

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**



**“ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA PRESA
TINKICCOCHA – APURÍMAC”**

TESIS

PRESENTADA POR EL BACHILLER:

JUAN CARLOS ARELLANO MENDOZA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO GEÓLOGO

PUNO – PERÚ

2014

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**

**“ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA PRESA
TINKICCOCHA – APURÍMAC”**

TESIS

PRESENTADA POR EL BACHILLER:
JUAN CARLOS ARELLANO MENDOZA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO GEÓLOGO

APROBADO POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

PRESIDENTE:



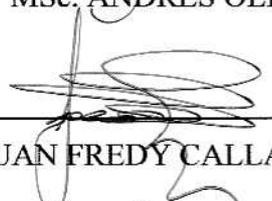
MSc. NEWTON MACHACA CUSILAIME

PRIMER MIEMBRO:



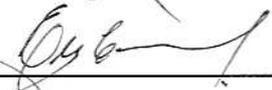
MSc. ANDRES OLIVERA CHURA

SEGUNDO MIEMBRO:



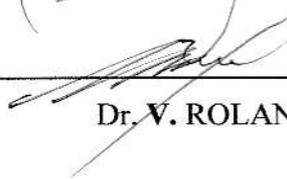
ING. JUAN FREDY CALLA FERNANDEZ

ASESOR DE TESIS:



MSc. ERASMO G. CARNERO CARNERO

DIRECTOR DE TESIS:



Dr. V. ROLANDO APAZA CAMPOS

AREA: Ingeniería Geotécnica

TEMA: Prospección y Evaluación de Aguas Superficiales y Subterráneas

Dedicatoria:

A Dios por darme salud, y con eso la oportunidad de desarrollarme profesionalmente, a mis padres y hermanos que son mi ejemplo y que cada día me enseñan lo importante de los valores humanos y a mi esposa e hijo que son mi razón existir.

AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento singular debo al Dr. Erasmo G. Carnero Carnero que, como asesor de esta tesis, me ha orientado, apoyado y corregido en mi labor científica con un interés y una paciencia que han sobrepasado, con mucho, todas las expectativas que, como tesista, deposité en su persona.

Agradezco a Dios que siempre me acompaña dándome fuerza y fe.

Al Ing. Roberto Tello Barbarán quien día a día apoya mi carrera como ingeniero geotécnico, brindándome sus conocimientos y experiencias en esta rama que comparten la ingeniería civil y la geología.

A mi familia por incentivar me a concluir este proyecto de investigación, en especial a mi madre, que nunca dejó de recordarme lo bueno de estudiar. A mi padre por su compañía y mis hermanos que de alguna u otra manera intervinieron en la ejecución de la investigación.

Agradezco a mi esposa e hijo, por su paciencia e impulsarme a nunca rendirme.

A mis compañeros de trabajo que me brindaron su apoyo incondicional con la realización del proyecto.

Por último agradecer a esta universidad que fue mi segundo hogar.

ÍNDICE

Pág.

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.2 HIPÓTESIS	3
1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	4
1.3.1 Objetivo general	4
1.3.2 Objetivos específicos.....	4
1.4 ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
1.5 METODOLOGÍA EMPLEADA	5

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL.....	8
2.1. CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DE LOS MATERIALES	8
2.1.1 Granulometría.....	8
2.1.2 Graduación	10
2.1.3 Forma	10
2.1.4 Plasticidad	11
2.1.5 Estructura	12
2.1.6 Límite líquido (LL)	12
2.1.7 Límite Plástico (LP)	13
2.1.8 Sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS).....	14
2.2 ENSAYOS DE PERMEABILIDAD	15
2.2.1 Tipo Lugeon	15
2.2.2 Tipo Lefranc	17
2.2.2.1 Lefranc a nivel variable.....	17
2.2.2.2 Lefranc a nivel constante.....	18
2.3 ENSAYOS DE LABORATORIO	19
2.3.1 Ensayo de corte directo	20
2.3.2 Análisis granulométrico	20
2.3.3 Determinación de los límites de Atterberg.....	20
2.3.4 Contenido de Humedad.....	21
2.4 REFRACCIÓN SÍSMICA	21
2.4.1 Valores típicos de propagación	23
2.5 FENÓMENO DE FILTRACION EN LA CIMENTACIÓN DE PRESAS .	25
2.5.1 Flujos de filtración en suelos y rocas	25
2.5.2 Velocidad de descarga y filtración real	25

2.5.3	Número de Reynolds	26
2.5.4	Ley de Darcy	27
2.5.5	Ecuaciones hidrodinámicas que gobiernan el flujo de agua a través de suelo y roca	27
2.5.5.1	Ecuación de Laplace.....	27
2.5.5.2	Ecuación de continuidad	29
2.5.6	Líneas de corriente y líneas equipotenciales	30
2.5.7	Red de flujos.....	32
2.6	FACTORES QUE FAVORECEN LA FILTRACIÓN	34
2.7	EFFECTOS DE LAS FILTRACIONES	34
2.8	GENERALIDADES SOBRE PRESAS DE TIERRA	35
2.9	DEPÓSITOS GLACIARES	37
2.10	BALANCE HÍDRICO EN LA LAGUNA TINKICCOCHA	38
2.11	GEOTECNIA	39
2.12	Métodos y aplicaciones en Geotecnia	40

CAPITULO III

CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INVESTIGACIÓN..... 42

3.1	UBICACIÓN	42
3.2	VÍAS DE COMUNICACIÓN	43
3.3	CLIMA.....	44
3.4	FAUNA Y VEGETACIÓN	45
3.5	CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS A NIVEL REGIONAL	45
3.5.1	MARCO GEOLÓGICO	45
3.5.2	LITOLOGÍA	46
3.5.2.1	Paleozoico	47
a)	Grupo Tarma y Copacabana (Ps-tc)	47
b)	Grupo Mitu (Ps-m)	48
3.5.2.2	Mesozoico	48
a)	Formación San Francisco (Ki-s)	48
b)	Formación Huancané (Ki-h).....	49
3.5.2.3	Cenozoico.....	49
a)	Formación Ongoy (Ksp-o)	49
b)	Depósitos morrénicos (Qp-mo).....	49
c)	Depósitos de abanicos aluviales (Qh-aba)	50
d)	Depósitos eluviales (Qh-el).....	50
e)	Depósitos aluviales (Qh-al).....	51
3.5.2.4	Rocas intrusivas.....	51
a)	Complejo granítico Querobamba (Pl-gr).....	51
b)	Rocas hipabisales (h).....	52
3.5.3	ASPECTOS ESTRUCTURALES	53
3.5.4	CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS.....	53
3.5.4.1	Procesos geomorfológicos.....	54
3.5.4.2	Unidades geomorfológicas	54
a)	Superficie Puna	54
b)	Flanco de Valle disectado	54
c)	Valle de fondo amplio	55

d)	Valle cañón.....	56
3.5.5	GEODINAMICA EXTERNA.....	56
3.5.5.1	Inundaciones.....	56
3.5.5.2	Deslizamientos	56
3.5.5.3	Erosión fluvial	57
3.6	GEOLOGÍA LOCAL	58
3.6.1	MARCO GEOLOGICO LOCAL.....	58
3.6.2	LITOLOGÍA	58
3.6.2.1	Cenozoico.....	59
a)	Depósitos morrénicos	59
b)	Depósitos eluviales y aluviales	60
3.6.2.2	Rocas intrusivas.....	61
3.6.3	GEOMORFOLOGÍA	62
3.6.3.1	Quebradas.....	62
3.6.3.2	Laderas	62
3.6.3.3	Bofedales.....	63
3.6.3.4	Afloramientos rocosos.....	63
3.6.3.5	Conos eluviales	63
3.6.4	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	64
3.6.5	GEODINÁMICA EXTERNA.....	65
3.7	GEODINÁMICA INTERNA	66
3.7.1	SISMICIDAD.....	67
3.7.2.1	Diseño sismo-resistente.....	67
3.7.2.2	Zonificación sísmica	68

CAPITULO IV

EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	70	
4.1	GEOTECNIA.....	70
4.1.1	INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA	71
4.1.1.1	Refracción sísmica	71
a)	Trabajos de campo	72
4.1.1.2	Excavaciones a cielo abierto	76
a)	Calicatas	76
4.1.1.3	Perforaciones diamantinas.....	79
a)	Descripción de las perforaciones.....	81
i).	Perfil estratigráfico de la perforación P-01	81
ii)	Perfil estratigráfico de la perforación P-02	82
iii)	Perfil estratigráfico de la perforación P-03	83
4.1.1.4	Ensayos realizados in situ	87
a)	Ensayo de permeabilidad tipo Lefranc.....	87
b)	Ensayo de permeabilidad tipo Lugeon.....	88
c)	Resultados de los ensayos de permeabilidad.....	89
4.1.1.5	Ensayos de laboratorio	90
4.2	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES	90

4.2.1	CARACTERÍSTICAS DE LA PRESA TINKICCOCHA.....	91
4.2.2	METODOLOGÍA DE DISEÑO	93
4.2.3	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD GLOBAL.....	94
4.2.3.1	Slope/w (Geoestudio 2007).....	94
4.3	ANÁLISIS DE ESFUERZO Y DEFORMACIÓN	100
4.3.1	Sigma/w (Geoestudio 2007).....	100
4.4	ANÁLISIS DE INFILTRACIÓN	110
4.4.1	PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DEL SUELO DE CIMENTACIÓN ..	110
4.4.2	MODELAMIENTO DE FILTRACIONES	111
4.4.2.1	Seep/w (Geoestudio 2007)	111
4.4.3	SISTEMA DE IMPERMEABILIZACIÓN	114
4.4.3.1	Inyecciones con lechada de cemento-arcilla	115
4.4.4	PANTALLA IMPERMEABLE	117
4.4.4.1	Separación de los taladros de inyección.....	118
4.4.4.2	Estimación del volumen de inyección.....	119
4.4.4.3	Método de los tubos con manguito	120
4.4.4.4	Procedimiento constructivo.....	122
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		126
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS		130

ANEXOS

- ANEXO I** : Planos
- ANEXO II** : Investigaciones Geotécnicas
- ANEXO III** : Ensayos de Permeabilidad
- ANEXO IV** : Ensayos de Laboratorio
- ANEXO V** : Panel Fotográfico

LISTA DE FIGURAS

Figura N° 1. : Ejemplo de curva granulométrica	10
Figura N° 2. : Formas de partículas de suelo.....	11
Figura N° 3. : Tipos de estructuras en suelos	12
Figura N° 4. : Carta de plasticidad de A. Casagrande.	13
Figura N° 5. : Esquema de ensayo Lugeon.....	17
Figura N° 6. : Esquema del ensayo Lefranc a nivel variable.....	18
Figura N° 7. : Esquema del ensayo Lefranc a nivel constante.	19
Figura N° 8. : Disposición en el campo, método de refracción.	22
Figura N° 9. : Diagrama de los Golpes de martillo (shots) y espaciamiento de geófonos	23
Figura N° 10. Un fluido en movimiento con las líneas de corriente a lo largo de un tubo de sección variable.....	29
Figura N° 11. : Diagrama de líneas de corriente y líneas equipotenciales.	31
Figura N° 12. : Red de flujos.....	32
Figura N° 13. : Perfil tipo de depósitos glaciares.	38
Figura N° 14. : Ejemplos de modelización en ingeniería geológica.....	41
Figura N° 15. : Plano de ubicación de la zona de estudio	43
Figura N° 16. : Vías de comunicación y zonas de accesos	44
Figura N°17.: Flora y fauna presentes en la zona de investigación	45
Figura N° 18. : Plano geológico regional	46
Figura N° 19. : Fotografía de depósitos morrénicos, el complejo Querobamba, depósitos eluviales y la laguna Tinkiccocha	50
Figura N° 20. : Fotografía de depósitos aluviales y el rioPampas	51
Figura N° 21. : Fotografía del complejo Querobamba y depósitos morrénicos, laguna Champacocha.	52
Figura N° 22. : Plano geomorfológico regional	55
Figura N° 23. : Deslizamientos cercanos al distrito de Huaccana	57
Figura N° 24. : Columna estratigráfica a nivel local	59
Figura N° 25. : Fotografía de muestra de roca de la perforación diamantina.....	61
Figura N° 26. : Fotografía de la laguna Tikiccocha.....	60
Figura N° 27. : Fotografía depósitos eluviales y aluviales.	60
Figura N° 28. : Fotografía de las quebradas uniéndose en un solo punto.....	62

Figura N° 29. : Fotografía de la laguna Tinkiccocha y las principales unidades geomorfológicas	63
Figura N° 30. : Esquema morfoestructural de la zona en estudio.....	64
Figura N° 31. : Fotografía de las rocas graníticas diaclasadas	65
Figura N° 32. : Fotografía del curso de río alterado por acción morrénica.	66
Figura N° 33. : Esquema de la zona de subducción en el Perú.....	67
Figura N° 34. : Mapa de zonificación sísmica.....	68
Figura N° 35. : Mapa de distribución de isoaceleraciones para un 10% de excedencia en 50 años	69
Figura N° 36. : Plano de líneas sísmicas en el eje de la presa	74
Figura N° 37. : Fotografía de la lectura del dispositivo Switich para la obtención de las dromocrónicas	75
Figura N° 38. : Fotografía del eje de la presa y disposición de líneas sísmicas.	75
Figura N° 39. : Fotografía de la calicata C-01.....	77
Figura N° 40. : Fotografía de la calicata C-02	78
Figura N° 41. : Fotografía de la calicata C-03	78
Figura N° 42. : Plano de ubicación de las calicatas	79
Figura N° 43. : Esquema del procedimiento para calcular el RQD	80
Figura N° 44. : Perforaciones diamantinas en la zona de investigación	85
Figura N° 45. : Plano de ubicación de las perforaciones diamantinas	86
Figura N° 46. : Perfil estratigráfico con líneas sísmicas y perforaciones diamantinas	86
Figura N° 47. : Ensayos de permeabilidad tipo Lefranc	88
Figura N° 48. : Ensayos de permeabilidad tipo Lugeon	89
Figura N° 49. : Esquema de la presa proyectada Tinkiccocha ..	92
Figura N° 50. : Presa proyectada Tinkiccocha y sus componentes en perfil	92
Figura N° 51. : Plano en planta de la presa proyectada Tinkiccocha ..	93
Figura N° 52. : Diagrama de los componentes del análisis de estabilidad de taludes ..	95
Figura N° 53. Análisis de estabilidad de taludes aguas arriba	95
Figura N° 54. : Análisis de estabilidad pseudoestático aguas arriba ..	96
Figura N° 55. : Análisis de estabilidad pseudoestático aguas arriba con geomembrana y geotextil	96
Figura N° 56. : Diagrama de los componentes del análisis de estabilidad de taludes con embalsamiento	97
Figura N° 57. : Análisis de estabilidad de taludes aguas abajo ..	97
Figura N° 58. : Análisis de estabilidad pseudoestático aguas abajo	98
Figura N° 59. : Análisis de estabilidad pseudoestático aguas abajo con geomembrana y geotextil	98

Figura N° 60. : Esquema de la colocación de la geomembrana y geotextil ..	99
Figura N° 61. : Fase de carga a 5m. Parámetros geotécnicos	101
Figura N° 62. : Vectores de desplazamiento para la fase de carga a 5m.	101
Figura N° 63. : Tensión máxima en la fase de carga a 5 m.	102
Figura N° 64. : Asentamientos producidos durante la construcción	102
Figura N° 65. : Fase de carga a 13m. Parámetros geotécnicos	103
Figura N° 66. : Vectores de desplazamiento para la fase de carga a 13m.	103
Figura N° 67. : Tensión máxima en la fase de carga a 13 m.	104
Figura N° 68. : Asentamientos producidos durante la construcción	104
Figura N° 69. : Fase de carga a 19m. Parámetros geotécnicos	105
Figura N° 70. : Vectores de desplazamiento para la fase de carga a 13m.	105
Figura N° 71. : Tensión máxima en la fase de carga a 19 m.	106
Figura N° 72. : Asentamientos producidos durante la construcción	106
Figura N° 73. : Fase de carga a con el embalse lleno. Parámetros geotécnicos ..	107
Figura N° 74. : Vectores de desplazamiento en el embalse lleno.	107
Figura N° 75. : Tensión máxima en la fase de carga con el embalse lleno.	108
Figura N° 76. : Asentamientos producidos durante la construcción	108
Figura N°77. : Análisis de filtración en estado natural del suelo ..	111
Figura N°78. : Análisis de filtración sin filtro	112
Figura N°79. : Análisis con filtro ..	112
Figura N°80. : Parámetros de la pantalla de Inyecciones ..	113
Figura N°81. : Análisis de Filtración con la Pantalla de impermeabilización	113
Figura N° 82. : Aplicación de las inyecciones en función de la permeabilidad .	114
Figura N° 83. : Esquema de las inyecciones de cemento en la presa Tinkiccocha	116
Figura N° 84. : Esquema de las líneas de inyección, primarias, secundarias y terciarias.....	119
Figura N° 85. : Esquema del tubo manguito y sus componentes	121
Figura N° 86. : Esquema de la inyección con el método del tubo manguito.....	121
Figura N° 87. : Esquema de las inyecciones en la base de la laguna Tinkiccocha.....	125

LISTA DE TABLAS

Tabla I. Aberturas de mallas de la serie Americana	9
Tabla II. Clasificación de suelos S.U.C.S..	15
Tabla III: Velocidades de propagación de Onda.	23
Tabla IV: Velocidades para terrenos variados	24
Tabla V: Velocidades de onda V_p	24
Tabla VI: Velocidades de Ondas de Corte “S” Para Diversos Suelos	24
Cuadro VII. : Columna cronoestratigráfica regional	47
Tabla VIII. Ubicación de líneas sísmicas.	72
Tabla IX. Resultados de refracción sísmica.	73
Tabla X. Ubicación y profundidad de las calicatas realizadas en la zona	76
Tabla XI. Ubicación y de las perforaciones diamantinas realizadas en la zona	79
Tabla XII. Tabla de presión para aplicar al ensayo Lugeon	88
Tabla XIII. Cuadro resumen de permeabilidades totales	89
Tabla XIV. Resultados del ensayo de corte directo.	90
Tabla XV. Resultados de la caracterización de suelos	90
Tabla XVI. Parámetros geotécnicos utilizados en el análisis de estabilidad	94
Tabla XVII. Resultados del análisis de estabilidad de taludes.	99
Tabla XVIII. Parámetros geotécnicos para el cálculo Σ/w	100
Tabla XIX. Resultados del análisis de esfuerzo deformación.	109
Tabla XX. Parámetros geotécnicos del suelo de cimentación.....	110
Tabla XXI. Capacidad de inyección con respecto a las permeabilidades.	115

LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS

A.A.S.H.T.O.:	American Association of State Highway and Transportation Officials o Asociación Americana de Autoridades Estatales de Carreteras y Transporte.
AP.:	Apurímac.
A.S.T.M.:	American Society for Testing and Materials (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales).
A.S.T.M. D 1140:	Sociedad Americana para Pruebas y Materiales más finos que la malla N° 200).
°C:	Grados centígrados.
CISMID:	Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres.
C.N.E.G.P.:	Comité Nacional Español De Grandes Presas.
cm.:	Centímetros.
Cz., Ort. y Plg.:	Cuarzo, ortoclasas y plagioclasas.
d:	Diámetro.
E-030:	Manual de diseño sismo resistente.
Fm.:	Formación.
GC:	Grava Arcillosa.
GM:	Grava Limosa.
GPS:	Sistema de posicionamiento global.
Gr.:	Grupo.
h:	Altura.
Has.:	Hectáreas.
H.D.P.E.:	High Density Polyethylene (polietileno de alta densidad).
HQ y NQ:	Líneas de perforación diamantina.

INGEMMET:	Instituto Geológico Minero y Metalúrgico.
I.P.:	Índice de plasticidad.
K:	Coefficiente de permeabilidad.
Km.:	Kilómetros.
L.L.:	Límite líquido.
L.P.:	Límite plástico.
L.S.:	Líneas sísmicas.
m.:	Metros.
mm.:	Milímetros.
m.s.n.m.:	Metros sobre el nivel del mar.
MTC:	Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú.
MMC:	Millones de metros cúbicos.
Nº:	Número.
N.F.:	Nivel freático.
σ:	Esfuerzo efectivo.
PGA:	Peak ground acceleration ó Aceleración máxima de terreno.
Pulg.:	Pulgadas.
Q:	Caudal.
R.Q.D.:	Rock Quality Designation. (Designación de la calidad de roca)
R.M.R.:	Rock Mass Rating. (Evaluación del macizo rocoso)
S.U.C.S.:	Sistema unificado de clasificación de suelos.
μ:	Presión de poros.
U.T.M.:	Universal Translate Mercator. (Sistema de coordenadas universal transversal de Mercato)
Vp:	Velocidad de ondas P.
WGS'84:	World Geodetic System 84(Sistema Geodésico Mundial 1984).
Δh:	Altura del agua sobre el nivel inicial.

RESUMEN

Esta investigación trata de la evaluación geológica y geotécnica de la zona de emplazamiento de una presa de tierra con fines de irrigación. Se localiza en el distrito de Huaccana, provincia de Chincheros, en el lugar llamado Tinkiccocha, departamento de Apurímac con una capacidad de almacenamiento de 1.058 MMC. Son objetivos de la investigación: realizar el mapeo geológico local, realizar ensayos de laboratorio, realizar la prospección geofísica, perforaciones diamantinas, ensayos in situ de permeabilidad y determinar el diseño apropiado para la construcción de la presa. La metodología empleada concierne a actividades de campo, laboratorio y gabinete con el fin cuantificar los parámetros geotécnicos.

Geológicamente se presentan terrenos morrénicos (arenas y gravas), granitos compactos del complejo Querobamba, algunos tramos han sufrido la acción erosiva de glaciares. Geomorfológicamente presenta relieves bruscos (farallones). Estructuralmente el complejo se presenta en forma masiva, mínimamente afectada por fallas regionales.

Se determinó una permeabilidad de $1 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$ en la zona de desplante. Se plantearon tres líneas de inyecciones de cemento con arcilla espaciados a 3 m., con profundidades de 25 m. en el estribo izquierdo y 7 m. en el derecho, conformando una pantalla y reduciendo la permeabilidad a $1 \times 10^{-7} \text{ cm/s}$. Los parámetros geotécnicos corresponden a una clasificación SUCS grava limosa (GM), los parámetros de resistencia corresponden a un ángulo de fricción: 32.2° y cohesión: 0.00 Kg/cm^2 . Los asentamientos permisibles utilizando el software, dieron valores de 0.22, 0.45 y 0.80 m. para cargas de material compactado de 5, 13 y 19 m. respectivamente. El logueo de los taladros de perforación P-01, P-02 y P-03 dieron un RQD de 90, 85 y 70% respectivamente. El diseño de la presa es de 19 m. de altura, 5 m. de coronación, taludes 1V/2H aguas arriba y 1V/2.5H aguas abajo, se colocará un filtro horizontal de 60 m. y un geosintético en el talud aguas arriba.

Palabras Clave: Ensayos de laboratorio, ensayos in situ, mapeo geológico y geotécnico, perforación diamantina, prospección geofísica.

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

El propósito principal de una presa es la retención y almacenamiento de agua en forma segura. En nuestros días como en la antigüedad, las presas de tierra continúan siendo el tipo de presa más común, principalmente porque en su construcción se utilizan materiales en estado natural con un mínimo de tratamiento. Sin embargo las presas emplazadas en terrenos aluviales presentan una permeabilidad moderada a alta, por tanto una parte del agua emplazada comienza a filtrarse a través del cuerpo de la presa o de su cimentación. Cuando las filtraciones en el lado de aguas abajo llegan a ser suficientemente fuertes, provocan el arrastre de material en sus paredes, progresando así hasta aguas arriba, generando finalmente una falla completa por tubificación.

En razón a ello y para asegurar la seguridad de la presa antes y después de construida, se debe realizar un programa de inspección geotécnica en la zona de desplante de la presa, el cual consta principalmente de: auscultaciones geológicas a nivel superficial, reconocimiento del estrato no visible mediante métodos directos e indirectos, tales como las perforaciones diamantinas y los ensayos de refracción sísmica respectivamente, complementados con ensayos de campo y laboratorio.

Los parámetros geotécnicos de los materiales obtenidos mediante la inspección geotécnica, se utilizan en los análisis de cálculo por medio de software especializados en el área de la geotecnia, los cuales nos permiten obtener: la simulación de superficies de falla de los taludes del cuerpo de la presa, los estados de esfuerzo y deformación provocados por la tensión propia del peso de la presa y los niveles de infiltración de partículas de agua que siguen su recorrido hacia el cuerpo de la presa y el suelo de fundación.

Con todo esto es posible determinar las soluciones apropiadas que faciliten la construcción de la presa de manera segura.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

De una manera común se sabe que tres cuartas partes del globo terráqueo, están compuestas por agua. Igualmente se sabe que un alto porcentaje de la estructura de los organismos vivientes está sustentada por la presencia de agua en ellos; luego pues, éste monóxido hidrogenado tiene su importancia vital, de tal modo que, lo que exponemos de los contenidos en los vegetales, tiene su razón de ser principalmente en la fisiología y metabolismo vegetal y animal. Resumiéndose en un simple lema: Sin agua no hay vida. Por tal motivo, es menester del hombre transportar el agua a zonas potencialmente agrícolas, y en las cuales el agua de lluvia es insuficiente para el desarrollo exponencial de los cultivos. Los sistemas de irrigación han mejorado con el paso del tiempo, teniendo varias opciones entre las cual elegir, pero de nada serviría utilizar un extenso y correcto canal de regadío, pensar en utilizar la irrigación por goteo, por surcos o por aspersión sin el suficiente almacenamiento previo del agua total a utilizar, para ello a lo largo de los años se ha perfeccionado el método de embalsamiento de aguas por medio de presas. Sin embargo numerosas presas se han construido sin tomar la debida atención a la posibilidad de que se desarrollen filtraciones en el cuerpo y cimiento; en el Perú, fue el caso de la presa de lagunillas, se esperó muchos años para concretar la construcción; aparte de lo económico, el principal problema fue la posibilidad de la excesiva filtración de agua por factores geológicos como la presencia de fallas y sistemas de fracturamiento perpendiculares al eje de la presa. Los suelos compuestos por materiales granulares (gravas y arenas), exhiben un comportamiento permeable alto, que concomitantemente con las subpresiones acarrear problemas potenciales en cuanto a filtraciones.

El departamento de Apurímac se sitúa en la Sierra Central de nuestro país, en el se encuentra la provincia de Chincheros, y dentro de este se ubica el distrito de Huaccana con una altitud de 3050 metros sobre el nivel del mar, el clima de este distrito se presenta libre de heladas, el cual es propicio para el cultivo de cereales y tubérculos, a esto se agrega la buena calidad de los suelos adecuados para el cultivo de diferentes productos; sin embargo, a la fecha menos de la mitad del área cultivable se aprovecha, siendo la razón únicamente la escasa presencia de las lluvias, el mismo que no garantiza una buena cosecha. Las zonas circundantes a la localidad de Huaccana tienen un área agrícola existente de 3200 Has. de los cuales se siembran bajo riego 700 has.

Entre los pueblos de Huaccana y Chincheros, a una hora de recorrido partiendo de cualquier punto, se localizan tres lagunas a una altitud promedio de 4090 metros sobre el nivel del mar, la laguna Choclococha, Champacocha y Tinkicocha, siendo esta última el motivo de este proyecto de investigación, en él, se tiene pensado desplantar una presa de tierra, la cual será el motor principal del sistema de riego Huaccana, la investigación recae en la inspección geológica y geotécnica que se realizará con motivos de viabilizar la construcción de esta presa, ya que la misma se desplantará en materiales granulares sueltos, con un importante valor permeable, para ello es imprescindible contar con la geología como ingeniería. Por ello cuando se detiene el agua por medio de una estructura, tal como una presa, hay una masa de agua del depósito que escapa por debajo y alrededor (estribos de la presa). Este fenómeno se llama filtración a través de fisuras en la roca y suelos granulares.

Considerando los problemas descritos, esta investigación respondió las siguientes preguntas:

- ¿Cómo se realiza un estudio geológico – geotécnico para la construcción de una presa de tierra?
- ¿Cómo influye la permeabilidad del macizo rocoso o suelos granulares en la cimentación de la presa?
- ¿Por qué es tan importante determinar el grado de filtración del agua?
- ¿Cuál es el tratamiento adecuado que necesita el lecho de cimentación?

Por lo tanto para este estudio nos evocaremos principalmente a determinar las condiciones geológicas y geotécnicas del suelo y subsuelo de cimentación, para la construcción de la presa en la laguna Tinkicocha.

1.2 HIPÓTESIS

Cuanto mayor sea el conocimiento geológico y la investigación geotécnica detallada del área de ubicación de la presa de tierra Tinkicocha, mayor será la posibilidad de elaborar un proyecto y construcción de la presa bien concebida.

1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

Los objetivos que direccionan este proyecto de investigación se han dividido en objetivos generales y objetivos específicos:

1.3.1 Objetivo general

Analizar y evaluar las características geológicas y geotécnicas del área, con la finalidad de viabilizar la construcción de la presa Tinkiccocha.

1.3.2 Objetivos específicos

- Realizar el mapeo geológico local del área en estudio, identificando las principales unidades litoestratigráficas, unidades geomorfológicas y eventos de geodinámicos.
- Realizar ensayos de laboratorio necesarios para determinar los parámetros geotécnicos de los geomateriales.
- Realizar la prospección geofísica, las perforaciones diamantinas y los ensayos de permeabilidad tipo Lugeón y Tipo Lefranc.
- Determinar la solución apropiada para la construcción de la presa según los resultados obtenidos.

1.4 ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

En este acápite, se pretende determinar el alcance de la investigación, definiendo lo que se pretende que sea y lo que no se pretende que sea ésta.

En primer lugar, la investigación no pretende imponer un método absoluto de auscultación geológica, ni establecer un orden en lo que respecta a la investigación geotécnica. Lo que esta tesis busca, es contribuir al conocimiento de los parámetros que condicionan los potenciales problemas que surgen en la construcción de una presa de tierra sobre terrenos morrénicos. Por tal motivo, y para cumplir con los objetivos planteados se realizará una evaluación geológica y geotécnica en la zona de influencia del área de investigación, y en base a la inspección y análisis de los resultados de campo y laboratorio, se presentará la solución pertinente a los posibles problemas a encontrar. Para el cumplimiento de dicha evaluación se desarrollaron diferentes investigaciones las cuales se detallan a continuación:

- Caracterización geológica de la zona en estudio, en donde se identificó la litología, estratigrafía, estructuras geológicas, características geomorfológicas, zonas de alteración y procesos de geodinámica externa e interna.
- Evaluación local de la geodinámica externa de la zona que abarca el proyecto de investigación, a fin de determinar las alternativas de solución.

Para la caracterización geotécnica se consideraron exploraciones de campo y ensayos de laboratorio, los cuales se determinaron en términos de estabilidad y condiciones del suelo.

- Ensayos de campo y laboratorio en muestras de suelos y roca extraídos de la zona.
- Descripción de las condiciones de suelo, estratigrafía e identificación de los afloramientos presentes en la zona.
- Exploración de campo mediante perforaciones diamantinas y calicatas para efectuar los cortes geológicos y posterior interpretación de la geología y geotecnia.

1.5 METODOLOGÍA EMPLEADA

Con el fin de reunir los criterios adecuados que permitan conocer y cuantificar los parámetros geológicos y geotécnicos de la zona, y de esta manera cumplir con los objetivos propuestos, se realizarán actividades de campo y gabinete, las cuales se describen en los siguientes numerales.

1.5.1 ACTIVIDADES DE CAMPO

Comprende netamente la inspección de la zona de influencia del área de investigación. El mapeo geológico se realizó con el apoyo de un plano topográfico base a escala 1/1250, brújula, Gps. Se empezó los trabajos con la determinación de las unidades litológicas, haciendo un recorrido de campo y recolectando muestras para la interpretación de sus componentes mineralógicos con la ayuda del triángulo de streckeisen. Las unidades geomorfológicas se determinaron accediendo a la zona, ahí se observó las principales unidades presentes, tales como laderas, quebradas, afloramientos rocosos y bofedales. Los eventos de geodinámica externa fueron detallados a partir del

recorrido de campo, observando los principales eventos presentados en el terreno e inferir los posibles eventos posteriores.

La prospección geofísica utilizada fue la de refracción sísmica, la cual consta de un equipo captador de velocidades de onda denominado Switch, el cual recibe las señales de los geófonos utilizados en el tendido sísmico, cada línea de refracción tuvo una longitud de 100 m., con una separación de geófonos de 4 m., se realizan 5 golpes en total entre los geófonos 1, 6-7, 12-13, 18-19 y 24. Para la ejecución de las perforaciones diamantinas, el método empleado fue el rotativo, con una máquina diamantina modelo TP-50D Sobreoruga; los trabajos de perforación se realizaron con tuberías HQ (63.5 mm.) y NQ (47.6 mm.), con un diámetro de perforación de 96,0 mm. y diámetro de testigos recuperados de 63,5 y 47.6 mm. Las brocas utilizadas están provistas de esquirlas de diamante impregnadas. Como fluido de perforación se utilizó agua de la laguna. Los ensayos de permeabilidad tipo Lefranc se realizaron aprovechando las perforaciones, introduciendo agua a presión en el pozo de tal manera de que se mantenga el nivel constante, se toma nota del caudal necesario para mantener el régimen constante cada minuto, durante diez minutos, este ensayo se realizó en tramos de 3 m. y solo si se trata de terrenos sueltos. Los ensayos de permeabilidad tipo Lugeon se realizaron en roca fracturada, también aprovechando las perforaciones, para este caso se utiliza la presión de un galón de hidrógeno, que consiste en bombear cuanta cantidad de agua sea necesaria para mantener definida y constante la presión misma en intervalos de 10 minutos, este ensayo se realizó en tramos de 3 m.

Para la recolección de muestras se emplearon bolsas de polietileno de 5 kg. de capacidad, un boletario codificado con el nombre de la muestra, peso y ensayo a realizar. Las muestras se tomaron de las calicatas realizadas en la zona en forma representativa, es decir, se tomó un puñado de muestra tanto en las zonas de arenas como de gravas, las muestras fueron codificadas y enviadas al laboratorio de mecánica de suelos, los ensayos realizados fueron: análisis granulométrico por tamizado según la serie Americana, en ella se determinó el porcentaje de gravas con respecto a los materiales finos, también se hicieron ensayos de límites líquido y plástico, siendo la resta de ellas el índice de plasticidad, la clasificación de suelo SUCS y AASHTO, se determinan a partir de los porcentajes que pasan a través de las mallas establecidas. Los ensayos de corte directo someten a fatigas y/o deformaciones a las muestras de suelo, siendo el más típico una caja de sección cuadrada dividida horizontalmente en dos mitades, dentro de ella se coloca la muestra de suelo y se aplica una carga vertical de

confinamiento y luego una carga horizontal creciente que origina el desplazamiento de la mitad móvil de la caja originando el corte de la muestra. Los valores de “c” y “ ϕ ” dependen esencialmente de la velocidad del ensayo y de la permeabilidad del suelo.

1.5.2 ACTIVIDADES DE GABINETE

La etapa de los trabajos de gabinete comprende el procesamiento de la información obtenida de las diferentes actividades desarrolladas en la etapa de campo, para lo cual se hará uso de diferentes programas (software) y metodologías de procesamiento.

Se utilizó el Autocad 2011 para elaborar los planos geológicos, geodinámicos y geotécnicos en las escalas 1/1250.

Para los análisis de estabilidad de taludes se utilizó el programa de cálculo Geostudio 2007, Slope/w, para el cual fue necesario tener los parámetros geotécnicos de los materiales que conforman el área a analizar, se dibujó la geometría de la presa y se le adhirió los parámetros, estos cálculos mostraron un factor de seguridad definido, fue necesario además, castigar al sistema con el coeficiente sísmico, se colocó una protección al talud aguas arriba que consta de geosintéticos, con esto el factor de seguridad cumplió con las expectativas esperadas y quedó definida la geometría de la presa. Para los análisis de esfuerzo y deformación se utilizó el programa Sigma/w, se colocó en la parte de la cimentación los parámetros de elasticidad para que se generen los asentamientos, luego se procedió a realizar simulaciones para diferentes estados de carga del material compactado, en cada estado se colocó el peso de la presa en kPa, la finalidad fue la de determinar que los asentamientos generados sean permisibles en la zona de emplazamiento de la presa. El análisis de filtración de aguas hacia el cuerpo y cimentación de la presa se realizaron con el programa de computo Seep/w, para ello se colocaron los valores de las permeabilidades, en el centro de la presa se colocó una sección de flujo que determinó la cantidad de agua que transitaba por él, la medida es considerada en $m^3/día$, luego se vuelve a correr el sistema colocando una pantalla impermeable por debajo de la base de presa.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

2.1. CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DE LOS MATERIALES

Las características geotécnicas del suelo juegan un papel importante en cualquier proyecto de construcción que involucre edificios, carreteras, presas y diques. Estos proyectos usan el suelo como material de ingeniería en términos de su capacidad para soportar las estructuras de apoyo y la conformación de cuerpos en las presas de tierra. A continuación se detallan algunos aspectos geotécnicos de los materiales:

2.1.1 Granulometría

Las propiedades mecánicas de los suelos están íntimamente relacionadas con el tamaño y la forma de las partículas que los integran. Un suelo puede estar constituido predominantemente por partículas de tamaños muy semejantes entre sí, o bien, puede encontrarse con él una gran diversidad de tamaños, variando desde aquellos que no son visibles aun con los mejores microscopios ópticos (partículas coloidales) hasta rocas de 8 a 10 centímetros. “Si se hace pasar una porción de suelo a través de una serie de mallas o tamices de aberturas conocidas”, como los que indica la **tabla I.**, en cada una de ellas se irán deteniendo las partículas cuyo tamaño es mayor que la abertura de la malla que los retiene y menor que la inmediata superior (Gonzales de Vallejo L. 2002).

De esta manera puede establecerse la proporción relativa, en peso, de los diversos rangos de tamaño que constituyen el material en cuestión. Cuando se tienen dichas proporciones para un suelo dado se dice que se conoce su granulometría, o su textura.

Tabla I. Aberturas de mallas de la serie Americana (A.S.T.M.)

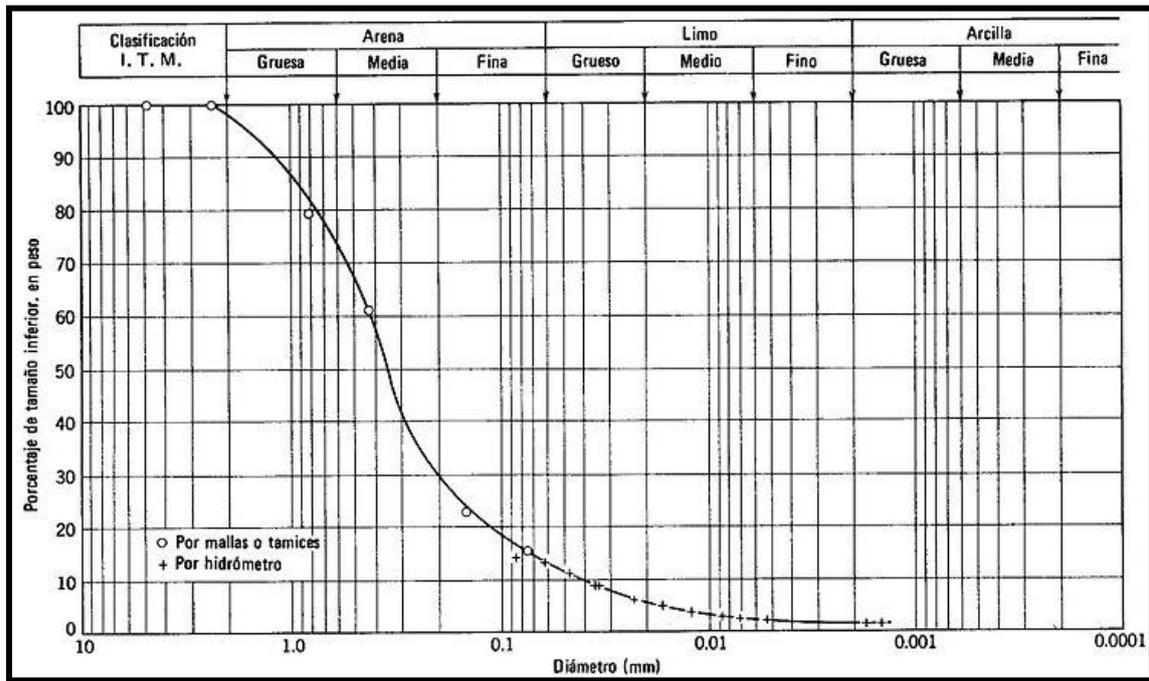
TAMICES	
SERIE AMERICANA	
NÚMERO DE MALLAS ABERTURA (Pulg.)	ABERTURA (mm)
3"	76.200
2 ½"	63.500
2"	50.800
1 ½"	38.100
1"	25.400
¾"	19.050
½"	12.700
⅜"	9.525
¼"	6.350
Nº 4	4.750
Nº 6	3.360
Nº 8	2.360
Nº 10	2.000
Nº 16	1.180
Nº 20	0.850
Nº 30	0.600
Nº 40	0.425
Nº 50	0.300
Nº 80	0.180
Nº 100	0.150
Nº 200	0.075
- 200	ASTM D 1140

A partir del tamiz Nº 4 se diferencian los agregados finos de los gruesos, es decir de los tamaños 76.200 mm. a 4.750 mm. se consideran agregados gruesos (gravas), y de los tamaños 4.750 mm. a 0.075 mm. se les considera agregados finos(arenas), por último el porcentaje que pasa la malla -200, y según el ASTM D 1140, se le considera material fino (limos y arcillas).

Por otro lado la curva granulométrica representa en una gráfica, los resultados obtenidos en el laboratorio de un suelo desde el punto de vista del tamaño de las partículas que lo forman. Para graficar la curva granulométrica, debemos tomar en cuenta que los porcentajes de muestra que pasa cada uno de los tamices, se encuentran en el eje de las ordenadas y a una escala aritmética, en cambio la ordenación de la abertura del tamiz se encuentra en el eje de las abscisas y con una escala logarítmica; esto para facilitar la construcción de la curva granulométrica. El propósito del análisis

granulométrico, es determinar el tamaño de las partículas o granos que constituyen un suelo y fijar en porcentaje de su peso total, la cantidad de granos de distintos tamaños que el suelo contiene. (Das Braja M., 1999).

Figura N° 1. : Ejemplo de curva granulométrica (ANGELONE, S.; GARIBAY M. T. 2006)



2.1.2 Graduación

Cuando un suelo está constituido por partículas de gran variedad de diámetros, se dice que el suelo es de buena “graduación”. La curva granulométrica es continua y suave. Si la curva presenta tramos horizontales o verticales significa, respectivamente, que falta o predomina cierto rango de tamaños y se considera un suelo de “mala gradación” (ver figura N° 1). Una línea vertical significa que ese suelo está formado por partículas de tamaño semejante entre sí y se conoce como suelo uniforme. Un suelo uniforme es más ligero y menos resistente que otro bien graduado (DESENA AHEDO A. 2003).

2.1.3 Forma

Independientemente de su tamaño, las partículas del suelo pueden tener formas redondas, subredondeadas, angulares o laminares, como se muestra en la figura N° 2. (GONZÁLES Y. J. y ROBLES J. L. – 2004).

La forma influye en las propiedades mecánicas; por ejemplo: un suelo compuesto en su mayor parte de granos gruesos de forma angular, exhibe una mejor trabazón entre sus partículas que otro de igual granulometría pero de granos redondos. Esto se traduce en una mayor resistencia al desplazamiento relativo de las partículas, en el primer caso. Por lo que respecta a los suelos de las partículas finas, la forma es aún más importante.

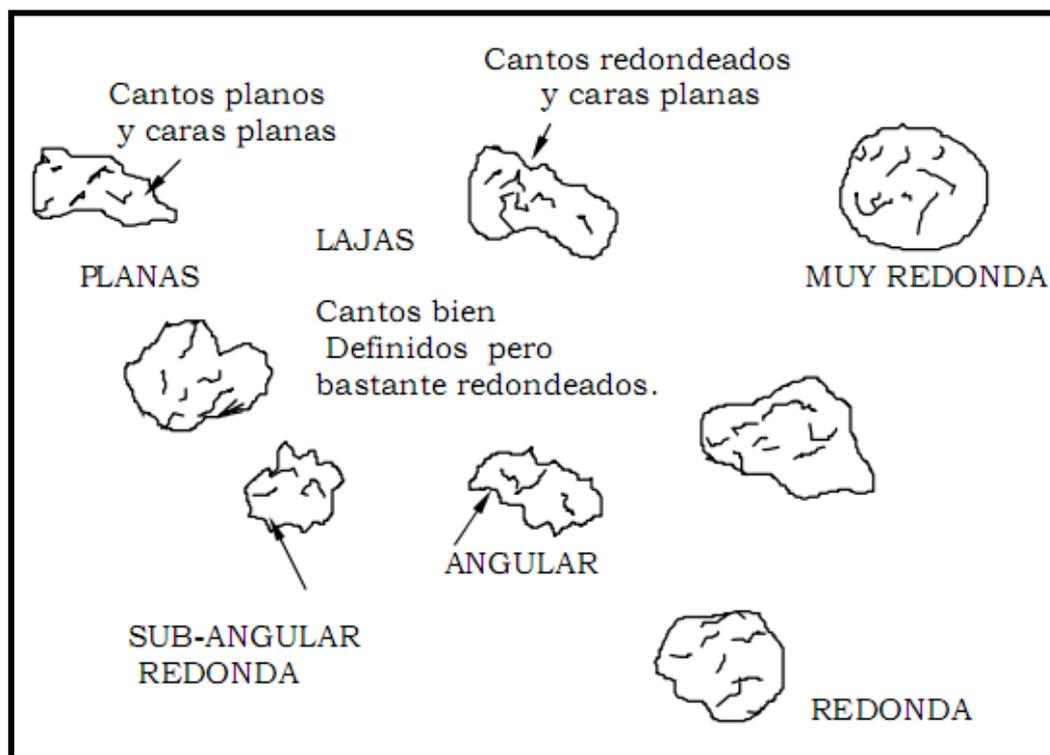


Figura N° 2. : Formas de partículas de suelo (Gonzales y Robles, 2004).

2.1.4 Plasticidad

Es un hecho bien conocido que, al mejorar una tierra constituida por limo y arcilla, se vuelve blanda, formando lodo que al secarse se endurece en grado variable o se vuelve polvo. Estos sencillos fenómenos son, en realidad de naturaleza, físico químico muy complejo, y que constituye la base de las pruebas desarrolladas por Atterberg para estudiar las variaciones de la consistencia de los suelos finos con los cambios de humedad. Atterberg introdujo los conceptos que se conocen como “límites de consistencia” o de “Atterberg” (GONZÁLES Y. J. y ROBLES J. L. – 2004).

2.1.5 Estructura

Además de la granulometría, la graduación y la plasticidad, la manera como se asocian las partículas entre sí, es decir, la estructura del suelo, es también un factor importante en las propiedades mecánicas, se distinguen tres tipos de estructura: “granular, prismática y laminar”, tal y como se muestra en la **figura N° 3**.

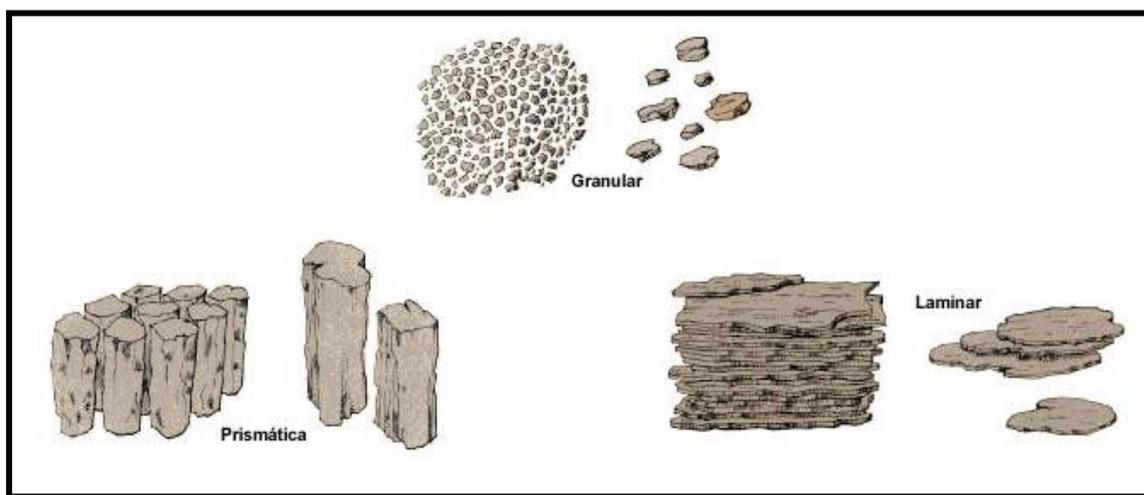


Figura N° 3. : Tipos de estructuras en suelos

(Fuente: ftp://ftp.fao.org/fi/CDrom/FAO_training/FAO_training/general/x6706s/x6706s07.htm.)

