

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA MINERA Y METALURGICA



**“CARACTERIZACION DEL ACCIDENTE DE LA
LAGUNA NATICOCHA”**

TESIS

**PARA OPTAR EL GRADO ACADEMICO DE MAESTRO EN
CIENCIAS CON MENCIÓN EN INGENIERÍA DE MINAS**

**ELABORADO POR:
CARMEN ROSALIA MATOS AVALOS**

**ASESOR:
M. Sc. Ing. GUILLERMO A. PEREZ VERASTEGUI**

Lima - Perú

2012

DEDICATORIA

A la memoria de mi padre

a la abnegación de mi madre

al amor de mi familia Roberto, Carmen y Jessica

Inspiración de mi vida

AGRADECIMIENTO

Mi reconcomiendo y agradecimiento a mis profesores muy especialmente a mis asesores al Dr. Guillermo Perez Verastegui, M. Sc. Atilio Mendoza Apolaya y M.Sc. Pedro Hugo Tumialan de la Cruz quienes guiaron y colaboraron en el desarrollo de mi tesis.

A mi familia Roberto, Carmen Olga, Jessica Fernanda y a mi madre Isabel quienes me brindaron su comprensión y apoyo en este periodo de estudios.

RESUMEN

El estudio del accidente de la Laguna Naticocha ocurrida el 22 de Abril de 1998, trata de caracterizar las causas que ocasionaron la inundación de la mina Animon, propiedad de la Empresa Administradora Chungar S.A., donde el resultado fue la pérdida de vidas humanas, materiales y la suspensión de las operaciones mineras.

Para caracterizar el evento se consideró investigar los aspectos geológicos, hidrológicos, geomecánicos y la operación minera, que permitirá determinar la causa raíz entre los factores que ocasionaron la inundación de la Mina.

En la investigación de campo, se desarrolló un recorrido desde el borde Este de la Laguna Naticocha y a 60m de distancia del Pique Montenegro sobre los 4.600 m.s.n.m.; en esta zona se formó una depresión en forma de embudo, cuya área en la cota superior es de 1 000m² aproximadamente y en la cota inferior se conecta al Nivel 575 mediante una abertura de 2m de diámetro.

Se bajó al Nivel 575 a través del camino auxiliar recorriendo 45m al Oeste hasta llegar a la abertura de 2m de diámetro que estaba comunicado con la superficie, en

el recorrido el primer tramo de 10m se encontró una abertura vacía en el piso, comunicando con el Nivel 540, esta abertura corresponde al Tajeo 44 Lado Este.

Se recorrió la ruta que siguió el agua desde la Laguna Naticocha, en el trayecto se desarrolló la línea de detalle y el levantamiento topográfico, toma de muestras y todos los datos referentes a la inundación de las minas Animón y Huarón.

Luego del estudio hidrológico de la laguna, la mecánica de suelos del sedimento lacustrino y la mecánica de rocas del macizo rocoso, se han analizado los factores que habrían provocado el evento como: efecto del sedimento lacustrino, nivel de agua de la laguna, factores geológicos estructurales, efectos de la operación minera, subsidencia de labores antiguas, disolución del carbonatos del macizo rocoso, estudio limnológico y la combinación de ellos.

ABSTRACT

The study about the accident at the Naticocha Lagoon that occurred on 22 April 1998, tries to characterize the causes that led to the flooding of the mine Animón, owned by the Empresa Administradora Chungar S.A., where the result was loss of human lives and temporal stopping of mining operations.

To characterize the event, it has been considered geological investigations, hydrological and geomechanical aspects as well as mining operation surveys. The main objective is to determine the root cause among the factors that caused the flooding of the mine.

An onsite study was carried out starting on the East of the lagoon Naticocha edge located at 60 m of distance from Montenegro at an altitude of about 4,600 a.s.l. The flooding caused a depression in a funnel shape; this funnel hole had at its higher elevation an area of 1 000 m² and at its lower elevation it was connected to level 575 through an opening of 2m diameter.

An inspection was carried out to the level 575 through an auxiliary gallery of 45m that connected to the 2m diameter hole at the lower part of the funnel hole. After 10 m of walking an open stope was located, it was the East Stope 44 that was open without any backfilling; it was vacuumed by the flood.

It was taken a detailed survey along the different mining works where the flood went through from Naticocha lagoon.

After the hydrological study of the lagoon, the mechanics of soils of the sediment lacustrine and mechanics of rocks of the Rock, the factors that would have caused the event were analyzed: effect on lacustrine sediment by the high level water of the lagoon, structural geological factors, effects of the mining operation, subsidence of old mining workings, dissolution of the carbonates of the Rocky massif study Limnological and combination of them.

INDICE

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO.....	ii
RESUMEN.....	iii
ABSTRACT.....	v
INDICE.....	vii
LISTA DE CUADROS.....	xiv
LISTA DE FIGURAS.....	xvi
LISTA DE PLANOS.....	xviii
INTRODUCCION.....	1
CAPITULO I: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	7
1.1 IDEA A INVESTIGAR.....	8
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	8
1.3 OBJETIVO GENERAL.....	9
1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	9
1.5 JUSTIFICACIÓN Y VIABILIDAD.....	9

1.6	LIMITACIONES.....	10
CAPITULO II: MARCO TEORICO.....		11
2.1	GEOLOGIA.....	12
2.2	MECANICA DE SUELOS.....	12
2.4.1	Techo.....	12
2.4.2	Frente.....	12
2.4.3	Fondo.....	13
2.3	MECANICA DE ROCAS.....	15
2.4	HIDROLOGIA.....	18
2.5	OPERACIÓN MINERA.....	19
CAPITULO III: CRONOLOGÍA DEL EVENTO.....		21
CAPITULO IV: GENERALIDADES.....		24
4.1	UBICACIÓN.....	24
4.2	ACCESO A LA ZONA DE ESTUDIO.....	24
4.3	CLIMATOLOGIA.....	25
4.4	GEOMORFOLOGÍA.....	25
CAPITULO V: GEOLOGÍA.....		28
5.1	GEOLOGÍA REGIONAL.....	29
5.2	GEOLOGÍA LOCAL.....	31
5.2.1	Formación Inferior.....	31
A)	Unidad Inferior.....	32
B)	Unidad Media.....	32
a)	Horizonte Base.....	32
b)	Horizonte Central.....	32

	c) Horizonte Techo.....	32
	C) Unidad Superior.....	32
5.2.2	Formación Superior (Serie Abigarrada).....	33
5.3	GEOLOGIA ESTRUCTURAL.....	35
5.3.1	Plegamiento.....	35
5.3.2	Intrusivos.....	36
5.3.3	Fracturamiento.....	37
5.4	MINERALIZACION Y TIPOS DE MINERALIZACION.....	39
5.4.1	Estructuras Vetiformes.....	43
5.4.2	Columnas Metalíferas.....	44
5.4.3	Cuerpos Mineralizados.....	44
5.4.4	Vetas Manto.....	44
5.5	ZONEAMIENTO.....	45
5.6	ALTERACION HIDROTERMAL.....	46
5.7	CONTROLES DE MINERALIZACIÓN	46
5.7.1	Control Estructural.....	46
5.7.2	Control Litológico.....	47
5.7.3	Control de Alteración.....	47
5.7.4	Control Mineralógico.....	47
5.8	DESCRIPCION DE LAS ESTRUCTURAS VETIFORMES..	48
5.8.1	Zona de Animón.....	48
	A) Veta Principal.....	48
	B) Veta Nor Este.....	48
	C) Veta Marthita.....	49
	D) Veta María Rosa.....	49
5.8.2	Zona Quimacocha.....	50
	A) Veta Precaución.....	50
	B) Veta Cabrillas.....	52

C) Veta 15.....	52
D) Veta16.....	53
CAPITULO VI: TRAYECTORIA OPERATIVA.....	54
CAPITULO VII: HIDROGEOLOGIA.....	61
7.1 CUENCA DE RECEPCION DE LA LAGUNA NATICOCHA.61	
7.1.1 Registro de las Precipitaciones Pluviales.....	61
7.1.2 Volumen de la Precipitación Total Anual.....	62
7.1.3 La evapotranspiración.....	62
7.1.4 Gastos de Agua.....	62
7.1.5 Bombeo de Agua a la Laguna Llagsacocha.....	63
7.1.6 Balance Hidrológico de la Cuenca de la Laguna Naticocha.....	64
7.2 RESERVA DE AGUA DE LA LAGUNA NATICOCHA.....	66
7.3 SEDIMENTO LACUSTRINO DE LA LAGUNA NATICOCHA.....	68
7.3.1 Aspectos Teóricos de Sedimentación.....	69
a) Techo.....	69
b) Frente.....	70
c) Fondo.....	70
7.3.2 Acumulación de Desmontes Mineros Provenientes de las Labores del Nivel 605.....	72
7.3.3 Construcción de una Trocha Carrozable.....	72
7.3.4 La ubicación de Campamentos a Orillas de la Laguna.....	72
7.4 DESCRIPCIÓN DE LAS MUESTRAS.....	75
7.4.1 Primera Muestra.....	75
7.4.2 Muestra M-3.....	77
7.4.3 Muestra M-2.....	77

7.4.3	Muestra M-1.....	78
7.4.4	Muestra M-4.....	79
7.5	CONDICIONES HIDROGEOLOGICAS EN LA CUENCA DE LA LAGUNA DE NATICOCHA.....	80
7.5.1	Presencia de Aguas Termales en el Nivel 310 de la mina “Animón”.....	81
7.5.2	Probable Origen de esta Aguas.....	81
7.6	FENOMENO METEOROLOGICO DE “EL NIÑO”-1998...82	
7.6.1	Estación Pluviométrica de “Rio Pallanga”.....	83
7.6.2	Estación Pluviométrica de “Mina Animón”.....	83
7.6.3	Estación Pluviométrica “Marcapomacocha”.....	85
7.6.4	Estación Pluviométrica de “Cerro de Pasco”.....	86
	CAPITULO VIII: DISOLUCION DE LAS ROCAS CARBONATADAS...88	
8.1	PROFUNDIDAD.....	88
8.2	TEMPERATURA.....	89
8.3	REGÍMENES DE DISOLUCIÓN RÁPIDA Y LENTA.....	90
8.4	PROCESO DE DISOLUCIÓN.....	93
	CAPITULO IX: SUELOS Y MECANICAS DE LOS SUELOS.....95	
9.1	DISTRIBUCION DE LOS SUELOS EN LA COLUMNA ESTRATIGRAFICA	95
9.1.1	Muestra M-1.....	95
9.1.2	Muestra M-2	96
9.1.3	Muestra M-3.....	96
9.1.4	Muestra M-4.....	96
9.1.5	Muestra – cubo.....	97
9.2	DISCORDANCIA Y SUPERPOSICION DE LA SEDIMENTACION.....	98

9.2.1	La superposición transgresiva (T).....	99
9.2.2	La superposición regresiva (R).....	99
9.3	PRESENCIA DEL AGUA EN EL AREA AFECTADA.....	101
9.4	ESTADO DE LOS SUELOS EN LA COBERTURA.....	103
9.4.1	MUESTRA M-1 “SC”.....	105
9.4.2	MUESTRA M-2 “GP-GC”.....	106
9.4.3	MUESTRA M-3 “SC”.....	106
9.4.4	MUESTRA M-4 “MH”.....	107
9.4.5	MUESTRA M-cubo “GC”.....	107
CAPITULO X. MECANICA Y DINAMICA DE LAS ROCAS.....		110
10.1	GEOLOGIA ESTRUCTURAL DEL ANTICLINAL DE HUARÓN.....	110
10.1.1	Fracturas de Compresión.....	110
10.1.2	Fracturas de Tensión.....	111
10.2	LEVANTAMIENTO GEOLÓGICO Y LÍNEA DE DETALLE EN EL NIVEL 575.....	112
10.3	ANÁLISIS ESTRUCTURAL DEL MACIZO ROCOSO.....	113
10.4	INFLUENCIA DE LA PRESENCIA DE AGUA EN EL MACIZO ROCOSO.....	116
10.5	EVENTO DEL BORDE ESTE DE LA LAGUNA NATICOCHA.....	119
CAPITULO XI: ANÁLISIS DE LOS FACTORES CAUSAS DEL EVENTO.....		122
11.1	FACTORES GEOLOGICOS ESTRUCTURALES.....	122
11.2	EFFECTOS DE LA OPERACIÓN MINERA.....	123
11.3	EFFECTOS DEL SEDIMENTO LACUSTRINO.....	125

11.4	DISOLUCION DEL CARBONATO DE CALCIO EN LAS ROCAS.....	126
11.5	NIVEL DEL AGUA DE LA LAGUNA DE NATICOCHA...	128
11.6	SUBSIDENCIA DE LAS LABORES ANTIGUAS.....	131
CAPITULO XII: CARACTERIZACIÓN DEL EVENTO OCURRIDO EN EL BORDE ESTE DE LA LAGUNA NATICOCHA....		133
CONCLUSIONES.....		137
RECOMENDACIONES.....		140
BIBLIOGRAFIA.....		143
ANEXOS.....		146
ANEXO I: INFORMACIÓN FOTOGRAFICA.....		147
ANEXO II: REPORTE DE PRECIPITACIÓN.....		158
ANEXO III: INFORMES CISMID.....		162
ANEXO IV: PLANOS.....		174

LISTA DE CUADROS

	Pag.
CUADRO 01: <i>CLASIFICACIÓN SUCS DEL LECHO LACUSTRINO</i>	
<i>DE LA LAGUNA NATICOCHA</i>	14
CUADRO 02: <i>COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD “K”</i>	14
CUADRO 03: <i>INDICES DE ATTEBERG DEL LECHO LACUSTRINO</i>	
<i>DE LA LAGUNA NATICOCHA</i>	15
CUADRO 04: <i>SET DE DISCONTINUIDADES NIVEL 575</i>	16
CUADRO 05: <i>LEYES DE AFLORAMIENTO</i>	50
CUADRO 06. <i>NIVELES DE PRODUCCION ANUAL 1967-1998</i>	58
CUADRO 07: <i>CONSUMO DE AGUA</i>	63
CUADRO 08: <i>BALANCE HIDROLÓGICO DE CUENCA</i>	64
CUADRO 09: <i>BALANCE HIDROLOGICO</i>	65
CUADRO 10. <i>COTA DEL ESPEJO DE AGUA DE LA LAGUNA</i>	
<i>NATICOCHA</i>	74
CUADRO 11: <i>VALORES RELATIVOS DE PERMEABILIDAD</i>	76

CUADRO 12: <i>NIVELES PLUVIOMETRICOS - ESTACION RIO</i>	
<i>PALLANGA</i>	83
CUADRO 13: <i>NIVELES PLUVIOMETRICOS - ESTACION ANIMON</i>	83
CUADRO 14: <i>NIVELES PLUVIOMETRICOS - ESTACION</i>	
<i>MARCAPOMACOCHA</i>	85
CUADRO 15: <i>PRECIPITACION PLUVIAL TOTAL</i>	85
CUADRO 16: <i>INDICES Y CLASIFICACION SUCS DE LAS MUESTRAS</i>	98
CUADRO 17: <i>INDICES DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS</i>	104
CUADRO 18: <i>INDICES DE LIQUIDEZ</i>	104
CUADRO 19: <i>NIVELES DE PLASTICIDAD</i>	109

LISTA DE FIGURAS

	Pag.
FIGURA 01: <i>ASPECTOS ANALIZADOS</i>	11
FIGURA 02: <i>FAMILIAS DE DISCONTINUIDADES NIVEL 575</i>	17
FIGURA 03: <i>ROSETAS DE DIACLASAS DE LOS NV 575 Y NV 540</i>	17
FIGURA 04: <i>COLUMNA ESTRATIGRAFICA</i>	33
FIGURA 05: <i>PARAGENESIS DEL MINERAL MINA CHUNGAR</i>	42
FIGURA 06: <i>ALTURA VS VOLUMEN</i>	68
FIGURA 07: <i>ESTRUCTURA LACUSTRINA</i>	71
FIGURA 08: <i>VARIACION DEL TIRANTE DESPUES DEL EVENTO</i>	74
FIGURA 09: <i>REGISTRO DE LA ESTACIÓN “ANIMÓN”</i>	84
FIGURA 10: <i>RELACION ENTRE CLIMA Y METEORIZACION</i>	90
FIGURA 11: <i>REGIMEN DE DISOLUCION RÁPIDA LOGARITMICA</i>	91
FIGURA 12: <i>REGIMEN DE DISOLUCION RAPIDA LINEAL</i>	92
FIGURA 13: <i>REGIMEN DE DISOLUCION RAPIDA Y LENTA</i>	92

FIGURA 14: *COLUMNA ESTRATIGRÁFICA DE BORDE ESTE.....99*

FIGURA 15: *NIVELES DE AGUA NATICOCHA PERIODO 1994-1998.....129*

FIGURA 16: *INUNDACION DE LA MINA ANIMON Y HUARON.....136*

LISTA DE PLANOS

- PLANO 01:** *UBICACIÓN MINA ANIMON.*
- PLANO 02:** *GEOMECANICO NV 575 CX 440N ZONA PIQUE
MONTENEGRO*
- PLANO 2A:** *GEOMECANICO NV 540 CX 440N ZONA PIQUE
MONTENEGRO*
- PLANO 03:** *PLANO ESTRUCTURAL NIVEL 540 – ZONA MONTENEGRO*
- PLANO 04:** *SECCION LONGITUDINAL LAGUNAS HUARONCOCHA
NATICOCHA-LLACSACOCCHA*
- PLANO 05:** *SECCION LONGITUDINAL VETA PRINCIPAL PERIODOS DE
EXPLOTACION*
- PLANO 06:** *SECCION LONGITUDINAL PLANTA PERIODOS DE
EXPLOTACION VETA NOR ESTE*
- PLANO 07:** *SECCION LONGITUDINAL ANTICLINAL HUARON*
- PLANO 08:** *MODELO GENETICO DISTRITO MINERO ANIMON*
- PLANO 09:** *GEOLOGIA ANIMON*
- PLANO 10:** *COLUMNA ESTRATIGRAFICA DISTRITO MINERO ANIMON*
- PLANO 11:** *LAGUNA NATICOCHA NV 540*
- PLANO 12:** *SECCION A-A' UBICACIÓN DE CALICATAS*

PLANO 13: *UBICACIÓN DE CALICATAS*

PLANO 14: *PLANO GENERAL NIVEL 575-540-500*

PLANO 15: *SECCION LONGITUDINAL PLANTA VETA NOR ESTE –
PERIODOS DE EXPLOTACION*

PLANO 16: *LAGUNA NATICOCHA ACTUAL*

PLANO 16A:*LAGUNA NATICOCHA ACTUAL*

PLANO 17: *ZONA MONTENEGRO VETA PRINCIPAL – VETA NOR ESTE*

PLANO 17A: *ZONA STAFF VETA PRINCIPAL –CORTE A-A*

PLANO 17B: *ESTABILIDAD DE TALUDES ZONA STAFF CORTE B-B'Y C-C'*

INTRODUCCION

La presente investigación desarrolla la hipótesis que estudia las probables causas que ocasionaron la inundación de la mina Animón, donde se perdieron vidas humanas y materiales; como consecuencia del evento ocurrido en la Laguna Naticocha, que afectó a la mina Animón cuyo titular es Empresa Administradora Chungar S.A. y a la Mina Huarón de Compagnie Des Mines de Huarón (Panamerican Silver) el 23 de Abril de 1998.

La investigación de campo se inició con una inspección en el área superficial Este circundante a la labor de acceso al interior mina, se inspeccionó los denominados “Glory Holes” y el patrón que siguieron las grietas en superficie para relacionarlas a la orientación de las fallas identificadas en superficie e interior mina.

También, se utilizó información de las actividades de minado y de las circunstancias que precedieron al inicio del evento, se acopió toda la información relacionada para determinar las causas que ocasionaron la falla del macizo rocoso en el fondo del lecho lacustrino por donde discurrió más de 3 500 000,00m³ de agua.

La inspección al interior mina, si inició por la escalera del camino Auxiliar del Pique Montenegro llegando al Nivel 575 que se encontraba a 60m del punto de ingreso del agua de la laguna Naticocha, luego se inspeccionó los “Glory Holes” ubicados sobre la Veta Principal, se midió y analizó la orientación de las grietas que se habían formado en la superficie posterior al evento, del mismo modo se analizó la naturaleza de los sedimentos del lecho lacustrino mediante calicatas, de donde se extrajeron las muestras que posteriormente fueron clasificadas y analizadas.

El propósito de la investigación fue determinar las causas que influyeron significativamente en el desarrollo del evento, para ello se acopió la información necesaria: documentos sobre la historia de la mina, convenios, método de minado y planos antiguos que mostraban las labores existentes antiguas relacionadas a los planos actuales, los registros de minado desde sus inicios, información geológica, datos del manejo de agua en la laguna Naticocha y lagunas aledañas, informes de los sistemas de bombeo, sobre todo los detalles que siguieron al descubriendo inicial de las filtraciones en el Nivel 540, el 22 de Abril de 1998 y otras manifestaciones que pudieran servir a la investigación.

Los planos de las secciones E-W y N-S, mostraron los cambios que sufrieron las galerías (aberturas) por efecto de minado así como información relevante sobre la presencia de las vetas y fallas relacionadas al punto de ingreso del agua. Durante la inspección de campo se tomaron vistas fotográficas que permitieron registrar las huellas que dejó el “mecanismo de falla” durante el evento, esta información se adjunta en los Anexos.

Para alcanzar el objetivo de la investigación, se consideraron diversos factores y aspectos que contribuyeron al desarrollo del evento como: aspectos geológicos, hidrológicos, hidrogeológicos, geotécnicos, geomecánicos y operaciones mineras, la investigación de estos aspectos determinaron los factores que ocasionaron la inundación de la Mina, para luego determinar la caracterización del evento del 23 de Abril de 1998.

Se tuvo conocimiento de la existencia de labores antiguas, las mismas que no registraron identificaron en el terreno. Esto limitaba el planteamiento de la hipótesis al generarse cierta incertidumbre, debido a que no se tuvo una información clasificada de las labores mineras antiguas y si estas hubieran tenido alguna influencia en el desarrollo del evento.

La inspección de campo se inició el día 13 de Marzo de 1999, en las inmediaciones de la orilla de la laguna Naticocha, donde se observaron las huellas dejadas por el evento, estos registros permitieron tomar en consideración la influencia de los factores que intervinieron antes, durante y después del mecanismo de falla.

Al observar la gran abertura y los horizontes que sobreyacen al macizo rocoso, se consideró a esta como una gran calicata que nos ofrecía información in situ, se advirtieron tres horizontes principales en las cuales se tomaron muestras que nos podrían indicar las propiedades mecánicas de los suelos y su respectiva clasificación SUCS, también se tomó un testigo sobre el horizonte que sobreyace el macizo rocoso para analizar el grado de permeabilidad de este horizonte; estos elementos sirvieron para reducir el grado de incertidumbre.

También, se observó que los hastiales (cajas) de la veta NE se encontraban alteradas y con cierto grado de saturación, a lo que se suma el intenso fracturamiento y el estrangulamiento de la veta, en precisamente, el punto donde se inicia la abertura hacia las labores interiores (E5368, N3888 en coordenadas locales), la orientación de las fracturas corre paralela a las cajas.

El material del macizo rocoso corresponde a la formación Capas Rojas de Casapalca (calizas) con predominancia de margas, cuya característica es la solubilidad en presencia de agua carbonatada. Las vetas son rellenos de falla con material fracturado en algunos casos estos se presentan panizados (presencia de filtraciones).

Los alrededores de la “abertura superficial” presentan grietas de desecación productos de resecamiento repentino de los materiales arcillosos, características de las playas de llanuras de inundación o de las playas descubiertas bajas e inclinadas de los lagos, se tomaron muestras del suelo lacustrino de la orilla cercana a la abertura.

En las cercanías del Pique Montenegro, se observaron los Glory Hole alineados con la orientación que corresponde a la veta Principal (Chungar) o Restauradora (Huarón), que se hundieron después del evento; estas aberturas se encontraban rellenas por material de desmonte (suelto) que no presentaba compactación, esto indica que existe comunicación entre las diversas labores de la mina en ese sector. Su comportamiento podría ser el de un colector de aguas de precipitación, el área que presenta cada uno funciona como una microcuenca.

También, se siguió el recorrido del sistema de agua superficial que se utilizaba en los diversos puntos de captación de agua; se midieron las cotas del Nivel de la mesa de agua y la operatividad de las compuertas (en el momento de la inspección se encontraban cerradas). Estas mediciones se relacionaron, para conocer el flujo seguido por las aguas de este sistema de esclusas que permite manejar los niveles de agua de acuerdo a los requerimientos.

En el interior de la mina, ingresando por el pique auxiliar hacia el Nivel 575 que comunica a la superficie a través de la abertura generada por el evento, se levantó una línea de detalle para conocer las familias de discontinuidades y la concentración de los esfuerzos del macizo en el área del evento, es posible desarrollar un análisis retrospectivo con ciertas limitaciones (falta de información previa).

En el Nivel 575 se observaron, las fracturas, discontinuidades, fallas y rellenos de las juntas que en algunos casos alcanzaban hasta 8mm y el desplazamiento de grandes bloques indicándonos la presión con que ingresó el agua y que lavó los rellenos de estas juntas. Los grandes bloques desprendidos fueron arrastrados por el volumen de agua que se canalizó y discurrió por las diferentes labores de la unidad hasta salir a superficie y entregar el material detrítico al río San Juan, los restos apreciados en la galería corresponden a material desprendidas de la laguna y del macizo rocoso que contiene al lecho lacustrino y que fueron arrastrados por la fuerza del agua durante el evento.

Luego se inspeccionó el Nivel 440 en las diversas labores, especialmente la chimenea por donde se descargó el relleno del tajeo 44E al romper la compuerta de clausura durante la inundación.

Durante el trabajo de campo se observó que el Nivel 575 utiliza cimbras de acero como elemento de sostenimiento, sobre todo donde se observan los esfuerzos de compresión en algunas zonas cercanas a la veta.

La presencia de agua se hace notar cerca de la veta NE, pero bajo la laguna no se evidencia filtraciones de agua. El recorrido de la inspección de campo terminó en el pique Esperanza ubicado en el lado opuesto del pique Montenegro sobre la otra orilla de la laguna.

El estudio se desarrolla en once capítulos, iniciándose con los capítulos que comprenden la metodología y el marco teórico a seguir, para sustentar la hipótesis que determinaron los factores que ocasionaron el evento.

En los siguientes capítulos, se efectúa el análisis del entorno, competencias y análisis de los factores. También se formulan las investigaciones necesarias relacionadas al sector afectado.

En los últimos capítulos se propone el desarrollo y evaluación de los factores que caracterizan el evento, y las recomendaciones producto de la presente investigación.

CAPITULO I: METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación se ha realizado a través de un proceso ordenado y sistemático, que tiene por objetivo identificar los factores que desarrollaron el evento, y se plantea la investigación científica de la información recopilada.

El eslabón que permite desde el primer momento estudiar y analizar los aspectos considerados en el estudio es la investigación, existen factores que se tienen que discretizar y priorizar para cada uno de los aspectos considerados, luego se aplicará la investigación científica para la demostración de la hipótesis que caracteriza el evento del 23 de Abril de 1998.

La abstracción, fue la etapa clave del estudio, pues permitió plantear las interrogantes, elegir las bases metodológicas, matrices que permitieron proyectar los aspectos viables de la investigación.

La comprobación, se comprobaron y descartaron los aspectos contemplados en las matrices. Una forma fundamental para validar la información fue mediante la colección de muestras, pruebas, análisis y entrevistas con personas que estuvieron presentes en la mina cuando se desarrolló el evento.

La tesis, busca contribuir con la caracterización del evento del 23 de Abril de 1998 en la Mina Animón, mediante planteamientos, hechos nuevos, alternativas, etc.; basados en las herramientas de investigación utilizadas.

1.1 IDEA A INVESTIGAR

La investigación se desarrolló de acuerdo a la identificación y evaluación de los aspectos relacionados al evento, que permitieron determinar los factores de la ocurrencia del evento y caracterizar el evento, para evitar futuras ocurrencias.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El 23 de Abril de 1998, luego de casi 80 años de trabajo minero en la unidad minera Animón, ocurrió la inundación de la mina por las aguas de la Laguna Naticocha significando las pérdidas de seis vidas humanas, materiales y equipos, quedando completamente inundada con lodo y material detrítico, así como las consecuencias legales por los efectos de la inundación (pérdida de personas, maquinarias y equipos).

La rehabilitación era urgente para la recuperación de los cuerpos de las seis víctimas así como el reinicio de las operaciones mineras en la unidad, que hasta ese momento estaba paralizada.

Con este marco de referencia se plantearon las interrogantes siguientes:

- i) ¿Es realmente una amenaza para las operaciones de la unidad minera Animón la posición de las labores bajo la laguna Naticocha?

- ii) ¿Es posible rehabilitar la unidad para continuar con las operaciones?
- iii) ¿Se puede encontrar el factor que desencadenó el evento y caracterizar el evento? ¿Cuáles son los aspectos que contribuyeron a desencadenar la inundación?

Estas y otras interrogantes que surgieron durante el análisis del entorno, el estudio de la competencia y las características del evento, que por su relevancia requirieron ser objeto de un análisis adicional, se analizaron e identificaron los factores que caracterizan al evento.

1.3 OBJETIVO GENERAL

Caracterizar el evento de inundación de la Mina Animón por las aguas de la Laguna Naticocha.

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar los factores que contribuyeron al desarrollo de la inundación de la Mina Animón.
- Determinar los factores que influenciaron de manera significativa la inundación de la mina Animón.

1.5 JUSTIFICACIÓN Y VIABILIDAD

El sector afectado por la inundación se extiende en un amplio área de la unidad minera Animón, afectando también a la unidad minera vecina Huaron que

inició demandas legales por daños y perjuicios; se tuvo que iniciar actividades de rehabilitación que tuvo como premisa la recuperación de los seis cuerpos de los obreros que fallecieron en el evento, e iniciar el estudio de las variables determinadas para caracterizar el evento motivo de la presente tesis.

Se tiene varios aspectos a considerar las mismas que se tiene que validar a través de la investigación científica, el análisis e interpretación de los resultados de las muestras y pruebas tomadas en el área del evento, permitirá caracterizar el evento de manera muy cercana a los hechos reales.

Por todo lo mencionado anteriormente, se justifica llevar a cabo el planteamiento del problema, sustentado en las herramientas de la investigación que concluye en un documento científico preparado en forma objetiva e independiente que servirá de referencia para prevenir otros posibles eventos de inundación en las minas del país.

1.6 LIMITACIONES

La investigación se aplicó a las condiciones existentes en ese momento (un año después del evento), luego de ejecutar la rehabilitación de las instalaciones de la mina ya que hasta la inspección de esta investigación la unidad minera se encontraba inoperativa con trabajos de rehabilitación, el levantamiento de la información tiene un grado de incertidumbre que se tuvo que considerar y validar con los resultados (información relevante acopiada).

CAPITULO II: MARCO TEORICO

Para la caracterización del evento primero se debe elaborar el planeamiento de la investigación, para ello se analizaron los diferentes aspectos relacionados al evento, con las herramientas ingenieriles y con una guía metodológica estructurada, se identificó las variables de relevancia en la determinación de la hipótesis. Se tiene a continuación un breve resumen de los aspectos considerados en la investigación:

FIGURA 01: ASPECTOS ANALIZADOS



Fuente: Elaboración propia

2.1 GEOLOGIA

La geología de la zona se caracteriza por el Anticlinal Huarón, sobre el que se emplaza la laguna Naticocha, en cuyos extremos Este y Oeste afloran los flancos del anticlinal, conformados por una serie sedimentaria de calizas silicificadas, lutitas de color rojizo, margas y lodolitas de la Formación Casapalca, pertenecientes al Cretácico Superior, cubiertas en sus laderas y hacia la laguna con material cuaternario.

Estructuralmente la Formación Casapalca, se presenta intensamente fallada y plegada, con tres sistemas de fallas, algunos mineralizados por núcleos intrusivos monzoníticos, diques y sills. La mayor explotación minera proviene de la veta Principal, que en su extremo Este se bifurca un ramal importante, conocido como veta Nor Este, donde se registró el accidente del 23 de Abril de 1998.

2.2 MECANICA DE SUELOS

Toda laguna represada sobre un sedimento lacustrino de carácter impermeable, cubre el substratum rocoso sobre el que descansa. Este sedimento en perfil vertical transversal muestra una sucesión de tramos definidos como:

2.2.1 Techo, que está en el borde de la laguna y sujeta a las variaciones del espejo de agua, de acuerdo a las estaciones del año;

2.2.2 Frente, el espacio entre el Techo y el Fondo con una inclinación mayor el Techo.

2.2.3 Fondo que corresponde al espacio mayor de la laguna, donde los sedimentos adquieren su mayor acumulación, con potencias hasta de 10m, casi horizontales.

El Techo representa el tramo del sedimento lacustrino más expuesto a los Niveles máximos y mínimos de la laguna, a la acción del viento y al oleaje, desfavoreciendo la formación y conservación de los sedimentos limo-arcillosos. En el caso particular de Naticocha, el área perturbada por los trabajos del Nivel 605, que se ubica a sólo 20m de la orilla, las instalaciones actuales del pique Montenegro (a 60m), oficinas (a 30m), carretera (a 10m) y campamentos (a 20m) afectaron aún más la formación del sedimento impermeable en el tramo del Techo en esta ubicación.

Para conocer las características del sedimento del lugar del evento, se tomaron muestras de los tres horizontes superpuestos y diferenciados en el mapeo; un cubo en el horizonte interior que descansa sobre el macizo rocoso para determinar su permeabilidad y una última a 50m al Norte en una calicata de 40cm.

Las muestras fueron enviadas al CISMID-UNI para su análisis, cuyos resultados se muestran en el Cuadro 01.

Las muestras tomadas en los horizontes de la columna ubicadas en la dirección del eje del evento, presentan una superposición Regresiva sobre otra de superposición Transgresiva (CS/GP/GC/SC) característica propia del Techo; todas tienen índice de Baja Plasticidad y ninguna califica como impermeables.

CUADRO 01: CLASIFICACIÓN SUCS DEL LECHO LACUSTRINO DE LA LAGUNA NATICOCHA

Muestra	Horizonte	Potencia	SUCS	Plasticidad	Calificación	Permeabilidad
N° 1	Superior	1,0m	SC	14,86%	Baja Plasticidad	Semipermeable
N° 2	Medio	1,0m	GP-GC	14,68%	Baja Plasticidad	Permeable
N° 3	Inferior	1,2m	SC	16,63%	Baja Plasticidad	Semipermeable
N° 4	50m N	0,1m	MH			Semipermeable
Cubo	Inferior	0,3m	GC	15,14%		Semipermeable

Fuente: Elaboración propia, Reporte CISMID-UNI

La muestra “cubo” arroja un Índice de Permeabilidad de $K = 4,4 \times 10^{-8}$ m/s, correspondiente a una calificación semipermeable, pues los suelos impermeables reportan índices con un coeficiente $K = 1 \times 10^{-9}$ m/s, Ver el Cuadro 02:.

