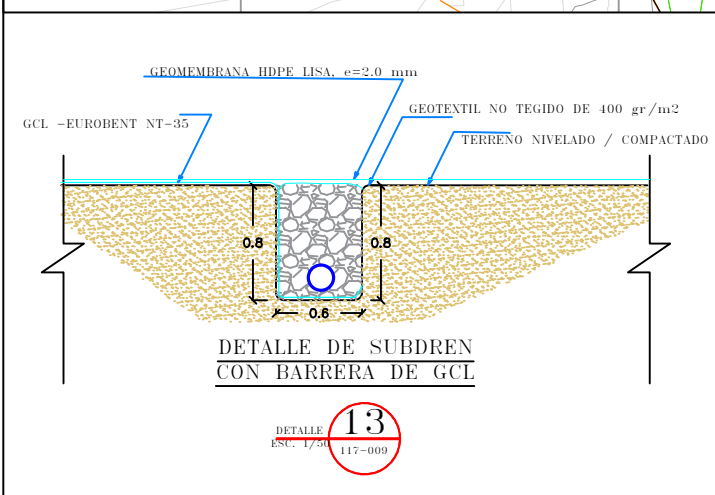
	CARRETERA AFIRMADA
	CURVAS DE NIVEL 1m/ 5m
	BORDE DIQUE DE ARRANQUE
	BORDE DIQUE DE PIE
	AREA DE RECRECIMIENTO
	BM-BASE FIJA
	POZAS DE SEDIMENTACIÓN Y AFORO
	POZA COLECTORA
	INSTALACIONES PLANTA CONCENTRADORA
	LIMITE DE DIQUE -FASE 3
	LIMITE DE DIQUE - FASE 2
	LIMITE DE DIQUE - FASE 1
	SISTEMA DE SUBDRENAJE

METRADO DE GCL INSTALADO

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	METRADO
1	GCL EUROBENT NT-35	m2	6624



DETALLE 13
117-009



REVISIONES	DESCRIPCIÓN	REVISOR	APROBADO
2	EMITIDO PARA APROBACION DEL CLIENTE	N. CABELLO	R. TAPE
1	EMITIDO PARA REVISION DEL CLIENTE	J. ESCALANTE	N. CABELLO
0	EMITIDO PARA REVISION INTERNA DEL CONSULTOR	---	---

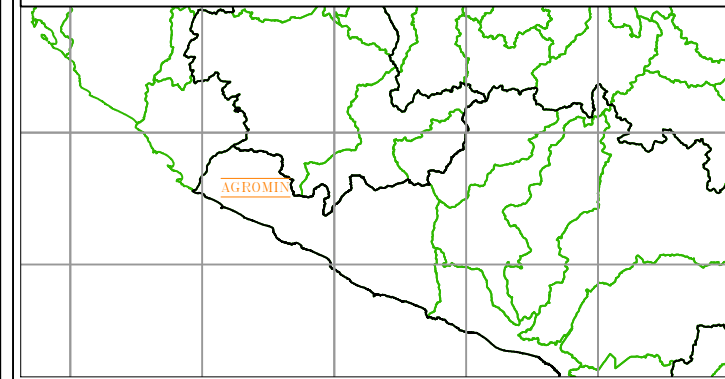
AGROMIN S.A.C **AGROMIN LA BONITA S.A.C. LIMA**

SUPERINTENDENCIA DE PLANTA Y PROCESOS

PROYECTO: PLANTA DE SULFUROS 350 TPD

DESCRIPCIÓN DEL PLANO: PRESA DE RELAVES PLANO DE IMPERMEABILIZACIÓN CON GCL

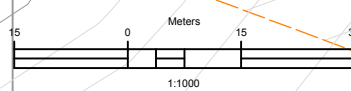
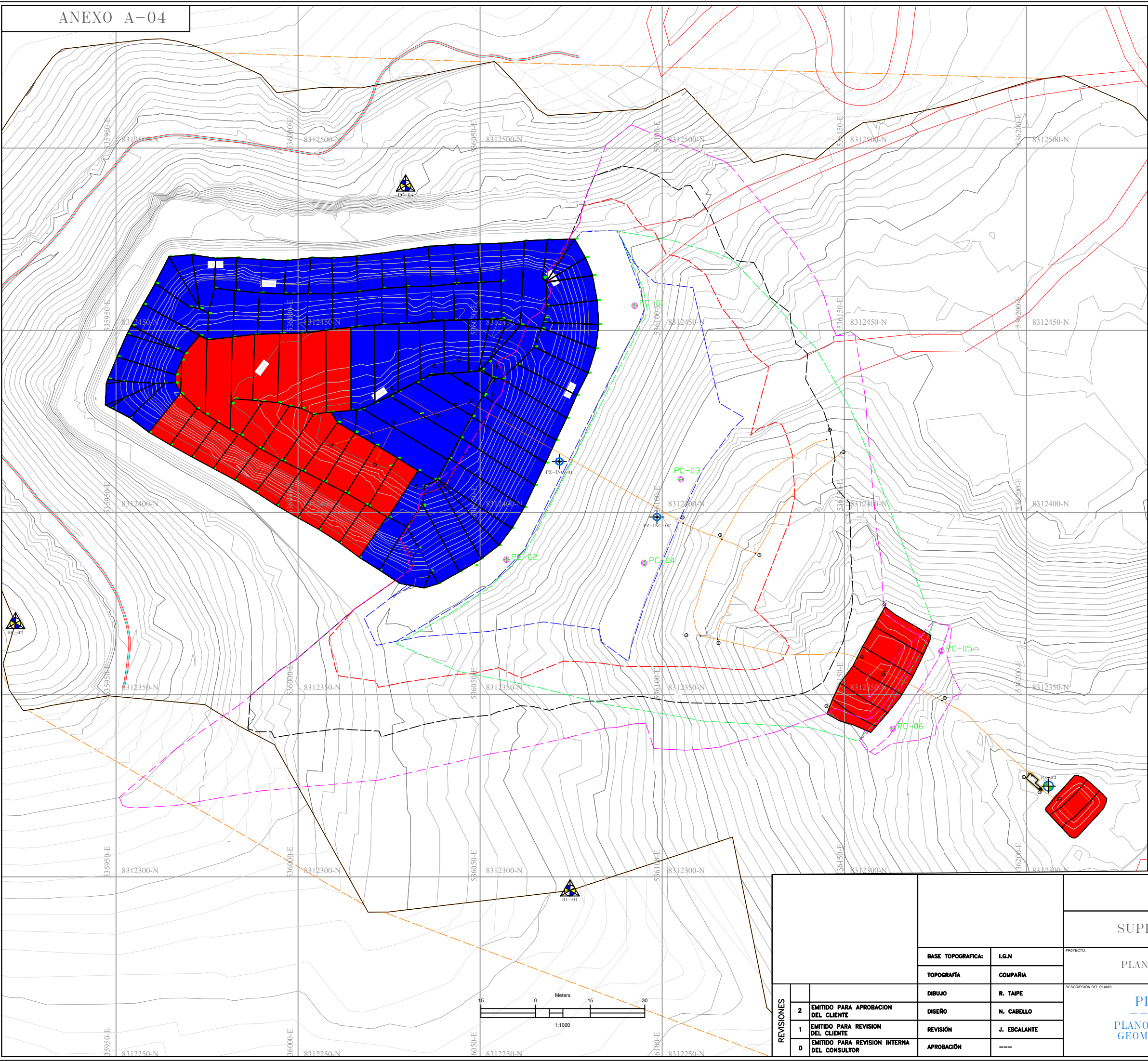
COD.PROYECTO	H&N-117
SUB-CÓDIGO	117
PLANO	H&N-117-002
VERSIÓN	01
FECHA	27/01/2018
ESCALA	1/1000



LEYENDA

	CARRETERA AFIRMADA
	CURVAS DE NIVEL 1m/ 5m
	BORDE DIQUE DE ARRANQUE
	BORDE DIQUE DE PIE
	AREA DE RECRECIMIENTO
	BM-BASE FIJA
	POZAS DE SEDIMENTACIÓN Y AFORO
	POZA COLECTORA
	INSTALACIONES PLANTA CONCENTRADORA
	LIMITE DE DIQUE -FASE 3
	LIMITE DE DIQUE - FASE 2
	LIMITE DE DIQUE - FASE 1
	SISTEMA DE SUBDRENAJE

METRADO DE GEOMEMBRANA INSTALADA			
ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	METRADO
1	GEOMEMBRANA 1.5 mm	m2	4760
2	GEOMEMBRANA 2.0 mm	m2	10800



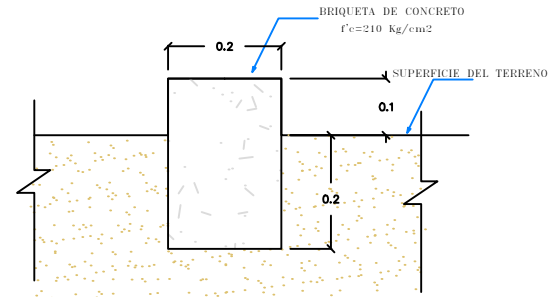
AGROMIN S.A.C **AGROMIN**
LA BONITA S.A.C.
LIMA

SUPERINTENDENCIA DE PLANTA Y PROCESOS

PROYECTO:	PLANTA DE SULFUROS 350 TPD	COD.PROYECTO	H&N-117
DESCRIPCIÓN DEL PLANO:	PRESA DE RELAVES PLANO DE IMPERMEABILIZACIÓN GEOMEMBRANA 2.0 Y 1.5 mm	SUB-CÓDIGO	117
		PLANO	H&N-117-002
		VERSIÓN	01
		FECHA	27/01/2018
		ESCALA	1/1000

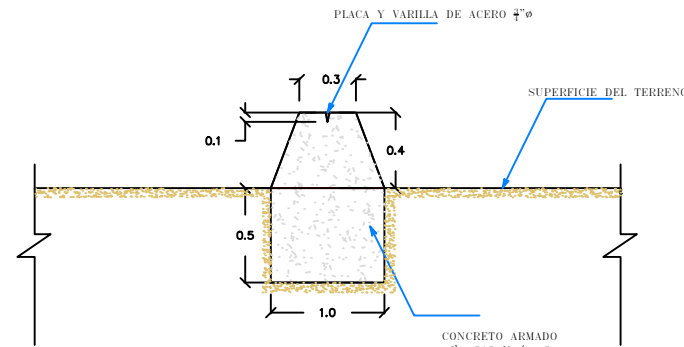
BASE TOPOGRAFICA:	I.G.N
TOPOGRAFIA	COMPAÑIA
DIBUJO	R. TAPE
DISEÑO	N. CABELLO
REVISIÓN	J. ESCALANTE
APROBACIÓN	---

REVISIONES	DESCRIPCIÓN
2	EMITIDO PARA APROBACION DEL CLIENTE
1	EMITIDO PARA REVISION DEL CLIENTE
0	EMITIDO PARA REVISION INTERNA DEL CONSULTOR