- Estructura granular.- Son partículas individuales de arena, limo y arcilla agrupadas en granos pequeños casi esféricos.
- Estructuras prismáticas.- Son partículas de suelo que han formado columnas o pilares verticales separados por fisuras verticales diminutas, pero definidas.
- Estructuras laminares.- Se compone de partículas de suelo agregadas en láminas o capas finas que se acumulan horizontalmente una sobre otra.

2.1.6 Límite líquido (LL)

Si a un suelo fino se le agrega agua en cantidad suficiente, puede convertirse prácticamente en un líquido, es decir, fluye fácilmente bajo el efecto de un pequeño esfuerzo cortante. Si se permite que el agua se evapore parcialmente, llega un momento en que el suelo empieza a ofrecer una resistencia al esfuerzo cortante y se comporta como un material plástico. El contenido de agua, expresado en por ciento del peso del

suelo seco, en este momento, es el “límite líquido” (SOCIEDAD INTERNACIONAL DE MECANICA DE ROCAS - 1984).

2.1.7 Límite Plástico (LP)

Si después de alcanzado el límite líquido se continúa evaporando el agua, amasando el suelo con la mano, se llega a un contenido de agua en el que el suelo se vuelve quebradizo y deja de comportarse como un material plástico. El contenido de agua correspondiente se llama “límite plástico”. La diferencia entre el límite líquido y el plástico se llama “índice de plasticidad”. Definido con el símbolo I_p . Correlacionando el límite líquido con el correspondiente índice de plasticidad de un gran número de suelos finos, Arthur Casagrande estableció la carta de plasticidad que muestra la **figura N° 4**. La línea “A” establece la frontera entre los suelos arcillosos y limosos.

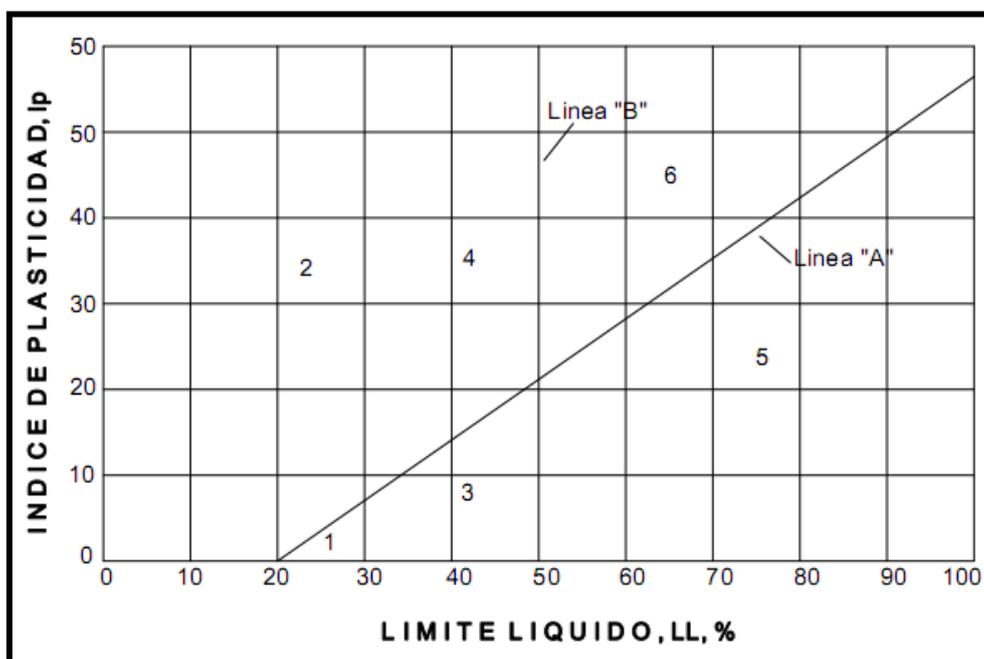


Figura N° 4. : Carta de plasticidad de A. Casagrande. (A. Casagrande, 1948)

- (1). Limos inorgánicos de baja compresibilidad.
- (2). Arcillas inorgánicas de baja plasticidad.
- (3). Limos orgánicos y limos inorgánicos de compresibilidad media.
- (4). Arcillas inorgánicas de plasticidad media.
- (5). Limos inorgánicos de baja compresibilidad y arcillas orgánicas.
- (6). Arcillas inorgánicas de alta plasticidad.

2.1.8 Sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS)

Este sistema, originalmente introducido por el Dr. Arthur Casagrande como “Sistema de clasificación de suelos para Aeropuertos”, durante los años de la segunda Guerra Mundial, fue ligeramente modificado, posteriormente por el “U.S. Army Corps of Engineers” y el “U.S. Bureau of Reclamation”, para adoptarlo a usos en caminos, presas de tierra y cimentaciones; actualmente se le conoce como sistema unificado.

Este sistema ofrece la doble ventaja de ser fácilmente adaptable al campo y al laboratorio, requiriendo poca experiencia y unas cuantas pruebas sencillas para determinar al grupo al cual pertenece un suelo dado. Por tomar en cuenta la granulometría, la graduación y las características de la plasticidad, describe los suelos de tal manera que es fácil, con un poco de criterio, asociar a cada grupo de suelo el orden de magnitud de las características mecánicas, más importantes y, por consiguiente, su adaptabilidad a diversos usos en la construcción. (DESENA AHEDO A. 2003).

Los suelos se designan por símbolos de grupo. El símbolo de cada grupo consta de un prefijo y un sufijo. Los prefijos son las iniciales de los nombres en inglés de los seis principales tipos de suelos (grava, arena, limo, arcilla, suelos orgánicos de grano fino y turbas), mientras que los sufijos indican subdivisiones en dichos grupos.

Suelos gruesos. Se dividen en gravas (G) y arena (S), y se separan con el tamiz No. 4, de manera que un suelo pertenece al grupo de grava si más del 50% retiene el tamiz No. 4 y pertenecerá al grupo arena en caso contrario.

Suelos finos. El sistema unificado considera los suelos finos divididos entre grupos: limos inorgánicos (M), arcillas inorgánicas (C) y limos y arcillas orgánicas (O). Cada uno de estos suelos se subdivide a su vez según el límite líquido, en dos grupos cuya frontera es $Ll = 50\%$. Si el límite líquido del suelo es menor de 50 se añade al símbolo general la letra L (low compressibility). Si es mayor de 50 se añade la letra H (high compressibility).

A continuación se presenta en la **tabla II**. la clasificación de suelos según las combinaciones existentes encontradas en el campo de trabajo, resaltando que la fuente presentada es referencial, debido a que en la conformación de esta tabla intervienen diferentes factores dominados por experiencias propias adquiridas del autor.

Tabla II. Clasificación de suelos S.U.C.S. (González Yélamos J. 2004).

CLASIFICACIÓN DE SUELOS	
SIMBOLO DE GRUPO	NOMBRE DEL GRUPO
GW	Graba bien graduada
GP	Grava mal graduada
GM	Grava limosa
GC	Grava arcillosa
GW-GM	Grava bien graduada con limo
GW-GC	Grava bien graduada con arcilla
GP-GM	Grava mal graduada con limo
GP-GC	Grava mal graduada con arcilla
SW	Arena bien graduada
SP	Arena mal graduada
SM	Arena limosa
SC	Arena arcillosa
SW-SM	Arena bien graduada con limo
SW-SC	Arena bien graduada con arcilla
SP-SM	Arena mal graduada con limo
SP-SC	Arena mal graduada con arcilla
CL	Arcilla de baja plasticidad
ML	Limo de baja plasticidad
OL	Limo / Arcilla orgánica
CH	Arcilla de alta plasticidad
MH	Limo de alta plasticidad
OH	Limo / Arcilla orgánica
PT	Turba

2.2 ENSAYOS DE PERMEABILIDAD

Los ensayos para determinar la permeabilidad en suelos con fines geotécnicos pueden realizarse en el interior de sondeos o pozos y en excavaciones. Los más extendidos son realizados en sondeos, utilizando las perforaciones de las campañas de investigación geotécnica. Sin embargo, cuando no se dispone de sondeos es posible realizarlos en pequeñas excavaciones de poca profundidad con una geometría predefinida. (Gonzales de Vallejo L., 2002). A continuación se describen los ensayos utilizados por el autor en la investigación.

2.2.1 Tipo Lugeon

Este ensayo se realiza en el interior de sondeos y permite calcular semicuantitativamente la permeabilidad de los macizos rocosos, en cualquier tipo de

litología y estado de fracturación. El ensayo consiste en introducir agua a presión constante en el sondeo, midiendo las admisiones durante un periodo de 10 minutos. Normalmente. Se ensayan tramos de 5 metros de sondeo, aislando el tramo de ensayo del resto del sondeo mediante obturadores; en este caso el ensayo se conoce también como Packer test. Si el ensayo se realiza en el fondo del sondeo (5 metros finales) sólo es necesario el empleo de un obturador, correspondiendo en este caso al ensayo tal y como definió M. Lugeon en 1933. (Gonzales de Vallejo L. 2002).

Antes de empezar, se define la presión máxima que va a ser utilizada, esta no debe exceder la presión de confinamiento esperada de la profundidad de la perforación; sobre esta presión máxima se trabaja durante el ensayo para no generar fracturas en la roca a causa de la presión generada por el agua. Las presiones totales a aplicar se obtienen de la formula esfuerzo efectivo:

$$\sigma = \sigma - \mu$$

Donde:

σ = Esfuerzo efectivo;

σ = Esfuerzo total;

μ = Presión de poros.

El esfuerzo total se obtiene multiplicando la altura total desde la cota inicial hasta el tramo a ejecutar por la densidad de la roca, mientras que la presión de poros, viene a ser la resta de la altura total menos la distancia entre la cota inicial y el nivel freático, por la densidad del agua. Al resultado de la presión máxima se le aplica el 50% o el 75% para un RQD de más 75% , para obtener los 5 niveles de presión a utilizar.

Se toma nota de los caudales en cada nivel de presión. Para el cálculo de la unidad Lugeon se multiplica el promedio de los caudales por la presión.

Obtenidos los resultados en las 5 estaciones de cálculo de las unidades Lugeon, se realiza una media aritmética a los resultados de la primera y quinta estación, con esto obtenemos la Unidad Lugeon de la zona. Para obtener el valor de la permeabilidad “K”, se multiplica la Unidad Lugeon por 0.000013 cm/s, que es el valor relacionado a la ley de Darcy.

En la **figura N° 5** se muestra el esquema de los ensayos con uno y doble obturador.

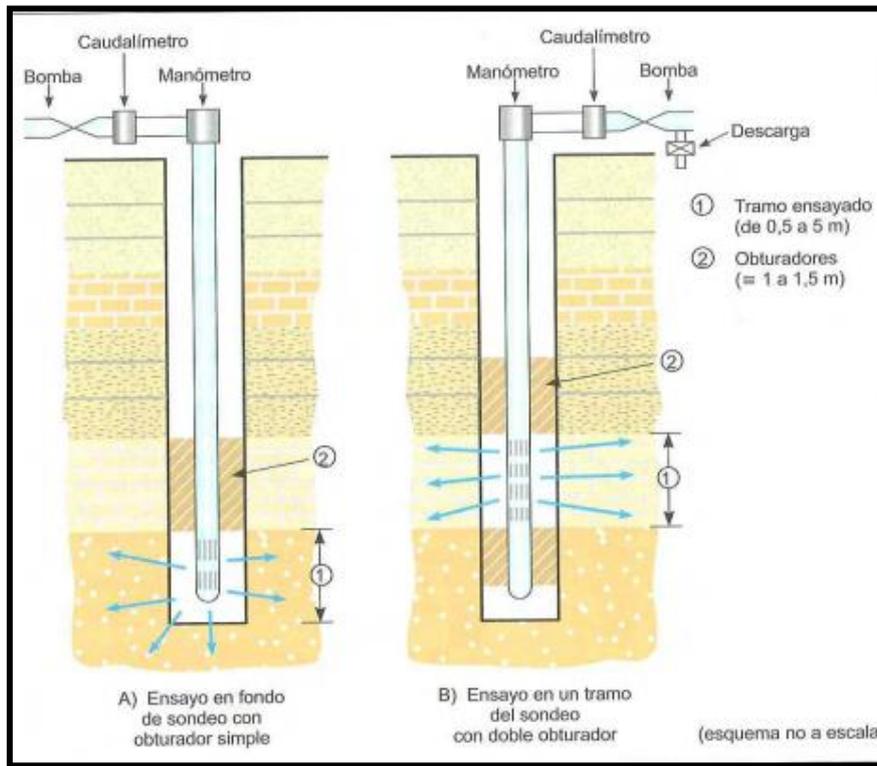


Figura N° 5. : Esquema de ensayo Lugeon (Gonzales de Vallejo L. 2002).

2.2.2 Tipo Lefranc

Este ensayo se utiliza para medir el coeficiente de permeabilidad en suelos permeables o semipermeables, de tipo granular, situados por debajo del nivel freático, y en roca muy fracturadas. El ensayo se efectúa en el interior de los sondeos y puede realizarse durante la ejecución de la perforación o una vez finalizada esta.

El procedimiento consiste en rellenar de agua el sondeo y medir el caudal necesario para mantener el nivel constante (ensayo a régimen permanente) o bien medir la velocidad de descenso del nivel de agua (ensayo a régimen variable) (Gonzales de Vallejo L. 2002). La medida del caudal de admisión debe medirse durante 10 minutos en intervalos de 1 minuto.

2.2.2.1 Lefranc a nivel variable

Se extrae o se introduce súbitamente un volumen de agua en el sondeo, lo que provoca un ascenso o descenso instantáneo del nivel del agua adentro de la perforación.

Se miden los descensos-tiempos a medida que se recupera el nivel inicial. Se determina mediante la ecuación:

$$K = [d^2 * \ln (2L / d) / 8 L * t] * \ln (h_1/h_2)$$

Donde:

K = Coeficiente de permeabilidad (cm/s);

h1 y h2 = Altura del agua al inicio y fin del ensayo;

t = Tiempo transcurrido entre la observación de los niveles h1 y h2;

L = Longitud del ensayo;

d = Diámetro del pozo.

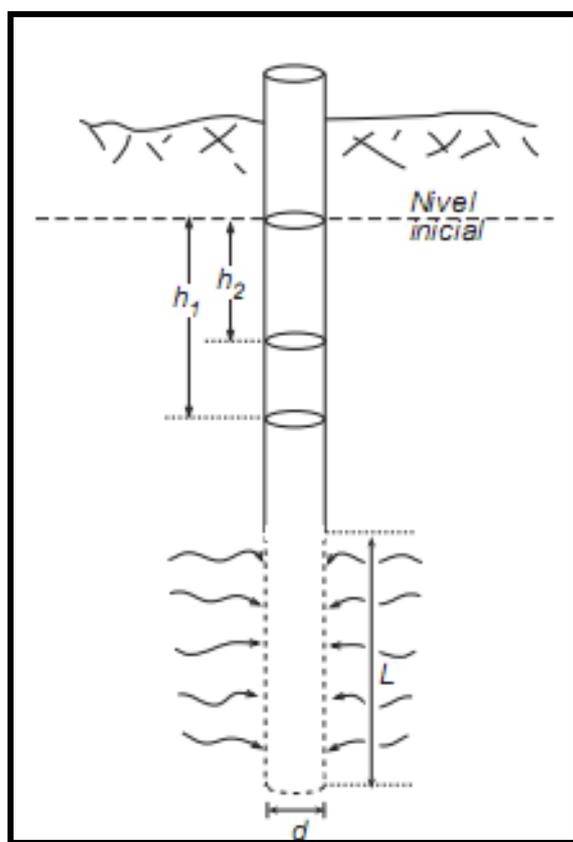


Figura N° 6. : Esquema del ensayo Lefranc a nivel variable (<http://hidrología.usal.es>, 2011).

2.2.2.2 Lefranc a nivel constante

La realización del ensayo requiere que, antes de medir los tiempos y caudales, se llene el sondeo de agua observando que el aire es expulsado y que se estabiliza el nivel y la velocidad de descenso, lo que indica que se ha alcanzado el régimen permanente. Para los cálculos posteriores es necesario determinar la cota del nivel freático.

El coeficiente de permeabilidad del suelo se calcula de manera simple con la siguiente fórmula:

$$K = Q / (C * \Delta h)$$

Siendo:

K= Coeficiente de permeabilidad (cm/s);

Q= Caudal (cm³/s);

Δh = Altura del agua sobre el nivel inicial (cm);

C= Coeficiente de forma, definido por la expresión:

$$C = 2 \pi * L / \ln(2L/d)$$

Donde:

L= Longitud del tramo ensayado (m),

d= Diámetro de la perforación (m).

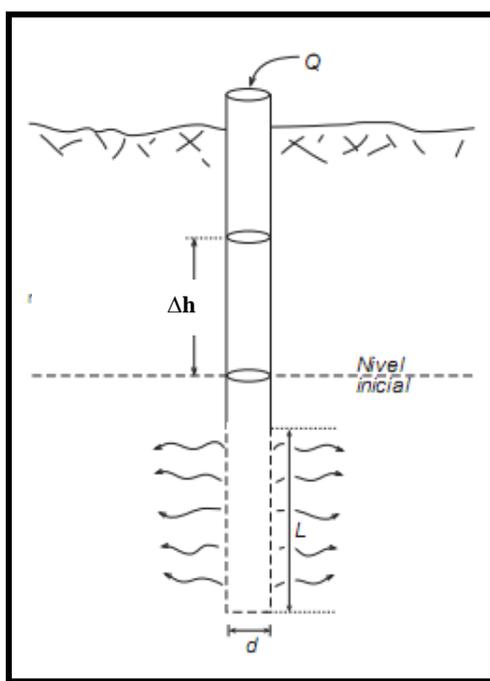


Figura N° 7. : Esquema del ensayo Lefranc a nivel constante (<http://hidrologia.usal.es>).

2.3 ENSAYOS DE LABORATORIO

Los ensayos geotécnicos de laboratorio son pruebas realizadas para la determinación de las características geotécnicas de un terreno, como parte de las técnicas de reconocimiento geotécnico. Estos ensayos se ejecutan sobre las muestras

previamente obtenidas en el terreno y, dependiendo del tipo de ensayo, se exigen distintas calidades de muestra, para este caso el autor realizará.

2.3.1 Ensayo de corte directo

La finalidad de los ensayos de corte, es determinar la resistencia de una muestra de suelo, sometida a fatigas y/o deformaciones que simulen las que existen o existirán en terreno producto de la aplicación de una carga (Das M. B. 1999).

Para conocer una de estas resistencias en laboratorio se usa el aparato de corte directo, siendo el más típico una caja de sección cuadrada o circular dividida horizontalmente en dos mitades. Dentro de ella se coloca la muestra de suelo y se aplica una carga vertical de confinamiento y luego una carga horizontal creciente que origina el desplazamiento de la mitad móvil de la caja originando el corte de la muestra. Los ensayos de corte directo en laboratorio se pueden clasificar en tres tipos según exista drenaje y/o consolidación de la muestra, por lo tanto los valores de “c” y “ ϕ ” dependen esencialmente de la velocidad del ensayo y de la permeabilidad del suelo.

2.3.2 Análisis granulométrico

La finalidad de este análisis es obtener la distribución por tamaño de las partículas presentes en una muestra de suelo. Así es posible también su clasificación mediante el sistema SUCS. El ensayo es importante, ya que gran parte de los criterios de aceptación de suelos para ser utilizados en bases o sub-bases de carreteras, presas de tierra o diques, drenajes, etc., depende de este análisis.

Para obtener la distribución de tamaños, se emplean tamices normalizados y numerados, dispuestos en orden decreciente. Para suelos con tamaño de partículas mayor a 0,074 mm. se utiliza el método de análisis mecánico mediante tamices de abertura y numeración.

2.3.3 Determinación de los límites de Atterberg

Los suelos que poseen algo de cohesión, según su naturaleza y cantidad de agua, pueden presentar propiedades que lo incluyan en el estado sólido, semi-sólido, plástico o semi-líquido. El contenido de agua o humedad límite al que se produce el cambio de estado varía de un suelo a otro. El método usado para medir estos límites se conoce como método de Atterberg. Los ensayos se realizan en el laboratorio y miden

la cohesión del terreno y su contenido de humedad, para ello se forman pequeños cilindros de espesor con el suelo. Siguiendo estos procedimientos se definen dos límites: (DESENA AHEDO A. 2003).

Límite líquido (LL) Humedad de un suelo remoldeado, límite entre los estados líquido y plástico, expresado en porcentaje.

Límite plástico (LP) Humedad de un suelo remoldeado, límite entre los estados plástico y semi-sólido, expresado en porcentaje.

Además, se define el **índice de plasticidad (IP)** como la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico ($IP = LL - LP$).

2.3.4 Contenido de Humedad

Este ensayo tiene por finalidad, determinar el contenido de humedad de una muestra de suelo. El contenido de humedad de una masa de suelo, está formado por la suma de sus aguas libres, capilares e hidrosféricas. La importancia del contenido de agua que presenta un suelo representa junto con la cantidad de aire, una de las características más importantes para explicar el comportamiento de este (especialmente en aquellos de textura más fina), como por ejemplo cambios de volumen, cohesión, estabilidad mecánica. El método tradicional de determinación de la humedad del suelo en laboratorio, es por medio del secado a horno, donde la humedad de un suelo es la relación expresada en porcentaje entre el peso del agua existente en una determinada masa de suelo y el peso de las partículas sólidas (DESENA AHEDO A.2003).

2.4 REFRACCIÓN SÍSMICA

El ensayo de refracción sísmica consiste en la medición de los tiempos de viaje de las ondas compresionales (Ondas P) y algunas veces de las ondas de corte (Ondas S) generadas por alguna fuente de energía impulsiva a unos puntos localizados a diferentes distancias a lo largo de un eje sobre la superficie del suelo. La energía es detectada, amplificada y registrada, de tal manera que puede determinarse su tiempo de arribo en cada punto.

El inicio de la grabación es dado a partir de un dispositivo SWITCH que da el tiempo cero para evaluar el tiempo recorrido. Estos datos de tiempo y distancia, usando para cada caso especial una variación del punto de SHOT (o aplicación de la energía) permiten evaluar las velocidades de propagación de las ondas P a través de los diferentes suelos y rocas, cuyas estructuras, geometría y continuidad son investigadas. Se estila usar el método de “Delete Time” para el análisis de los resultados.

Todas las formas de análisis manejan criterios que utilizan la suposición de la Ley de Snell en cuanto a la reflexión y refracción de las ondas P. De los espesores y las velocidades de propagación de ondas P obtenidas, las características geotécnicas pueden ser correlacionadas a la compacidad y densidad, esto puede llevar a evaluaciones erróneas ante la presencia de niveles freáticos, los cuales pueden ser investigados específicamente con la refracción. (HIDROENERGÍA 2014).

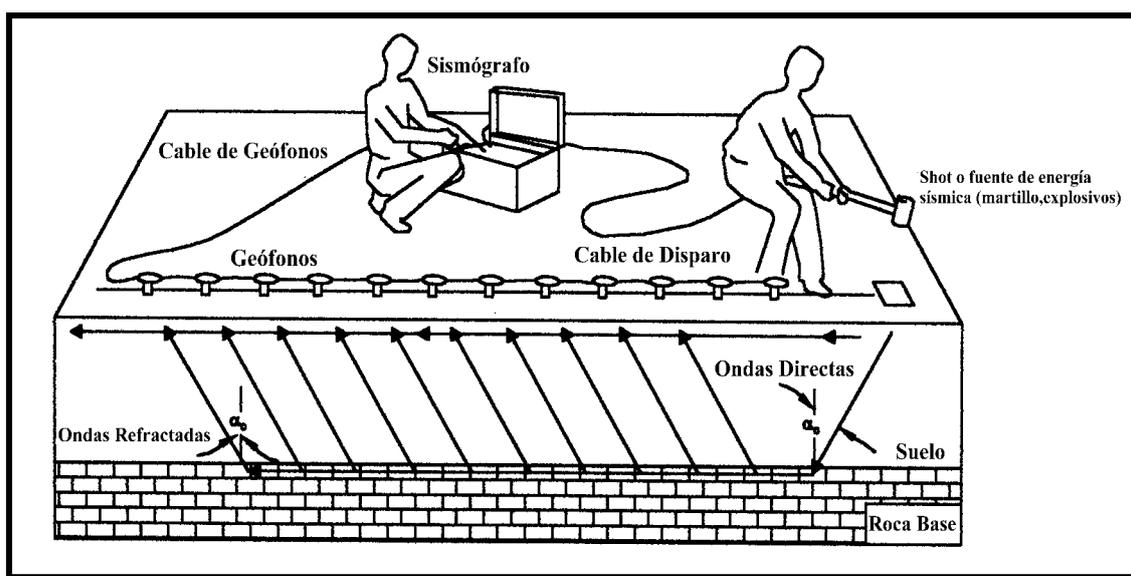


Figura N° 8. : Disposición en el campo, método de refracción (HIDROENERGÍA 2014).

Este sistema utiliza la estación portátil de Prospección Smart Seis con 24 canales de registro, cables con espaciamiento máximo para geófonos de 10 m, geófonos magnéticos. La distribución de los disparos se realiza de la siguiente manera.

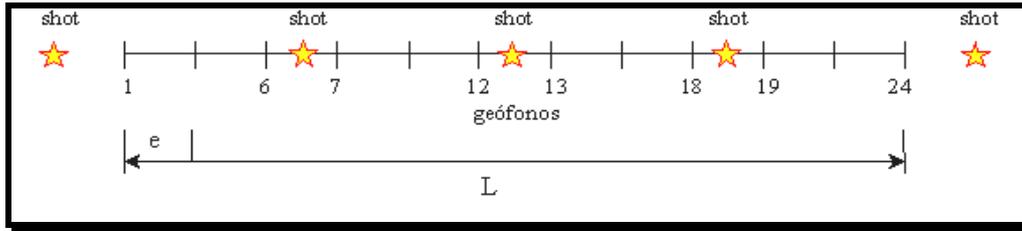


Figura N° 9. : Diagrama de los Golpes de martillo (shots) y espaciamiento de geófonos (Fuente: propia)

Donde:

e = Espaciamiento entre geófonos.

L = Longitud total de tendido.

La longitud del tendido está en función a la profundidad de investigación, la accesibilidad y el espacio disponible, siempre teniendo en cuenta que la profundidad de investigación viene dada por la siguiente relación: $H \approx L/3$. Los registros sísmicos obtenidos se procesan para preparar las curvas tiempo-distancia (dromocrónicas) con las que se calculan las velocidades y espesores de los estratos sísmicos mediante el método de “Delete Time”, tiempo de retardo, aplicado en diferentes formas por diversas escuelas, indicándose las características más saltantes del análisis e interpretación para el presente estudio.

2.4.1 Valores típicos de propagación

Las velocidades de propagación de ondas, sirven de referencia en etapas de interpretación de los resultados, las siguientes tablas presentan típicos valores de esta.

Tabla III: Velocidades de propagación de Onda.

DESCRIPCIÓN	VP (M/S)
Suelo de cobertura	< 1000
Roca muy alterada o aluvión	1000 – 2000
Roca alterada o aluvión muy	2000 – 4000
Roca poco alterada	4000 – 5000
Roca firme	> 5000

Tabla IV: Velocidades para terrenos variados

DESCRIPCIÓN	VP (M/S)
Suelo intemperizado	204 – 610
Grava o arena seca	460 – 915
Arena saturada	1220 – 1830
Roca metamórfica	3050 - 7000

Tabla V: Velocidades de onda Vp

DESCRIPCIÓN	VP (M/S)
Arena suelta sobre el manto freático	245 – 610
Suelo blando	< 300
Arena suelta bajo el manto freático	45 – 1220
Arena y gravas	300 – 1000
Arena Suelta mezclada con grava	455 – 1065
Rocas blandas, grava y arena fina	1000 – 2000
Grava suelta, húmeda	455 – 915
Roca compacta	2000 – 4000
Roca muy compacta	> 4000

Tabla VI: Velocidades de Ondas de Corte “S” Para Diversos Suelos

TIPO DE SUELO*	Vs (m/s)
Limo	210
Arcilla	350
Arena	450
Arena Fina	460
Arena Media	600
Arena Gruesa	300
Arena Marina	360
Grava	510
Grava Gruesa	650

HIDROENERGIA – 2014.

2.5 FENOMENO DE FILTRACION EN LA CIMENTACIÓN DE PRESAS

2.5.1 Flujos de filtración en suelos y rocas

Los suelos tienen vacíos interconectados a través de los cuales el agua puede fluir de puntos de alta energía a puntos de baja energía. El estudio del flujo de agua a través de un suelo o roca como medio poroso es importante en la mecánica de suelos y rocas, siendo necesario para estimar la cantidad de infiltración subterránea bajo varias condiciones hidráulicas, para investigar problemas que implican el bombeo de agua para construcciones subterráneas y para el análisis de estabilidad de las presas de tierra y de estructuras de retención sometidas a fuerzas de infiltración.

El agua presente en el suelo influye en su comportamiento en cuanto modifica la forma de las partículas y afecta a las fuerzas transmitidas a través de ellas. El flujo de agua en el macizo rocoso puede producirse a través de la roca intacta o matriz, a través de las discontinuidades. El primer caso puede llegar a tener escasa importancia cuando se trata de rocas ígneas, calizas intactas, algunos tipos de yesos, etc., al ser su permeabilidad muy pequeña. Para algunas rocas sedimentarias como las areniscas, la permeabilidad primaria intergranular puede llegar a ser importante. (Carnero C. E. 2009)

2.5.2 Velocidad de descarga y filtración real

Velocidad de descarga, es la cantidad de agua que fluye por unidad de tiempo a través de una sección transversal total unitaria de suelo perpendicular a la dirección de flujo. Esta se deduce directamente de la ecuación de Darcy.

$$V = K i$$

(Juárez B. y Das B. M.)

Velocidad de filtración (v_1), en esta velocidad se toma en cuenta la existencia de una fase sólida impermeable y es la velocidad media de avance del agua en la dirección del flujo.

$$v_1 = (1 + e) / e * V$$

(Juárez B.)

Donde:

e = relación de vacíos.

V = velocidad de descarga - ecuación de Darcy.

Velocidad de real (v_2), el agua no recorre la longitud L al atravesar el suelo, sino una línea sinuosa o irregular de longitud L_m . Entonces si V_2 es la velocidad media real.

$$v_2 = v_1 * L_m/L$$

(Juárez B.)

Fuente: (<http://es.scribd.com/doc/90093214/EQUIPO-3-Mecanica-de-Suelos>)

2.5.3 Número de Reynolds

Los diferentes regímenes de flujo y la asignación de valores numéricos de cada uno fueron reportados por primera vez por Osborne Reynolds en 1883. Reynolds observó que el tipo de flujo adquirido por un líquido que fluye dentro de una tubería depende de la velocidad del líquido, el diámetro de la tubería y de algunas propiedades físicas del fluido. Así, el número de Reynolds es un número adimensional que relaciona las propiedades físicas del fluido, su velocidad y la geometría del ducto por el que fluye y esta dado por:

$$Re = D * v * \rho / \mu$$

Donde:

Re: Número de Reynolds.

D: Diámetro del ducto.

v: Velocidad promedio del líquido.

ρ : Densidad del líquido.

μ : Viscosidad del líquido.

El número de Reynolds aparece en muchos casos relacionado con el hecho de que el flujo pueda considerarse laminar (número de Reynolds pequeño) o turbulento (número de Reynolds grande). Si el número de Reynolds es menor de 2100 el flujo será laminar y si es mayor de 3000 el flujo será turbulento. El mecanismo y muchas de las razones por las cuales un flujo es laminar o turbulento es todavía hoy objeto de especulación (GALOFRE A. -1980- Conceptos Geológicos Básicos de Aplicación en Hidrogeología).

2.5.4 Ley de Darcy

El flujo del agua puede ser de dos tipos: laminar y turbulento. El régimen de flujo se considera laminar cuando las trayectorias de las gotas de agua (las líneas de corriente) no interfieren unas con contra otras. En caso contrario, se trata de un flujo turbulento. Para el estudio de filtraciones en el terreno, salvo en algunos casos especiales de suelos de gran permeabilidad, flujo a través de grandes fisuras, flujo en karst, etc., se suele considerar que el régimen es laminar. (Gonzales de Vallejo, 2002).

En estas condiciones es aplicable la llamada ley de Darcy y se puede suponer que la velocidad de flujo es proporcional al gradiente hidráulico:

$$v = k * (\Delta h / L) = ki$$

Siendo k la permeabilidad del medio (expresada por el coeficiente de permeabilidad), y v la velocidad media del agua a través de una sección macroscópica de suelo, es decir, la velocidad aparente a lo largo de las líneas de flujo teóricas. L es la longitud del tramo a ensayado.

2.5.5 Ecuaciones hidrodinámicas que gobiernan el flujo de agua a través de suelo y roca

2.5.5.1 Ecuación de Laplace

La ecuación de Laplace es la primera de las ecuaciones diferenciales en derivadas parciales que gobiernan el flujo en medios porosos (permeables en general, cuando el medio pueda ser asumido como poroso). Se refiere al flujo en condiciones de régimen permanente y en ausencia de fuentes y sumidores.

Esta ecuación, como todas las ecuaciones del flujo en medios porosos, se obtiene aplicando conjuntamente la ecuación de la continuidad y la ley de Darcy. De hecho, es lógico que así sea. El flujo se estudia aceptando, de una parte, que la masa entrante debe ser igual a la saliente, y que ambas, dentro del medio poroso, están condicionadas por los planteamientos de Darcy. Así se tiene:

$$\partial v_x / \partial x + \partial v_y / \partial y + \partial v_z / \partial z = 0 \quad (\text{continuidad en régimen estacionario}).$$

$$v_x = -k_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \quad ; \quad v_y = -k_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \quad ; \quad v_z = -k_{zz} \frac{\partial h}{\partial z}$$

Sustituyendo:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(-k_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(-k_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(-k_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) = 0$$

Si se considera el medio homogéneo (la permeabilidad es la misma en cualquier punto del espacio) e isótropo (la permeabilidad es la misma en cualquier dirección del espacio), se tiene que:

$$K_{xx} = k_{yy} = k_{zz} = k$$

y:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0$$

Que es la ecuación de Laplace (régimen permanente, medio homogéneo e isótropo y ausencia de fuentes y sumideros). Hay dos tipos característicos de condiciones de entorno:

- Condiciones Dirichlet: nivel piezométrico conocido en frontera.
- Condiciones Neuman: flujo conocido en frontera.

La resolución de la ecuación solo es posible por métodos analíticos en sistema físicos sencillos, como es el caso de flujo hacia pozos y algunos problemas de flujo entre zanjas. Para casos reales más complejos debe acudir a métodos aproximados de resolución numérica, o también, en algunos otros casos, a métodos gráficos de resolución, como redes de flujo (Gonzales de Vallejo L.2002).

2.5.5.2 Ecuación de continuidad

La ecuación de continuidad parte de las bases ideales siguientes:

- El fluido es incompresible.
- La temperatura del fluido no cambia.
- El flujo es continuo, es decir su velocidad y presión no dependen del tiempo.
- El flujo es laminar. No turbulento
- No existe rotación dentro de la masa del fluido, es un flujo irrotacional.
- No existen pérdidas por rozamiento en el fluido, es decir no hay viscosidad.

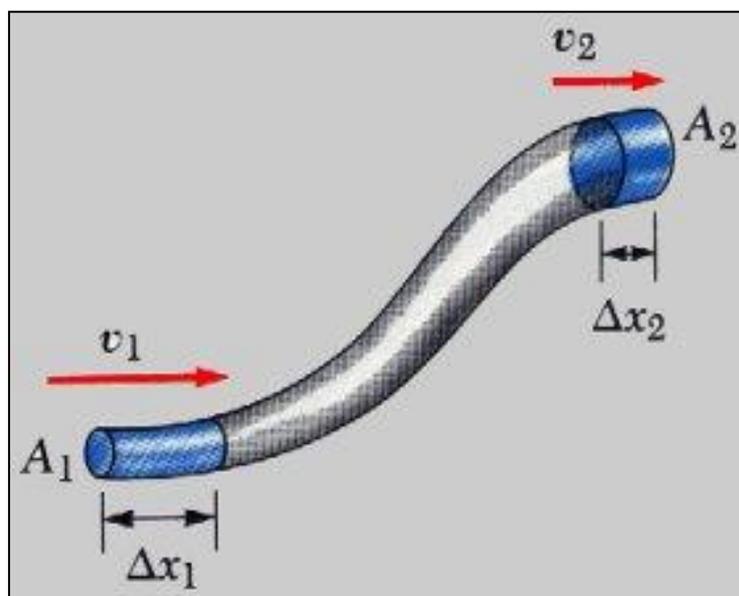


Figura N° 10. Un fluido en movimiento con las líneas de corriente a lo largo de un tubo de sección variable.

Como ejemplo veremos el tubo de la **figura 10**. de sección variable con líneas de corriente del interior de un fluido en movimiento. En un intervalo pequeño de tiempo Δt , el fluido que entra por el fondo del tubo recorre una distancia $\Delta x_1 = v_1 \Delta t$ siendo v_1 la velocidad del fluido en esa zona.

Si A_1 es el área de la sección transversal de esta región, entonces la masa de fluido contenida en la parte azul del fondo es $\Delta M_1 = \rho_1 A_1 \Delta x_1 = \rho_1 A_1 v_1 \Delta t$, donde ρ es la densidad del fluido. De la misma forma el flujo que sale por el extremo superior del tubo en el mismo tiempo Δt tiene la masa $\Delta M_2 = \rho_2 A_2 v_2 \Delta t$. Como la masa debe conservarse y debido también a que el flujo es laminar, la masa que fluye a través del

fondo del tubo en la sección A1, en el tiempo Δt , será igual a la que fluye en el mismo tiempo a través de A2. Por lo tanto $\Delta M1 = \Delta M2$, o:

$$\rho_1 A_1 v_1 \Delta t = \rho_2 A_2 v_2 \Delta t \quad (\text{ecuación 1})$$

Si dividimos por Δt tenemos que:

$$\rho_1 A_1 v_1 = \rho_2 A_2 v_2 \quad (\text{ecuación 2})$$

La ecuación 2 se conoce como ecuación de continuidad. Como hemos considerado que el fluido es incompresible entonces $\rho_1 = \rho_2$ y la ecuación de continuidad se reduce a:

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

Es decir, el área de la sección transversal de un tubo, multiplicada por la velocidad del fluido es constante a todo lo largo del tubo. El producto Av , que tiene las dimensiones de volumen por unidad de tiempo se conoce como caudal. (Fuente: KRYNINE P.D.; JUDD W. -1972- Principios de Geología y Geotecnia para Ingenieros).

2.5.6 Líneas de corriente y líneas equipotenciales

El empleo de la representación gráfica para el flujo que traspasa el suelo se lleva a cabo a través de lo que se denomina como red de flujo. De la red de flujo se puede obtener información relativa a los problemas planteados. (GÁLVEZ C. – 1994).

El camino seguido por una partícula de agua en su recorrido de escurrimiento o filtración a lo largo de una masa de suelo saturado es llamado línea de corriente, un ejemplo de estas, son las líneas curvas, suaves y sólidas, que pasan por debajo de un muro de contención construido con una pantalla de estacas como el que se muestra en la **figura.11**.

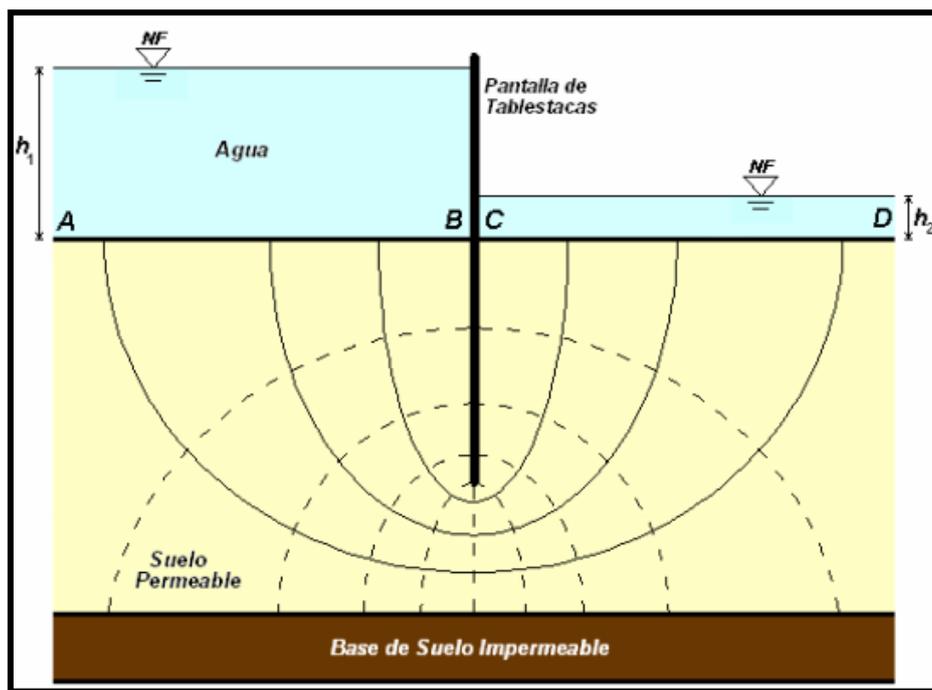


Figura Nº 11. : Diagrama de líneas de corriente y líneas equipotenciales (Fuente: Nicolás Alejandro Torres, filtraciones, 2010).

Cada línea de flujo comienza en un punto localizado sobre la línea AB, con una carga de presión ($h = h_1 - h_2$) que se disipa por la fricción viscosa, y termina en la línea CD, donde la carga de presión es igual a h_2 . A todo lo largo de la línea existe un punto donde el agua ha disipado una porción específica conocida como su potencial. Una línea que conecte todos esos puntos de igual carga es llamada línea equipotencial (líneas punteadas de la **figura 11**. o dicho de otra manera: en todos los puntos de una misma línea equipotencial, el agua asciende en un piezómetro hasta un mismo nivel piezométrico. Dichas líneas se asemejan a curvas de nivel de igual energía y las líneas de flujo las cortan en ángulo recto, ya que el agua se mueve desde los niveles de mayor a los de menor energía, siguiendo los caminos de gradiente de máxima energía; de la misma manera que el agua corre hacia abajo en la ladera de una colina, de los niveles superiores a los inferiores siguiendo la misma línea de pendiente máxima.

El esquema de las líneas de flujo y equipotenciales se denomina red de flujo y es un instrumento poderoso para la solución de los problemas de filtración de agua donde es evidente que existe un número ilimitado de líneas de flujo y de equipotenciales, pero se toman sólo aquellas que ofrecen una representación más general y una forma más conveniente de explicar el fenómeno.

2.5.7 Red de flujos

Es la combinación de las líneas de corriente y las líneas equipotenciales; se construyen para calcular el flujo de aguas subterráneas y tienen reglas de trazo específicas. Las dos familias de curvas son ortogonales solo para suelos isotrópicos. Los suelos anisotrópicos necesitan transformarse para ser tratados como isotrópicos.

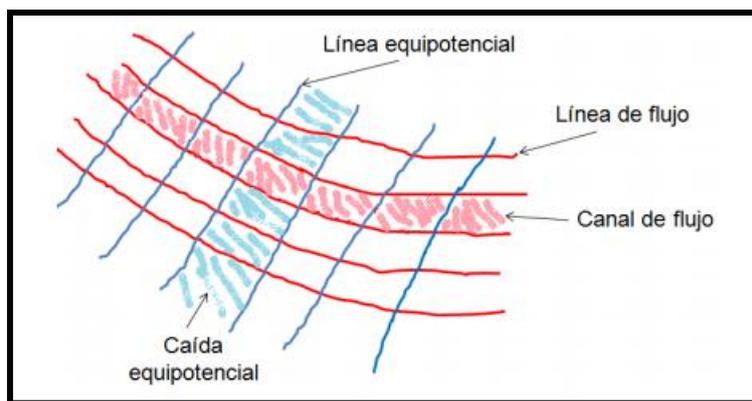


Figura N° 12. : Red de flujos (Torres. N. A. 2010).

El caudal que fluye entre dos líneas consecutivas es el mismo por unidad de ancho, las líneas equipotenciales no pueden cortarse entre sí, dentro del medio fluido, tampoco las líneas de corriente pueden cortarse entre sí dentro del medio fluido. (Braja M. Das, 1999).

Se trata entonces de definir en cada caso las condiciones de frontera específicas del problema a trazar, cumpliendo con estas, las dos familias de curvas ortogonales, obteniendo así una verdadera imagen grafica del problema, que si ha sido realizada con cuidado podrá ser lo suficientemente buena para los fines ingenieriles. Para la conformación de las redes de flujo se procede de la siguiente manera:

- Se dibuja la geometría del problema a escala.
- Se dibujan las líneas de flujo y equipotenciales conocidas del contorno
- Se trazan varias líneas de corriente perpendiculares a las líneas equipotenciales conocidas del contorno.
- Se dibujan las líneas equipotenciales necesarias para conseguir cuadrados curvilíneos, logrando que las dos familias de curvas sean perpendiculares entre sí (Figura N° 11).

- La pérdida de carga total se distribuye de manera uniforme entre equipotenciales.
- Un canal de flujo es el comprendido entre dos líneas de corriente.
- Todos los canales de flujo transportan el mismo caudal.

Teniendo en cuenta que:

Nf: Número de canales de flujo.

Nd: Número de caídas sucesivas de potencial.

Δh se distribuye en las caídas sucesivas de potencial.

dh: Pérdida de carga entre equipotenciales.

dh: $\Delta h / Nd$

El caudal que fluye en la red (cuadrado formado por las líneas equipotenciales y de corriente) y considerando que la red es cuadrada, será:

$$q = K \Delta h / Nd$$

Considerando que todos los canales transportan el mismo flujo, el caudal total corresponde a:

$$Q = K \Delta h * Nf / Nd$$

Para determinar la presión intersticial en cualquier punto, se debe conocer la equipotencial en que se ubica, para determinar su altura piezométrica:

$$h_p = h_A - Nd * \Delta h / Nd = Z_p - u_p / \gamma_w$$

Despejando la presión intersticial queda:

$$u_p = \gamma_w (h_A - Nd * \Delta h / Nd - Z_p)$$

BOWLE, J.E. - 1995

2.6 FACTORES QUE FAVORECEN LA FILTRACIÓN

Los factores principales que determinan el movimiento del agua por infiltración son:

- Textura. Los porcentajes de arena, limo y arcilla presentes en el suelo. En un suelo arenoso se favorece la infiltración.
- Profundidad del suelo a una capa endurecida, lecho rocoso u otras capas impermeables influyen en la infiltración. Los suelos delgados almacenan menos agua que los suelos profundos.
- Temperatura del suelo. Los suelos calientes permiten mayor infiltración del agua que los suelos fríos.
- Estructura. Suelos con grandes agregados estables en agua tienen proporciones de filtraciones más altas.
- Cantidad de materia orgánica. Altas proporciones de materia orgánica sin descomponer propician que una mayor cantidad de agua entre al suelo.
- Cantidad de agua en el suelo. En general un suelo mojado tendrá una menor infiltración que un suelo seco.
- Cantidad de organismos vivos. A mayor actividad microbiológica en los suelos habrá una mayor infiltración. Un caso típico es la elaboración de pequeños túneles por las lombrices, los cuales favorecen la infiltración y la penetración de las raíces así como la aireación (CANCELA R. M. D. -1987).