CUADRO 02: COEFICIENTES DE PERMEABILIDAD “K”

K(m/s)		10^1	1^0	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}	10^{-10}	10^{-11}
Granulometría	Homogénea	Grava Pura			Arena Pura	Arena muy fina		Silt		Arcilla				
	Variada	Grava gruesa y arena	Grava y arena		Arena y arcilla, limos									
Grados de Permeabilidad		MUY BUENA						MALA				NULA		
Tipos de Formaciones		PERMEABLES						SEMIPERMEABLES				IMPERMEABLE		

Fuente: Castagny, profesor de la Universidad Pierre et Marie Curie Paris. (“Principios y Métodos de la Hidrogeología” 1995)

Para comprobar el estado de los suelos de la columna de horizontes muestreados se determinan los parámetros de Límite Líquido (LL), Índice de Liquidez (IL) y Actividad (A), cuyos resultados se muestran en el Cuadro 03:

CUADRO 03: INDICES DE ATTEBERG DEL LECHO LACUSTRINO

DE LA LAGUNA NATICOCHA

Muestra	Ubicación	LL	IL	A	Impermeabilidad
N° 1	Superior	Intermedia	Plástico	Caolín	Semipermeable
N° 2	Medio	Baja	Semiplástico	Orgánica	Semipermeable
N° 3	Inferior	Baja	Semiplástico	Caolín	Semipermeable
N° 4	50 m N	Alta	Plástico	Caolín	Semipermeable
Cubo	Inferior	Baja	Semiplástico	Glacial	Semipermeable

Fuente: Elaboración propia (Reporte CISMID-UNI)

Como consecuencia del análisis, se puede concluir que los suelos de la columna de horizontes muestreados corresponden al Tipo plástico y semiplástico, todas de carácter semipermeables, no habiéndose encontrado capas impermeables.

2.3 MECANICA DE ROCAS

Para entender la geometría de las rocas y su caracterización es necesario relacionarlo a la orientación de las discontinuidades y los espacios entre ellos.

La cantidad de discontinuidades presentes en un macizo rocoso, es expresada usualmente por la frecuencia en que se presentan y están definidas como una media de discontinuidades por unidad de longitud. Existirá un máximo de frecuencias en una dirección y un mínimo en otra, los espacios entre discontinuidades serán parecidas a la seguida por la curva de distribución exponencial negativa.

Del levantamiento de la “línea de detalle” de la veta Nor Este en el Nivel 575 se establecen tres familias de discontinuidades que generaron cuñas en la abertura, con orientaciones concordantes al sistema de fallas presentes en el anticlinal.

Durante la visita del Nivel 575 y al Nivel 540, se hizo un levantamiento geológico y el de una línea de detalle de la veta Nor Este, que se muestra en el Plano 2, Plano 2-A y el Plano 3, en ellos se pudo apreciar las discontinuidades y fracturas encontradas en el recorrido, así también, se observó los planos de cizalla y diaclasamientos cuyos rellenos han sido completamente lavados por la acción del agua, y otras que evidencian aún, residuos de materiales arcillosos y de calcitas, esta descripción corresponde a las cercanías de la abertura del evento.

Se trabajó con una línea de detalle de 20m desde un punto bajo el forado y el punto topográfico identificado como N° 4 sobre la caja piso.

La representación estructural fue ploteada en una estereonet, donde se incluyen los polos y contornos de concentración de polos, para esta representación se asigna a cada polo un peso individual ver Figura 02, la representación estructural se observa en la Figura 03 en los anexos se aprecian el ploteo de contornos y los planos mayores de las familias formadas por las discontinuidades.

La información obtenida en esta primera etapa fue luego usada en un análisis estructural de estabilidad. Se realizó también el análisis estadístico de las familias presentes y se tomaron las tres sets más importantes que en su conjunto determinan las posibles cuñas, estos sets son los siguientes:

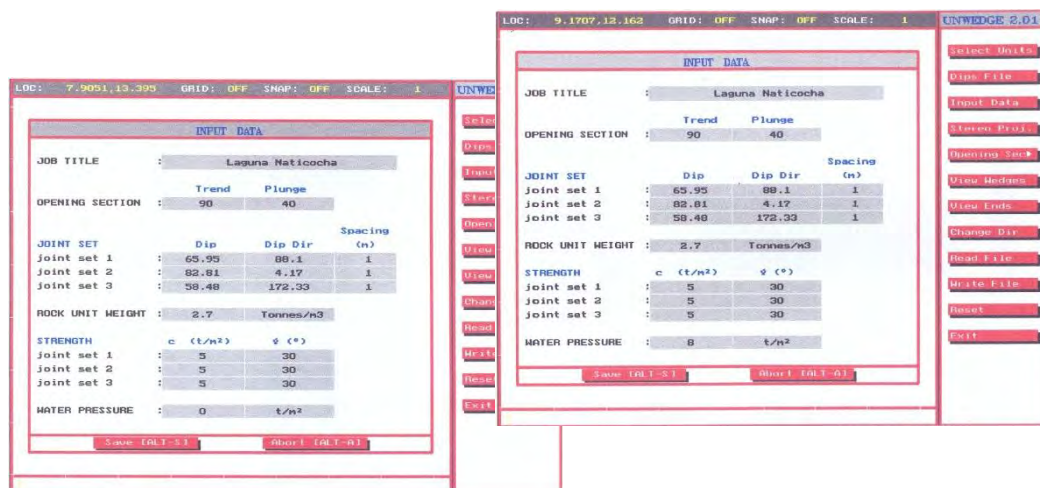
CUADRO 04: SET DE DISCONTINUIDADES NIVEL 575

Joint Set	Dip	Dip Direction
1	65,95°	88,1°
2	82,81°	4,17°
3	58,48°	172,33°

Fuente: Mapeo y de la línea de detalle realizado en el Nivel 575

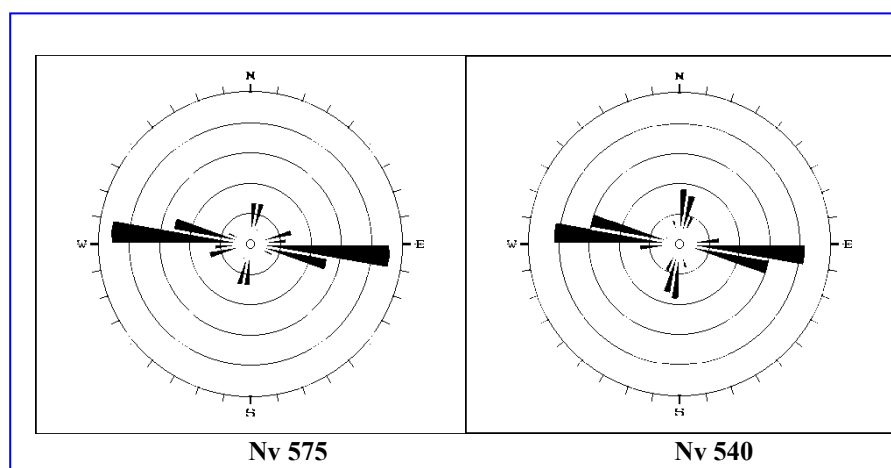
Estas discontinuidades representados por sus planos mayores fueron analizados por el programa UNWEDGE, que nos permite localizar y dimensionar las cuñas que pudieran formarse en las diversas caras de la abertura, siendo los factores de seguridad mayores que uno, es decir que son moderadamente estables cuando se encuentran secos. Se realizó el mismo análisis, cuando se considera una columna de agua en el macizo rocoso, estos factores se anulan, provocando su falla e inicio de una subsidencia.

FIGURA 02: FAMILIAS DE DISCONTINUIDADES NIVEL 575



Fuente: Elaboración propia con el software DIPS. Familia de discontinuidades con y sin agua.

FIGURA 03: ROSETAS DE DIACLASAS DE LOS NV 575 Y NV 540



Fuente: Elaboración propia

En conclusión, se puede establecer que el contenido de agua en la roca actúa sobre los planos de discontinuidad y tiene una gran influencia en la estabilidad de las cuñas que podrían estar presentes, intensificándose el área afectada cuando se tiene bajas temperaturas por efecto del congelamiento del agua.

2.4 HIDROLOGIA

La cuenca de recepción de la laguna Naticocha abarca una superficie de 4km^2 , con un registro promedio de lluvias de $1\,250\text{mm/año}$, resultando una precipitación anual de $5\,000\,000\text{m}^3$.

La evapotranspiración alcanza los $1\,000\text{l/m}^2$, la cuenca pierde $4\,000\,000\text{m}^3$ al año, quedando un remanente de $1\,000\,000$ de $\text{m}^3/\text{año}$.

El gasto en la planta y consumo de agua potable es de $231/\text{s}$, ó $720\,000\text{m}^3/\text{año}$, quedando una reserva positiva de $280\,000\text{m}^3/\text{año}$, determinándose un incremento anual promedio de $0,40\text{m}$ en el tirante de agua de la laguna.

Esta reserva se drenaba en forma natural de Norte a Sur es decir desde Naticocha en dirección a la laguna Huaroncocha, ubicada al Oeste; pero por requerimiento de Huarón para el mejor funcionamiento de su hidroeléctrica y haciendo uso de sus Derechos de Agua, represó la laguna Huaroncocha y cambió su descarga hacia la laguna Naticocha, y de ésta, a su vez a la laguna Llacsacocha, ubicada más al Norte. Ver Plano 4.

Como consecuencia, después del cambio de dirección de drenaje el espejo de agua de la laguna Naticocha aumentó de 650 000m² a 750 000m², elevándose el tirante de agua por lo menos 4,85 metros aproximadamente en relación a la cota natural.

2.5 OPERACION MINERA

En 1913 el señor Mateo Galjuf propietario de Administradora Chungar S.A.C. tomó posesión de la concesión minera Montenegro, de 24Ha de extensión, colindante por el lado Este con la concesión Restauradora de la Compagnie Des Mines de Huarón.

Poco tiempo después inició en el Nivel 605, una galería de 50m al este en la veta Principal. Posteriormente por convenio Huarón utilizó este Nivel para explorar, desarrollar y explotar su veta Restauradora, en la continuación al Este de la veta Principal.

Desde 1939 se inició un litigio entre las dos empresas hasta su arreglo final con el Acuerdo de París en 1963, período en que Huarón extrajo mineral de la concesión Montenegro y como compensación Chungar adquirió el derecho de utilizar la galería Nevejeans como drenaje de la mina Animón mediante los Niveles 400 y 250 de Huarón en forma indefinida.

Mientras que Huarón explotaba los Niveles 605, 575, 540, 475 y 420, Chungar recién en 1967 inició la explotación de los Niveles 540 y 575 desde el pique Montenegro sobre la veta Principal y la veta Nor Este en 1970, quedando los bloques al Oeste y por encima del Nivel 575 sin explotarse, para proteger el

puede del fondo de la laguna Naticocha, considerándose al mineral ubicadas en esa área como reservas inaccesibles, conocidas por esta condición como zonas inaccesibles. Ver Plano 5.

La explotación en los años subsiguientes fue creciendo gradualmente, profundizando los Niveles 465, 420, 390, 355 y 310, al mismo tiempo que se extendió al Oeste, hacia la otra orilla de la laguna Naticocha donde se ubica el pique Esperanza.

Durante los años 1993, 1994 y 1995 se terminó la explotación de los bloques debajo de la laguna, entre los Niveles 465 y 540, quedando todos los bloques por encima del Nivel 540 como protección del fondo de la laguna, determinándose reservas inaccesibles con una altura mínima de 25m ubicada en la parte central. Ver Plano 6.

CAPITULO III: CRONOLOGIA DEL EVENTO

De acuerdo a las informaciones obtenidas de los testigos que presenciaron esta tragedia (personal técnico de la Empresa Administradora Chungar S.A.), los sucesos tuvieron el siguiente desarrollo:

El día 22 de Abril de 1998, a las 8: 30 horas de la mañana, cuando el espejo de agua de la laguna era igual a la cota 4.600,58 msnm, se advirtió un flujo de agua, aproximadamente de 15 l/s, en el Nivel 540 de la veta Nor-Este, caudal de agua que filtraba desde el tajeo 44E, a una distancia aproximada, de 20m del lado Oeste del pique Montenegro.

A las pocas horas del inicio de este acontecimiento, apareció una grieta, paralela a la orilla de la laguna, sobre materiales de préstamo compactado.

Ante la amenaza que significaba esta filtración de agua en el Nivel 540, se evacuó al personal de la mina por el pique La Esperanza. Posteriormente, con el fin de efectuar trabajos de encausamiento hacia los Niveles inferiores, del agua que se encontraba ingresando, se envió una cuadrilla de salvataje de 20 hombres a realizar esos trabajos. Lamentablemente sólo 14 pudieron regresar a la superficie.

Mientras se desarrollaban estos trágicos acontecimientos en la mina Animón, la Empresa Administradora Chungar comunicó al responsable de la mina Huarón (quien tenía a su cargo el control del Nivel de las aguas mediante el manejo de las compuertas en la laguna) para bajar el Nivel de las aguas, en forma inmediata, pedido que no se cumplió. Eran las 12:20 horas

La filtración inicial de 15 l/s fue en aumento constante, debido a la erosión progresiva y al ensanchamiento del punto de ingreso del agua en la roca.

El día 23 de Abril, a las 6:40 horas de la mañana, la pequeña filtración degeneró en una inundación, con un caudal estimado, de 1 000 l/s, caudal que fue en aumento progresivo hasta alcanzar los 20 m³/s, inundando las labores de las minas Animón y Huarón, hasta las cercanías del Nivel 500.

El día 24 de Abril esta gran descarga recién pudo ser controlada, a las 15:30 horas, luego de haberse construido un dique de contención, con la colaboración de las empresas mineras vecinas, que colaboraron con equipos y personal técnico.

Habían transcurrido **32 horas** entre el inicio violento del ingreso del aguas a la mina (6:40 horas del día 23) y su consiguiente control (3:30 horas del día 24) momento en que el caudal se redujo a sólo 20 l/s (que el dique de tierra dejaba filtrar).

La Laguna de Naticocha, al momento de desbordarse, contenía aproximadamente 12 millones de metros cúbicos de agua y su Nivel había descendido en 4,6m, estimándose que ingresó a la mina un volumen de 3,5 millones de metros cúbicos de líquido.

El agua comenzó a desfogar por los Niveles 420 y 270 de la mina Animón, que corresponden a los Niveles 500 y 400 de la Mina Huarón .

Posteriormente, en la zona próxima al desastre, comenzaron a aparecer signos de inestabilidad, en forma de agrietamiento y hundimientos. Es así, como dos “Glory Holes” (terreno hundido por subsidencia de falla), situadas a las cercanías del pique Montenegro se abrieron sobre la veta principal el día 25 de Abril de 1998 a las 10 de la mañana. Esta veta había sido trabajada por la Empresa Huarón en la década de 1940.

En el segundo día de inspección a la mina, se descendió al Nivel 575, por la escalera auxiliar cercana al Pique Montenegro. De esta manera se pudo seguir la trayectoria que había seguido el torrente de agua, desde el punto del accidente (borde Este de la Laguna) al lado Oeste del tajo del Nivel 575, espacio íntegramente comprendido en la veta Nor Este, y con una inclinación aproximada de 40°.

El violento ingreso del agua a la mina, “lavó” el relleno del tajeo en el Nivel 575, además, desestabilizó y removió antiguos rellenos en tajeos del Nivel 540.

CAPITULO IV: GENERALIDADES

4.1 UBICACIÓN

La Laguna de Naticocha donde ocurriera el evento del 22 de Abril de 1998, se encuentra ubicada en la Cordillera Central de los Andes, en su flanco oriental en el distrito de Huayllay, provincia y departamento de Pasco, sus coordenadas geográficas son las siguientes:

Latitud Sur	11°02'30"
Longitud	76°25'20"
Cota	4.600 m.s.n.m.

4.2 ACCESO A LA ZONA DE ESTUDIO

Como principal medio de acceso a la zona, se tiene la Carretera Central, que intercomunica a las ciudades de Lima y La Oroya con la localidad de Unish (en el tramo de la Oroya a Cerro de Pasco), sumando un total de 285km. Finalmente,

una carretera afirmada de 25km de desarrollo, a partir de Unish se comunica con la mina “Animon”.

Otras vías de acceso lo constituyen las rutas de Lima-Canta-Mina “Animon” y Lima-Huaral-Mina “Animon”. Ver Plano 1.

4.3 CLIMATOLOGIA

De acuerdo a los registros meteorológicos de esta región, controlados por el SENAMHI, la temperatura media anual es de 4,2 °C, con un mínimo de -1,4 °C, que se registra en el mes de Julio, y un máximo de 8,7 °C que corresponde al mes de Noviembre. El clima de la región es en general frío y seco (baja humedad relativa del aire), como corresponde a la región puna.

La humedad relativa promedio varía entre 86% (en los meses de verano) y 83% (en los meses de invierno).

La precipitación pluviométrica anual media es igual a 1 250mm. La evapotranspiración es equivalente a 1 000mm/año.

Los vientos registran velocidades que varían entre 1,3m/s a 1,6m/s, predominando la dirección NE – SO.

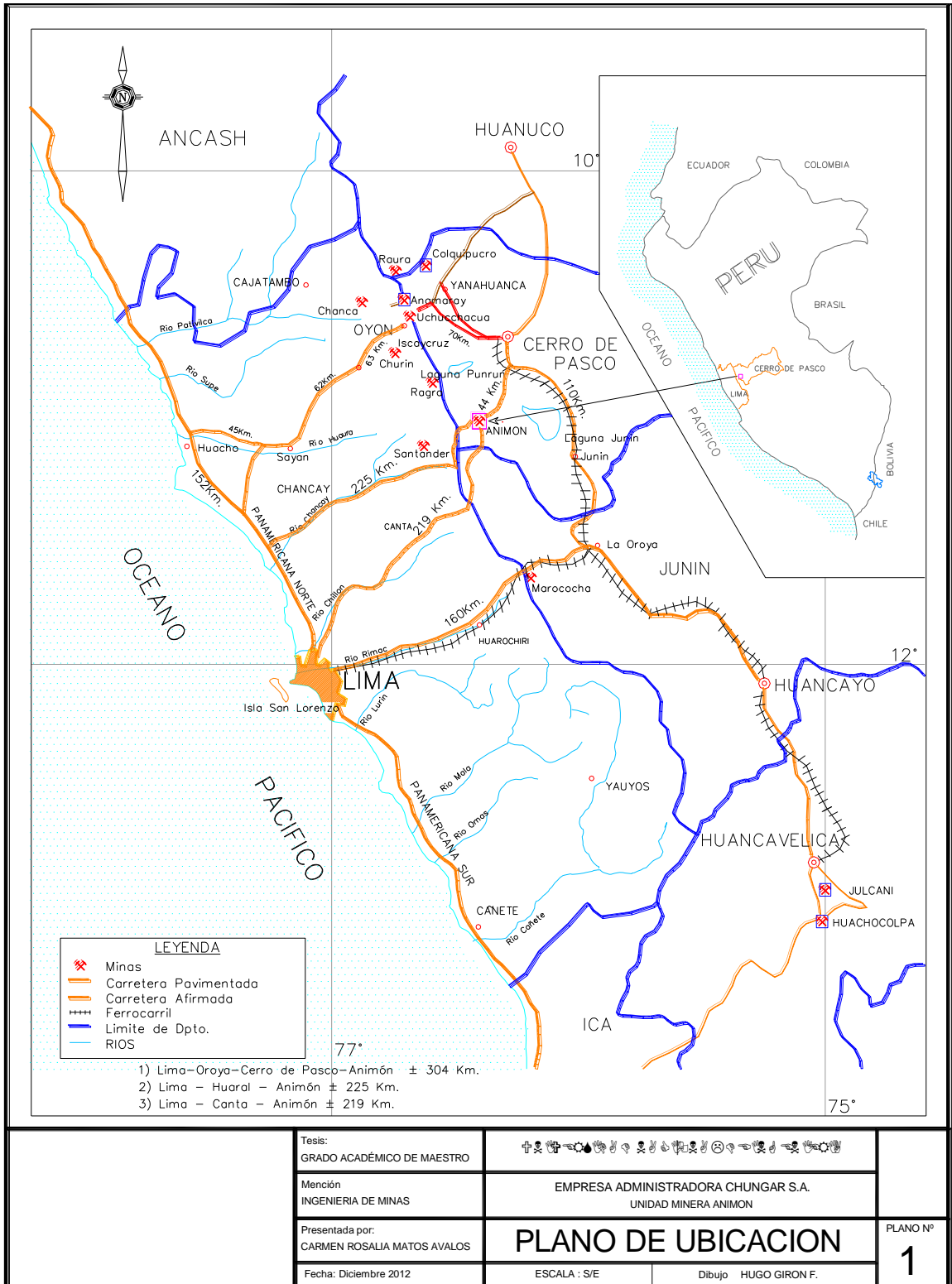
4.4 GEOMORFOLOGÍA

La zona donde se ubica la laguna Naticocha, se encuentra emplazada en la Cordillera Central de Los Andes sobre el eje del anticlinal Huarón, entre los 4.600 y los 4.800 m.s.n.m.

La morfogénesis regional de la zona en estudio, según *Ollivier Dollfus* y *J. Tricart* (1962), corresponde al intenso trabajo realizado por el hielo sobre los afloramientos geológicos, acción que se produjo durante la última glaciación del Pleistoceno.

La morfología de esta región se caracteriza por la presencia de antiguos circos glaciares, ubicados al pie de colinas de suaves formas topográficas. En efecto, las laderas de las colinas forman suaves pendientes, en cuya parte inferior los antiguos circos glaciares se han convertido en las cubetas de muchas lagunas, como es el caso de la laguna de Naticocha.

PLANO 1: UBICACIÓN MINA ANIMON



FUENTE: Empresa Administradora Chungar SAC

CAPITULO V: GEOLOGÍA

El levantamiento geológico regional de la zona en estudio y que corresponde al cuadrángulo de Ondores, fue realizada por el INGEMMET en el año de 1966.

Las rocas más antiguas que afloran en esta región, corresponden a los depósitos sedimentarios de la Formación Casapalca, pertenecientes al Cretáceo superior (Mc Laughlin 1924). Esta serie sedimentaria se encuentra representada por horizontes calcáreos silicificados, por depósitos de lutitas de color rojizo, y por horizontes de margas y lodolitas. Hacia la base de esta formación aparecen Niveles de conglomerados con clastos de caliza.

Los depósitos cuaternarios se encuentran representados por la cubierta detrítica de las laderas de las elevaciones que delimitan a la laguna de Naticocha, así como por depósitos coluviales de naturaleza glacial, **heterogénea, con horizontes de arcilla, limo, arenas arcillosas, morrenas y gravas finas.**

Estructuralmente, la formación Casapalca se presenta en esta zona, intensamente fallada y plegada. Los tres principales sistemas de fallas que se observan tienen las siguientes características:

- Primer sistema es de rumbo Este-Oeste, con buzamiento al Norte.
- Segundo sistema de fallas es de rumbo NO-SE, con buzamiento casi vertical al Sur Oeste.
- Tercer sistema de rumbo NE-SO, con buzamiento al Sur-Este.

Debido a su naturaleza plástica y a los diversos esfuerzos tectónicos, la Formación Casapalca presenta típicos plegamientos en forma de anticlinales y sinclinales, con rumbo NO-SE. Justamente, la laguna Naticocha se emplaza en el anticlinal “Huarón”, cuyos estratos son visibles entre los bordes Este y Oeste de la laguna. Ver Plano 7.

El anticlinal Huarón se originó debido a esfuerzos compresionales, de sentido opuesto Este-Oeste. Esta deformación, a su vez crea fuerzas tensionales en el anticlinal, las que originaron fallas tipo graben.

La mineralización en la mina “Animon” es de origen hidrotermal, por relleno de fracturas, constituyendo un yacimiento polimetálico de zinc, cobre y plomo.

La mayor explotación minera proviene de la Veta Principal que al desplazarse hacia el Este origina un ramal importante, al que se le conoce como Veta Nor Este. Esta es la veta donde se registró el evento el 22 de Abril de 1998.

5.1 GEOLOGÍA REGIONAL

Las Unidades litoestratigráficas que afloran en la región minera de Animón-Huarón están constituidos por sedimentos de ambiente terrestre de tipo

“molásico” conocidos como “Capas Rojas”, rocas volcánicas andesíticas y dacíticas con plutones hipabisales.

En la región abunda las “Capas Rojas” pertenecientes al Grupo Casapalca que se encuentra ampliamente distribuida a lo largo de la Cordillera Occidental desde la divisoria continental hacia el este y está constituido por areniscas arcillitas y margas de coloración rojiza ó verde en estratos delgados con algunos lechos de conglomerados y esporádicos horizontes lenticulares de calizas grises, se estima una potencia de 2,385m datan al cretáceo superior terciario inferior (Eoceno).

En forma discordante a las “Capas Rojas” y otras unidades litológicas del cretáceo se tiene una secuencia de rocas volcánicas con grosores variables constituido por una serie de derrames lávicos y piroclastos mayormente andesíticos, dacíticos y riolíticos pertenecientes al Grupo Calipuy que a menudo muestran una pseudoestratificación subhorizontal en forma de bancos medianos a gruesos con colores variados de gris, verde y morados.

Localmente tienen intercalaciones de areniscas, lutitas y calizas muy silicificadas que podrían corresponder a una interdigitación con algunos horizontes del Grupo Casapalca. Datan al cretáceo superior-terciario inferior (Mioceno) y se le ubica al Suroeste de la mina Animón. Ver Plano 10.

Regionalmente ocurre una peneplanización y depósitos de rocas volcánicas ácidas tipo “ignimbritas” tobas y aglomerados de composición riolítica que posteriormente han dado lugar a figuras “caprichosas” producto de una “meteorización diferencial” conocida como “Bosque de Rocas” datan al plioceno.

Completan el Marco Geológico-geomorfológico una posterior erosión glaciaria en el pleistoceno que fue muy importante en la región siendo el rasgo más elocuente de la actividad glaciaria la creación de grandes cantidades de lagunas.

5.2 GEOLOGÍA LOCAL

El yacimiento de Animón litológicamente está conformado por sedimentos que reflejan un periodo de emersión y una intensa denudación. Las “Capas Rojas” del Grupo Casapalca presentan dos ciclos de sedimentación: El ciclo más antiguo es el más potente con 1,400m a 1,500m de grosor y el ciclo más joven tiene una potencia de 800m a 900m.

Cada ciclo en su parte inferior se caracteriza por la abundancia de conglomerados y areniscas, en su parte superior contienen horizontes de chert, yeso y piroclásticos.

La gradación de los clastos y su orientación indican que los materiales han venido del Este, probablemente de la zona actualmente ocupada por la Cordillera Oriental de los Andes. En el distrito minero se distinguen dos formaciones bien marcadas: Formación Inferior y Formación Superior. Ver Plano 10.

5.2.1 Formación Inferior

La Formación Inferior está conformada por tres unidades:

A) Unidad Inferior

Está constituida por margas y areniscas se ubica en la parte central y más profunda del anticlinal de Huarón su potencia sobrepasa los 800m.

B) Unidad Media

Aflora en el flanco este del anticlinal y es continuo por varios kilómetros con una potencia de 485m, se distinguen los siguientes horizontes:

- a) **Horizonte Base.**- conformada por el conglomerado Bernabé que es un “metalotécto” importante de la región con un grosor de 40m y está constituido por clastos de cuarcita de 10cm de diámetro y matriz arenosa.
- b) **Horizonte Central.**- Constituido por areniscas y margas rojas tiene una potencia de 420m.
- c) **Horizonte Techo.**- “Metalotécto” calcáreo chertico de Sevilla y Córdoba de color violáceo y gris claro, masivo, lacustrino con una potencia de 25m.

C) Unidad Superior

En la base se tiene 5 Niveles de conglomerados que juntos alcanzan una potencia de 80m.

Sus sedimentos detríticos provienen de la erosión de la Unidad media; se tienen grandes bloques de chert “redepositados”, sigue una secuencia de areniscas moradas y Niveles calcáreos. En total esta unidad tiene un grosor de 300m.

5.2.2 Formación Superior (Serie Abigarrada)

Tiene una potencia de 800m, es la única masa rocosa presente en ambos flancos del anticlinal. En el flanco Este es poco silicificada, se inicia con conglomerados gruesos favorables para la mineralización, es otro de los “metalotectos” importantes de la región conocida como “Conglomerado San Pedro” se tiene clastos grandes de cuarcita y caliza estos últimos son fácilmente reemplazados por sulfuros.

El Conglomerado San Pedro tiene una potencia de 20m a 50m, luego se tiene una alternancia de areniscas con detritos volcánicos, conglomerados intermedios, arcosas, areniscas conglomeradas, areniscas y Niveles calcáreos chérticos de 30m y areniscas margosas. Esta “serie abigarrada” se encuentra mayormente en la zona de Quimacocha.

5.3 GEOLOGIA ESTRUCTURAL

5.3.1 Plegamiento

Por acción de la Orogénesis Incaica, por esfuerzos compresivos Este-Oeste, los sedimentos preterciarios y terciarios han sido fuertemente plegados en estructuras que se orientan en forma regional al N 25° W. La manifestación tectónica principal de la zona es el anticlinal de Huarón, cuyas características son las siguientes:

- a) Es un pliegue asimétrico, con el flanco oriental de mayor buzamiento 50°-60°E que el occidental 35°-42°W.
- b) El plano axial se orienta al N 20°-30°W y se inclina al oeste.
- c) El plano axial presenta en la parte central del distrito una suave convexidad hacia el este.
- d) El eje del anticlinal presenta doble hundimiento; la parte norte se hunde 15°-20° al Norte y la parte Sur 5° a 8° al Sur.
- e) Las dimensiones de la estructura son de 20km a lo largo de la zona axial longitudinal y 6km a lo largo de la zona axial transversal (se toma como horizonte guía el techo del chert Córdova). A 3,5km al oeste del anticlinal de Huarón se ubica el sinclinal de Quimacocha cuyo plano axial es paralelo al anticlinal de Huarón. La geometría del anticlinal de doble hundimiento implica que la estructura ha sido originada por una deformación dómica en

respuesta a fuerzas tectónicas dirigidas hacia el Este y hacia arriba, la resultante mayor orientada a N 65°E fue aplicada en la parte central del distrito y la resultante intermedia fue dirigida hacia arriba.

La ausencia de fracturas pre-intrusivas tensionales y de cizallamiento indican que la deformación del anticlinal se efectuó dentro de los límites elásticos específicos que caracterizan a las unidades litológicas, por lo tanto la acumulación de una enorme energía, en estado latente dentro de la estructura fue el efecto concomitante a la acción de los esfuerzos de compresión en épocas preintrusivas. Posterior al depósito de los piroclastos de Huayllay y en épocas post-minerales se registró un plegamiento adicional de poca intensidad (plegamiento Quichuano) que ha producido suaves ondulaciones en la formación Huayllay.

5.3.2 Intrusivos

El relajamiento de las fuerzas tectónicas compresionales preintrusivas y la acción del rebote elástico concentrado a lo largo de la zona axial longitudinal y de la zona axial transversal (parte convexa del anticlinal flexionado), originaron zonas de tensión ó de debilidad a lo largo de los cuales se produjeron rupturas en el anticlinal. Estas fracturas sirvieron posteriormente de canales de circulación y de precipitación de los fluidos ígneos de composición monzonítica cuarcífera y se formaron los diques axiales longitudinales y transversales.

Los diques axiales longitudinales se presentan como un enjambre de 6 diques dentro de un cuerpo lenticular, cuya parte más ancha tiene 1,4km y se orienta al N 25° W. Esta parte se adelgaza progresivamente en su recorrido de 3km al norte

y de 5km hacia el Sur. Los diques axiales longitudinales muestran una duplicidad en los afloramientos debido a la acción de fallas normales de edad post intrusiva y premineral, las cuales se originaron durante el movimiento de ascensión de la parte central del anticlinal de doble hundimiento, ver Plano 8.

El ancho de los diques longitudinales en superficie y en la parte central alcanza hasta 350m, en profundidad tienden a adelgazarse y a buzarse 85° - 88° al oeste.

Los diques axiales transversales intruyen la parte oriental del anticlinal. En esta zona se observan 3 diques orientados en dirección E-W y $N 85^{\circ}W$ distribuidos en una zona de 300m de ancho. Hacia el este los diques se adelgazan y se extienden por 350m-400m de longitud.

En la zona central del anticlinal los diques axiales longitudinales y los diques axiales transversales se unen, adquieren su mayor potencia y son más abundantes. Los diques longitudinales y transversales han desplazado muy pocos metros a los horizontes litológicos y no han producido metamorfismo de contacto en las rocas encajonantes.

La acción de las soluciones hidrotermales post intrusivas han producido seritización, caolinización y fuerte piritización en los diques, por los cuales las texturas y la composición modal de los intrusivos son difíciles de visualizar.

5.3.3 Fracturamiento

En épocas posteriores el emplazamiento de los diques axiales, el anticlinal de Huarón fue nuevamente comprimido por fuerzas dómicas cuya principal

resultante fue orientada al S 80° E y hacia arriba. Estas fuerzas sobrepasaron el límite elástico de las formaciones litológicas y dieron origen al fracturamiento transversal y longitudinal del anticlinal y al desplazamiento ascensional de la parte central del distrito.

El fracturamiento se realizó mediante dos conjuntos de fracturas preminerales: el conjunto transversal orientada en dirección E-W y el conjunto longitudinal orientada en la dirección N-S. El primer conjunto se caracteriza por presentar dos sistemas de fracturas que tienden a converger en profundidad.

El primer sistema buza 70°- 80° al norte y se localiza en la parte media y sur del distrito, presentan una gran cantidad de fracturas, entre las que se encuentran las fracturas inversas mineralizadas de Andalucía, Restauradora (Principal), Cometa, Elena, Yanamina, Travieso, Alianza y Yanacrestón.

El segundo sistema buza 80°- 90° S y se localiza en la parte norte, presentan pocas fracturas, entre los que se encuentran las fracturas inversas mineralizadas a Shiusha Norte, Mechita, Shiusha Sur, Pozo D y Patrick; en cambio hacia la parte suroeste (Quimacocha) se tiene mayor número de fracturas inversas mineralizadas que buza 55°- 65°S como: Precaución, Cabrillas, Veta 15, Veta 16.

Mayormente debido a que las fuerzas de compresión Este-Oeste formadores del anticlinal de Huarón ocasionarán fallas longitudinales al eje del anticlinal y luego una gran ruptura en (x) equis de cizalla, con dos fallas Naticocha-Llaesacocha y Cometa-Huaychao en diferentes edades cada uno que han dividido en cuatro partes el anticlinal de Huarón, cada uno con minerales característicos.