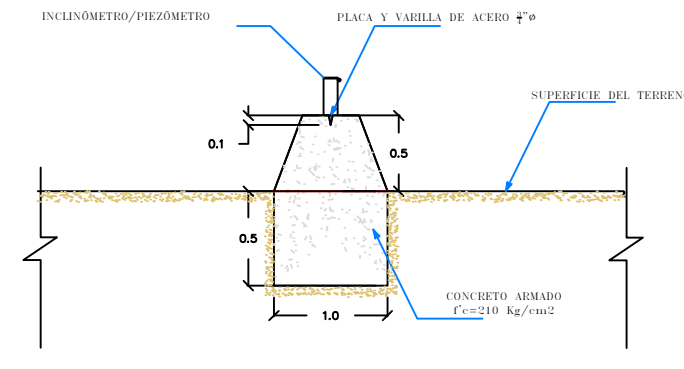
DETALLE BASE PUNTO DE CONTROL TOPOGRÁFICO

DETALLE 14
117-009



HITO DE CONTROL TOPOGRÁFICO

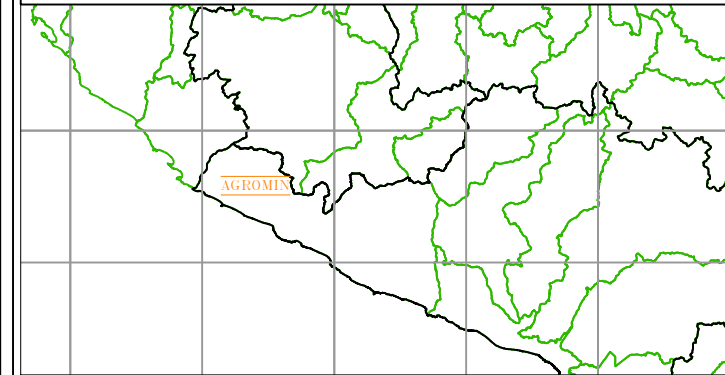
DETALLE 15
117-009



DETALLE DE MONUMENTO DE INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA: PIEZÓMETRO-INCLINÓMETRO

DETALLE 16
117-009

UBICACIÓN DEL PROYECTO

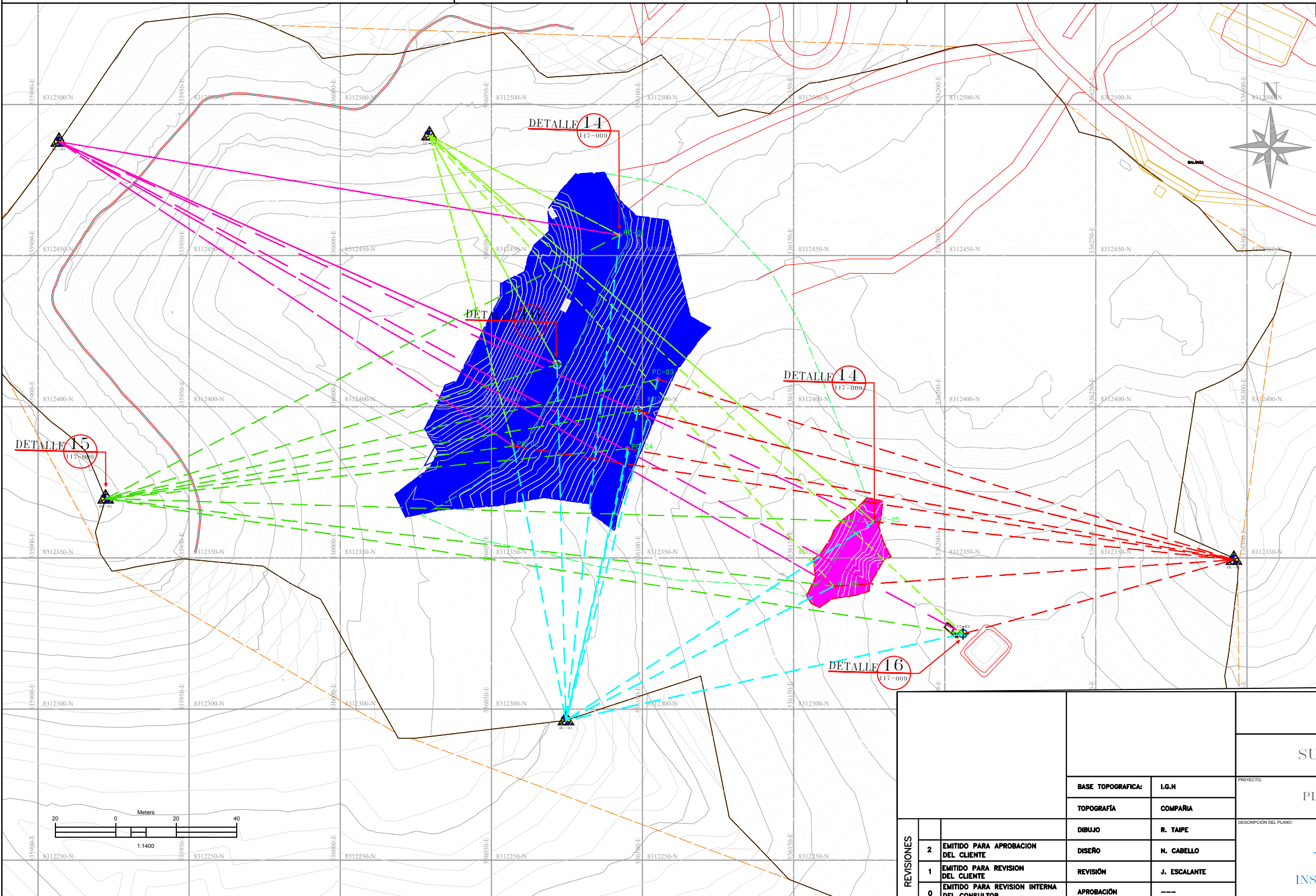


LEYENDA

	CARRETERA AFIRMADA
	CURVAS DE NIVEL 1m/ 5m
	BORDE DIQUE DE ARRANQUE
	BORDE DIQUE DE PIE
	AREA DE RECRECIMIENTO
	BM-BASE FIJA
	POZAS DE SEDIMENTACIÓN Y AFORO
	POZA COLECTORA
	INSTALACIONES PLANTA CONCENTRADORA
	LINEAS DE LECTURA DE CONTROL TOPOGRAFICO
	INCLINÓMETRO
	PIEZÓMETRO TIPO CASAGRANDE / CUERDA VIBRANTE
	PUNTO DE CONTROL

COORDENADAS(WGS 84) DE INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA - PRESA DE RELAVES

DESCRIPCIÓN		ESTE	NORTE	ELEVACIÓN
BENCH MARK	BM-01	537108.474	8312252.584	1669.659
	BM-02	536339.364	8312780.146	1735.241
HITOS DE CONTROL	HC-01	536295.703	8312349.351	1703.768
	HC-02	535906.942	8312487.644	1763.393
	HC-03	535922.405	8312369.600	1761.665
	HC-04	536029.526	8312489.713	1741.430
	HC-05	536074.679	8312296.251	1719.515
PIEZÓMETROS Y PUNTOS DE CONTROL TOPOGRÁFICO	PC-01	536092.439	8312456.771	1725.382
	PC-02	536057.242	8312387.027	1725.675
	PC-03	536105.107	8312409.095	1709.559
	PC-04	536095.075	8312386.129	1709.680
	PC-05	536176.641	8312361.921	1689.008
	PC-06	536163.337	8312340.624	1689.464
	PZ-INC-01	536071.744	8312414.002	1725.929
	PZ-INC-02	536098.542	8312398.770	1710.028
PZ-03	536206.089	8312324.908	1677.964	



AGROMIN S.A.C AGROMIN LA BONITA S.A.C. LIMA

SUPERINTENDENCIA DE PLANTA Y PROCESOS

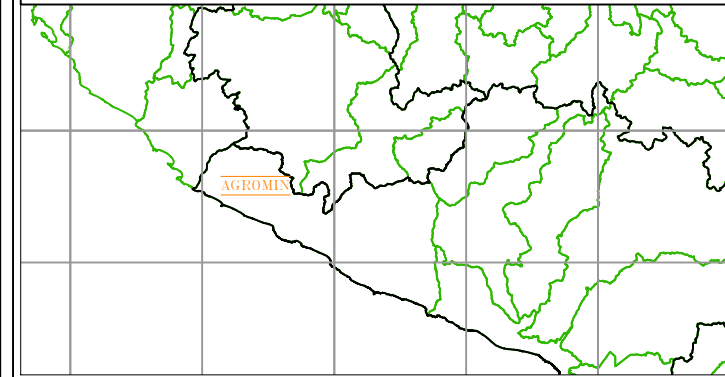
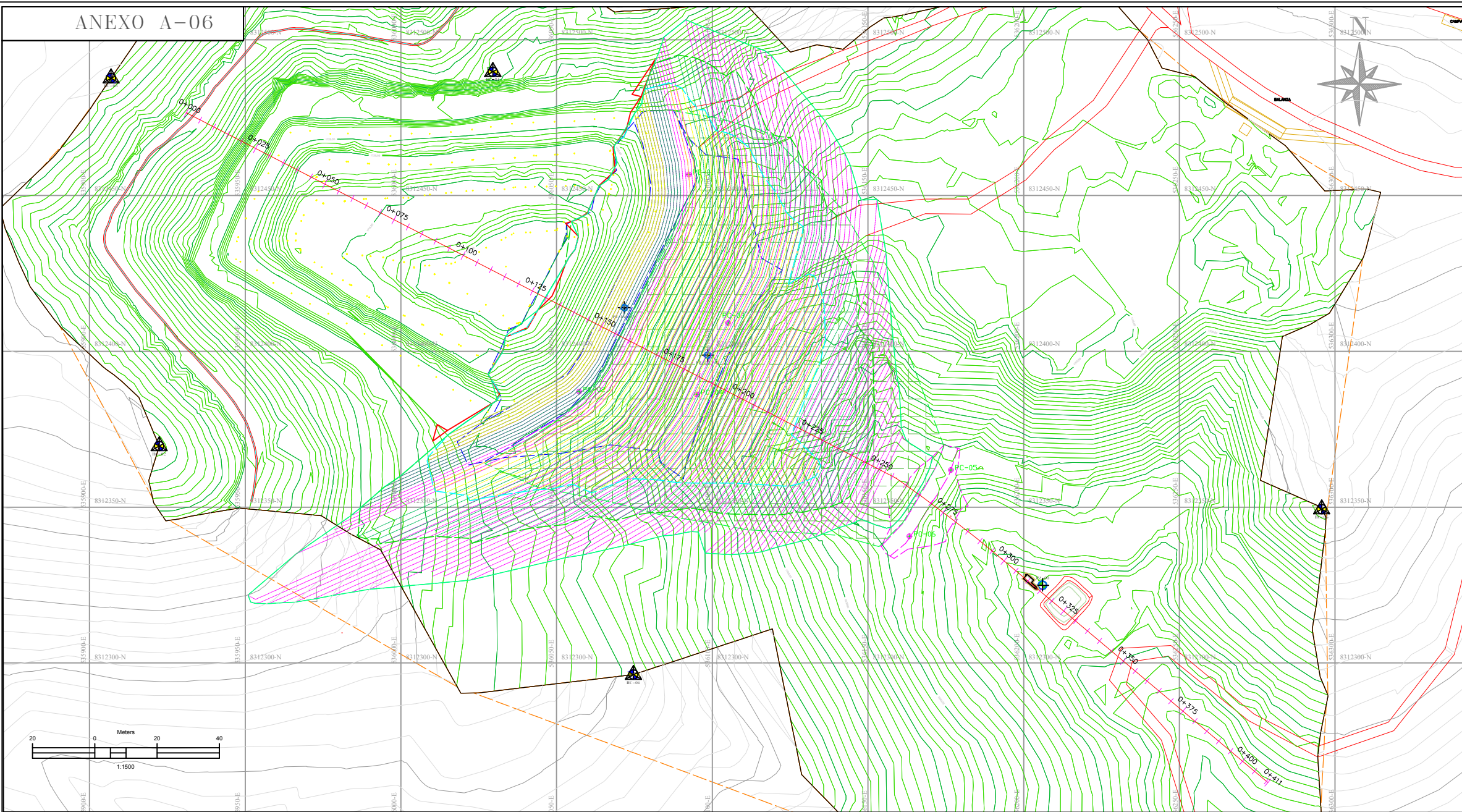
PLANTA DE SULFUROS 350 TPD