2.7 EFECTOS DE LAS FILTRACIONES

En muchos problemas geotécnicos, el movimiento del agua que llena los poros y diaclasas del terreno, tiene una influencia esencial. Pero, esta influencia tiene tres aspectos distintos. El primero se refiere al caudal de agua que circula, por ejemplo si se trata de un embalse, importa saber la cantidad de agua que se perderá a través de la presa y del terreno. (FRANCOM. A. – 1988, El cimiento y la seguridad de la Presa). Si se trata de obtener un recinto seco en un cauce de agua (por ejemplo un río).

El segundo aspecto es menos evidente, pero de igual importancia y se refiere a la variación del estado tensional del suelo. El agua, al circular, toma un cierto estado de presiones intersticiales que determinan a su vez el estado de tensiones del terreno y, por lo tanto, afectan a sus deformaciones y a su estabilidad. El rebajamiento del nivel de la

capa freática, bien sea por una extracción excesiva de agua por medio de pozos, para su aprovechamiento, o bien como artificio constructivo produce asientos que pueden llegar a ser desde varios centímetros a algunos metros. Por otra parte en lo que se refiere a la estabilidad, la influencia de la filtración sobre los taludes se manifiesta bien claramente después de cualquier temporal de lluvia, cuando aparecen corrimientos, muchas veces causantes de cortes en las carreteras y ferrocarriles.

Por último, el tercer aspecto es el de las alteraciones que el paso del agua puede producir en el terreno. Estas pueden dividirse en físicas, químicas y biológicas. Como fenómenos típicos, podemos citar la erosión interna (arrastre de partículas del suelo), muchos casos de cementación por precipitación de geles, y también el de aparición de susceptibilidad tixotrópica, al cambiar el agua salina de los poros por agua dulce. Como alteraciones debidas, al menos en parte, a actividades biológicas, se puede citar que el desarrollo de algas microscópicas es capaz de impermeabilizar en poco tiempo capas que se deseaba fueran filtrantes. En otros casos, el rebajamiento de la capa freática reactiva bacterias aeróbicas que permanecían en vida latente o muy amortiguada, y desencadena procesos de hinchamiento.

2.8 GENERALIDADES SOBRE PRESAS DE TIERRA

Una presa de embalse es simplemente una pared que se coloca en un sitio determinado del cauce de una corriente natural con el objeto de almacenar parte del caudal que transporta la corriente. La pared debe ser diseñada para que soporte las fuerzas que se generan por la presión del agua, y para que impida filtraciones a lo largo de su estructura y en las superficies de contacto entre la estructura y el terreno natural adyacente. Además, la presa debe contar con obras complementarias que permitan el paso del agua que no se embalsa y con estructuras de toma para captar y entregar el agua embalsada a los usuarios del sistema (RODRIGUEZ B. – 2012).

En la práctica se han desarrollado diferentes tipos de presas, y en cada caso particular se selecciona el tipo de presa que mejor se acomode a las condiciones locales, tales como altura de la presa, acondicionamiento y facilidades de acceso de la zona, cimentación que se requiere, costo y transporte de materiales y seguridad. Los tipos de presa más utilizados en la actualidad son los de tierra y escollera.

Los diseños hidráulicos en una presa de embalse consideran los siguientes aspectos:

Demanda, es la necesidad de agua que tiene el sistema que se está considerando. Cuando el río o la quebrada que se seleccionó como fuente de suministro pueden entregar el caudal de demanda durante unos períodos pero falla en otros, entonces se hacen estudios hidrológicos adicionales de la fuente para determinar si la construcción de un embalse resuelve el problema. Como resultado de estos estudios se obtiene el volumen de almacenamiento requerido que es el volumen que se debe almacenar para suministrar la demanda todo el tiempo.

Volumen útil de almacenamiento, es el volumen que el embalse está en capacidad de almacenar para suministrar a los usuarios del sistema. Se determina mediante la aplicación de modelos de simulación hidrológica, utilizando como variables las características físicas del embalse, los caudales naturales que entran al embalse, las lluvias directas sobre el área del embalse, las pérdidas por evapotranspiración, infiltración y vertimientos, y el suministro de agua a los usuarios. Cuando el volumen útil es menor que el volumen requerido entonces el embalse no está en capacidad de suministrar la demanda durante todo el tiempo y se presentan fallas en el suministro con el consiguiente racionamiento. Hay algunas tolerancias para que el sistema permita operar con racionamientos.

Volumen de sedimentos, un embalse es un gran sedimentador.

Mediante estudios de hidráulica fluvial y de transporte de sedimentos se estiman los volúmenes y las características granulométricas de los sedimentos que llegan al embalse en un año típico. También, dado que los sedimentos más gruesos se quedan primero que los finos, y que un porcentaje de estos últimos se deposita contra la presa, es necesario evaluar la forma que toma la masa de los sólidos que se sedimentan para definir el volumen que ocuparán año tras año durante la vida útil del embalse. Los diseños deben asegurar que hay suficiente espacio de almacenamiento de sedimentos para que durante los años de operación proyectados los sedimentos no obstaculicen el funcionamiento de las estructuras de captación.

Estructuras de captación, son obras de toma que están colocadas por encima del nivel de sedimentos y por debajo del nivel mínimo de operación del embalse. Pueden ser torres con o sin compuertas que se comunican con conductos cerrados que

pasan a través de la presa y entregan el agua a los sistemas de distribución, o estructuras más sencillas controladas por compuertas o por válvulas.

Vertimiento de excesos, los volúmenes de agua que llegan al embalse cuando el volumen de embalse útil está lleno son excesos que deben salir de la estructura en un tiempo corto. Para este efecto se diseñan las estructuras de vertimiento, las cuales deben tener capacidad para conducir los picos de las crecientes extraordinarias en forma segura hasta entregarlos aguas abajo de la presa.

En presas de concreto es corriente construir el vertedero de excesos dentro del cuerpo de la presa, pero en presas de tierra y escollera, y en algunos casos particulares de estructuras de concreto resulta más conveniente diseñar y construir el vertedero de excesos como una estructura independiente. (GALÁN S. – 2012).

2.9 DEPÓSITOS GLACIARES

Son depósitos transportados y depositados por el hielo. Están formados por tillitas y morrenas. Su composición es muy heterométrica y la distribución es altamente errática. Los depósitos fluvio-glaciares contienen fracciones desde gravas gruesas a arcillas; están algo estratificados y su granulometría decrece con la distancia al frente glaciar (LAMBET. W. – 1972 - Mecánica de Suelos). Sin embargo, los de origen lacustre-glaciar presentan fracciones más finas, predominando las arcillas y las estructuras laminadas, típicas de las arcillas varvadas.

La heterogeneidad y anisotropía es la característica típica de estos depósitos, pues coexisten desde las arcillas hasta las gravas gruesas y grandes bloques, ver **figura Nº 13**. Por tanto, las propiedades geotécnicas son altamente variables. La permeabilidad está directamente relacionada con la granulometría, estos suelos son muy sensibles a los incrementos de presión intersticial producidos por lluvias torrenciales y por deshielo. En estos depósitos son muy frecuentes los fenómenos de solifluxión y de inestabilidad de laderas. La investigación geotécnica es compleja, los espesores pueden ser igualmente muy variables, siendo frecuentes las potencias elevadas.

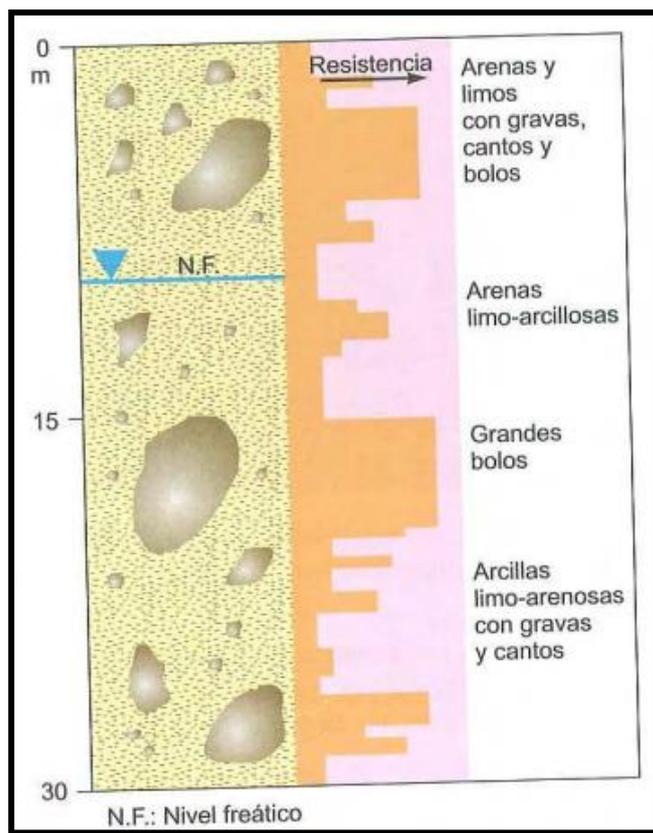


Figura N° 13. : Perfil tipo de depósitos glaciares (Gonzales de Vallejo L. 2002).

2.10 BALANCE HÍDRICO EN LA LAGUNA TINKICCOCHA

En la laguna Tinkiccocha se ha realizado un balance hídrico el cual se detalla en el siguiente cuadro resumen. (MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE CHINCHEROS 2011).

Cuadro de Balance Hídrico realizado en la zona de estudio Enero – Mayo

Mes		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY
días/mes		31	28	31	30	31
APORTES	CAUDAL GENERADO (mm/mes)	147.22	183.16	151.30	45.99	19.91
	VOLUMEN GENERADO (m3/mes)	116,832.40	167,724.13	144,795.30	45,788.17	20,656.20
	VOLUMEN APORTE MANANTES (m3/mes)	147,596.07	147,596.07	147,596.07	147,596.07	147,596.07
	VOL. DE EMBALSAMIENTO (m3)	264,428.47	315,320.20	292,391.38	193,384.24	3,534.65
	VOL. DE DERIVACION (m3)	0.00	0.00	0.00	0.00	164,717.62
	VOL. EMBALSAMIENTO ACUMULADO (m3)	264,428.47	579,748.67	872,140.05	1,065,524.29	1,069,058.94
PERDIDAS	LAMINA DE AGUA EVAPORADA (mm/mes)	0.00	0.00	0.00	4.70	50.32
	ÁREA DEL ESPEJO DE AGUA (m2)	60,678.930	107,927.981	82,417.012	34,628.643	29,439.088
	VOL. DE AGUA EVAPORADA (m3/mes)	0.00	0.00	0.00	162.68	1481.34
	LAMINA DE AGUA INFILTRADA (cm/s)	0.0000001	0.0000001	0.0000001	0.0000001	0.0000001
	VOL. DE AGUA INFILTRADA (m3/mes)	162.52	261.10	220.75	89.76	78.85
	OFERTA (m3/mes)	264,265.95	579,325.05	871,495.68	1,064,627.48	1,066,601.94

Cuadro de Balance Hídrico realizado en la zona de estudio Junio – Diciembre

JUN 30	JUL 31	AGO 31	SEP 30	OCT 31	NOV 30	DIC 31
14.28	14.97	15.08	16.39	24.49	38.17	94.96
15,717.14	13,991.88	15,486.00	16,611.22	23,464.46	25,356.05	80,478.57
147,596.07	147,596.07	147,596.07	147,596.07	147,596.07	147,596.07	147,596.07
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
163,313.22	161,587.95	163,082.07	164,207.30	171,060.53	172,952.12	228,074.64
1,069,058.94	1,069,058.94	1,069,058.94	1,069,058.94	1,069,058.94	1,069,058.94	1,069,058.94
60.00	67.84	67.33	56.20	30.48	0.00	0.00
28,366.223	27,980.046	28,314.864	28,563.837	30,031.625	30,425.317	43,739.485
1701.96	1898.21	1906.51	1605.17	915.30	0.00	0.00
0.0000001	0.0000001	0.0000001	0.0000001	0.0000001	0.0000001	0.0000001
73.53	74.94	75.84	74.04	80.44	78.86	117.15
1,064,826.46	1,062,853.31	1,060,870.96	1,059,191.75	1,058,196.01	1,058,117.15	1,058,000.00

En el cuadro se muestra el balance hídrico realizado desde enero a diciembre del año 2011, los valores de aportes y pérdidas se muestran m³ por mes. De esta manera se tiene un volumen de embalse igual a 1.058 MMC.

2.11 GEOTECNIA

La geotecnia es la ciencia aplicada al estudio y solución de los problemas de la ingeniería y del medio ambiente producidos como consecuencia de la interacción entre las actividades humanas y el medio geológico. El fin de la geotecnia es asegurar que los factores geológicos condicionantes de las obras de ingeniería sean tenidos en cuenta e interpretados adecuadamente, así como evitar o mitigar las consecuencias de los riesgos geológicos. (Gonzales de Vallejo L. 2002).

El ingeniero en geología es un profesional, que entiende acerca de los adelantos y métodos geológicos, así como los riesgos y afectaciones que causa el hombre. También este busca las mejores posibilidades de construcción civil, precaviéndose de los impactos que puede provocar al ambiente (FOYO, A. – 1998).

La ingeniería geológica surge con el desarrollo de las grandes obras públicas y el crecimiento urbano. Existen diversos antecedentes que demarcaron la necesidad de llevar a cabo estudios geológicos aplicados a la ingeniería. El desarrollo que alcanzaron otras ciencias afines, como la mecánica del suelo y la mecánica de rocas, configuraron los principios de la moderna geotecnia, dentro de la cual la ingeniería geológica representa la visión más geológica a la solución de los problemas constructivos. La necesidad de estudiar geológicamente el terreno como base de partida para los proyectos de grandes obras es indiscutible en la actualidad, y constituye una práctica obligatoria. Esta necesidad se extiende a otras obras de menor volumen, pero de gran repercusión social, como la edificación, en donde los estudios geotécnicos son igualmente obligatorios. (Gonzales de Vallejo L. 2002).

2.12 Métodos y aplicaciones en Geotecnia

La geotecnia tiene sus fundamentos en la geología y en el comportamiento mecánico de los suelos y las rocas. Incluye el conocimiento de las técnicas de investigación del subsuelo, tanto mecánicas como instrumentales y geofísicas, así como los métodos de análisis y modelización del terreno, se tiene 3 modelos.

- Modelo geológico.
- Modelo geomecánico.
- Modelo geotectónico de comportamiento.

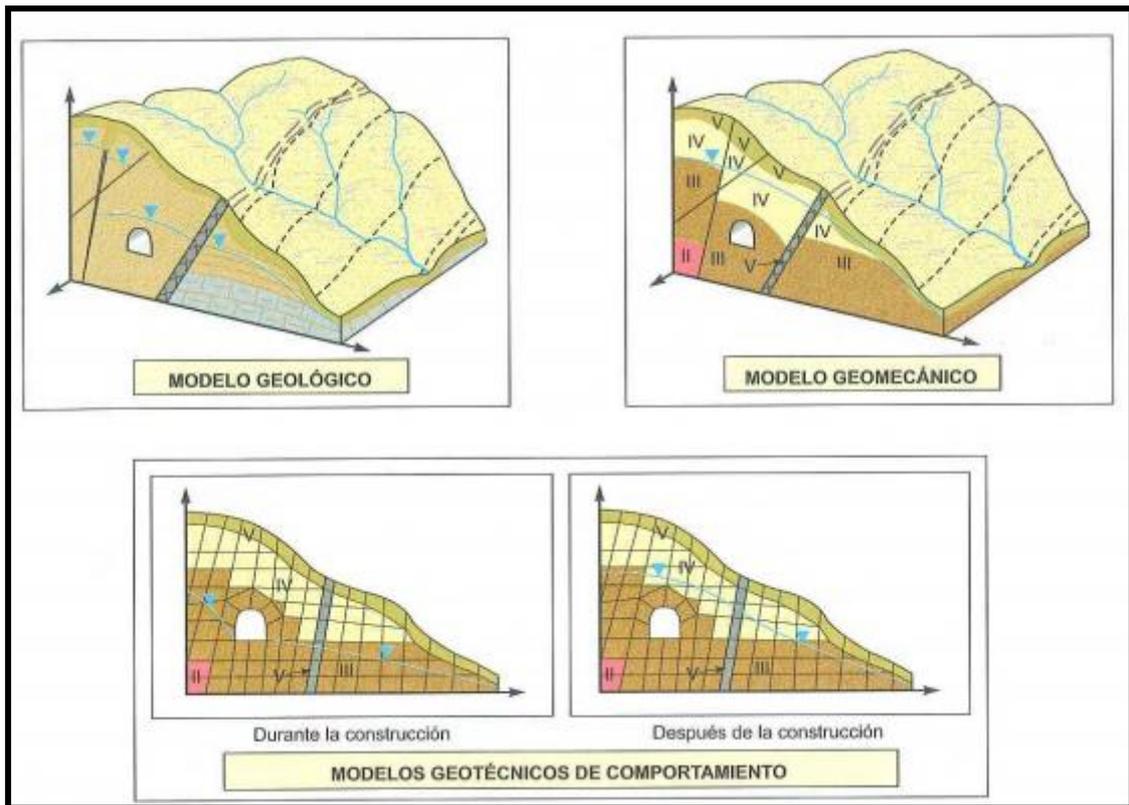


Figura N° 14. : Ejemplos de modelización en ingeniería geológica (Gonzales V. L. 2002).

La figura muestra tres tipos de modelos, en los cuales se caracteriza el área, atendiendo a las necesidades de la obra a concebir, el primer modelo es el geológico y representa la distribución espacial de los materiales, estructuras tectónicas, datos geomorfológicos e hidrogeológicos, entre otros, presentes en el área de estudio y su entorno de influencia. El segundo es el modelo geomecánico y representa la caracterización geotécnica e hidrogeológica de los materiales además de su clasificación geomecánica. El modelo geotécnico de comportamiento por otro lado, representa la respuesta del terreno durante la construcción y después de la misma.

CAPITULO III

CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INVESTIGACIÓN

3.1 UBICACIÓN

El proyecto de investigación abarca un sector dentro de la red vial vecinal registrada como AP N° 501, comprendiendo el tramo; Chincheros – Huaccana, en la región Apurímac, provincia de Chincheros, distrito de Huaccana.

Geográficamente la zona de estudio se localiza en la Sierra Sur, dentro de la región Apurímac, aproximadamente entre las coordenadas geográficas 13° 27' 00'' Latitud Sur y 73° 43' 50'' de Longitud Oeste, a una altitud promedio de 4090 metros sobre el nivel del mar, y según las siguientes coordenadas UTM en el sistema WGS'84 – Zona 18 S:

- Vértice A. 8'513,276 N y 637,714 E.
- Vértice B. 8'513,319 N y 637,735 E.
- Vértice C. 8'513,218 N y 637,789 E.
- Vértice D. 8'513,255 N y 637,813 E.

En la **figura N° 15**, se detalla la ubicación de la zona en estudio.

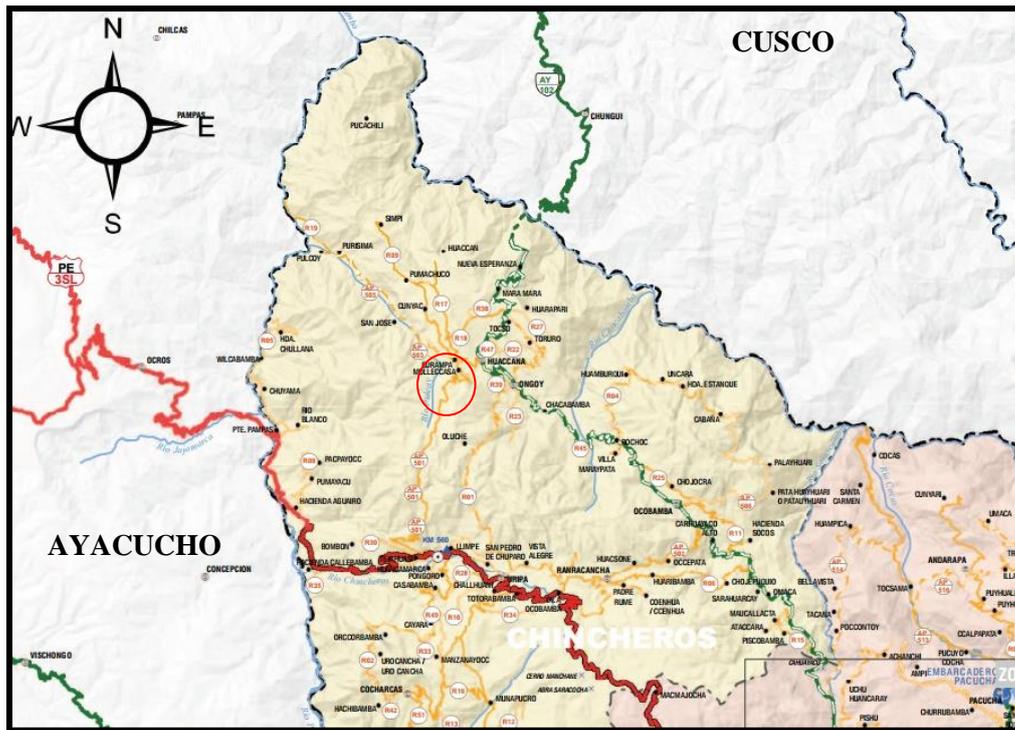


Figura N° 16. : Vías de comunicación y zonas de accesos (Fuente: propia)

3.3 CLIMA

La zona en estudio presenta un clima variado dependiendo de los meses del año, los cuales se caracterizan por la presencia constante del sol, el cual brilla aún durante la época de lluvias, inmediatamente después de caer estas.

El clima en el área, está marcada por el dominio de dos estaciones principales, una estación frígida y seca entre Abril – Setiembre, ventosa entre los meses de Junio – Agosto, con temperaturas mínimas que durante el día suelen alcanzar los 12° C, la estación coincide con la mínima precipitación pluvial, en las noches predominan heladas con temperaturas por debajo a los 0° C. La otra estación es templada a fría, entre setiembre y abril, durante este periodo la temperatura con el día puede sobre pasar los 18° C, esta época generalmente se caracteriza por ser un periodo lluvioso que se acentúa entre los meses de Diciembre a Marzo.

Dentro de las clasificaciones de las regiones naturales, pertenece a la región Suni, región natural de los Andes que se ubica entre los 3,500 y los 4,000–4,100 msnm.

3.4 FAUNA Y VEGETACIÓN

La fauna en esta zona específica está representada por aves silvestres y animales carnívoros como el zorro, además destacan las vizcachas, cuyes silvestres, gavilanes. La trucha es la característica principal de la laguna Tinkiccocha. La flora destaca por variedades como la cola de zorro y la cantuta, en zona de menos altitud crece el sauco, además de esta representada en su mayoría por el típico ichu.



Figura N°17.: Flora y fauna presentes en la zona de investigación (Fuente propia).

3.5 CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS A NIVEL REGIONAL

El área en investigación se ha desarrollado en este acápite, sobre la base de información publicada por el INGEMMET en sus cuadrángulos geológicos a escala 1:100 000, complementados con los trabajos de interpretación de imágenes en Google Earth y recorridos de campo en el ámbito regional.

3.5.1 MARCO GEOLÓGICO

El área de influencia a nivel regional, del proyecto de investigación, se encuentra ubicada en la Cordillera Occidental, bordeado al este, oeste y norte por el río Pampas. La laguna Tinkiccocha, motivo de estudio, se emplaza adyacente al valle del río Pulcay, en el contacto del complejo granítico de Querobamba y los depósitos morrénicos datados que se extienden hasta el poblado de Huaccana.

Litológicamente la zona, está constituida por rocas paleozoicas y cretácicas. Los depósitos inconsolidados y de cobertura reciente se encuentran conformados por sedimentos aluviales, eluviales y depósitos de abanicos aluviales.



Figura N° 15. : Plano de ubicación de la zona de estudio (Fuente: propia)

3.2 VÍAS DE COMUNICACIÓN

Las vías de comunicación hacia el proyecto en mención, tiene las siguientes rutas de acceso:

Vía terrestre: Lima hacia el pueblo de Chincheros (Apurímac). El viaje toma un tiempo aproximado de 14 horas hasta llegar a la localidad de Chincheros. Desde este punto se embarca en vehículos ligeros que tienen como destino el pueblo de Huaccana, la zona de investigación se encuentra a mitad de este recorrido a aproximadamente una hora de viaje (camino Trocha).

Vía aérea: Vuelo a la ciudad de Andahuaylas. El viaje toma un tiempo de 1 hora y 20 minutos hasta llegar a la ciudad de Andahuaylas. Desde este punto es por vía terrestre Andahuaylas – Chincheros – Zona de estudio.

Geomorfológicamente presenta relieves moderados con cambios bruscos en zonas gobernadas por el complejo Querobamba, principalmente los acantilados.

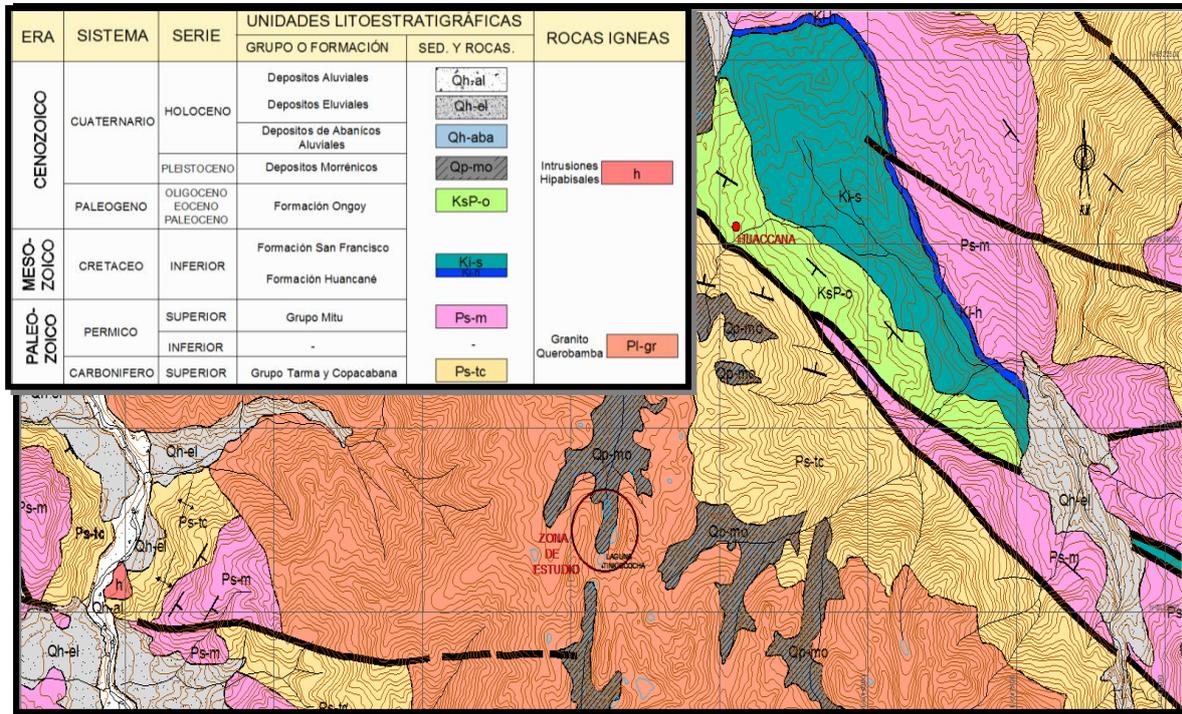


Figura N° 18. : Plano geológico regional (Fuente: propia)

3.5.2 LITOLOGÍA

En esta sección se presentan las características geológicas dominantes en la zona del proyecto de investigación. La importancia del tema geológico radica principalmente en su influencia sobre las condiciones geológicas y geodinámicas que afectan la zona, teniendo en cuenta que el conocimiento de la litología y la estratigrafía, permitirán evaluar la naturaleza de las formaciones rocosas.

En la zona de estudio destacan unidades litoestratigráficas Paleozoicas, Mesozoicas y Cenozoicas. Como representantes Paleozoicos tenemos en el sistema carbonífero y pérmico, al grupo Tarma y el grupo Mitu respectivamente, en el Mesozoico se datan rocas cretácicas de la formación San Francisco y Huancané, la era Cenozoica por su parte está representada por la formación Ongoy del paleógeno. Las unidades ígneas (rocas plutónicas y volcánicas), que se distribuyen regionalmente, son Paleozoicas y Cenozoicas, el granito Querobamba e intrusiones hipabisales respectivamente. Con todo esto se considera que la litología es una de las propiedades más importantes que tiene la geología, que junto con la geomorfología, geomecánica y

geodinámica, se pueden determinar las mayores o menores resistencias que tienen las formaciones rocosas frente a la meteorización provocada por los agentes externos. A continuación se describe la columna cronoestratigráfica:

Cuadro VII. : Columna cronoestratigráfica regional (Fuente: propia)

ERA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOSTRATIGRÁFICAS		ROCAS IGNEAS
			GRUPO O FORMACIÓN	SED. Y ROCAS.	
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO	Depositos Aluviales		Intrusiones Hipabisales
			Depositos Eluviales		
			Depositos de Abanicos Aluviales		
	PLEISTOCENO	Depositos Morrénicos			
	PALEOGENO	OLIGOCENO EOCENO PALEOCENO	Formación Ongoy		
MESOZOICO	CRETACEO	INFERIOR	Formación San Francisco	 	
			Formación Huancané		
PALEOZOICO	PERMICO	SUPERIOR	Grupo Mitu		Granito Querobamba
		INFERIOR	-	-	
	CARBONIFERO	SUPERIOR	Grupo Tarma y Copacabana		

3.5.2.1 Paleozoico

Las formaciones paleozoicas que afloran regionalmente están constituidas por los grupos Tarma y Copacabana y el grupo Mitu.

a) Grupo Tarma y Copacabana (Ps-tc)

Regionalmente describimos como grupo Tarma y Copacabana a una potente serie de lutitas negras y calizas, cuyo principal afloramiento se encuentra al NE de la zona en estudio. Este grupo está conformado por secuencias sedimentarias de 100 a 200 metros de potencia de las cuales; las dos terceras partes inferiores corresponden a lutitas y el tercio superior a calizas. Son secuencias estrato-crecientes y grano-crecientes.

Las calizas se presentan generalmente en bancos pequeños (20 a 50cm.), muy oscuras, micríticas, con alteración gris oscuro a claro. Los niveles de grano grueso están frecuentemente dolomitizados y sobresalen por estar menos afectados por la disolución Kárstica. (INGEMMET, boletín N° 70A).

Las lutitas son negras y de alteración gris claro a oscuro, siendo muy duras debido a su intensa litificación y la que localmente presentan una silicificación por metamorfismo de contacto. Son de ambiente sedimentario de más profundidad que las calizas, posiblemente de plataforma marina y de mediana profundidad.

El metamorfismo de contacto puede ser muy intenso en ciertas zonas, donde las calizas y lutitas están intruidas por el granito de Querobamba. La edad designada para este grupo es Carbonífero superior-Pérmico. (INGEMMET, boletín N° 70A).

b) Grupo Mitu (Ps-m)

El Grupo Mitu consiste en una secuencia delgada (100-200 m.) de color rojo oscuro a violáceo, compuesta por areniscas y lodolitas rojas además de conglomerados finos con fragmentos de granito rojo en la base y tobas soldadas y brechosas con abundante material calcáreo, intercaladas con derrames volcánicos delgados, hacia la parte superior. La edad designada para este grupo es Pérmico Superior. (INGEMMET, boletín N° 70A).

3.5.2.2 Mesozoico

Las rocas sedimentarias del Mesozoico no están bien representadas regionalmente en la zona en estudio, siendo solo reconocidas las formaciones San Francisco y una pequeña porción de la formación Huancané.

a) Formación San Francisco (Ki-s)

Se trata de una serie de arcillas rojas con niveles verduscos e intercaladas con bancos de areniscas rojas y de cuarcitas blancas; Estos sedimentos, esencialmente continentales afloran en las cercanías del poblado llamado Huaccana, Descansando en concordancia paralela sobre el Grupo Mitu y está cubierta en discordancia angular por capas rojas conglomerádicas.

El ambiente sedimentario de la Formación San Francisco de la región Ongoy-Huaccana corresponde a un sistema muy distal desaguando hacia el SW. (INGEMMET, boletín N° 70A).

b) Formación Huancané (Ki-h)

Aparece mínimamente adyacente a la formación San Francisco, se trata de rocas areniscas y cuarcitas de una potencia de 100 m. de espesor.

3.5.2.3 Cenozoico

Los depósitos del Cenozoico a nivel regional en la zona de estudio, se presentan principalmente como depósitos morrénicos, depósitos aluviales, depósitos de abanicos aluviales y la formación Ongoy, siendo esta la más antigua y que además pertenece también al cretáceo superior pero que ha sido tipificado como cenozoico por estar caracterizada mayormente en este (paleoceno-oligoceno).

a) Formación Ongoy (Ksp-o)

Se describe como una serie de sedimentos fluviales rojos conglomerádicos y arenosos que afloran esporádicamente al Noreste de la zona en estudio. En todos sus afloramientos la formación Ongoy ofrece las mismas características:

- Es de ambiente sedimentario fluvial proximal.
- Presenta una organización granulométrica granodecreciente.
- Su color rojo ladrillo, muy diferente al de los sedimentos fluviales del Grupo Mitu que tienen un color más oscuro (concho de vino).
- Cada secuencia tiene de 10 a 30 m. de potencia.
- La edad asignada a esta formación es Paleoceno-Oligoceno.

Depósitos recientes. Son todos los depósitos que comúnmente se les denomina “cuaternario”, constituyen el material de cobertura generalmente no consolidado, distribuido irregularmente en la zona, pero que muy bien pueden ser más antiguos y llegar hasta el Pleistoceno.

b) Depósitos morrénicos (Qp-mo)

Bajo esta denominación se describe a un till constituido por acumulaciones de arcillas y arenas que engloban clastos heterométricos, con grosores que alcanzan entre 40 y 60 m. estos depósitos se encuentran a partir de los 3500 m.s.n.m. en los sectores

laterales y frontales de los valles glaciares (INGEMMET, boletín N° 70A), actualmente en proceso de disección y se exponen principalmente en contacto con el complejo Querobamba en el área de influencia de la zona en estudio.



Figura N° 19. : Fotografía de depósitos morrénicos, el complejo Querobamba, depósitos eluviales y la laguna Tinkicocha (Fuente: propia).

c) Depósitos de abanicos aluviales (Qh-aba)

Son los que se observan esencialmente en los ríos y quebradas tributarias del río Pampas. Están constituidos por conglomerados transportados por los ríos de fuerte pendiente que desembocan en el mencionado río.

Constituyen, según los valles considerados, de dos o tres secuencias cada una granocreciente, con clastos angulosos a subredondeados cuyo tamaño puede alcanzar un metro en las zonas proximales.

d) Depósitos eluviales (Qh-el)

Son materiales meteorizados conformados por arena gruesa, gravas y limos, involucrando bloques de rocas del complejo Querobamba, que se encuentran todavía cerca de su punto de formación, estas delgadas coberturas de suelos se encuentran

ubicados principalmente en las laderas, estos depósitos pertenecen al cuaternario – Holoceno.

e) **Depósitos aluviales (Qh-al)**

Corresponden a los aluviones actuales o muy recientes del río Pampas, se trata de material de escombros de gravas y conglomerados polimícticos, mal clasificados por una matriz arcillosa arenosa, en los niveles aluviales relativamente antiguos, que conforman terrazas dominantes de 10 a 20 m. en el curso actual de este río. (INGEMMET, boletín N° 70A).



Figura N° 20. : Fotografía de depósitos aluviales y el río Pampas (Fuente: propia).

3.5.2.4 **Rocas intrusivas**

Las rocas intrusivas del sector en estudio están representadas por rocas plutónicas de edad permiana, cortando a las diferentes formaciones litológicas, que afloran regionalmente.

a) **Complejo granítico Querobamba (Pl-gr)**

Es un macizo plutónico que infrayace discordante al Grupo Mitu, se le encuentra situado en el tramo de Chincheros hacia Huaccana, estando limitado en gran parte de su extensión por los ríos Pampas y Pulcay.

Según una muestra de mano obtenida en las cercanías del área de estudio, esta roca macroscópicamente tiene un color gris con tono rosado, presenta una textura granular. Los minerales esenciales son las Plagioclasas (20%), Feldespatos Potásicos (40%), Cuarzo (30%), y como minerales accesorios bitotia muscovita (10%). Los porcentajes se determinaron de una muestra de mano empíricamente.

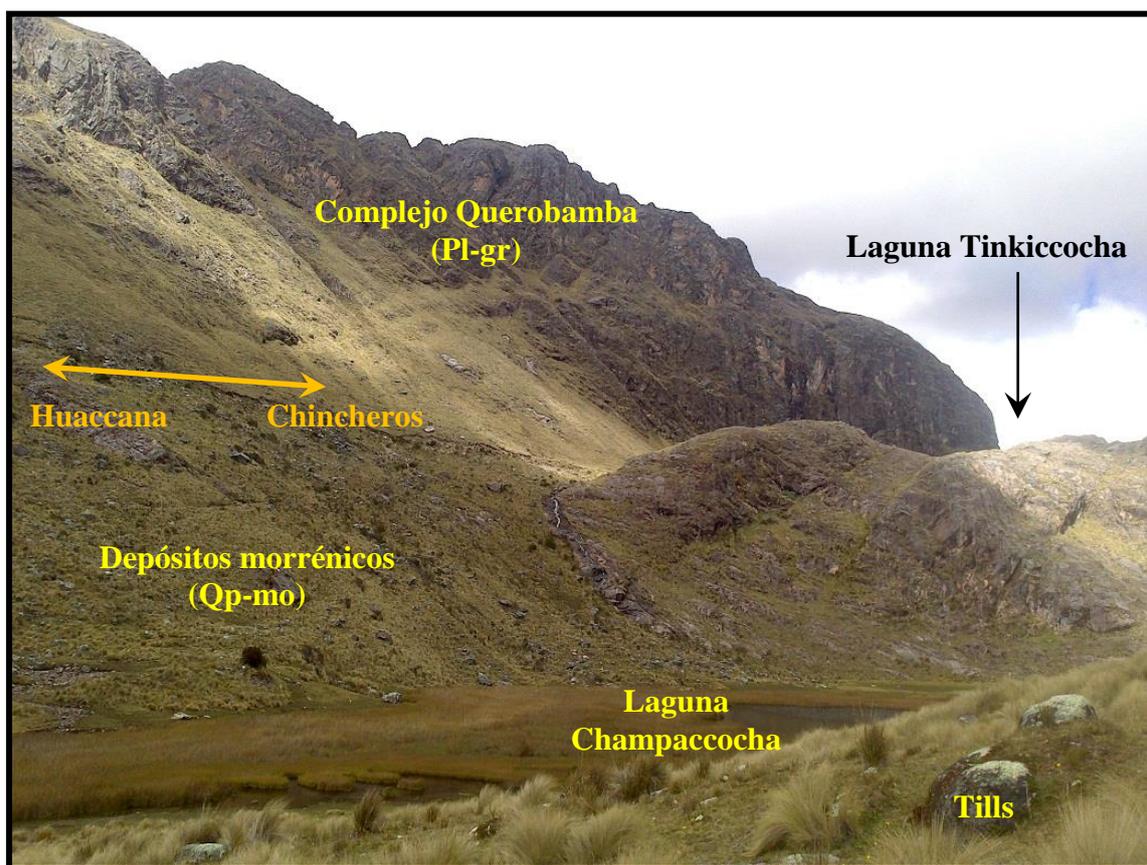


Figura N° 21. : Fotografía del complejo Querobamba y depósitos morrénicos, laguna Champacocha (Fuente: propia).

b) Rocas hipabisales (h)

Al Oeste de la zona en estudio afloran una serie de pequeños stocks ácidos de composición riolítica. Estos cuerpos hipabisales se encuentran intruyendo indiferentemente a las series pelitocarbonatadas del Grupo Tarma-Copacabana, a la secuencia detrítica de las formación Ongoy del Cretácico superior-Paleógeno por lo que la edad de su emplazamiento eventualmente se le asignaría al Pleistoceno-Cuaternario. (INGEMMET, boletín N° 70A).

3.5.3 ASPECTOS ESTRUCTURALES

Estructuralmente el área se encuentra afectada por plegamientos y fallamientos, los cuales han ocasionado la formación de anticlinales y sinclinales, originando el fracturamiento y reordenamiento de la estructura original de las unidades rocosas causando fracturas y diaclasas. Las malas condiciones de los afloramientos por la vegetación y la fuerte alteración de las rocas, impiden efectuar una buena observación de las estructuras en las unidades del Paleozoico inferior.

El estilo tectónico es característico de los terrenos deformados a gran profundidad (10 Km. a mas) y que hayan sido posteriormente transportados a la superficie por levantamiento y erosión. Es decir que en un gran periodo de tiempo pasó entre el momento de la deformación y la puesta al descubierto de estos terrenos.

Las únicas estructuras observadas son pliegues métricos y micropliegues cuyos ejes tienen un rumbo que varía de E-W a NW-SE. Dichos pliegues están asociados a una esquistosidad de plano axial. Un metamorfismo epitermal afecta a las rocas (cuarcitas y micaesquistos) que proceden de una serie sedimentaria de tipo sílico-clástico. Existen por lo menos dos fases de microplegamiento, la primera fase es sinmetamórfica y contemporánea de una esquistosidad de flujo. La segunda fase es de menor intensidad y solo muestra una esquistosidad de fractura (MATTAUER M. 1976-Deformaciones de Materiales de la Corteza Terrestre).

3.5.4 CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS

Los rasgos geomorfológicos son el resultado de procesos tectónicos (plegamientos y fallamientos), procesos exógenos (Clima, precipitaciones, escorrentía superficial, etc.) junto con las características litológicas de las formaciones geológicas, las cuales han sido modelados, presentando una topografía agreste con zonas accidentales y depresiones de la denudación y acción de los fenómenos meteorológicos, con una delgada cobertura de suelos (VERA T.J. A. – 1994 - Estratigrafía principios y métodos).

Las estructuras preponderantes que han controlado el modelado de la región son las fallas y plegamientos, ocasionando el fracturamiento y dislocamiento de las formaciones rocosas.

3.5.4.1 Procesos geomorfológicos

El modelamiento geomorfológico es un proceso directamente relacionado con la naturaleza de las rocas existentes y los fenómenos meteorológicos a los que son expuestos, los mismos que la modelan en mayor o menor grado, originando las diferentes formas en función de la naturaleza de las rocas preexistentes y el grado de persistencia de los fenómenos externos.

En las diferentes etapas del desarrollo geológico de la tierra han ocurrido eventos de gran magnitud, que han marcado estadios de gran magnitud, con características específicas y particulares, las cuales se describen a continuación en forma generalizada.

La caracterización geomorfológica presentada, es el resultado de la revisión de las publicaciones existentes sobre el tema, el análisis cartográfico, la interpretación de imágenes satelitales y la evaluación de campo. La fisiografía del área de estudio, esta entendida como las formas básicas del relieve presentes. Las formas “secundarias”, son el reflejo de los distintos procesos de modelado.

3.5.4.2 Unidades geomorfológicas

Las características del área de influencia del proyecto de investigación están definidas por las siguientes Unidades Geomorfológicas:

a) Superficie Puna

Esta unidad geomorfológica abarca la zona de influencia del área en estudio. Está situada entre los 4,000 y 4,600 m.s.n.m. Está referida a terrenos topográficamente de mayor cota. El modelado superficial denota crestas escarpadas, quebradas estrechas, valles en U y morrenas. Litológicamente la unidad está comprendida por los grupos Tarma-Copacabana, Mitu y complejo Querobamba. La erosión es moderada, estando inicialmente controlada por la acción glaciaria en periodos pasados y erosión pluvial principalmente en la actualidad.

b) Flanco de Valle disectado

Su relieve muestra gran disección, conformada por numerosos ríos y quebradas que lo cruzan, los que finalmente desembocarían en los ríos Pampas y Torobamba. En

general su relieve se torna accidentado con prominencias y depresiones longitudinales y sucesivas. La erosión en la unidad geomorfológica es progresiva, siendo la acción fluvial el agente activo, también actúan los fenómenos eólicos y geodinámicos.

A lo largo de su extensión la unidad comprende a diversas unidades litológicas, tales como grupos Tarma-Copacabana, Mitu, complejo Querobamba y la formación Ongoy.

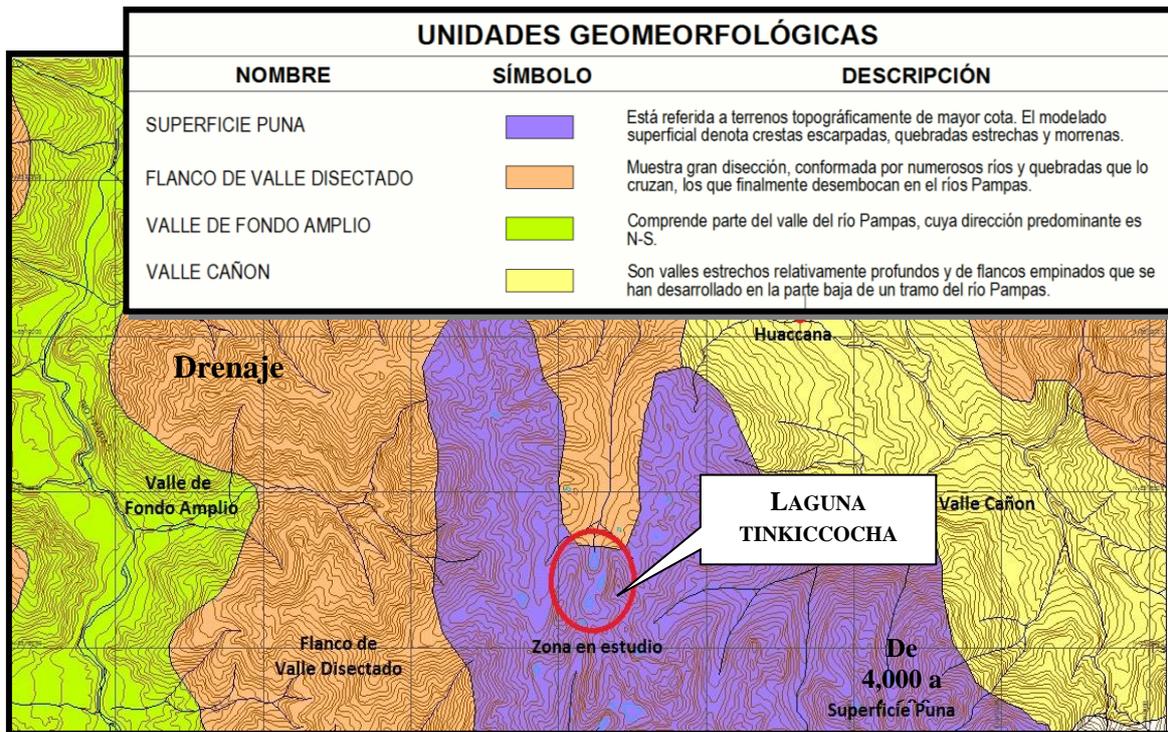


Figura N° 22. : Plano geomorfológico regional (Fuente: propia).

c) Valle de fondo amplio

Unidad que comprende parte del valle del río Pampas, cuya dirección predominante es N-S hasta su unión con el valle del río Torobamba. Este tipo de geoforma es el resultado de un permanente y progresivo proceso de erosión el que ha dado lugar a un socavamiento y profundización del Valle por donde discurre el río Pampas, desarrollando cierta sinuosidad en su curso y bisectando indiferentemente las terrazas formadas a ambos lados del río.

Litológicamente el valle atraviesa en gran parte las series de los grupos Tarma-Copacabana, Mitu y del complejo Querobamba y depósitos cuaternarios holocenos.

d) Valle cañón

Son valles estrechos, relativamente profundos y de flancos empinados que se han desarrollado en la parte baja de un tramo del río Pampas; habiendo sido labradas sobre unidades de los grupos Tarma-Copacabana, Mitu y depósitos recientes. El grado de erosión es marcado siendo controlado por la acción fluvial y la pendiente del terreno.