El conjunto de fracturas orientados en dirección Norte-Sur que buzan 40°- 55° al oeste y se localizan en la parte Oeste del distrito, se caracterizan por ser fracturas preminerales concordantes con la estratificación. Entre estos se tienen a las fracturas mineralizadas de Fastidiosa, San Narciso y Constancia. El bloque central del distrito, limitado por las fracturas extremas Pozo D. Shiusha, Fastidiosa y Restauradora, ha sido elevado por desplazamientos horsticos unos 600m-700m con referencia a la parte estable de la zona Norte.

Aunque el desplazamiento total se distribuye en varias fracturas, el desplazamiento relativo entre las paredes de cada fractura es de mayor magnitud; lo cual produce una situación favorable para la extensión y persistente tanto lateral como en profundidad del fracturamiento pre-mineral.

Los fracturamientos post-minerales han sido de mucho menor magnitud que los pre-minerales y generalmente se han efectuado en forma concordante con los fracturamientos pre-minerales.

5.4 MINERALIZACIÓN Y TIPOS DE MINERALIZACION

Inmediatamente después de la formación de las primeras fracturas pre-minerales, las cuales se iniciaron en la parte central del distrito, las soluciones hidrotermales primitivas las invadieron y circularon a lo largo de ellos a temperaturas relativamente altas.

Los compuestos llevados en solución fueron precipitados en el siguiente orden paragenético: cuarzo lechoso, pirita, enargita y tetraedrita. La enargita es

abundante en las partes centrales del distrito y la tetraedrita (con poco contenido de plata) lo es en las partes exteriores del área de enargita. Ver Figura 04.

A este primer ciclo de precipitación mineral pertenecen las vetas Travieso, Alianza, Veta 4, Tapada, la parte sur de la Veta Fastidiosa y la parte norte de la Veta San Narciso. La precipitación se realizó en un tiempo relativamente prolongado, lo que permitió la formación de cristales de diámetros medianos. En respuesta a pulsaciones tectónicas adicionales que hicieron progresar el movimiento hórstico y permitieron la reapertura y ampliación de las fracturas existentes y la formación de nuevas fracturas adyacentes, se produjo una nueva actividad magmática con la consecuente inyección de un segundo ciclo de mineralización a mediana temperatura.

El movimiento diferencial de las cajas permitió que los precipitados del primer ciclo fueron brechados, intruidos y cementados por los minerales de la segunda etapa de mineralización, cuyo orden paragenético es el siguiente: cuarzo lechoso, pirita, marmatita y galena.

El tiempo de precipitación del segundo ciclo fue más prolongado que en el primer ciclo y el enfriamiento fue más lento, por lo cual se tienen cristales de mayor diámetro. Al segundo ciclo de mineralización pertenecen las vetas: Santa Rita, Cometa, Providencia, Elena, parte oeste de Tapada, extremo oeste de Alianza, Veta 4, Yanacrestón, Patrik, Veta 17, Shiusha, Veta Pozo D y las bolsonadas de Bernabé y Sevilla. Este tipo de mineralización ha contribuido con el 50-60% del volumen total de los precipitados minerales.

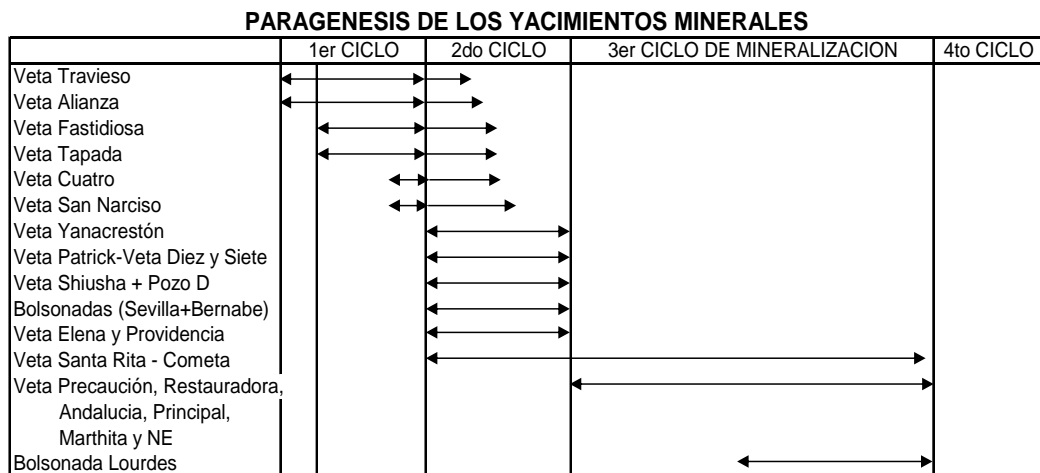
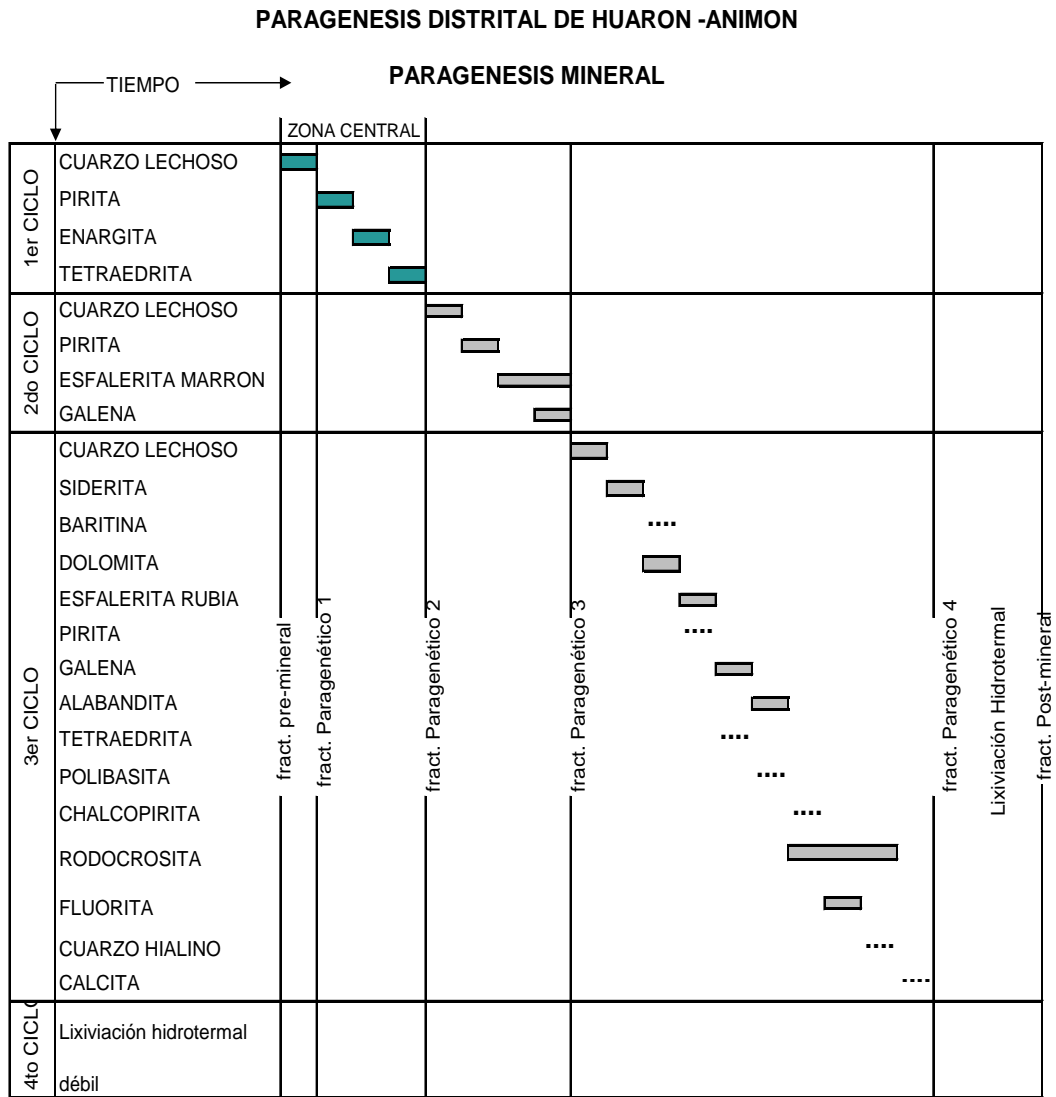
La renovación de la actividad tectónica en una época posterior a la consolidación de los precipitados del segundo ciclo permitió que la parte central se elevara aún más y que las fracturas preexistentes se alargaran y profundizaran en forma adicional y que se formaran otras nuevas estructuras.

El brechamiento y el consecuente aumento en la permeabilidad de los minerales depositados facilitaron la circulación de nuevas soluciones hidrotermales de baja temperatura. Los precipitados respectivos presentan texturas colomorfas y botroidales y una cristalización fina; lo cual implica una precipitación rápida en un tiempo relativamente corto. Lo característico de este ciclo es la precipitación abundante y continua de carbonatos; las cuales se inician con la siderita y evolucionan gradualmente a dolomita, rodocrosita y calcita. Pertenecen a este ciclo además de los carbonatos, la baritina, esfalerita rubia clara, esfalerita rubia rojiza, galena, tetraedrita argentífera (freybergita), polibasita y chalcopirita. Contienen este tipo de precipitados las bolsonadas Lourdes, la parte este de las vetas Elena, Providencia y Cometa; Veta Restauradora (Principal), Marthita, Nor Este, Andalucía y Precaución; la parte Norte de la Veta Fastidiosa y la parte sur de la Veta San Narciso.

Posterior a la precipitación de la esfalerita y galena de la tercera fase de mineralización se inició una débil lixiviación hipógena que produjo una disolución parcial en los **cristales** y en las paredes de pequeñas fracturas.

Los tipos de mineralización del distrito están constituidos por vetas, bolsonadas ó cuerpos mineralizados y por vetas-manto

FIGURA 05: PARAGENESIS DEL MINERAL MINA CHUNGAR



Fuente: departamento de Geología Empresa Administradora Chungar SAC

5.4.1 Estructuras Vetiformes

Las vetas son las fracturas preliminares que han sido rellenadas con minerales de Fe, Cu, Zn, Pb y Ag. Las vetas que afloran en todo el distrito son más de 50; pero los más importantes que han sido proyectados y desarrollados en Animón son alrededor de 4 y en Huarón alrededor de 25.

Estos depósitos contienen el mayor volumen de la mineralización económica del distrito. La amplitud de los desarrollos horizontales en cada una de las estructuras va desde unas pocas centenas de metros en las vetas de menor importancia como la Veta Nor Este y con 300 metros hasta 1,800 metros en las Vetas de mayor importancia como: La Veta Principal y Precaución, en general estos depósitos son parcialmente conocidos desde superficie hasta profundidad de 550 metros en Huarón y en Animón hasta 330 metros (Nv 270).

La potencia de las Vetas varía desde unas decenas de centímetros hasta 8 a 10 metros. La Veta Principal en el Nivel 270 tiene una potencia de 3,20m. Las Vetas Este-Oeste tienen buzamientos entre 75° a 90°, las Vetas al cruzar los diques monzoníticos tienden a ramificarse y al ingresar a los conglomerados reemplazan a clastos calcáreos.

Muy pocas Vetas han sido disturbadas por fallamiento post-mineral transversal ó concordante, la fuerte alteración hidrotermal de las cajas caolinización y silicificación está relacionada al 1^{er} y 2^{do} ciclo de mineralización.

5.4.2 Columnas Metalíferas

Tal vez esfuerzos compresivos formadores del anticlinal de Huarón han actuado de manera diferente de Este-Oeste y viceversa en Animón, con un mayor relajamiento ó movimientos distensivos hacia el Oeste coayudados por la reapertura de fracturas pre existente. Esto dio lugar a una gran ramificación de grietas y su posterior mineralización en las “mal llamadas” Vetas Luz, Marleny y Zoraida.

5.4.3 Cuerpos Mineralizados

Los cuerpos mineralizados se ubican en la parte Este y Oeste del anticlinal y se han formado en el área de intersección de las Vetas E-W con el conglomerado Bernabé y con el chert Córdova en la zona Este y con el conglomerado San Pedro en la zona de Quimacocha. Estos cuerpos mineralizados tienen contornos horizontales irregulares y elongados en dirección Norte-Sur. La mineralización en los conglomerados se presenta diseminada y reemplazamiento de la matriz calcárea.

5.4.4 Vetas Manto

Son estructuras mineralizadas concordantes con la estratificación en el flanco oeste del anticlinal se han desarrollado 2 Vetas mantos en la zona de Huarón: San Narciso y Fastidiosa y en la zona de Quimacocha con cerca al pique del mismo nombre, se observan estratos calcáreos de 0,30m de grosor con mineralización diseminada, estructuralmente para el caso de Huarón existen evidencias que se

trata de fallas inversas que tienen orientación Norte-Sur y buzan 30° a 50° al oeste. En cuanto a su mineralogía es muy irregular y parece estar ligado a su cercanía ó lejanía de las Vetas Este-Oeste, la ganga es cuarzo rodocrosita y el mineral económico y las cajas están fuertemente laminados y triturados, tal como se observa en la galera del Nv 580 de Quimacocha.

5.5 ZONEAMIENTO

En el distrito minero Animón-Huarón, los precipitados de los diferentes ciclos de mineralización se han distribuido en zonas concéntricas tridimensionales asimétricas.

Los minerales de mayor temperatura, correspondientes al 1^{er} ciclo de mineralización, se ubican en la parte central y se caracterizan por estar distribuidos en dos subzonas: Una en la parte central ó núcleo compuesta esencialmente de pirita-enargita y otra que rodea a la anterior compuesta de abundante pirita-tetraedrita.

Los minerales de mediana temperatura, correspondientes al 2^{do} ciclo de mineralización, se ubican en la zona intermedia. Estos precipitados intruyen y traslapan a los minerales del 1er ciclo y originan las asociaciones de minerales de cobre-zinc y plomo ó minerales triples. El mineral característico es la marmatita acompañada de cristales triglifos de pirita y de poca galena. En esta zona se ubican la mayor cantidad de depósitos minerales del distrito.

Los minerales de baja temperatura que han sido originados durante el 3^{er} ciclo de mineralización. Se han precipitado en las fracturas más jóvenes de la periferia del distrito. Estos precipitados conforman la zona exterior de mineralización, los minerales típicos son: esfalerita rubia clara y esfalerita rubia rojiza, galena en megacristales y ganga botroidales de siderita, baritina y rodocrosita. Debido a las reaperturas de las fracturas, los precipitados del tercer ciclo han traslapado a las zonas ocupadas por los precipitados anteriores.

5.6 ALTERACION HIDROTHERMAL

El primer ciclo de mineralización está asociada a una alteración zonada de las rocas: Alteración sílico-potásico muy cerca de las Vetas y una alteración propilítica en la periferia.

El segundo ciclo de mineralización está asociado a una alteración argílica y silicificación con epidotización.

El tercer ciclo de mineralización está asociado a una alteración argílica avanzada a pervasiva.

5.7 CONTROLES DE MINERALIZACIÓN (METALOTECTOS)

5.7.1 Control Estructural

Es el principal “Metalotecto” importante del distrito minero, cuyo fracturamiento tensional Este-Oeste sirvieron de ductos favorables para la

precipitación de minerales y sus posteriores reaperturas dieron origen a nuevas estructuras tanto al piso y techo de la Veta Principal.

5.7.2 Control Litológico

Es otro “Metalotécto” de gran importancia en el distrito, especialmente las siguientes unidades: En el conglomerado Bernabé y San Pedro se forman cuerpos de reemplazamientos al interceptarse con las Vetas de orientación Este-Oeste y relleno de fracturas Norte-Sur.

En el Chert de Sevilla y Córdoba se tienen cuerpos disseminados y en los estratos calcáreos en la zona de Quimacocha se tienen “Mantos” disseminados.

5.7.3 Control de Alteración

Existe una alteración graduacional cerca de la estructura vetiformes de Animón, mayormente argílica tanto al piso y techo de la Veta Principal, con mayor amplitud hacia el piso, razón por la cual las exploraciones futuras deben encaminarse hacia esa dirección. Las Vetas que tienen buzamiento contrario a la Veta Principal presentan una alteración silicificada a propilítica.

5.7.4 Control Mineralógico

La presencia de bandas de “rodocrosita alterada” al centro de la Veta Principal es un mineral guía del tercer ciclo de precipitación de mineral y la continuidad de la estructura; también se observa franjas de “cuarzo amatista”

intercalada con el mineral masivo de zinc y plomo. La presencia de cuarzo sacaroide nos indica la reapertura que ha sufrido la fractura original.

5.8 DESCRIPCION DE LAS ESTRUCTURAS VETIFORMES

5.8.1 Zona de Animón

A) Veta Principal

Es la estructura mineralizada más importante del Yacimiento de Animón, es una fractura tensional Este-Oeste rellena con precipitados del tercer ciclo de mineralización cuyo afloramiento desde la zona de Huarón (Restauradora) hasta Animón, alcanza 1,5km con potencias variables de 2 a 3 metros y un buzamiento promedio de 77° a 81° al norte. Debido a la reapertura de las fracturas por efectos tectónicos tanto al piso como en el techo se presentan “Lazos cimoides” cuya amplitud tanto longitudinal como vertical alcanzan de 50 a 150 metros. La Veta Principal al lado este-oeste de la concesión Montenegro tiene la forma de un arco convexo por efectos de la falla Naticocha-Llacsacocha tipo cizalla en “X”. Ver Plano 9.

B) Veta Nor Este

Tiene una dirección $N75^\circ E$ con potencias variables de 0,30 a 1,50 metros con un buzamiento de 77° al norte, esta estructura se intersecta con la Veta Principal a 150 metros al oeste del pique Montenegro y fue reconocida

hasta el Nivel 355. Mineralogénicamente tiene un mayor contenido de plomo que la Veta Principal.

C) Veta Marthita

Es otra fractura tensional de rumbo este-oeste pero con buzamiento de 60° a 65° al sur y potencias variables de 0,50 a 1,50m; tienen una concentración homogénea de plomo y zinc marmatítico. En superficie aflora en las concesiones de Huarón pero en profundidad por el buzamiento ingresa a las concesiones de Chungar a partir del Nivel 465 y se intersecta con el ramal Techo de la Veta Principal en el Nivel 355.

Mineralogénicamente es importante resaltar la presencia de Alabandita con Inclusiones de tetraedrita y pirargirita.

D) Veta María Rosa

Esta estructura se intersectó en el Nivel 390 en el año 1990, con el desarrollo del crucero hacia el Pique Esperanza, la veta se le encontró fallada con arrastre de mineral y bastante echada con un buzamiento de 35° al SE y potencia de 0,35m. A fines de 1996, con el desarrollo del crucero 840 del Nivel 355, se cortó la misma estructura pero con una potencia de 3m con un rumbo N40°E y un buzamiento de 60° al SE; Personalmente creo que se trataría de la misma veta Precaución o un ramal de la misma que aflora entre la zona de Esperanza y Quimacocha con una mayor concentración de esfalerita rubia y es probable que por debajo del Nivel

310 (zona Esperanza) se cruce con la veta Principal, esto se confirmará con los futuros sondajes diamantinos a realizarse en interior mina.

5.8.2 Zona Quimacocha

A) Veta Precaución

Aflora desde la parte Norte del pique Esperanza con una potencia de más de 3m y un buzamiento de 60° SE con mayor presencia de cuarzo lechoso y en menor proporción galena y esfalerita, esta estructura fue desarrollada por Compañía Minera Chungar y por Huarón en los Niveles 610, 640, 670 y 700 en las concesiones Precaución, CPH 58, Cabrillas, Demasía Elena y Dalmacia.

Los Geólogos de Huarón por esos años lo denominaron veta Bellavista o veta 11 y 12

CUADRO 05: LEYES DE AFLORAMIENTO

Potencia	%Pb	% Zn	%Cu	OzAg/t
2,50	6,70	18,70	0,35	2,50
1,50	13,0	15,20	1,00	4,80
1,30	8,00	19,50	2,55	10,10

Fuente: Departamento de Geología Empresa Administradora Chungar SAC

Tiene una extensión longitudinal de 1,5km y en la pampa de Quimacocha se comporta como un arco cóncavo hasta el pique Quimacocha y al

interceptarse con horizontes calcáreos y conglomerádicos se forman cuerpos diseminados y de emplazamiento.

Por el año 1997 y 1998 se ejecutaron nueve sondajes diamantinos con un total de 2,308m y separados unos 200m entre sí con la finalidad de reconocer las vetas en profundidad y han definido una zona mineralizada para la veta Precaución de unos 500m de longitud con anchos que varían de 3m en el lado Este a 1,50m hacia el lado Oeste; estos han sido definidos con los puntos de corte de los sondajes 4, 3, 3A y 2A.

Hacia el sector Oeste, la veta ha sido reconocido con los sondajes 1, 1A y 6, los resultados obtenidos en los puntos de corte de los sondajes diamantinos, muestran que la veta en este sector Oeste no tiene valores económicos. Se había estimado unos 558,000 TMS como recursos minerales con una potencia de 2,14m 3,72%Pb, 9,88%Zn, 0,40%Cu.

Con la finalidad de pasar estos recursos minerales a la calidad de reservas se realizó una segunda etapa complementaria de sondajes diamantinos, con la ejecución de otros nueve taladros: 7, 6, 9, 10, 11, 12, 13, 14 y 15 entre los meses de octubre y diciembre de 1999, cubicándose aproximadamente en la veta Precaución 838 310 TMS con un ancho minado de 4,64m, 7,50% Pb, 12,58% Zn y 0,32% Cu.

B) Veta Cabrillas

Esta estructura aflora mayormente en la concesión Precaución propiedad de Compañía Minera Huarón con una potencia de 2m a 3m mayormente cuarzosa con un rumbo de N50°E y 55° SE de buzamiento con oxido de manganeso, se intercepto la veta Cabrillas con los sondajes 2A, 3 y 3A con una regular mineralización de esfalerita marmatítica y galena con abundante cuarzo.

Con la primera etapa de sondajes diamantinos se estimó 86 000 TMS de recursos minerales con 2,40m de potencia 6,97% Pb, 7,22% Zn. y 0,87% Cu.

C) Veta 15

Tiene un afloramiento de 150m en la concesión de CPH 18 con una potencia variable de 0,20 a 0,70m con una mineralización mayormente cuarzosa y con disseminaciones de marmatita y galena, tiene un rumbo de N75°E y 70° S de buzamiento. En el Nivel 620 se desarrolló en un tramo de 100m en la concesión Bellavista y 150m en la concesión CPH 18 la mayor parte del desarrollo se realizó en una estructura delgada y de bajo contenido metálico.

Las posibilidades mejorarán al interceptarse con los horizontes conglomerados de San Pedro.

D) Veta 16

Su afloramiento es bastante definida con una potencia variable de 0,25m a 0,60m con regular concentración de esfalerita y galena con una longitud de 100m en el CPH 18 y 20m en la concesión Bellavista pero al Oeste debe ingresar a las concesiones CPH 18 y CPH 19, de persistir su buzamiento al Sur con 65° su extensión vertical en profundidad es limitada al pasar a las concesiones CMH 11 y CMH 8 de Huarón.

CAPITULO VI: TRAYECTORIA OPERATIVA

En 1913 el señor Mateo Galjuf (actualmente Empresa Administradora Chungar S.A.C.) tomó posesión de la concesión minera “Montenegro”, de 24Ha, colindante por el lado Este con la concesión “Restauradora” de la Compagnie Des Mines de Huarón.

Poco tiempo después el señor Mateo Galjuf (Chungar) inicio el Nivel 605, cuya bocamina estaba ubicada aproximadamente a 20m al Este de la orilla de la laguna Naticocha, cuando estaba llena (época de lluvias) y a 50m en época de estiaje (cuando no habían lluvias).

El Nivel 605 consistió en una galería de aproximadamente 50 metros de longitud hacia el Este siguiendo la veta Principal, formándose una cancha o plataforma de desmonte en la bocamina, no solamente por la acumulación de material estéril de la galería, sino también por la necesidad de formar un área plana para depositar el material escogido, listo para su comercialización.

La apertura de esta labor hizo necesaria la construcción de una trocha carrozable hasta la cancha de mineral para facilitar el transporte producido de mineral, así como algunas viviendas a inmediaciones para el personal y almacén de herramientas y materiales.

En 1936, Huarón solicitó al señor Mateo Galjuf usar la galería del Nivel 605 para acceder al extremo Oeste de su concesión Restauradora, cuyo límite con la concesión Montenegro estaba a 100 metros al Este de la bocamina de este Nivel.

Firmado el convenio, Huarón debería correr al Este aproximadamente 50 metros dentro de la concesión Montenegro, siguiendo la veta Principal hasta pasar a la concesión Restauradora de Huarón, donde la veta Principal toma el nombre de Restauradora.

Según el convenio, el mineral proveniente de la concesión Montenegro sería acumulado en la cancha libre de costo y para disposición de Chungar, mientras que el procedente de Restauradora sería transportado por línea de cauville hacia la tolva de Huarón y de allí a su concentradora, la autorización para la instalación en la cancha de bocamina de una compresora y todos los servicios requeridos por éste Nivel, cuyo desarrollo fue de 400 metros al Este en la concesión Restauradora.

Todos estos trabajos hicieron que se ampliara la cancha de la bocamina, con el consiguiente aumento de tráfico en esta parte de la orilla de la laguna Naticocha.

En 1939, Huarón desconoció el convenio firmado tres años atrás, porque un nuevo replanteo de la concesión Restauradora desplazaba el límite con la

concesión Montenegro, en aproximadamente 50 metros al Oeste. Esto significaba que el límite Original ubicado aproximadamente a 100 metros al Este de la bocamina del Nivel 605, ahora estaba a 50 metros; como consecuencia, no era necesario ningún convenio y Chungar o sus representantes no tenían derecho a acceso a sus labores, originándose un juicio de muchos años que terminó en 1963 con la firma del Acuerdo de Paris, restituyéndose el límite original de las concesiones Montenegro y Restauradora y reconociéndose la extracción indebida por parte de Huarón de mineral de la concesión Montenegro.

El juicio tuvo dos etapas, la primera relacionada al límite de las dos concesiones, cuyo fallo del Poder Judicial en 1956 fue a favor de Chungar, detectándose que Huarón extrajo indebidamente mineral procedente de la concesión Montenegro.

La segunda etapa del juicio fue el reconocimiento y pago a Chungar por el mineral extraído de Montenegro, concluyendo con el Arreglo de Paris en 1963, por el cual Huarón permite a Chungar el uso de sus Niveles de drenaje (Nivel 400 ó Trapiche y Nivel 250 ó Nevejeans), además de autorizar la evacuación de aguas de la laguna Naticocha.

Desde **1939 hasta 1963**, pasaron 24 años, siendo un este período de conflicto judicial, Chungar mantuvo actividades mineras muy reducidas en su concesión Montenegro, mientras que Huarón explotó intensivamente los Niveles 605, 575, 540, 465 y 420, tanto de sus concesiones como de Montenegro.

Por esta razón Chungar no tiene planos o información de la parte explotada por Huarón en la concesión Montenegro, tanto en la veta Principal como en el Ramal (Veta Nor Este).

Recién después del fallo judicial a favor de Chungar en 1956, Chungar inició la profundización del pique Montenegro hasta el Nivel 420 el año 1966.

La explotación de Empresa Administradora Chungar comenzó el año 1967 en la veta Principal, a partir de los Niveles 540 y 500 en una longitud de 85 metros al Oeste de la zona explotada por Huarón. El método fue de corte y relleno convencional, es decir con relleno de superficie, completándose hasta la superficie el año 1968.

Todos los blocks al Oeste de la zona explotada del Nivel 540, es decir los que están al costado y debajo de la laguna Naticocha fueron dejados como protección, considerándose como reservas inaccesibles. Ver plano de Declaración de Reservas presentadas al Ministerio desde 1971. Ver Plano 5.

Con el tiempo, éstos blocks de reservas inaccesibles fueron conocidos como zonas inaccesibles, no porque antes hayan sido accesibles, sino porque estos blocks correspondían a reservas de protección a la laguna, consideradas inaccesibles.

Los años **1969 y 1970**, se explotó el Nivel 465 de la veta Principal y este último año el Nivel 540 de la veta NE hasta el Nivel 575, como se desprende de los planos de Declaración Jurada de Reservas desde el año 1971.

En este mismo plano se observan los blocks de reservas A y B ubicadas por encima del Nivel 575 y debajo de la orilla de la Laguna Naticocha, como **áreas inaccesibles**, los que siempre se consideraron como tales, porque quedaron como protección del fondo y la orilla de la laguna Naticocha, con un puente de 30 metros en roca aproximadamente.

Este hecho se ha corroborado después de la inundación, pues el recorrido del agua fue por este Nivel 575, y bajó por el relleno del tajeo explotado del Nivel 540, dejando accesible el techo de este tajeo.

La observación del techo de este tajeo muestra que a pesar de la fuerte corriente de agua que ha fluido por ella y dada su antigüedad de esta labor, 28 años desde que se abandonó, no muestra un desprendimiento fresco o derrumbes importantes que comprometan la estabilidad del puente de protección o block de reserva inaccesible dejada sobre el Nivel 575, no se observa ningún fenómeno de subsidencia por falta de relleno o sostenimiento del puente.

Los años subsiguientes se han explotado las reservas correspondientes a los Niveles inferiores de ambas vetas, es decir los Niveles 500, 465, 420,390, 355 y 310 como se muestra en el Cuadro 06.

Es interesante observar que desde el año 1994 hasta 1996 se explotaron las reservas que están debajo del fondo de la laguna Naticocha, en la comunicación del Nivel 465 y 540, dejando como puente de protección las reservas por encima del Nivel 540, en una altura de 24 metros verticales en su presentación más estrecha o angosta ubicada en el medio de la laguna.

Este puente es suficientemente sólido, pues en el Nivel 540 no se aprecia fatiga en el sostenimiento que tiene, tampoco se observan filtraciones de agua proveniente de la laguna. Sin embargo, el relleno cementado de los Niveles 540 y 465 programado por la Empresa, dará la seguridad y estabilidad del fondo de la laguna Naticocha.

CUADRO 06. NIVELES DE PRODUCCION ANUAL 1967-1998

AÑO	VETA PRINCIPAL	VETA NOR-ESTE
1967	540	--
1968	540*	--
1969	465	--
1970	465	540*
1971	--	500
1972	420	--
1973	--	--
1974	420	420
1975	--	--
1976	--	--
1977	--	--
1978	390	420
1979	390	--
1980	--	--
1981	390	--
1982	390	--
1983	390 / 355	--
1984	390 / 355	--
1985	390	390

1986	420 / 390 / 355	390
1987	390 / 355	--
1988	390 / 355	--
1989	390 / 355	--
1990	465 / 390 / 355	--
1991	465 / 390 / 355	--
1992	465 / 390	--
1993	465* / 390 / 310	465
1994	465* / 310	465
1995	465* / 310	465
1996	465 / 355 / 310	465
1997	465 / 355 / 310	465
1998	465 / 355 / 310	465

Fuente: Departamento de Geología Empresa Administradora Chungar SAC

*Son Niveles correspondientes a labores al costado o debajo de la laguna.

CAPITULO VII: HIDROGEOLOGIA

7.1 CUENCA DE RECEPCION DE LA LAGUNA NATICOCHA

La cuenca de recepción de lluvias correspondiente a la laguna de Naticocha se encuentra comprendida entre las cotas 4600 y 4800 m.s.n.m., abarcando una superficie equivalente a 4km² aproximadamente.

7.1.1 Registro de las Precipitaciones Pluviales

Para determinar el módulo promedio de la precipitación pluvial de la cuenca en estudio, se tomó información de los registros de la antigua estación pluviométrica del yacimiento minero de Río Pallanga, que se ubica a 12km (en línea recta) al sur de Naticocha, cuyas coordenadas son las siguientes:

Latitud Sur	11°09'
Longitud	76°27'
Cota	4.700 m.s.n.m.

El promedio de 13 años de observaciones (1969 - 1981) es igual a **1 252mm/año** registrado, con un máximo de **2 082mm** (1975) y un mínimo de **744mm** (1981).

7.1.2 Volumen de la Precipitación Total Anual

Adoptando el módulo promedio de la precipitación (1 250 mm/año) la cuenca de la laguna en estudio recibe por metro cuadrado de superficie $1,25\text{m}^3$ de agua meteórica. Considerando una superficie de 4km^2 la precipitación anual en la cuenca de la laguna de Naticocha es equivalente a $5\,000\,000\text{ m}^3/\text{año}$.

7.1.3 La evapotranspiración

La altitud y sequedad de la atmósfera determinan un alto grado de evaporación, cuyos valores alcanzan los $1\,000\text{ mm/año}$, en estas regiones.

De esta manera se determina que, la pérdida del agua meteórica por efecto de la evapotranspiración es igual a $1\,000\text{ l/m}^2$. Por consiguiente, la cuenca de la laguna de Naticocha pierde $4\,000\,000\text{ m}^3/\text{año}$, quedando un remanente disponible de un millón de metros cúbicos.

7.1.4 Gastos de Agua

Consumo en la Planta concentradora y en el abastecimiento del servicio de agua potable. El consumo en la unidad Animón es de aproximadamente de 23 l/s .

CUADRO 07: CONSUMO DE AGUA

DESTINO	CONSUMO
Planta Concentradora	18 l/s
Agua Potable	05 l/s
Total	23 l/s
Para el Año 1987 $0,023 \text{ m}^3/\text{s} * 86.400 \text{ s/d} * 360\text{d/año}$	715.392 m³/año

Fuente: elaboración propia.

7.1.5 Bombeo de Agua a la Laguna Llacsacocha

Las aguas contenidas en la laguna Naticocha hacía la Laguna Llacsacocha (ubicado en el extremo Norte), se bombea en forma permanente con un caudal equivalente a 500l/s.

Este caudal representa los siguientes volúmenes por año:

$$Q = 0,5\text{m}^3/\text{s} * 86\ 400\text{s/d}$$

$$Q = 43\ 200,00\text{m}^3/\text{día}$$

$$Q = 0,5\text{m}^3/\text{s} * 86\ 400 \text{ s/d} * 360 \text{ d/año}$$

$$Q = 15\ 552\ 000,00 \text{ m}^3/\text{año}$$

7.1.6 Balance Hidrológico de la Cuenca de la Laguna Naticocha

El conocimiento del balance hidrológico es muy importante para el estudio del evento en la Laguna Naticocha. Con los datos del balance es posible comparar recursos específicos de agua en un sistema, en diferentes períodos de tiempo, y establecer el grado de su influencia en las variaciones del régimen natural.