PRESA DE RELAVES
PLANO DETALLADO DE INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA

BASE TOPOGRAFICA:	I.G.N
TOPOGRAFIA	COMPAÑIA
DIBUJO	R. TAPE
DISEÑO	N. CABELLO
REVISIÓN	J. ESCALANTE
APROBACIÓN	---

REVISIONES	DESCRIPCIÓN DEL PLANO
2	EMITIDO PARA APROBACION DEL CLIENTE
1	EMITIDO PARA REVISION DEL CLIENTE
0	EMITIDO PARA REVISION INTERNA DEL CONSULTOR

PROYECTO:	H&N-117
SUB-CÓDIGO	117
PLANO	H&N-117-002
VERSIÓN	01
FECHA	27/01/2018
ESCALA	1/1400



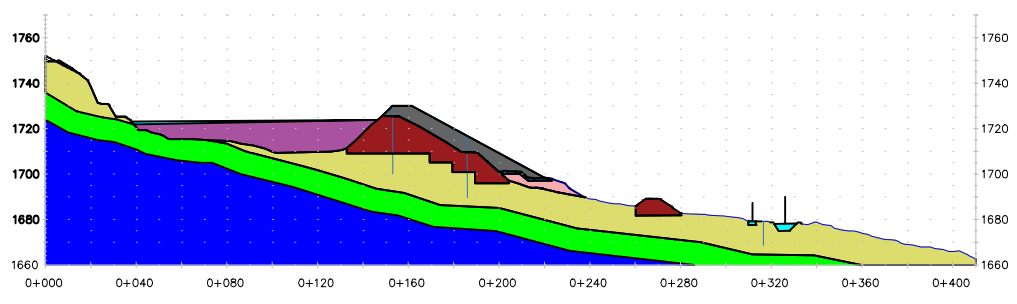
LEYENDA

	CARRETERA AFIRMADA
	CURVAS DE NIVEL 1m/ 5m
	BORDE DIQUE DE ARRANQUE
	BORDE DIQUE DE PIE
	AREA DE RECRECIMIENTO
	BM-BASE FIJA
	POZAS DE SEDIMENTACIÓN Y AFORO
	POZA COLECTORA
	INSTALACIONES PLANTA CONCENTRADORA
	LIMITE DE DIQUE -FASE 3
	LIMITE DE DIQUE - FASE 2
	LIMITE DE DIQUE - FASE 1

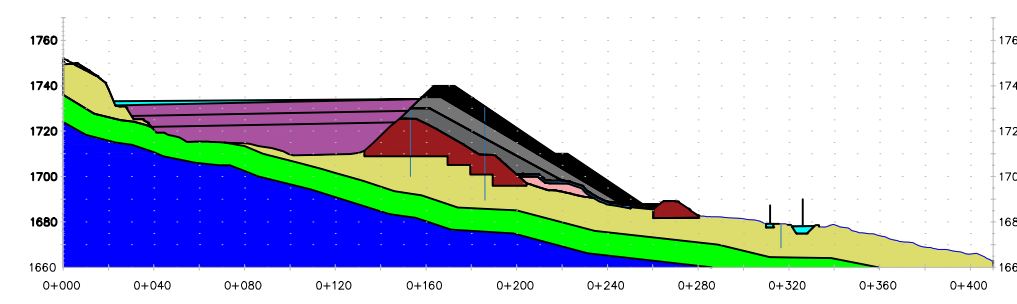
GEOMECAÁNICA RMR,ROMANA 2000

TIPO DE ROCA	CÓDIGO	RMR	DESCRIPCIÓN	TIPO DE ROCA	CÓDIGO	RMR	DESCRIPCIÓN
II	II-A	71-80	ROCA REGULAR	IV	IV-A	31-40	ROCA MALA
	II-B	61-70			IV-B	21-30	
III	III-A	51-60	ROCA MALA	V	V	<21	ROCA MUY MALA
	III-B	41-50					

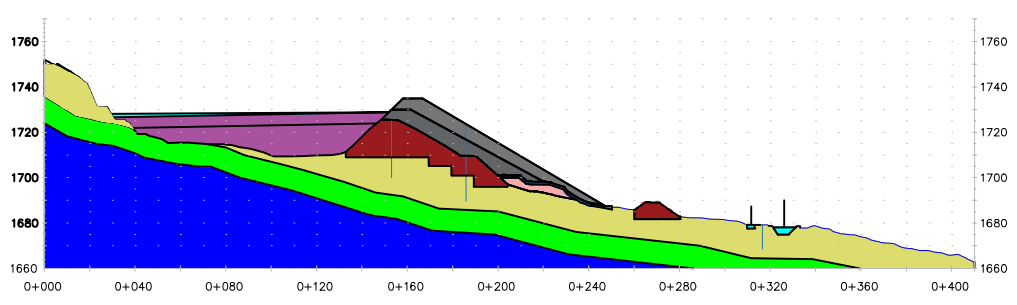
SECCIÓN GEOTÉCNICA D-D' (TRANSVERSAL DE LA PRESA) - FASE 1, 1730 msnm
Escala vertical: 1/1000



SECCIÓN GEOTÉCNICA D-D' (TRANSVERSAL DE LA PRESA) - FASE 3, 1740 msnm
Escala vertical: 1/1000



SECCIÓN GEOTÉCNICA D-D' (TRANSVERSAL DE LA PRESA) - FASE 2, 1735 msnm
Escala vertical: 1/1000



LITOLOGÍA-GEOTÉCNIA

	Material de préstamo		Aguas claras
	Suelo antrópico		Relave fino-Vaso de presa.
	Suelo aluvial		Relave grueso-Recrecimiento
	Conglomerado de arenas y limos		
	Sieno-granito		
	Monzonita		

BASE TOPOGRAFICA: I.G.N	
TOPOGRAFIA: COMPAÑIA	
DIBUJO: R. TAPE	
DISEÑO: N. CABELLO	
REVISIÓN: J. ESCALANTE	
APROBACIÓN: ---	

AGROMIN S.A.C LA BONITA S.A.C. LIMA

SUPERINTENDENCIA DE PLANTA Y PROCESOS

PROYECTO:	PLANTA DE SULFUROS 350 TPD	COD.PROYECTO:	H&N-117
DESCRIPCIÓN DEL PLANO:	PRESA DE RELAVES PLANO DE SECCIONES GEOTÉCNICAS	SUB-CÓDIGO:	117
		PLANO:	H&N-117-002
		VERSIÓN:	01
		FECHA:	27/01/2018
		ESCALA:	1/1500

ESTRUCTURAL

	Falla	
	Falla inferida	
	Diaclasa	
	Contacto	

ROSETAS_DIACLASAS ROSETAS_FALLAS

ANEXO B

REGISTROS

B-1) REGISTRO DE ENSYOS DE ASENTAMEINTO

B-2) REGISTRO DE MAPEO GEOTÉCNICO

B-3) REGISTRO DE CONTROL DE CALIDAD EN GEOTEXTIL

B-4) REGISTRO DE CONTROL DE CALIDAD EN GEOMEMBRANA

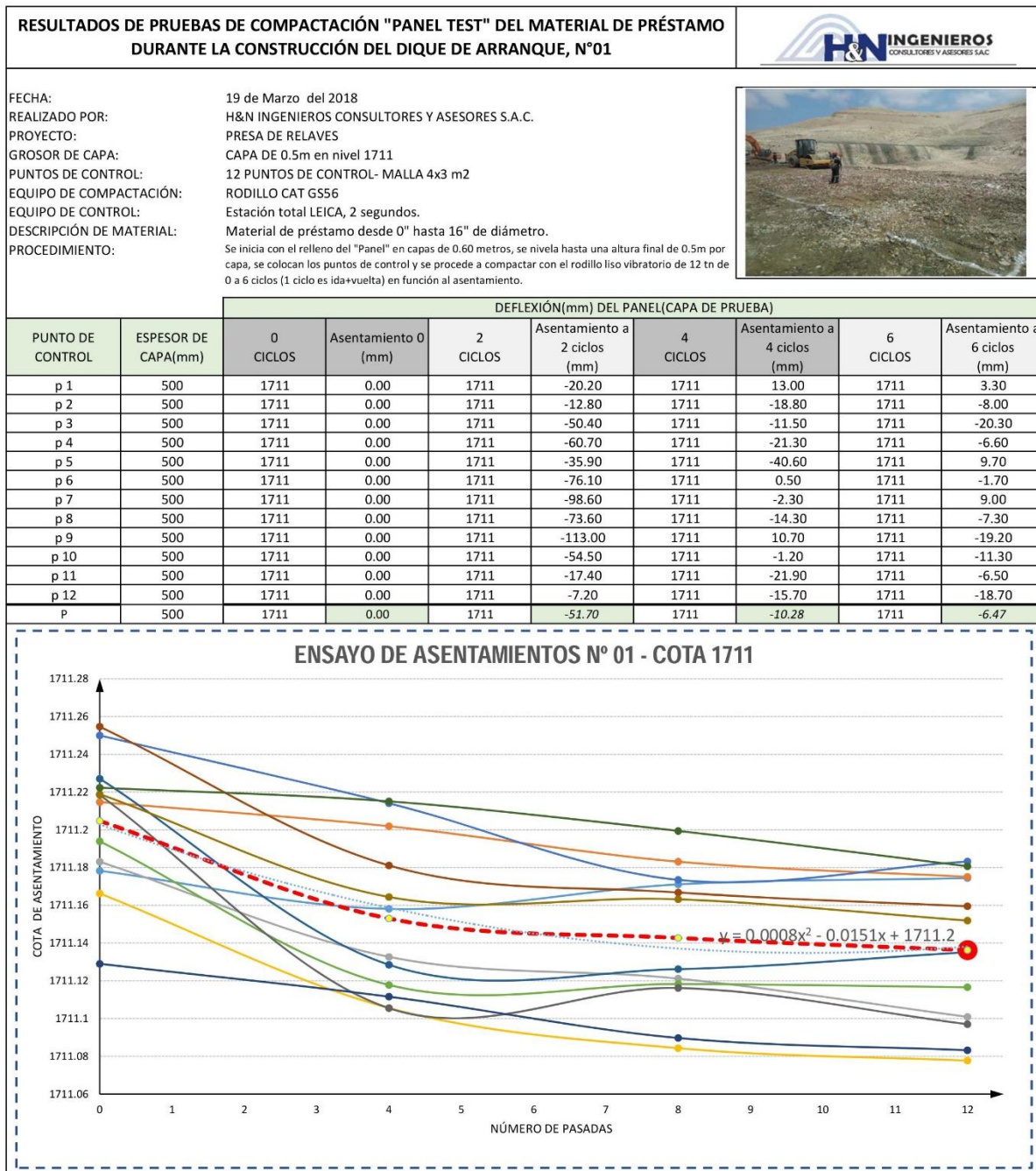
B-5) REGISTRO FOTOGRAFICO DE CONSTRUCCIÓN DE DIQUE

B-6) REGISTRO FOTOGRAFICO DE IMPERMEABILIZACIÓN DE PRESA

B-7) REGISTRO FOTOGRAFICO DEL SISTEMA DE SUBDRENAJE

B-8) REGISTRO FOTOGRÁFICO DE INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA

ANEXO: B-1



ANEXO: B-3

	DESPLIEGUE DE GEOTEXTIL		PRDRO-300-B-PR-013.05		
			Revision	0	
			Fecha		
				Página	1 de 3

PROYECTO	: PRESA DE RELAVES N° 01 AGROMIN LA BONITA SAC.	REGISTRO N°	: 1
CLIENTE/SUPERVISIÓN	: AGROMIN LA BONITA SAC. / INVERSIONES Y CONSTRUCTORES HUERTA E.I.R.L.	Fecha	: 07/05/2018
Plano de Referencia	:		
Ubicación	: DISTRITO DE BELLA UNION - CARAVELI - AREQUIPA.		

PANEL N°	LOTE N°	ROLLO N°	HORA DE INSTALADO	T° A / VV	ÁREA BRUTA			ÁREA NETA			GEOTEXTIL					OBSERVACIONES	TÉCNICO QC
					Largo (m)	Ancho (m)	Área panel (m2)	Largo (m)	Ancho (m)	Área panel (m2)	Espesor (mm)	Calidad	Textura	REPARACIÓN	Traslape >= 20 cm		
01	0418B	347	07:23	20°C/SV	47.00	4.00	188.00	47.00	3.80	178.60	GT400P	TDM	NO/TEJIDO		0.20		
02	0418B	347	07:30	20°C/SV	45.00	4.00	180.00	45.00	3.80	171.00	GT400P	TDM	NO/TEJIDO		0.20		
03	0418B	347	07:35	20°C/SV	39.00	4.00	156.00	39.00	3.80	148.20	GT400P	TDM	NO/TEJIDO		0.20		
04	0418B	347	07:40	20°C/SV	35.00	4.00	140.00	35.00	3.80	133.00	GT400P	TDM	NO/TEJIDO		0.20		
05	0418B	347	07:45	20°C/SV	29.00	4.00	116.00	29.00	3.80	110.20	GT400P	TDM	NO/TEJIDO		0.20		
06	0418B	314	07:50	20°C/SV	24.00	4.00	96.00	24.00	3.80	91.20	GT400P	TDM	NO/TEJIDO		0.20		
07	0418B	314	08:00	20°C/SV	20.00	4.00	80.00	20.00	3.80	76.00	GT400P	TDM	NO/TEJIDO		0.20		
08	0418B	314	08:10	20°C/SV	18.00	4.00	72.00	18.00	3.80	68.40	GT400P	TDM	NO/TEJIDO		0.20		
09	0418B	314	08:20	20°C/SV	15.00	4.00	60.00	15.00	3.80	57.00	GT400P	TDM	NO/TEJIDO		0.20		
10	0418B	314	08:30	20°C/SV	12.00	4.00	48.00	12.00	3.80	45.60	GT400P	TDM	NO/TEJIDO		0.20		
11	0418B	340	08:40	20°C/SV	22.00	4.00	88.00	22.00	3.80	83.60	GT400P	TDM	NO/TEJIDO		0.20		
12	0418B	340	08:50	20°C/SV	22.00	4.00	88.00	22.00	3.80	83.60	GT400P	TDM	NO/TEJIDO		0.20		
13	0418B	340	08:55	20°C/SV	22.00	4.00	88.00	22.00	3.80	83.60	GT400P	TDM	NO/TEJIDO		0.20		
14	0418B	340	09:00	20°C/SV	22.00	4.00	88.00	22.00	3.80	83.60	GT400P	TDM	NO/TEJIDO		0.20		
15	0418B	340	09:10	20°C/SV	22.00	4.00	88.00	22.00	3.80	83.60	GT400P	TDM	NO/TEJIDO		0.20		
INICIO INSTALACIÓN			07:23	TOTAL DIA (m2)			1576.00	TOTAL DIA (m2)			1497.20	Operador de soplador de aire caliente		GEOTEXTIL ACUM.(m2) :			
FINAL INSTALACIÓN			09:10	ACUMULADO (m2)			1,576.00	ACUMULADO (m2)			1497.20			1497.20			





LEYENDA C = CUMPLE NA: NO APLICA R= SE REPARO

DESPLIEGUE GEOTEXTIL	15
----------------------	----

OBSERVACIONES:

Producción	Control de Calidad	Supervisión QA
Nombre:	Nombre:	Nombre: <i>R. Taji</i>
Firma:	Firma:  Huerta Rojas Edgar A. TGO. CONTROL DE CALIDAD DNI: 37445557	Firma: 
Fecha:	Fecha:	Fecha:

ANEXO: B-4

		DESPLIEGUE DE GEOMEMBRANA										PRDRO-300-B-PR-013.04					
												Revision	0				
												Fecha					
										Página							
PROYECTO : PRESA DE RELAVES N° 01 AGROMIN LA BONITA SAC.																	
CLIENTE/ SUPERVISIÓN : AGROMIN LA BOITA SAC. / INVERSIONES Y CONSTRUCTORES HUERTA EIRL.										REGISTRO N° : 1							
Ubicación : DISTRITO DE BELLA UNION - CARAVELI - AREQUIPA.										Fecha : 12/05/2018							
Plano Referencia :																	
PANEL N°	LOTE N°	ROLLO N°	HORA DE INSTALADO	T° A / VV	ÁREA BRUTA			ÁREA NETA			GEOMEMBRANA				COMENTARIOS	TÉCNICO QC	
					Largo (m)	Ancho (m)	Área panel (m2)	Largo (m)	Ancho (m)	Área panel (m2)	Espesor (mm)	Calidad	Textura	Reparación			TRASLAPE >= 15 CM
01	701	06	10:00	22° C	22,00	7,00	154,00	21,00	6,85	143,85	1,5	HDPE	LISA		0,16		
02	701	06	10:20	22° C	22,00	7,00	154,00	21,00	6,85	143,85	1,5	HDPE	LISA		0,16		
03	701	06	11:00	22° C	22,00	7,00	154,00	21,00	6,85	143,85	1,5	HDPE	LISA		0,16		
04	701	06	11:20	22° C	22,00	7,00	154,00	21,00	6,85	143,85	1,5	HDPE	LISA		0,16		
05	701	06	11:30	22° C	22,00	7,00	154,00	21,00	6,85	143,85	1,5	HDPE	LISA		0,16		
06	701	06	11:50	22° C	22,00	7,00	154,00	21,00	6,85	143,85	1,5	HDPE	LISA		0,16		
			INICIO INSTALACIÓN	10:00	TOTAL DIA (m2)		924,00	TOTAL DIA (m2)		863,10	HDPE DIA(m2): 863.10		HDPE ACUM.(m2): 863.10				
			FINAL INSTALACIÓN	11:50	ACUMULADO (m2)		924,00	ACUMULADO (m2)		863,10	LLDPE DIA(m2):		LLDPE ACUM.(m2):				
LEYENDA C = CUMPLE NA = NO PLICA SI = SE REPARO																	
DESPLIEGUE GEOMEMBRANA												6					
OBSERVACIONES:																	
Producción						Control de Calidad						Supervisión QA					
Nombre:												Nombre: R. Taya					
Firma:												Firma: 					
Fecha:						Fecha:						Fecha:					

ANEXO: B-5

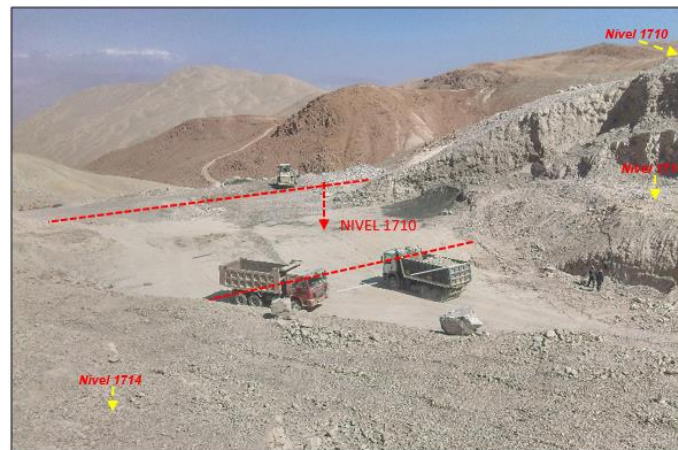


Foto N°49: Trazado de plantilla inicial de dique de arranque en el nivel 1710 msnm.



Foto N°57: Perfilado de talud externo (2H/1V) e interno (1H/1V) de dique de arranque con excavadora CAT 329D y excavadora DOOSAN.

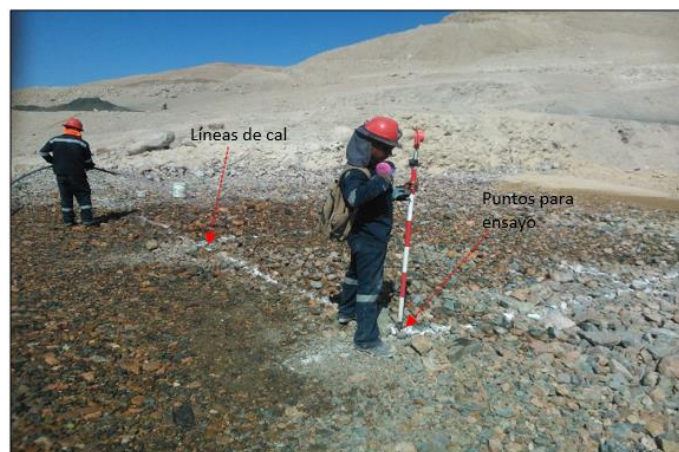


Foto N°63: Ensayo de asentamientos realizado por el área de topografía, todos los ensayos se realizaron en distintas niveles 12 puntos de control y en distintas zonas del dique.