3.5.5 GEODINAMICA EXTERNA

Los tipos de riesgos geológicos que existen, están relacionados a factores fisiográficos, hidrológicos y climáticos, propios de la geomorfología de la región. De acuerdo a las observaciones de campo, existen tres tipos de amenazas principales que influyen en el sector, a continuación se detallan:

3.5.5.1 Inundaciones

Las inundaciones se generan cuando se desbordan los ríos que cubren temporalmente los terrenos bajos adyacentes a sus orillas, llamadas zonas inundables, estas ocurren especialmente durante los meses lluviosos (noviembre a marzo, con máximos entre febrero – marzo), como en el caso del río Pampas, el cual incrementa considerablemente su caudal, sobrepasando el nivel medio normal e inundando terrenos de cultivo aledaños a las orillas. Las causas principales en estas zonas son:

- Aumento considerable del caudal del río Pampas por intensas precipitaciones.
- Obstrucción del lecho y desvío del agua fuera del curso normal.
- Acumulación periódica de materiales sobre el río Pampas.
- Incremento del nivel de las aguas de las lagunas de la zona, originado por intensas precipitaciones pluviales.

3.5.5.2 Deslizamientos

Los deslizamientos son movimientos gravitacionales de masas de roca o suelo que se deslizan sobre una o varias superficies de rotura al superar la resistencia cortante en estos planos. En las inmediaciones de la zona en estudio, los deslizamientos se presentan favorecidos por los materiales sueltos que se han producido debido a la acción

agresiva de los paleoglaciares. (RAGAN M. D. -1980- Geología Estructural) Es característica la presencia de planos de rotura a lo largo del cual se produce el movimiento que puede ser lento o violento.



Figura N° 23. : Deslizamientos cercanos al distrito de Huaccana (Fuente: Diario Perú 21).

3.5.5.3 Erosión fluvial

El mecanismo de erosión fluvial, se realiza de acuerdo a la naturaleza de los materiales de las márgenes de los ríos, la saturación y pérdida de cohesión, provocan pequeños derrumbes. De este modo, al crecer el nivel del río, satura los materiales finos de las riberas y, posteriormente, al descender el nivel, se genera un exceso de presión de poros y mayor peso en las laderas, colapsando su estabilidad y por ende, el consecuente derrumbe. Como sucede en la orillas del río Pampas, en consecuencia de su naturaleza meándrica, las zonas cóncavas son las que sufren mayor erosión, mientras que las convexas se colmatan, lo cual repercute en el accionar de las inundaciones por desembocamiento de río.

3.6 GEOLOGÍA LOCAL

3.6.1 MARCO GEOLOGICO LOCAL

Esta evaluación geológica local, plantea el reconocimiento de las unidades litoestratigráficas y unidades ígneas presentes, así como sus características físicas, geomorfológicas y estructurales.

La laguna Tinkiccocha se emplaza sobre depósitos morrénicos conformados por tills (gravas, arenas y limos). Los diversos procesos morfodinámicos locales que se producen en el área, tienen un origen natural, las cuales son el resultado de la interacción de los factores fisicoquímicos y de los procesos geodinámicos.

Los trabajos de campo y gabinete que direccionaron este capítulo se detallan a continuación:

- Se ha realizado un reconocimiento general de las estructuras geológicas y morfológicas del sector.
- Con la evaluación detallada de todas las unidades del paisaje que conforman el área de investigación, se realizaron los planos: geológico, geomorfológico, zonificación sísmica y geodinámica además de la elaboración del perfil estratigráfico.

La identificación de las diferentes geoformas, ha sido determinada tomando en cuenta las características genéticas de la roca, pendiente o inclinación del terreno, características litológicas, edad de formación de las unidades estratigráficas, características estructurales (tectónica) y la evolución geohistórica de los procesos geodinámicos.

3.6.2 LITOLOGÍA

En esta sección se presentan las características geológicas dominantes en la zona de investigación, en ellas se han podido determinar las edades de formación de las unidades litoestratigráficas que rigen en la zona de la laguna Tinkiccocha, mismas que se detallan a continuación:

ERA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOSTRATIGRÁFICAS	
			GRUPO/FORMACIÓN	SED. Y ROCAS.
CENOZOICO	CUATER-NARIO	HOLOCENO	Depositos aluviales	
			Depositos eólicos	
		PLEISTOCENO	Depositos morrénicos	
PALEOZOICO	PÉRMICO	INFERIOR	Granito Querobamba	

Figura N° 24. : Columna estratigráfica a nivel local (Fuente: propia).

3.6.2.1 Cenozoico

a) Depósitos morrénicos

Dentro de este tipo de depósitos están incluidos aquellas masas de material de diversa litología que han sido arrastrados por acción de glaciares, hace miles de años y de los cuales presentan en su composición clastos de rocas de geometría tabular, y la característica principal que hace posible su reconocimiento en campo, es definitivamente las estrías que presentan estos clastos producto de el arrastre de la morrena (Comité Nacional Español De Grandes Presas (CNEGP) – 1999).

En la zona de investigación, los depósitos morrénicos se localizan en la margen izquierda de la laguna Tinkiccocha, como muestra la **figura N° 26**. Estos depósitos se presentan bloques y fragmentos de roca del cuerpo ígneo que aflora en la margen derecha, y que producto del arrastre, se encuentran diaclasados y estriados.

Las morrenas están compuestas de clastos de rocas en su mayoría subangulosas y tabulares, además presentan arenas de grano medio a grueso angulares y de composición granítica.



Figura N° 25. : Fotografía de la laguna Tikicocha (Fuente: propia).

b) Depósitos eluviales y aluviales

Los depósitos eluviales se presentan como delgadas coberturas de suelo acumuladas por efecto de la gravedad, los deslizamientos en la zona de estudio se encuentran sobre todo en la margen izquierda y los materiales aluviales se depositan en el curso del río, y están representados por clastos de roca subredondeados englobados en una matriz arenosa.

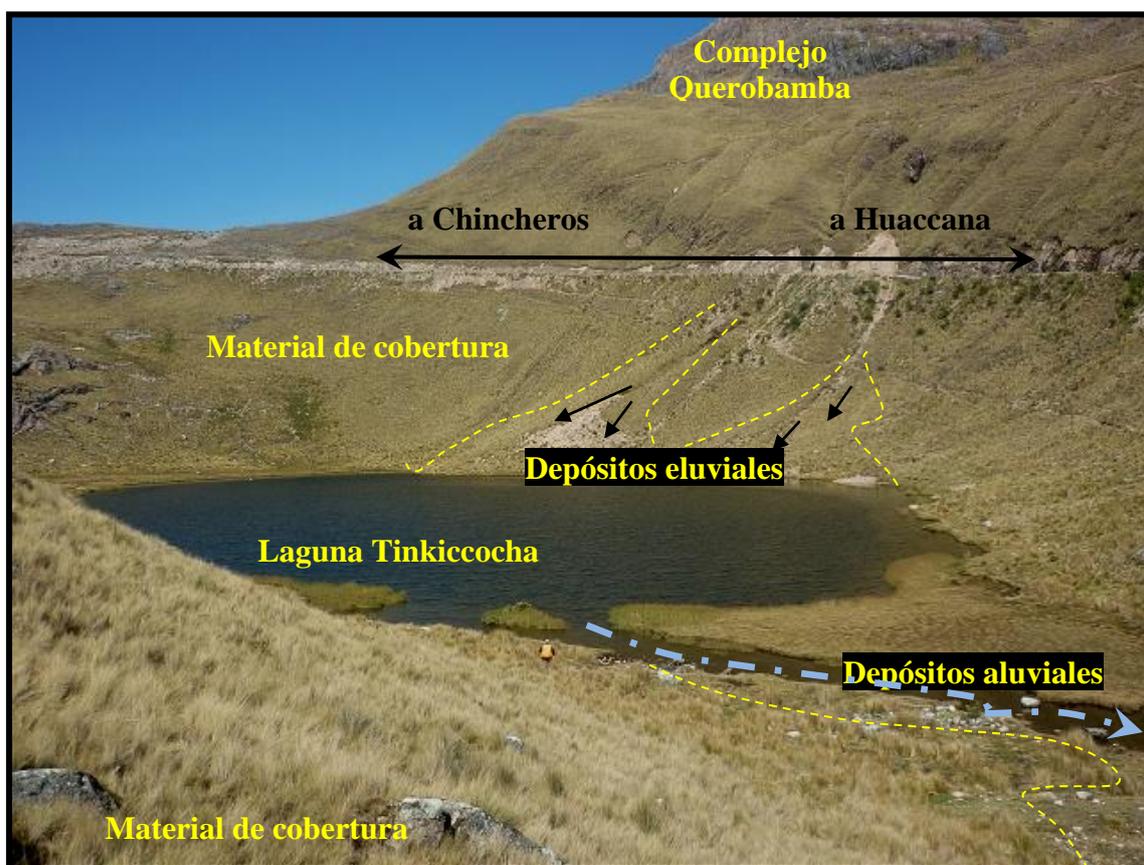


Figura N° 26. : Fotografía depósitos eluviales y aluviales (Fuente: propia).

3.6.2.2 Rocas intrusivas

En la zona de estudio mayormente los macizos rocosos están conformados por un complejo ígneo donde predomina el granito del pérmico inferior. Estas son rocas plutónicas que se encuentran parcialmente cubiertos por depósitos morrénicos, localmente ocupan los alrededores del proyecto y presentan un ligero diaclasamiento.

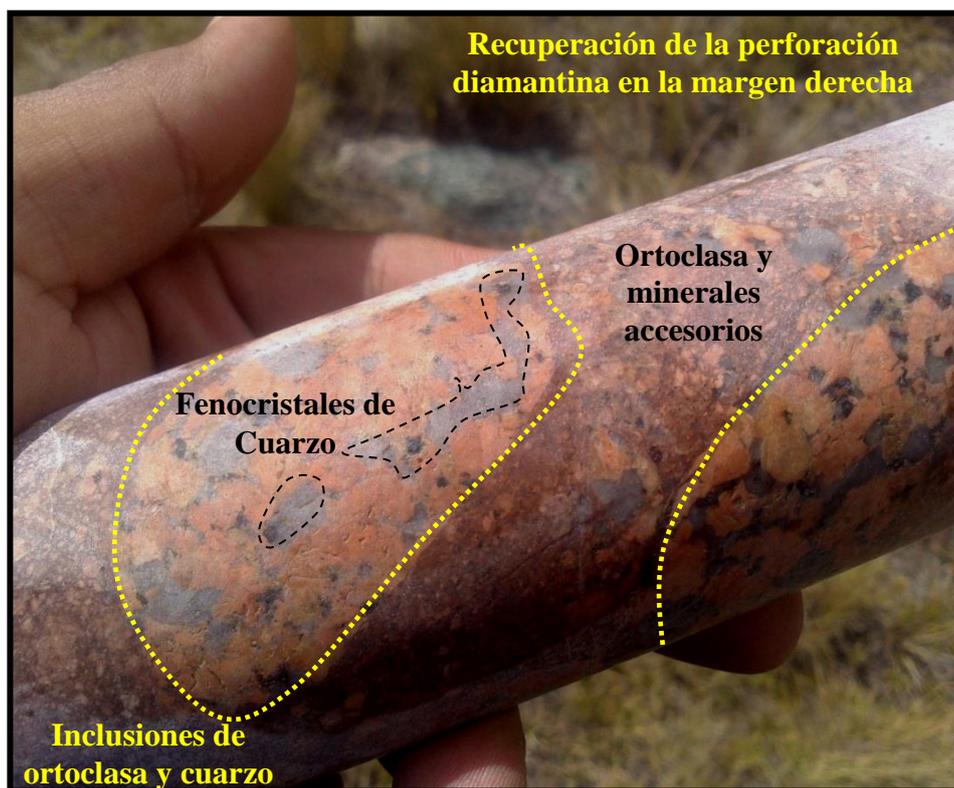


Figura N° 27. : Fotografía de muestra de roca de la perforación diamantina (Fuente: propia).

La roca granítica es de color rosado, tal y como se muestra en la **figura N° 25**. Esta es un plutón de geometría sub alargada que aflora a lo largo de la carretera Chincheros – Huaccana, esta unidad tiene una textura inequigranular, se aprecian fenocristales de cuarzo, esta muestra presenta inclusiones de ortoclasas con cuarzo y accesorios, tiene en promedio: Plagioclasas (20%), Feldespatos Potásicos (40%), Cuarzo (30%), y como minerales accesorios (10%).

Cabe resaltar que la bibliografía consultada detalla que la roca expuesta en ese sector, corresponde a un sieno-granito (boletín N° 70 de INGEMMET), el cual cuenta con un estudio microscópico petrográfico.

3.6.3 GEOMORFOLOGÍA

Las unidades geomorfológicas dominantes de la zona de investigación son:

3.6.3.1 Quebradas

Las quebradas en la zona en estudio se presentan siguiendo el curso del pequeño río formado por las corrientes desembocantes de la laguna Tinkiccocha hacia la otra laguna, están rellenas netamente por material de las morrenas, se observan dos quebradas que se unen en un punto en común, la quebrada de nombre Chaupiccocha y la quebrada Soccrococha, las cuales se unen para formar la quebrada Huaccana que llega a las inmediaciones del pueblo de mismo nombre.



Figura N° 28. : Fotografía de las quebradas uniéndose en un solo punto (Fuente: propia).

3.6.3.2 Laderas

Se muestran en la zona de estudio con pendientes moderadas a altas, las cuales están combinadas con otras unidades geológicas como lo son los conos eluviales, material de cobertura, y depósitos eluviales.

Las laderas que han permanecido estables por muchos años, pueden fallar en forma imprevista debido a cambios topográficos, sismicidad, flujos de agua subterránea, cambios en la resistencia del suelo, meteorización o factores de tipo antrópico o natural que modifiquen su estado natural de estabilidad.

3.6.3.3 Bofedales

En la zona se encuentra esta unidad en los bordes de las lagunas, y están en permanente humedad, los vegetales o plantas que habitan en él, reciben el nombre de vegetales hidrofíticos (plantas acuáticas). Su principal almacén proviene de precipitaciones pluviales y principalmente afloramientos superficiales de aguas subterráneas.

3.6.3.4 Afloramientos rocosos

Se presentan en la zona como el complejo granítico Querobamba, un cuerpo ígneo plutónico dispuesto de forma abrupta, formando escarpas y acantilados, en la parte NE de la laguna Tinkiccocha.

Los afloramientos se presentan a una altitud de 4250 m.s.n.m. y son rocas desnudas de color gris rosáceo, que han soportado la erosión y meteorización por parte de agentes externos, a lo largo de años pasados, bloques de este cuerpo rocoso yacen a lo largo de la zona de influencia del proyecto debido a la acción de las morrenas.

3.6.3.5 Conos eluviales

Estas geoformas se caracterizan por presentar material de deslizamientos depositados en las laderas, el material presente se cataloga como sedimentos finos, que se encuentran semi-consolidados a lo largo del cono. Los conos eluviales son testigos de los deslizamientos provocados por agentes externos e internos.

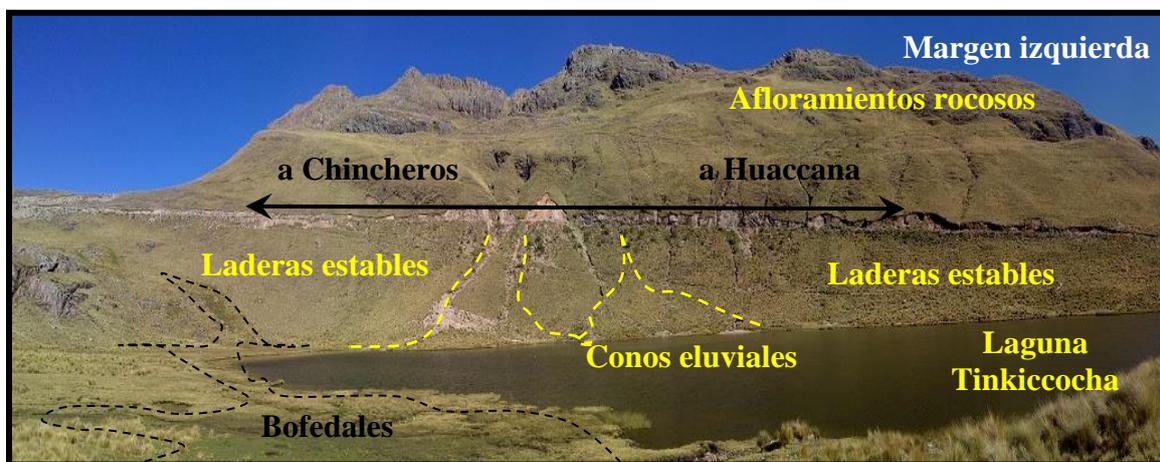


Figura N° 29. : Fotografía de la laguna Tinkiccocha y las principales unidades geomorfológicas (Fuente: propia).

3.6.4 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

La zona se encuentra emplazada netamente en la cordillera occidental, anexa a los valles cordilleranos. En el área encontramos al complejo granítico Querobamba, que como principal característica, se presenta en forma masiva gracias a su naturaleza ígnea plutónica, es por eso que está mínimamente afectada por las fallas regionales. Las Rocas que se encuentran diaclasadas, habrían sido causadas por las remociones y arrastre causado por el accionar de los glaciares.

Las características de este complejo se correlacionan a los eventos Tardío – Hercínicos, de la orogenia que afectaron la faja andina, esta es polifásica y se produjo durante el carbonífero superior, marcando nítidamente la discordancia angular sobre este complejo con el Grupo Tarma y Mitu. Se encuentra fallado en la zona Nororiental la cual presenta deformaciones insipientes en las crestas de farallones, el estilo tectónico está controlado por la litología potente del granito, la homogeneidad litológica del complejo impide la existencia de niveles fracturados que podrían favorecer zonas inestables (INGEMMET - 1999).

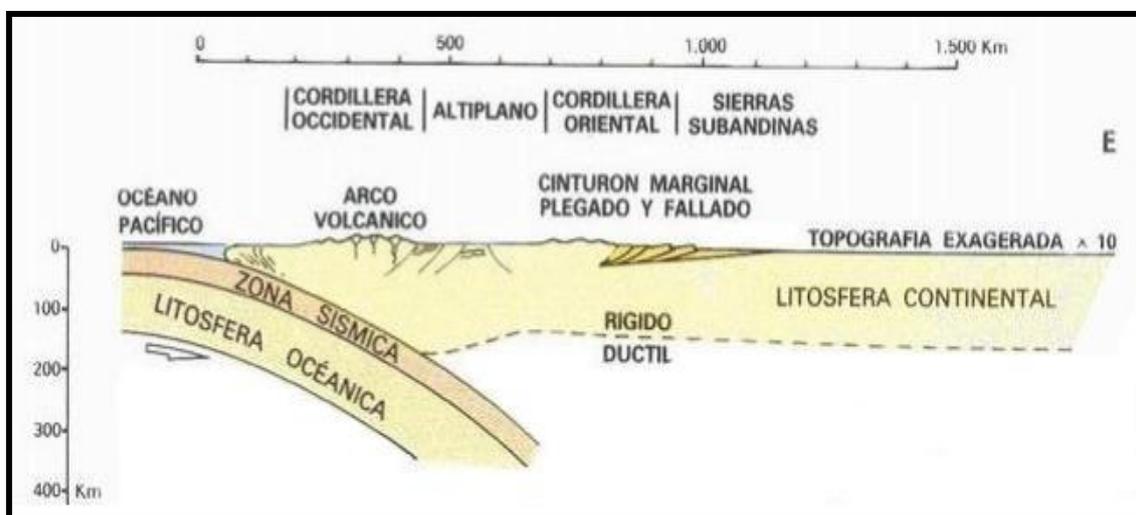


Figura N° 30. : Esquema morfoestructural de la zona en estudio (Luis Gonzales de Vallejo. Ingeniería geológica, 2002).

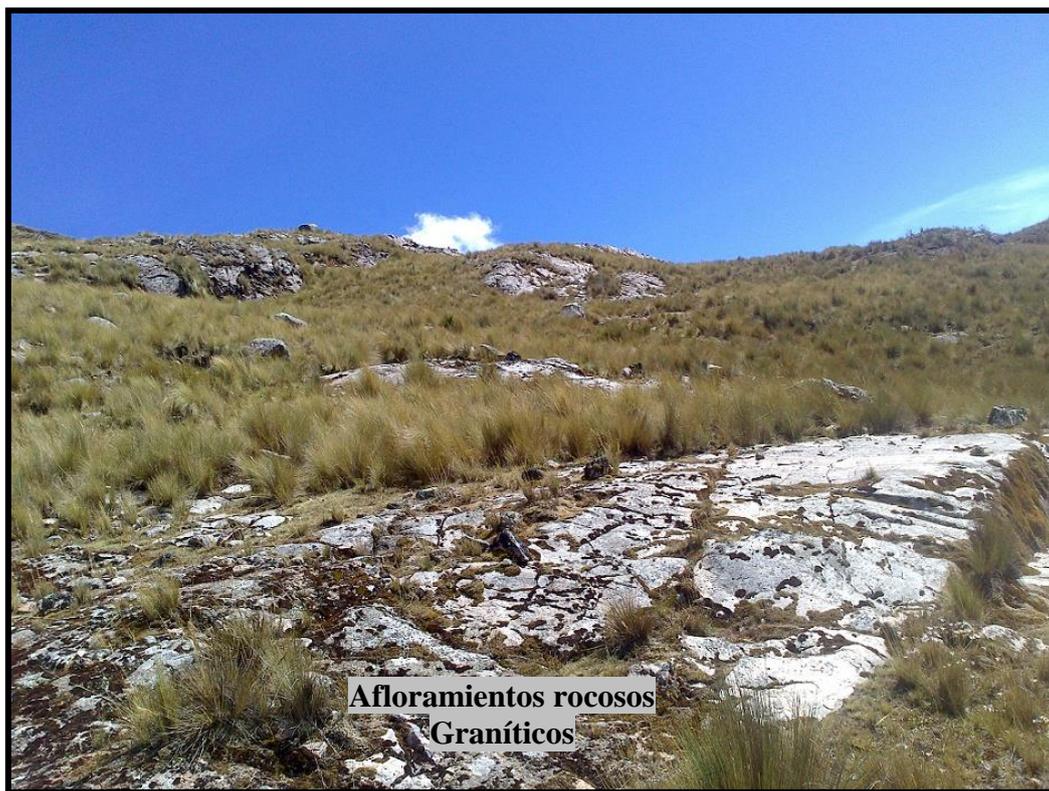


Figura N° 31. : Fotografía de las rocas graníticas diaclasadas (Fuente: propia).

3.6.5 GEODINÁMICA EXTERNA

Las condiciones en el área se encuentran estables, a pesar de estar conformados por depósitos cuaternarios sueltos; sin embargo los agentes geodinámicos presentes en la laguna Tinkiccocha, son principalmente estos depósitos, enmarcados como morrenas.

La evidencia concreta de este evento geodinámico queda registrada en la alteración del curso del pequeño río proveniente de la laguna Tinkiccocha, el ambiente se presenta húmedo por efectos del agua subterránea.

Las precipitaciones son el accionar de los deslizamientos producidos en la zona, al sur de la laguna Tinkiccocha, se presentan deslizamientos que forman los conos eluviales, más al Sur se evidencian zonas de mayor deslizamiento, en este caso los bloques estriados del complejo granítico se presentan en las laderas sostenidos por el material de cobertura.



Figura N° 32. : Fotografía del curso de río alterado por acción morrénica (Fuente: propia).

3.7 GEODINÁMICA INTERNA

Se refiere a los procesos endógenos de dinámica cortical originados en los niveles estructurales internos de la tierra y que no dependen de la interacción de los fenómenos atmosféricos; en la zona estudiada los fenómenos de geodinámica interna se relacionan con eventuales fenómenos sísmicos (LEGGET F. y KARROW F. P. -1986).

El fenómeno sismo constituye la expresión superficial de la ruptura cortical de masas pétreas sometidas a enormes esfuerzos de deformación donde la energía producto es liberada en forma de ondas elásticas que al desplazarse a través de la superficie generan las vibraciones que identificamos como sismo.

Podemos dimensionar un sismo cualitativamente mediante la medida de su intensidad que registra sus efectos en términos del grado de destrucción asociado y, cuantitativamente mediante la medida de su magnitud que registra la energía liberada, para lo cual se ha adoptado por convención la escala de Richter que va de 1 hasta el infinito, aunque en la práctica solo se han registrado sismos, según la escala, de 9 mb.

3.7.1 SISMICIDAD

La actividad sísmica en el Perú es debida principalmente al proceso de subducción de la placa de Nazca bajo la Sudamericana de norte a sur, en su borde oeste, con una velocidad relativa del orden de 8-10 cm/año. El margen continental oeste de Sudamérica es uno de los más activos y de los bordes de placa el mayor en la Tierra. Como resultado de este proceso se ha formado la Cordillera de los Andes en diferentes etapas orogénicas. La alta velocidad de convergencia de placas permite que se genere un fuerte acoplamiento entre ellas, produciendo frecuentemente sismos de diferentes magnitudes a diversos niveles de profundidad, ya sea en la superficie de fricción de las placas, en el interior de la placa continental o en el interior de la placa oceánica que se desplaza por debajo del continente. Las características de la sismicidad de Perú han sido ampliamente analizadas y discutidas por diversos autores; siendo las principales, las relacionadas con la distribución espacial de los focos sísmicos en superficie y en profundidad.

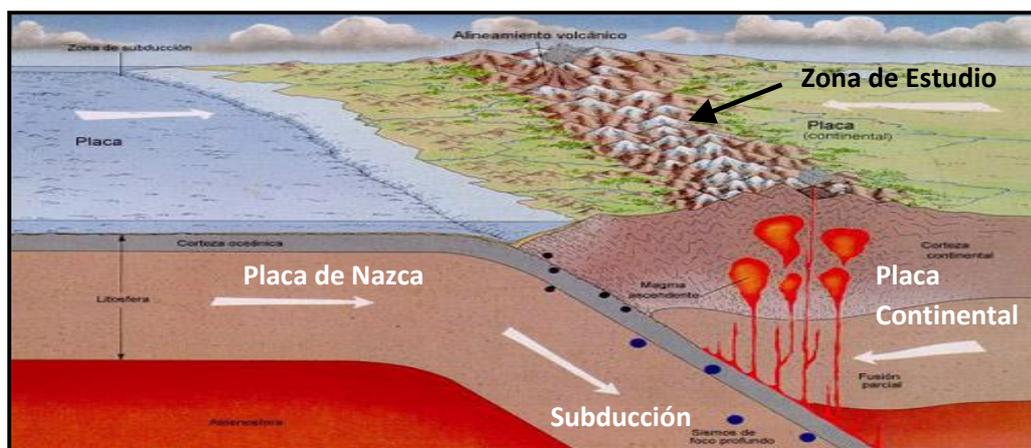


Figura N° 33. : Esquema de la zona de subducción en el Perú (Fuente: Internet).

3.7.2.1 Diseño sismo-resistente

Este acápite proporciona los parámetros requeridos para un eventual diseño sismo resistente orientado a minimizar el riesgo de daño material y asegurar la continuidad operativa de las obras de ingeniería luego de acontecido un sismo.

3.7.2.2 Zonificación sísmica

Para fines prácticos, en base a la distribución espacial de la sismicidad documentada en el país, así como a las características de los movimientos sísmicos y a las tendencias de intensidad decreciente con respecto a los epicentros registrados en el catálogo sísmico nacional, el territorio nacional queda segmentado tal como se muestra en las figuras siguientes:



Figura N° 34. : Mapa de zonificación sísmica (Fuente: Norma T. E.030 diseño sismo resistente).

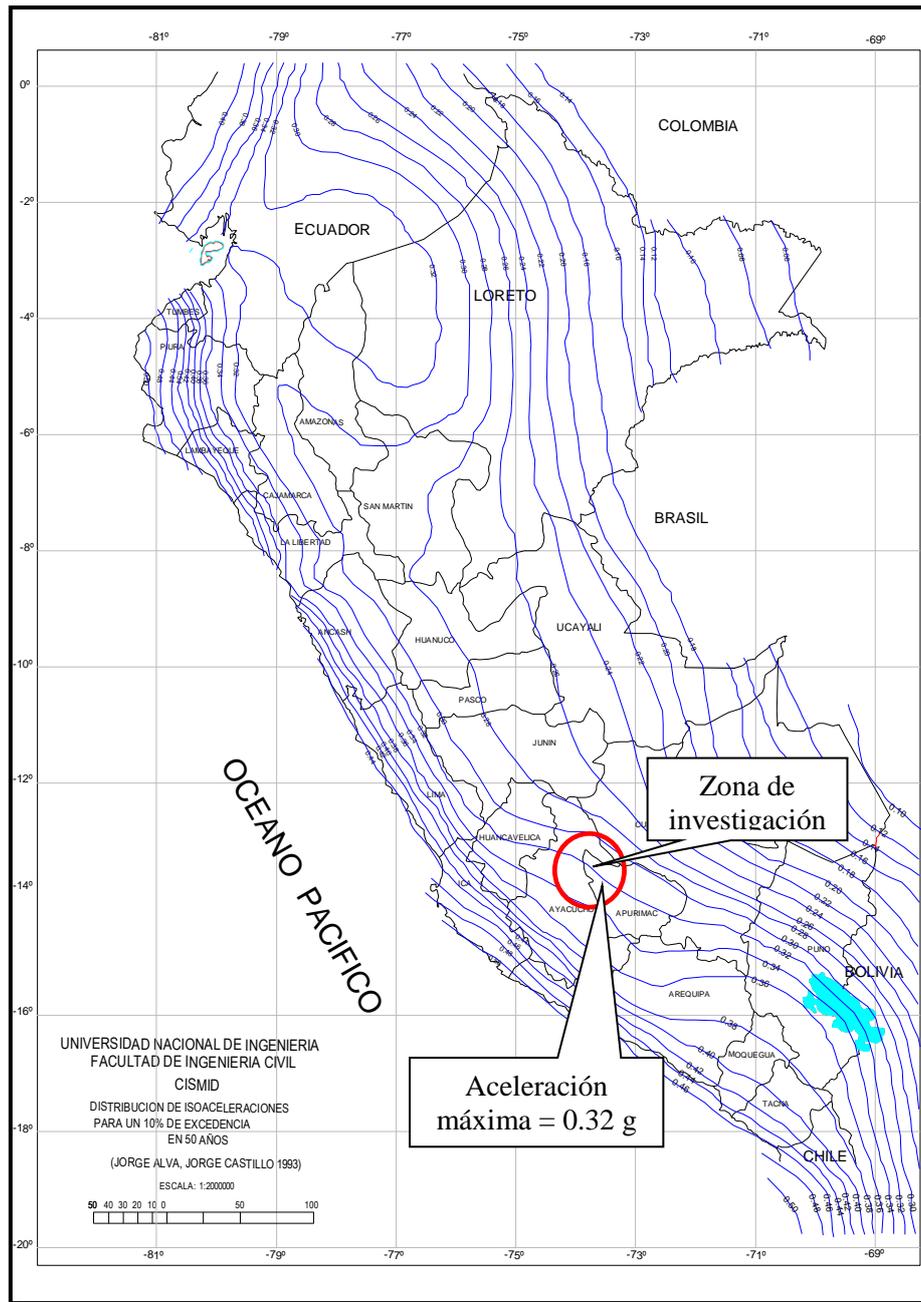


Figura N° 35. : Mapa de distribución de isoaceleraciones para un 10% de excedencia en 50 años (Fuente: CISMID).

Para los análisis de estabilidad por métodos pseudoestáticos para muros y taludes se recomienda emplear un coeficiente sísmico igual a 1/2 de aceleración máxima del terreno (peak ground acceleration PGA) y para presas y reservorios 2/3 de la aceleración máxima del terreno, según Kramer-1996 (quien considera que la aceleración pseudoestática en la simulaciones debería ser mucho menor que la máxima aceleración). Según el mapa de Isoaceleraciones de la figura anterior usaremos 0.32g. (0.16g para taludes y 0.21 para cuerpos de presa).

CAPITULO IV

EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 GEOTECNIA

En la laguna Tinkicocha se plantea la construcción de una presa de tierra; la altura de coronación alcanza los 19 metros y tendrá un ancho de 5.00 metros con una longitud de 130.00 metros, además tiene una inclinación de 1V / 2H en el talud aguas arriba y 1V / 2.5H aguas abajo.

El cuerpo de la presa estará conformado por material de préstamo (GM-GC), el cual se obtendrá de las cercanías del lugar (canteras), este material se compactará en capas, cabe resaltar que antes de la compactación se conformará el subdrenaje, constituido por material muy permeable (Gravas subangulosas).

El terreno en el cual se desplantará la presa, es de un material morrénico, y está cubierto por 1.00 m. aproximadamente de suelo biodisturbado por raíces, este se removerá para iniciar con la conformación del plinto o base de la presa. La altura a embalsar alcanza los 4093 m.s.n.m.

Los detalles de aliviaderos y demás obras de arte no se tomarán en cuenta en esta investigación, sin embargo, el tema de la impermeabilización del cuerpo de presa y la cimentación si se evaluará, teniendo en cuenta que para la mayoría de presas de tierra el tema de la impermeabilización del cuerpo se realiza con geotextiles y geomembranas dispuestos a manera de “sándwich”, por otra parte, la impermeabilización del suelo de cimentación se trabaja mediante inyecciones de productos químicos (RODRIGUEZ BADILLO F. I. – 2012).

4.1.1 INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA

Las condiciones geotécnicas de los materiales del suelo y subsuelo de fundación, se evaluaron a partir de los siguientes trabajos:

- Cartografiado geotécnico de rigor (el mismo que se detalla en los planos y perfiles anexos).
- RQD (Rock Quality Designation; índice que refleja el grado de fracturamiento de la roca).
- Ensayos de resistencia a cargas triaxiales, practicados sobre muestras obtenidas.
- Mediante testigos de perforaciones.
- Se realizaron también ensayos de permeabilidad insitu.
- Finalmente, para efectos de coadyuvar a la interpretación y modelación de las condiciones existentes en el segmento no visible del subsuelo, se recurrió a la refracción sísmica.

En conclusión en este capítulo se presentarán los trabajos realizados en campo y laboratorio, así como los resultados del estudio de suelos, cuya finalidad es determinar las características físico-mecánicas del suelo en estudio, requeridas para el diseño de los componentes del proyecto a realizarse.

4.1.1.1 Refracción sísmica

El ensayo de refracción sísmica consiste en la medición de los tiempos de viaje de las ondas compresionales (Ondas P) y algunas veces de las ondas de corte (Ondas S) generadas por alguna fuente de energía impulsiva a unos puntos localizados a diferentes distancias a lo largo de un eje sobre la superficie del suelo. La energía es detectada, amplificada y registrada, de tal manera que puede determinarse su tiempo de arribo en cada punto.

a) Trabajos de campo

El objetivo es determinar el perfil estratigráfico de la zona en estudio. Estas investigaciones están orientadas a conocer las características físicas de los materiales sueltos. Los métodos de refracción sísmica realizados en la zona de estudio, han consistido en la ejecución de 03 líneas sísmicas por el método tradicional para determinar las ondas de compresión “P”, la profundidad estimada de prospección es de 30 metros estas líneas se han ejecutado una en el eje de la presa proyectada y las otras dos perpendiculares a ella.

Los procedimientos de campo involucrados en la realización del ensayo de refracción, consistieron en la obtención de dromocrónicas, tanto de ida como de vuelta, incrementada con registros intermedios que mejoraban la calidad y resolución de la interpretación de los perfiles sísmicos (05 registros por línea sísmica). En la siguiente tabla se presenta la disposición geométrica empleada en campo y la ubicación en coordenada UTM de cada una de las líneas:

Tabla VIII. Ubicación de líneas sísmicas. (HIDROENERGÍA 2014).

Línea Sísmica LS	Onda	L. Tendido Sísmico (m)	Separación Geófonos (m)	Coordenada			
				Inicio de línea		Fin de línea	
				E	N	E	N
LS -1	P	100	4	637803.48	8513237.7	637722.22	8513290.0
LS -2	P	100	4	637769.56	8513159.0	637875.99	8513331.3
LS -3	P	100	4	637685.34	8513180.1	637865.78	8513411.1

A continuación se presenta los resultados de las capas representativas identificadas, sus respectivos rangos de velocidad, el estado de compacidad inferido de acuerdo a sus velocidades de ondas de propagación P obtenidas de tablas referenciales de velocidad por tipo de material y la interpretación de cada horizonte elástico.

Tabla IX. Resultados de refracción sísmica (HIDORENERGIA 2014).

LÍNEA SÍSMICA	ESTRATO (M)	VP (M/S)	ESPESOR (M)	INTERPRETACIÓN
LS-01	Nº1	689	2.80 - 7.00	Material de Cobertura, conformado por material morrena medio compacto.
	Nº2	4551	13.00	Roca poco fracturada.
LS-02	Nº1	860	1.90 - 6.70	Material de Cobertura, conformado por material morrena medio compacto.
	Nº2	4473	18.00	Roca poco fracturada.
LS-03	Nº1	681	2.70 - 6.50	Material de Cobertura, conformado por material morrena medio compacto.
	Nº2	4001	15.00	Roca poco fracturada.

En base a los resultados de los ensayos de refracción sísmica y según la información: geológica superficial y la topográfica se presenta la siguiente interpretación:

- **Línea Sísmica (LS-1).** Las dromocrónicas de esta línea muestran dos horizontes bien definidos: una primera capa de material de cobertura (morrenas) de variada granulometría medio compacta, cuya velocidad de ondas de compresión P es $V_p=690$ m/s, el espesor donde se manifiestan esta velocidades varía entre 2.8 a 7.0 m. Subyacente se tiene un segundo horizonte de elevada rigidez, estaría conformado por roca fracturada a poco fracturada de $V_p=4551$ m/s.
- **Línea Sísmica (LS-2).** Las dromocrónicas de esta línea muestran dos horizontes bien definidos: una primera capa de material de cobertura (morrenas) de variada granulometría medio compacta, cuya velocidad de ondas de compresión P es $V_p=860$ m/s, el espesor donde se manifiestan esta velocidades varía entre 1.9 a 7.0 m. Subyacente se tiene un segundo horizonte de elevada rigidez, estaría conformado por roca fracturada a poco fracturada de $V_p=4473$ m/s.
- **Línea Sísmica (LS-3).** Las dromocrónicas de esta línea muestran dos horizontes bien definidos: una primera capa de material de cobertura (morrenas) de variada granulometría medio compacta, cuya velocidad de ondas de compresión P es $V_p=680$ m/s, el espesor donde se manifiestan esta velocidades varía entre 2.7 a 6.5 m.

Subyacente se tiene un segundo horizonte de elevada rigidez, estaría conformado por roca fracturada a poco fracturada de $V_p=4473$ m/s.

Finalmente se tiene en consideración dos estratos muy bien definidos: El material morrénico, que en la margen derecha tiene una profundidad de 4.50 a 7 metros y en la margen izquierda de 6 a 8 metros. El otro estrato se trata de una roca ígnea moderadamente fracturada en la margen derecha, en la margen izquierda la fracturación se presenta desfavorable. La ubicación de las líneas sísmicas se presenta en la **figura N°36**.

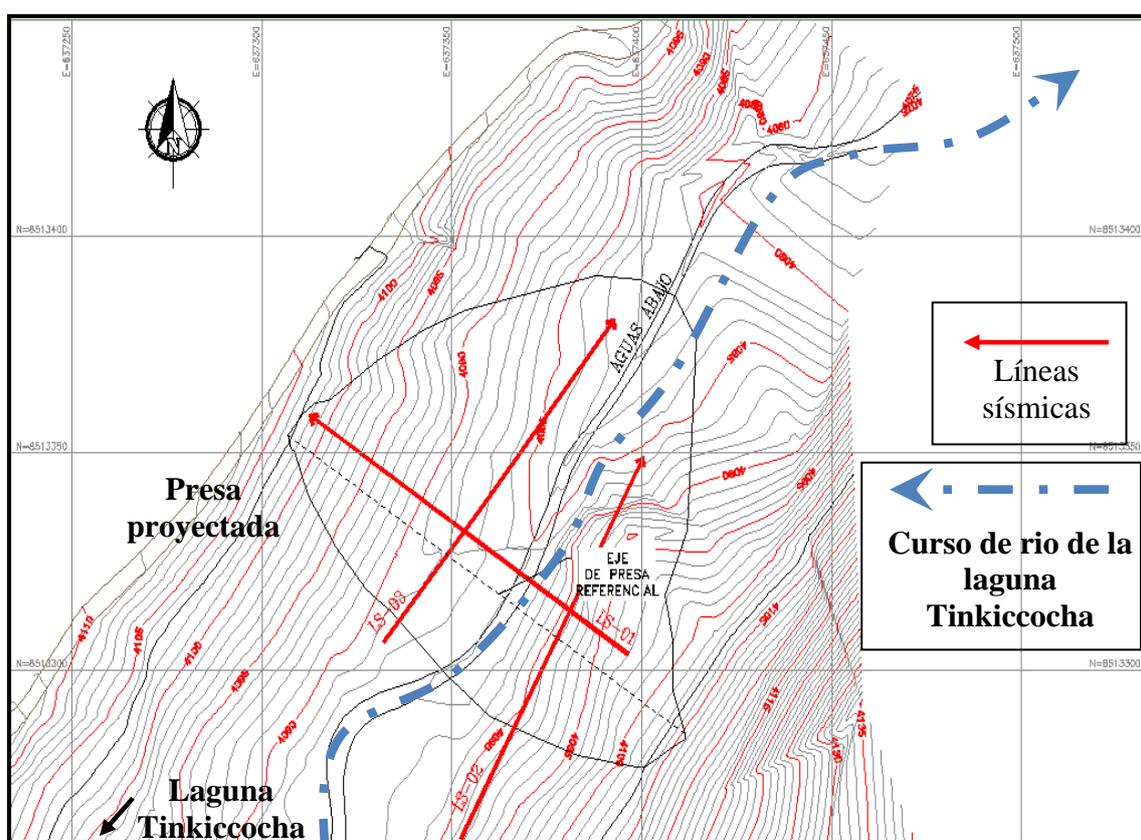


Figura N° 36. : Plano de líneas sísmicas en el eje de la presa (fuente: propia).



Figura N° 37. : Fotografía de la lectura del dispositivo Switch para la obtención de las dromocrónicas (fuente: propia).



Figura N° 38. : Fotografía del eje de la presa y disposición de líneas sísmicas (fuente: propia).

4.1.1.2 Excavaciones a cielo abierto

Con la finalidad de determinar las propiedades índice y el perfil del suelo de acuerdo a las características de los suelos, se han realizado 03 calicatas en la zona de la laguna Tinkiccocha, en zonas estratégicas, como complemento para la determinación del perfil estratigráfico.

Se recuperarán muestras disturbadas de cada uno de los tipos de suelos encontrados durante las excavaciones, en cantidad suficiente o representativa, para realizar los ensayos de clasificación e identificación de suelos.

Tabla X. Ubicación y profundidad de las calicatas realizadas en la zona (Fuente: propia.)

COD.	UBICACIÓN	COORDENADAS UTM (WGS -'84)		COTA TERRENO	PROF. (m.)	TIPO
	LAGUNA	ESTE	NORTE	m.s.n.m.		
C - 01	Tinkiccocha	637786.313	8513224.242	4086.80	1.50	Calicata
C - 02	Tinkiccocha	637774.619	8513237.294	4088.40	1.40	Calicata
C - 03	Tinkiccocha	637759.812	8513251.357	4078.00	1.50	Calicata

Los datos específicos de las calicatas realizadas se encuentran en los anexos correspondientes.

a) Calicatas

Se han excavado tres calicatas hasta una profundidad media de 1.5 metros cuyas, características litológicas se describen a continuación:

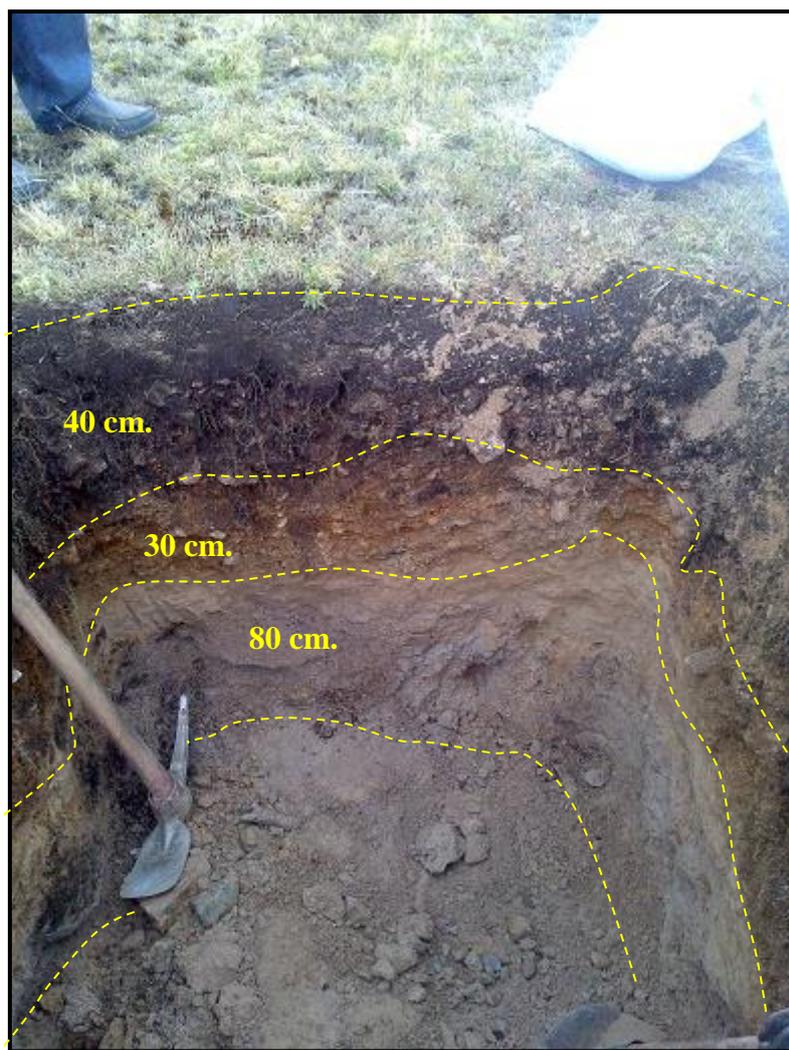


Figura N° 39. : Fotografía de la calicata C-01 (fuente: propia).

Calicata C-01. Se trata de una calicata de 1.5 m de profundidad; 40cm. de material orgánico de cobertura, bioturbado por raíces y con presencia de humedad, seguido de un paquete de material areno gravoso oxidado, las gravas tienen tamaños que varían desde 2 a 3 cm. de diámetro, este paquete tiene una potencia de 30cm. y el estrato restante se trata de arenas de grano medio con limos de color beige.

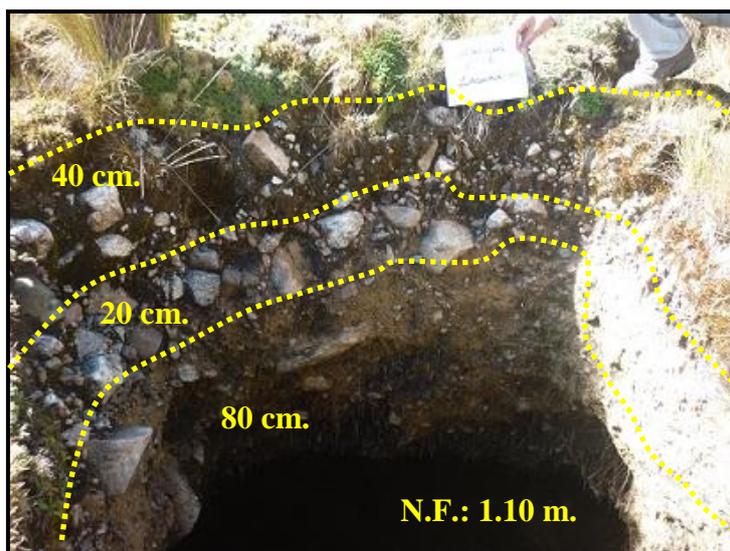


Figura N° 40. : Fotografía de la calicata C-02 (fuente: propia).

Calicata C-02. La calicata C-02 de 1.40 m. de profundidad está conformada por 40 cm. de material orgánico de cobertura con clastos de roca menores a 2 cm. de diámetro, seguido de 20 cm. de potencia de un estrato de gravas subredondeadas de 6 a 11 cm. de diámetro de matriz arenosa, los últimos 80 cm. son materiales arenosos que engloban clastos de roca subangulosos menores a 2 cm. diámetro, esta zona se encuentra saturada y bioturbada por raíces nivel freático a los 1.10 m.