Al estimar los componentes del balance hidrológico y su ajuste en la ecuación, es posible detectar deficiencias en la distribución de estaciones de observación y descubrir errores sistemáticos de medición. Asimismo, el conocimiento del balance permite una evaluación indirecta de cualquier componente desconocido dentro de él, por diferencia entre los componentes conocidos.

CUADRO 08: BALANCE HIDROLÓGICO DE CUENCA

INGRESOS (Mm ³ /año)		GASTOS (Mm ³ /año)	
Precipitaciones	5,0	Evapotranspiración	.. 4,00
Se desconoce el ingreso que proviene de la laguna Huaróncocha		Bombeo a la laguna Llagsacocha	15,552
		Planta concentradora y agua potable	0,715
Total Ingresos	5,0	Total Gastos	20,267
VARIACIÓN DE LA RESERVA		15,267Mm³/año	

Fuente: elaboración propia

$$P = E + Q + dw$$

P = Precipitación pluvial total que ocurre en la cuenca durante el año, expresada en milímetros.

E = Evapotranspiración anual, expresada en mm.

Q = Bombeo a la laguna de Llagsacocha, más el consumo de la planta concentradora y el servicio del agua potable.

$\pm d_w$ = Reservas en aguas, que pueden ser positivas o negativas.

En estas condiciones (después del evento), no se puede cerrar el balance hidrológico de la cuenca de la laguna, porque existe ingreso de agua de la laguna de Huaróncocha hacia Naticocha, cuyo caudal y volumen se desconoce. Además se bombea un caudal de 500 l/s de Naticocha hacia Llacsacocha. Ver Plano 4.

Prescindiendo de los dos factores negativos expuestos, estamos en condiciones de cerrar el balance hidrológico.

CUADRO 09: BALANCE HIDROLOGICO

INGRESOS (Mm ³ /año)		GASTOS (Mm ³ /año)	
Precipitaciones	5,0	Evapotranspiración	4,0
		Planta concentradora y agua potable	0,715
Total Ingresos	5,0	Total Gastos	4,715
Variación de la Reserva:		0,285Mm³/año	

Fuente. Senamhi , $+ d_w = 285\,000\text{ m}^3/\text{año}$ (reserva positiva)

Considerando una superficie de $0,7\text{km}^2$ de extensión para la laguna de Naticocha, los $285\,000\text{m}^3/\text{año}$ de reserva positiva significa un incremento anual de $0,40\text{m}$ en el tirante del agua de la laguna, de mantenerse la pluviometría con la misma intensidad.

7.2 RESERVA DE AGUA DE LA LAGUNA NATICOCHA

Uno de los documentos más importantes que se tiene de esta laguna corresponde a una vista aérea, a la escala de 1:7000, levantada por el Servicio Aereofotográfico Nacional, en agosto de 1950, a solicitud de la Empresa Minera Huarón.

A partir de este documento (fotografía aérea), se calculó aproximadamente, la superficie del espejo de agua del cuerpo principal de la laguna, prescindiendo de los extremos Norte y Sur. La superficie calculada es igual a 650 000m². Se desconoce el volumen hídrico que almacenaba la laguna en aquella fecha (1950).

Revisando la carta batimétrica de la laguna Naticocha, que fuera levantada por “Ingeniería de Suelos y Geotecnia S.A.” (Marzo de 1990), se observan 5 perfiles transversales a la laguna, todas próximos a los piques Montenegro y La Esperanza; el tirante promedio de agua, en estos perfiles es de aproximadamente 30m.

No se disponen de mayores datos que permitan efectuar un cálculo de la reserva de agua, porque no se ha realizado un levantamiento batimétrico integral a lo largo de los 1.600 metros de longitud que tiene la laguna.

De acuerdo, a las referencias de los antiguos moradores del lugar, antes del comienzo de la explotación minera, la laguna tenía una superficie más reducida que la presentada en la actualidad, cuando el drenaje natural de sus aguas era desde la laguna Naticocha hacia la laguna de Huaroncocha.

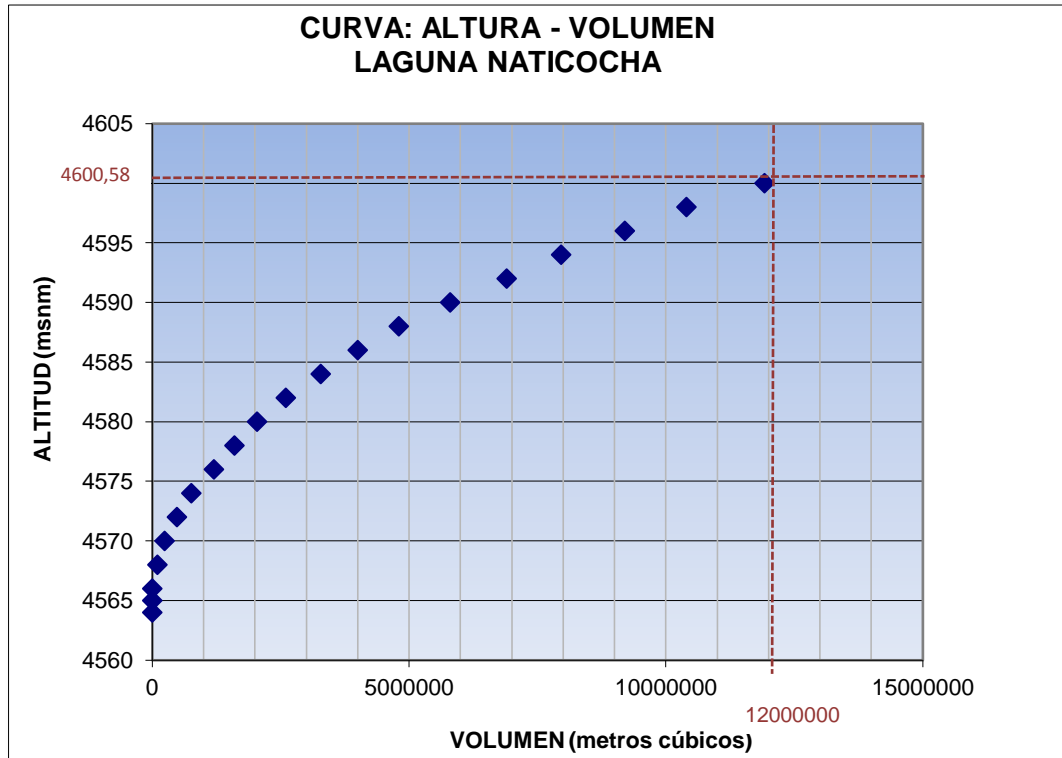
Posteriormente y por la necesidad de asegurar energía eléctrica para su unidad minera, la Compañía Minera Huarón, construyó un dique de represamiento que permitió elevar el Nivel del espejo de agua de la laguna Huaroncocha e invertir el sentido de su drenaje hacia Naticocha. Las aguas de Naticocha recibidas de Huaroncocha son descargadas hacia la laguna de Llacsacochaa través de un sistema de canales y compuertas. Ver Plano 04 Sección Longitudinal Lagunas Huaroncocha, Naticocha y Llacsacocha.

De acuerdo al documento técnico elaborado por la Empresa Administradora Chungar, se dispone de un cuadro que muestra una curva, representando el valor del volumen del agua en la laguna en función a la altitud. Ver Figura 05: Altura-Volumen

El documento en referencia indica que la laguna en su mayor Nivel ocupa una superficie equivalente a $0,70\text{km}^2$, su menor cota de fondo es igual a 4564 m.s.n.m., con una profundidad de 38m (relativos).

Observando la curva que acompaña al documento indicado, el día del evento la laguna habría almacenado 12 000 000,00 de metros cúbicos de agua, valor que se considera como coherente dentro de los regímenes hidrológicos analizados. Ver Plano 11.y Figura 15 Nivel de las Aguas de la Laguna Naticocha.

FIGURA 06: ALTURA VS VOLUMEN



Fuente: elaboración propia, data de Oficina de Seguridad Empresa Administradora Chungar SAC

7.3 SEDIMENTO LACUSTRINO DE LA LAGUNA NATICOCHA

Concordando con las afirmaciones de los técnicos de la empresa Auditora S.R.K. (Sud América) cuando describen la función de los sedimentos del fondo de la laguna de Naticocha como *“impermeabilizantes”*.

En efecto, estos sedimentos lacustrinos arcillo-limosos, de color rojizo oscuro y de naturaleza plástica, se encuentran cubriendo el fondo de la laguna, reposando directamente sobre el fondo del substratum rocoso.

La potencia de estos sedimentos varía en función a la sección transversal de la laguna. Según E. Ruiz, autor del “Informe Batimétrico de la Laguna Naticocha”,

el espesor de los sedimentos alcanzan pocos metros en las orillas, pero esta potencia va en aumento progresivo hacia la parte central, donde puede llegar a los 10 metros.

Como se indica en el ítem 7.2, la Laguna Naticocha aumenta su espejo de agua (superficie de ocupación) desde el año 1940 cuando se invierte el sentido del drenaje natural de sus aguas, que inicialmente era hacia la laguna Huaróncocha (Norte a Sur).

El ingreso de aguas provenientes de Huaróncocha hacia Naticocha (Sur a Norte), amplía la superficie del espejo de agua de Naticocha, es así que empieza a formarse nuevos depósitos limo-arcillosos en el fondo de la nueva superficie cubierta por el agua.

7.3.1 Aspectos Teóricos de Sedimentación

El ritmo de la sedimentación en la laguna y el aumento de potencia en función del tiempo está relacionado, de acuerdo al profesor *E. Dussart (tratado de Limnología, París 1966)*, la velocidad de la sedimentación es muy variable, pero siempre corresponde a unos pocos milímetros por año.

En el perfil vertical transversal de una laguna normal, muestra la sucesión lacustre en tres series de capas llamadas techo, frente y fondo:

- a) **Techo.-** Que corresponde a la parte del borde de la laguna, sujeta a las variaciones anuales del Nivel del espejo de agua, donde se producen las transgresiones y regresiones, de acuerdo a las estaciones del año.

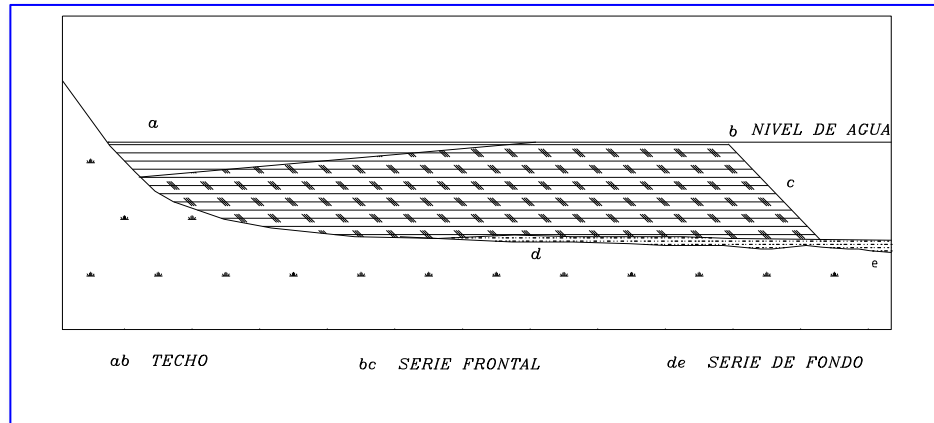
- b) Frente.-** Este espacio está comprendido entre el borde del Techo y el inicio del fondo, presentando su perfil transversal una inclinación mayor que en el Techo.
- c) Fondo.-** Es el espacio mayor de la laguna, donde los sedimentos adquieren su más grande acumulación, formando horizontes definidos.

Entre las condiciones necesarias del medio lacustre para la formación de los sedimentos limo-arcillosos, además de la profundidad, se considera como factor principal la quietud de sus aguas.

En el caso de la laguna Naticocha cuya superficie se estima en $650\ 000\text{m}^2$, en el **Fondo** de la laguna existen las condiciones favorables, en la parte central de este reservorio de agua el tirante alcanza los 30m de potencia, de acuerdo a los perfiles levantado por “*Ingeniería de Suelos y Geotecnia*”

En **El Frente**, las condiciones son menos favorables que en el Fondo, porque al disminuir el tirante, el viento produce movimientos en el agua, no permitiendo la acumulación de los sedimentos lacustrinos, de allí que la potencia de estos sean más débiles.

En **El Techo** por representar las zonas de fluctuaciones de los Niveles máximos y mínimos de la laguna, estar sujeta a la acción del viento y al oleaje, constituye la superficie más desfavorable para la formación y conservación de los sedimentos limo-arcillosos.

FIGURA 07: ESTRUCTURA LACUSTRINA

FUENTE: elaboración propia

De acuerdo al valor de las cotas del espejo de agua de la laguna, entre los años 1994 y 1997 (antes del evento), cuyos controles fueron realizados por la Empresa Administradora Chungar, se elaboró el cuadro donde se indican los Niveles máximos y mínimos alcanzados en cada año.

La cota máxima fluctúa entre 4 600,1 msnm (1994) a 4 599,9 msnm (1996) y la cota mínima varía entre 4 599,25 msnm (1994) a 4 596,32 msnm (1997). La variación de la laguna entre sus valores máximos y mínimos del espejo de agua es, aproximadamente igual a 4,70m.

Al producirse los periodos de descenso del Nivel del agua de la laguna, la franja del terreno correspondiente a El Techo y los sedimentos lacustrinos quedan expuestos a la acción erosiva del intemperismo, en una zona fracturada por efecto de los esfuerzos propios de los anticlinales y sinclinales, además de que en esa área se proyecta la intersección de la veta principal y la veta Nor Este.

De manera particular, en esta parte del borde Este de la laguna a la altura del pique Montenegro, existen otros factores que han originado el deterioro parcial de los sedimentos limo-arcillosos de la laguna. Estos factores son los siguientes:

7.3.2 Acumulación de Desmontes Mineros provenientes de las Labores del Nivel 605

Como se describe en el Capítulo 6, en el año 1920 se inició la construcción del Nivel 605, (labor que sigue el rumbo de la veta Principal) cuya bocamina distaba 20 metros (en aquella época) del borde de la laguna, cuando esta se encontraba llena y 50 metros en época de estiaje.

Frente a la bocamina se formó una plataforma o cancha con los desmontes mineros que luego paso a ser parte de la topografía del ambiente.

7.3.3 Construcción de una Trocha Carrozable

Tuvo que construirse una trocha carrozable para el transporte de mineral extraído, del Nivel 605 que era por un buen periodo el Nivel principal de extracción de la Compañía Minera Huarón y como consecuencia se produjeron cambios en el perfil Este de la Laguna, por la construcción de infraestructura necesaria para la extracción de mineral del Nivel 605.

7.3.4 La ubicación de Campamentos a Orillas de la Laguna

Se construyeron campamentos del personal obrero en las proximidades de la orilla de la laguna, lo que originó un tránsito permanente sobre los depósitos limo-

arcillosos lacustrinos, provocando la alteración de la condición de sedimento lacustrino e impidiendo la formación de nuevos depósitos impermeables sobre esa área.

Para conocer con precisión las características de los materiales que yacen sobre el substratum rocoso en el área de estudio, se extrajeron 5 muestras del lado Este de la laguna Naticocha, las que fueron analizadas en el Laboratorio Geotécnico del CISMID, y cuyos resultados se describen en detalladamente más adelante.

Como puede observarse en la correspondiente Figura 8 las fluctuaciones del Nivel de agua en la laguna alcanzan un tirante igual a 4,70m, origina una zona crítica de un ancho aproximado de 20m. De acuerdo a las estaciones anuales, cuando el Nivel de estas aguas registra su menor valor, no existe peligro de que se produzca saturación o infiltraciones por el agua de la laguna en el macizo rocoso.

En las estaciones húmedas, cuando las aguas cubren la superficie de “El Techo” comienzan a producirse débiles filtraciones a través de los sedimentos lacustrinos que después alcanzan al substratum rocoso.

Estas periódicas y débiles filtraciones, durante muchos años, han estado realizando un trabajo de “zapa” de socavamiento lento, progresivo e imperceptible, en las rocas del substratum y a lo largo de sus numerosas diaclasas, originando de este modo zonas de debilidad. Estas zonas de debilidad se crean por los efectos de la erosión en los planos de las diaclasas, cuya consecuencia es el aumento progresivo del agua infiltrada.

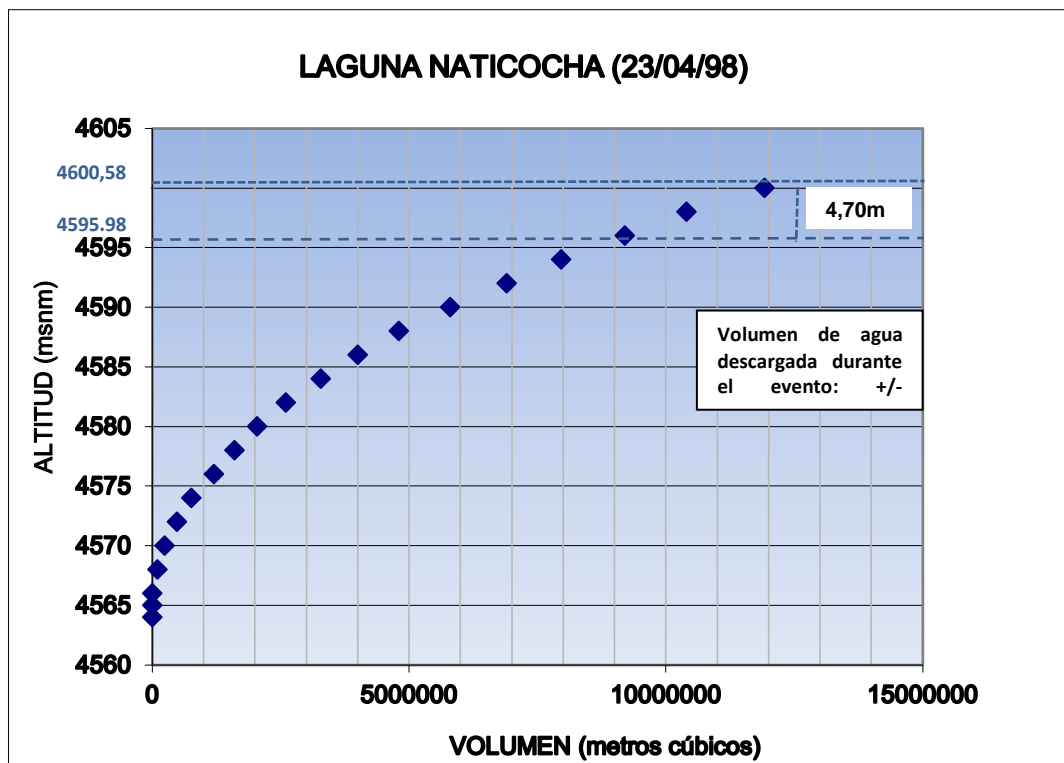
Es así como, el 22 de Abril de 1998, al haber alcanzado el Nivel de la laguna su cota crítica, en el lado Este de la laguna se produce el evento, que se describe con mayor detalle más adelante.

CUADRO 10. COTA DEL ESPEJO DE AGUA DE LA LAGUNA NATICOCHA

AÑO	COTA MAXIMA	MES	COTA MINIMA	MES	DIFERENCIA
1994	4.601,01	Agosto	4.599,25	Enero	1,76 m
1995	4.600,42	Mayo	4.598,81	Diciembre	1,61 m
1996	4.599,90	Mayo	4.596,56	Diciembre	3,34 m
1997	4.600,28	Junio	4.596,32	Enero	3,96 m
PROMEDIO ENTRE MAXIMAS Y MINIMAS (1994-1997) = 4,60 m					

Fuente: Elaboración propia, Oficina de Mina Empresa Administradora Chungar SAC

FIGURA 08: VARIACION DEL TIRANTE DESPUES DEL EVENTO



Fuente: Elaboración propia, data de Oficina de Seguridad Empresa Administradora Chungar SAC

7.4 DESCRIPCIÓN DE LAS MUESTRAS

En el borde Este de la laguna se tomaron un total de 5 muestras, correspondiendo 4 de ellas al perfil vertical de “El Techo” de la laguna, las muestras fueron extraídas de la abertura producida por el evento del basamento rocoso el 22 de Abril de 1998.

Como puede observarse en la información fotográfica, se define el perfil entre el substratum y los depósitos sedimentarios que se superponen sobre el lecho rocoso. En este perfil aparecen tres horizontes definidos con características propias de las cuales se extrajeron las siguientes muestras que se describen a continuación:

7.4.1 Primera Muestra

Corresponde a un cubo que fue extraído del primer horizonte sedimentario con 1,2m de potencia, que reposa sobre el substratum rocoso. Esta muestra representa el sedimento limo-arcilloso lacustrino, en esta parte de “El Techo” de la laguna. Fue en este horizonte donde se practicó un ensayo para determinar su índice de permeabilidad.

De acuerdo a la clasificación S.U.C.S., corresponde a un suelo tipo **GC**, mezclas de grava, arcillas y arenas arcillosas.

En el ensayo de permeabilidad se obtiene un índice igual a:

$$K = 4,4 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$$

Equivalente a

$$K = 4,4 \times 10^{-8} \text{ m/s.}$$

De acuerdo a la clasificación geotécnica y como lo indica en su tratado el profesor *G. Castany* (“*Principios y Métodos de la Hidrogeología*”), la muestra se encuentra comprendida en el grupo de los semipermeables, próxima al límite de los impermeables que comienza con los exponentes 1×10^{-9} m/s, como puede verse en el cuadro siguiente.

CUADRO 11: VALORES RELATIVOS DE PERMEABILIDAD

PERMEABILIDAD RELATIVA	VALORES DE K (cm/s)	SUELO TÍPICO
Muy Permeable	$>1 * 10^{-1}$	Grava gruesa
Moderadamente Permeable	$1 * 10^{-1}$ a $1 * 10^{-3}$	Arena, arena fina
Poco Permeable	$1 * 10^{-3}$ a $1 * 10^{-5}$	Arena limosa, arena sucia
Muy Poco Permeable	$1 * 10^{-5}$ a $1 * 10^{-7}$	Limo y arenisca fina
Impermeable	$<1 * 10^{-7}$	Arcilla

Fuente: Terzaghi K. y Peck R. 1980.

Como se explicó anteriormente, en la parte de **El Techo** de la laguna, el sedimento lacustrino se encuentra expuesto a su deterioro y pierde, muchas veces su principal característica, que es la **impermeabilidad**.

La muestra analizada, debido a estar constituido por un sedimento semipermeable, podría haber contribuido en la filtración inicial que hizo colapsar el substratum, la infiltración se habría producido a través de estos sedimentos.

7.4.2 Muestra M-3

Esta muestra procede del mismo horizonte de donde se extrajo el cubo para el ensayo de permeabilidad, cuyo espesor es igual a 1,20m (potencia). Estas arcillas arenosas se encuentran formando delgados estratos de color rojizo-amarillento, englobando (in situ) clastos de rocas sedimentarias.

De acuerdo al análisis de laboratorio, el límite plástico de la muestra es moderado, alcanzando 12,89%. Según su clasificación SUCS la muestra corresponde a un suelo **SC**, representado por arenas arcillosas y mezclas de arena y arcilla.

Índice de Permeabilidad.- desde este punto de vista, la presencia de arenas y arcillas la clasifican como semipermeables.

7.4.3 Muestra M-2

Corresponde a los materiales tomados del segundo horizonte de 1,00m de potencia, que reposa sobre el anterior depósito. Los materiales de este depósito se encuentran representados por gravas, de naturaleza glacial, mezcladas con arenas gruesas y con clastos de rocas.

El límite plástico de la muestra según el análisis del laboratorio, es igual a 15,01% que se considera como moderado.

De acuerdo con la clasificación SUCS, la muestra en referencia, pertenece a un suelo **GP-GC**, representado por mezclas de grava-arena y gravas-arcillosas.

Índice de Permeabilidad.- de acuerdo a la tabla de permeabilidad, la presencia de gravas y arenas en la muestra determina que pertenece al grupo de las permeables.

7.4.3 Muestra M-1

La muestra proviene del tercer y último horizonte de 1,00m de potencia que se encuentra sobreyaciendo al substratum rocoso y determina una columna de 3,20m de potencia.

Los materiales de este depósito están representados por gravas finas, arenas y arcillas, presentando una coloración rojiza y una estratificación imperfecta. El índice plástico de la muestra, determinado por el laboratorio es igual a 14,86% por lo que se le considera moderadamente plástico.

Según la clasificación SUCS, la muestra corresponde a un suelo **SC**, representado por arenas arcillosas y mezclas arenas – arcilla.

Índice de Permeabilidad.- Los suelos arenosos-arcillosos presentan un bajo índice de permeabilidad, por lo que son clasificados como semipermeables.

De las cuatro muestras descritas, ninguna es totalmente impermeable, por lo que se podría afirmar que el substratum rocoso, en esta parte de El Techo de la laguna, no estuvo protegido contra las filtraciones de agua.

7.4.4 Muestra M-4

Esta muestra fue tomada de una calicata, excavada en El Techo de la laguna a 50m (aproximadamente) al Norte del lugar de donde se extrajeron las cuatro muestras anteriores. Ver Planos 13 y 13A donde se puede observar la ubicación de las calicatas

Caracteriza a estos materiales su coloración oscura y sus elementos finos, representado principalmente por limos.

El límite plástico según el análisis de laboratorio es igual a 41,16%, considerándolo, por consiguiente, como plástico. Según su clasificación SUCS, la muestra pertenece a un suelo **MH**, representado por: limos inorgánicos, suelos limosos, suelos elásticos.

Índice de Permeabilidad.- Los sedimentos de limo por la naturaleza de sus granos muy finos (diámetro del orden de 0,06 –0,002 mm) y debido a su alto grado de plasticidad, estos materiales se comportan, prácticamente como impermeables representando así a los típicos sedimentos limo-arcillosos lacustrinos impermeables.

Como se explicó anteriormente, estos depósitos sedimentarios, se encuentran en la zona de El Techo de la laguna expuestos a su destrucción antropogénicos o por meteorización. En el panel fotográfico se muestra la calicata donde se tomó la muestra, puede verse un bloque de roca que descendió por gravedad de las laderas próximas. Este es un ejemplo más de destrucción a que se encuentra sometido, en

forma permanente, los sedimentos lacustrinos que protegen el substratum rocoso de las filtraciones de agua.

7.5. CONDICIONES HIDROGEOLÓGICAS EN LA CUENCA DE LA LAGUNA DE NATICOCHA

La Cuenca hidrográfica de la laguna está representada por una superficie de 4km^2 , superficie que se encuentra delimitada por los cerros “Shiusha”, en su lado este de 4,827 m.s.n.m. y por el cerro “Gavia” ubicada en su borde Oeste de 4,750 m.s.n.m. Las curvas del Nivel de terreno forman una ligera depresión en la cuenca, en cuyo fondo se encuentra emplazada la laguna.

Como se explica líneas arriba, la columna pluviométrica que precipita en esta superficie, es igual a 1250 mm/año. Esta masa de agua desciende a la laguna desde las laderas de los cerros. En efecto, todos los cursos superficiales de agua meteórica y en el interior de la cuenca es drenada por la laguna.

No existen formaciones acuíferas o depósitos acuíferos, por donde podría circular un flujo hídrico o napa freática (a través del subsuelo) en el interior de la cuenca de la laguna de Naticocha, caso que si ocurre en Rio Pallanga y Alpamarca ubicados a 12km y 16km. de Naticocha, en cuyos subsuelos de naturaleza fluvio-glacial fluye una potente napa freática.

Por las razones expuestas, toda el agua meteórica se almacena en la laguna, sobre una capa limo-arcillosa, de naturaleza impermeable, y que yace directamente sobre el substratum rocoso.

Como lo explica *E. Ruiz (1997)*, en su estudio batimétrico de la laguna, el espesor de los sedimentos indicados se presenta débil en las orillas pero aumenta con la profundidad, pudiendo llegar a los 10m en el centro de la laguna. Es por esta razón que las labores de los Niveles superiores de la mina Animon, antes del evento, permanecían secas, aun encontrándose bajo la presión hidrostática de las aguas de la laguna.

Esta afirmación es confirmada por el *Ing° Carlos Komt F.* Inspector de la Empresa Auditora Tecnipet S.A. al declarar que “*todas las áreas por él visitadas en los Niveles superiores de la mina “Animon”, durante la inspección realizada en 1997, se encontraban secas*” (tomado del informe presentado por S.R.K. – Sud América S.A.)

7.5.1 Presencia de Aguas Termales en el Nivel 310 de la mina “Animon”

Según los informes obtenidos del personal técnico de la Empresa Administradora Chungar S.A., en el segundo día de la inspección a la mina (22-03-99), a partir del piso de las labores del Nivel 310 se encuentra aflorando un flujo de aguas termales, con un caudal equivalente a 15 litros/segundo ($54 \text{ m}^3/\text{h}$). Estas aguas son bombeadas al Nivel 420, de donde es expulsado a la superficie.

7.5.2 Probable Origen de esta Aguas

La presencia de este tipo de aguas guarda íntima relación con la profundidad de la labor minera, con la gradiente geotérmica regional, y muy en particular, con la existencia de posibles focos de calor magmático.

Esta fuente de calor podría provenir de las rocas intrusivas plutónicas (monzogranito), contemporáneas del volcánico Calipuy, que encuentra intruyendo a la Formación Casapalca en el área de la laguna de Naticocha (*según la Carta Geológica Regional de Ondores*).

Las filtraciones de las aguas meteóricas, que logran descender a grandes profundidades, se desplazan de acuerdo a la gradiente topográfica del terreno y a través de las rocas falladas, hasta que, en su trayecto se pone en contacto con el calor desprendido de su magma en fase de cristalización.

Las aguas térmicas que afloran en el Nivel 310, no provienen de la cuenca de la laguna de Naticocha. Es posible que su origen se encuentre en las filtraciones que ocurren en cuencas lejanas y que son transportadas a estas zonas.

7.6 FENOMENO METEOROLOGICO DE “EL NIÑO” EN 1998

Muchas especulaciones se efectuaron sobre la posible relación entre el fenómeno meteorológico de “El fenómeno del Niño” de 1998 y el desastre ocurrido en la laguna de Naticocha justamente en la temporada de lluvias.

Si el fenómeno mencionado hubiera afectado a esta región, se habrían producido anomalías en el valor medio normal de la columna de lluvias de estas zonas, lo que no ocurrió; como se trata de explicar a continuación. Los datos pluviométricos que consignamos, provienen de las cuatro estaciones siguientes:

7.6.1 Estación Pluviométrica de “Río Pallanga”

La ubicación y sus características fueron descritas en el Capítulo VII (Hidrogeología), los registros de lluvias se suspendieron desde 1981.

CUADRO 12: NIVELES PLUVIOMETRICOS - ESTACION RIO PALLANGA

AÑO	MES	NIVEL DIARIO	NIVEL ACUMULADO
1970	Enero	198,8 mm	645,3 mm
	Febrero	129,2 mm	
	Marzo	139,2mm	
	Abril	178,1 mm	
1973	Enero	218,3 mm	659,6 mm
	Febrero	161,4 mm	
	Marzo	166,7 mm	
	Abril	113,2mm	
1979	Enero	22,3mm	728,3 mm
	Febrero	273,6 mm	
	Marzo	324,7 mm	
	Abril	107,7 mm	

Fuente: elaboración propia, Empresa Administradora Chungar SAC

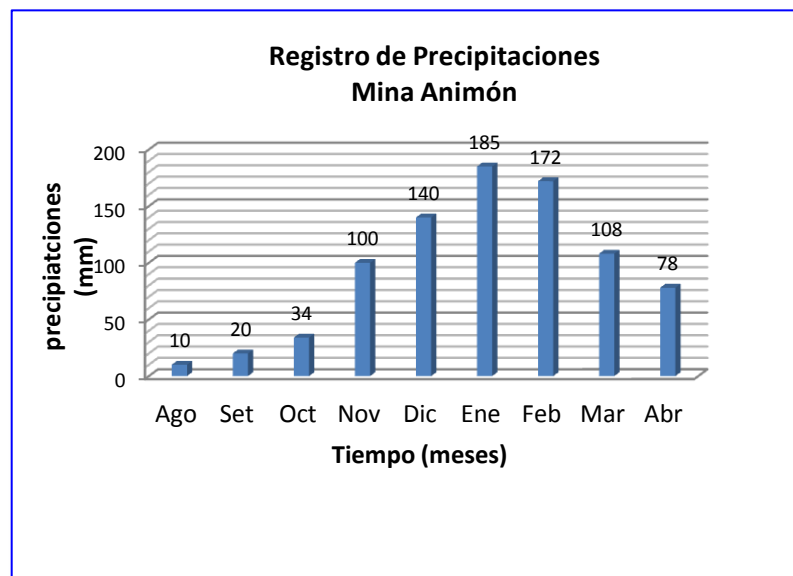
7.6.2 Estación Pluviométrica de “Mina Animón”

Es de reciente creación y sus registros son llevados por la Empresa Administradora Chungar desde Agosto de 1997.

CUADRO 13: NIVELES PLUVIOMETRICOS - ESTACION ANIMON

AÑO	MES	NIVEL DIARIO	NIVEL ACUMULADO
1997	Agosto	10 mm	
	Setiembre	20 mm	
	Octubre	34 mm	
	Noviembre	100 mm	
	Diciembre	140 mm	
1998	Enero	185 mm	543 mm
	Febrero	172 mm	
	Marzo	108 mm	
	Abril	78 mm	

Fuente: elaboración propia, data Empresa Administradora Chungar SAC

FIGURA 09: REGISTRO DE LA ESTACIÓN “ANIMÓN”.

Fuente: elaboración propia, data Empresa Administradora Chungar SAC

Como se puede observar la precipitación más alta registrada fue en el mes de enero y en el mes de Abril se tenía una tendencia negativa

7.6.3 Estación Pluviométrica “Marcapomacocha”

Se ubica en la laguna del mismo nombre, en las proximidades de la Cordillera de la Viuda y a 41km al SE de la laguna Naticocha. Se dispone de registros de lluvias de 1969 a 1995 (26 años continuos)

Por encontrarse esta estación en la misma cota que la laguna Naticocha y estar ubicada en la misma región, se han tomado los registros para nuestros cálculos.

Los registros se adjuntan en el informe.

CUADRO 14: NIVELES PLUVIOMETRICOS - ESTACION MARCAPOMACOCHA

AÑO	NIVEL ACUMULADO
1969	775,90
1970	731,50
1971	560,50
1972	675,00
1973	927,10
1974	652,10
1975	743,70
1976	668,40
1977	815,40
1978	847,70
1979	1120,20
1980	1497,20
1981	1737,40
1982	2069,20
1983	1767,20
1984	1800,80
1985	1398,00
1986	1404,60
1987	1662,00

1988	1371,70
1989	1634,30
1990	1923,10
1991	1514,10
1992	1366,20
1993	2209,40
1994	1830,50
1995	1585,40

Fuente: Elaboración propia, data Empresa Administradora Chungar SAC

7.6.4 Estación Pluviométrica de “Cerro de Pasco”

Se encuentra situada a 39km al NE de la Laguna Naticocha y a 4.400 msnm. El valor promedio de la columna de lluvias era, en los últimos 11 años anteriores a 1998, igual a 928,5 mm.