ANEXO: B-6



Foto N°88: Se procede con el acondicionamiento del terreno, desquince, limpieza de banquetas y taludes por parte del personal. Despunte y limpieza del talud 1719 a 1725 msnm, lado Este del vaso.



Foto N°97: Vista panorámica del vaso sector Sur, recubrimiento de taludes con geotextil en un 100% y recubrimiento con GCL en un 100%, a espera de los equipos de soldadura de geomembrana.



Foto N°103: Soldadura por Cuña, utilizada para unir dos paños de geomembrana y que tiene como respectivos ensayos de tensión y la prueba de aire.

ANEXO: B-7



Foto N°45: Trabajos en subdren, donde se está cubriendo con geotextil envolviendo el filtro, se procede a cubrir el dren con canto rodado.

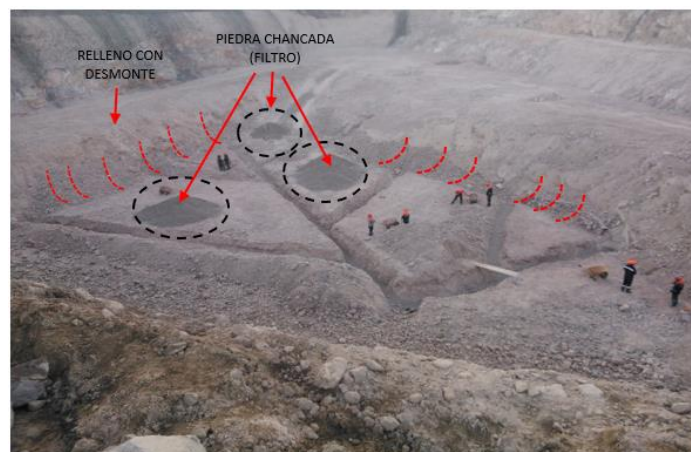


Foto N°73: Acopio de piedra chancada y acumulación del desmonte en el pie del fondo del vaso, reduciendo espacios abiertos al momento del impermeabilizado.



Foto N°152: Panorámico de la línea de subdrenaje completo y direcciones de flujo.

SONDAJE "PZ-IN - 01"

Foto n°01: Perforación del Piezómetro – Inclínometro PZ-IN - 01, perforadora Ly-38.

SONDAJE "PZ-IN - 01"

Foto n°01: Medición del Nivel Freático del Inclínometro-Piezómetro PZ-IN - 01.

SONDAJE "PZ-IN - 02"

Foto n°05: Medición del Nivel Freático del Inclínometro-Piezómetro PZ-IN - 02.

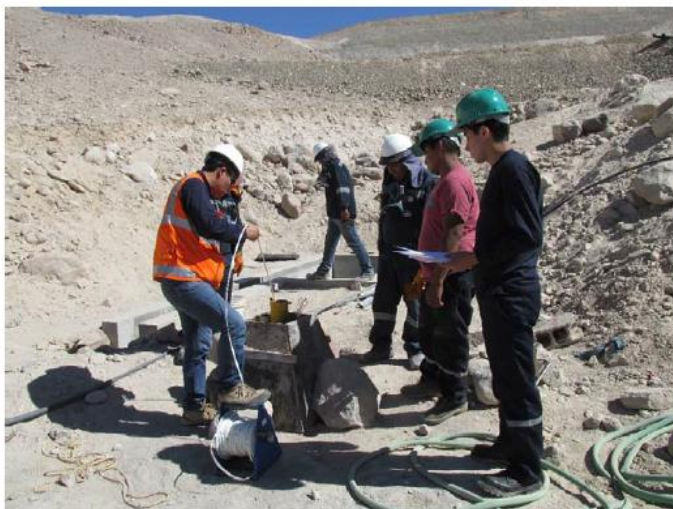
SONDAJE "PZ-03"

Foto n°09: Vista de las actividades de medición del nivel freático en Piezómetro PZ-03.

ANEXO C

LABORATORIO

C-1) RESULTADOS DE LABORATORIO ANTES DE LA CONSTRUCCIÓN

C-2) RESULTADOS DE LABORATORIO DESPUES DE LA CONSTRUCCIÓN

C-3) RESULTADOS DE LABORATORIO DE MATERIALES – PRESA DE RELAVES

ANEXO: C-1

RESUMEN: RESULTADOS DE ENSAYOS DE MECÁNICA DE SUELOS EN LABORATORIO																
PROYECTO	ENSAYO NORMA	UBICACIÓN	COMPRESIÓN TRIAXIAL CONSOLIDADO-NO DRENADO (CU)				LÍMITES DE CONSISTENCIA								PROCTOR MODIFICADO	
			ASTM-D4767				ASTM-D4767	ASTM-D2216	ASTM-D422			ASTM-D424/ASTM-423			ASTM-D1557	
			P.e Seco (KN/m3)	P.e Saturado (KN/m3)	Cohesión (KPa)	Ángulo de fricción (°)	Clasificación de suelos	Humedad (%)	Gravas (%)	Arenas (%)	Finos (%)	Limite Líquido (%)	Limite Plástico (%)	Índice Plástico (%)	M.D.S	O.C.H
LAKSHMI-GARUDHA	CÓDIGO															
	C-1	VASO DE LA PRESA	17.4	21.7	4.0	26.61	SC	2.07	27.58	50.11	22.32	29.12	21.22	7.89	1.8	17.4
	C-2	DIQUE DE LA PRESA	16.0	18.8	0.0	27.20	SM	1.42	37.69	49.21	13.10	-	N.T	-	1.7	18.6
C-3	ÁREA DE EMPLAZAMIENTO	15.0	18.1	1.0	25.40	SM	1.91	0.00	56.77	43.23	22.36	N.T	N.P	1.6	22.0	

*Nota: * Los Ensayos de Mecánica de Suelos, se han realizado en el Laboratorio LAKSHMI-GARUDHA (Fuente; AGRONIN).*

ANEXO: C-2

RESUMEN: RESULTADOS DE ENSAYOS DE MECÁNICA DE ROCAS EN LABORATORIO												
PROYECTO	ENSAYO NORMA	PROPIEDADES	PROPIEDADES FÍSICAS	COMPRESIÓN UNIAXIAL	CARGA PUNTUAL	CORTE DIRECTO		COMPRESIÓN TRIAXIAL			CONSTANTES ELÁSTICAS	
			ASTM-D2216-98	ASTM-D2938	ASTM-D5731-95	ASTM-D5607-95		ASTM-2664-95			ASTM-D3148-86	
			γ (KN/m3)	σ (Mpa)	σ (Mpa)	c (Kpa)	f(°)	c (Mpa)	f(°)	mi	E (Gpa)	ν (Poisson)
TECSUP	CÓDIGO											
	EM-AG-R-01 (ROCA FRESCA)		25.54	147.4	-	94.00	26.98	27.71	#####	#####	17.30	0.26
	EM-AG-R-02 (ROCA ALTERADA)		25.57	77.4	-	104.00	26.86	21.92	#####	#####	12.23	0.29
	M-04 CL (SUELO SEMI-CONSOLIDADO)		10.44	8.52	8.52	-	-	-	-	-	-	-
UNI	CÓDIGO		ASTM-C9702									ASTM-D7012-04
	M-01		25.87	205.7	-	-	-	-	-	-	-	29.06

*Nota: * Los Ensayos de Mecánica de Rocas se han realizado en los Laboratorios del Instituto de Educación Superior Tecnológico Privado (TECSUP) y Universidad Nacional de Ingeniería (UNI).*

ANEXO: C-3

DOMINIO	DOMINIOS GEOTÉCNICOS		PROPIEDADES DE RESISTENCIA EN SUELOS					
	DESCRIPCIÓN	CLASIFICACIÓN (SUCS)	Peso específico seco (KN/m3)	Peso específico saturado (KN/m3)	ÁNGULO DE FRICCIÓN Φ (°)	COHESIÓN (Kpa)	COHESIÓN Saturado (Kpa)	(Kg/cm2)
5	Conglomerados de arenas y limos semi-consolidados	GP/ SC- SM	19.0	20.3	29.9	0.9800	0.0010	0.0100
6	Suelos-eólicas (Qh-e)	ML-SM	17.4	18.6	32.0	0.0012	0.0006	0.0000
7	Relleno de los Diques "Arranque - Pie"	GP-GM	23.0	24.6	42.0	0.1500	0.0800	0.0015
8	Relave grueso (RG- Dique de recrecimiento)	SM	21.0	22.5	39.3	0.1080	0.0500	0.0011
9	Relave fino (RF- Vaso de la presa)	CL-ML	17.0	18.2	18.0	0.2500	0.1000	0.0025

Nota: Estimaciones realizadas en base a resultados de ensayos de campo y laboratorio, revisión bibliográfica en materiales con similares características.

ANEXO D

OTROS

D-1) RESULTADOS DE PRUEBA DE ACIDEZ (NAG)

D-2) FICHAS TECNICAS

D-3) DETALLE DE INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA

D-4) RESULTADOS DE ANALISIS ESTATICO Y PSEUDO-ESTÁTICOS DE PRESA DE RELAVES

D-5) CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN FINAL

D-6) MATRIZ DE CONSISTENCIA

ANEXO: D-1

Resultados de la prueba de Generación Neta de Acidez (NAG)

ID Muestras Lab	ID Muestras	7485	7492	7724	Criterio NAG
Elementos		NAG pH 4.5	NAG pH 7.0	pH en Extracto NAG	
Unidades		Kg H2SO4/t	Kg H2SO4/t	---	
LD		0,1	0,1	---	
288873/2018	M15	0,4	2,2	3,99	Potencial generador de ácido
288874/2018	M16	< 0,1	4,1	4,69	No potencial generador de ácido
288875/2018	M17	< 0,1	0,4	6,25	No potencial generador de ácido
288876/2018	M18	4,6	9,6	3,12	Potencial generador de ácido
288878/2018	M19	< 0,1	< 0,1	10,39	No potencial generador de ácido
288880/2018	M20	8,2	13,5	2,93	Potencial generador de ácido

ANEXO: D-2

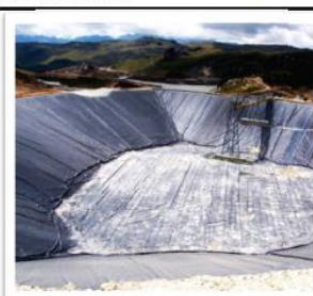
Las geomembranas **Tecliner**[®] se utilizan en una amplia gama de sectores de la industria, como elemento fundamental de estanqueidad.

Las geomembranas **Tecliner**[®] son fabricadas con resinas vírgenes de polietileno, especialmente formuladas y certificadas.

Nuestro proceso de fabricación utiliza la moderna tecnología de co-extrusión-soplado,

Geomembrana de Polietileno Alta Densidad GM13: Tecliner[®] LISA 1.50 mm, Densidad mínima de 0,940 [g/cm³].

Se caracteriza por su baja permeabilidad, alta resistencia a los procesos de lixiviación, alta resistencia a la tensión, inercia química. Excelente comportamiento a baja temperatura para almacenamiento de líquidos y sólidos. Resistente a la radiación U.V., por su contenido de negro de humo.