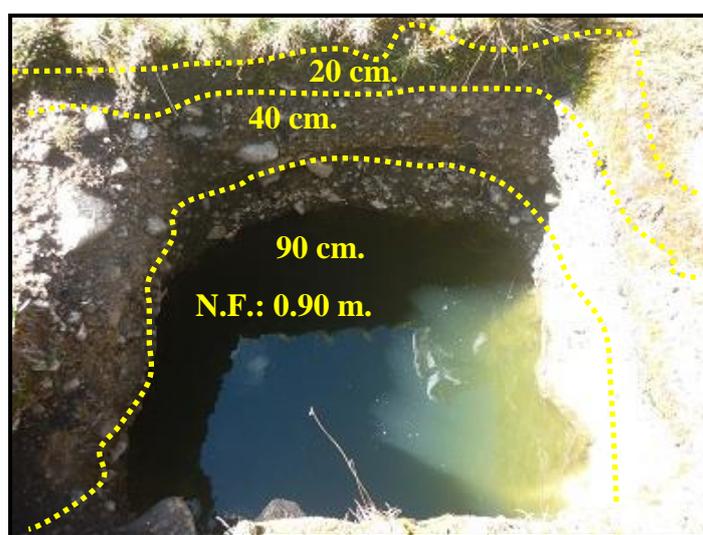


Figura N° 41. : Fotografía de la calicata C-03 (fuente: propia).

Calicata C-03. La calicata C-03 de 1.50 m. de profundidad, está conformada por 20 cm. de material orgánico de cobertura bioturbado, el estrato siguiente tiene una potencia de 40 cm. está compuesto por clastos de roca subangulosa de 3 cm. de diámetro, el trato final se encuentra saturado y tiene mayor porcentaje de grava.

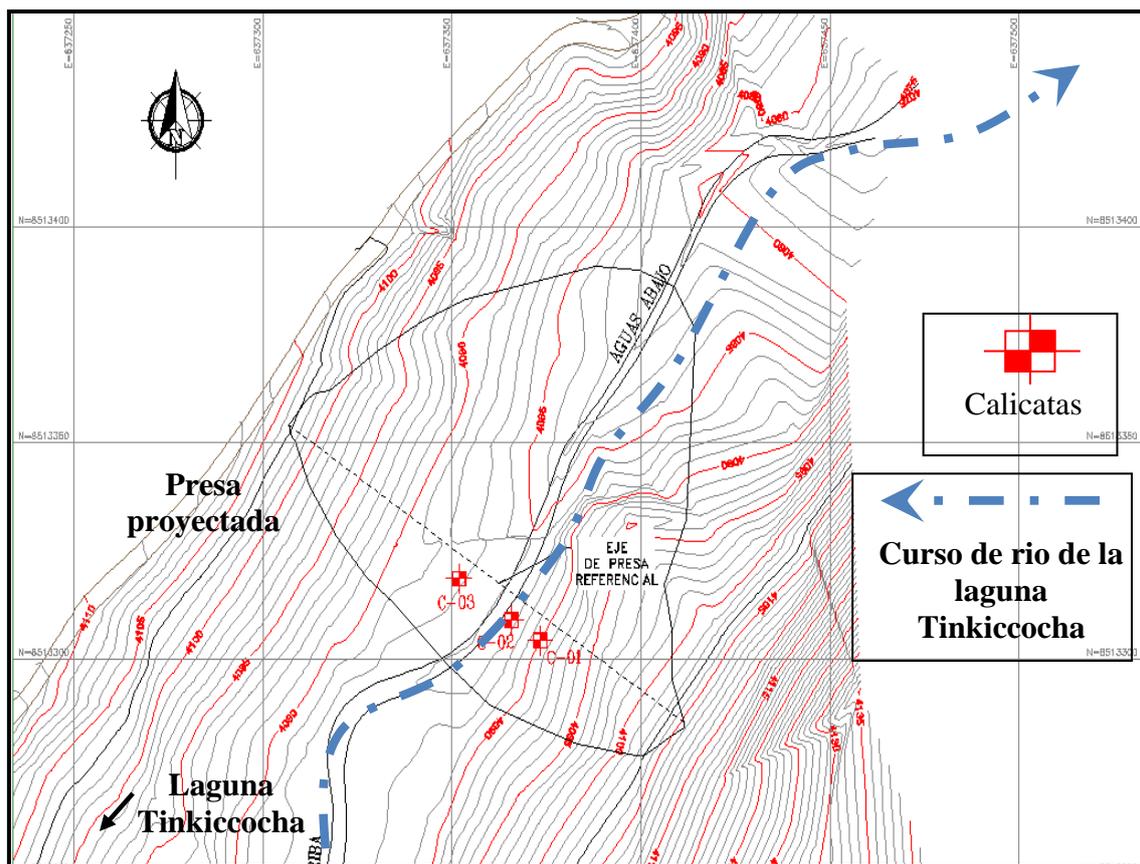


Figura N° 42. : Plano de ubicación de las calicatas (fuente: propia).

4.1.1.3 Perforaciones diamantinas

Se han realizado 03 perforaciones diamantinas, ubicadas en el eje de la presa proyectada, estas perforaciones cuentan con recuperación de muestras, y además se ha completado un total de 55.90 metros de profundidad distribuidas en estos tres sondeos, tal como se detalla a continuación:

Tabla XI. Ubicación de las perforaciones diamantinas realizadas en la zona (Fuente: propia).

COD.	UBICACIÓN	COORDENADAS UTM (WGS -'84)		COTA TERRENO m.s.n.m.	PROF. (m.)	PERF.
		ESTE	NORTE			
P-01	Tinkiccocha	637797.530	8513228.469	4078.34	15.35	TP50D
P-02	Tinkiccocha	637756.948	8513254.343	4078.19	20.45	TP50D
P-03	Tinkiccocha	637737.444	8513266.778	4084.14	20.10	TP50D

Para la ejecución de las perforaciones, el método empleado fue el rotativo, con una máquina diamantina modelo TP-50D Sobreoruga; los trabajos de perforación se realizaron con tuberías HQ (63.5 mm.) y NQ (47.6 mm.), con un diámetro de perforación de 96,0 mm. y diámetro de testigos recuperados de 63,5 y 47.6 mm. Las brocas utilizadas están provistas de esquirlas de diamante impregnadas. Como fluido de perforación se utilizó agua de la laguna. El trabajo en campo para determinar el RQD se realizó teniendo en cuenta las siguientes observaciones: (HERRERA J. – 2000).

- El examen visual detallado de las muestras es necesario para determinar el fracturamiento que puede ser causado por rompimiento del taladro o fracturas naturales; todas las muestras obtenidas de la corrida deben incluirse como longitud total o recuperación total.
- Medir y registrar todas las longitudes de las muestras mayores a 100 mm. y menores hasta 10 mm. para el cálculo del RQD.
- Las muestras de roca con fractura natural y las fracturas producidas por la perforación son consideradas para determinar el RQD.
- Indicar la descripción del RQD usando la tabla de calidad de roca.
- Se presenta en forma teórica el procedimiento de cálculo del RQD, que está referido a la siguiente expresión (los datos mostrados son arbitrarios):

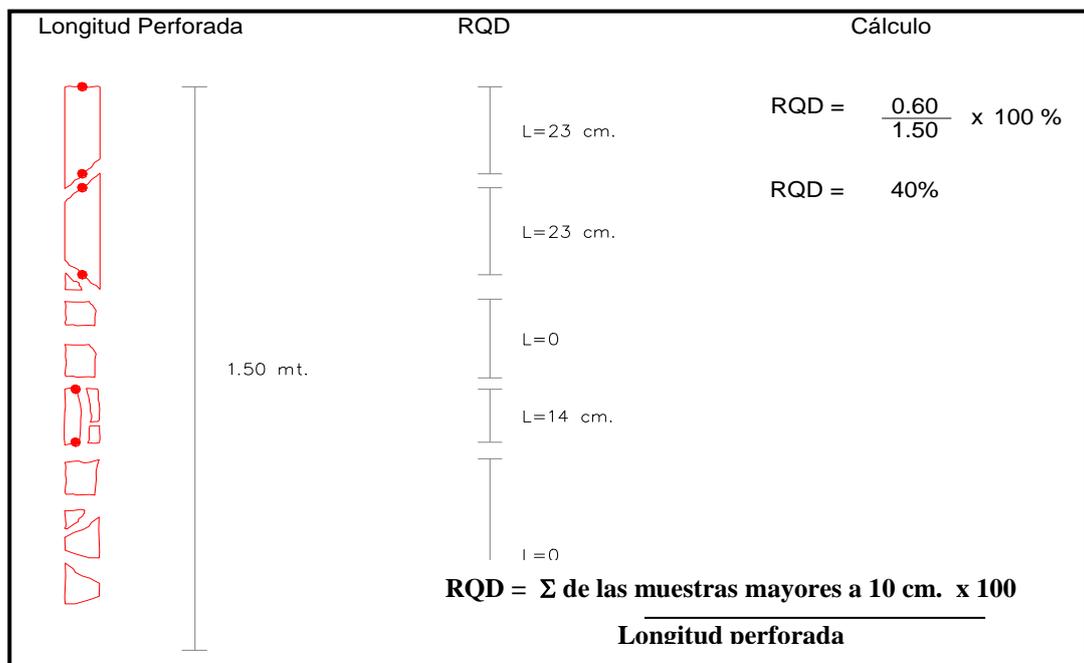


Figura N° 43. : Esquema demostrativo del procedimiento para calcular el RQD (fuente: propia).

a) Descripción de las perforaciones**i). Perfil estratigráfico de la perforación P-01**

- **0.00 a 1.10 m.:** Arena de grano grueso angulosa de composición granítica, englobando clastos subangulosos de 3 a 4 cm. de diámetro, polimícticos, dispuestos al 75%.
- **1.10 a 2.05 m.:** Arena de grano medio angulosa de composición granítica, englobando clastos subangulosos de 2 a 4 cm. de diámetro, polimícticos, dispuestos al 60%.
- **2.05 a 2.75 m.:** Arena de grano grueso angulosa de composición granítica, englobando clastos subangulosos de 3cm. de diámetro, polimícticos, dispuestos al 40%.
- **2.75 a 4.00 m.:** Roca ígnea granítica de color gris, con leve fracturamiento, óxidos en las caras de las fracturas, el tramo inicial se encuentra fragmentado, Plg.: 55%, Cz.: 35%, Ort.: 5%, Acces.: 5%.
- **4.00 a 4.40 m.:** Roca ígnea granítica compacta, de color predominante rosado, Plg.: 25%, Cz.: 15%, Ort.: 55%, Acces.: 5%.
- **4.40 a 5.45 m.:** Roca ígnea granítica compacta, de color predominante rosado, Plg.: 30%, Cz.: 15%, Ort.: 50%, Acces.: 5%.
- **5.45 a 6.70 m.:** Roca ígnea granítica fracturada, de color predominante rosado, Plg.: 25%, Cz.: 15%, Ort.: 55%, Acces.: 5%.
- **6.70 a 7.40 m.:** Roca ígnea granítica compacta, de color predominante rosado, Plg.: 25%, Cz.: 15%, Ort.: 55%, Acces.: 5%.
- **7.40 a 8.45 m.:** Roca ígnea granítica compacta, de color predominante rosado, Plg.: 20%, Cz.: 17%, Ort.: 60%, Acces.: 3%.
- **8.45 a 9.15 m.:** Roca ígnea granítica compacta, de color predominante rosado, Plg.: 25%, Cz.: 15%, Ort.: 55%, Acces.: 5%.
- **9.15 a 10.20 m.:** Roca ígnea granítica compacta, de color predominante rosado, Plg.: 20%, Cz.: 15%, Ort.: 60%, Acces.: 5%.
- **10.20 a 11.35 m.:** Roca ígnea granítica compacta, de color predominante rosado, Plg.: 20%, Cz.: 15%, Ort.: 60%, Acces.: 5%.

- **11.35 a 12.65 m.:** Roca ígnea granítica compacta, de color predominante rosado, Plg.: 40%, Cz.: 15%, Ort.: 40%, Acces.: 5%.
- **12.65 a 14.15 m.:** Roca ígnea granítica fracturada, de color predominante rosado, Plg.: 40%, Cz.: 15%, Ort.: 40%, Acces.: 5%.
- **14.15 a 15.35 m.:** Roca ígnea granítica fracturada, de color predominante rosado, Plg.: 50%, Cz.: 15%, Ort.: 30%, Acces.: 5%.

ii) Perfil estratigráfico de la perforación P-02

- **0.00 a 0.90 m.:** Material de cobertura bioturbado, con arenas gruesas y clastos de 3 a 6 cm. de diámetro dispuestos al 20%.
- **0.90 a 2.05 m.:** Arena de grano grueso angulosa de composición granítica, englobando clastos subangulosos de 3 a 4 cm. de diámetro, polimícticos, dispuestos al 60%.
- **2.05 a 3.00 m.:** Arena de grano grueso anguloso de composición granítica, con clastos subangulosos de 3cm. de diámetro, dispuestos al 80%.
- **3.00 a 3.50 m.:** Bloque de roca ígnea granítica de color rosado, compacto.
- **3.50 a 4.65 m.:** Clastos de roca ígnea granítica de 3 cm de diámetro con arena de grano medio subangulosa.
- **4.65 a 5.65 m.:** Clastos de roca ígnea granítica de 3 cm de diámetro con arena de grano medio subangulosa.
- **5.65 a 7.25 m.:** Roca ígnea granítica fracturada, de color predominante rosado, Plg.: 25%, Cz.: 15%, Ort.: 55%, Acces.: 5%.
- **7.25 a 8.70 m.:** Roca ígnea granítica fracturada, de color predominante rosado, Plg.: 25%, Cz.: 15%, Ort.: 55%, Acces.: 5%.
- **8.70 a 9.55 m.:** Roca ígnea granítica fracturada, de color predominante rosado, Plg.: 25%, Cz.: 15%, Ort.: 55%, Acces.: 5%.
- **9.55 a 10.80 m.:** Roca ígnea granítica fracturada, de color predominante rosado, Plg.: 20%, Cz.: 15%, Ort.: 60%, Acces.: 5%.
- **10.80 a 12.35 m.:** Roca ígnea granítica fracturada, de color predominante rosado, Plg.: 20%, Cz.: 15%, Ort.: 60%, Acces.: 5%.
- **12.35 a 13.25 m.:** Roca ígnea granítica fracturada, de color predominante rosado, Plg.: 20%, Cz.: 15%, Ort.: 60%, Acces.: 5%.

- **13.25 a 14.00 m.:** Roca ígnea granítica fracturada, de color predominante rosado, Plg.: 20%, Cz.: 15%, Ort.: 60%, Acces.: 5%.
- **14.00 a 15.10 m.:** Roca ígnea granítica fracturada, de color predominante rosado, Plg.: 20%, Cz.: 15%, Ort.: 60%, Acces.: 5%.
- **15.10 a 16.55 m.:** Roca ígnea granítica compacta, de color predominante rosado, Plg.: 25%, Cz.: 15%, Ort.: 55%, Acces.: 5%.
- **16.55 a 17.35 m.:** Roca ígnea granítica compacta, de color predominante rosado, Plg.: 25%, Cz.: 15%, Ort.: 55%, Acces.: 5%.
- **17.35 a 18.95 m.:** Roca ígnea granítica compacta, de color predominante rosado, Plg.: 25%, Cz.: 15%, Ort.: 55%, Acces.: 5%.
- **18.95 a 20.45 m.:** Roca ígnea granítica compacta, de color predominante rosado, Plg.: 25%, Cz.: 15%, Ort.: 55%, Acces.: 5%.

iii) Perfil estratigráfico de la perforación P-03

- **0.00 a 1.10 m.:** Arenas de grano grueso, angulosa de composición granítica, engloba clastos de roca subangulosos y tabulares polimícticos de 2 a 4 cm. de diámetro, dispuestos al 15%.
- **1.10 a 2.10 m.:** Arenas de grano grueso, angulosa de composición granítica, engloba clastos de roca subangulosos y tabulares polimícticos de 2 a 4 cm. de diámetro, dispuestos al 15%.
- **2.10 a 3.25 m.:** Arenas de grano grueso, angulosa de composición granítica, engloba clastos de roca subangulosos y tabulares polimícticos de 2 a 4 cm. de diámetro, dispuestos al 15%.
- **3.25 a 4.45 m.:** Arenas de grano grueso, angulosa de composición granítica, engloba clastos de roca subangulosos y tabulares polimícticos de 2 a 4 cm. de diámetro, dispuestos al 15%.
- **4.45 a 5.55 m.:** Arenas de grano grueso, angulosa de composición granítica, engloba clastos de roca subangulosos y tabulares polimícticos de 2 a 4 cm. de diámetro, dispuestos al 15%.
- **5.55 a 6.55 m.:** Arenas de grano grueso, angulosa de composición granítica, engloba clastos de roca subangulosos y tabulares polimícticos de 2 a 4 cm. de diámetro, con bloques de roca, dispuestos al 15%.

- **6.55 a 7.20 m.:** Roca ígnea granítica muy fragmentada, de color gris, Plg.: 40%, Cz.: 35%, Ort.: 20%, Acces.: 5%.
- **7.20 a 8.30 m.:** Roca ígnea granítica compacta, de color gris, Plg.: 35%, Cz.: 40%, Ort.: 20%, Acces.: 5%.
- **8.30 a 9.60 m.:** Roca ígnea granítica muy fragmentada, de color gris, Plg.: 40%, Cz.: 35%, Ort.: 20%, Acces.: 5%.
- **9.60 a 11.60 m.:** Roca ígnea granítica fragmentada, de color rosado, Plg.: 30%, Cz.: 45%, Ort.: 20%, Acces.: 5%.
- **11.60 a 12.60 m.:** Roca ígnea granítica fragmentada, de color rosado, Plg.: 30%, Cz.: 45%, Ort.: 20%, Acces.: 5%.
- **12.60 a 13.45 m.:** Roca ígnea granítica fragmentada, de color rosado, Plg.: 30%, Cz.: 45%, Ort.: 20%, Acces.: 5%.
- **13.45 a 15.05 m.:** Arena de grano fino a medio mal clasificada de color gris, anguloso.
- **15.05 a 16.05 m.:** Arena de grano fino a medio mal clasificada de color gris, anguloso.
- **16.05 a 18.10 m.:** Arena de grano fino a medio mal clasificada de color gris, anguloso.
- **18.10 a 19.10 m.:** Arena de grano medio mal clasificada de color gris, anguloso.
- **19.10 a 20.10 m.:** Arena de grano medio mal clasificada de color gris, anguloso.

Los perfiles litológicos y los registros de las perforaciones se adjuntan en el anexo correspondiente.



Figura N° 44. : Perforaciones diamantinas en la zona de investigación (fuente: propia).

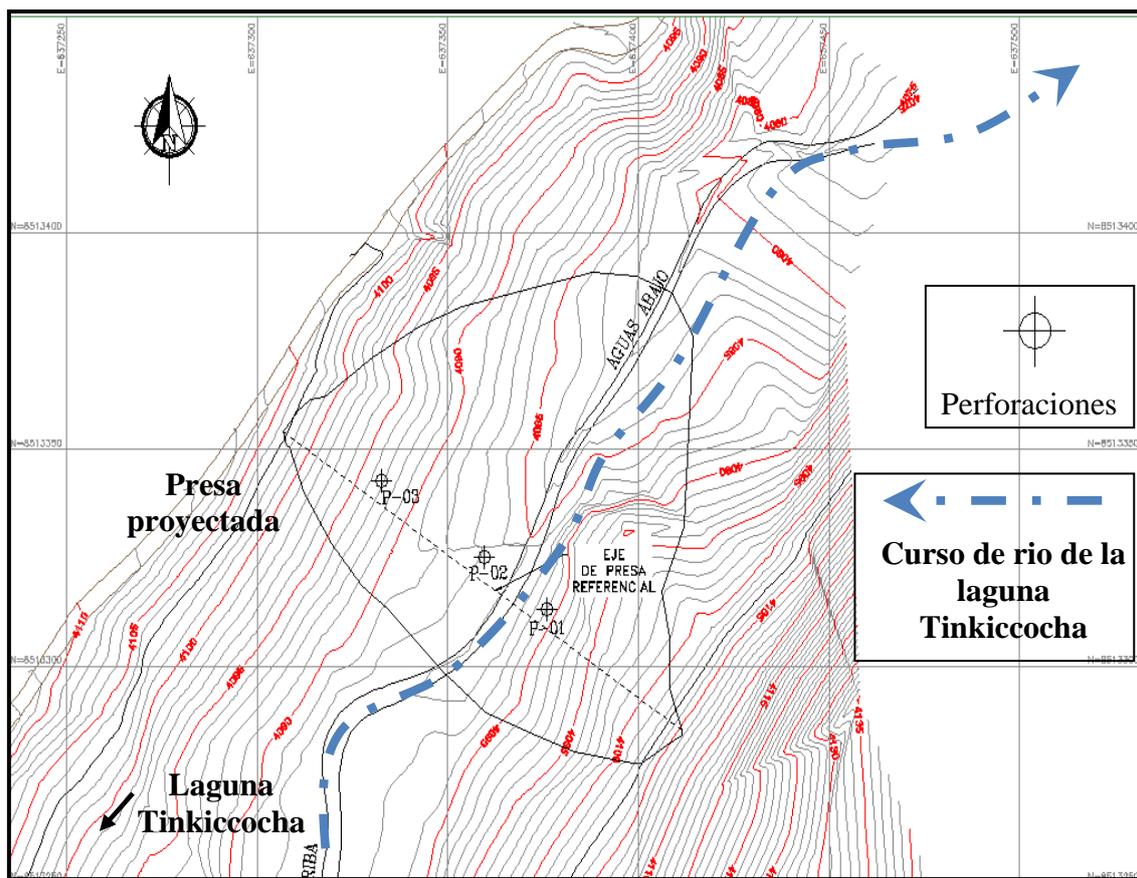


Figura N° 45. : Plano de ubicación de las perforaciones diamantinas (fuente: propia).

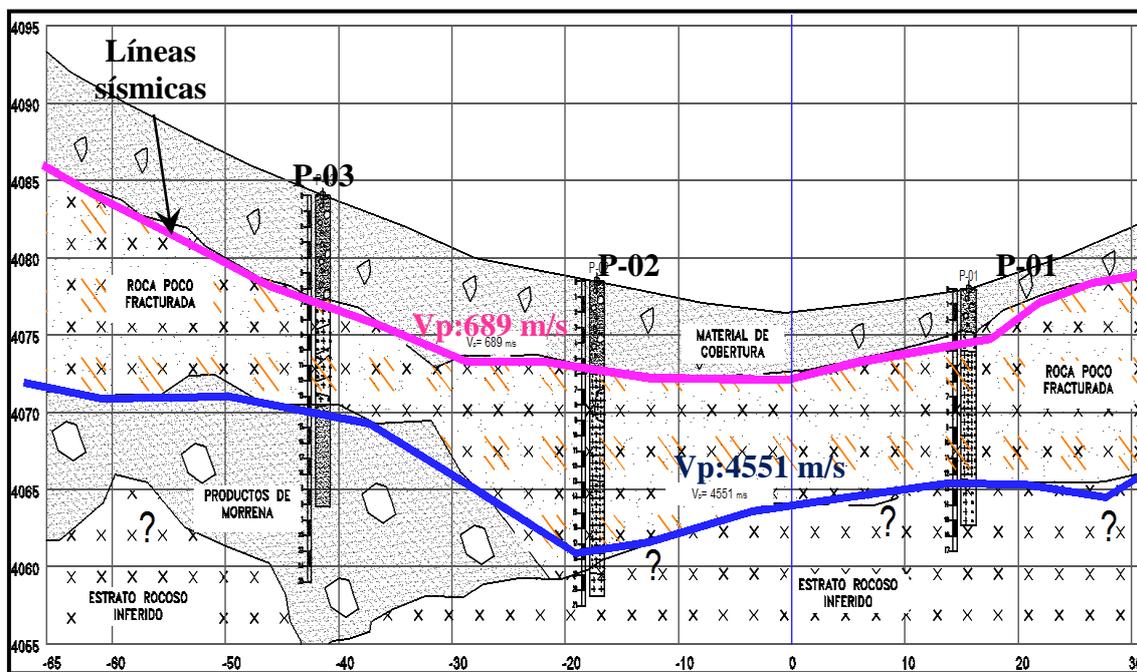


Figura N° 46. : Perfil estratigráfico con líneas sísmicas y perforaciones diamantinas (fuente: propia).

4.1.1.4 Ensayos realizados in situ

En el área de estudio se realizaron ensayos de campo con la finalidad de determinar la permeabilidad que rige en el subsuelo, ya sea éste, suelo o roca, estas se realizaron aprovechando las perforaciones diamantinas; se desarrollaron dos tipos de ensayos, los mismos que se detallan a continuación (URIEL S. – 1964):

a) Ensayo de permeabilidad tipo Lefranc

El ensayo de permeabilidad tipo Lefranc es una de las técnicas más sencillas para hallar el coeficiente de permeabilidad en un suelo. Este ensayo se utiliza en suelos permeables o semipermeables, tipo granular, situados por debajo del nivel freático. El ensayo se realizó a nivel constante, este ensayo requiere que, antes de medir los tiempos y caudales, se llene el sondeo de agua observando que el aire es expulsado y que se estabiliza el nivel y la velocidad de descenso, lo que indica que se ha alcanzado el régimen permanente.

El coeficiente de permeabilidad del suelo se calcula de manera simple con la siguiente fórmula:

$$K = Q / (C * \Delta h)$$

Siendo:

K= Coeficiente de permeabilidad (cm/s);

Q= Caudal (cm³/s);

Δh = Altura del agua sobre el nivel inicial (cm);

C= Coeficiente de forma, definido por la expresión:

$$C = 2 \pi * L / \ln(2L/d)$$

Donde:

L= Longitud del tramo ensayado (m),

d= Diámetro de la perforación (m).

Los registros de ensayos de permeabilidad se adjuntan en los anexos correspondientes.



Figura N° 47. : Ensayos de permeabilidad tipo Lefranc (fuente: propia).

b) Ensayo de permeabilidad tipo Lugeon

Este ensayo se realiza en el interior de sondeos y permite calcular semicuantitativamente la permeabilidad de los macizos rocosos, en cualquier tipo de litología y estado de fracturación.

El ensayo es hecho en cinco estados, en los cuales la presión con la que el agua es inyectada, varía entre cada uno de ellos. Antes de empezar, se define la presión máxima que va a ser utilizada, esa no debe exceder la presión de confinamiento esperada de la profundidad de la perforación; sobre esta presión máxima se trabaja durante el ensayo para no generar fracturas en la roca a causa de la presión generada por el agua. Cada estado consiste en bombear cuanta cantidad de agua sea necesaria para mantener definida y constante la presión misma, esto se hace, generalmente, en intervalos de 10 minutos. Esta presión es incrementada en cada estado subsecuente, hasta llegar a la presión máxima ya establecida. Una vez ésta es alcanzada, la presión del agua debe ser reducida pasando por las mismas presiones de los estados anteriores.

Tabla XII. Tabla de presión para aplicar al ensayo Lugeon (Fuente: propia).

ESTADO 1	ESTADO 2	ESTADO 3	ESTADO 4	ESTADO 5
Bajo	Medio	Máximo	Medio	Bajo
50% P.max	75% P.max	P.max	75% P.max	50% P.max

Siendo P.max la presión máxima definida a la cual el agua debe ser inyectada.



Figura N° 48. : Ensayos de permeabilidad tipo Lugeon (fuente: propia).

c) Resultados de los ensayos de permeabilidad

Los registros y resultados de los ensayos Lugeon y Lefranc se encuentran en los anexos correspondientes. Los resultados de los ensayos de permeabilidad realizadas en ambas lagunas se detallan en el siguiente cuadro resumen:

Tabla XIII. Cuadro resumen de permeabilidades totales (Fuente: propia).

SONDAJE	UBICACIÓN	PROFUNDIDAD	GRADO DE PERMEABILIDAD	TIPO DE ENSAYO
	LAGUNA			
P-01	Tinkiccocha	1.00 – 3.00 m.	1,48E-03 cm/s	Lefranc
P-01	Tinkiccocha	3.00 – 6.00 m.	6,41E-04 cm/s	Lefranc
P-01	Tinkiccocha	6.00 – 11.00 m.	1,62E-04 cm/s	Lugeon
P-02	Tinkiccocha	5.00 – 10.00 m.	8,00E-05 cm/s	Lugeon
P-02	Tinkiccocha	10.00 – 15.00 m.	6,10E-05 cm/s	Lugeon
P-02	Tinkiccocha	15.00 – 20.45 m.	3,32E-05 cm/s	Lugeon
P-03	Tinkiccocha	1,00 – 4,00 m.	1,36E-03 cm/s	Lefranc
P-03	Tinkiccocha	6.00 – 9.00 m.	2,57E-04 cm/s	Lefranc

4.1.1.5 Ensayos de laboratorio

Para determinar las propiedades físicas y mecánicas de las muestras extraídas de suelos se realizaron ensayos estándar (suelos y rocas).

Las muestras de suelo tomadas de las calicatas (las muestras más representativas), fueron analizadas en laboratorio de suelos de Geotecnia e Ingeniería SAC (Geosur), los ensayos realizados fueron: Análisis granulométrico por tamizado, límites de Atterberg (líquido y plástico) y contenido de humedad, para los que se siguió los procedimientos del ASTM. Los ensayos de corte directo por su parte tienen el objetivo de determinar los parámetros geotécnicos del suelo.

Tabla XIV. Resultados del ensayo de corte directo (Fuente: propia).

LAGUNA / SECTOR	CALICATA N°	TIPO DE ENSAYO	PARÁMETROS GEOTÉCNICOS	
			C (Kg/cm ²)	Φ°
Tinkiccocha	C-01	Corte directo	0.00	31.8°

Tabla XV. Resultados de la caracterización de suelos (Fuente: propia).

LAGUNA / SECTOR	CALICATA N°	CLASIFICACIÓN		LÍMITES DE ATTERBERG			CONTENIDO DE HUMEDAD (%)
		SUCS	AASHTO	LL	LP	IP	
Tinkiccocha	C-01	GM	A-1-B (0)	-.-	-.-	NP	4.7
Tinkiccocha	C-02	GM	A-2-4 (0)	-.-	-.-	NP	5.6
Tinkiccocha	C-03	GM	A-2-4 (0)	-.-	-.-	NP	6.2

Con los resultados obtenidos se han realizado los análisis de estabilidad de taludes, de infiltración y de deformación.

Los ensayos de laboratorio se adjuntan en los anexos correspondientes.

4.2 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES

Para evaluar las condiciones de estabilidad de las zonas críticas en los procesos constructivos, se ha realizado un análisis de estabilidad de taludes en condiciones en las cuales la presa se encontrará y trabajará durante toda su vida útil.

Para dicho análisis se debe tener en cuenta una serie de factores que influyen en la estabilidad de un talud. Los factores que se toman en cuenta son: geometría del talud, parámetros geológicos-geotécnicos, cargas dinámicas por acción de los sismos, condiciones de flujo de agua, etc. No todos estos factores se pueden cuantificar en un modelo matemático; a pesar de estas limitaciones, determinar el factor de seguridad asumiendo superficies probables de falla, permite tener una idea del comportamiento del talud. Las causas de los deslizamientos pueden ser externas o internas, el aumento en la altura del talud, la colocación de cualquier tipo de sobrecarga en la corona o la ocurrencia de sismos, en el primer caso, puede ocasionar la inestabilidad de este provocando deslizamientos; por otro lado las causas internas están estrechamente ligadas a una disminución de la resistencia al esfuerzo cortante del suelo constitutivo, tales como el aumento de presión de poros o la disipación de la cohesión.

El Factor de Seguridad (FS) aceptable para dar conformidad a la estabilidad de un talud debe ser $FS > 1.0$, siendo este un valor muy conservador.

El coeficiente sísmico que se utilizará será $2/3$ de $0.32g$, siendo este el valor más crítico, el valor fue obtenido del mapa de Isoaceleraciones de la UNI-CISMID.

4.2.1 CARACTERÍSTICAS DE LA PRESA TINKICCOCHA

Según los requerimientos hídricos de la zona a irrigar y la capacidad de embalse a generar 1.058 MMC, se proyecta en la laguna Tinkiccocha, una presa de tierra con material suelto compactado por capas, y se estima una altura de 19 metros, estando el nivel máximo de embalse proyectado en la cota 4093 m.s.n.m.

Para esta presa se contará con un talud de inclinación $1V / 2H$ aguas arriba y $1V / 2.5H$ aguas abajo, inicialmente se proyectó la inclinación para ambos lados en $1V/2H$, según las referencias bibliográficas que indican esta inclinación para presas de tierra (FOYO A. 1998). Sin embargo luego del análisis, el talud aguas abajo sufre una falla circular, debido a esto se optó por extender el talud hasta una inclinación $1V/2.5H$.

En un primer momento se retirará la cobertura de suelo de 1.00 metro por debajo del nivel actual. En la **figura N° 49** se muestra un esquema de la presa de tierra en la que se detalla el nivel máximo de embalse y la altura de presa (corona) en metros sobre el nivel del mar.



Figura N° 49. : Esquema de la presa proyectada Tinkiccocha (fuente: propia).

La corona del cuerpo de presa (Terraplén de 5 metros de ancho), se conformará con material compactado obtenido de zonas aledañas preinspeccionadas. El cuerpo de la presa estará impermeabilizado con geosintéticos como los geotextiles y geomembranas HDPE (*polietileno de alta densidad, son láminas fabricadas a partir de resinas poliméricas formuladas para determinados usos cuya principal característica es una baja permeabilidad, flexibilidad y una alta resistencia*), esta impedirá filtraciones hacia el cuerpo, garantizando su estabilidad, además contará con un filtro compuesto de gravas, en la base del cuerpo en la zona aguas abajo.

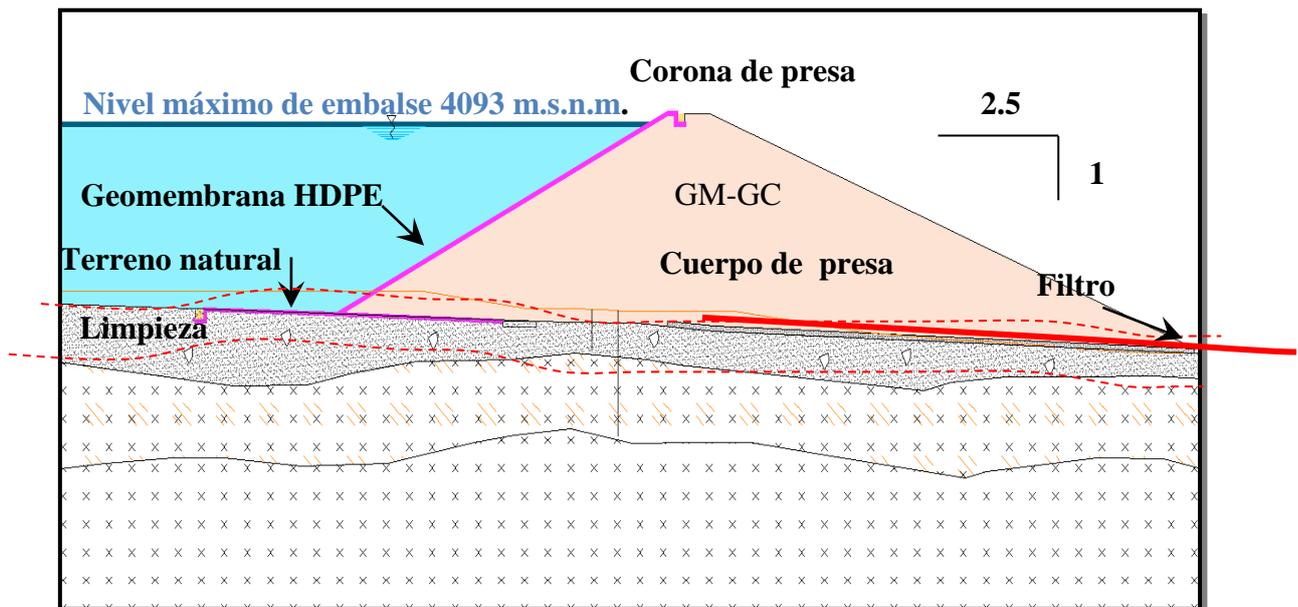


Figura N° 50. : Presa proyectada Tinkiccocha y sus componentes en perfil (fuente: propia).

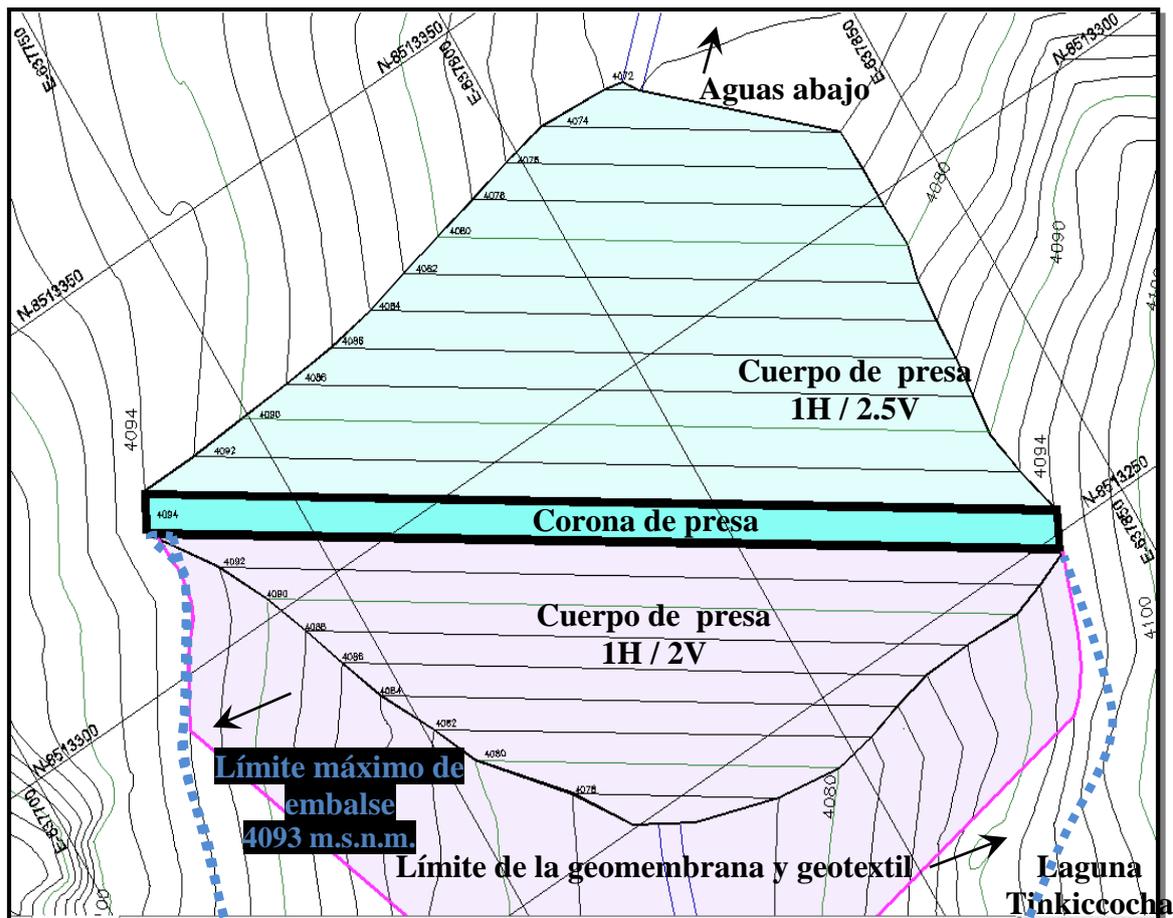


Figura N° 51. : Plano en planta de la presa proyectada Tinkiccocha (fuente: propia).

4.2.2 METODOLOGÍA DE DISEÑO

Para el diseño de taludes del cuerpo de la presa proyectada en la laguna Tinkiccocha, se ha considerado la geometría y las características geotécnicas de los materiales, para luego ser analizados con el programa de simulación de superficies de fallas, Slope/w, del paquete Geostudio 2007.

Para el cálculo se ha dividido los componentes de la presa en 3 cuerpos con diferentes parámetros geotécnicos como se muestra en la **tabla XV.**, todo esto con la finalidad de desarrollar el análisis con el programa de cómputo de manera más didáctica. Explicado esto se tiene: un material denominado cimentación, que es el correspondiente a los depósitos morrénicos sin tratamiento alguno es decir, en estado natural. El siguiente se trata de un material de filtro, utilizado para deprimir posibles niveles de agua generados por filtraciones no previstas, y por último, el material denominado cuerpo de presa, el cual en una primera parte se encuentra sin

geomembrana ni geotextil. El coeficiente sísmico para presas es de $2/3$ del parámetro de la zona, es decir 0.21g.

Para el análisis de estabilidad se requiere fundamentalmente de la geometría ya propuesta, y además los parámetros de resistencia que se presentan a continuación:

Tabla XVI. Parámetros geotécnicos utilizados en el análisis de estabilidad (Fuente: propia).

DESCRIPCION	PESO UNITARIO (TON/M ³)	COHESIÓN (KG/CM ²)	FRICCIÓN (°)
Cuerpo de presa	1.90	0.30	33
Cimentación	2.05	0.25	30
Filtro	2.20	0.00	40

4.2.3 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD GLOBAL

La presa de tierra proyectada presenta una altura considerablemente alta por lo que es necesario evaluar su estabilidad de manera puntual, el análisis es desarrollado con el método de simulación de superficies de falla, cuyo algoritmo de cálculo está contenido en el paquete GEOESTUDIO 2007 (Slope/w).

4.2.3.1 Slope/w (Geoestudio 2007)

El Slope/w es un programa de cálculo de estabilidad de taludes muy usado en el ámbito de la ingeniería geológica (geotecnia), el cual se basa en la simulación de una superficie de posible falla, este programa es comercializado por la empresa Geo-slope International Ltd. De Calgary, Alberta (Geoslope, 1998).

El análisis se ha realizado con la geometría planteada; una presa de 19 metros de altura, de taludes 1V /2H para aguas arriba y 1V /2.5H para aguas abajo, además de 3 cuerpos, un material denominado cimentación, que es el correspondiente a los depósitos morrénicos sin tratamiento alguno es decir, en estado natural. El siguiente se trata de un material de filtro, utilizado para deprimir posibles niveles de agua generados por filtraciones no previstas, y por último, el material denominado cuerpo de presa, el cual en una primera parte se encuentra sin geomembrana ni geotextil. El coeficiente sísmico para presas a utilizar según Kramer-1996 (quien considera que la aceleración pseudoestática en la simulaciones debería ser mucho menor que la máxima aceleración), por tanto será $2/3$ del parámetro de la zona, es decir 0.21g.

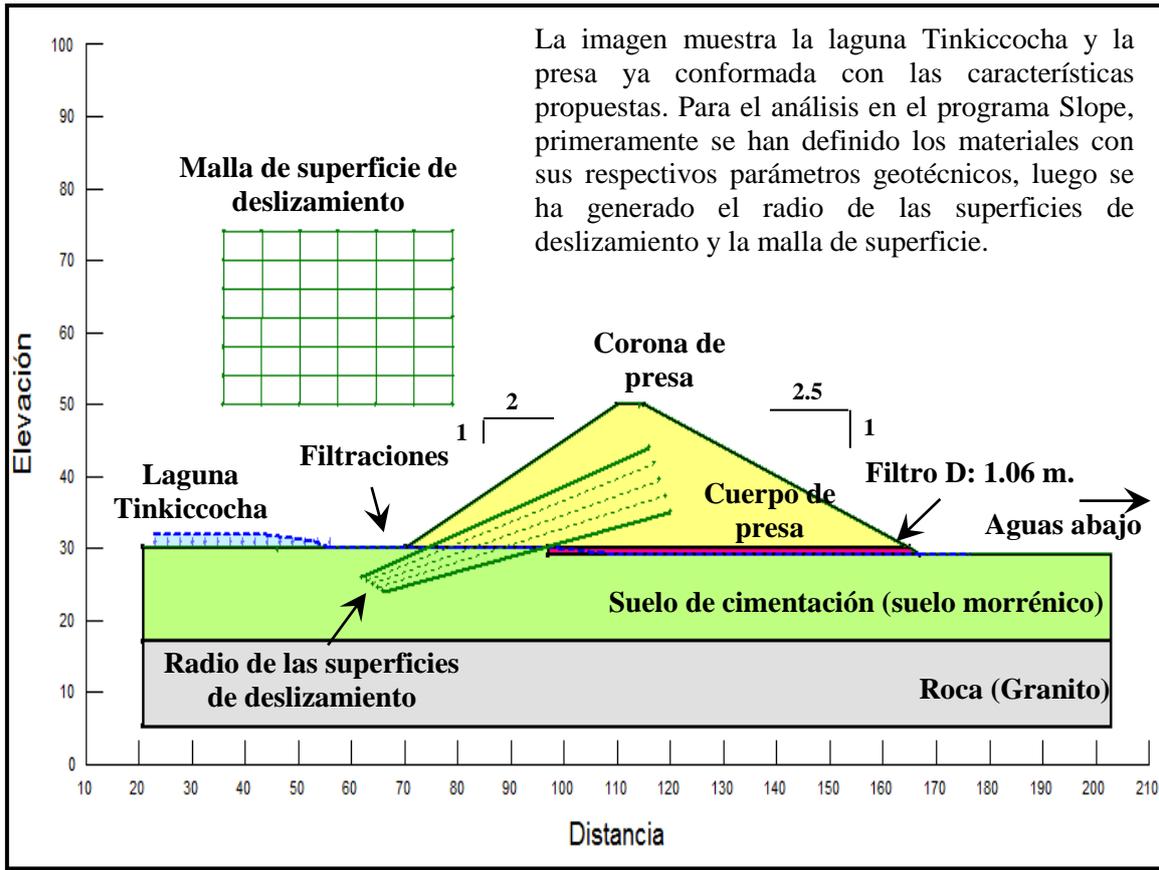


Figura N° 52. : Diagrama de los componentes del análisis de estabilidad de taludes (fuente: propia).

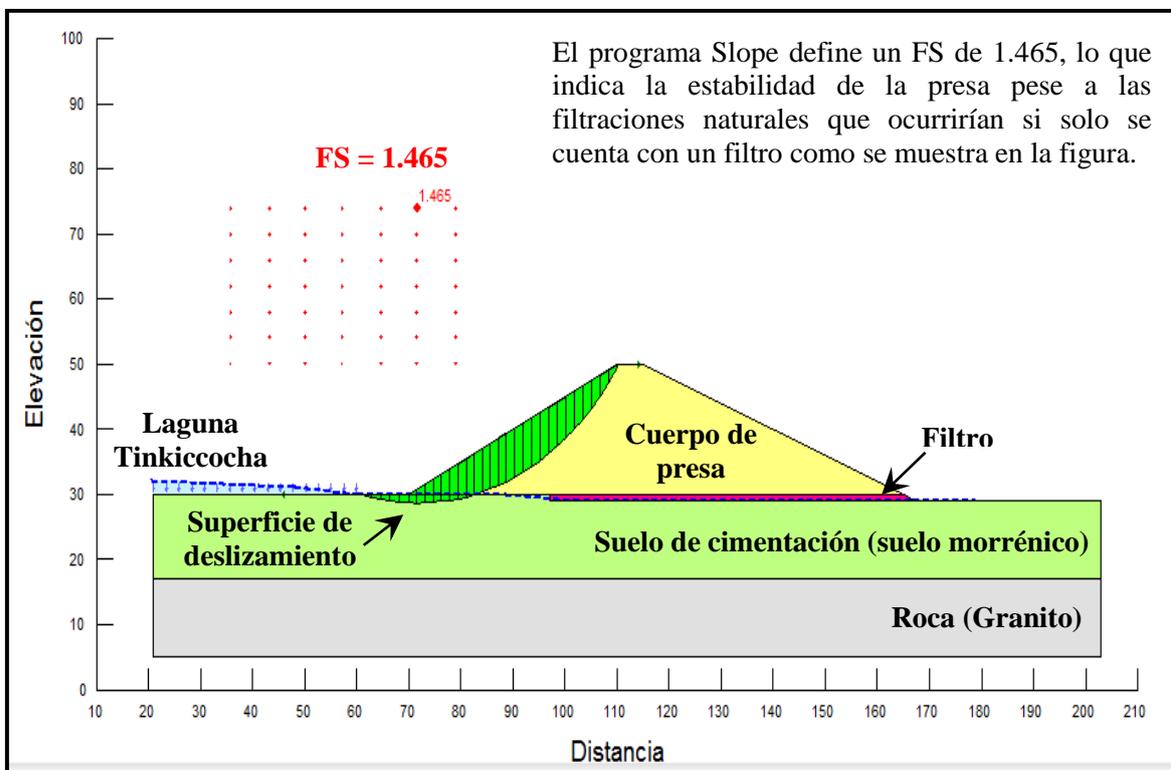


Figura N° 53. Análisis de estabilidad de taludes aguas arriba (fuente: propia).