En el presente estudio se adjuntan los registros mensuales proporcionados por el SENHAMI, correspondiente a 1998, que suman un total de 845,9mm, suma inferior en 82,6 mm al promedio general anterior.

CUADRO 15. PRECIPITACION PLUVIAL TOTAL (cuatro últimos meses)

AÑO	RIO PALLANGA	MARCAPOMACOCHA	MINA ANIMON	CERRO DE PASCO
1970	645,3mm	416,2mm	.-	.-
1973	659,6mm	529,4mm	.-	.-
1979	728,3mm	784,8mm	.-	.-
1995	.-	782,1mm	.-	.-
1998			543,0mm	489,2mm

Fuente: elaboración propia, data Empresa Administradora Chungar SAC

Como puede observarse en los cuadros respectivos, la columna pluviométrica, en los primeros cuatro meses de la estación húmeda (Enero, Febrero, Marzo y Abril)

para la Mina Animón muestra, un valor igual a 543mm, valor inferior al promedio normal de las estaciones de Río Pallanga y Marcapomacocha.

Si el promedio del valor pluviométrico anual, en los últimos 11 años (anteriores a 1998) era igual a 982,5mm para Cerro de Pasco. ¿Cómo explicar que en 1998 año del Fenómeno de “El Niño”, ocurra una precipitación de 845,9 mm?

Podemos concluir que el fenómeno de **“El Niño”** no tuvo ninguna influencia en las precipitaciones pluviales de estas regiones, por consiguiente, no fue un factor significativo en el accidente de la laguna Naticocha.

CAPITULO VIII: DISOLUCION DE LAS ROCAS CARBONATADAS

Las rocas carbonatadas desarrollan el proceso físico-químico de disolución en presencia de agua carbonatadas, como es el caso de las calizas o margas de la Formación Casapalca que se encuentran presentes en el yacimiento.

La acumulación del carbonato de calcio en las profundidades marinas está limitada por dos factores: la profundidad y la temperatura.

8.1 PROFUNDIDAD

El agua es más fría a profundidad que en superficie, y en aguas más frías el bióxido de carbono está más disuelto que en aguas cálidas. El aumento en CO_2 causa un aumento en ácido carbónico (H_2CO_3), propiciando la disolución de las rocas carbonatadas.

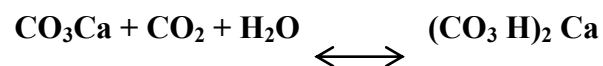
Respecto a la cantidad de gases disueltos, se ha demostrado que al aumentar la profundidad del depósito (tirante de agua), el carbonato de calcio se disuelve ya que la concentración de CO_2 aumenta y el pH disminuye (se vuelve más ácida), llevándose a cabo la disolución.

El aumento de la presión hidrostática aumenta la solubilidad del CaCO_3 - la Profundidad bajo la cual el CaCO_3 ya no se acumula se le conoce como el Nivel de compensación de la calcita- pero se eleva gradualmente hacia la superficie en latitudes más altas, debido a las temperaturas más bajas en las regiones andinas.

8.2 TEMPERATURA

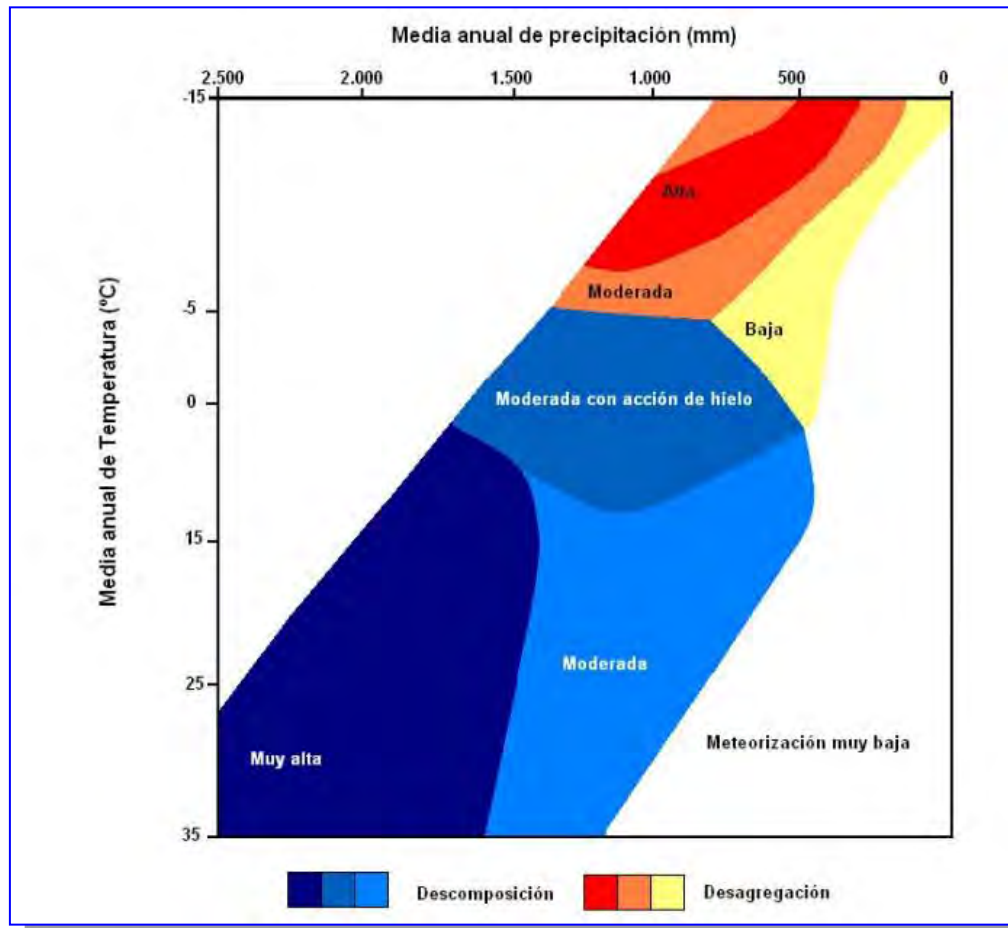
Los depósitos de agua en latitudes bajas (áreas tropicales) están supersaturadas con respecto a carbonatos, de tal forma que no se presentan dificultad en remover los iones de calcio y bicarbonato del agua, la baja temperatura y la precipitación favorecen a la meteorización de la roca que se encuentre afectada por estos factores, ver Figura 09.

Las aguas meteóricas, a través de su descenso por la atmósfera, se enriquecen de CO_2 contenidos en el aire (a grandes alturas están más presentes en el aire). Al penetrar al interior de las rocas, por las diaclasas o microfallas, dan inicio a un proceso de erosión por disolución, formando bicarbonato de calcio, soluble en el agua, de acuerdo a la siguiente reacción:



Cuando estas aguas emergen a la superficie, se desprenden el CO_2 , y permite precipitar al CO_3Ca , formando así especies de travertinos.

FIGURA 10: RELACION ENTRE CLIMA Y METEORIZACION



Fuente: Given, R.K. y Wilkinson, B.H. 1985

8.3 REGÍMENES DE DISOLUCIÓN RÁPIDA Y LENTA.

Se tiene dos tipos de regímenes: régimen de disolución rápida y un régimen de disolución lenta. La disolución es rápida cuando el porcentaje de saturación está por debajo del 90 por ciento. Por encima de esta concentración hay inhibición de disolución, principalmente causado por impurezas de la roca, y la velocidad de disolución es controlada por reacciones lentas.

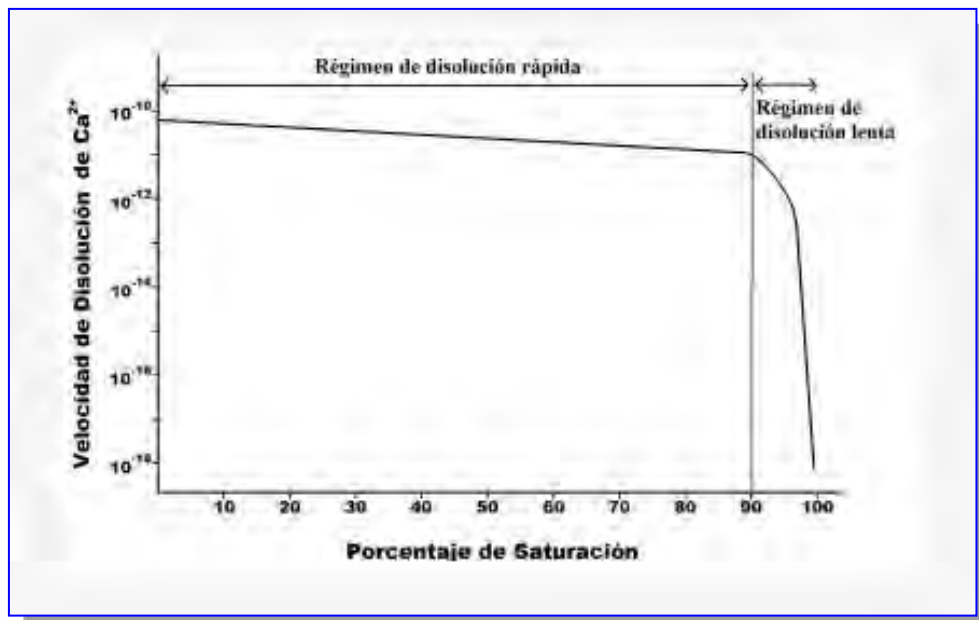
Cuando la saturación llega a un 90 por ciento y considerando la variedad de la naturaleza de la roca, esta inhibición de disolución se puede empezar a notar a

partir de una saturación de 70%, sin embargo, es a partir del 90% cuando su efecto es significativo.

Se observa la Figura 11, que muestra la velocidad de disolución de Ca^{2+} respecto al porcentaje de saturación, vemos que la velocidad de disolución está indicada en una escala logarítmica. Luego en la Figura 12 se presenta la misma data con una escala lineal.

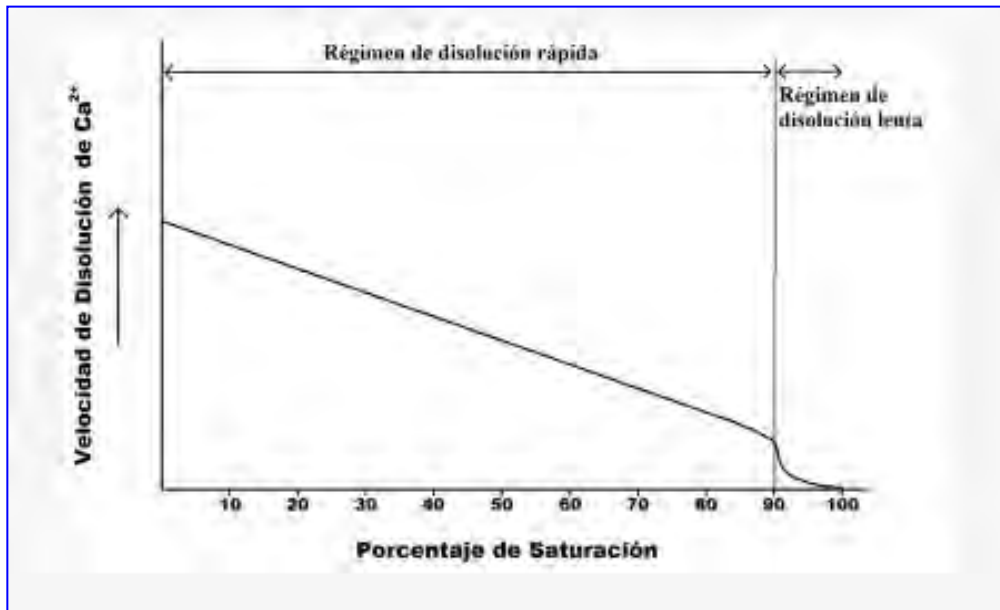
Los estudios indican que la velocidad de disolución de caliza, es más rápida cuando la saturación está por debajo del 30 %, para luego ir disminuye su velocidad hasta llegar al 90% de saturación Figura 13

FIGURA 11: REGIMEN DE DISOLUCION RÁPIDA LOGARITMICA



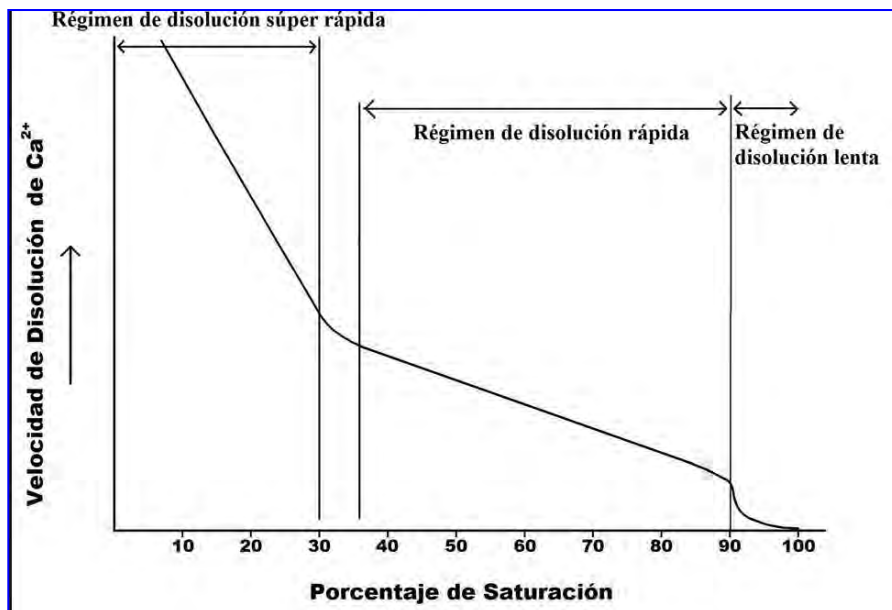
Fuente: Wolfgang Dreybrodt y Georg Kaufmann.

FIGURA 12: REGIMEN DE DISOLUCION RAPIDA LINEAL



Fuente: Wolfgang Dreybrodt y Georg Kaufmann.

FIGURA 13: REGIMEN DE DISOLUCION RAPIDA Y LENTA



Fuente: Wolfgang Dreybrodt y Georg Kaufmann

8.4 PROCESO DE DISOLUCIÓN.

Cuando el agua de la lluvia -que está en equilibrio con la concentración del CO₂ atmosférica- cae sobre la caliza (macizo rocoso), la disolución inicial es muy grande, pero disminuye rápidamente. Este es el régimen de disolución súper rápida, cuando la solución se satura por un 30%, la velocidad de disolución empieza a ser moderada, aunque la disolución es continua (esta es el régimen de disolución rápida). Cuando la solución llega a saturarse hasta un 90 por ciento, la velocidad de disolución se hace más lenta. Este es el régimen de disolución lenta.

Observando la fotografía del borde derecho de la laguna de Llacsacocha puede verse típicas formas kársticas en las calizas que afloran, ver panel fotográfico.

Es muy probable que este proceso estuviera ocurriendo en las rocas carbonatadas del substrato de la laguna de Naticocha cuando el agua de la laguna alcanzaba a cubrir estas áreas desprotegidas.

En efecto, el primer día de inspección a la mina (20-03-99), se observó y analizó detalladamente, el punto del colapso del macizo rocoso ubicado en el borde Este de la laguna, donde ha quedado al descubierto el substratum rocoso. En esta área se ve que la caja correspondiente a la Veta Nor-Este, está mayormente, formada por margas y calizas del grupo Casapalca.

En el segundo día de la inspección, se descendió al Nivel 575 de la mina, por la escalera de camino auxiliar paralelo al pique Montenegro y se ubicó el antiguo tajeo 44E desarrollada sobre la veta Nor-Este desde el Nivel 540 al Nivel 575 fue rellenado con material detrítico y se mantuvo estable desde 1970 a 1998, se

encuentra debajo del punto de colapso. En este lugar se observa que el tajo 44E fue vaciado por la irrupción violenta del agua, que lavó el relleno del tajeo al haber recibido la descarga de $3,5\text{Mm}^3$ aproximadamente. Al igual que en la parte superficial de la caja de la veta Nor-Este aparecen abundantes rocas carbonatadas, en cuyas muestras se producen fuertes efervescencias en contacto con el ácido clorhídrico, se observó paredes con impregnaciones de material carbonatado.

Es muy probable que en este proceso de disolución del CO_3Ca de las rocas, por acción de las aguas ricas en gas carbónico, se esté produciendo en el subsuelo de la cuenca de la laguna Naticocha, como puede observarse en el borde inferior de la laguna de Llacsacocha.

Por consiguiente, este proceso debe ser considerado como un factor más de desestabilización del macizo en el punto determinado como de contacto entre la Veta principal y el Ramal principal.

CAPITULO IX: SUELOS Y MECANICAS DE LOS SUELOS

9.1. DISTRIBUCION DE LOS SUELOS EN LA COLUMNA ESTRATIGRAFICA

La columna estratigráfica levantada en la abertura generada por el evento, sobre el eje de la veta en el macizo rocoso nos describe tres horizontes principales, de los que se tomaron cuatro muestras cuyas clasificaciones SUCS se indican más adelante, el análisis de estas muestras fueron ensayadas por el CISMID.

Los materiales que se observan en estos horizontes se ubican sobre el eje central de la veta Nor Este que completa la columna estratigráfica en una profundidad de aproximadamente 3,2m al descubierto y sobre la que se ubica una capa de material de préstamo de aproximadamente 3m de potencia.

9.1.1 Muestra M-1

Muestra tomada en canal desde el punto 2,20 a 3,20m a partir del basamento rocoso y que la clasificación SUCS la define como un suelo SC, que contiene

material areno arcilloso, con algún porcentaje de gravillas en estado firme. La potencia aproximada es de 1m, con **33,48%** de material fino acumulado que pasa la malla -200, su contenido de humedad es de **23,17 %** y un índice plástico de **14,86%** que corresponde a un grado de mediana a baja plasticidad.

9.1.2 Muestra M-2

Muestra tomada desde el punto 1,20 a 2,20 m sobre el basamento rocoso y que se clasifica como un suelo **GP-GC** (SUCS); tiene contenido de gravas arcillosas mal graduadas con una potencia de 1,0m aproximadamente, el material fino acumulado que pasa por la malla 200 es de **11,01%**, su contenido de humedad es **9,79%** con un índice plástico de **14,68%** que corresponde a un grado de baja plasticidad.

9.1.3 Muestra M-3

Muestra tomada en canal con una potencia aproximada de 1,20 m sobre el basamento rocoso; y su clasificación SUCS corresponde a un suelo **SC**, con contenido de arena arcillosa, el material fino que pasa por la malla N° 200 es de **37,07%**, su contenido de humedad es de **4,47%** con un índice de plasticidad de **16,63%** que corresponde a un grado de baja plasticidad.

9.1.4 Muestra M-4

Muestra tomada de la orilla Este de la Laguna Naticocha, con suelos de material orgánico, limo-arenosos finos elásticos, corresponde a una calicata

ubicada a 50m al Norte del lugar del evento, la clasificación SUCS que le corresponde es **MH**.

Esta muestra fue tomada de la misma Calicata que desarrolló el Ing° David Cordova, donde podemos observar boconerías bastante grandes, que modifica la consistencia del suelo e influyen en la permeabilidad de ese horizonte.

Presenta en sus alrededores fisuras de desecación, características de las playas de inundación donde las arcillas se resquebrajan por acción del sol.

9.1.5 Muestra - cubo

Muestra cubo tomada en el horizonte que descansa sobre la roca madre, a 15m al Sur del eje de la columna estratigráfica levantada, el propósito de esta muestra; fue de ensayar su permeabilidad, la que reportó un coeficiente de permeabilidad (**K**) de $4,4 * 10^{-6}$ cm/s que equivale a $4,4*10^{-8}$ m/s, y tiene una clasificación SUCS **GC**, con un contenido de humedad **7,1%** y un índice plástico de **15,14%**.

Estos horizontes presentan algunas inclusiones de material más grueso que los materiales predominantes en los horizontes clasificados, también se encuentran cubiertos por una capa de material de relleno que ha sido compactado por efectos de tránsito; ya que por encima, pasa una carretera que ejerce presión de cargas vivas en esta capa cobertora, lo que disturba y afecta a la permeabilidad; con una potencia de 5m a 6m promedio.

Se ha encontrado capa impermeable disturbada por lo que están clasificados como **semipermeable**.

CUADRO 16: INDICES Y CLASIFICACION SUCS DE LAS MUESTRAS

Muestra	Potencia	Clasificación SUCS	% finos-200	% H ₂ O m	Limite Liquido	Limite Plástico	Índice Plástico	Plasticidad	Permeabilidad
M-1	1,00	SC	33,48	23,17	36,09	21,22	14,86	Intermedia	Semipermeable
M-2	1,00	GP-GC	11,01	9,79	29,69	15,01	14,68	Baja	Semipermeable
M-3	1,20	SC	37,07	4,47	29,51	12,89	16,63	Baja	Semipermeable
M-4	.-	MH	89,60	51,09	58,28	41,16	17,12	Alta	Semipermeable
CUBO	.-	GC	28,31	7,71	27,55	12,41	15,14	Baja	4*10⁻⁸ m/s

Fuente: elaboración propia, data CISMID

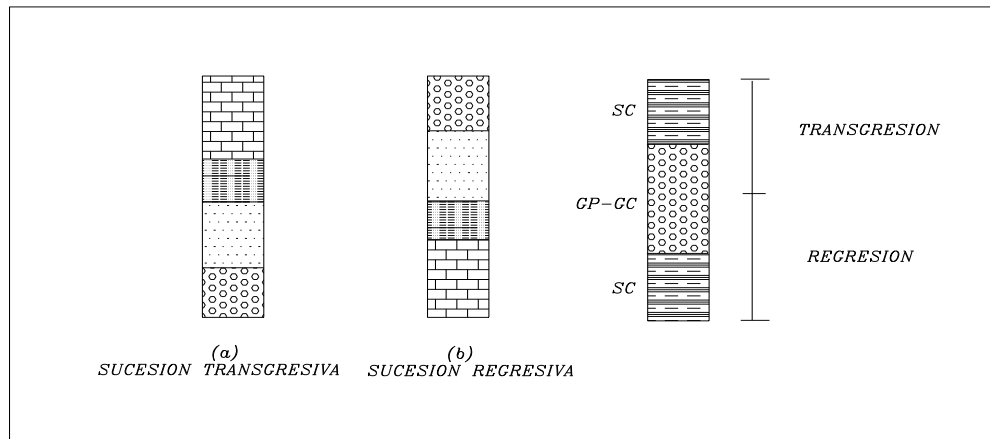
9.2 DISCORDANCIA Y SUPERPOSICION DE LA SEDIMENTACION

Los resultados de análisis de laboratorio del material de la orilla de la laguna Naticocha, presentan una columna estratificada sobre el eje de la veta Nor-este, que corresponde a la orilla Este de la laguna Naticocha, con una distribución de materiales clásticos anteriormente descritos (**SC / GP-GC / SC**), donde se observa que la roca y la capa cobertora establecen una discordancia (calizas y productos residuales).

Así mismo, las relaciones de discordancia muestran que una formación sedimentaria se inicia, en general, con la acumulación de materiales sobre una vieja superficie de erosión que es el caso de la laguna de Naticocha.

Esta deposición sedimentaria reconoce dos especies de superposición: a) la transgresiva y b) la regresiva.

FIGURA 14: COLUMNA ESTRATIGRÁFICA DE BORDE ESTE



Fuente; Elaboración propia, data Cismid

9.2.1 La superposición trangresiva (T) es el caso en que el agua avanza, o sea, está en transgresión sobre una masa de tierras bajas inclinadas. Una sección vertical, en una columna de sondeo muestra por ejemplo, materiales clásticos finos sobre otros más gruesos, o sedimentos de aguas profundas sobre sedimentos de aguas someras, ver Figura 14a.

9.2.2 La superposición regresiva (R), se produce cuando el agua se retira de las orillas, es decir, cuando el Nivel del agua desciende. En una sección vertical los materiales más gruesos se superponen a los más finos, o los sedimentos de aguas someras cubren a los sedimentos de aguas profundas ver Figura 14b.

Las corrientes que lo alimentan tienden a rellenar el lago, de modo que el cascajo y las arenas se ven obligados a invadir los fangos del fondo del lago. Un corte vertical muestra sedimentos de grano grueso sobre sedimentos de grano fino, a esto se llama sucesión lacustre normal.

Las superposiciones en un corte estratigráfico pueden ser diversas. Así, por ejemplo el agua puede haber avanzado hacia la tierra y después retroceder, de modo que las relaciones de superposición regresiva se encuentren encima de otras de superposición transgresiva.

Las muestras analizadas establecen una alternancia en la columna estratigráfica, y está ubicada en el **El Techo** de la estructura lacustre; es de notar, que los cambios en el carácter de los sedimentos establecen una superposición combinada de **Transgresión (T)** y **Regresión (R)**; se tiene una variación de la capa cobertora que supera los 10 metros en el Fondo, no así en el Techo (de acuerdo al estudio de batimetría, *E. Ruiz*).

El perfil vertical de una laguna normal está constituido por tres series de capas: El Techo, El Frente y El Fondo, ver Figura 16.

- a) **El Techo**, tiene una inclinación primaria igual al ángulo de pendiente de la superficie subaérea sobre la cual se fue precipitando por la acción Niveladora de la corriente.
- b) **El Frente**, se compone por los materiales vertidos sobre la parte delantera del lago y, en consecuencia su buzamiento primario es el ángulo de reposo de los materiales bajo el agua (20° a 35°), los frentes más modernos son de buzamiento primario más reposado que los frentes antiguos.
- c) **El Fondo**, tiene capas aproximadamente horizontales como consecuencia de hallarse formadas por cieno o barro fino, cuyas partículas flotaban y gradualmente se han ido depositando sobre el fondo de la laguna.

El grupo Frontal forma cierto ángulo con el Techo y una curva de radio largo cóncava hacia arriba con el Fondo. Variaciones en la carga, recorrido o velocidad pueden causar que la corriente Niveladora rebaje su cauce temporalmente y produzca una discordancia local entre el Techo y el Frente.

La Transgresión y Regresión se da en el Techo de la estructura lacustre por lo que no se podría afirmar que la zona de estudio corresponde al Fondo o lecho lacustrino, la superposición combinada hace que la capa protectora presente horizontes irregulares donde algún horizonte puede desembocar en otro en forma angular afectando su grado de permeabilidad.

Entonces por su ubicación y característica de deposición sedimentaria NO se presentan capas impermeables, por lo tanto la infiltración se puede dar si las aguas cubren estas áreas.

Podríamos concluir que los horizontes analizados se encuentran en un estado semiplástico y plástico lo que evidencia su afinidad con el agua, por las alternancias presentes y por ubicarse esta área en El Techo de la laguna Naticocha se clasifican en semipermeables tal como lo indican los análisis de laboratorio.

9.3 PRESENCIA DEL AGUA EN EL AREA AFECTADA

La capacidad de un suelo para permitir que lo atraviese el agua recibe el nombre de **permeabilidad (K)**; que se define como la velocidad del flujo producida por un gradiente hidráulico unitario. El valor que toma **K** se usa como

medida de resistencia al flujo ofrecido por el suelo y los factores que intervienen son varios entre los que podemos citar:

- a) Densidad del suelo
- b) Distribución del tamaño de partículas
- c) La forma y orientación de partículas del suelo
- d) El grado de saturación o presencia de aire.
- e) El tipo de cationes y el espesor de las capas absorbidas asociadas con los minerales de arcilla.
- f) La viscosidad del agua del suelo, que varía con la temperatura.

El valor que tiene K varía desde 1 000m/s en el caso de gravas de grano grueso hasta valores insignificantes en el caso de las arcillas 10^{-9} m/s.

En el caso de suelos con contenido de arcilla los factores más importantes son el contenido de humedad y la temperatura, así como, las fisuras que pueden presentar cuando se trata de permeabilidad.

La característica significativa de los suelos arcillosos es su plasticidad, esto es, su capacidad de adquirir una nueva forma al ser moldeado. La consistencia plástica de una mezcla de arcilla-agua (suelo arcilloso), dependerá en alto grado del contenido de humedad, que es la relación de masa de agua a masa sólida.

De las consideraciones expuestas podríamos decir que el agua tiene gran participación en el índice de plasticidad de estos suelos, en los tres horizontes

definidos, y que cuando alcanzó la cota 4,600.5 m.s.n.m., los suelos que se encontraban bajo esta cota incrementaron su Limite Líquido alcanzando la saturación y el incremento de la presión de poros.

A esto se suma, el hecho de que la orilla Este de la laguna Naticocha en este punto, presentó un talud bastante abrupto que intensifica el desarrollo de un trabajo destructor mediante la **abrasión**, semeja en muchos aspectos a la erosión marina diferenciándose solo en la proporción del mismo; esta abrasión también se puede desarrollar por efecto del viento debido al oleaje en la cuenca lacustre o a los cambios de presión barométrica.

Los suelos al ser **semiplásticos o plásticos**, presentan una fracción de contenido de agua porque permiten la infiltración debido a la distribución granulométrica y la afinidad por el agua que modifica su densidad, la viscosidad que puede tener el agua en la laguna se debe a la presencia de arcillas y la baja temperatura.

Estos factores determinaran su grado de permeabilidad; los análisis de laboratorio reportan una semipermeabilidad para estos suelos.

Podemos concluir que la presencia de agua en un suelo **no impermeable**, permite la infiltración a través de ella.

9.4 ESTADO DE LOS SUELOS EN LA COBERTURA

La carta de plasticidad define cinco grados de plasticidad de acuerdo al **Límite Líquido**.

CUADRO 17: INDICES DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS

GRADO DE PLASTICIDAD	INDICE (LL)
Baja Plasticidad	< 35%
Plasticidad Intermedia	= 35% - 50%
Alta Plasticidad	= 50% - 70%
Plasticidad Muy Alta	= 70% - 90%
Plasticidad Extremadamente Muy Alta	> 90%

FUENTE: Roy Withlow "Fundamentos de Mecánica de Suelos"

La relación del contenido de humedad natural y su consistencia natural está dada por el **IL (índice de liquidez)** que define a la vez el estado del material, es una excelente medida de **arcillosidad** del suelo y la plasticidad depende de la cantidad y naturaleza de los minerales de arcillas presentes.

$$IL = \frac{m - LP}{IP}$$

Donde :

m = contenido natural de humedad

LP = Límite Plástico

IP = Índice Plástico

Los valores importantes de IL son:

CUADRO 18: INDICES DE LIQUIDEZ

IL < 0	El suelo está en estado sólido semiplástico o en estado sólido.
0 < IL < 1	El suelo está en estado plástico.
1 < IL	El suelo está en estado líquido.

Fuente: Roy Withlow, "Fundamentos de Mecánica de Suelos"

El grado de plasticidad de la fracción de arcilla recibe el nombre de **Actividad** del suelo. Porque aún un suelo clasificado como “arcilla” puede estar constituida por 40-50% de minerales de arcilla.

$$\text{Actividad} = \frac{\text{IP}}{\% \text{ partículas de arcilla } (<2\mu\text{m})}$$

De los reportes de los análisis de laboratorio de las muestras, determinamos los siguientes **Índices de Liquidez** y su **Actividad** respectiva para cada muestra:

9.4.1 MUESTRA M-1 “SC”

$$\text{LL} = 36,09\%$$

→ Plasticidad intermedia

$$\text{IL} = \frac{23,17 - 21,22}{14,86}$$

$$\text{IL} = 0,13$$

→ Estado plástico

$$\text{A} = 0,44$$

→ Arcillas de caolín

El suelo de la muestra M-1 tiene una clasificación SUCS **SC** y se encuentra en un estado **plástico**.

9.4.2 MUESTRA M-2 “GP-GC”

$LL = 29,69$ → Baja plasticidad

$$IL = \frac{9,79 - 15,01}{14,68}$$

$IL = - 0,35$ → Estado semiplástico

$A = 1,33$ → Arcilla orgánica

El suelo de la muestra M-2 tiene una clasificación SUCS **GP-GC** se encuentra en estado sólido **semiplástico**.

9.4.3 Muestra M-3 “SC”

$LL = 29,51$ → Baja plasticidad

$$IL = \frac{4,47 - 12,89}{16,63}$$

$IL = - 0,50$ → Estado semiplástico

$$A = 0,44 \rightarrow \text{Arcilla de caolín}$$

El suelo de la muestra M-3 tiene una clasificación SUCS SC se encuentra en estado sólido **semiplástico**.

9.4.4 Muestra M-4 “MH”

$$LL = 58,28 \rightarrow \text{Alta plasticidad}$$

$$IL = \frac{51,09 - 41,16}{17,12}$$

$$IL = 0,58 \rightarrow \text{Estado plástico}$$

$$A = 0,19 \rightarrow \text{Arcilla de Caolín}$$

El suelo de la muestra M-4 tiene una clasificación SUCS MH, se encuentra en estado **plástico**.

9.4.5 Muestra M-CUBO “GC”

$$LL = 27,55 \rightarrow \text{Baja plasticidad}$$

$$IL = \frac{7,71 - 12,41}{15,14}$$

15,14

$$IL = - 0,31$$

→ Estado semiplástico

$$A = 0,53$$

→ Arcilla glacial

El suelo de la muestra M-4 tiene una clasificación SUCS GC, se encuentra en estado sólido **semiplástico**.

Los resultados observados de los estados de los suelos, definen los horizontes como semiplásticos y plásticos, por la presencia de arcillas y de un % de contenido de agua, que nos permitirá evaluar las características de ***intemperización de los materiales arcillosos***.

Los ciclos repetitivos de humedecimiento y secado hacen que los límites líquidos de estos materiales tiendan a incrementarse, a su vez este incremento es considerado una medida de susceptibilidad a la **intemperización** (erosión, lluvias, heladas, cambios de temperatura y acción de la gravedad).

La transgresión y la regresión de que han sido objeto estas orillas y su consecuente humedecimiento y secado cíclico, hacen que los límites de líquidos se incrementen permitiendo una constante y continua intemperización, la

degradación de estos suelos permitan la erosión y la infiltración de agua en sus horizontes.

Los ensayos de laboratorio y los cálculos estimados nos indican que se tienen horizontes en estado **Plásticos** y **Semiplásticos**, observándose una gran actividad por parte de las fracciones arcillosas, que modifican en gran medida la consistencia de estos suelos y que los hacen vulnerables a la **intemperización**.