PROPIEDADES	NORMA	UND	FRECUENCIA	VALOR
Espesor Promedio	ASTM D 5199	[mm]	Por Rollo	1.500
Mínimo individual más bajo				1.350
Densidad	ASTM D 792	[g/cc]	18,000 kg	0.940
Propiedades Tensiles:	ASTM D 6693		9,000 kg	
Tensión de Fluencia	Tipo IV	[KN/m]		22
Tensión de Rotura		[KN/m]		40
Elongación de Fluencia		[%]		12
Elongación de Rotura		[%]		700
Resistencia al Rasgado	ASTM D 1004	[N]	18,000 kg	187
Resistencia al Punzonado	ASTM D 4833	[N]	18,000 kg	480
Resistencia al Agrietamiento	ASTM D 5397	[hr]	Por GRI GM10	500
Contenido de Carbón	ASTM D 4218	[%]	9,000 kg	2.0 – 3.0
Dispersión de Carbón	ASTM D 5596	Categoría	18,000 kg	1.0 ó 2.0
Tiempo de Inducción Oxidativa(OIT)				
a) OIT Estándar	ASTM D 3895	[min]	90,000 kg	100
b) Alta presión OIT	ASTM D 5885	[min]		400
Envejecimiento en Horno a 85°C	ASTM D-5721			
a) Retención 90 días OIT estándar	ASTM D-3895	[%]	Por cada	55
b) Retención 90 días Alta presión	ASTM D5885	[%]	Formulación	80
Resistencia UV	ASTM D-7238		Por cada	
Retención 1920 hr. OIT-HP.	ASTM D-5885	[%]	Formulación	50

Para la revisión de las Normas mencionadas, visitar: <http://www.astm.org>; <http://www.geosynthetic-institute.org>.

FICHA TÉCNICA

GEOTEXTIL NO TEJIDO PP TDM GT 400P

PROPIEDADES	ENSAVO	UND	VALOR TÍPICO*
Masa por Unidad de Área	ASTM D 5261	gr/m ²	400
Método Grab			
Resistencia a la Tracción	ASTM D 4632	N	1525
Elongación		%	>50
Método Tira Ancha			
Sentido Longitudinal	ASTM D 4595	kN/m	23
Elongación		%	>50
Sentido Transversal	ASTM D 4595	kN/m	22
Elongación		%	>50
Resistencia al desgarre trapezoidal	ASTM D 4533	N	600
Resistencia al punzonado	ASTM D 4833	N	915
Resistencia al punzonado CBR	ASTM D 6241	kN	3.90
Resistencia al estallido	ASTM D 3786	kPa	3990
Permitividad	ASTM D 4491	Seg ⁻¹	1.40
Permeabilidad	ASTM D 4491	cm./seg.	0.31
Tamaño de abertura aparente (TAA)	ASTM D 4751	mm	0.125
Tasa de flujo	ASTM D 4491	l/min/m ²	3360
Estabilidad a los rayos ultravioleta	ASTM D 4355	%	>70

*Los valores publicados corresponden al sentido más desfavorable del Geotextil. Los Valores típicos corresponden al promedio de todos los datos históricos.

Para cobertura de baja permeabilidad

Bentomat es un geocompuesto de bentonita de sodio. La bentonita está encapsulada entre dos geotextiles no tejidos. Todos los componentes están unidos firmemente mediante un proceso de agujado, lo que confiere al producto final una gran robustez. Bentomat está fabricado bajo rigurosos controles de calidad cumpliendo con las más altas exigencias a nivel internacional.

PROPIEDAD	MÉTODO	VALOR REQUERIDO
PROPIEDADES DE LOS GEOTEXTILES		
Masa por unidad de área del no tejido superior	ASTM D 5261	200 g/m ² ⁽¹⁾
Masa por unidad de área del no tejido inferior	ASTM D 5261	200 g/m ² ⁽¹⁾
PROPIEDADES DE LA BENTONITA		
Contenido de Montmorillonita	XRD (difracción de rayos-X)	80 % mín.
Coefficiente de hinchamiento	ASTM D 5890	24 ml mín.
Pérdida por filtrado	ASTM D 5891	18 ml máx.
Humedad	ASTM D 4643	<12%
PROPIEDADES DE GEOCOMPUESTO GCL		
Masa de GCL por unidad de área ⁽²⁾	ASTM D 5993	4.06 kg/m ² ⁽¹⁾
Masa de Bentonita por unidad de área ⁽²⁾	ASTM D 5993	3.66 kg/m ² ⁽¹⁾
Espesor	UNE EN ISO 9863-1	6.5 ± 1 mm
Resistencia a la tracción (MD)	ASTM D 6768	8.8 kN/m ⁽¹⁾ mín.
Resistencia al pelado	ASTM D 6496	928 N/m mín.
Índice de flujo	ASTM D 5887	1 x 10 ⁻⁸ m ³ /m ² /s máx.
Permeabilidad	ASTM D 5887	5 x 10 ⁻¹¹ m/s máx.
Resistencia al corte interna ⁽²⁾	ASTM D 6243	24 kPa típico

INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA

AGROMIN - LA BONITA

(Presa de Relaves AGROMIN - LA BONITA)

Tabla N° 1
INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA - PIEZÓMETRO (m)

DIÁMETRO NOMINAL	DIÁMETRO EXTERIOR	DIÁMETRO INTERIOR	ESPESOR MIN. (mm)	PERFORACION (mm)	PERFORACION (COEFICIENTE)	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (kg/cm ²)	LONGITUD (m)
2"	50.80	41.27	3.91	1.67	220	428	3.90

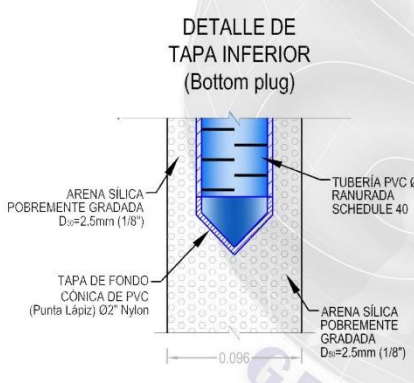
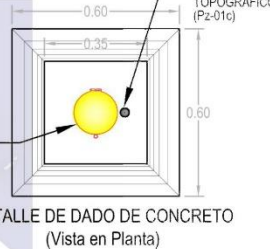
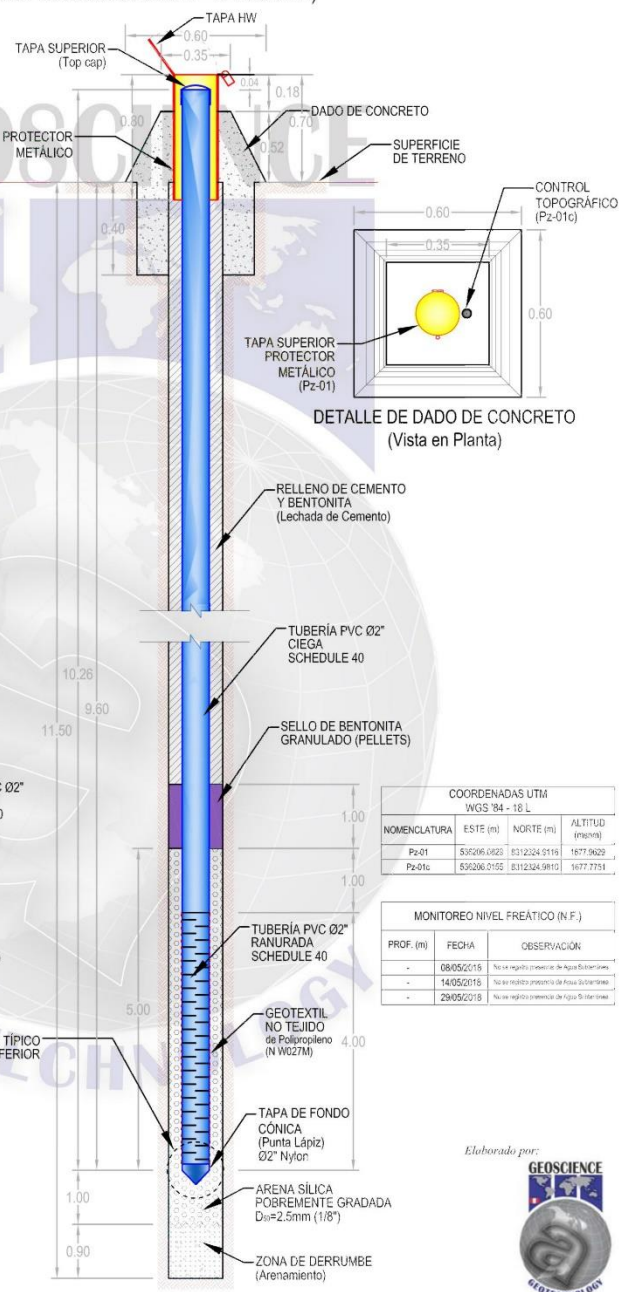
ESPECIFICACIONES

MONONOMENCLATURA	DETALLE
Pz - 03	1. TUBO DE PVC MET. DOWNSHALOETZ X 200 LBS. CON TUBOS MET. FABR. EN AUSTRIA X FRESCO. 2. TUBO DE PVC MET. DOWNSHALOETZ X 200 LBS. CON RANURAS CON PEGAJOS MET. FABR. EN AUSTRIA X FRESCO. 3. TAPA DE FONDO MET. DE ACERO. 4. TAPA DE SUPERFICIE Ø2" EN PVC.

Tabla N° 2
INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA - PIEZÓMETRO (m)

MONONOMENCLATURA	PROFUNDIDAD (m)	LONGITUD DE TUBERÍA RANURADA (m)	LONG. TOTAL DE TUBERÍA (TUB. INSTALACIÓN) (m)	LONGITUD DE TUBERÍA PROFUNDIDAD (m)
Pz-03	11.50	4.90	16.20	9.60

- NOTA:
- EL PIEZÓMETRO INSTALADORIOS TIENEN UNA PROFUNDIDAD DE 9.60 m Y ESTÁ FIJADO EN MATERIAL GRANULAR.
 - LOS ÚLTIMOS 4.00 m DE TUBERÍA INSTALADA EN EL PIEZÓMETRO TIENEN RANURAS DE 1.5 mm DE ANCHURA.
 - LA INSTALACIÓN GEOTÉCNICA CUENTA CON UN PLAN DE MONITOREO Y SERÁ EFECTUADO POR EL PERSONAL CON EXPERIENCIA Y ASÍ COMO EL MONITOREO TOPOGRÁFICO.
 - SE INSTALÓ UNA PLACA METÁLICA (PZ-01) PARA UN CONTROL AUXILIAR TOPOGRÁFICO DEL PIEZÓMETRO.
 - LAS DIMENSIONES DEL DADO DE CONCRETO SON DE 60 cm DE LADO, CON UNA ALTURA DE 70 cm EN FORMA DE BARRILETE.
 - LA TAPA PROTECTOR DEL PIEZÓMETRO ES DE ACERO, LA CUAL LLEVA CANDADO DE SEGURIDAD.
 - EL CONCRETO DEL DADO TIENE UNA RESISTENCIA DE COMPRESIÓN F'c= 210 kg/cm² SE UTILIZÓ CEMENTO TIPO V PARA ELABORAR EL CONCRETO.
 - LAS OBTENCIONES INSTRUMENTADAS EN ESTE PLANO SE ENCUENTRAN EN METROS A MENOS QUE INDICAR LO CONTRARIO.
 - EL LEVANTAMIENTO PLANIMÉTRICO DE LOS SONDAJES DIAMANTINOS FUERON TOMADOS POR EL PERSONAL DE TOPOGRAFÍA DE LA MINERA "AGROMIN - LA BONITA".
 - EL LEVANTAMIENTO ESTÁ REFERENCIADO EN COORDENADAS UTM CON DATUM WGS84.
 - EL REPLANTEO DE LA UBICACIÓN DE LOS SONDAJES Y SUS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS MISMOS, FUERON REALIZADAS POR GEOSCIENCE S.A.C. Y APROBADAS POR SUPERVISIÓN DE LA COMPAÑÍA MINERA CON FINES DE OPTIMIZAR EL MONITOREO.