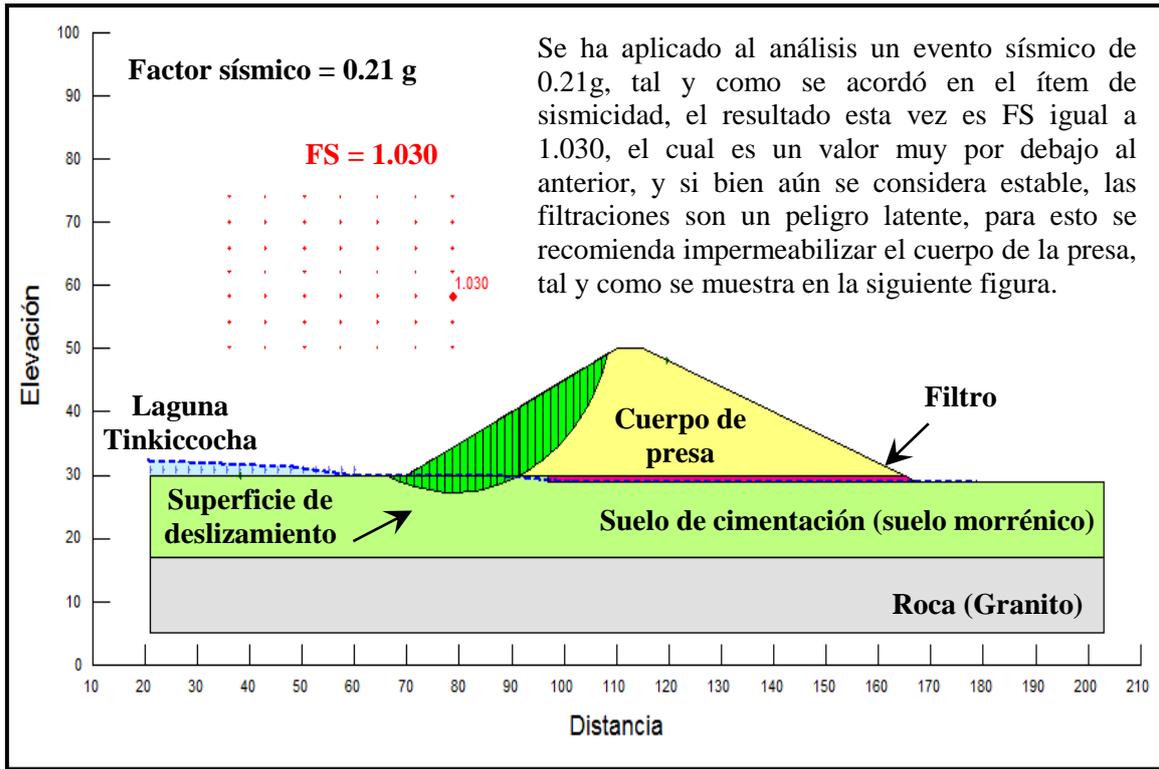


Figura N° 54. : Análisis de estabilidad pseudoestático aguas arriba (fuente: propia).

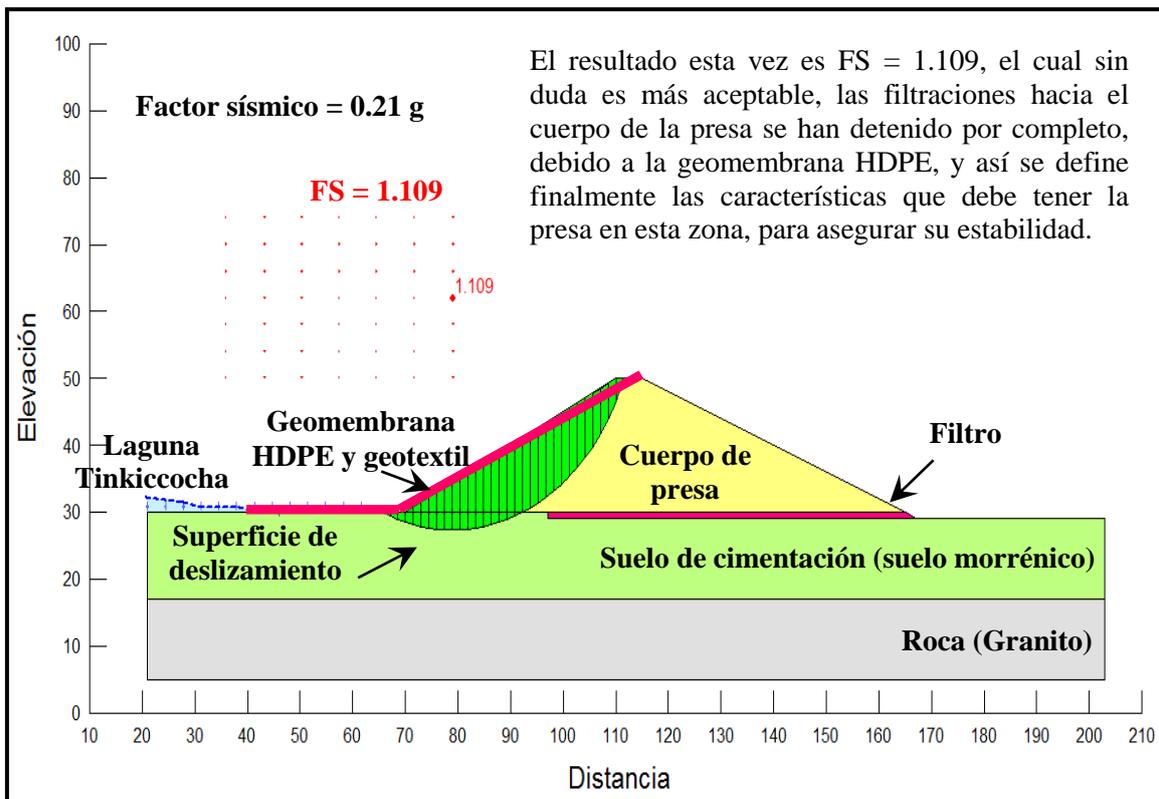


Figura N° 55. : Análisis de estabilidad pseudoestático aguas arriba con geomembrana y geotextil (fuente: propia).

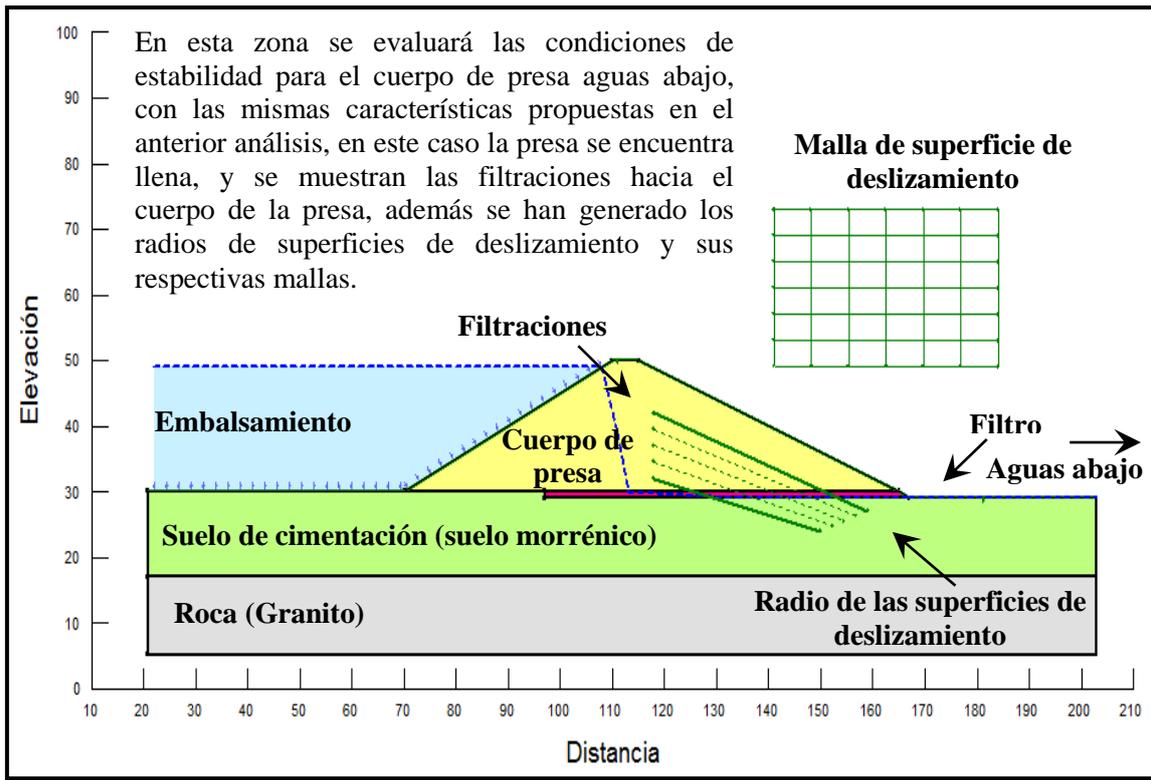


Figura N° 56. : Diagrama de los componentes del análisis de estabilidad de taludes con embalsamiento (fuente: propia).

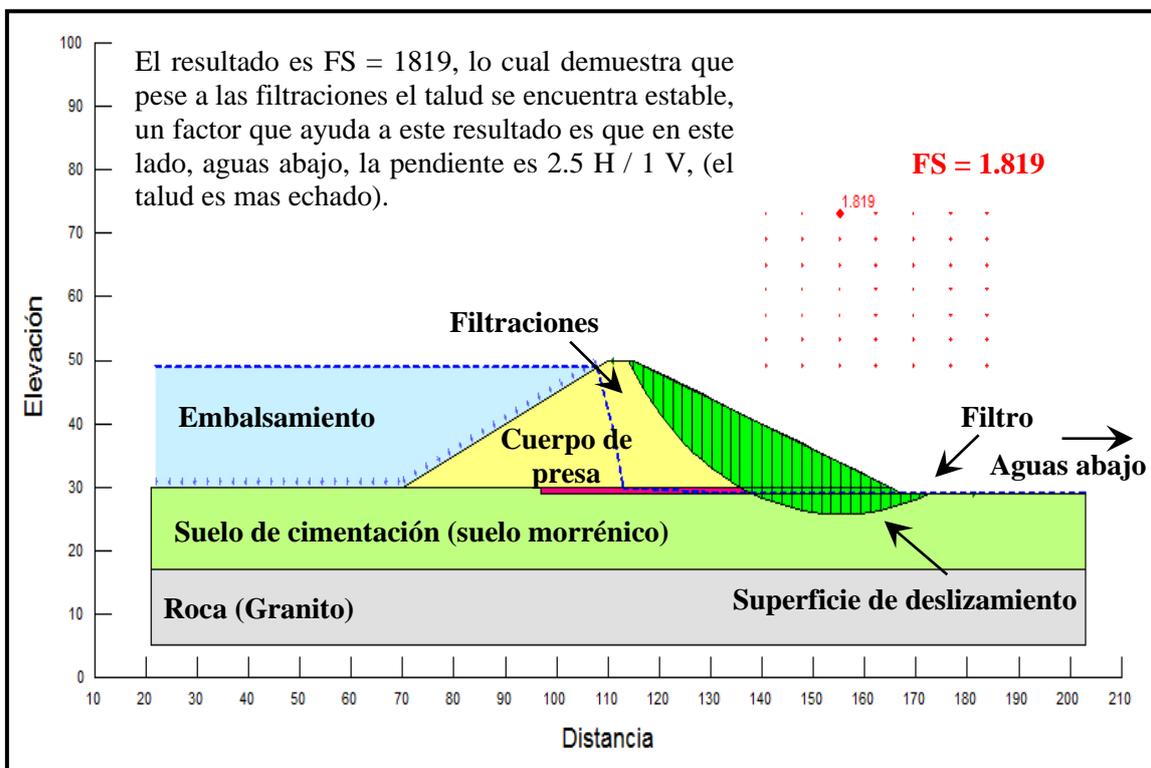


Figura N° 57. : Análisis de estabilidad de taludes aguas abajo (fuente: propia).

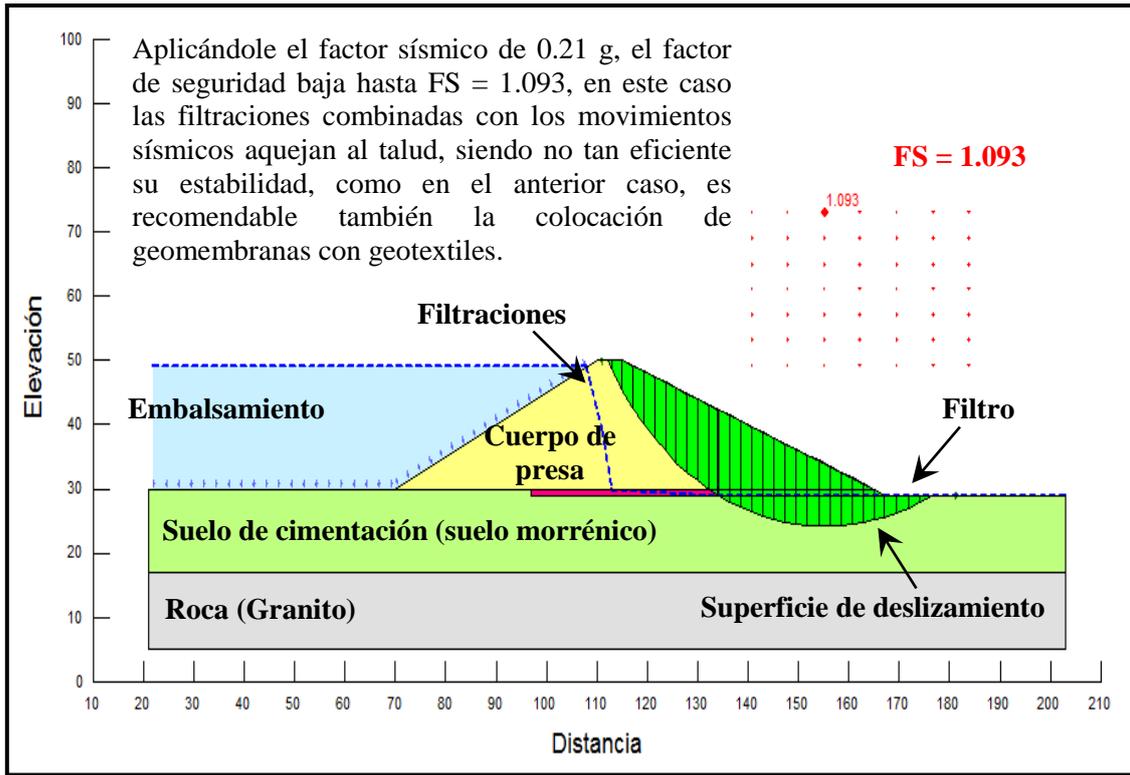


Figura N° 58. : Análisis de estabilidad pseudoestático aguas abajo (fuente: propia).

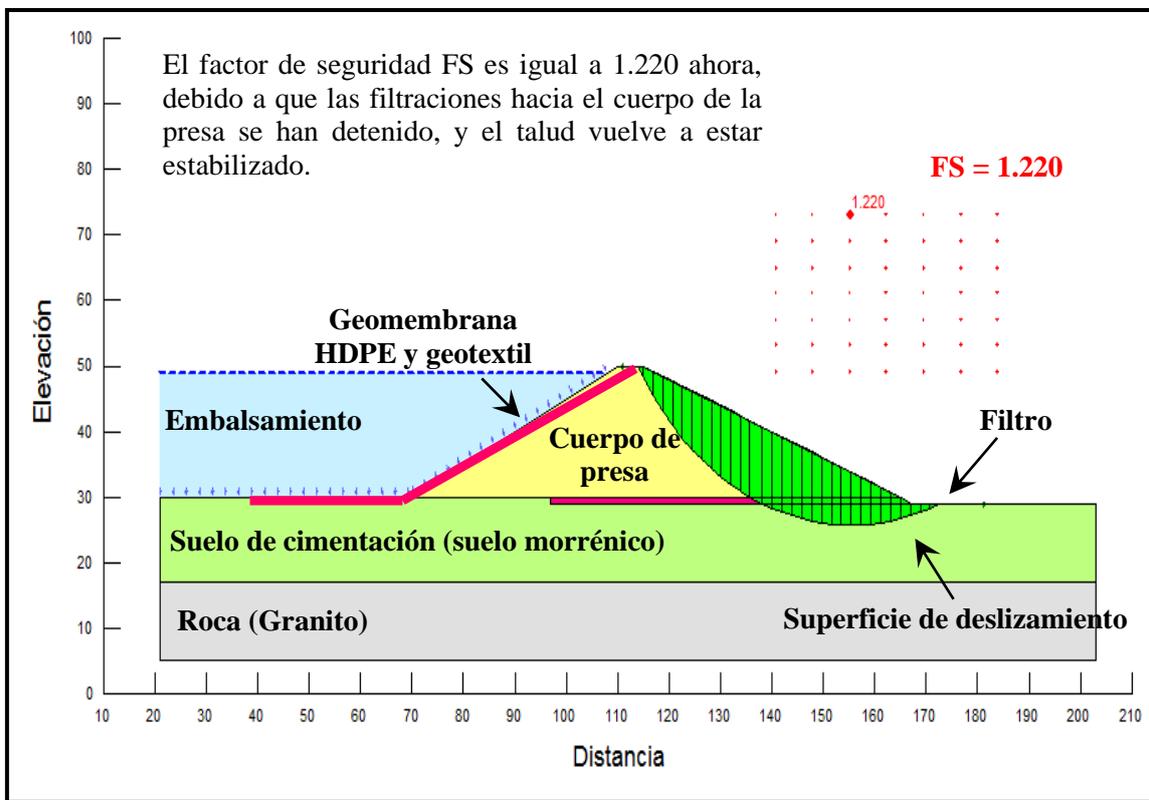


Figura N° 59. : Análisis de estabilidad pseudoestático aguas abajo con geomembrana y geotextil (fuente: propia).

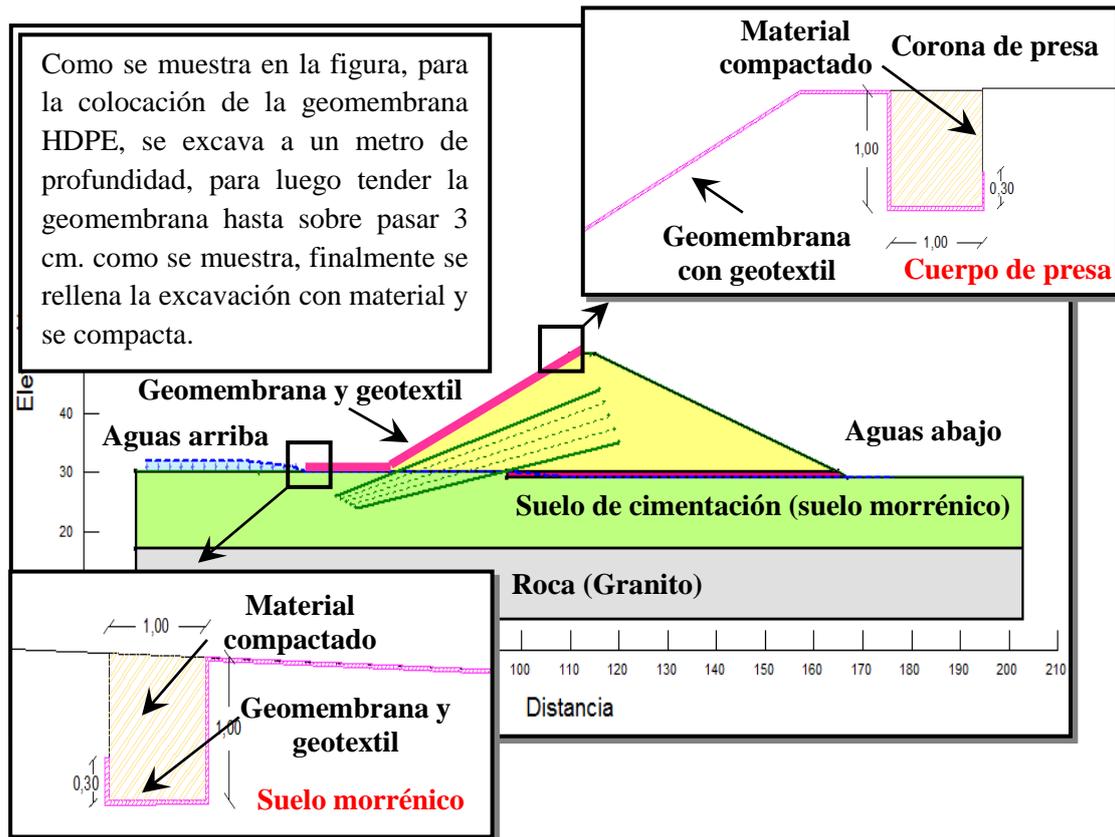


Figura N° 60. : Esquema de la colocación de la geomembrana y geotextil (fuente: propia).

Tabla XVII. Resultados del análisis de estabilidad de taludes (Fuente: propia).

ZONA	GEOMETRÍA	FACTOR DE SEGURIDAD (FS)		
		ESTÁTICO	PSEUDO-ESTÁTICO	CON GEOSINTÉTICOS
Aguas arriba	1V / 2H	1.465	1.030	1.109
Aguas abajo	1V / 2.5H	1.819	1.093	1.220

Los factores de seguridad obtenidos por el método estático nos refieren al análisis realizado en condiciones normales, sin aplicar el factor sísmico de 0.21g. Notamos que el FS obtenido es 1.030 y 1.093 para un análisis pseudoestático (aplicando el factor sísmico de 0.21 g.), considerando que el rango mínimo no debe ser menor de 1.0, la estabilidad del talud está comprobada, además como medida de seguridad se analizó nuevamente el sistema, pero esta vez con un geosintético compuesto por geomembrana HDPE y geotextiles, con esto los FS son 1.109 para el talud aguas arriba y 1.220 para el de aguas abajo, por tanto las inclinaciones estimadas serán las definitivas para el diseño. La superficie de falla es circular y la influencia del agua tiene poca incidencia en el resultado.

4.3 ANÁLISIS DE ESFUERZO Y DEFORMACIÓN

El objetivo de este análisis en el contexto de la presente investigación, es determinar los esfuerzos (tensiones) y deformaciones (asientos) del suelo de cimentación debido a las cargas que actuarán sobre ella en el proceso de construcción de la presa de tierra mediante compactación.

Para ello se utilizará el programa de cómputo Sigma/w; el cual realiza la modelización de estados tensionales en el terreno inducidos por cargas, así como de los asientos producidos por dichas cargas, en un modelo lineal elástico.

4.3.1 Sigma/w (Geoestudio 2007)

Sigma/w es un programa de cálculo de tensiones y deformaciones muy usado en el ámbito de la ingeniería geológica (geotecnia), el cual se basa en la modelización de estados tensionales en el terreno, este programa es comercializado por la empresa Geoslope International Ltd. De Calgary, Alberta (Geoslope, 1998).

El análisis se ha realizado teniendo en cuenta los procesos constructivos que se realizarán para la conformación de la presa.

Se compactará el material por medio de capas de 5 metros de altura, pero para efectos de este análisis se tomará en cuenta las deformaciones y tensiones ocurridas en tres diferentes fases de carga a 5, 13 y 19 metros de altura, además del análisis con el embalse lleno, con esto se desea obtener el máximo desplazamiento vertical (asentamiento) ocurrido durante la construcción de la presa.

En presas cimentadas sobre material suelto, el asentamiento producido por el peso de la propia presa puede aceptarse como razonable hasta el 5% de la altura de la misma. A continuación se presenta un cuadro resumen de los parámetros geotécnicos de los materiales a emplear en el cálculo.

Tabla XVIII. Parámetros geotécnicos para el cálculo Sigma/w (Fuente: propia).

FASES DE CARGA	ESTRATOS	γ (kN/m ³)	E(kPa)	ν (Poisson)
5, 13, 19 metros y Embalse lleno	Nº1	21.00	50,000.00	0.3
	Nº2	28.00	1'000,000.00	0.45

Estos valores se obtienen de los ensayos de laboratorio realizados a las muestras representativas.

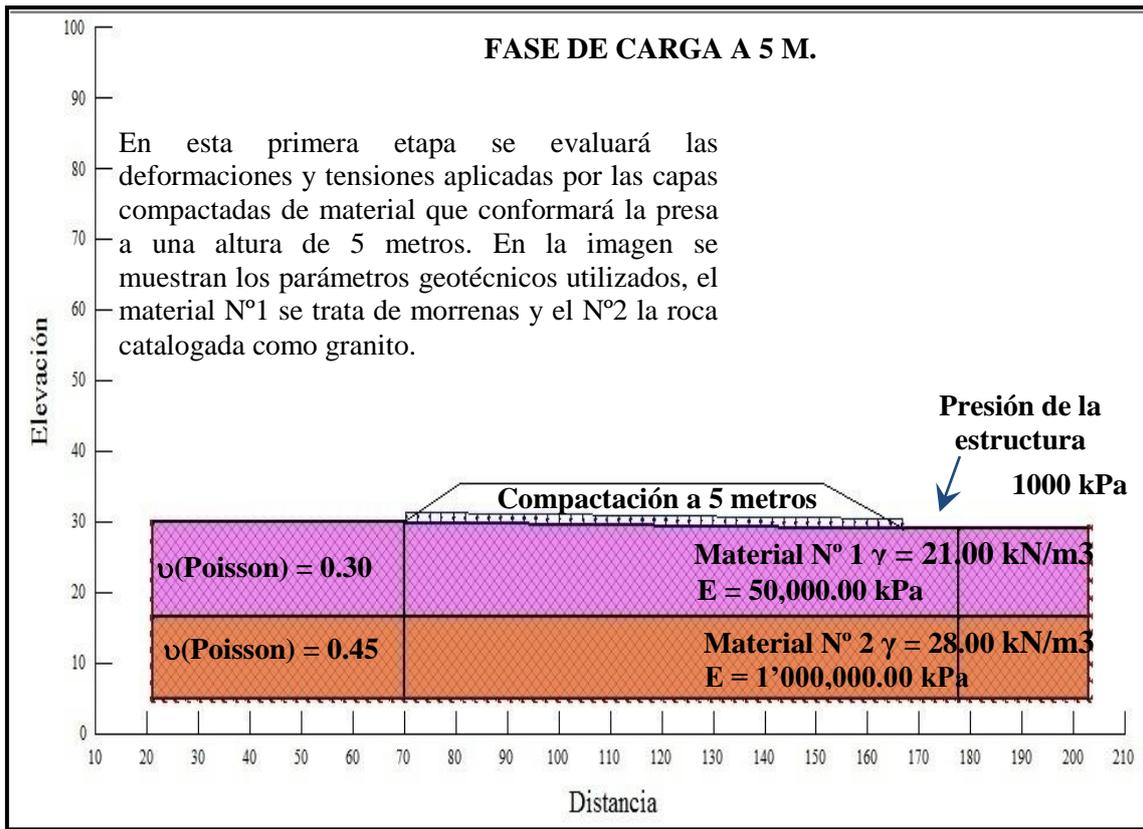


Figura N° 61. : Fase de carga a 5m. Parámetros geotécnicos (Fuente: propia).

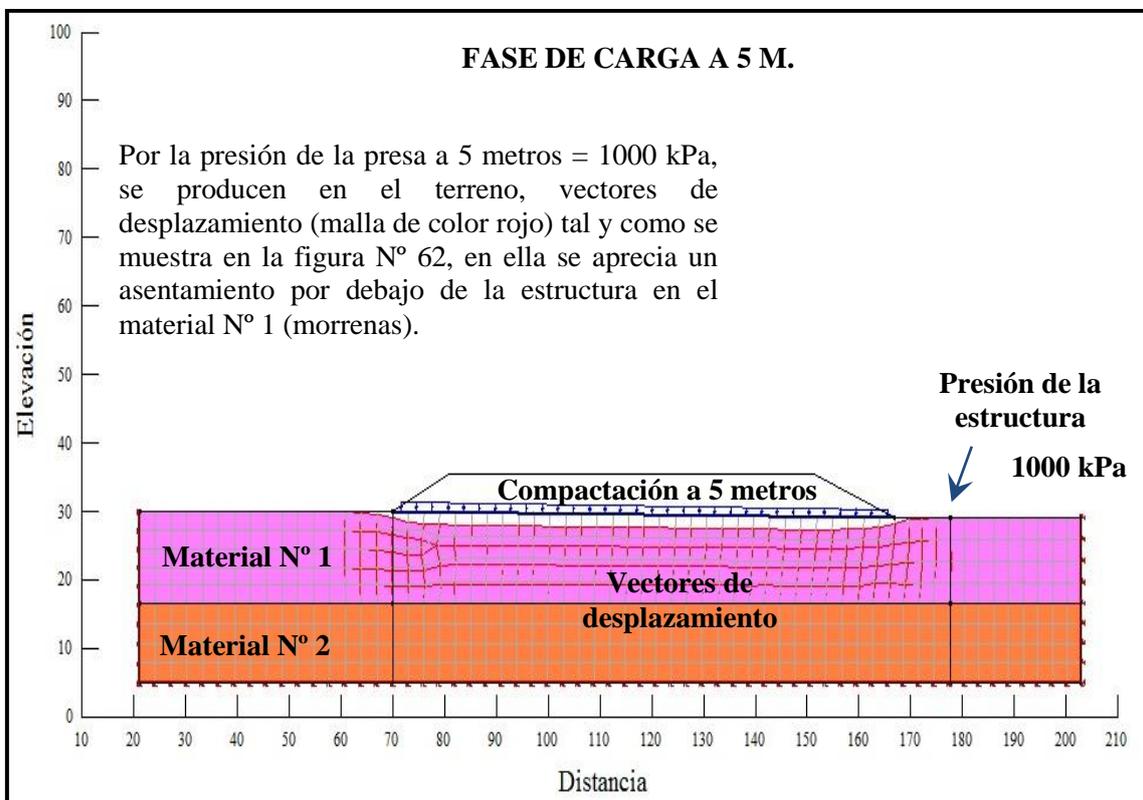


Figura N° 62. : Vectores de desplazamiento para la fase de carga a 5m. (Fuente: propia).

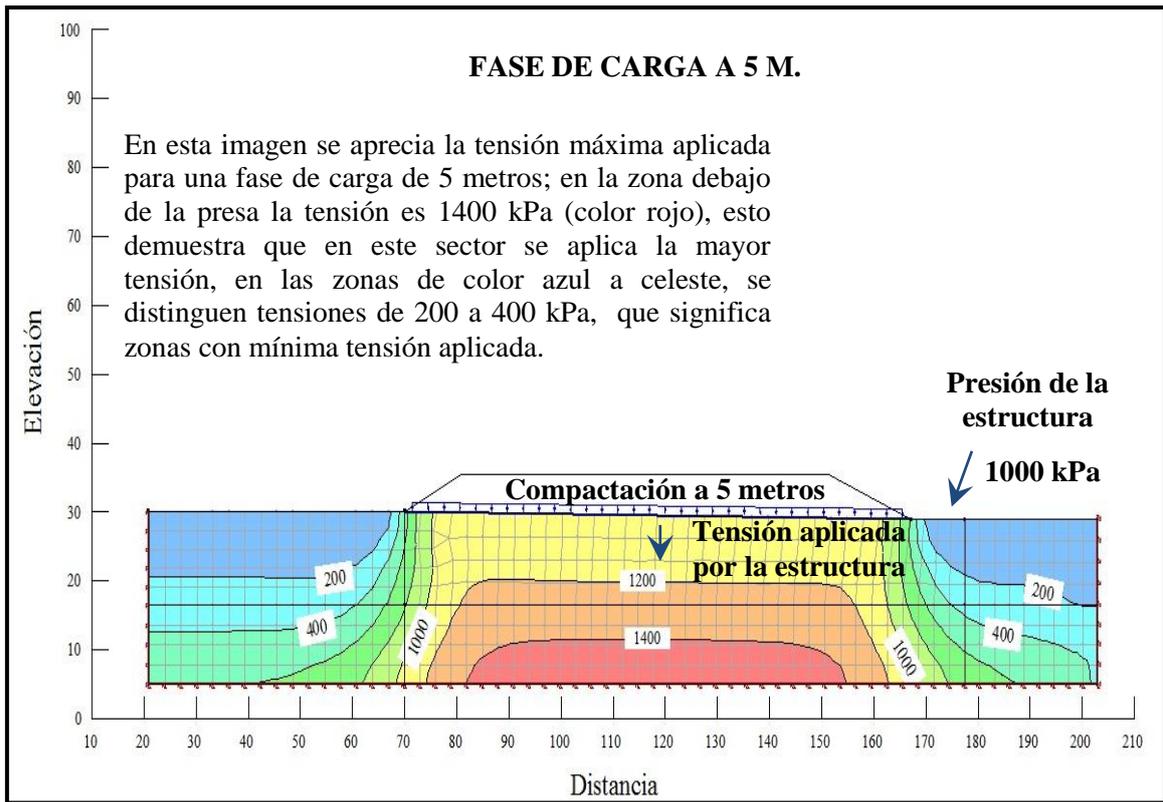


Figura N° 63. : Tensión máxima en la fase de carga a 5 m. (Fuente: propia).

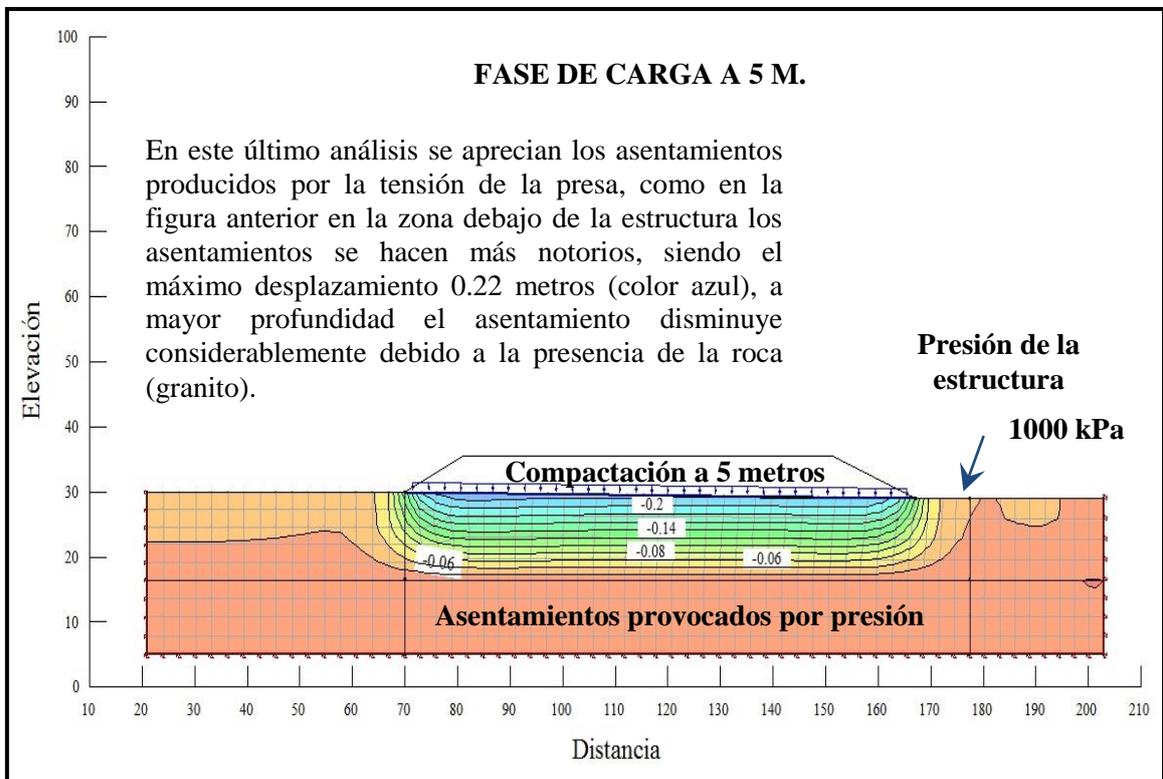


Figura N° 64. : Asentamientos producidos durante la construcción (Fuente: propia).

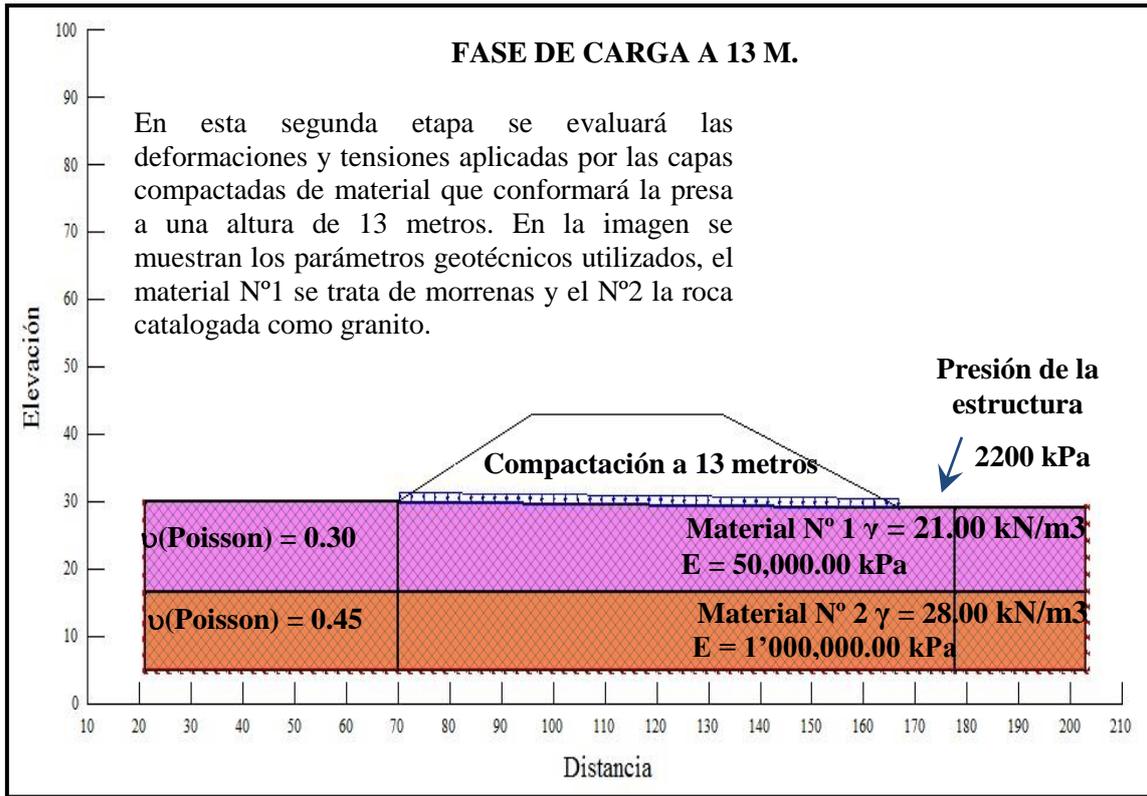


Figura N° 65. : Fase de carga a 13m. Parámetros geotécnicos (Fuente: propia).

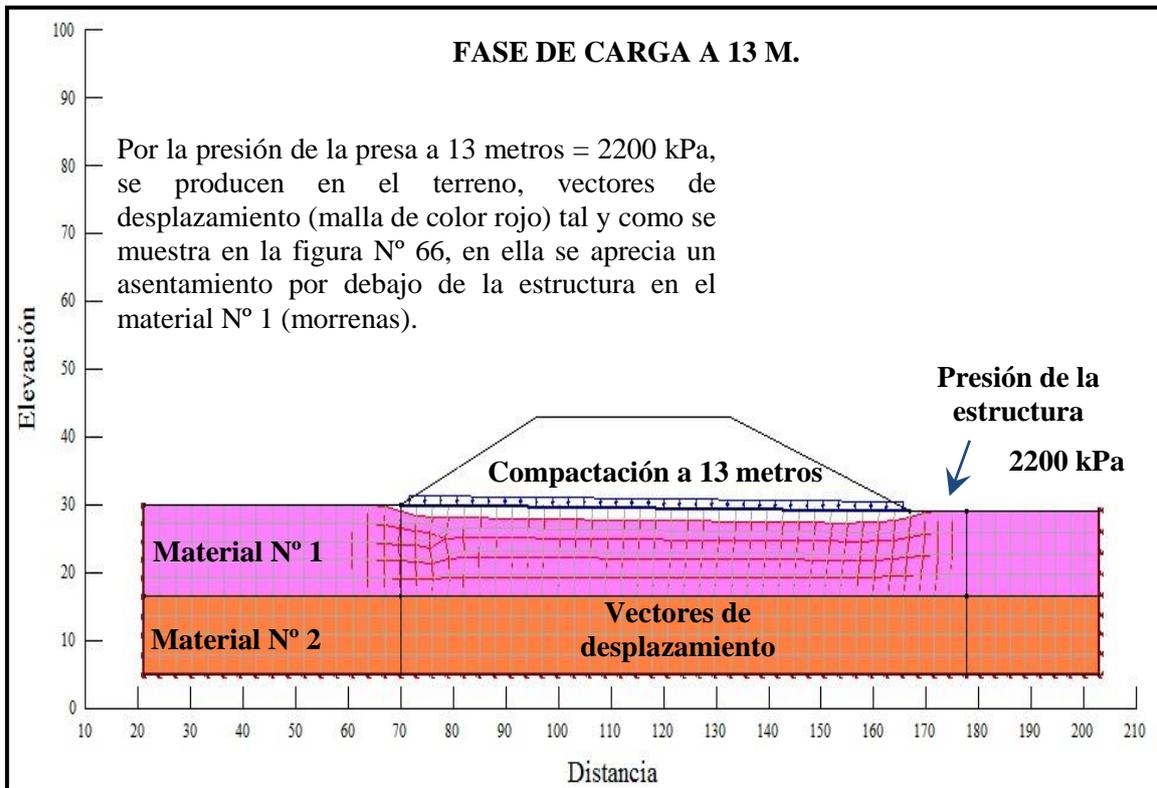


Figura N° 66. : Vectores de desplazamiento para la fase de carga a 13m. (Fuente: propia).

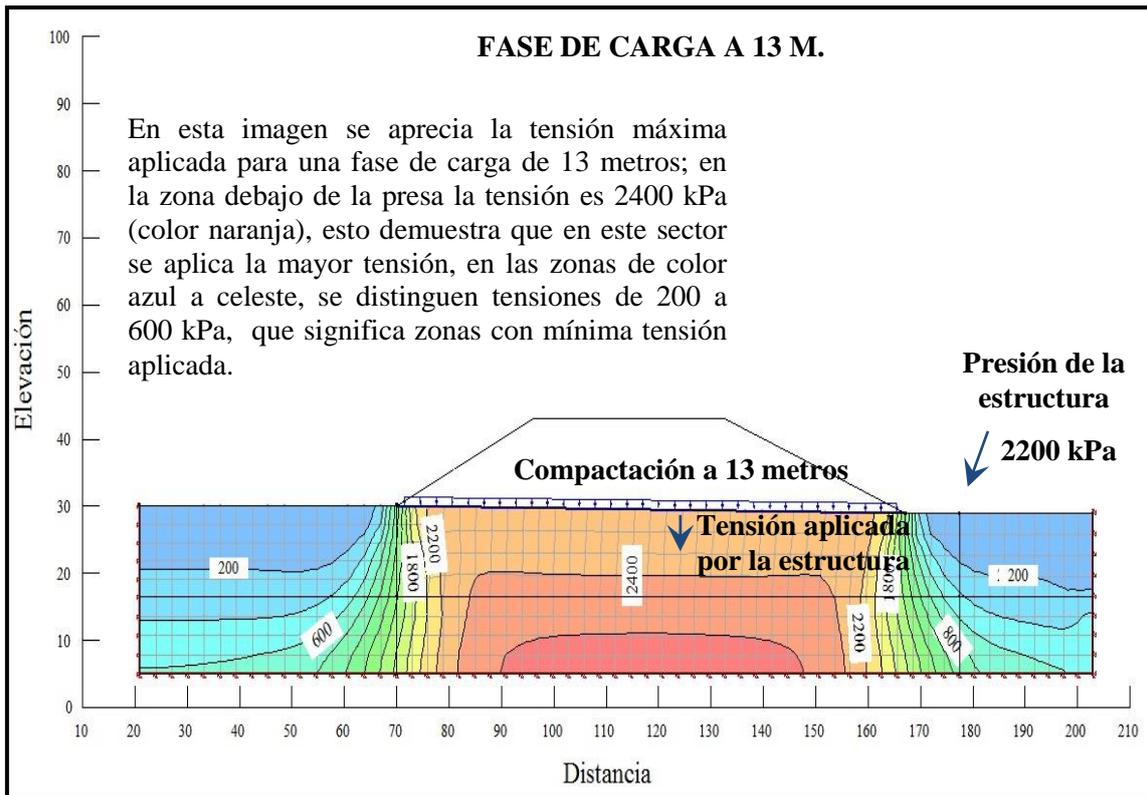


Figura N° 67. : Tensión máxima en la fase de carga a 13 m. (Fuente: propia).

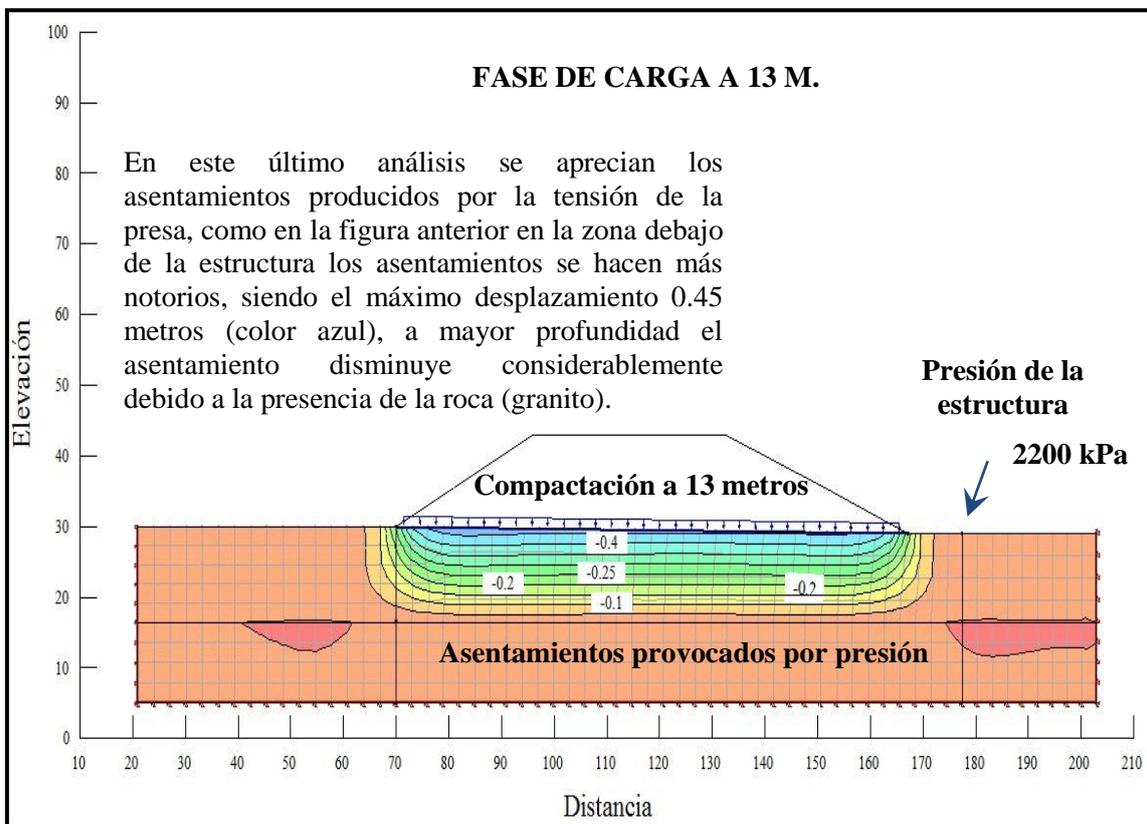


Figura N° 68. : Asentamientos producidos durante la construcción (Fuente: propia).