CUADRO 19: NIVELES DE PLASTICIDAD

Muestra	Grado Plasticidad LL	Estado Plasticidad IL	Actividad A
M-1	Intermedia	Plástico	Caolín
M-2	Baja	Semiplástico	Orgánica
M-3	Baja	Semiplástico	Caolín
M-4	Alta	Plástico	Caolín
Cubo	Baja	Semiplástico	Glacial

Fuente: elaboración propia

CAPITULO X. MECANICA Y DINAMICA DE LAS ROCAS

10.1. GEOLOGIA ESTRUCTURAL DEL ANTICLINAL DE HUARÓN

La Geología de la zona reconoce como la principal estructura más importante al anticlinal de Huarón, con un rumbo general de N35°W, complejo formado por rocas del Cretáceo Superior hasta el Terciario Medío-Superior, con las capas rojas inferiores del Cretáceo Superior formando el núcleo del anticlinal.

10.1.1 Fracturas de Compresión

Fuerzas de compresión Este-Oeste formaron el anticlinal Huarón, ocasionando fallas o rupturas primero en el eje del anticlinal que ocasionó la salida del mayor intrusivo de Huarón y varios diques y sills, luego una gran ruptura (X) equis, cizallas con dos fallas Llacsacocha y Cometa-Huaychao en diferentes edades cada una y que dividió en 4 zonas al anticlinal de Huarón, cada una con mineralización característica. Ver Planos 2 y 7.

10.1.2 Fracturas de Tensión

De rumbo Este-Oeste perpendiculares al eje del anticlinal y puede llegar a un centenar de estructuras, constituyendo junto a los conglomerados y calcáreos, al tercer metalotecto.

El anticlinal Huarón ha sido intruido en su zona axial por intrusivos monzoníticos, que probablemente dieron origen a soluciones mineralizantes que invadieron el distrito y formaron los actuales depósitos minerales. Ver Plano 7 esquema estructural Huarón

Los tipos de fracturamiento originados por los procesos tectónicos antes descritos han originado los diferentes tipos de estructuras mineralizadas conocidas en el yacimiento que son:

- Sistema de vetas de rumbo N-S y 38° de buzamiento promedio al Oeste como las vetas: Fastidiosa, Caprichosa, etc.
- Sistema de vetas de rumbo Este-Oeste, con 78° a 80° de buzamiento al Norte como: Travieso, Alianza, etc.
- Sistema de vetas Oblicuas de rumbo promedio N 45° E veta Nor este y Huaychao de rumbo Norte-Sur.
- Existe un zonamiento horizontal, formado por una zona central principalmente con mineralización de cobre con una aureola de influencia sobre las otras vetas con cobre y mineralización mixta y una zona exterior que contiene mayormente minerales de plomo zinc-plata.

10.2 LEVANTAMIENTO, GEOLÓGICO Y LÍNEA DE DETALLE EN EL NIVEL 575

Para entender la geomecánica de las rocas y su caracterización es necesario relacionarlo a la orientación de las discontinuidades y los espacios entre ellos.

La cantidad de discontinuidades presentes en un macizo rocoso, es expresada usualmente por la frecuencia en que se presentan y están definidas como una media de discontinuidades por unidad de longitud. Existirá un máximo de frecuencias en una dirección y un mínimo en otra, los espacios entre discontinuidades serán parecidas a la seguida por la curva de distribución exponencial negativa.

Durante la inspección del Nivel 575, se realizó un levantamiento geológico y el de una línea de detalle que se muestra en el Plano 2, Plano 2 A y Plano 3. En ella se pudo apreciar las discontinuidades y fracturas encontradas en el recorrido, así también, se observó los planos de cizalla y diaclasamientos cuyos rellenos han sido completamente lavados por la acción del agua, y otras que evidencian aún, residuos de materiales arcillosos y de calcitas, esta descripción corresponde al macizo ubicado en las cercanías de la abertura generada por el evento.

Se trabajó con una línea de detalle de 20 metros desde un punto bajo de la abertura originado por el evento y el punto topográfico N° 4 sobre la caja piso.

La representación estructural fue ploteada en una estereonet, donde se incluyen los polos y contornos de concentración de polos, para esta representación se asigna a cada polo un peso individual, ver los Gráficos 01 y 02 donde se aprecian

el ploteo de contornos y los planos mayores de las familias formadas por las discontinuidades respectivamente.

La información obtenida en esta primera etapa fue luego usada en un análisis estructural de estabilidad. Se realizó el análisis estadístico de las familias presentes y se tomaron las tres sets más importantes que en su conjunto determinan las posibles cuñas, estos sets son los siguientes:

CUADRO 04: SET DE DISCONTINUIDADES

Joint Set	Dip	Dip Direction
1	65,95°	88,1°
2	82,81°	4,17°
3	58,48°	172,33°

Fuente: Elaboración propia

Estas familias establecen las cuñas que podrían generar un posible deslizamiento, ver Figura 17.

10.3 ANÁLISIS ESTRUCTURAL DEL MACIZO ROCOSO

Las propiedades mecánicas de la roca caracterizan la capacidad de ésta de reaccionar de una u otra forma a los influjos externos de fuerza (mecánicos) y realizar la energía de estas influencias en diversos tipos de procesos mecánicos (compresión, tracción, desplazamiento, etc) y fenómenos que lo acompañan. Así también, las propiedades mecánicas se encuentran estrechamente relacionadas a la estructura de la roca y a las singularidades criptocristalinas de los componentes minerales.

En la zona de estudio se tiene un proceso mecánico del tipo compresión y tracción ya que la Laguna Naticocha se ubica sobre el anticlinal de Huarón.

Al analizar las discontinuidades de la roca se debe prestar atención a:

- a) La orientación de las discontinuidades y a las alteraciones tectónicas.
- b) La variación de las características de las discontinuidades (grados de aberturas, extensión, intensidad en su desarrollo, grados de rugosidad en las paredes de la discontinuidad, etc.).
- c) El relleno (“cicatrización”) de las rocas por neogénesis minerales.
- d) Estos procesos mecánicos han sido los que han determinado tres sistemas de fracturamiento: Norte-Sur, Este-Oeste y NE-SO las que concuerdan en sus orientaciones con las orientaciones de las discontinuidades analizadas, ver cuadro de Discontinuidades consignados en el punto anterior, y cuyas características tridimensionales geométricas son típicas para cada una de ellas.

Las aberturas que presentan las discontinuidades son de 1-6 mm en la zona cercana a la abertura, no siendo así en la parte de la antigua galería donde se tiene aún los rellenos de las juntas y el material no ha sido removido, pero no se debe olvidar de que este levantamiento se realizó 1 año después del evento del 22 de Abril de 1998 y que evidentemente mostraba los efectos de arrastre y lavado del ingreso del agua en la zona contigua a la abertura.

La rugosidad de estos planos de junta corresponden a un tipo planar rugoso, la intensidad de desarrollo es de menos de 0,50m, el grado de fracturamiento de la roca es considerado como Fracturado y en cuanto al grado de meteorización a lo largo del Nivel 575 no presentaba mayor alteración en su estructura, pero que en la abertura las cajas y la veta Nor Este se encontraba muy alteradas en su parte superior lo que probablemente fue producida por la presencia del agua por infiltración en esa zona.

El análisis estructural de las familias de discontinuidades y las características geológicas de la roca, nos indican la formación de cuñas en el techo de la excavación las que presentan Factores de Seguridad mayores a 1; siendo el lado Oeste del Nivel 575 que corre sobre la veta Nor-Este, la que presenta menores valores que el lado Este y que cuando se tiene la presencia de agua en el sistema este Factor de Seguridad es nulo (cero) lo que hace que la roca falle (ver gráficos).

Las tres discontinuidades estructurales son representadas por sus planos mayores, fueron ingresados al programa UNWEDGE, definiendo la excavación con su orientación azimutal y su buzamiento respectivo.

Este análisis permitió determinar, localizar y dimensionar las cuñas que se pudieron formar en las diferentes caras de la abertura como son las paredes laterales, el techo y el piso.

Podemos observar que la cuña formada en la cara lateral Oeste tiene un factor de seguridad **2,98** y que luego de la presencia del agua su Factor de Seguridad se anula provocando su falla.

El lado Este inicialmente tiene un Factor de Seguridad + T y con la presencia de agua se reduce a **1,17**; el Techo fallará como resultado de su propio peso y la presencia de agua.

La estructura del macizo rocoso se presenta moderadamente estable; por la caracterización de fracturada que ofrece la subsidencia se desarrolló durante el proceso de intemperización producida por la infiltración y la posterior saturación y ablandamiento de la roca, que le adiciona el efecto dinámico a su mecanismo.

10.4 INFLUENCIA DE LA PRESENCIA DE AGUA EN EL MACIZO ROCOSO

El material de relleno de la estructura es del tipo arcilloso carbonatado, las cajas son margas y calizas que por su constitución cristalina son fácilmente lavadas. Las oquedades presentes en las cajas de la estructura condicionan favorablemente para el desarrollo de las cavidades de lixiviación y la activación de los cambios secundarios de los estados y propiedades de la roca (procesos carsticos).

Las margas pertenecen al grupo de las rocas carbonosas-arcillosas con contenido de carbonatos desde 25% hasta el 75%. Por una serie de propiedades (elevado reblandecimiento, hidrófilia, capacidad de hincharse y dar deformaciones de contracción), las margas se aproximan a las rocas arcillosas con cementación carbonosa.

En la composición de las rocas se observa la fase sólida (mineral) y la fase móvil (líquida y gaseosa). Sobre las propiedades de las rocas ejercen una significativa influencia las fases móviles que rellenan el espacio intersticial, son las que causan la disminución de la resistencia mecánica (ablandamiento) de las rocas, de las deformaciones volumétricas (hinchazón y contracción) de las rocas.

La estructura de las rocas dependen de procedimientos y condiciones de su formación, se distinguen tipos fundamentales morfogenéticos de oquedades.

- Intergranulares.- que es característica de las rocas de grano suelto.
- Intermineral.- propia de las rocas duras y semiduras
- De disolución propias de las rocas kársticas
- Criptoporosidad de las rocas arcillosas
- De porosidad ampollar de ciertas rocas magmáticas efusivas

Las grietas generalmente penetran todo el volumen de las rocas y de este modo, se crean condiciones más fáciles para la migración de las fases móviles (líquidos), esto es indispensables para el desarrollo de las cavidades de lixiviación y de la activación de los cambios secundarios. El grado de saturación con agua influye sobre el estado de la roca.

La estructura del macizo rocoso es mecánicamente estable hasta cierto punto, pero presenta formación de cuñas, que requieren de un factor que dinamice el proceso

para colapsar, no habiéndose presentado ningún sismo, ni efectuado trabajos de laboreo minero cercanos, **el único factor probable es el agua**, ya que se disponía de un volumen de agua de $12\,500\,000,00\text{m}^3$, que ejercía presión hidrostática sobre el área del colapso ubicada en la zona de El Techo de la laguna y que es un área de debilidad por donde se produjo la infiltración, el momento de iniciarse el colapso se alcanzaba una cota de 5,600,1 m.s.n.m.

Es probable que basándonos en el hecho de que la capa protectora no es del todo impermeable y que haya permitido en algún momento el ingreso del agua hacia el macizo rocoso, se establece una acción combinada del comportamiento mecánico de la roca y la acción dinámica del agua. Esto produjo la subsidencia del techo del Nivel 575 sobre la veta NorEste que se ubica encima del tajeo 44E, el que se encontraba clausurado y relleno con material detrítico.

En conclusión, se establece que el contenido de agua en la roca, actúa sobre los planos de discontinuidades y tiene gran influencia en la estabilidad de las cuñas que podrían estar presentes, intensificándose cuando se tiene bajas temperaturas en el área afectada.

La subsidencia se realizó en forma secuencial, primero se inició con el desplazamiento de la roca mediante la acción del agua, que actuaba sobre los planos de falla o de junta, luego se genera el lavado y erosión de las partículas contenidas en los planos; después de infiltrarse, humedecer y saturar la roca se consigue ablandarla; esto tendrá como consecuencia la caída de las cuñas más expuestas y se iniciará la subsidencia hacia el techo desplazándose sobre un plano

definido que corresponde a una de las familias predominantes de discontinuidades.

Al llegar a la capa de cobertura el mecanismo hace que estas se deformen alcanzando la falla por flujo teniéndose como resultado la licuación violenta de este material, durante la inspección se ha observado los vórtices dejados por la acción dinámica del agua.

10.5 EVENTO DEL BORDE ESTE DE LA LAGUNA NATICOCHA

De acuerdo a las informaciones obtenidas de los testigos que presenciaron esta tragedia (personal técnico de la Empresa Administradora Chungar S.A.), el día 22 de Abril de 1998, a las 8: 30 horas de la mañana, cuando el espejo de agua de la laguna alcanzaba la cota 4.600,58 msnm, se advirtió un flujo de agua, aproximadamente 15 l/s, en el Nivel 540 de la veta Nor-Este, caudal de agua que filtraba del techo del tajeo 44E, a una distancia aproximada ,de 30m del lado Este del pique Montenegro.

A las pocas horas del inicio de este acontecimiento, apareció una grieta, paralela a la orilla de la laguna, sobre materiales de préstamo compactado.

Ante la amenaza que significaba esta filtración, se evacuó al personal de la mina por el pique La Esperanza. Posteriormente, con el fin de efectuar trabajos de encausamiento hacia los Niveles inferiores, del agua que se encontraba ingresando, se envió un acuadrilla de 20 hombres a realizar esos trabajos. Lamentablemente sólo 14 pudieron regresar a la superficie.

Mientras se desarrollaban estos trágicos acontecimientos en la mina Animón, la Empresa Administradora Chungar comunicó al responsable de la mina Huarón (quien tenía a su cargo el control del Nivel de las aguas mediante el manejo de las compuertas en la laguna) para bajar el Nivel de las aguas, en forma inmediata, pedido que no se cumplió. Eran las 12:20 horas

La filtración inicial de 15 l/s fue en aumento constante, debido a la erosión progresiva y al ensanchamiento del punto de ingreso del agua en la roca.

El día 23 de Abril, a las 6:40 horas de la mañana, la pequeña filtración degeneró en una inundación, con el caudal, estimado, de 1 000 l/s, caudal que fue en aumento progresivo hasta alcanzar los 20m³/s, inundando las labores de las minas Animón y Huarón, hasta las cercanías del Nivel 500.

Esta gran descarga recién pudo ser controlada el día 24 de Abril, a las 15:30 horas, luego de haberse construido un dique de contención, con la colaboración de las empresas mineras vecinas mediante equipos y personal técnico.

Habían transcurrido 32 horas entre el inicio violento del ingreso del aguas a la mina (6:40 horas del día 23) y su consiguiente control (3:30 horas del día 24) momento en que el caudal se redujo a sólo 20 l/s (que el dique de tierra dejaba filtrar).

La Laguna de Naticocha, al momento de desbordarse, contenía aproximadamente 12,5 millones de metros cúbicos de agua y su Nivel había descendido en 4,6m, estimándose que ingresó a la mina un volumen de 3,5 millones de metros cúbicos de líquido.

El agua comenzó a desfogar por los Niveles 420 y 270 de la mina Animón, que corresponden a los Niveles 500 y 400 de la mina Huarón.

Posteriormente, en la zona próxima al desastre, comenzaron a aparecer signos de inestabilidad, en forma de agrietamiento y hundimientos. Es así como dos “Glory Holes” (terreno hundido por subsidencia de falla), situadas a las cercanías del pique Montenegro se abrieron sobre la veta principal el día 25 de Abril de 1998 a las 10 de la mañana (información fotográfica). Esta veta había sido trabajada por la Empresa Huarón en la década de 1940.

En el segundo día de visita a la mina, tuvimos ocasión de descender al Nivel 575, por la escalera auxiliar. De esta manera pudimos ubicarnos en la trayectoria seguido por el torrente de agua, desde el punto del accidente (borde Este de la Laguna) al lado Oeste del tajo del Nivel 575, espacio íntegramente comprendido en la veta Nor Este, y con una inclinación aproximada de 40°. El violento ingreso del agua a la mina, “lavó” el relleno del Tajeo 44E del Nivel 540 que se encontraba clausurado, además, desestabilizó y removió antiguos rellenos en tajeos del Nivel 540 y otras labores por donde discurrió violentamente el agua con material dendrítico.

CAPITULO XI: ANÁLISIS DE LOS FACTORES

CAUSAS DEL EVENTO

11.1 FACTORES GEOLOGICOS ESTRUCTURALES

El área de estudio se encuentra ubicado en el flanco Este de la charnela del anticlinal Huarón, cuyas rocas son principalmente sedimentarios donde predominan las margas, calizas, areniscas y otros, que origina al contacto con las aguas meteóricas (CO₂) y disolución de las rocas carbonatadas.

Por la acción de los esfuerzos tensionales y compresionales se tiene un sistema de fallas con buzamientos altos, así como cizallamiento producto de estos esfuerzos la veta principal y la veta Nor Este corren con pendiente, pero se unen en el interior de la laguna, formando una zona entre la veta Principal y caja techo de la laguna y la veta Nor Este (caja piso) donde la actividad es interna, los buzamientos son pronunciados

La calidad de la roca es mala por el grado de fracturación que presenta, pero que ofrecen cuñas con factor de seguridad mayor que uno.

11.2 EFECTOS DE LA OPERACIÓN MINERA

La labor minera donde ocurrió el accidente del 22-04-98, corresponde al frontón Oeste del Nivel 575, que está a 45m del Oeste del pique Montenegro y que es accesible desde la superficie, bajando 25m por el camino auxiliar, como se muestra en el plano.

En 1974 se inició la explotación a partir de la chimenea 44 del Nivel 540, a ambos lados, al Este y al Oeste de esta chimenea, dejando un puente de protección sobre el Nivel 540. La explotación empleó el método de corte y relleno ascendente convencional y para el relleno efectuaron estocadas hacia las cajas, como se aprecia hasta ahora en el Nivel 575. El lado Este comunicó con el Nivel 575 en una longitud de 10m, mientras que en el lado Oeste se dejó un puente (pilar) de protección debajo del Nivel 575, quedando el tajeo totalmente relleno hasta el Nivel 575.

Después del accidente del 22.04.98, es posible comprobar, no solamente la secuencia de la explotación en el tajeo 44, tal como se describe en el párrafo anterior; sino también la estabilidad y la solidez del mineral y las cajas que se mantienen abiertas y vacías hace un año y han recibido el embate, primero de un efecto sifón del relleno y luego la descarga violenta de 3,5 millones de m³ de agua de la laguna, que se describe en el siguiente párrafo.

Como todas estas labores estaban abiertas y accesibles durante la visita, es posible también apreciar la ruta que siguió el agua, desde el frontón Oeste del Nivel 575 hasta la comunicación del tajeo 44E, bajando luego por el relleno hasta el Nivel

540, donde el 22.04.98 a las 8:30 horas se detectó la primera filtración de agua de 15 l/s.

Conocida las labores y las rutas seguidas por el agua, también podemos conocer el mecanismo:

Las pequeñas filtraciones en el frontón Oeste del Nivel 575 discurrieron hasta la comunicación del tajeo 44E, de aquí bajó por el relleno, humedeciéndolo hasta el Nivel 540, sin que se pueda precisar el tiempo que tomó hasta su completa saturación, por ende, la filtración hacia el Nivel 540, ocurrida el 23.04.98.

Es indudable que las primeras pequeñas filtraciones fueron en aumento progresivo, de tal manera que la columna de relleno entre los Niveles 540 y 575, se transformó de una carga estática en una carga dinámica, ejerciendo fuerte presión sobre el enmaderado del camino auxiliar del tajeo 44E, que baja al Nivel 450. El tiempo de acción de esta carga dinámica fue desde que se apreció la primera filtración el 22.04.98 (8:30 horas) hasta el día siguiente, en que el enmaderado de la compuerta que clausuraba el tajeo 44E cedió y el material fluyó hacia el pique provocando un fuerte efecto sifón, descargando el relleno al Nivel 540, seguida y consecuentemente, por la violenta descarga de 3,5 millones de m³ de agua de la laguna. Al inundarse el Nivel 540 y fluir por el pique Montenegro inundó a todos los Niveles de la mina Animón y Huarón con las que estaba comunicada. Ver Figura 18

Si a éstos dos eventos, soplo del relleno del tajeo 44E y descarga de 3,5 millones de m³ de agua, se agrega los más de 24 años de antigüedad de éstas labores y un

año de cámara abierta, podría haber ocurrido el derrumbe total del Nivel 575 y del tajeo 44E, comprometiendo un derrumbe mayor hacia la laguna y la estabilidad del pique Montenegro, que se ubican al Oeste y al Este de este escenario.

Sin embargo, éstas labores se mantienen firmes, estables y totalmente accesibles, a pesar de los eventos indicados y encontrarse abiertos y vacíos desde hace un año. No se aprecian rajaduras, fisuras o alguna inestabilidad física, en el Nivel 540, tajeo 44E y el Nivel 575. Estas labores están tan estables como fueron dejados al concluir su explotación el año 1974.

La estabilidad del macizo rocoso de estas labores no puede haber sido la causa del accidente del 24.04.98.

11.3 EFECTOS DEL SEDIMENTO LACUSTRINO

Como se indica anteriormente, denominamos “sedimento lacustrino” a los depósitos arcillo-limosos, de naturaleza plástica, que se encuentran cubriendo el fondo de la laguna de Naticocha, reposando sobre el substratum rocoso.

La característica principal de estos depósitos es su **impermeabilidad**, como consecuencia de su granulometría. En efecto, de acuerdo a la clasificación granulométrica de las rocas muebles, al limo le corresponde un diámetro de 0,06mm a 0,002mm, y a la arcilla, un diámetro inferior a 0,002mm, característica que la convierten en impermeables; pero pueden perder esta impermeabilidad si los sedimentos se encuentran expuestos a la acción de los agentes de erosión o contaminadas con material de otra granulometría.

Como se explicó anteriormente, al haberse aumentado la superficie de la laguna Naticocha, como consecuencia del cambio de su sentido del drenaje, se inició un proceso de sedimentación y formación de nuevos sedimentos lacustrinos. Los nuevos sedimentos siempre se encontraron sujetos a los agentes de erosión, por encontrarse en la zona de “El Techo” de la laguna, lo que se explicó ampliamente. Esta persistente erosión hizo perder al sedimento lacustrino su principal característica, la **impermeabilidad**.

El aumento del Nivel de la laguna, el 22 de Abril de 1998 permitió al espejo de agua alcanzar zonas sin la protección de un sedimento lacustrino (arcilloso-limoso), verdaderamente impermeable, lo que provocó el aumento progresivo de las infiltraciones, ya iniciadas desde los años anteriores, hasta provocar el siniestro que se describe en el capítulo III.

11.3 DISOLUCION DEL CARBONATO DE CALCIO EN LAS ROCAS

Regionalmente, desde las minas de Alpamarca y Río Pallanga (ubicadas a 16km y 12 km al Sur de Naticocha), aparecen cavernas y manantiales de agua en los horizontes de las calizas de las formaciones Casapalca y Jumasha (del Cretáceo inferior y superior respectivamente). Estas cavernas y estos manantiales son manifestaciones típicas de la morfología cársticas, debido a la gran permeabilidad que adquieren las calizas por la disolución del carbonato de calcio.

Como referencia, se indica que en la antigua mina de Río Pallanga aflora un manantial de agua de las calizas Jumasha, con un caudal de 4 l/s, caudal que cubría la demanda del agua potable cuando la mina se encontraba en actividad.

Además, 2km al Norte de Naticocha, en el flanco derecho de la laguna de Llagsacocha, aparecen algunas cavernas en las calizas de la formación Casapalca.

Como se indica al comienzo de este capítulo, los estratos calcáreos de la formación Casapalca, son favorables para la ocurrencia del proceso cárstico. En la inspección de las labores, se descendió al Nivel 575 de la mina Animón (20.03.99) y se pudo observar que, la caja correspondiente a la veta Nor Este, próximo al lugar del accidente, se encuentra representada, mayormente por rocas carbonatadas (calizas y margas), intensamente diaclasadas.

Se resalta que, la presencia del agua es de significativa importancia en el proceso de disolución de las rocas carbonatadas porque, además de su acción química corrosiva por el gas carbónico, realiza un trabajo mecánico de transporte del material producido por la erosión.

Es por ello que debe considerarse, que por el subsuelo de la laguna y en el área de su cuenca, por donde circuló (en el pasado) y circula agua de infiltración meteórica, existen zonas de debilidad (debido a la disolución de los carbonatos) que podrían colapsar cuando las condiciones físicas y químicas lo favorezcan.

Es el caso del hundimiento del techo de los “Glory Holes” próximo al pique Montenegro (24.04.98). Ver Planos, 17 y 17A.

Por consiguiente, el proceso cárstico debe ser considerado como un factor más de desestabilización del substratum rocoso.

11.5 NIVEL DEL AGUA DE LA LAGUNA DE NATICOCHA

Las variaciones del Nivel de las aguas de la laguna pueden ser:

NORMALES.- Cuando los cambios que se registran están de acuerdo a las estaciones húmedas o secas del año.

ANORMALES.- Cuando los cambios en el Nivel del espejo de agua registran valores excepcionales, positivos o negativos. Estos cambios pueden originarse como consecuencia de fuertes precipitaciones pluviales, debido a una intensa sequía. Algunas veces, estos cambios pueden ser ajenos a los dos motivos anteriores, porque pueden ser originados por interrupciones o cambios en el drenaje.

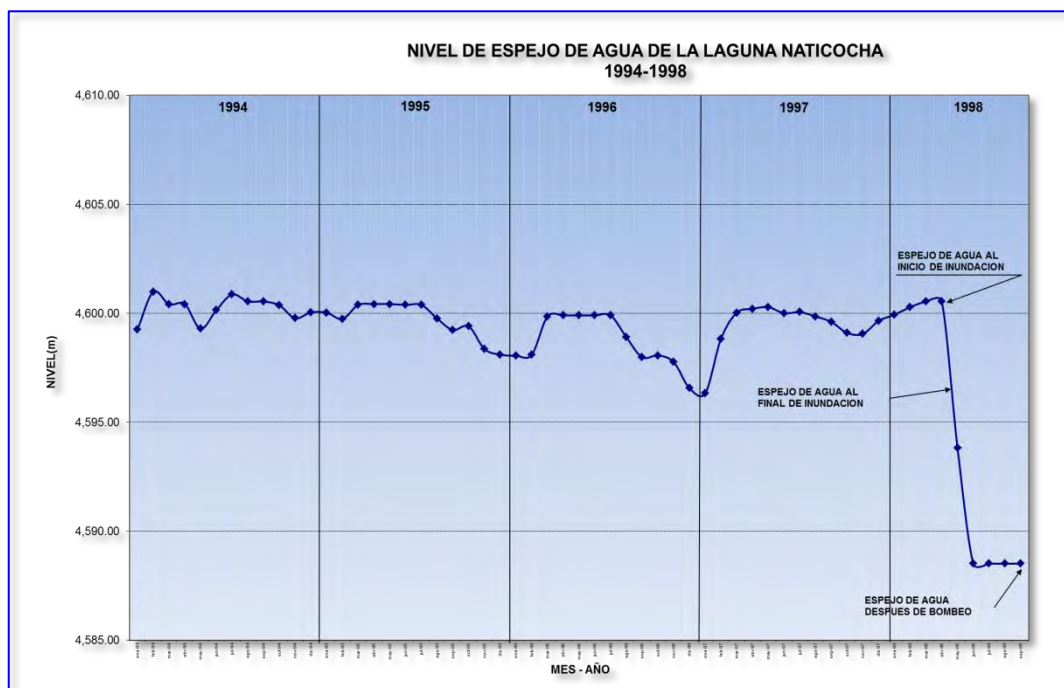
De acuerdo a las referencias que se tienen, y basándonos en los datos proporcionados por la Empresa Administradora Chungar, el Nivel más alto de la laguna se registró en el mes de Agosto de 1994, con 4,601.01 m.s.n.m. y su menor Nivel en Enero de 1997, con 4,596.32 m.s.n.m. Ningún efecto negativo se produjo como consecuencia del incremento de la masa de agua en el área de la laguna y de la mina.

Observando la curva altura-volumen del Capítulo VII, la laguna almacenaba en Agosto de 1994, una masa de agua equivalente a 12,5 millones de metros cúbicos (aproximadamente).

El 22 de Abril de 1998, vuelve a producirse un notable ascenso del Nivel de la laguna, con 4,600.58 m.s.n.m., inferior en 0,43m a la de Agosto de 1994. De

acuerdo a la curva altura-volumen del Capítulo VII, en aquella fecha la laguna almacenaba 12,3 millones de metros cúbicos (aproximadamente), y es cuando se produce el siniestro por todos conocidos.

FIGURA 15: NIVELES DE AGUA NATICOCHA PERIODO 1994-1998



Fuente: Elaboración propia, data Empresa Administradora Chungar SAC

¿Cómo se explica el Colapso de la laguna en Abril de 1998, cuando el Nivel de sus aguas era inferior en 0,43m al máximo Nivel que se había registrado para Naticocha en Agosto de 1994?

En el Capítulo VII se describe como los sedimentos lacustrinos en la zona de “El Techo” se encuentran expuestos, permanentemente, a su deterioro, lo que les hace perder su más importante característica, que es la impermeabilidad.

En efecto, los exámenes de laboratorio efectuados por el CISMID sobre 5 muestras tomadas en la zona del desastre, revelan que éstas son semipermeables, por lo que se deduce que, el substratum rocoso, en esta parte de “El Techo” de la laguna no se encontraba totalmente, impermeabilizado, y que podía producirse alguna infiltración de agua a través de las numerosas diaclasas que presentan las rocas del substratum.

Como los denomina *SRK (Sud América)* a estos espacios “Zonas de Debilidad”, en su informe correspondiente de Junio de 1998, es muy posible que estos espacios críticos ya aparecían en 1994, y que cuando el Nivel de la laguna llegó a los 4,601.01 m.s.n.m. podría haber comenzado a producirse débiles e imperceptibles filtraciones de agua, sin mayores consecuencias.

Cuando el espejo del agua de la laguna, 22 de Abril de 1998 llega a la cota 4,600.58 m.s.n.m., es muy probable que se reactivaran las filtraciones, especialmente por la zona de mayor debilidad de “El Techo”, en el lado Este de la laguna, próximo al pique Montenegro. Estas filtraciones habrían comenzado a erosionar, en forma progresiva la zona de debilidad, continuando el trabajo de erosión iniciado por anteriores filtraciones, quizá anterior a 1994, y donde ya se habría encontrado comprendido el Substratum rocoso (filtraciones a través de sus diaclasas).

El desenlace de este proceso es ampliamente conocido y la describimos en el estudio.

Conclusión: El colapso de la laguna obedece a un proceso de filtraciones, iniciadas por los lugares de debilidad del sedimento lacustrino sobre “El Techo” de la laguna, y que alcanzó su punto culminante el 22 de Abril de 1998. Es muy probable que este proceso se iniciara antes de 1994.

11.6 SUBSIDENCIA DE LAS LABORES ANTIGUAS

Es importante indicar que el área denominada “Zona Inaccesible” ubicada en el Nivel 575 sobre la veta Nor-Este, donde se establecía un bloque definido como reserva no accesible, por encontrarse bajo la laguna Naticocha; es un área que nunca fue accesible, por las consideraciones indicadas. Esto se evidencia por el hecho de que luego del evento se mantiene un puente de mineral con las características similares al indicado en los planos de cubicación del año 1997, tal como se muestra en el Plano 14 y Plano15, donde se tiene el levantamiento de la zona desestabilizada por el ingreso del agua y el antiguo plano de cubicación.

El macizo rocoso en el Nivel 575, a lo largo de la galería no ha sido alterada por la inundación y sus paredes se encuentran en buen estado, conservando sus soportes originales colocadas como medida de prevención; se tiene un puente de 25 metros entre el Nivel 575 y el fondo de la laguna, en el único área donde se aprecia alteraciones de cajas y mineral por la presencia del agua es en la zona donde se inició la inundación.

La abertura dejada por el siniestro entre el contacto del macizo rocoso con la base del depósito lacustrino aproximadamente a 10m corresponde a un forado producido por la erosión del agua a través de un plano de contacto o

diaclasamiento, presenta vórtices y tiene forma redondeada que caracteriza a una erosión por agua y el desplazamiento sigue la orientación de una de las familias predominante en el análisis de estructura de la zona (zona más débil), por lo que llega a contactar al Nivel 575, el colapso del macizo rocoso no fue primero sino después de la presencia del agua que saturó y ablandó al macizo.

El Tajeo 44E, que se ubica entre los Niveles 575 y 540, estuvo relleno por material detrítico y funcionó como una cámara de almacenamiento de agua infiltrada a través del puente y el material lacustrino, que durante el evento inundaron las diversas galerías de la Mina Animón y Huarón.

Se puede concluir que la presencia del agua en los planos de contacto de la veta Nor-Este fueron los puntos iniciales de la infiltración, luego vino el ablandamiento (capacidad de las rocas a disminuir su resistencia al saturarse con agua) y su posterior erosión y colapso; debido a que el agua al tomar contacto con la roca (margas) altera muy fácilmente a las cajas a través de las diaclasas y disloca las juntas. La cementación de las margas son poco resistentes e inestables, por lo que en estado húmedo, la roca se tritura muy fácilmente con las manos en partículas muy pequeñas.

CAPITULO XII: CARACTERIZACIÓN DEL EVENTO EN EL BORDE ESTE DE LA LAGUNA NATICOCHA

El análisis de los posibles factores del evento conduce a que ninguno, por sí sólo, originó el accidente del 23.04.98; sino que han intervenido todos los factores en su conjunto y con diferente grado de significancia como pasamos a describir.

El estudio del sedimento lacustrino, ubicado en el borde Este de la laguna Naticocha, demuestra que ésta capa correspondiente al techo del sedimento, no es impermeable, tanto por razones de su formación como por el manejo de sus Niveles de campo y las perturbaciones ocasionados con las labores mineras del Nivel 605.

Al tener en el lado Este de la laguna un sedimento lacustrino no impermeable en la parte del techo de la laguna, no ofrecía ninguna posibilidad de filtraciones cuando el Nivel del agua de la laguna era baja, en cambio, cuando el Nivel de agua de la laguna se eleva a los máximos (4601 m.s.n.m. en 1994 y 4600,5 m.s.n.m. en Abril de 1998) la filtración a través del sedimento que separa el agua de la laguna y el macizo rocoso, era consecuente.

Estas filtraciones ocurrían cada vez que el Nivel de agua se elevaba a los máximos en los últimos 30 años o más, aumentaron gradualmente su recorrido, primero a través del sedimento (5m a 6m) y luego a través del macizo rocoso (15m a 20m).

El macizo rocoso en seco muestra un factor de seguridad superior a uno (1,27); es decir se presenta estable en toda la longitud del Nivel 575, minimizando una posible subsidencia en estado seco. Sin embargo, todas las simulaciones muestran que en presencia de agua la roca humedecida o saturada de agua, el factor de seguridad es nulo (cero), cambiando totalmente la naturaleza estable de la roca en seco, a una totalmente inestable en presencia de agua.