DETALLE DEL PIEZÓMETRO
Pz-03
INSTALADO

COORDENADAS UTM
WGS '84 - 18 L

NOMENCLATURA	ESTE (m)	NORTE (m)	ALTITUD (msnm)
Pz-01	535206.0423	8312324.9118	1677.9629
Pz-01c	535206.0155	8312324.9815	1677.7751

MONITOREO NIVEL FREÁTICO (N.F.)

PROF. (m)	FECHA	OBSERVACIÓN
-	08/05/2018	No se realizó presencia de Agua Subterránea
-	14/05/2018	No se realizó presencia de Agua Subterránea
-	29/05/2018	No se realizó presencia de Agua Subterránea

E. Alfaro A. - Mayo 2018
ILUSTRACIÓN N° B.2.3

Escala: Gráfica



Geoscience - Geotechnology S.A.C.
Av. Javier Prado Este N° 6379-301 Urb. La Riviera Monterrico - La Molina
Tel: (01) 3986052 RUC: 992534869 / + 51 986612127

INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA

AGROMIN - LA BONITA (Presa de Relaves AGROMIN - LA BONITA)

TABLE N° 1
ABS INCLINOMETER CASING - GEORCON
SPECIFICATIONS

DESCRIPTION	70 MM (2.75 IN) Ø
Slot Size (Ø in & Slot Length) (Ø)	70 mm (2.75 in)
Casing ID	70 mm (2.75 in)
Casing OD	50 mm (2.0 in)
Casing Length	1.830 m (6 ft 0 in)
Casing Weight	1.325 kg (2.93 lbs)
Slot Size - (Ø in & Slot Length) (Ø)	70 mm (2.75 in)
Material	ABS Plastic
Casing Splice	50 mm (2.0 in) PVC (1.830 m total)
Weight - Package	> 100 kg (220 lb) (EST. 10)

Ø 70 mm (2.75 IN) Ø

ITEM	DESCRIPTION	WEIGHT (kg)
1	Case	100
2	Case	100

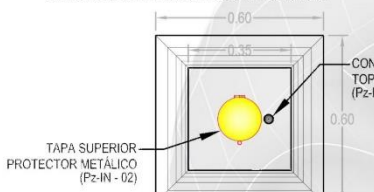
ESPECIFICACIONES

NOMENCLATURA	DETALLE
PIEZÓMETRO - INCLINÓMETRO Pz-IN - 02	CONVENCION DE 2 1/2" DE DIAMETRO PLASTICO ABS DIAMETRO 70 mm

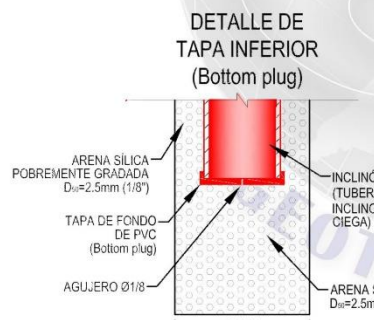
TABLE N° 2
INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA
PIEZÓMETRO-INCLINÓMETRO (m)

NOMENCLATURA	PROFUNDIDAD PERFORACION (m)	LONGITUD DE TUBERIA RANURADA (m)	LONG. TOTAL DE TUBERIA (TUB. INSTALADA) (m)	LONGITUD DE TUBERIA (PROPÓSICIÓN) (m)
Pz-IN-02	20.70	3.00	20.70	20.91

- NOTAS:
- EL PIEZÓMETRO-INCLINÓMETRO TIENEN UNA PROFUNDIDAD DE 20.70 m DE PERFORACION CON UN PROF. 20.11 m DE INSTALADOS DE TUBERIA DESDE LA SUPERFICIE DE TERRENO.
 - ENTRE LOS 15.61 A 16.61 m. DE INSTALO 3 m. DE TUBERIA RANURADA DE 1.5 mm.
 - LA INSTALACION GEOTÉCNICA CUENTA CON UN PLAN DE MONITOREO Y SERA EFECTUADO POR EL PERSONAL CON EXPERIENCIA Y ASI COMO EL MONITOREO TOPOGRAFICO.
 - SE INSTALO UNA PLACA METALICA (PZ-02) PARA UN CONTROL AUXILIAR TOPOGRAFICO DEL PIEZÓMETRO - INCLINÓMETRO.
 - LAS DIMENSIONES DEL DADO DE CONCRETO SON DE 60 cm DE LADO, CON UNA ALTURA DE 70 cm EN FORMA DE BLOQUE.
 - LA TAPA PROTECTOR DEL PIEZÓMETRO ES DE ACERO, LA CUAL LLEVA DANDO DE SEGURIDAD.
 - EL CONCRETO DEL DADO TIENE UNA RESISTENCIA DE COMPRESION F'c = 210 kg/cm² SE UTILIZO CEMENTO TIPO V PARA ELABORAR EL CONCRETO.
 - LAS DIMENSIONES MOSTRADAS EN ESTE PLANO SE ENCUENTRAN EN METROS A MENOS QUE INDIQUE LO CONTRARIO.
 - EL LEVANTAMIENTO PLANIMETRICO DE LOS SONDAJES DIAMANTINOS FUERON TOMADOS POR EL SERVIDOR DE TOPOGRAFIA DE LA MINERA AGROMIN - LA BONITA.
 - EL LEVANTAMIENTO ESTA REFERENCIADO EN COORDENADAS UTM CON DATUM WGS84.
 - EL REPLANTEO DE LA UBICACION DE LOS SONDAJES Y SUS CARACTERISTICAS TECNICAS DE LOS INSTRUMENTOS FUERON REALIZADAS POR GEOSCIENCE S.A.C. Y APROBADAS POR SUPERVISION DE LA GERENCIA MINERA CON FINES DE OPTIMIZAR EL MONITOREO.



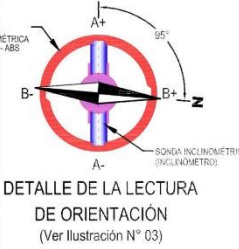
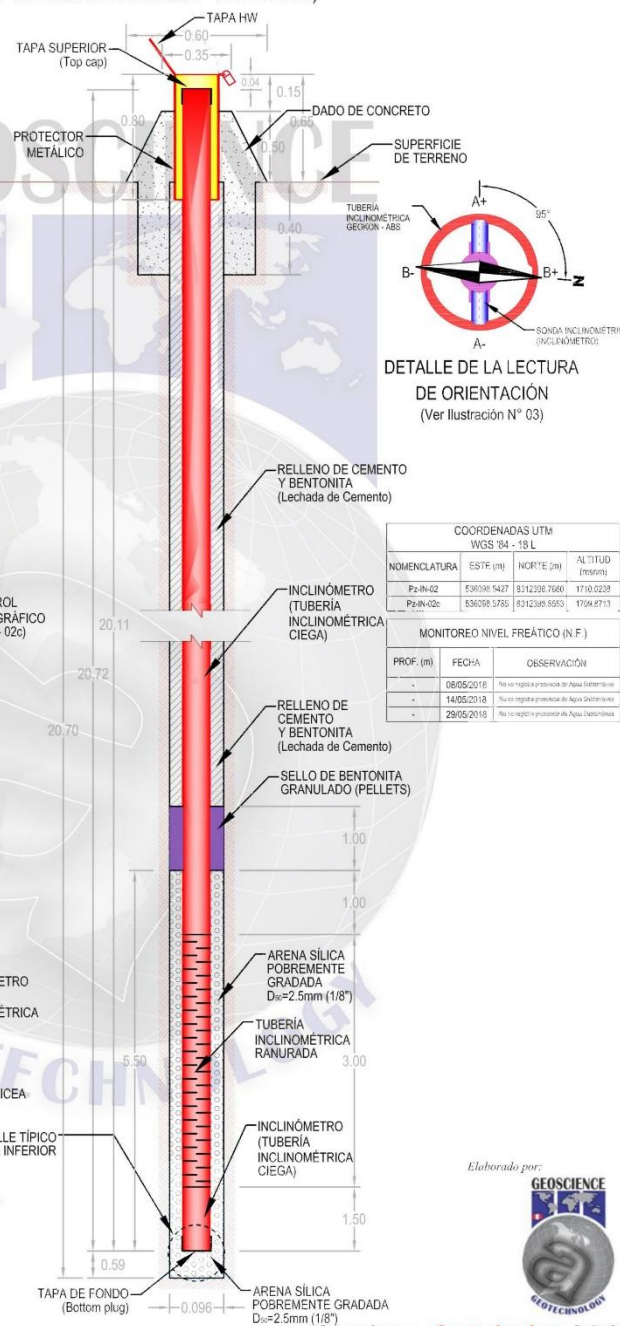
DETALLE DE DADO DE CONCRETO
(Vista en Planta)



DETALLE TÍPICO DE TAPA INFERIOR

DETALLE DEL PIEZÓMETRO-INCLINÓMETRO **Pz-IN - 02** INSTALADO

E. Alfaro A. - Mayo 2018
ILUSTRACIÓN N° B.2.2



COORDENADAS UTM
WSS '84 - 18 L

NOMENCLATURA	ESTE (m)	NORTE (m)	ALTITUD (metros)
Pz-IN-02	536736.7427	8312338.7620	1710.0239
Pz-IN-02c	536738.5786	8312338.8553	1709.8713

MONITOREO NIVEL FREÁTICO (N.F.)