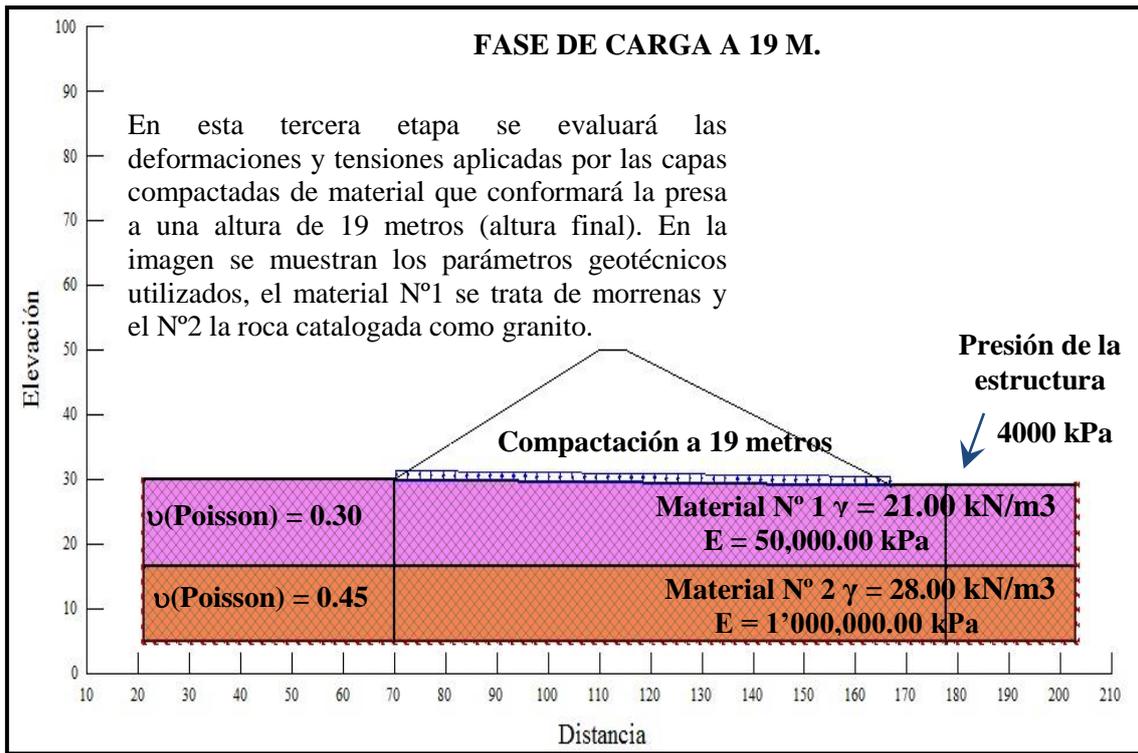


Figura N° 69. : Fase de carga a 19m. Parámetros geotécnicos (Fuente: propia).

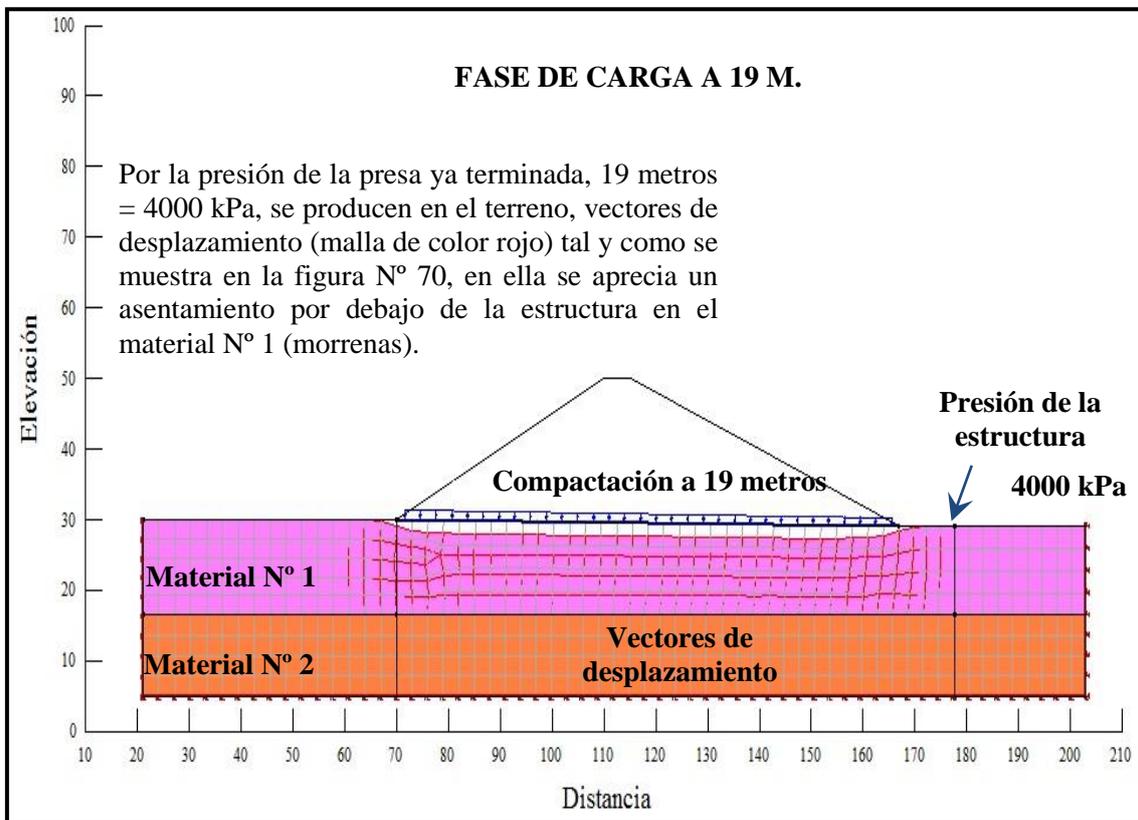


Figura N° 70. : Vectores de desplazamiento para la fase de carga a 13m. (Fuente: propia).

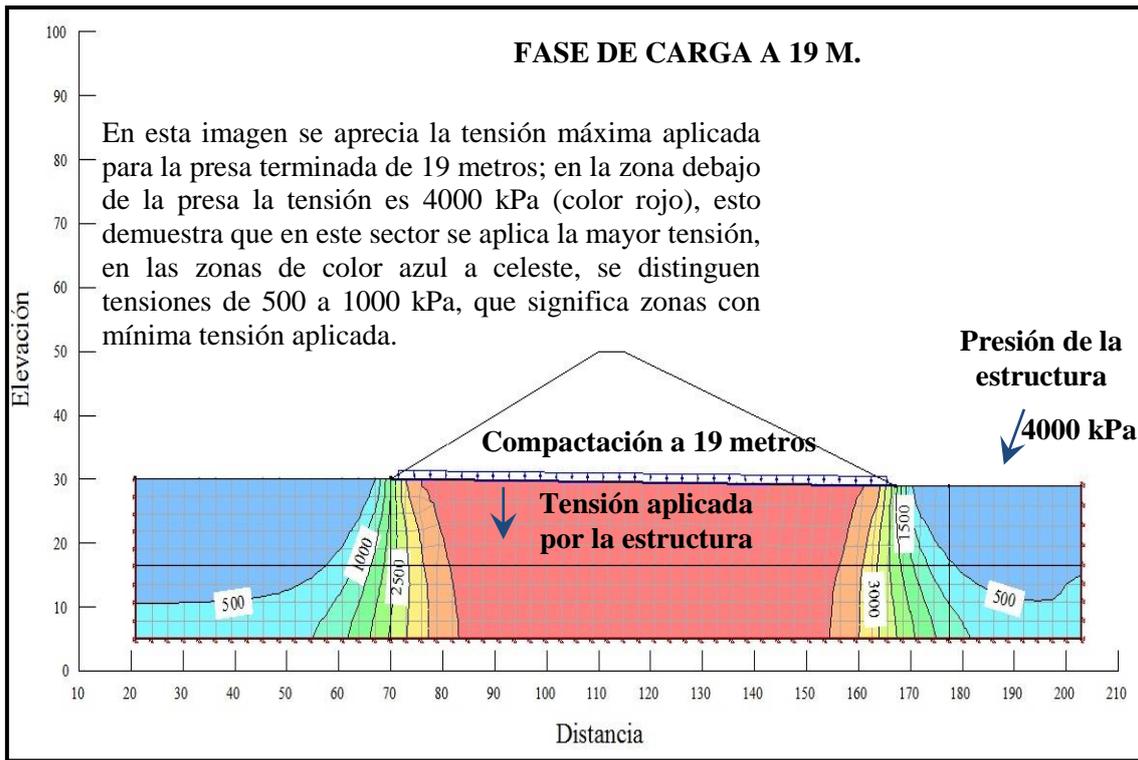


Figura N° 71. : Tensión máxima en la fase de carga a 19 m. (Fuente: propia).

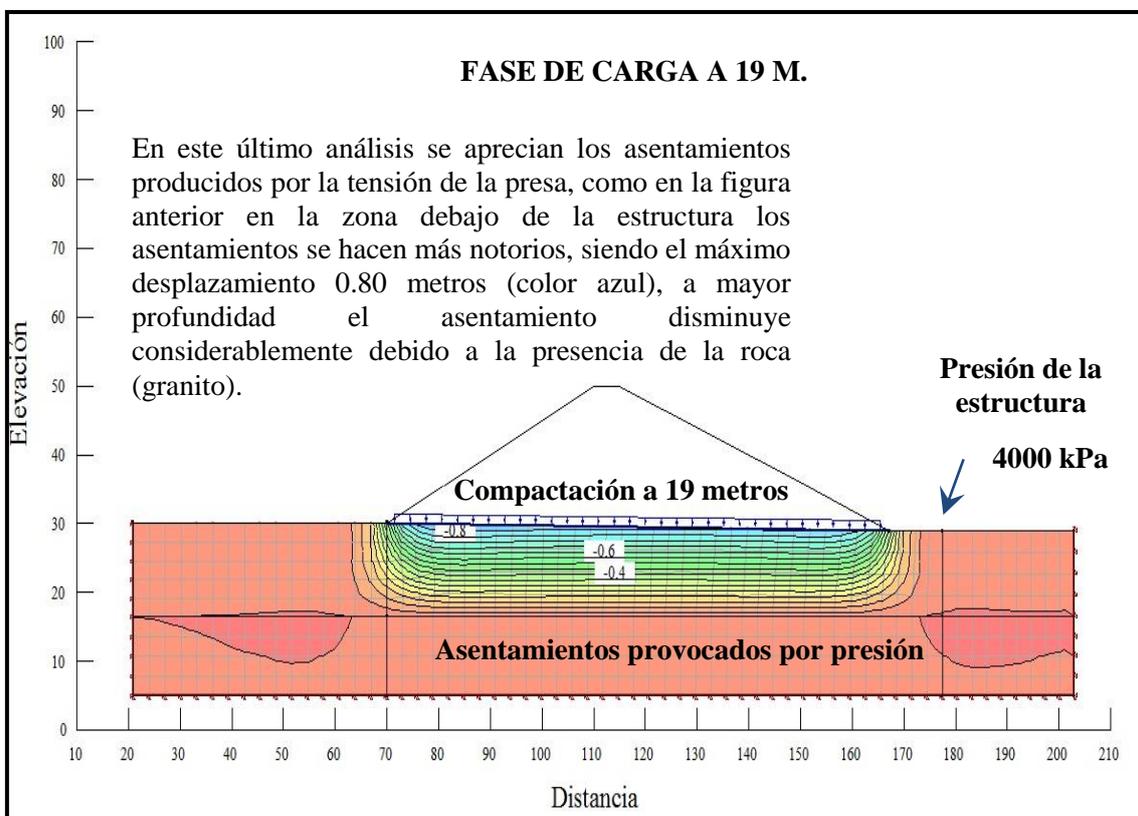


Figura N° 72. : Asentamientos producidos durante la construcción (Fuente: propia).

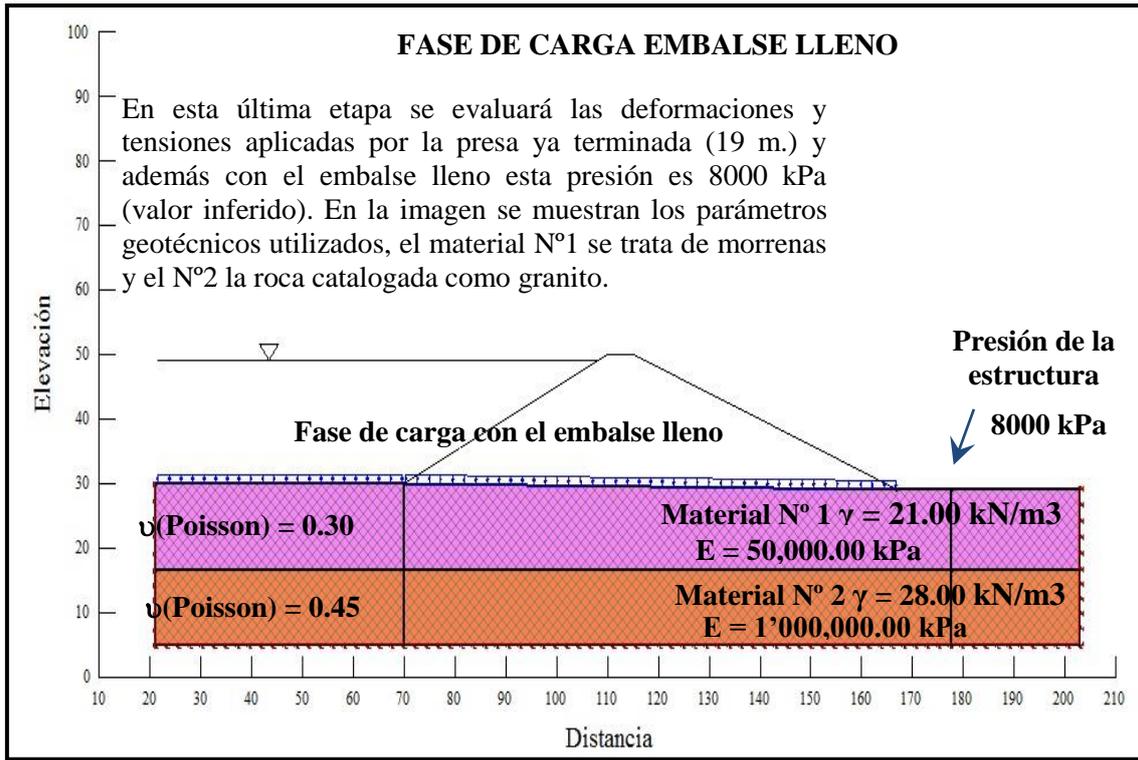


Figura N° 73. : Fase de carga a con el embalse lleno. Parámetros geotécnicos (Fuente: propia).

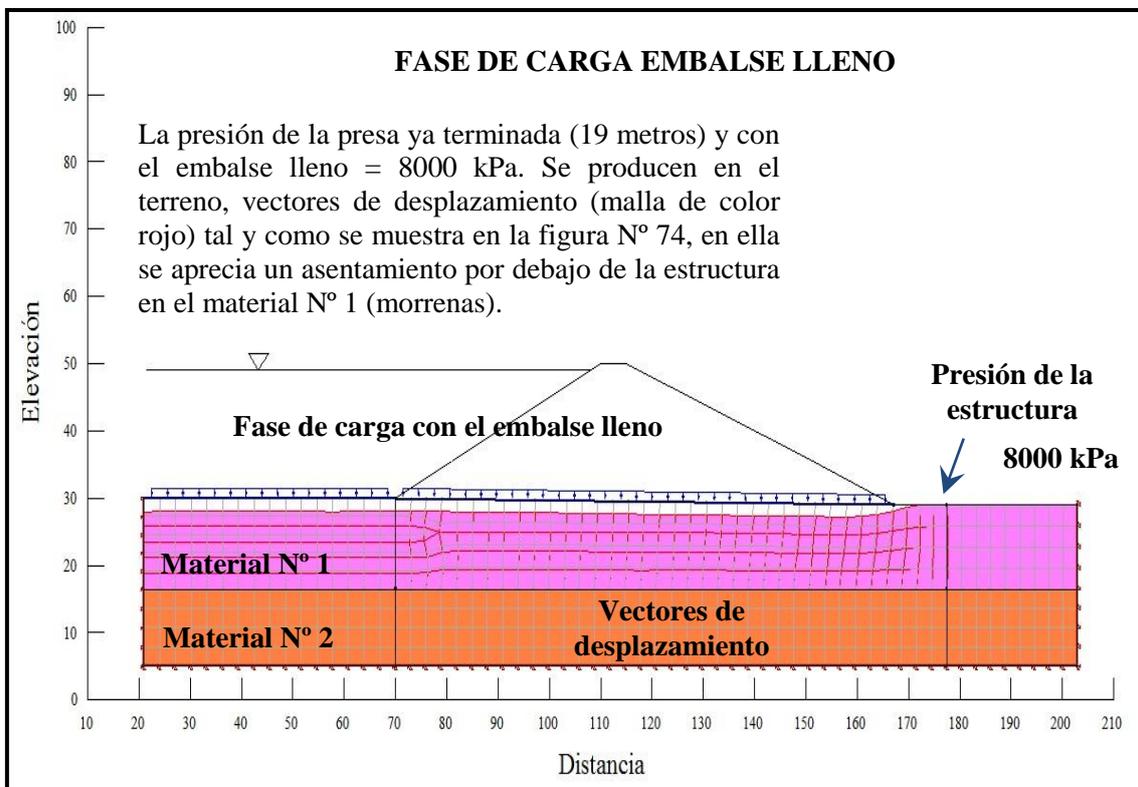


Figura N° 74. : Vectores de desplazamiento en el embalse lleno. (Fuente: propia).

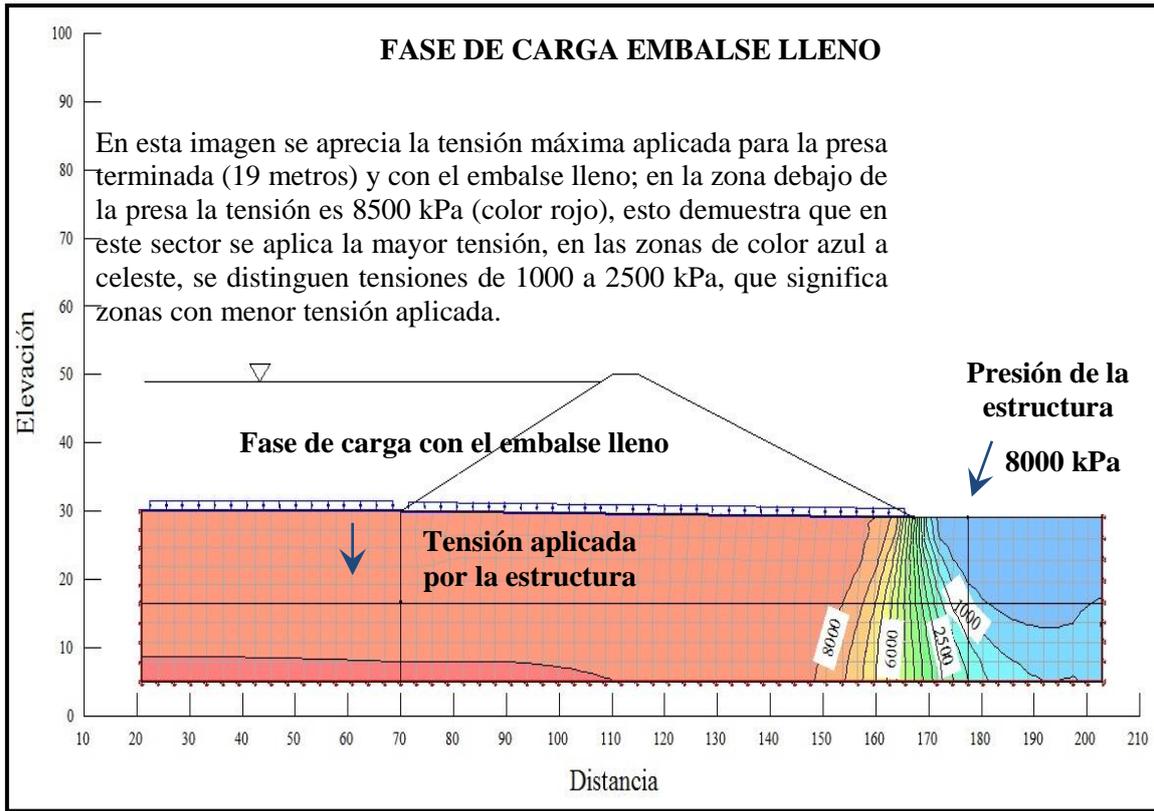


Figura N° 75. : Tensión máxima en la fase de carga con el embalse lleno. (Fuente: propia).

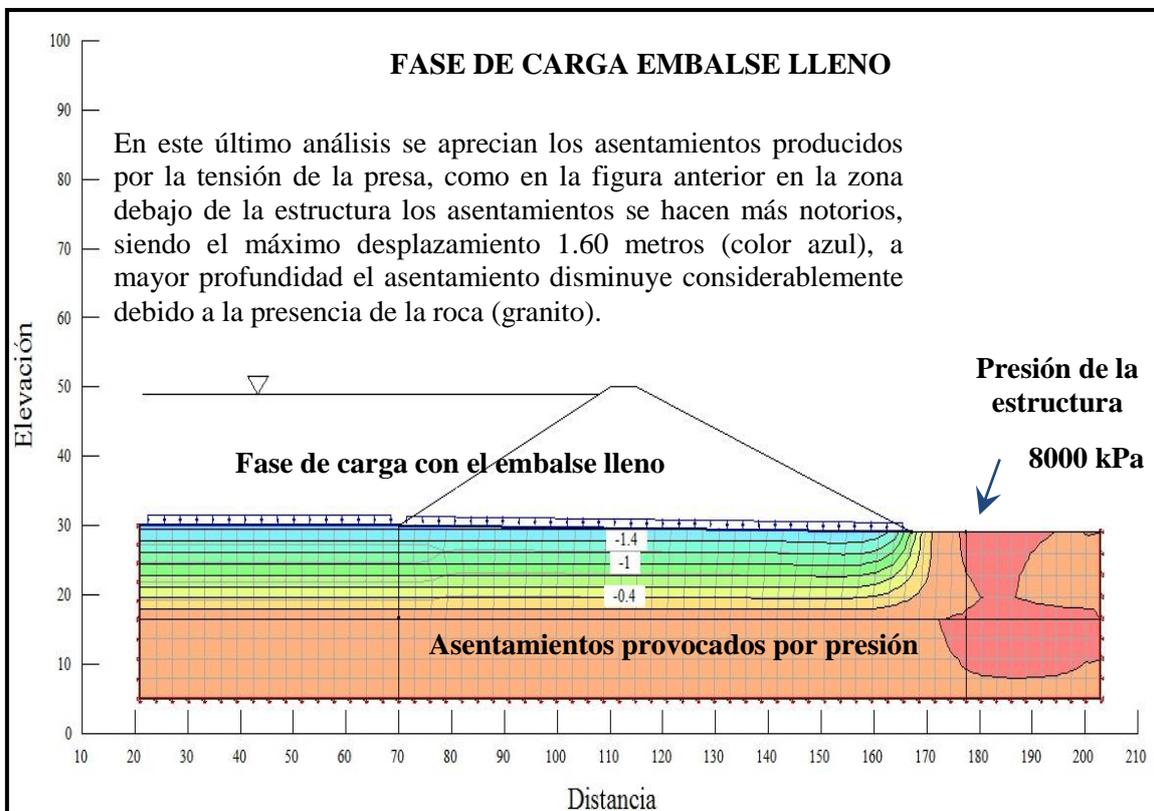


Figura N° 76. : Asentamientos producidos durante la construcción (Fuente: propia).

El asentamiento de la presa es el mayor interés para su estabilidad; el mayor asentamiento se produce durante la construcción y durante los primeros meses de su operación.

Los asentamientos ocurren por diferentes causas tales como compactación inadecuada de la presa y la fundación, preparación incorrecta de la fundación y empleo de materiales de mala calidad.

Los asentamientos pueden llevar a la falla de una presa al causar el rompimiento de la geomembrana y geotextil y/o los filtros. A continuación se presenta un cuadro resumen con los resultados obtenidos:

Tabla XIX. Resultados del análisis de esfuerzo deformación (Fuente: propia).

FASES DE CARGA	TENSIÓN (kPa)	ASENTAMIENTO (m)
5 metros	1,400.00	0.22
13 metros	2,400.00	0.45
19 metros	4,000.00	0.80
Embalse lleno	8,500.00	1.60

En conclusión, los máximos asentamientos observados para la etapa de construcción según el programa de cálculo Sigma/w, no exceden el límite permitido, el cual plantea que “para presas de material compresible (compactado), el asentamiento máximo en la base debe de ser menor al 5% de la altura total de la presa”. (Rodríguez B. 2012). Sin embargo cuando el embalse está lleno el asentamiento supera esta condición, siendo necesario resaltar que el cálculo para esta fase se realizó con un esfuerzo vertical de 8,000.00 kPa, siendo este un valor muy conservador, y que la tensión real aplicada será mucho menor.

4.4 ANÁLISIS DE INFILTRACIÓN

En la laguna Tinkiccocha, a través de los resultados de exploraciones subterráneas tales como refracciones sísmica y sondeos diamantinos, se determinó un tipo de suelo granular (arenoso) de composición predominantemente cuarzosa, con fragmentos de roca granítica de hasta 5 cm. de diámetro; a este material se le adjudica la acción directa de los glaciares. El ensayo de permeabilidad tipo Lefranc, cataloga a este suelo como permeable, y por tanto propenso a las filtraciones sucedidas por subpresiones del embalsamiento (BUREAU OF RECLAMATION-1987- Design of Small Dams).

En la margen derecha con vista a aguas abajo se determinó también, un tipo de roca de composición granítica de color rosado que según los resultados del RQD (>90%), la roca se clasifica como muy buena.

Todo esto conlleva a realizar un análisis de filtraciones en el subsuelo de cimentación, debido a que en el ítem anterior se impermeabilizó el cuerpo de presa, pero no la zona del cimienta.

4.4.1 PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DEL SUELO DE CIMENTACIÓN

Según los estudios realizados en la zona de investigación, se ha podido determinar los parámetros geotécnicos de los materiales constituyentes del suelo de cimentación, a continuación se presenta un resumen de estos.

Tabla XX. Parámetros geotécnicos del suelo de cimentación (Fuente: propia).

MAR- GEN	ESPESOR Y TIPO DE SUELO (M)		PARÁMETROS GEOTÉCNICOS		REFRACCIÓN SÍSMICA	PERMEABILIDAD
			C (Kg/cm ²)	Φ°	VP (m/s)	(cm/s)
Derecha	0.00- 2.50	Cobertura	0.00	31.8	689 m/s	1.48E-03 cm/s
	2.50- 4.00	Morrena	0.00	31.8	689 m/s	6.41E-04 cm/s
	4.00- 15.00	Roca ígnea	-	-	4551 m/s	1.94E-04 cm/s
Izquierd a	0.00- 3.50	Cobertura	0.00	31.0	681 m/s	1.36E-03 cm/s
	3.50- 7.00	Morrena	0.00	31.0	681 m/s	9.20E-05 cm/s
	7.00- 17.0	Roca fract.	-	-	681 m/s	7.32E-05 cm/s
	17.0- 20.0	Morr.-roca	0.00	31.0	4001 m/s	3.82E-05 cm/s

Con estos datos se procederá a realizar el modelamiento de las filtraciones y de este modo dictaminar una o más soluciones posibles.

4.4.2 MODELAMIENTO DE FILTRACIONES

Para el estudio y determinación de las subpresiones que realmente actúan en la presa, se ha desarrollado asimismo un análisis por el método de elementos finitos, utilizando para ello, el programa de simulación del movimiento del agua en medios porosos Seep/w, del paquete Geoestudio 2007.

4.4.2.1 Seep/w (Geoestudio 2007)

Para el análisis de infiltración se utilizó el programa de cómputo Seep/w de la empresa Geo-slope International Ltd. de Calgary, Alberta (Geoslope, 1998). Este es un programa que usa el método de elementos finitos para modelar el movimiento y la distribución de la presión de poros dentro de materiales como suelo y roca. A continuación se presentará diferentes etapas del modelamiento, el cual simulará las filtraciones hacia el suelo de cimentación, así como también el efecto de la impermeabilización recomendada para esta presa en función de los parámetros geotécnicos del suelo.

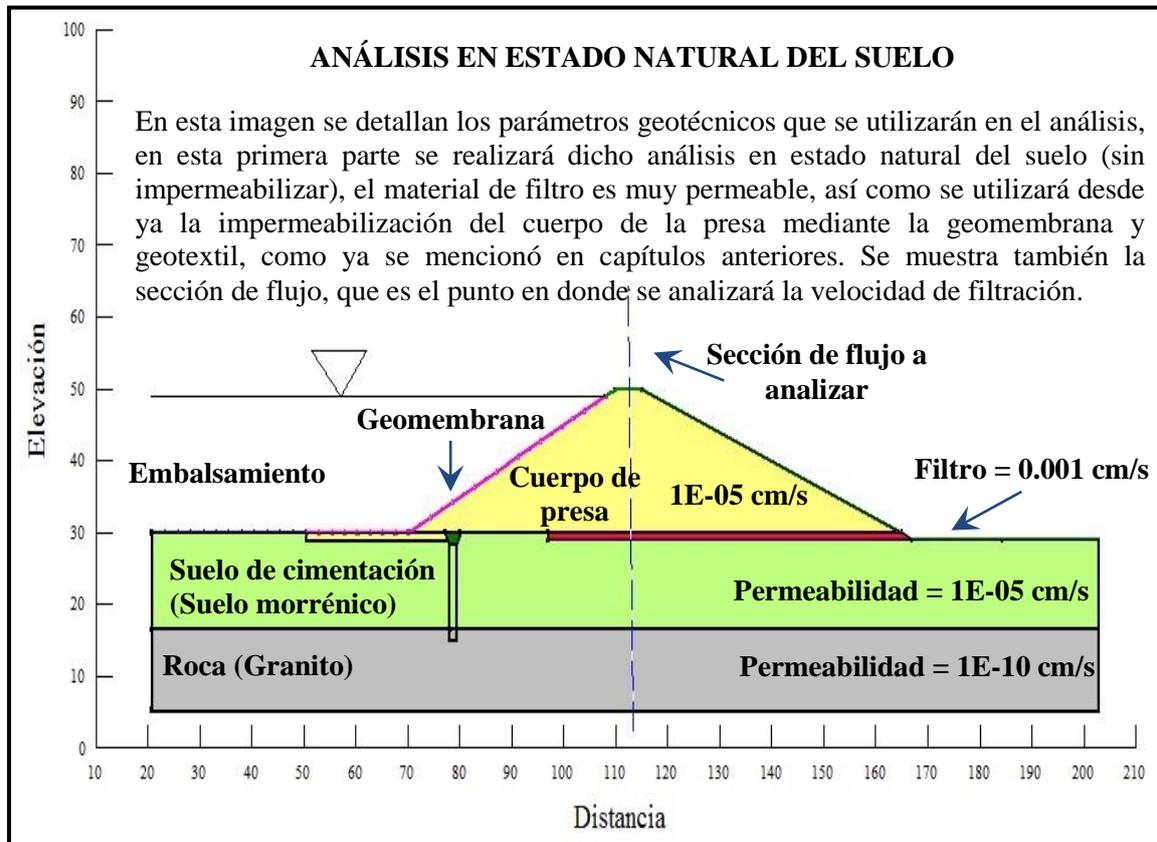


Figura N°77. : Análisis de filtración en estado natural del suelo (Fuente: propia).

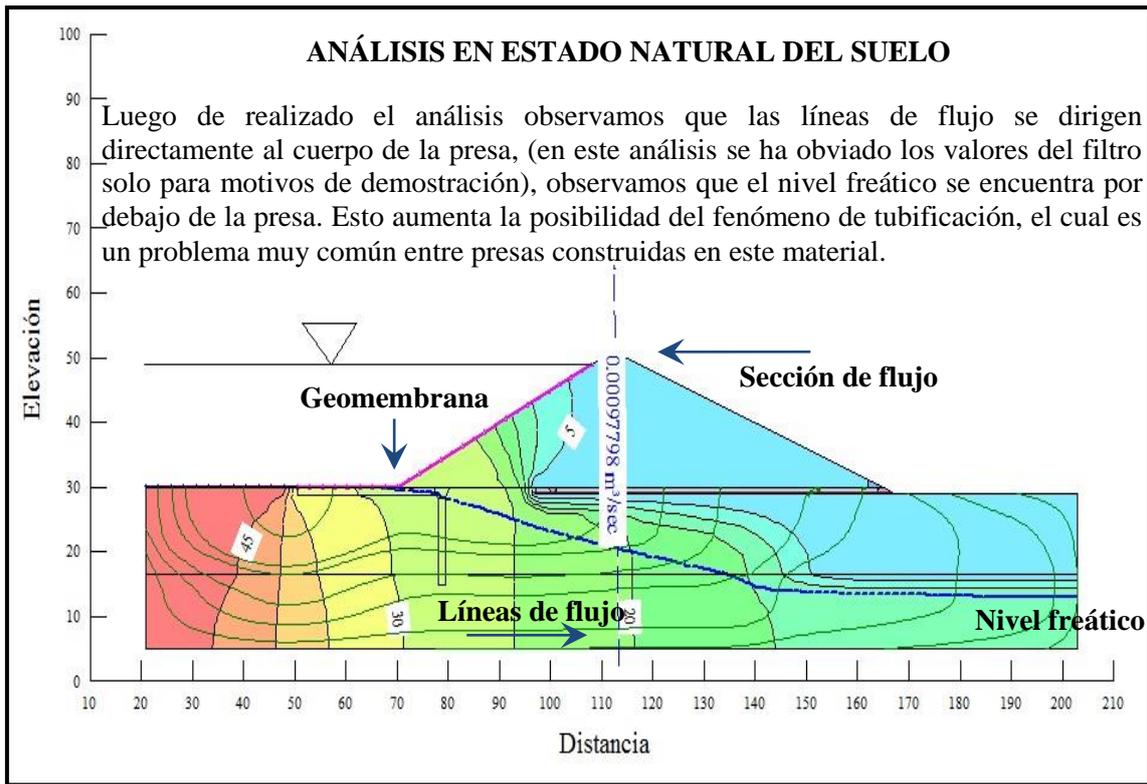


Figura N°78. : Análisis de filtración sin filtro (fuente: propia).

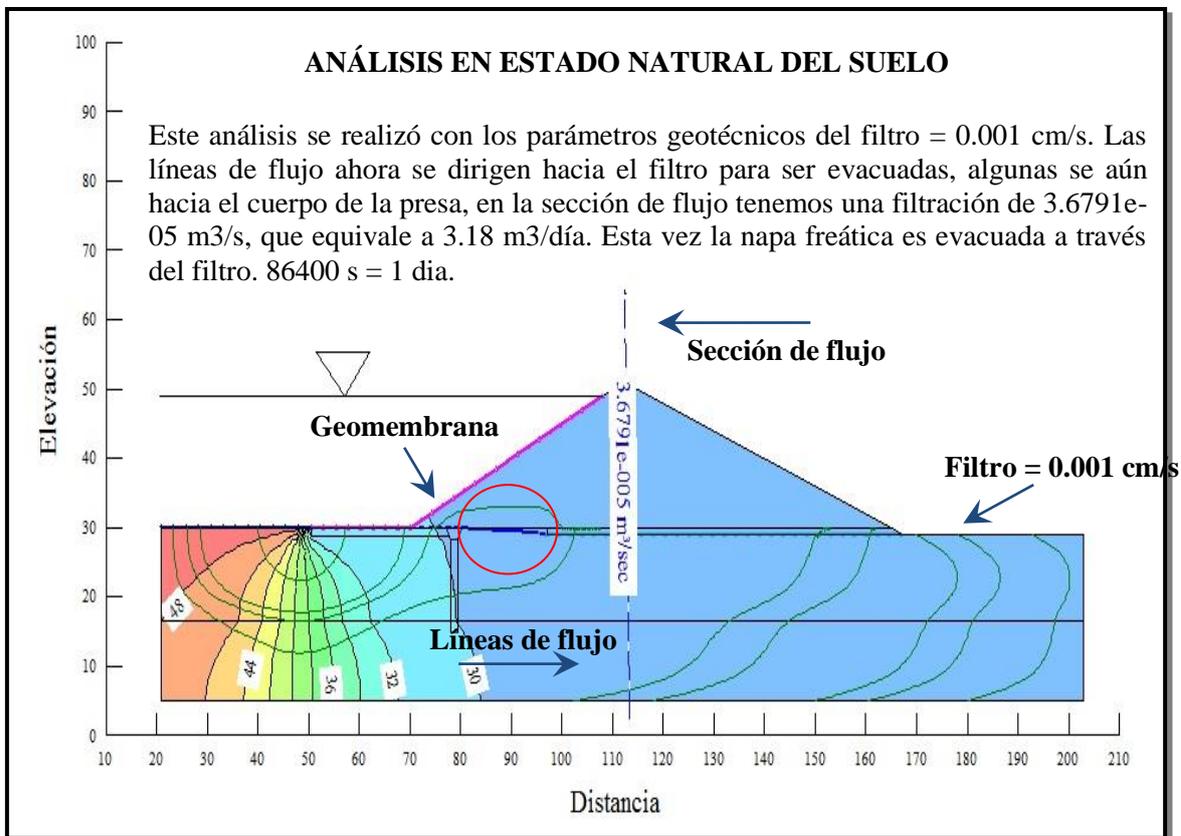


Figura N°79. : Análisis con filtro (Fuente: propia).

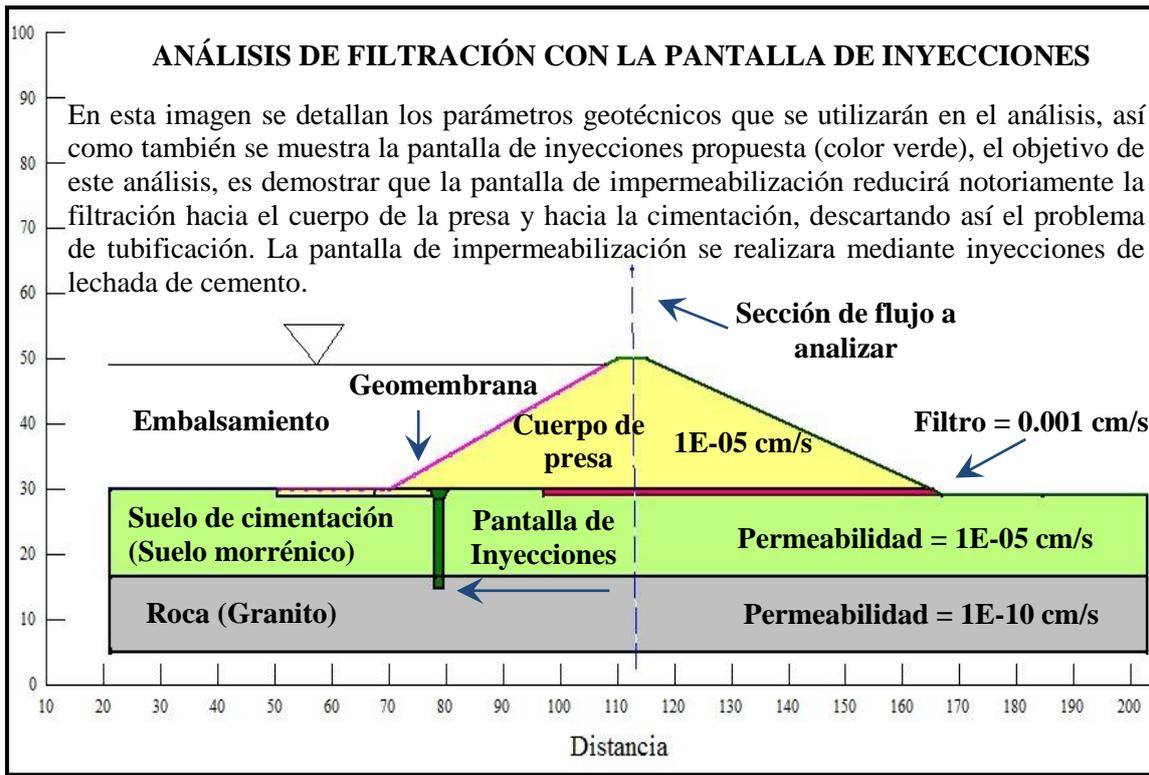


Figura N°80. : Parámetros de la pantalla de Inyecciones (Fuente: propia).

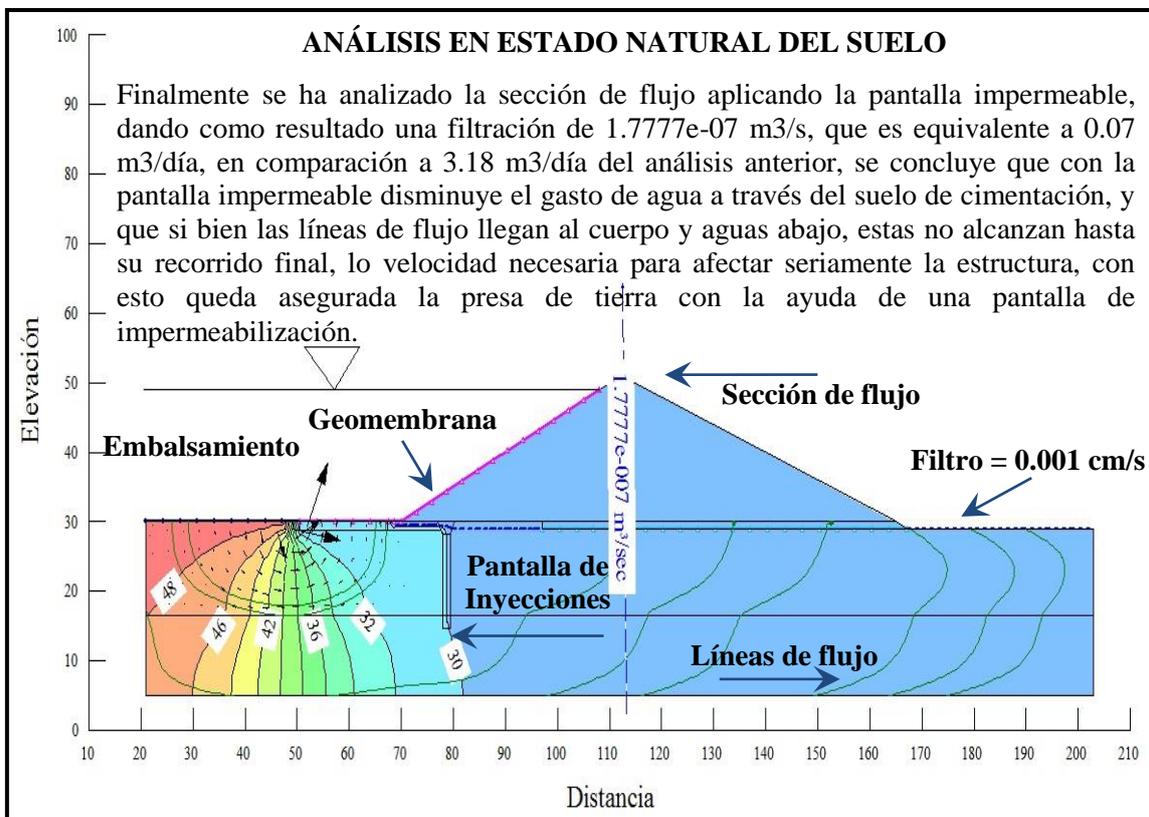


Figura N°81. : Análisis de Filtración con la Pantalla de impermeabilización (Fuente: propia).

4.4.3 SISTEMA DE IMPERMEABILIZACIÓN

Atendiendo a las demandas producidas por las filtraciones que se generarán en la presa Tinkiccocha se plantea un sistema de impermeabilización acorde con lo que se ha modelado con el programa Seep/w.

Según lo planteado, se recomienda una pantalla de impermeabilización compuesto de inyecciones de cemento. Este contempla la consolidación y la optimización de los terrenos naturales a través de inyecciones de productos químicos, habitualmente se realizan con lechadas de cemento mediante presión en zonas de menor resistencia, ubicados a lo largo de los taladros de tratamiento.

La elección del tipo de producto a inyectar se presenta en la siguiente figura, la cual muestra el campo de aplicación de las inyecciones en función de la permeabilidad de los suelos (APARISI E. Q. – 1987).

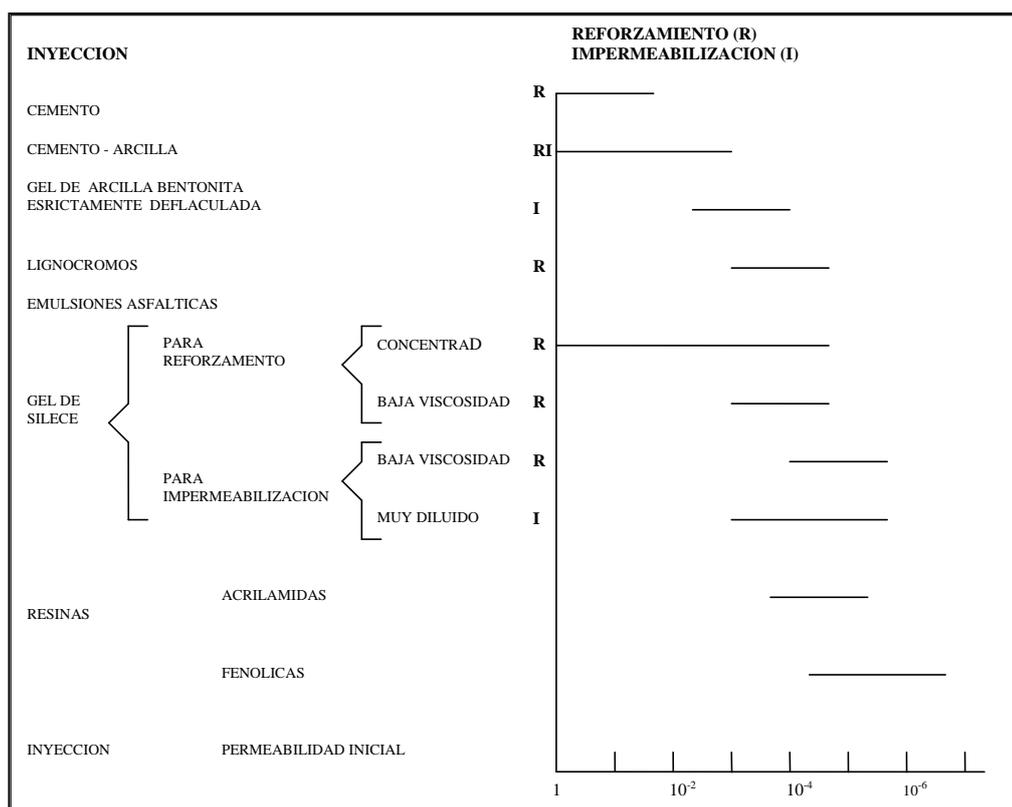


Figura N° 82. : Aplicación de las inyecciones en función de la permeabilidad (fuente: Ing. Edwin Malca Ore, Consultor en Ingeniería).

Puesto que el objetivo fundamental es lograr la impermeabilización debajo de la presa de Tinkiccocha, se deberá de impermeabilizar las zonas a una profundidad de 25 m. en el estribo izquierda, y de 5 a 7 m. en el estribo derecho. Las permeabilidades en

estos estratos alcanzan un valor cercano a los 10^{-4} cm/s. es decir son materiales que pueden ser impermeabilizados con el empleo del cemento comúnmente empleado para la construcción convencional (Portland tipo MS) pero además es recomendable en el caso de la “roca fracturada”, adicionar arcillas (bentonita). De acuerdo al cuadro anterior para hacer efectivo este tratamiento el tipo de cemento deberá ser mucho más molido, lo que facilitara el viaje de este a través del suelo morrénico.

4.4.3.1 Inyecciones con lechada de cemento-arcilla

El tratamiento de un suelo de cimentación mediante inyecciones se refiere a la serie de actividades que se requieren realizar para mitigar las filtraciones previstas en el área en donde se desplantará la presa. Esas actividades dependen de las condiciones geológicas del suelo. El objetivo principal de un tratamiento del suelo de cimentación es tratar de lograr una zona impermeable, con el objeto de poder garantizar la seguridad y funcionalidad de la obra. Las inyecciones se realizan una vez construido el plinto o la base a lo largo del eje de la presa.