Esto explica la inestabilidad del macizo rocoso en el frente Oeste del Nivel 575, pues éste se encuentra dentro de la influencia de las filtraciones a través de los sedimentos lacustrinos primero y el macizo rocoso después, cuando el Nivel de agua de la laguna se eleva a sus cotas más altas.

Esta zona humedecida, frontón Oeste del Nivel 575, por la presencia de agua de filtraciones de la laguna, se torna inestable, en contraste con toda la longitud del Nivel 575; hacia el Este en estado seco mantiene su carácter estable, tanto durante el accidente como hasta la fecha de la inspección, que se mantiene abierta.

Estas filtraciones ocurridas en los Niveles más altos de almacenamiento de agua de la laguna Naticocha, con el carácter semipermeable del sedimento lacustrino en el techo del borde Este de la laguna, con el conjunto de fallas y fisuras del macizo rocoso entre el Nivel 575 y la superficie, hicieron que el agua discurra hasta el frente Oeste del Nivel 575, y de aquí hasta el relleno detrítico del tajeo 44E. El

relleno se humedeció gradualmente hasta alcanzar su total saturación, manifestada con las primeras filtraciones de 15 l/s observadas en el Nivel 540, al pie del tajeo 44E, el día 22.04.98 a las 8:30 horas.

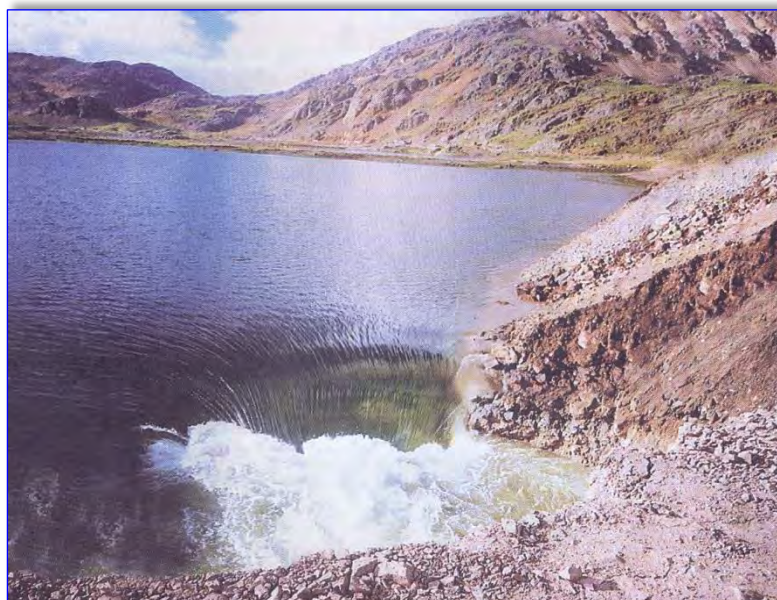
El relleno detrítico del tajeo 44E, ya saturado, había cambiado sus características, de una carga estática y estable a otra de carga dinámica y finalmente inestable iniciando un proceso de licuefacción, ejerciendo una fuerte presión sobre el maderamen de la chimenea y el camino auxiliar que baja del Nivel 575 al 540, soplando todo el material detrítico por la dinámica del agua.

El efecto de **presión de poros** inicia la **licuefacción** destruyendo el maderamen de la compuerta de clausura del tajo (sopló la compuerta), el material detrítico del relleno, el agua y lodo al discurrir hacia el pique y fluir en caída libre genera el **efecto sifón** alcanzando el puente entre el Nivel 575 y la laguna, el puente colapsa porque se encontraba totalmente saturado y al formarse un sistema de vasos comunicantes dinámico se inicia un proceso de **vórticidad** con un flujo turbulento en rotación espiral con trayectorias de corriente cerradas que horadó al macizo rocoso que ya se encontraba ablandado.

El evento conecta las labores de la mina Animón y Huarón con la laguna que comenzó a descargarse el 23.04.98 a las 6:00 horas de la mañana, es decir, 21.5 horas después de la primera filtración de agua en el Nivel 540.

Por las instalaciones de la mina se descargaron $3,5\text{Mm}^3$ de agua aproximadamente durante un periodo de 36 horas, el evento le costó la vida a seis trabajadores de la

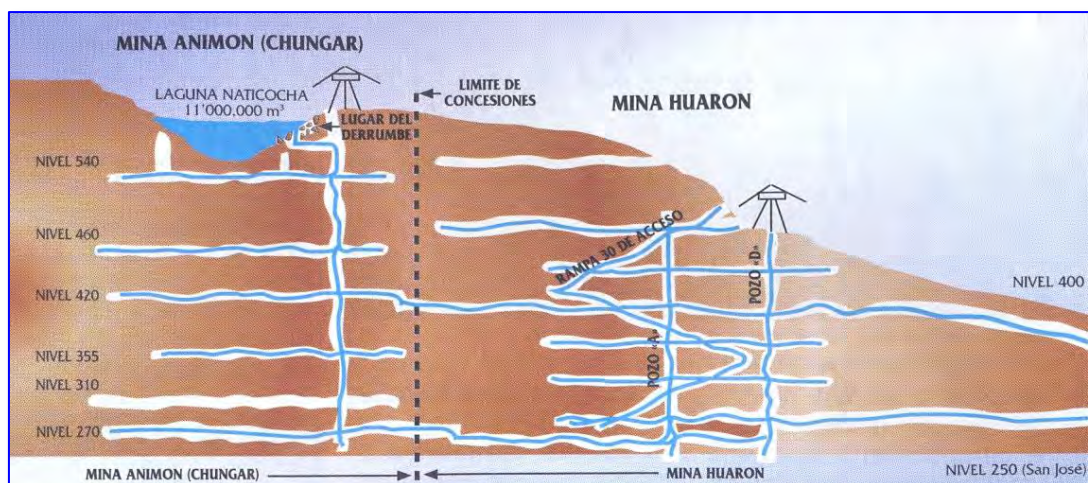
unidad minera y pérdida de equipos y maquinaria, así como la paralización de las unidades por un año



aproximadamente.

FOTO 1:
NATICOCHA
INUNDACIÓN.

LAGUNA
DURANTE LA



Fuente: Minas y Petróleo

FIGURA 16: *INUNDACIÓN DE LA MINA ANIMON Y HUARON.*

Fuente: Minas y Petróleo

CONCLUSIONES

1. Los esfuerzos sobre una masa de suelos por la presencia del agua, tiene un efecto de aumento de la presión de poros lo que hace que el agua fluya afuera de los poros a través de los vacíos circundantes.
2. En condiciones frías, cuando la temperatura de la superficie disminuye por debajo de 0° C, el agua del suelo se congelará causando un aumento de volumen que se conoce como expansión por helada, que es más o menos un 9% de incremento volumétrico. Estas presiones desarrolladas pueden ser suficientes para dislocar las superficies que se cuartean o se agrietan a causa de estos efectos y se vuelven porosas, el resultado es que el agua puede penetrar lo que causaría un deterioro a la capa interna del macizo rocoso. Además las temperaturas bajas son el ambiente propicio para la producción de CO^2 .
3. Del análisis de suelos, se establece que los horizontes de suelo ubicados en el techo de la laguna, sobre el macizo rocoso corresponden a una columna

con tipos de suelos clasificados, que conforman una regresión y transgresión con las siguientes características:

- a) 1,20 m del macizo rocoso se tiene un suelo tipo **SC**
- b) 2,20 m del macizo rocoso se tiene un suelo tipo **GP-GC**
- c) 3,20 m del macizo rocoso se tiene un suelo tipo **SC**

4. Hubo infiltración por los suelos, almacenamiento de agua en el tajeo 44E lo que saturó el macizo rocoso, provocó el lavado y posterior colapso del depósito de almacenamiento, aprovechando la diferencia de cota entre el Nivel superior y el tajeo de estudio, se puede concluir que el flujo de este volumen almacenado tuvo la fuerza suficiente para arrastrar las capas de cobertura sobre los tajeos antiguos provocando una abertura de las magnitudes que se observan en las diversas vistas y se justifica la rapidez en el desarrollo del evento.
5. El evento se puede caracterizar como una manifestación de tres mecanismos de falla:
 - a) La presión de poros desencadena la **licuefacción** del material detrítico de relleno por la presencia de agua y lodo almacenado en el Tajo 44E destruyendo la compuerta de clausura del tajo (sopló la compuerta).

- b) Al discurrir hacia el pique y fluir en caída libre genera el efecto **sifón** alcanzando a destruir el puente entre el Nivel 575 y la laguna, el puente colapsa porque se encontraba totalmente saturado.
 - c) Al formarse un sistema de vasos comunicantes dinámico se inicia un proceso de **vórticidad** con un flujo turbulento en rotación espiral con trayectorias de corriente cerradas que horadó al macizo rocoso que ya se encontraba ablandado.
6. El desarrollo de estos acontecimientos se deben al ambiente generado, en función del periodo de tiempo en que se saturó el macizo, y almacenó el agua en el tajeo 44E, el colapso no se desarrolló inmediatamente sino hubo un periodo de esfuerzo límite entre la infiltración, el ingreso de agua y el colapso.
7. Finalmente se ha determinado que el **factor de mayor significancia es el agua y su manejo**, ya que el evento se inició por el efecto que causó la presencia del agua. Si este elemento es bien manejado las posibilidades de ocurrir un siniestro similar son pocas.

RECOMENDACIONES

1. Debido a que se han advertido fisuras de deslizamiento post evento, se debe establecer un sistema de monitoreo para el control topográfico y geomecánico del terreno, esto nos permitirá registrar los asentamientos o desplazamientos de la áreas alrededor de la laguna que evidenciaran la estabilidad del macizo rocoso.

Para complementar la estabilidad del terreno se debe construir canales de coronación para controlar el drenaje en las zonas de hundimiento y evitar filtraciones al nivel subterráneo.

2. Los flujos subterráneos en el macizo rocoso pueden ocurrir a través de las discontinuidades, por lo que debe ser controlados mediante estaciones de bombeo en interior mina; con la finalidad de evaluar la calidad y volumen de las aguas y su expulsión a superficie para su disposición final, el monitoreo debe ser permanente.
3. La denudación kárstica se define como la degradación de la superficie del karst causado por procesos de disolución de la roca.

Resulta que gran parte de la capacidad de disolución de la precipitación es usado para disolver la roca presente en la zona del epikarst, especialmente en el primer medio metro y esto favorece la denudación a corto plazo; el control permitiría estimar con mayor exactitud el momento del evento de ruptura de las fisuras del sistema hidrológico que se encuentra por debajo del epikarst.

Las condiciones favorables para el desarrollo del Karts que presenta el yacimiento de la mina Animón de acuerdo a sus características geológicas, estratigráficas y tectónicas, advierte:

- a) Presencia de estratos de rocas solubles como margas y calizas de la Formación Casapalca (higroscópica). “*Columna Estratigráfica*” Figura 04, “*Columna Estratigráfica Distrito Minero*” Plano 08.
- b) La manifestación tectónica principal de la zona es el anticlinal de Huarón y el sinclinal de Quimacocha cuyos ejes y planos axiales son paralelos, que generaron fallas longitudinales al eje del anticlinal y posteriormente la gran ruptura en equis de cizalla, formando las fallas Naticocha-Llacsaccha y Cometa-Huaychao en diferentes edades, el anticlinal queda dividido en cuatro partes con presencia de minerales característicos cada zona. El conjunto de fracturas norte-sur se caracterizan por ser pre minerales concordantes con la estratificación.

El macizo rocoso se puede clasificar entre moderada a altamente fallada. Ver “*Sección Longitudinal-Anticlinal Huarón*” Plano 07.

Por debajo del nivel 130 se estima la presencia de una probable zona de Skarn en el contacto entre la caliza (Pucará) y el intrusivo monzonítico "*Modelo Genético del Distrito Minero-Animon*" Plano 08.

- c) La precipitación en la cuenca de la Laguna Natiocha es de 1250mm/año, aguas que podrían aprovechar las diferentes fallas y fracturas para infiltrarse hacia el interior del macizo rocoso.

Adicionalmente, se advierte la presencia de aguas termales en el Nivel 310 con un caudal de 15 l/s ($54\text{m}^3/\text{h}$) que es bombeada al Nv 420 y luego expulsado a superficie.

Lo anteriormente señalado, obliga a considerar la necesidad de establecer medidas de contingencia ante la posibilidad de un proceso kárstico, mediante el control de la calidad de las aguas termales y/o corrientes de agua subterránea, además del control estructural de las aberturas de la unidad minera.

BIBLIOGRAFIA

- ∴ **Castagny, G.** (1975); *“Prospección y Exploración de las Aguas Subterráneas”*; 738 pág. Ed. Omega, S.A. Barcelona.
- ∴ **Chereque, W.**, *“Hidrología”*; Pontificia Universidad Católica del Perú, Imprenta Editorial Lugo, Lima-Perú; 226 p.
- ∴ **Dreybrodt W. y Kaufmann G.**(2007) *“Physics and Chemistry of dissolution on subaerially exposed soluble rocks by flowing water films”*
- ∴ **Dussart, B.**, *“Limnologie”* Paris 1966
- ∴ **Given, R.K. y Wilkinson, B.H.** 1985. *“Kinetic control of morphology, composition and mineralogy of abiotic sedimentary carbonates.”* Journal of Sedimentary Petrology , 55, 109-119.
- ∴ **Gregory, K.J. and Walling, D. E.**; (1973), *“Drainage Basin. Form and Process. A Geomorphological Approach”*. Kent, Arnold.
- ∴ **Hustrulid, W.** (1982) *“Underground Mining Methods Handbook”*; Society for Mining Engineers, The American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers, Inc. New York, New York -1982.

- ∴ **Kennedy, B.** (1990) *“Surface Mining”*, 2nd edition, Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. Littleton, Colorado-1990.
- ∴ **Lambe, W. & Whitman, R** (1996), *“Mecánica de Suelos”*, Instituto Tecnológico de Massachusetts, Editorial Limusa S.A. de C.V. Grupo Noriega editores, México, D.F: 584p.
- ∴ **Leopold, L.B.; Wolman, M.G. and Miller, J.P.**(1964), *“Fluvial Processes In Hydrology”*, San Francisco, Freeman.
- ∴ **Lopez, F. & Blanco, M.** (1968) *“Aspectos Cuantitativos y Cualitativos de la Erosión Hídrica y Transporte y Depósito de Materiales”*; Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingeniería en Montes.
- ∴ **Suarez, J.** (1998), *“Deslizamientos y Estabilidad de taludes en Zonas Tropicales”*, Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga – Colombia.
- ∴ **Ven Te C.; Maidment, D, Mays, L.** (1994), *“Hidrología aplicada”*, Bogotá, McGraw-Hill Interamerican.1994.
- ∴ **Whitlow, R,** (1994) *“Fundamentos de Mecánica de Suelos”* 2da. México, Compañía Editorial Continental S.A. de C.V: 590p.
- ∴ *“Colapso Borde Este de la Laguna Naticocha Examen Geomecánico”*, David Cordova Rojas; Mayo 1998.
- ∴ *“Estudio de Evaluación Ambiental del drenado de la Laguna Naticocha”* SRK (Sudamérica) S.A, Julio 1998.
- ∴ *“Evaluación de la Causa del Ingreso de Agua a la Mina Animon”*, 23 de Abril de 1998.
- ∴ Informe de Avance con fecha 29 de Junio de 1998, SRK (Sudamérica) S.A.
- ∴ Informes y Planos Internos de la Mina Animon (E.A. Chungar S.A.)

- ∴ Comunicación Verbal Ingeniero Felix Arias, Ingeniero Fredy Lozano.
- ∴ Declaración Jurada de Avance la Mina Animón, diversos años.

ANEXOS

ANEXO I

INFORMACIÓN FOTOGRAFICA

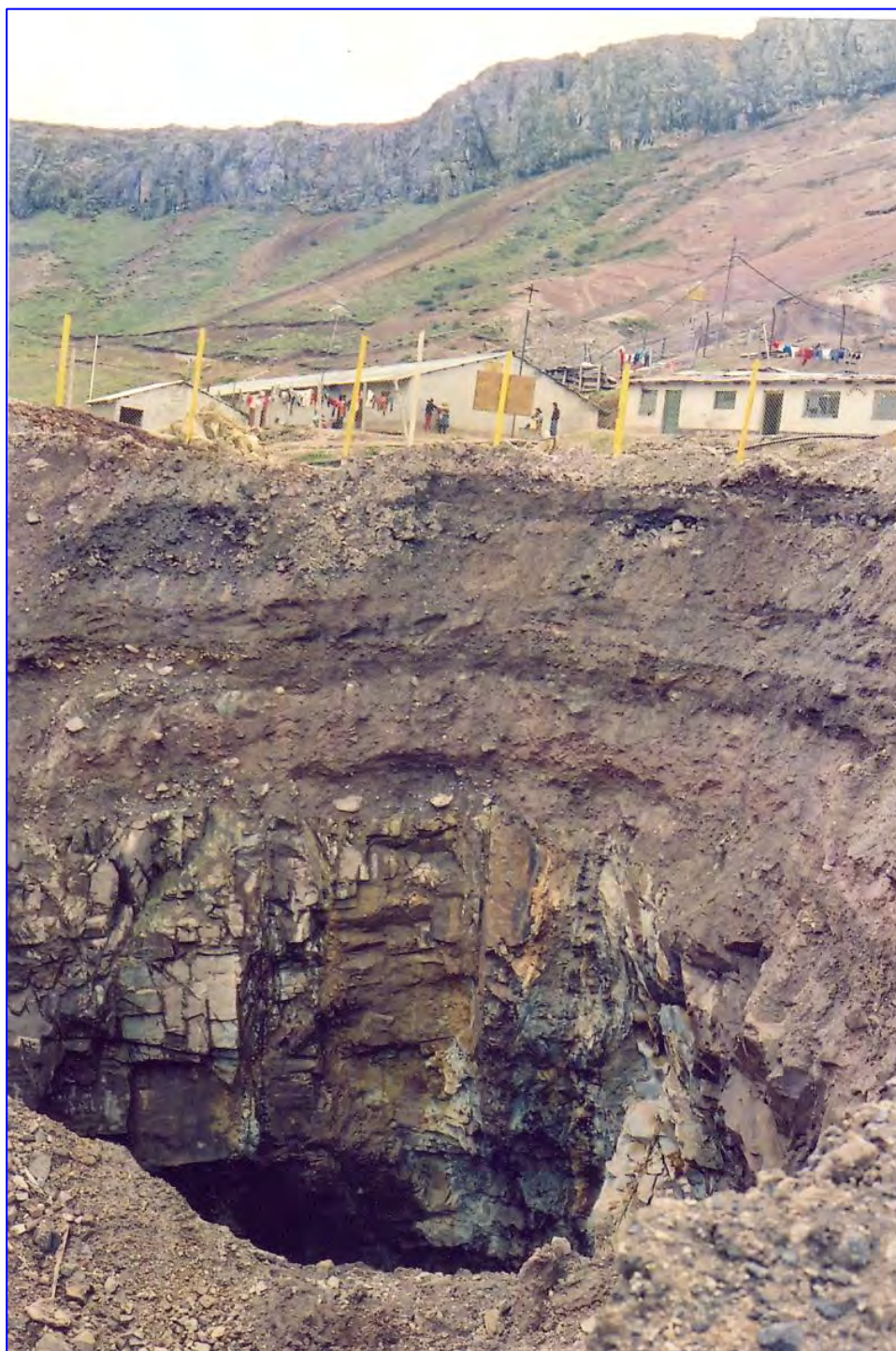


FOTO 01: Vista del forado después del colapso de la Laguna Naticocha, se observan los horizontes de materiales que sirven de capa protectora al substratum rocoso



FOTO 02: Vista de la pared del forado mirando Este Oeste, nótese los horizontes que sobreyacen al macizo rocoso. En la parte superior se observa el Glory Hole más próximo al pique Montenegro. Notese los vórtices generados por la turbulencia del agua.



características impermeables.

FOTO 04: Veta Nor Este, descubierta por el forado obsérvese el diaclasamiento y



fracturamiento de las capas carbonatadas.

FOTO 05: Hundimiento de Glory Hole de mayor dimensión (100m de diámetro),
Emplazado cerca de la Planta Concentradora



FOTO 06: Hundimiento del primer Glory Hole, sobre la veta Principal, Próximo al pique Montenegro, mecanismo posterior al evento.



FOTO 07: Vista panorámica de la laguna después del evento, se desalojó 3,5 Mm³ de agua, nótese los suelos lacustrinos ubicados en el techo de la laguna.



FOTO 08: Vista al Sur Oeste del Reservorio de Agua Potable, se pudo observar el Dique que regula el drenaje de la laguna Huaroncocha a Naticochoa.



FOTO 09: Vista Panorámica de la Laguna Llacsacocha, laguna que recibe las aguas de Naticocha.



FOTO 10: Extremo norte de la Laguna Naticocha mostrando en sus orillas, superficies sujetas a oscilaciones que tiene el Nivel del agua,



FOTO 11: Vista panorámica del dique que regula el drenaje de la laguna Huaroncocha a Naticocha.



FOTO 12: Vista Laguna Llacsacocha, mostrando el dique y sistema de bombeo entre las lagunas.



FOTO 13: Vista de las paredes de la galería del Nivel 575, se observa las juntas y diaclasas lavadas por la acción del agua.



FOTO 14: Vista del buzón del tajo 44E desde el Nivel 575, obsérvese que se encuentra totalmente saturado, a pesar de haber pasado un año.

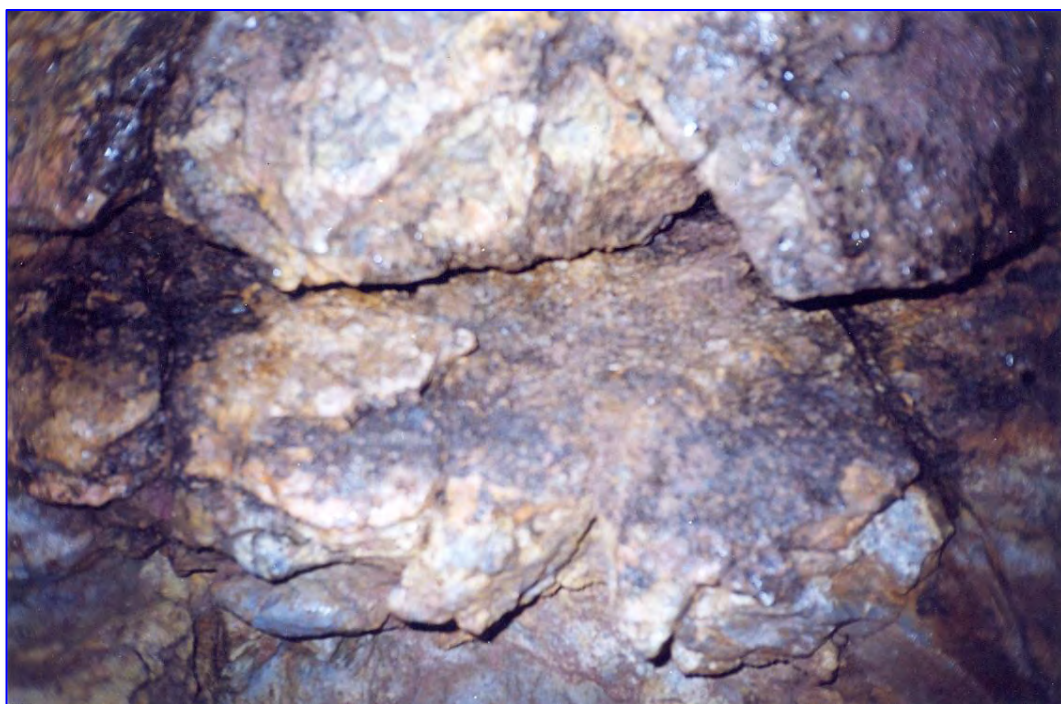


FOTO 15: Material detrítico arrastrado por las aguas de la laguna Naticocha, durante su recorrido por las galerías por donde irrumpió violentamente.



FOTO 16: Galerías parcialmente tapadas por material detrítico.

ANEXO II: REPORTE DE PRECIPITACION

1. SENAMHI ESTACION CERRO DE PASCO
2. ESTACION RIO PALLANGA
3. MARCAPOMACOCHA

SENAMHI
Oficina General de Estadística e Informática



SENAMHI

OFICINA GENERAL DE ESTADISTICA E INFORMATICA

ESTACION : CERRO DE PASCO

LAT. : 10° 45' "S"

DPTO. : PASCO

PARAMETRO : PRECIPITACION TOTAL
DIARIA (mm)

LONG. : 78° 10' "W"

PROV. : PASCO

ALT. : 4400 msnm

DIST. : C. DE PASCO

AÑO: 1998

DIA	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
1	0,5	2,1	5,8	2,2	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,7	0,0
2	1,6	0,8	0,5	7,1	0,3	1,9	0,0	0,0	0,0	4,5	0,6	0,0
3	1,8	2,4	13,7	4,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	1,0	0,0
4	2,0	10,0	0,2	0,2	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,3	4,2
5	0,3	9,3	T	6,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	0,2
6	2,2	15,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	1,7	0,5
7	9,9	15,7	2,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9	T	4,5
8	10,8	9,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	4,9	5,4	0,0	9,2
9	1,1	11,9	7,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,7	9,7	2,6	1,7
10	0,2	2,3	2,4	7,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0	3,7	5,1
11	1,8	10,1	13,0	10,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,0	3,9	9,6
12	0,2	1,2	5,5	1,0	2,9	0,0	0,0	0,0	0,0	14,0	1,2	3,6
13	12,1	10,0	10,4	8,4	1,5	5,5	0,0	0,0	0,0	4,0	4,6	4,9
14	0,0	2,6	7,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,8	2,5	13,2	4,2
15	1,3	0,3	10,1	0,0	5,2	0,0	0,0	0,0	0,0	2,3	14,4	2,0
16	0,0	1,7	1,7	3,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0	15,8	0,4
17	0,0	10,6	10,4	18,5	0,0	0,0	0,0	0,0	5,7	0,8	3,2	0,0
18	0,0	21,6	0,8	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	1,0	9,2	0,0
19	0,0	5,5	2,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,2	2,2	5,4	1,6
20	T	0,0	T	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	0,3	4,6	0,0
21	9,1	11,5	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0	6,7	0,0	0,0
22	7,4	7,6	0,0	0,0	0,0	1,4	0,0	0,0	0,0	10,2	3,9	0,0
23	0,4	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,8	0,0	1,5
24	8,4	4,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0	4,0
25	4,2	4,6	2,4	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0	11,5	0,0	0,0
26	0,8	9,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	2,0
27	2,2	2,2	8,8	2,3	0,0	0,0	0,0	0,0	3,4	0,0	0,0	1,5
28	2,4	30,5	0,0	0,0	2,6	0,0	0,0	0,0	0,0	2,2	6,5	0,0
29	2,3		3,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	1,7	0,2	0,0
30	3,8		2,3	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	19,7	0,0	2,0
31	6,7		1,5		1,4		0,0	0,0		3,4		6,3

S/D = Sin Dato
T = Trazas.

SLUMP-LEY Nº 23560

INFORMACION PREPARADA PARA EMPRESA ADMINISTRADORA CHUNGAR
LIMA, 29 DE MARZO DE 1999

**PROHIBIDA SU REPRODUCCION
PARCIAL O TOTAL**

PRECIPITACION TOTAL MENSUAL (mm)
ESTACION : RIO PALLANGA

Latitud 11° 09'
Longitud 76° 27'
Elevación 4700 m.s.n.m

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1969	81.9	157.9		147.9	26.4	19.9	9.7	46.4	71	113.4	85.9		760.4
1970	198.8	129.2	139.2	178.1	50.6	24.9	14.4	13.7	98	96	47.4	155.6	1145.9
1971	116.2	201.9	319.3	119.4		8.5	6.3	7.5	11.2	113.8	52.9	232.1	1191.1
1972	157.4	241.1	403.6	128.8	24.1	21.8	37.8	25.2	91.2	47.3	34.5	81	1293.8
1973	218.3	161.4	166.7	113.2	27.6	48	27.4	35.5	18.3	20	90.1	197	1123.5
1974	331.4	406.9	187.2	129.9	11.1	9.8	14.8	101.1	107.1	154.3	20	145.8	1621.4
1975	428	283.6	488.8	74.9	136.8	22.8	45.8	26.3	201.8	94.1	41.2	235.6	2002.7
1976	255.8	333.9	362	53.1	72.2	72.2	7.6	379	38.2	29.5	82.3	106.8	1792.6
1977	118	231.1	229.6	140.1	58.1	5.2	26.3	8.8	28.8	56.1	262.6	294.2	1458.9
1978	83.8	113.7	302	32.3	10.8	10.3	20.8	10	167.2	44.6	237.3	165.6	1198.4
1979	22.3	273.6	324.7	107.7	16.8	6.8	11.6	6.2	31.3	27.1	26.4	64.7	919.2
1980	99.7	84.2	278.7			5.2	23	37.6	142.3	182.2	116.5	40.8	944.4
1981									72.3	161.5	204.6	240.1	744.3
Promedio	176.13	218.21	291.07	111.40	43.45	21.28	20.46	58.11	83.11	87.68	100.36	163.28	1252.05
Máximo	428.00	406.90	488.80	178.10	136.80	72.20	45.80	379.00	201.80	182.20	262.60	294.20	2082.70
Mínimo	22.30	84.20	139.20	32.30	10.80	5.20	6.30	6.20	11.20	20.00	20.00	40.80	744.30
Desv. St	117.18	95.80	105.87	42.80	38.80	20.15	12.29	104.43	59.53	55.07	82.32	79.31	398.17
Nº de Datos	12	12	11	11	10	12	12	12	13	13	13	12	13

ANEXO III: INFORMES CISMID

1. INFORME LG99-038
2. INFORME LG99-084
3. INFORME LG99-045



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
 CENTRO PERUANO JAPONES DE INVESTIGACIONES
 SISMICAS Y MITIGACION DE DESASTRES
 LABORATORIO GEOTECNICO



INFORME N° : LG99-038
 SOLICITADO : EMPRESA ADMINISTRADORA CHUNGAR.
 PROYECTO : Estudio de Colapso de la Laguna Naticocha
 LUGAR : Mina Animon - Chungar - Huayllay
 FECHA : Marzo, 1999

IDENTIFICACION DE LA MUESTRA

Muestra : Material que descansa sobre la roca madre del lugar de colapso,
 borde este de la Laguna Naticocha

ENSAYO DE PESO VOLUMETRICO (Método de desplazamiento ASTM - D2937)

Humedad (ω) : 7.71 %
 Peso Volumétrico (γ_w) : 2.252 g/cm³

ENSAYO DE PERMEABILIDAD CARGA CONSTANTE (Pared Flexible ASTM-D5084)

Estado : Remoldeado al Peso Volumétrico
 Contrapresión : 3.14 Kg/cm²
 Gradiente : 10
 Carga : 0.14 Kg/cm²
 Densidad Seca (γ_d) : 2.09 g/cm³
 Humedad inicial (ω_o) : 7.71 %
 Grado de Saturación : 98 %
 Humedad final (ω_f) : 14.3 %
 $K_{120^\circ C}$: 4.4 x 10⁻⁶ cm/s

OBSERVACIONES : Peso Volumétrico determinado a la matriz de la muestra (Material
 menor que el tamiz N° 3/8")

La muestra ha sido proporcionado por el solicitante

David Luga Durán
 DAVID LUGA DURÁN
 INGENIERO
 LAB. GEOTECNICO





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

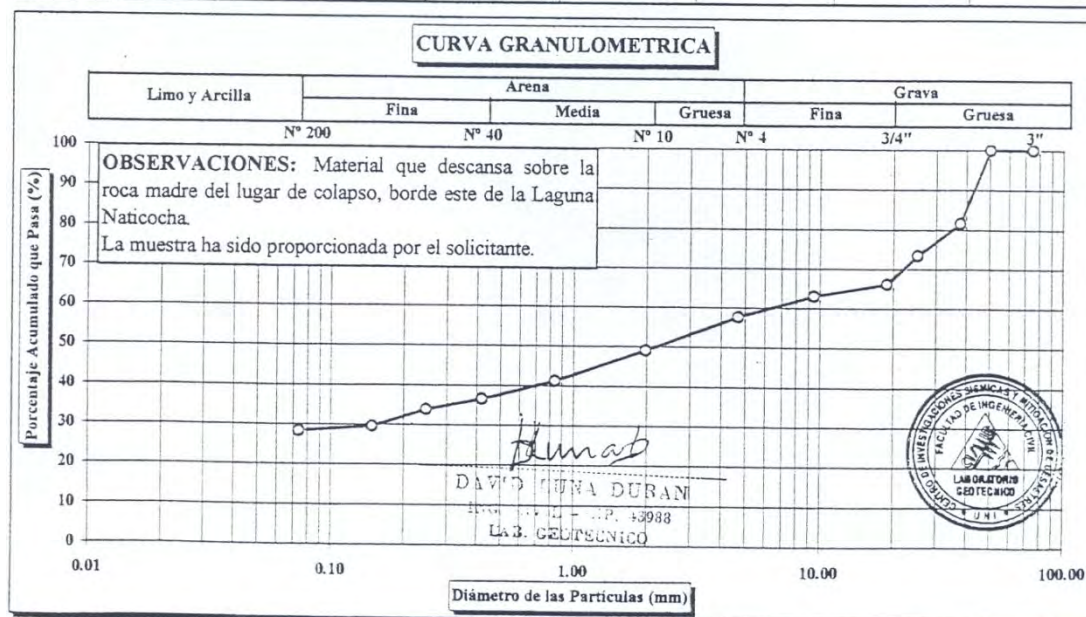
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
CENTRO PERUANO JAPONES DE INVESTIGACIONES
SISMICAS Y MITIGACION DE DESASTRES
LABORATORIO GEOTECNICO



ENSAYOS ESTANDAR DE CLASIFICACION (ASTM D422 - D2216 - D854 - D4318 - D427 - D2487)

INFORME : LG99-038
SOLICITANTE : EMPRESA ADMINISTRADORA CHUNGAR
PROYECTO : Estudio de Colapso de la Laguna Naticocha
UBICACION : Mina Animón - Chungar - Huayllay
FECHA : Marzo, 1999

Sondaje	---			
Muestra	---			
Profundidad (m)	---			
ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO	PORCENTAJE ACUMULADO QUE PASA (%)	3 "	76.200	100.00
		2 "	50.800	100.00
		1 1/2 "	38.100	81.63
		1 "	25.400	73.42
		3/4 "	19.050	66.20
		3/8 "	9.525	63.00
		N° 004	4.750	57.68
		N° 010	2.000	49.10
		N° 020	0.850	41.18
		N° 040	0.425	36.67
		N° 060	0.250	33.92
		N° 140	0.150	29.55
N° 200	0.075	28.31		
Contenido de Humedad	(%)	7.71		
Límite Líquido (LL)	(%)	27.55		
Límite Plástico (LP)	(%)	12.41		
Índice Plástico (IP)	(%)	15.14		
Límite de Contracción (LC)	(%)	-		
Clasificación (S.U.C.S.)		GC		