PROF. (m)	FECHA	OBSERVACIÓN
-	08/05/2018	No se registra presencia de Agua Subterránea
-	14/05/2018	No se registra presencia de Agua Subterránea
-	29/05/2018	No se registra presencia de Agua Subterránea



Geoscience - Geotechnology S.A.C.
Av. Javier Prado Este N° 6379-301 Urb. La Riviera Monterrico - La Molina
T+51 (01) 3963657 RFC 962546600 RDM 0 990674690

ANEXO: D-4

a. Condición Estática

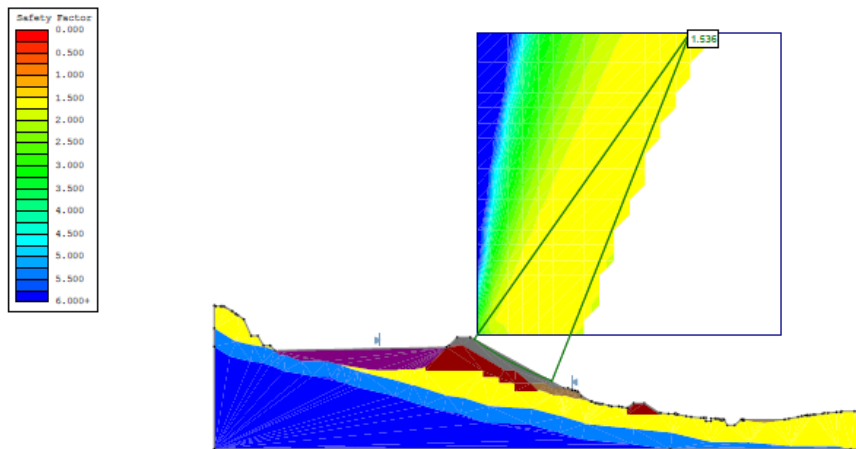


Figura 01.- Superficie mínima de deslizamiento global usando Bishop Simplificado. Analisis Estático, FoS=1.536.

b. Condición Pseudo-Estática

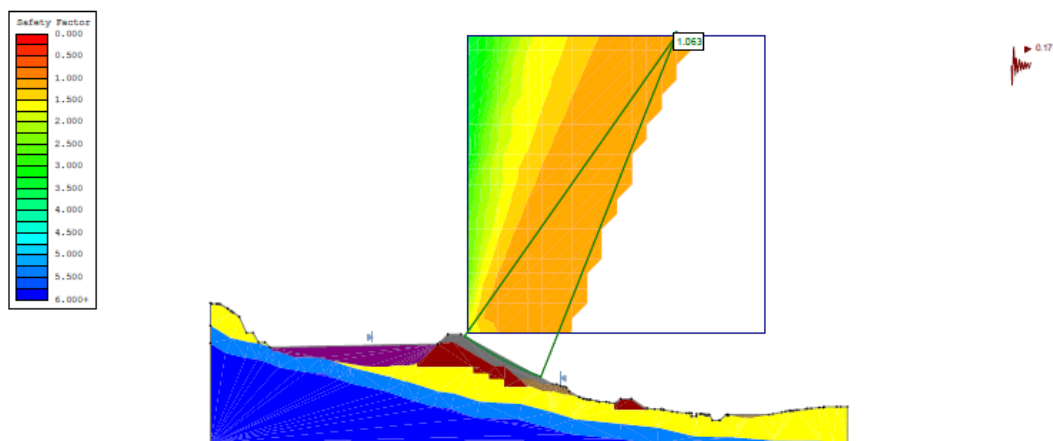
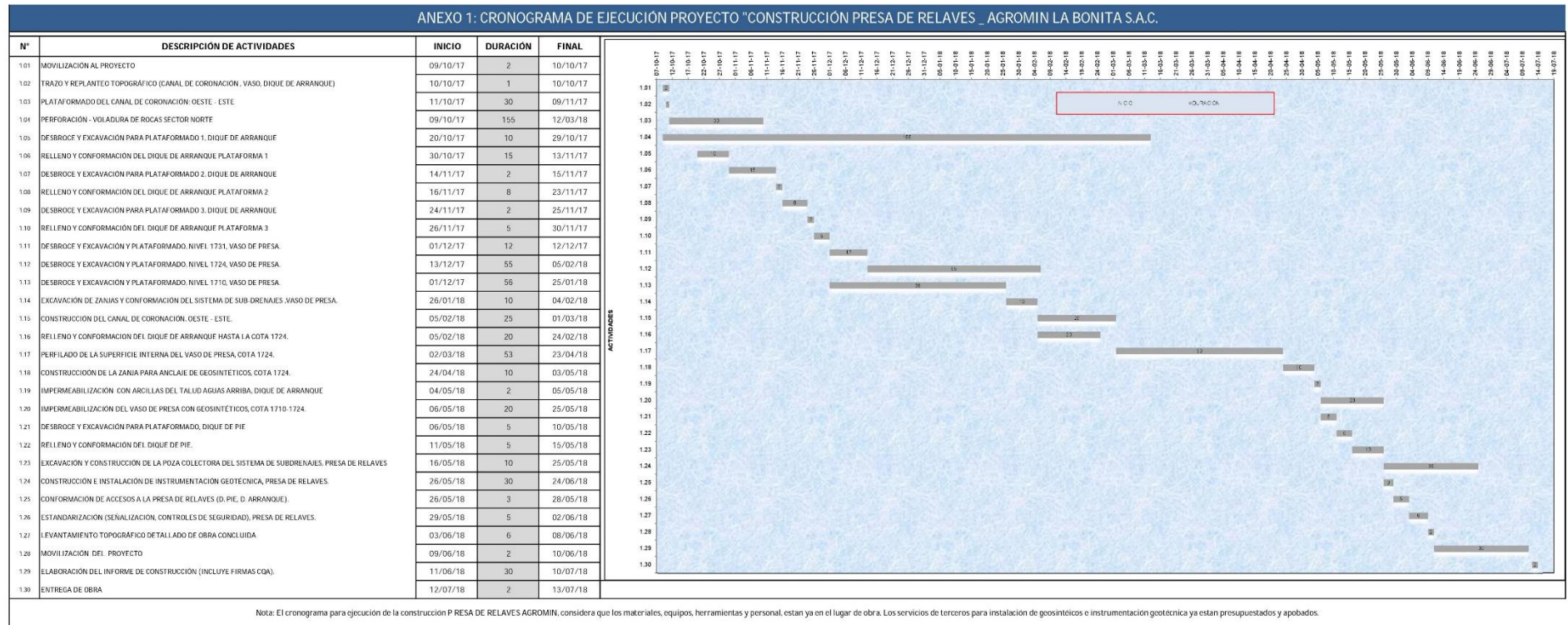


Figura 02.- Superficie mínima de deslizamiento global usando Bishop Simplificado. Analisis Pseudo-estático considerando criterio de Saragoni, FoS=1.063.

ANEXO: D-5



TITULO: "ANALISIS DEL DISEÑO Y PROCESO CONSTRUCTIVO DE UN ENROCADO UTILIZANDO DESMONTES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UNA PRESA DE RELAVES-MINA LA BONITA, AREQUIPA"

EL PROBLEMA	LOS OBJETIVOS	LAS HIPÓTESIS	LAS VARIABLES	METODOLOGÍA
<p>¿CUAL ES LA IMPORTANCIA DE ANALIZAR EL DISEÑO Y PROCESO CONSTRUCTIVO DE UN ENROCADO UTILIZANDO DESMONTES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UNA PRESA DE RELAVES-MINA LA BONITA, AREQUIPA?</p>	<p>ANALIZAR EL DISEÑO Y PROCESO CONSTRUCTIVO DE UN ENROCADO UTILIZANDO DESMONTES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UNA PRESA DE RELAVES-MINA LA BONITA, AREQUIPA</p>	<p>PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN ENROCADO, A BASE DE DESMONTE, COMO PRESA DE RELAVES EN MINA LA BONITA, AREQUIPA, ES IMPORTANTE ANALIZAR EL DISEÑO Y PROCESO CONSTRUCTIVO DE LA PRESA DE RELAVES.</p>	<p>ENROCADO A BASE DE DESMONTES COMO PRESA DE RELAVES</p>	<p>TIPO DE INVESTIGACIÓN:</p> <p>-NO EXPERIMENTAL</p> <p>NIVEL DE INVESTIGACIÓN:</p> <p>-DESCRIPTIVA -ANALITICA</p>
<p>PROBLEMAS SECUNDARIOS-SUB PROBLEMAS</p>				
<p>¿CUAL ES LA IMPORTANCIA DE ANALIZAR LAS CARACTERISTICAS GEOLOGICAS DEL TERRENO DE EMPLAZAMIENTO DE PRESA DE RELAVES A BASE DE DESMONTES, MINA LA BONITA, AREQUIPA.</p>	<p>ANALIZAR LAS CARACTERISTICAS GEOLOGICAS DEL TERRENO DE EMPLAZAMIENTO DE PRESA A BASE DE DESMONTES, , MINA LA BONITA, AREQUIPA.</p>	<p>PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN ENROCADO, A BASE DE DESMONTE, COMO PRESA DE RELAVES EN MINA LA BONITA, AREQUIPA, ES IMPORTANTE ANALIZAR LAS CARACTERISTICAS GEOLOGICAS DEL TERRENO DE EMPLAZAMIENTO DE LA PRESA DE RELAVES.</p>	<p>CARACTERIZACION GEOLOGICA DEL TERRENO DE ASENTAMIENTO DE PRESA DE RELAVES A BASE DE DESMONTES.</p>	<p>DISEÑO DE INVESTIGACIÓN:</p> <p>-CUALITATIVA</p> <p>TECNICAS DE RECOLECCION DE DATOS:</p> <p>-OBSERVACIONAL -RECOPIACION DOCUMENTAL.</p>
<p>¿CUAL ES LA IMPORTANCIA DE ANALIZAR LA INGENIERÍA BASICA DE LOS ELEMENTOS DE PRESA DE RELAVES A BASE DE DESMONTES, MINA LA BONITA, AREQUIPA</p>	<p>ANALIZAR LA INGENIERÍA BASICA DE LOS ELEMENTOS DE PRESA DE RELAVES A BASE DE DESMONTES, MINA LA BONITA, AREQUIPA</p>	<p>PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN ENROCADO, A BASE DE DESMONTE, COMO PRESA DE RELAVES EN MINA LA BONITA, AREQUIPA, ES IMPORTANTE ANALIZAR LA INGENIERÍA BASICA DE LOS ELEMENTOS DE LA PRESA DE RELAVES.</p>	<p>INGENIERÍA BASICA DE ELEMENTOS DE PRESA DE RELAVES A BASE DE DESMONTES.</p>	
<p>¿CUAL ES LA IMPORTANCIA DE ANALIZAR EL CONTROL DE CALIDAD DE LA CONSTRUCCIÓN DE PRESA DE RELAVES A BASE DE DESMONTES, MINA LA BONITA, AREQUIPA.</p>	<p>ANALIZAR EL CONTROL DE CALIDAD DE LA CONSTRUCCIÓN DE PRESA DE RELAVES A BASE DE DESMONTES, MINA LA BONITA, AREQUIPA.</p>	<p>PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN ENROCADO, A BASE DE DESMONTE, COMO PRESA DE RELAVES EN MINA LA BONITA, AREQUIPA, ES IMPORTANTE ANALIZAR EL CONTROL DE CALIDAD DE LA CONSTRUCCIÓN DE PRESA DE RELAVES.</p>	<p>CONTROL DE CALIDAD DE CONSTRUCCIÓN DE PRESA DE RELAVES A BASE DE DESMONTE.</p>	