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

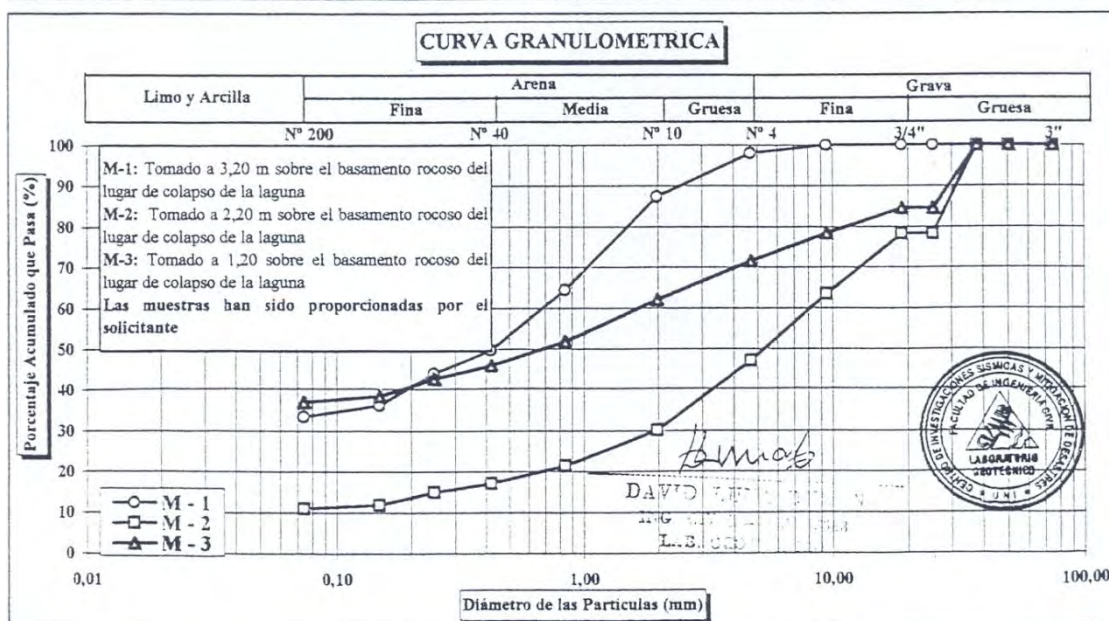
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
CENTRO PERUANO JAPONES DE INVESTIGACIONES
SISMICAS Y MITIGACION DE DESASTRES
LABORATORIO GEOTECNICO



ENSAYOS ESTANDAR DE CLASIFICACION (ASTM D2216 - D421 - D4318 - D427 - D2487)

INFORME : LG99-045
SOLICITANTE : EMPRESA ADMINISTRADORA CHUNGAR
PROYECTO : Estudio del colapso de la Laguna Naticocha
UBICACION : Mina Animon - Chungar - Huayllay
FECHA : Marzo, 1999

Sondaje		---	---	---		
Muestra		M - 1	M - 2	M - 3		
Profundidad		---	---	---		
ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO	PORCENTAJE ACUMULADO QUE PASA (%)	3 "	76,200	100,00	100,00	
		2 "	50,800	100,00	100,00	
		1 1/2 "	38,100	100,00	100,00	
		1 "	25,400	100,00	78,31	84,59
		3/4 "	19,050	100,00	78,31	84,59
		3/8 "	9,525	100,00	63,48	78,47
		Nº 004	4,750	98,03	47,12	71,52
		Nº 010	2,000	87,33	30,11	61,93
		Nº 020	0,850	64,48	21,31	51,75
		Nº 040	0,425	49,82	17,07	45,92
		Nº 060	0,250	44,02	14,96	42,78
		Nº 140	0,150	36,21	11,88	38,46
Nº 200	0,075	33,48	11,01	37,07		
Contenido de Humedad	(%)	23,17	9,79	4,47		
Límite Líquido (LL)	(%)	36,09	29,69	29,51		
Límite Plástico (LP)	(%)	21,22	15,01	12,89		
Índice Plástico (IP)	(%)	14,86	14,68	16,63		
Límite de Contracción (LC)	(%)	-	-	-		
Clasificación (S.U.C.S.)		SC	GP - GC	SC		





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

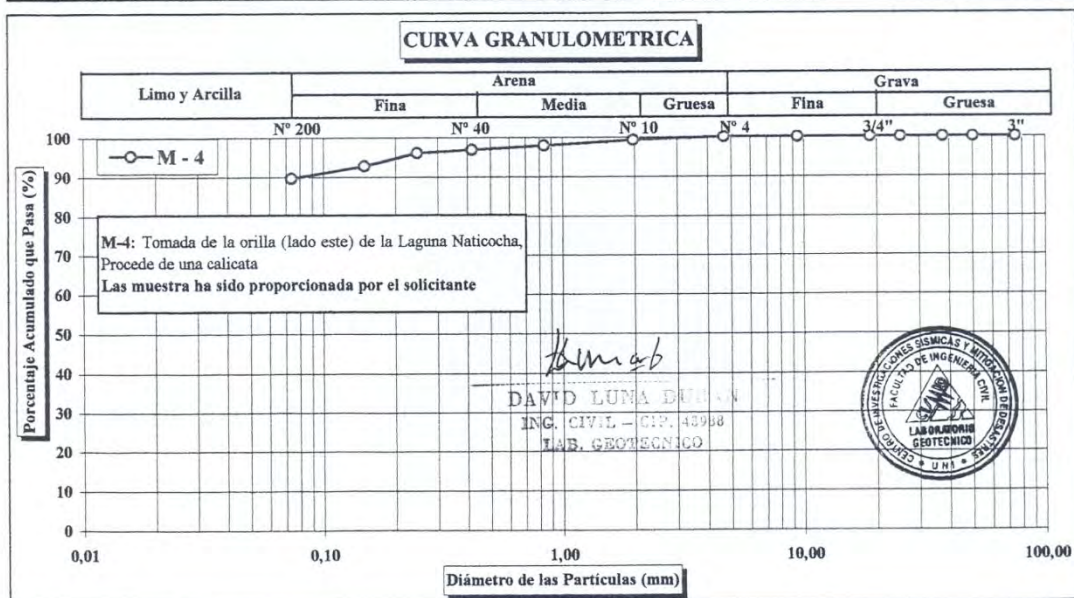
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
CENTRO PERUANO JAPONES DE INVESTIGACIONES
SISMICAS Y MITIGACION DE DESASTRES
LABORATORIO GEOTECNICO



ENSAYOS ESTANDAR DE CLASIFICACION (ASTM D2216 - D421 - D4318 - D427 - D2487)

INFORME : LG99-045
SOLICITANTE : EMPRESA ADMINISTRADORA CHUNGAR
PROYECTO : Estudio del colapso de la Laguna Naticocha
UBICACION : Mina Animon - Chungar - Huayllay
FECHA : Marzo, 1999

Sondaje		---		
Muestra		M - 4		
Profundidad		---		
ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO	PORCENTAJE ACUMULADO QUE PASA (%)	3 "	76,200	100,00
		2 "	50,800	100,00
		1 1/2 "	38,100	100,00
		1 "	25,400	100,00
		3/4 "	19,050	100,00
		3/8 "	9,525	100,00
		Nº 004	4,750	100,00
		Nº 010	2,000	99,24
		Nº 020	0,850	97,84
		Nº 040	0,425	96,88
		Nº 060	0,250	96,09
		Nº 140	0,150	92,77
Nº 200	0,075	89,60		
Contenido de Humedad (%)		51,09		
Límite Líquido (LL) (%)		58,28		
Límite Plástico (LP) (%)		41,16		
Índice Plástico (IP) (%)		17,12		
Límite de Contracción (LC) (%)		-		
Clasificación (S.U.C.S.)		MH		





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
 CENTRO PERUANO JAPONES DE INVESTIGACIONES
 SISMICAS Y MITIGACION DE DESASTRES
 LABORATORIO GEOTECNICO



ENSAYO DE PERMEABILIDAD CARGA CONSTANTE (Pared Flexible ASTM-D5084)

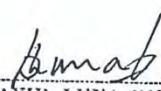
INFORME N° : LG99-084
 SOLICITADO : EMPRESA ADMINISTRADORA CHUGAR.
 PROYECTO : Laguna Naticocha
 LUGAR : Mina Aminon
 FECHA : Mayo, 1999

IDENTIFICACION DE LA MUESTRA

Sondaje : Cubo
 Muestra : M - 3
 Profundidad (m) : ---
 Clasificación (SUCS) : ML

ENSAYO DE PERMEABILIDAD CARGA CONSTANTE

Estado : Inalterado
 Presión de Celda : 2.60 Kg/cm²
 Contrapresión : 2.40 Kg/cm²
 Gradiente : 10
 Carga : 0.12 Kg/cm²
 Densidad Seca (γ_d) : 1.028 g/cm³
 Humedad inicial (ω_o) : 59.8 %
 Parámetro "B" : 96 %
 Humedad final (ω_f) : 56.3 %
 $K_{T20^{\circ}C}$: 6.5×10^{-7} cm/s


 DAVID LUNA DURAN
 ING. CIVIL - CIP. 43988
 LAB. GEOTECNICO





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

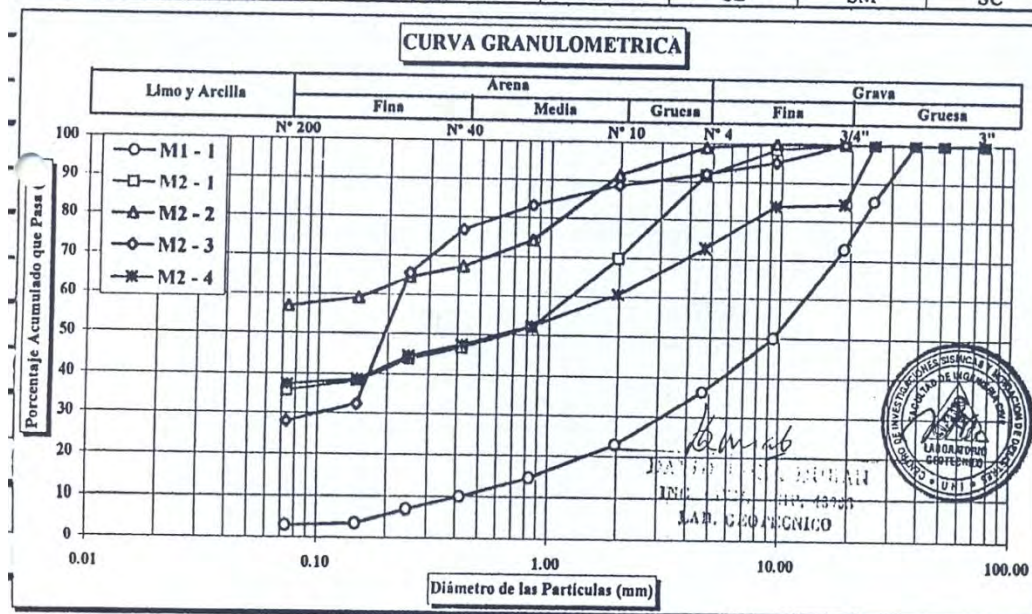
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
CENTRO PERUANO JAPONES DE INVESTIGACIONES
SISMICAS Y MITIGACION DE DESASTRES
LABORATORIO GEOTECNICO



ENSAYOS ESTANDAR DE CLASIFICACION (ASTM D2216 - D421 - D4318 - D427 - D2487)

INFORME : LG99-084
SOLICITANTE : EMPRESA ADMINISTRADORA CHUNGAR
PROYECTO : Laguna Naticocha
UBICACION : Mina Animón
FECHA : Mayo, 1999

Sondaje		---	---	---	---	---	
Muestra		M1 - 1	M2 - 1	M2 - 2	M2 - 3	M2 - 4	
Profundidad (m)		---	---	---	---	---	
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO	PORCENTAJE ACUMULADO QUE PASA (%)	3"	76.200	100.00	100.00	100.00	100.00
		2"	50.800	100.00	100.00	100.00	100.00
		1 1/2"	38.100	100.00	100.00	100.00	100.00
		1"	25.400	85.12	100.00	100.00	100.00
		3/4"	19.050	72.79	100.00	100.00	100.00
		3/8"	9.525	49.93	98.49	100.00	95.05
		N° 004	4.750	36.12	91.68	98.91	91.98
		N° 010	2.000	22.83	69.71	91.39	88.65
		N° 020	0.850	14.67	52.03	74.27	83.25
		N° 040	0.425	10.01	46.62	67.38	76.66
		N° 060	0.250	6.89	43.75	64.56	65.64
N° 140	0.150	3.48	38.16	59.01	32.37		
N° 200	0.075	2.93	35.45	56.78	27.98		
Contenido de Humedad (%)		7.50	23.41	46.59	33.75	12.90	
Límite Líquido (LL) (%)		23.60	40.88	43.72	25.09	28.82	
Límite Plástico (LP) (%)		NP	NP	25.29	NP	11.83	
Índice Plástico (IP) (%)		NP	NP	18.43	NP	16.99	
Límite de Contracción (LC) (%)		-	-	-	-	-	
Clasificación (S.U.C.S.)		GW	SM	CL	SM	SC	





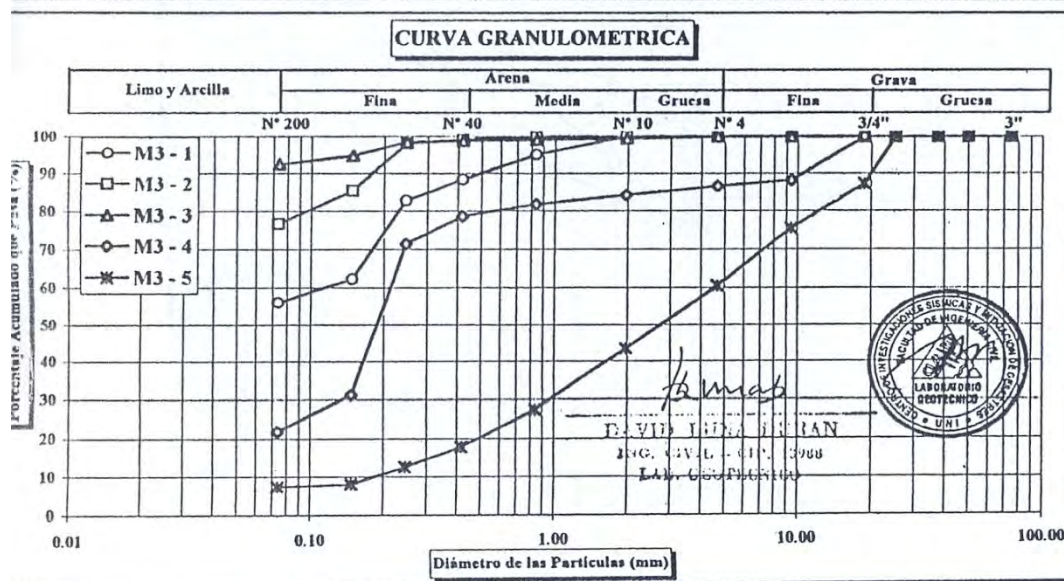
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
 CENTRO PERUANO JAPONES DE INVESTIGACIONES
 SISMICAS Y MITIGACION DE DESASTRES
 LABORATORIO GEOTECNICO



ENSAYOS ESTANDAR DE CLASIFICACION
 (ASTM D2216 - D421 - D4318 - D427 - D2487)

INFORME : LG99-084
 SOLICITANTE : EMPRESA ADMINISTRADORA CHUNGAR
 PROYECTO : Laguna Naticocha
 UBICACION : Mina Animón
 FECHA : Mayo, 1999

Muestreo		---	---	---	---	---
Muestra		M3 - 1	M3 - 2	M3 - 3	M3 - 4	M3 - 5
Profundidad (m)		---	---	---	---	---
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO	3"	76.200	100.00	100.00	100.00	100.00
	2"	50.800	100.00	100.00	100.00	100.00
	1 1/2"	38.100	100.00	100.00	100.00	100.00
	1"	25.400	100.00	100.00	100.00	100.00
	3/4"	19.050	100.00	100.00	100.00	87.28
	3/8"	9.525	100.00	100.00	100.00	88.18
	N° 004	4.750	100.00	100.00	100.00	86.58
	N° 010	2.000	100.00	100.00	99.46	84.21
	N° 020	0.850	95.07	100.00	99.14	81.83
	N° 040	0.425	88.39	99.22	98.90	78.67
	N° 060	0.250	82.87	98.14	98.52	71.51
	N° 140	0.150	62.33	85.43	94.82	31.25
N° 200	0.075	56.14	76.83	92.46	21.86	
Contenido de Humedad (%)		39.37	72.39	47.84	20.83	9.61
Límite Líquido (LL) (%)		24.68	36.08	42.20	21.69	20.14
Límite Plástico (LP) (%)		NP	NP	20.61	NP	10.71
Índice Plástico (IP) (%)		NP	NP	21.60	NP	9.43
Límite de Contracción (LC) (%)		-	-	-	-	-
Clasificación (S.U.C.S.)		ML	ML	CL	SM	SW - SC





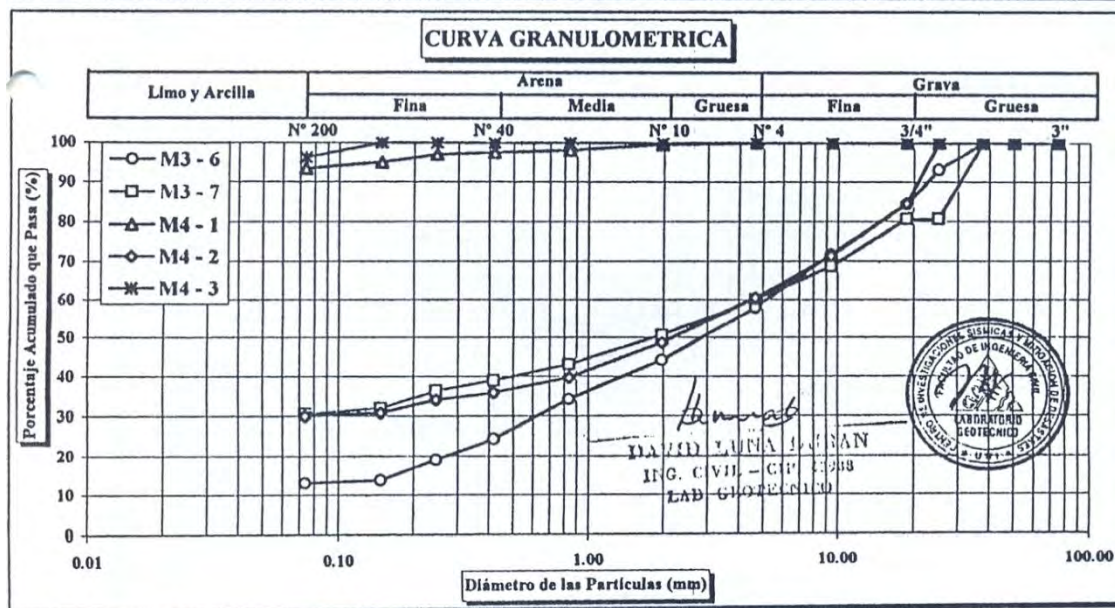
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
 CENTRO PERUANO JAPONES DE INVESTIGACIONES
 SISMICAS Y MITIGACION DE DESASTRES
 LABORATORIO GEOTECNICO



ENSAYOS ESTANDAR DE CLASIFICACION
 (ASTM D2216 - D421 - D4318 - D427 - D2487)

INFORME : LG99-084
 SOLICITANTE : EMPRESA ADMINISTRADORA CHUNGAR
 PROYECTO : Laguna Naticocha
 UBICACION : Mina Animón
 FECHA : Mayo, 1999

Sondaje		---	---	---	---	---	
Muestra		M3 - 6	M3 - 7	M4 - 1	M4 - 2	M4 - 3	
Profundidad (m)		---	---	---	---	---	
ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO	PORCENTAJE ACUMULADO QUE PASA (%)	3 "	76.200	100.00	100.00	100.00	100.00
		2 "	50.800	100.00	100.00	100.00	100.00
		1 1/2 "	38.100	100.00	100.00	100.00	100.00
		1 "	25.400	93.12	80.73	100.00	100.00
		3/4 "	19.050	84.45	80.73	100.00	84.63
		3/8 "	9.525	71.78	68.59	100.00	71.35
		Nº 004	4.750	58.00	60.07	100.00	60.54
		Nº 010	2.000	44.03	50.64	99.53	48.61
		Nº 020	0.850	34.30	43.10	98.13	39.70
		Nº 040	0.425	24.42	38.98	97.54	36.02
		Nº 060	0.250	19.08	36.39	97.02	34.14
Nº 140	0.150	13.75	32.05	94.91	31.00		
Nº 200	0.075	13.06	30.77	93.39	30.02		
Contenido de Humedad (%)		10.76	8.24	170.47	27.67	183.03	
Límite Líquido (LL) (%)		24.63	28.98	75.02	42.71	NP	
Límite Plástico (LP) (%)		10.73	13.87	NP	22.65	NP	
Índice Plástico (IP) (%)		13.90	15.11	NP	20.06	NP	
Límite de Contracción (LC) (%)		-	-	-	-	-	
Clasificación (S.U.C.S.)		SC	GC	OH	GC	PT	





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

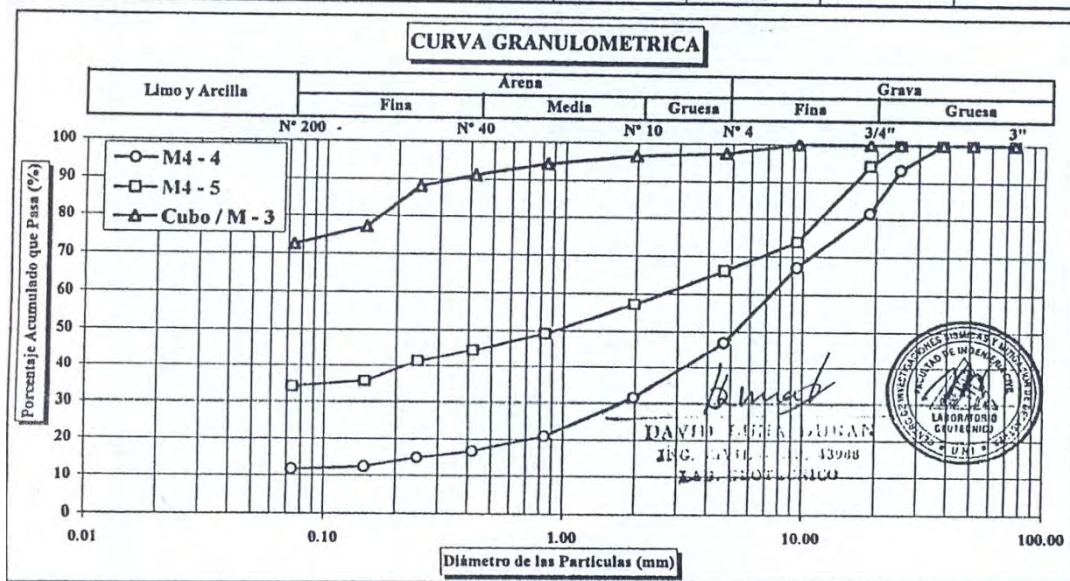
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
CENTRO PERUANO JAPONES DE INVESTIGACIONES
SISMICAS Y MITIGACION DE DESASTRES
LABORATORIO GEOTECNICO



ENSAYOS ESTANDAR DE CLASIFICACION (ASTM D2216 - D421 - D4318 - D427 - D2487)

INFORME : LG99-084
SOLICITANTE : EMPRESA ADMINISTRADORA CHUNGAR
PROYECTO : Laguna Naticocha
UBICACION : Mina Animón
FECHA : Mayo, 1999

Sondaje		---	---	Cubo	
Muestra		M4 - 4	M4 - 5	M - 3	
Profundidad (m)		---	---	---	
ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO	PORCENTAJE ACUMULADO QUE PASA (%)	3"	76.200	100.00	100.00
		2"	50.800	100.00	100.00
		1 1/2"	38.100	100.00	100.00
		1"	25.400	93.20	100.00
		3/4"	19.050	81.63	94.25
		3/8"	9.525	67.13	73.84
		N° 004	4.750	46.96	66.11
		N° 010	2.000	31.44	57.17
		N° 020	0.850	20.84	49.14
		N° 040	0.425	16.74	44.52
		N° 060	0.250	14.89	41.42
		N° 140	0.150	12.40	35.63
N° 200	0.075	11.74	34.05		
Contenido de Humedad (%)		9.30	9.86	51.74	
Límite Líquido (LL) (%)		23.22	26.88	32.52	
Límite Plástico (LP) (%)		10.87	12.29	NP	
Índice Plástico (IP) (%)		12.35	14.59	NP	
Límite de Contracción (LC) (%)		-	-	-	
Clasificación (S.U.C.S.)		GP - GC	GC	ML	





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

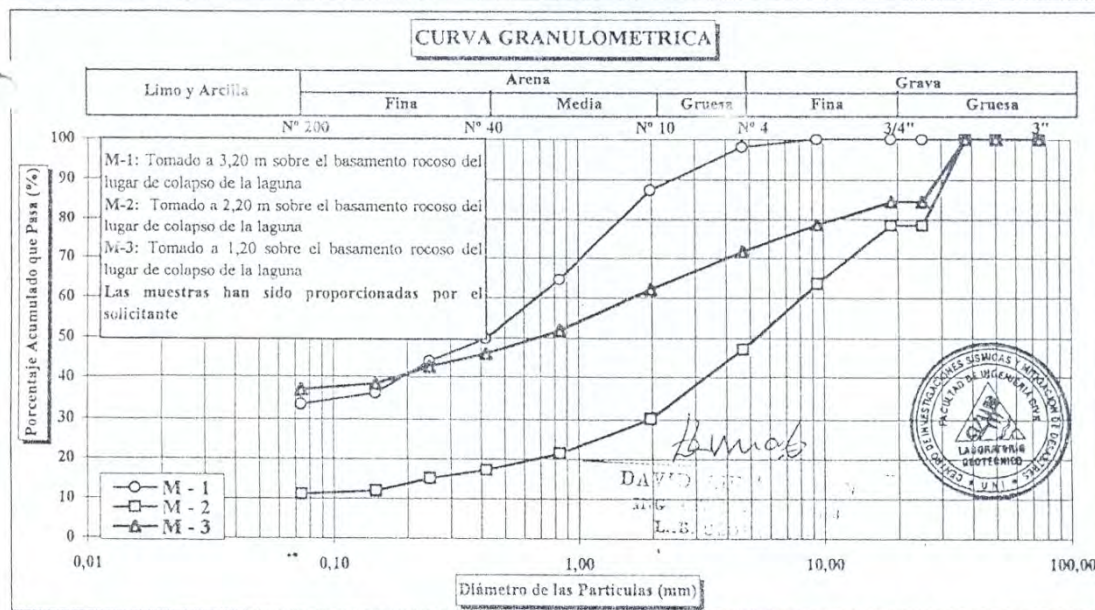
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
CENTRO PERUANO JAPONES DE INVESTIGACIONES
SISMICAS Y MITIGACION DE DESASTRES
LABORATORIO GEOTECNICO



ENSAYOS ESTANDAR DE CLASIFICACION (ASTM D2216 - D421 - D4318 - D427 - D2487)

INFORME : LG99-045
SOLICITANTE : EMPRESA ADMINISTRADORA CHUNGAR
PROYECTO : Estudio del colapso de la Laguna Naticocha
UBICACION : Mina Animon - Chungar - Huayllay
FECHA : Marzo, 1999

Sondaje		---	---	---		
Muestra		M - 1	M - 2	M - 3		
Profundidad		---	---	---		
ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO	PORCENTAJE ACUMULADO QUE PASA (%)	3 "	76,200	100,00	100,00	100,00
		2 "	50,800	100,00	100,00	100,00
		1 1/2 "	38,100	100,00	100,00	100,00
		1 "	25,400	100,00	78,31	84,59
		3/4 "	19,050	100,00	78,31	84,59
		3/8 "	9,525	100,00	63,48	78,47
		Nº 004	4,750	98,03	47,12	71,52
		Nº 010	2,000	87,33	30,11	61,93
		Nº 020	0,850	64,48	21,31	51,75
		Nº 040	0,425	49,82	17,07	45,92
		Nº 060	0,250	44,02	14,96	42,78
		Nº 140	0,150	36,21	11,88	38,46
		Nº 200	0,075	33,48	11,01	37,07
Contenido de Humedad (%)		23,17	9,79	4,47		
Límite Líquido (LL) (%)		36,09	29,69	29,51		
Límite Plástico (LP) (%)		21,22	15,01	12,89		
Índice Plástico (IP) (%)		14,86	14,68	16,63		
Límite de Contracción (LC) (%)		-	-	-		
Clasificación (S.U.C.S.)		SC	GP - GC	SC		





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

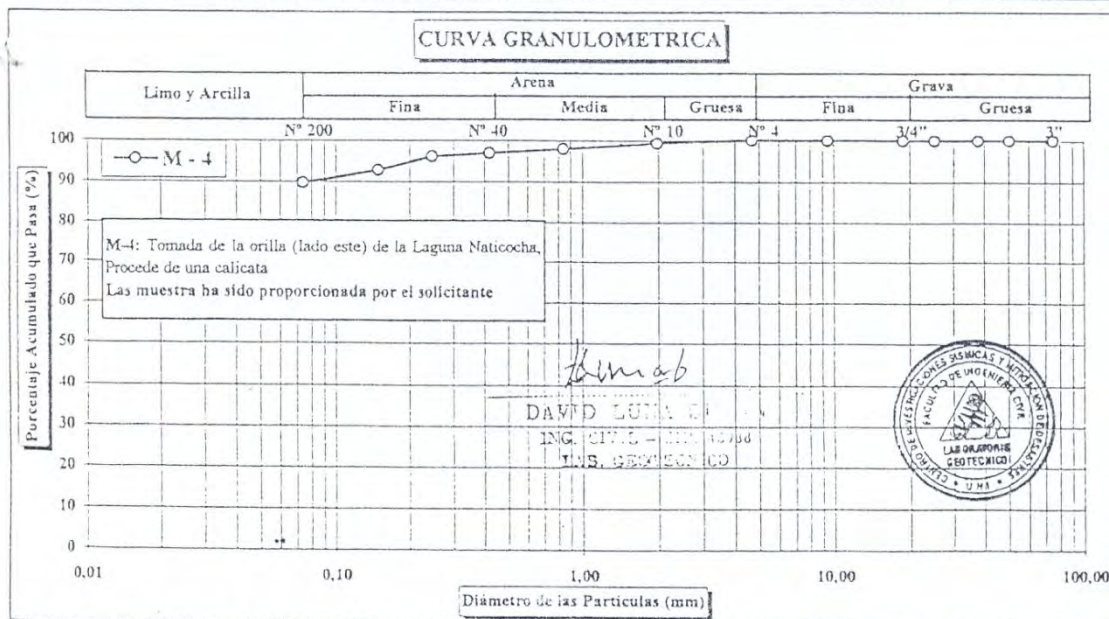
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
CENTRO PERUANO JAPONES DE INVESTIGACIONES
SISMICAS Y MITIGACION DE DESASTRES
LABORATORIO GEOTECNICO



ENSAYOS ESTANDAR DE CLASIFICACION (ASTM D2216 - D421 - D4318 - D427 - D2487)

INFORME : LG99-045
SOLICITANTE : EMPRESA ADMINISTRADORA CHUNGAR
PROYECTO : Estudio del colapso de la Laguna Naticocha
UBICACION : Mina Animon - Chungar - Huayllay
FECHA : Marzo, 1999

Sondaje		---		
Muestra		M - 4		
Profundidad		---		
ANALISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO	PORCENTAJE ACUMULADO QUE PASA (%)	3 "	76,200	100,00
		2 "	50,800	100,00
		1 1/2 "	38,100	100,00
		1 "	25,400	100,00
		3/4 "	19,050	100,00
		3/8 "	9,525	100,00
		Nº 004	4,750	100,00
		Nº 010	2,000	99,24
		Nº 020	0,850	97,84
		Nº 040	0,425	96,88
		Nº 060	0,250	96,09
		Nº 140	0,150	92,77
Nº 200	0,075	89,60		
Contenido de Humedad (%)		51,09		
Límite Líquido (LL) (%)		58,28		
Límite Plástico (LP) (%)		41,16		
Índice Plástico (IP) (%)		17,12		
Límite de Contracción (LC) (%)		-		
Clasificación (S.U.C.S.)		MH		



ANEXOS IV: PLANOS

PLANO 01: *UBICACIÓN MINA ANIMON.*

PLANO 02: *GEOMECANICO NV 575 CX 440N ZONA PIQUE
MONTENEGRO*

PLANO 2A: *GEOMECANICO NV 540 CX 440N ZONA PIQUE
MONTENEGRO*

PLANO 03: *PLANO ESTRUCTURAL NIVEL 540 – ZONA MONTENEGRO*

PLANO 04: *SECCION LONGITUDINAL LAGUNAS HUARONCOCHA
NATICOCHA-LLACSACOCCHA*

PLANO 05: *SECCION LONGITUDINAL VETA PRINCIPAL PERIODOS DE
EXPLOTACION*

PLANO 06: *SECCION LONGITUDINAL PLANTA PERIODOS DE
EXPLOTACION VETA NOR ESTE*

PLANO 07: *SECCION LONGITUDINAL ANTICLINAL HUARON*

PLANO 08: *MODELO GENETICO DISTRITO MINERO ANIMON*

PLANO 09: *GEOLOGIA ANIMON*

PLANO 10: *COLUMNA ESTRATIGRAFICA DISTRITO MINERO ANIMON*

PLANO 11: *LAGUNA NATICOCHA NV 540*

PLANO 12: *SECCION A-A'UBICACIÓN DE CALICATAS*

PLANO 13: *UBICACIÓN DE CALICATAS*

PLANO 14: *PLANO GENERAL NIVEL 575-540-500*

PLANO 15: *SECCION LONGITUDINAL PLANTA VETA NOR ESTE –
PERIODOS DE EXPLOTACION*

PLANO 16: *LAGUNA NATICOCHA ACTUAL*

PLANO 16A:*LAGUNA NATICOCHA ACTUAL CORTE*

PLANO 17: *ZONA MONTENEGRO VETA PRINCIPAL – VETA NOR ESTE*

PLANO 17A: *ZONA STAFF VETA PRINCIPAL –CORTE A-A*

PLANO 17B: *ESTABILIDAD DE TALUDES ZONA STAFF CORTE B-B'Y C-C'*