Mediante estudios de prospección geofísica realizados en la zona de estudio se ha llegado a estimar la permeabilidad de los suelos de manera referencial, en el cuadro siguiente se aprecia la capacidad de inyección respecto a la permeabilidad del suelo.

Tabla XXI. Capacidad de inyección con respecto a las permeabilidades (Fuente: propia).

PERMEABILIDAD (cm/s)	CAPACIDAD DE INYECCION
$10^{-1} - 10^{-2}$	Fácilmente Inyectables
$10^{-3} - 10^{-4}$	Moderadamente inyectables
$10^{-4} - 10^{-5}$	Marginalmente inyectables
$< 10^{-5}$	No inyectables

Las permeabilidades obtenidas en el subsuelo de cimentación de la Presa, presentan una media de $1E-4$ cm/s, por lo tanto la inyección será moderada.

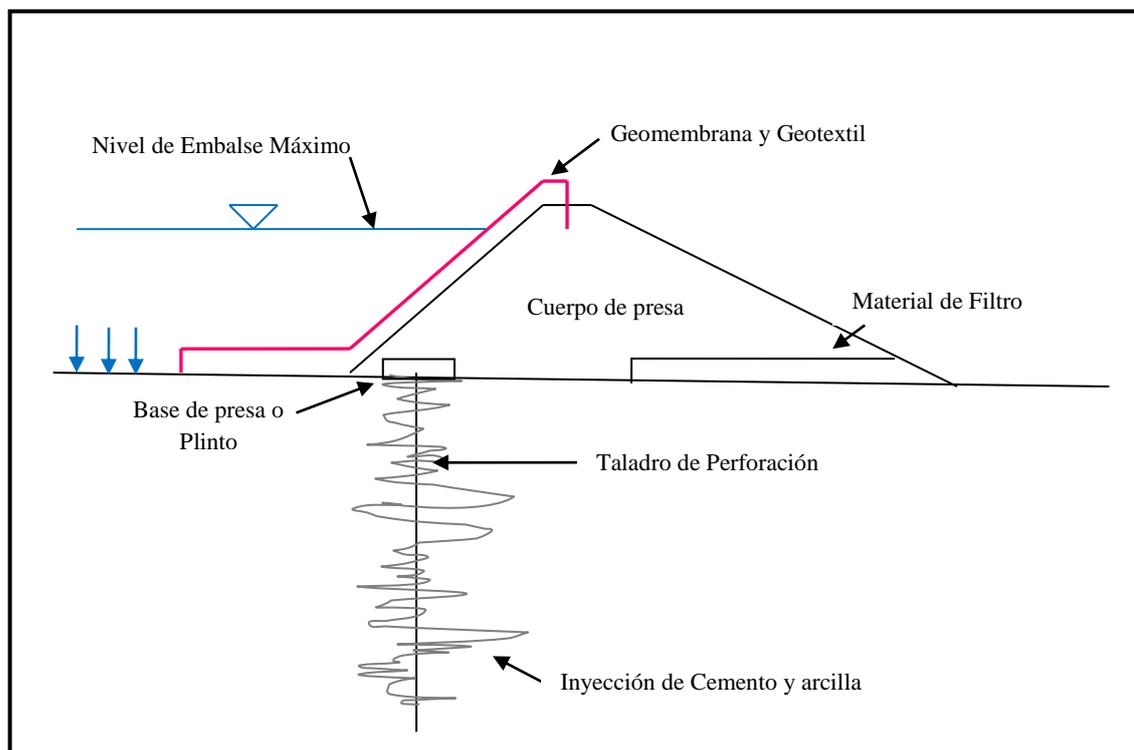


Figura N° 83. : Esquema de las inyecciones de cemento en la presa Tinkiccocha (fuente: propia).

Las inyecciones se realizarán en la base de la presa aguas arriba tal y como se muestra en la **figura N° 83**, se ha planteado esta ubicación para las inyecciones, debido a que se realizarán antes de la construcción del cuerpo, y así no causarán perjuicios constructivos (hidrofracturamiento).

Todo esto se realiza siguiendo la premisa de que las permeabilidades altas posibilitan la probabilidad de producirse un fenómeno de tubificación y/o sifonamiento, las inyecciones tienen como objetivo el disminuir el gradiente hidráulico aumentando la impermeabilidad de la cimentación (PRIALE J.A. -1989- Mecánica de Suelos).

La fabricación de la mezcla se efectuará colocando los materiales en el orden siguiente: agua, cemento y arcilla. Estos componentes deben mantenerse en agitación dentro de los mezcladores, el tiempo que dure la inyección. La dosificación será agua/cemento/arcilla (A/C/Ar) (0.70/1/0.02), estas dosificaciones dependen de los ensayos in situ (Cono de Marsh, punta de vicat, etc.) y estarán a cargo del ing. residente durante la ejecución de las obras.

Las profundidades de cada inyección varían dependiendo del alcance que se quiera tener, en la laguna Tinkiccocha en la margen izquierda y según las perforaciones

diamantinas se estima una profundidad de 25 metros, mientras que en la margen derecha las profundidades tendrán un máximo de 7 metros, debido a la roca presente (granito).

La inyección normalmente se hace en etapas sucesivas con el fin de asegurar que alrededor del taladro se cree un volumen que estará limitado por el radio de acción y por la longitud de sondeo.

El radio de acción estimado para los terrenos morrénicos con permeabilidades de 10^{-3} a 10^{-4} cm/s es de 2 metros, asumiendo un terreno homogéneo (fuente: Ing. Edwin Malca Ore, Consultor en Ingeniería, estudio de factibilidad para la presa Huamanguilla). Sabiendo esto, la separación entre los taladros no deberá sobrepasar los 3 metros.

El cemento recomendado es el Portland tipo MS, debido a las buenas propiedades hidráulicas que este cemento presenta con el adiconamiento de las puzolanas (constituyentes sílice-alúmina), y es recomendable tener una antigüedad no mayor a 3 meses al momento de su uso en la inyección.

La arcilla recomendada es la Bentonita, debe de ser fina (menor a la mala 200), y del tipo de bentonita de sodio fina de Wyoming (Es una montmorillonita que se encuentra en forma natural y que contiene un alto nivel de iones de sodio. Se hincha al mezclarse con el agua.). La bentonita no debe exceder del 3% del peso del cemento y se hidratará por un tiempo mínimo de tres horas antes de ser usada y debe tener un límite líquido (LL) de por lo menos 400%.

4.4.4 PANTALLA IMPERMEABLE

Para la elaboración del diseño de la pantalla de impermeabilización se consideraron los resultados de los estudios geológicos, pruebas de permeabilidad, además de ensayos de laboratorio y de campo todo esto con el propósito de garantizar la estanqueidad de las aguas embalsadas en la presa de tierra.

La construcción de una pantalla de inyectado parte de la suposición, de que durante este trabajo, se forma un volumen de afectación cilíndrico alrededor de cada perforación. Cuando se colocan las perforaciones en serie a lo largo de una línea a una

separación constante de tal forma de que se traslapen sus cilindros de influencia, se espera lograr un cuerpo tabular, que representa la pantalla de inyecciones.

Para formar la pantalla impermeable en el material morrénico se plantea que el número de líneas de inyección sea 3, con separación sistemática entre barrenos de 3.0 m horizontalmente y desfasando los barrenos entre líneas para obtener una distribución en tresbolillo. Por la naturaleza del material, se tendrá que emplear la técnica de inyección por medio de manguitos. Esta técnica permitirá además reinyectar algunos tramos de la pantalla. Se deberá proteger el taladro mediante un Casing (Revestimiento) que permitirá la instalación de tubería PVC debidamente ranurada (tubo manguito), luego se extraerá el revestimiento para iniciar el proceso de inyección. El diámetro recomendado será de 76 mm. (NQ diámetro exterior) con empleo de Casing (HQ, diámetro: 96 mm.) y avance de broca adiamantada.

4.4.4.1 Separación de los taladros de inyección

Para asegurar que la inyección sea efectiva se ha considerado ensanchar esta, mediante el planteamiento de tres filas para que la pantalla sea lo más efectiva posible. El planteamiento anterior es producto de la bibliografía revisada por el autor, concomitante con la experiencia de un número de presas en las que se han efectuado estudios geológicos y perforaciones para pantallas de inyección, en el corto periodo de actividad laboral.

Puesto que el radio de acción en los materiales con permeabilidades de más de 10-3 cm/s (suelos granulares morrénicos), se aproxima a los 2 m., se recomienda que la separación mínima entre taladros sea de 3 m. en una misma fila, y de 3 m de separación también, entre filas (primarias y secundarias). A fin de asegurar la efectividad de la inyección en la zona de mayor consumo, se ha adicionado la perforación de taladros terciarios que sellaran la pantalla de inyección, así se tienen taladros primarios y secundarios espaciados a 3 m. entre filas y en toda su longitud, y los terciarios dispuestos entre estos a una separación de 1.5 m. entre filas y 3m. a lo largo de su longitud.

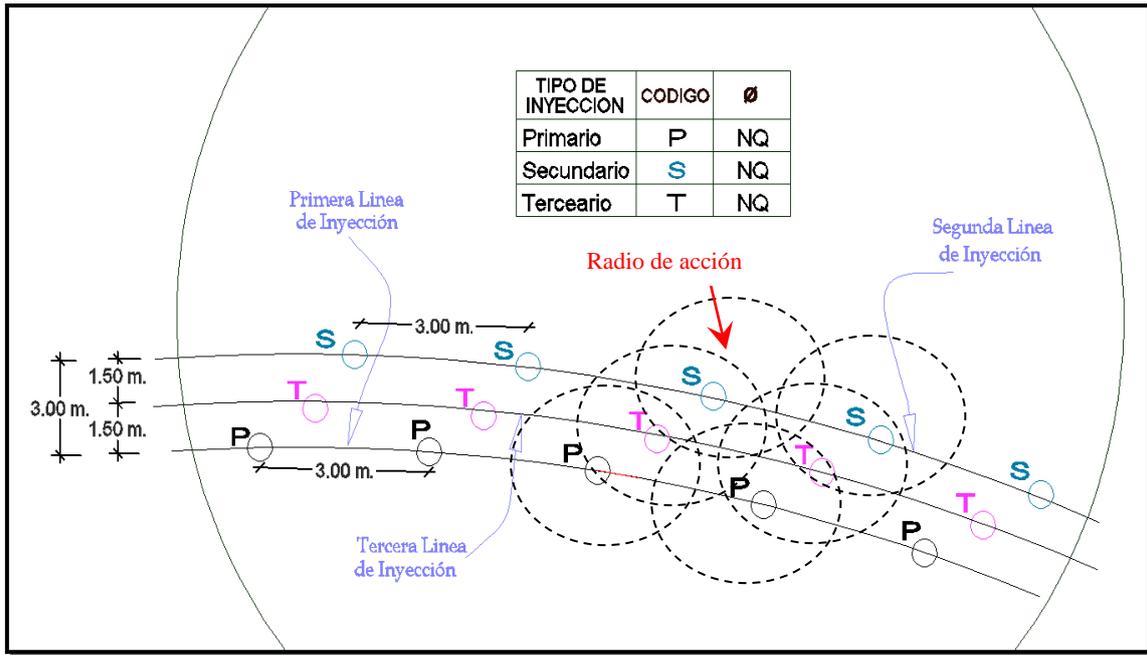


Figura N° 84. : Esquema de las líneas de inyección, primarias, secundarias y terciarias (fuente: propia).

4.4.4.2 Estimación del volumen de inyección

Para estos cálculos del volumen de inyección se tomará en cuenta los ensayos “in situ”. De acuerdo a los estimativos se tiene que las permeabilidades obtenidas promedian en 10-4 cm/s, a lo largo de las profundidades investigadas.

De la relación anterior podemos apreciar que los estratos son moderadamente inyectables según la **tabla XVIII**, es decir el consumo de lechada de cemento será regular. Por cada taladro se estima el volumen de inyección de la siguiente manera:

$$V = \pi r^2 h$$

Donde: h= Altura promedio de inyección (25 m.)

r2= Radio de acción estimado (2 m.)

$$V = 314.16 \text{ m}^3$$

Sin embargo con los trabajos en campo se espera un estimativo inyectable real del 10% del volumen total del suelo. Entonces el volumen a inyectar será:

$$V = 31.42 \text{ m}^3, \text{ por cada taladro de inyección a 25 m. de profundidad.}$$

$$V = 8.80 \text{ m}^3, \text{ por cada taladro de inyección a 7 m. de profundidad.}$$

Es importante considerar que en los taladros secundarios el consumo será mucho más bajo que en los primarios, luego en los terciarios, el consumo será aun más bajo, además los taladros en los extremos de la presa no tendrán similar consumo que los del cauce del pequeño río generado por la laguna Tinkiccocha. Además se está estimando el volumen con una profundidad de 25 m., para el estribo izquierdo y por tanto el volumen para el estribo derecho a una profundidad aproximada de 7 m. es mucho menor.

Lo planteado es según el caso más crítico que pudiera presentarse, se prevé que después de la primera y segunda línea de inyección, se deberá obtener una permeabilidad final de $k=10^{-5}$ como mínimo, en las pruebas respectivas de verificación.

4.4.4.3 Método de los tubos con manguito

Mediante inyecciones a media o alta presión de un fluido poco viscoso se consigue romper la estructura del terreno, rellenando los nuevos planos de rotura con la propia lechada de cemento. Es aconsejable que el fluido de inyección sea de fraguado rápido (aditivos de fragua rápida SIKA), para cicatrizar lo más rápido posible los planos de rotura forzados. Al crear una nueva estructura de terreno reforzado se consigue un doble efecto de densificación y rigidización. Esto se debe a que el suelo queda cosido por la red de fracturas cementadas inducidas en el mismo.

Después de haber terminado la perforación se limpia el casing, y se introduce en toda su profundidad un tubo PVC de 2" de diámetro aproximado, perforado a distancias iguales. Estos agujeros suelen estar hechos en grupos de tres por cada metro de longitud. Cada grupo está recubierto por un trozo de tubo o casquillo de caucho que actúa como válvula y que se denomina manguito. De esta manera, se le agrega un mortero de cemento con bentonita, el cual constituye un recubrimiento espeso que facilita el que pueda adherirse perfectamente el tubo con manguitos al terreno.

Mientras se procede al alzamiento del casing, se rellena un espacio anular comprendido entre este y el tubo de manguitos, con el mortero antes mencionado.

Para que la inyección pueda realizarse, tiene que romperse el recubrimiento plástico en la parte que corresponde a los manguitos.

Esta operación se efectuará mediante la lechada de cemento a presión localizada en el tramo del tubo con manguitos parametrado por dos obturadores opuestos.

La inyección de la lechada se realizará exactamente siguiendo el mismo proceso que el que ha servido para romper el recubrimiento. Cuando está detenido el doble obturador a la altura de un manguito, se envía el mortero de inyección con el inyector.

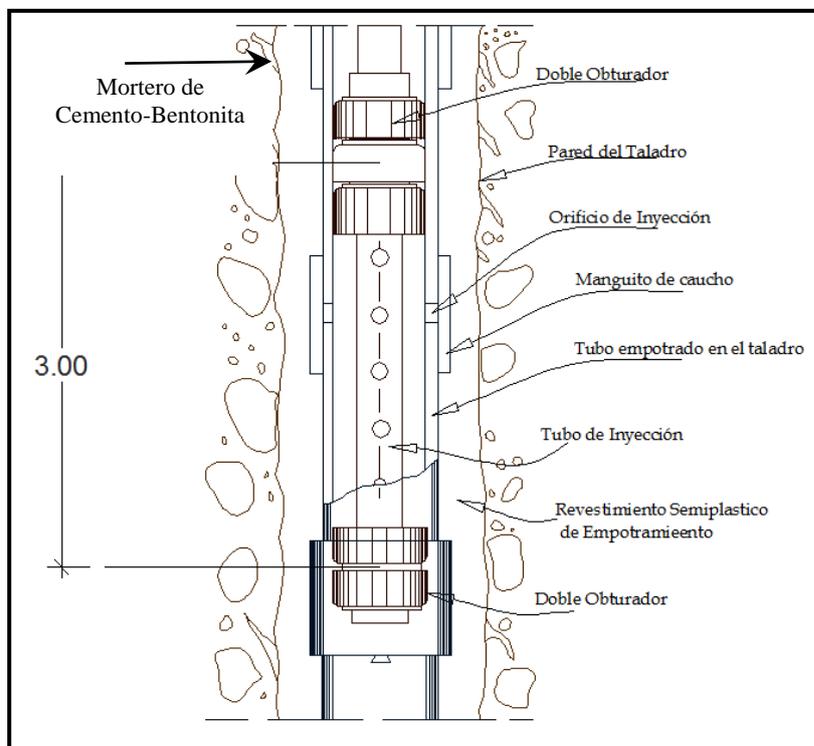


Figura N° 85. : Esquema del tubo manguito y sus componentes (fuente:propia)

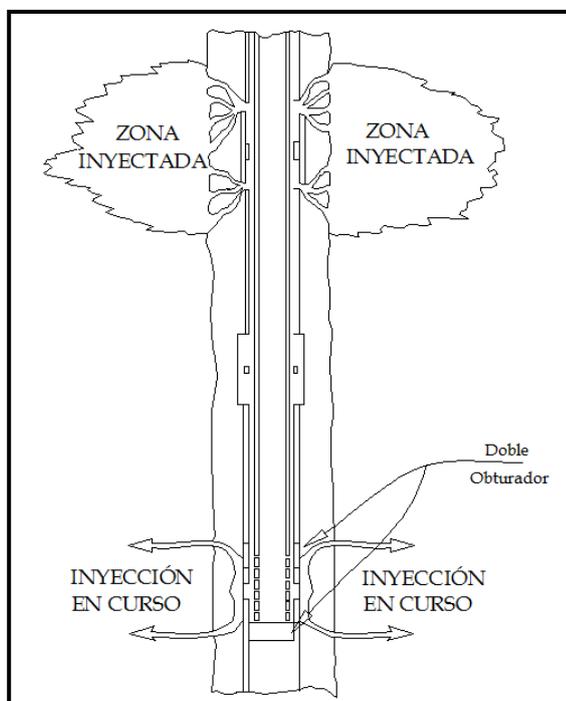


Figura N° 86. : Esquema de la inyección con el método del tubo manguito (fuente:propia)

Gracias a este dispositivo es posible inyectar fácilmente capas muy profundas en los trabajos de inyección, además la inyección puede iniciarse por donde se quiera.

Es recomendable comenzar por los medios más permeables. Una vez obturados estos, los morteros que se inyecten en las capas próximas de granulometría más fina no podrían aprovechar los niveles permeables para progresar hacia adelante.

En resumen, este método permitirá realizar una inyección correcta y relativamente económica hasta la profundidad planteada, garantizando una pantalla efectiva y de gran duración en el tiempo.

Conviene, sin embargo, recordar que la inyección provoca deformaciones en el terreno extremadamente importantes. Si los tubos de manguito no son de buena calidad pueden destruirse al inyectar en los taladros próximos. Siendo capaces de conservar íntegra su sección, deben ser igualmente flexibles para adaptarse a las deformaciones del terreno. Estas deformaciones pueden incluso llegar a ser de tal magnitud que al arquearse el tubo impidan la colocación del obturador. El tipo de tubería de PVC que se recomienda es el de clase 10.

4.4.4.4 Procedimiento constructivo

Los trabajos de Impermeabilización se deberán realizar luego de la construcción del Plinto de Concreto. Las Inyecciones de cemento tienen por objetivo crear una cortina impermeable que disminuya la filtración del agua bajo la Presa. Se debe hacer hincapié, en que estos trabajos deberán realizarse con personal calificado y con experiencia en este tipo de trabajos. A continuación se hace una descripción general de la secuencia de trabajos a realizar:

– Ubicación de los puntos de Perforación

Es el primer paso y uno de los más delicados dentro del proceso de perforación-inyección. Para lograr el alineamiento es necesario localizar exactamente el punto de perforación. Este proceso se realiza en base a la ubicación del punto por el topógrafo de campo de la Obra.

– **Perforación de los Taladros**

- Como se recomendó anteriormente está será rotatoria, en diámetro NQ con casing HQ. Por las características encontradas del terreno se perforara hasta los 25 m. de profundidad en la margen izquierda y 7 m. en la margen derecha.
- Para efectos del cierre se han dividido los taladros en primarios, secundarios y terciarios los cuales deberán todos tener el mismo diámetro de perforación.
- Solo será posible la perforación de los taladros secundarios cuando los primarios que se ubican en sus extremos han sido completamente terminados (Inyectados).
- Solo será posible la perforación de los taladros terciarios cuando los taladros secundarios de sus extremos hayan sido completamente terminados.
- Antes de sacar la tubería de perforación se deberá de colocar la Tubería PVC con los manguitos totalmente sellados. Esta operación deberá de efectuarse con sumo cuidado.
- La Potencia mínima de perforación no deberá ser menor a los 70 HP las cuales deberán contar con bombas de más de 100 lt/s.
- La recuperación de muestras solo se efectuara en los lugares críticos con permeabilidades elevadas.

– **Pruebas de agua tipo Lefranc**

- Se debe realizar cada 5.0 m antes de la inyección del tramo. El objetivo de este trabajo es para conocer la permeabilidad inicial del suelo.
- Es importante indicar que los tramos de prueba no necesariamente son estrictos, es decir que para la ejecución de la prueba de permeabilidad debería de levantarse hasta los 5 m el barreno de perforación, sin embargo por lo observado en campo cuando lo anterior se ejecuta en algunos tramos el taladro tiende a cerrarse, produciendo derrumbe del taladro y pérdida de profundidad.

– **Inyecciones de Cortina**

- Después de concluidas las pruebas de permeabilidad Lefranc, se inicia el tratamiento del suelo mediante inyección de cemento del taladro en tramos de 5 m.
- Si en cualquier perforación se encuentra que la lechada esta fluyendo de huecos adyacentes en tal cantidad que interfiere seriamente con la operación de

inyección o que causa pérdida de lechada apreciable, tales huecos de inyección serán tapados.

– **Verificación después de terminar los tratamientos de inyección**

En los sitios o tramos donde se presenten dudas por consumos decrecientes de mezclas, taponamientos repentinos o la presencia de zonas de alta permeabilidad, será necesario un reforzamiento del tratamiento de inyecciones con mayor cantidad de barrenos inyectados, orientados o con dirección a zonas de altos consumos de mezcla, buscando siempre la optimización de la perforación hacia los sistemas de discontinuidades.

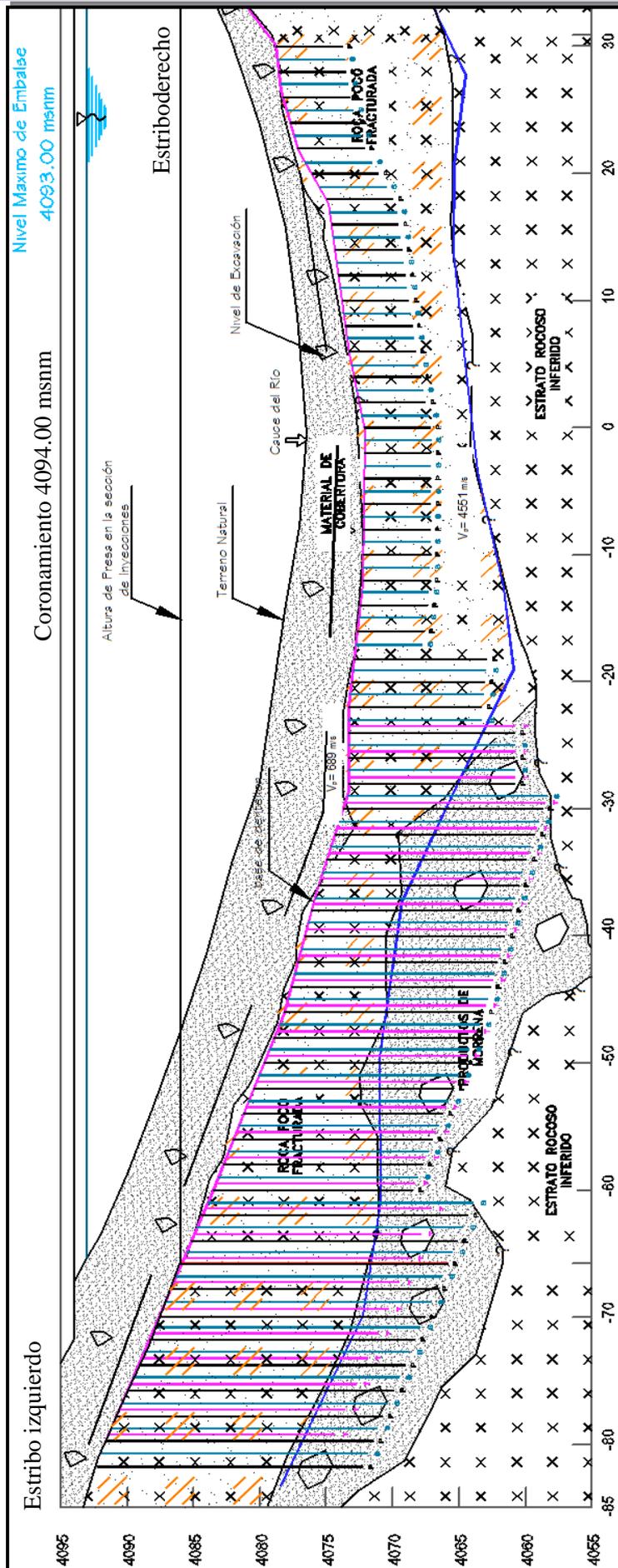


Figura N° 87. : Esquema de las inyecciones en la base de la laguna Tinkiccocha (fuente:propia)

En la figura se muestra el perfil de la zona en el cual se detalla la litología, dividiéndose en material de cobertura, suelos morrénicos, rocas poco fracturadas y rocas compactas inferidas. Como se ve, las inyecciones en el estribo izquierdo tienen una profundidad de 25 m., en el estribo derecho las inyecciones están en el orden de 7 m. de profundidad, las inyecciones de color negro son las primarias, las azules las secundarias y las de color magenta las terciarias, estas últimas solo han sido realizadas en el estribo izquierdo, por ser esta zona la más crítica. Como se aprecia, en el estribo derecho la roca compacta se infiere a 12 m. de profundidad aproximadamente, por lo que no es necesaria una tercera línea. Con esto el suelo de cimentación quedará impermeabilizado tal y como se muestra en el análisis de filtraciones.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

– GEOLOGÍA

- Geográficamente la zona de estudio se localiza en la Sierra Sur, dentro de la región Apurímac, a una altitud promedio de 4090 metros sobre el nivel del mar.
- Litológicamente la laguna Tinkiccocha, motivo de esta investigación, se emplaza sobre depósitos morrénicos conformados por tills (gravas, arenas y limos), subyacente se encuentra el complejo granítico Querobamba del pérmico inferior, conformado por granitos, sienitas y la combinación de ambos.
- Geomorfológicamente presenta relieves moderados con cambios bruscos en zonas gobernadas por un complejo granítico, presentándose principalmente acantilados y farallones.
- Estructuralmente el complejo granítico Querobamba presenta como principal característica, su forma masiva gracias a su naturaleza ígnea plutónica, es por eso que está mínimamente afectada por las fallas regionales.
- Desde el punto de vista de la geodinámica externa, las condiciones en el área se encuentran estables a pesar de estar conformado por depósitos cuaternarios; sin embargo los agentes geodinámicos presentes en la laguna Tinkiccocha, son principalmente los depósitos, enmarcados como morrenas. La evidencia concreta de este evento geodinámico queda registrada en la alteración del curso del pequeño río proveniente de la laguna Tinkiccocha, el ambiente se presenta húmedo por efectos del agua subterránea.
- La zonificación sísmica del área queda enmarcada como zona 2, según la Norma E.030 diseño sismo resistente, así mismo el área de influencia tiene una aceleración máxima de 0.32 g.

– GEOTECNIA

- En la laguna Tinkiccocha se plantea la construcción de una presa de tierra; la altura de coronación alcanza los 19 metros y tendrá un ancho de 5.00 metros con una longitud de 130.00 metros, además tiene una inclinación de 1V / 2H en el talud aguas arriba y 1V / 2.5H aguas abajo.
- El cuerpo de la presa estará conformado por material de préstamo (GM-GC), de canteras de las cercanías del lugar, este material se compactará en capas, cabe resaltar que antes de la compactación se conformará el subdrenaje, constituido por material muy permeable (Gravas subangulosas).
- El terreno en el cual se desplantará la presa, es de un material morrénico, y está cubierto por 1.00 m. aproximadamente de suelo bioturbado por raíces, este se removerá para iniciar con la conformación del plinto o base de la presa. La altura a embalsar alcanza la cota de 4093 m.s.n.m.
- Se han realizado 03 líneas sísmicas por el método tradicional para determinar la velocidad de las ondas de compresión “P”, la profundidad estimada de prospección es de 30 metros estas líneas se han ejecutado una en el eje de la presa proyectada y las otras dos perpendiculares a ella. Se ha considerado dos estratos bien definidos: El material morrénico, que en la margen derecha tiene una profundidad de 4.50 a 7 metros y en la margen izquierda de 6 a 8 metros. El otro estrato es una roca ígnea moderadamente fracturada en la margen derecha, en la margen izquierda la fracturación se presenta desfavorable.
- El material identificado en las calicatas muestran una cobertura biodisturbada por raíces, el resto de la profundidad se trata de clastos de roca subangulosa de 3 cm. de diámetro englobados en una matriz arenosa.
- Las perforaciones diamantinas con recuperación de testigo, alcanzaron 55.90 metros de profundidad. Muestran una capa de 5 a 6 metros aproximadamente de material morrénico, seguido de roca ígnea granítica, en unos tramos masiva, y en otros fragmentada.
- Los ensayos de permeabilidad tipo Lugeón y Lefranc distinguen una media de permeabilidad igual a 1E-04 cm/s.

- A las muestras de suelo tomadas de las calicatas se realizaron ensayos de laboratorio de: Análisis granulométrico, límites de Atterberg y contenido de humedad. Los ensayos de corte directo determinan los parámetros geotécnicos del suelo $C: 0.00 \text{ Kg/cm}^2$, $\Phi^\circ: 32.2^\circ$ y una densidad de 1.9 kN/m^3 .
- Los análisis de estabilidad de taludes de la presa se han realizado con el programa de computo Geoestudio 2007, Slope/w. El FS obtenido es 1.030 y 1.093 para un análisis pseudoestático. Se analizó nuevamente con un geosintético compuesto por geomembrana HDPE y geotextiles, siendo el FS de 1.109 para el talud aguas arriba y 1.220 para el de aguas abajo.
- Se realizó el análisis de esfuerzo y deformación en 4 fases de carga a 5, 13, 19 m. y con embalse lleno, el asentamiento producido por el peso de la propia presa puede aceptarse como razonable hasta el 5% de la altura de la misma. Sin embargo cuando el embalse está lleno el asentamiento supera esta condición, siendo necesario resaltar que el cálculo para esta fase se realizó con un esfuerzo vertical de $8,000.00 \text{ kPa}$, siendo este un valor muy conservador, y que la tensión real aplicada será mucho menor. De modo que los trabajos de compactación que se realicen durante la construcción sufrirán asentamientos inmediatos, los cuales según el análisis, no acarrearán problema alguno.
- Para el análisis de infiltración se utilizó el programa de computo Seep/w, en 2 estaciones, una estado natural del suelo y otra con la pantalla de impermeabilización. La sección de flujo para la primera estación genera una filtración de $3.18 \text{ m}^3/\text{día}$, y para la segunda estación solo $0.07 \text{ m}^3/\text{día}$, con esto queda asegurada la presa de tierra con la ayuda de una pantalla de impermeabilización evitando el fenómeno de erosión interna.
- Para el sistema de impermeabilización se realizará inyecciones de lechada de cemento con arcillas y se utilizará el método de los tubos con manguito con la disposición de las líneas de inyección se según el sistema tres bolillo, así mismo se tienen taladros primarios y secundarios espaciados a 3 m. entre filas y en toda su longitud, y los terciarios dispuestos entre estos a una separación de 1.5 m. entre filas y 3m. a lo largo de su longitud.

RECOMENDACIONES

- Para complementar la información y tener mayor certeza de los resultados producto de los análisis con programas de cómputo, se recomienda utilizar los programas de ingeniería Rocscience.
- Se recomienda realizar líneas sísmicas MASW, la cual evalúa las condiciones del sitio y se puede obtener los valores del módulo de elasticidad (E) y el coeficiente de Poisson (ν), necesarios para realizar los análisis de esfuerzos.
- Se recomienda la utilización de controles geotécnicos, con instrumentación de piezómetros, inclinómetros e hitos de control topográfico.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ANGELONE, S.; GARIBAY M. T.; CAUHAPÉ C. M. – 2006 – Geología y Geotecnia - Permeabilidad de Suelos, Universidad Nacional de Rosario 39 p.

APARISI E. Q. – 1987 – Pantallas de impermeabilización en cimiento de presas para cierre de estratos permeables, Madrid, Revista de obras públicas, ROP Editorial, N° 3258, pp 317-324.

BRAJA M. D. – 1999 - Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, 4ta Edición, California State University, Sacramento, Editorial International Thomsom, 594 p.

BRAJA M. D. – 1999 - Principios de Ingeniería de Cimentaciones, 4ta Edición, California State University, Sacramento, Editorial International Thomsom, 862 p.

BUREAU OF RECLAMATION-1987- Design of Small Dams; United States Department Of The Interior, Third Edition 632 p.

BOWLE, J.E. -1995 -. “Propiedades geofísicas de los suelos “Profesor de Ing. Civil Bradley University 235 p.

CANCELA R. M. D. -1987- Comportamiento geotécnico de presas de residuos bajo acciones estáticas y dinámicas, Tesis Doctoral, Universidad de Madrid, 478 p.

CASAGRANDE A. -1948- fragmentos del libro: Clasificación de los suelos 15 pp.

COMITÉ NACIONAL ESPAÑOL DE GRANDES PRESAS (CNEGP) – 1999 – Estudios geológico-geotécnicos y de prospección de materiales. Guías técnicas de seguridad de Presas, n. °3, Madrid, 368 p.

DESENA AHEDO A. – 2003. Tesis: Estabilidad de Taludes en presas de tierra y Enrocamiento, México Distrito Federal, Instituto Politécnico Nacional, 128 p.

DOS SANTOS O. A. -1980- Ensaio de Perda d' Agua Sob Presão. Diretrizes, Brasil, 45 p.

FOYO, A.; TOMILLO, C.; SÁNCHEZ, M. A. – 1998 – Presas y embalses. Ingeniería geológica y aspectos ambientales. E.T.S.I. de Caminos. Universidad de Cantabria, Santander, 321 p.

FRANCOM. A. – 1988 - El Cimiento y la Seguridad de la Presa, Madrid, 15 p.

GALÁN S.F. – 2012 - Centrales Hidroeléctricas y presas del Alto Aragón, fundación Esteyco, Madrid, 172 pp.

GÁLVEZ C. – 1994 – Consideraciones sobre el efecto del agua en el diseño y comportamiento de presas de materiales sueltos. Tesis del Máster de Ingeniería Geológica. Univ. Complutense de Madrid, 96 p.

GALOFRE A. -1980- Conceptos Geológicos Básicos de Aplicación en Hidrogeología. Segunda Edición, Barcelona, 400 p.

GONZÁLES Y. J. y ROBLES J. L. – 2004 - Geología Práctica, Departamento de Química Agrícola, Geología y Geoquímica. Universidad Autónoma de Madrid 320 p.

GONZALEZ de VALLEJO, L. (2002), Ingeniería Geológica, Prentice hall. 1ra Edición, Madrid, 715 p.

HERRERA J. y CASTILLA J. – 2000 - Utilización de técnicas de sondeos en estudios geotécnicos. Dpto. de explotación de recursos minerales y obras subterráneas. E.T.S. Minas (Madrid) 233 p.

HIDROENERGIA – 2014, Refracción Sísmica de la Laguna Tinkiccocha, Apurímac – 8p.

INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO Y METALÚRGICO–1999-Memoria Explicativa del Mapa Geológico del Perú, 73 p.

INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO Y METALÚRGICO, -1996- Boletín N° 70A, Geología del Perú. Primera edición. Lima. 185 p.

JUAREZ B. E.-1996 -. Mecánica de suelos Tomo II-Editorial Limusa - México, Distrito Federal -703 p.

JUAREZ B. E. -1995 - Mecánica de suelos Tomo I-Editorial Limusa -- México, Distrito Federal -640 p.

KRYNINE P.D.; JUDD W. -1972- Principios de Geología y Geotecnia para Ingenieros, Traductor: José M. Ríos. Tercera edición. Barcelona, España. 828 p.

KRAMER L. – 1996 - GEOTECHNICAL EARTHQUAKE ENGINEERING – Prentice Hall, New Jersey 07458, 673 p.

LAMBET. W. – 1972 - Mecánica de Suelos, México, Editora Limusa S.A. de C.V. 4ta Edición, 575 pp.

LEGGET F. R. y KARROW F. P. -1986- Geología Aplicada a la Ingeniería Civil, Traductor: Mario Aguilera Delfín; Julio Fournier Gonzales; Fernando Fournier Montiel. Tercera edición. Editorial México, 610 p.

MATTAUER M. -1976- Deformaciones de Materiales de la Corteza Terrestre, Traductor: Mateo Gutierrez Elorza. Primera Edición. Ediciones Omega S.A., Editorial Des Sciencies, Barcelona, 508 p.

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES 2006 – Norma Técnica E-030 Diseño Sismoresistente 156 p.

MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE CHINCHEROS – 2011, Estudio de Factibilidad para la construcción del sistema de riego Huaccana, Apurímac – 132 p.

PRIALE J.A. -1989- Mecánica de Suelos y Ciencias Afines Aplicadas a Obras Hidráulicas, Editor: Centro de desarrollo profesional en ingeniería. Primera Edición, Lima, editorial Efigraf, 139 p.

RAGAN M. D. -1980- Geología Estructural, Introducción a las técnicas geométricas, Traductor: Montserrat Domingo de Miró. Ediciones Omega S. A. Editorial Jhon Wiley, Barcelona, 207 p.

RODRIGUEZ BADILLO F. I. – 2012 Diseño de la obra de cierre y las obras complementarias en el embalse Pampas de Salasaca, Quito – 359 p.

SOCIEDAD INTERNACIONAL DE MECANICA DE ROCAS - 1984. Estandarización de Pruebas de Laboratorio y Campo. 364 p.

TORRES N. A.- Octubre 2010. Filtraciones – Geología y Geotecnia, Universidad Nacional del Rosario, Facultad de Ingeniería Civil, 55 p.

TRONCOSO J. H. -1997- Fundamentos de Ingeniería Geotécnica Antisísmica; Segunda Edición; Ediciones Universidad Católica de Chile, 144 p.

URIEL S. – 1964 - La Geotecnia Aplicada a las grandes Presas, Revistas de Obras Públicas, España, 510 p.

VERA T.J. A. –1994 - Estratigrafía principios y métodos, Universidad de Granada, Editorial Rueda, Madrid 799 p.

<http://apuntes.rincondelvago.com/TESIS/modelo+de+investigación>

<http://es.slideshare.net/mobile/juanchojuancho/metodologia-de-investigacin-para-elaborar-una-tesis-25826565>

<http://es.scribd.com/doc/90093214/EQUIPO-3-Mecanica-de-Suelos>

ANEXOS

ANEXO I:**PLANOS****Listado de planos**

PLANO N°	DESCRIPCIÓN
01	PLANO DE UBICACION
02	PLANO GEOLOGICO REGIONAL
03	PLANO GEOMORFOLOGICO
04	PLANO GEOLOGICO LOCAL
05	PLANO GEOMORFOLOGICO-GEODINAMICO
06	PERFIL ESTRATIGRAFICO
07	PLANO GEOTECNICO
08_A	PERFORACIONES
08_B	PERFORACIONES
08_C	PERFORACIONES

ANEXO II:

INVESTIGACIONES GEOTÉCNICAS

PERFORACIONES DIAMANTINAS

POZO N°01
Prof.: 0.00 – 4.00m



POZO N°01
Prof.: 4.00 – 7.40m



POZO N°01
Prof.: 7.40 – 10.80m



POZO N°01
Prof.: 10.80 – 14.15m



POZO N°01
Prof.: 14,15 – 15,35m



POZO N°02
Prof.: 0.00 – 4.00m



POZO N°02
Prof.: 4.00 – 8.10m



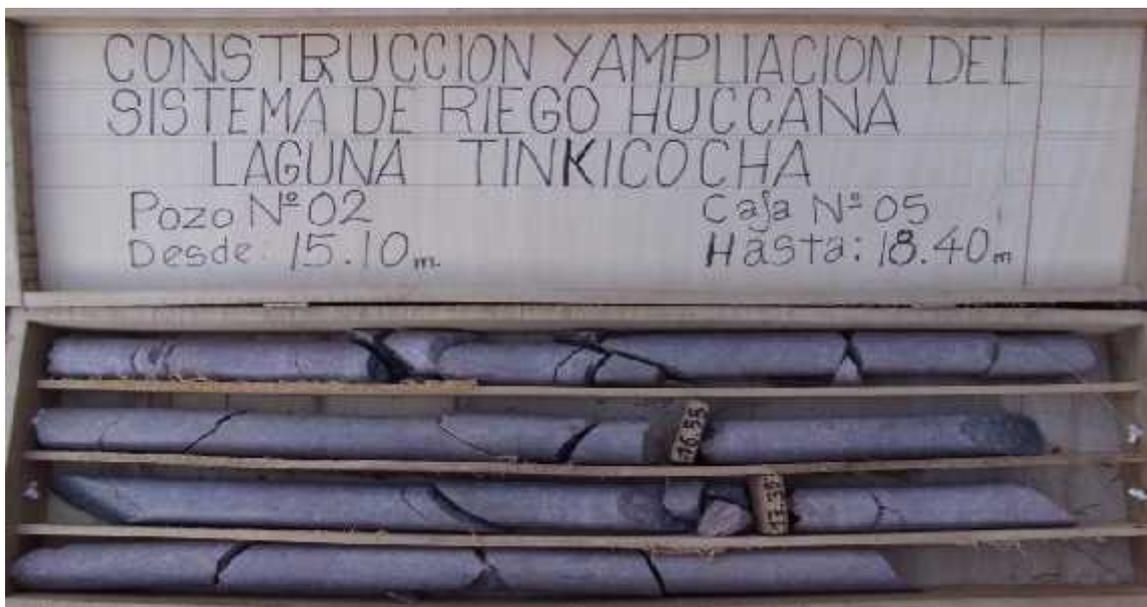
POZO N°02
Prof.: 8,10 – 11.60m



POZO N°02
Prof.: 11.60 – 15.10m



POZO N°02
Prof.: 15,10 – 18,40m



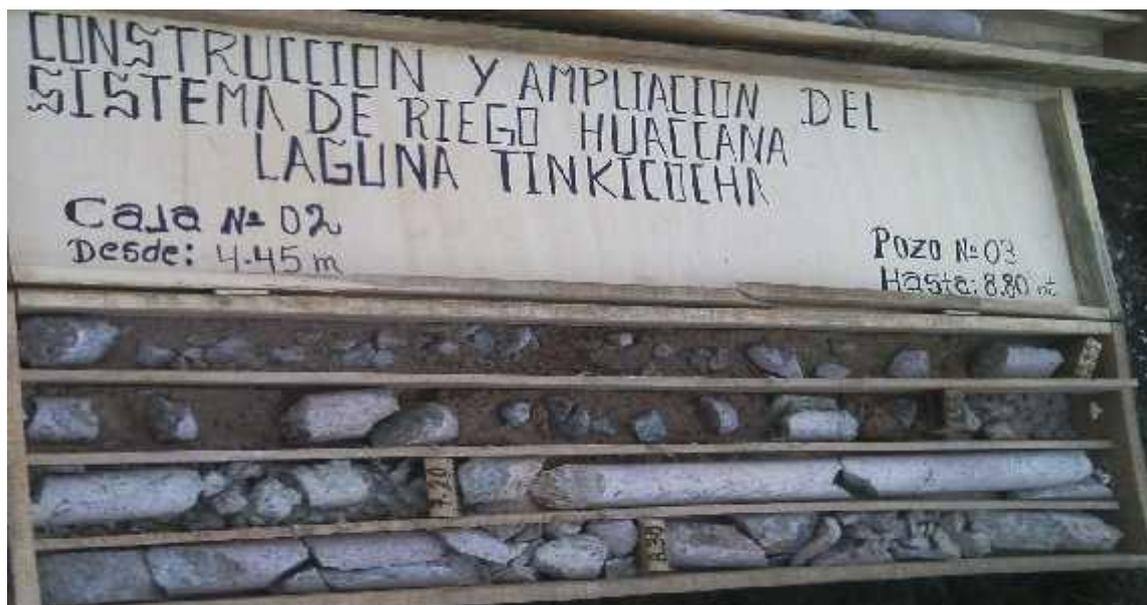
POZO N°02
Prof.: 18,40 – 20,45m



POZO N°03
Prof.: 0.00 – 4.45m



POZO N°03
Prof.: 4.45 – 8.80m



POZO N°03
Prof.: 8,80 – 12.60m



POZO N°03
Prof.: 12.60 – 16.95m



POZO N°03
Prof.: 19,95 – 20,10m



CALICATAS

REGISTRO DE EXCAVACIÓN

DESCRIPCION DEL PERFIL DEL SUELO

PROYECTO TESIS	ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA PRESA TINKICCOCHA – APURÍMAC
Ubicación	DISTRITO DE CHINCHEROS - HUACCANA, DEPARTAMENTO DE APURÍMAC
UNIVERSIDAD	UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO PUNO-PERU
REALIZADO POR	JUAN CARLOS ARELLANO MENDOZA

Calicata	C-01	Prof. (m)	1.50	Fecha	JUNIO 2014
Zona	MARGEN DERECHA	Nivel Freat.	-	Prog.	
Ubicación UTM	E= 637,786,31; N= 8'513,224,2				

PROF. (m)	Exc.	COL.	W(%)	DESCRIPCION DEL ESTRATO	Clasif. SUCS	SIMBOL	OBSERVACION
0.00 - 0.40				0,00 - 0,40 m.: MATERIAL ORGÁNICO DE COBERTURA, BIOTURBADO POR RAICES Y CON PRESENCIA DE HUMEDAD.	GP		
0.40 - 0.70				0,40 - 0,70 m.: MATERIAL ARENO GRAVOSO OXIDADO, LAS GRAVAS TIENEN TAMAÑOS QUE VARÍAN DESDE 2 A 3 cm. DE DIÁMETRO.	GP		
0.70 - 1.50				0,70 - 1,50 m.: ESTRATO COMPRENDIDO POR ARENAS DE GRANO MEDIO CON LIMOS DE COLOR BEIGE.	SP		

REGISTRO DE EXCAVACIÓN

DESCRIPCION DEL PERFIL DEL SUELO

PROYECTO TESIS	ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA PRESA TINKICCOCHA – APURÍMAC
Ubicación	DISTRITO DE CHINCHEROS - HUACCANA, DEPARTAMENTO DE APURÍMAC
UNIVERSIDAD	UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO PUNO-PERU
REALIZADO POR	JUAN CARLOS ARELLANO MENDOZA

Calicata	C-2	Prof. (m)	1.50	Fecha	JUNIO 2014
Zona	MARGEN DERECHA	Nivel Freat.	-	Prog.	
Ubicación UTM	E= 637,774,61; N= 8'513,237,2				

PROF. (m)	Exc.	COL.	W(%)	DESCRIPCION DEL ESTRATO	Clasif. SUCS	SIMBOL	OBSERVACION
0.00 - 0.40 m.				0,00 - 0,40 m.: MATERIAL ORGÁNICO DE COBERTURA, CON CLASTOS DE ROCA MENORES A 2 cm. DE DIÁMETRO.	GP		
0.40 - 0.60 m.				0,40 - 0,60 m.: ESTRATO DE GRAVAS SUBREDONDEADAS DE 6 A 11 cm. DE DIÁMETRO CON MATRIZ ARENOSA.	GP		
0.60 - 1.40 m.				0,60 - 1,40 m.: MATERIAL ARENOSO ENGLOBANDO CLASTOS DE ROCA SUBANGULOSOS MENORES A 2 cm. DE DIÁMETRO, ESTA ZONA ESTÁ SATURADA. <u>NIVEL FREÁTICO A LOS 1,10 m.</u>	SP		

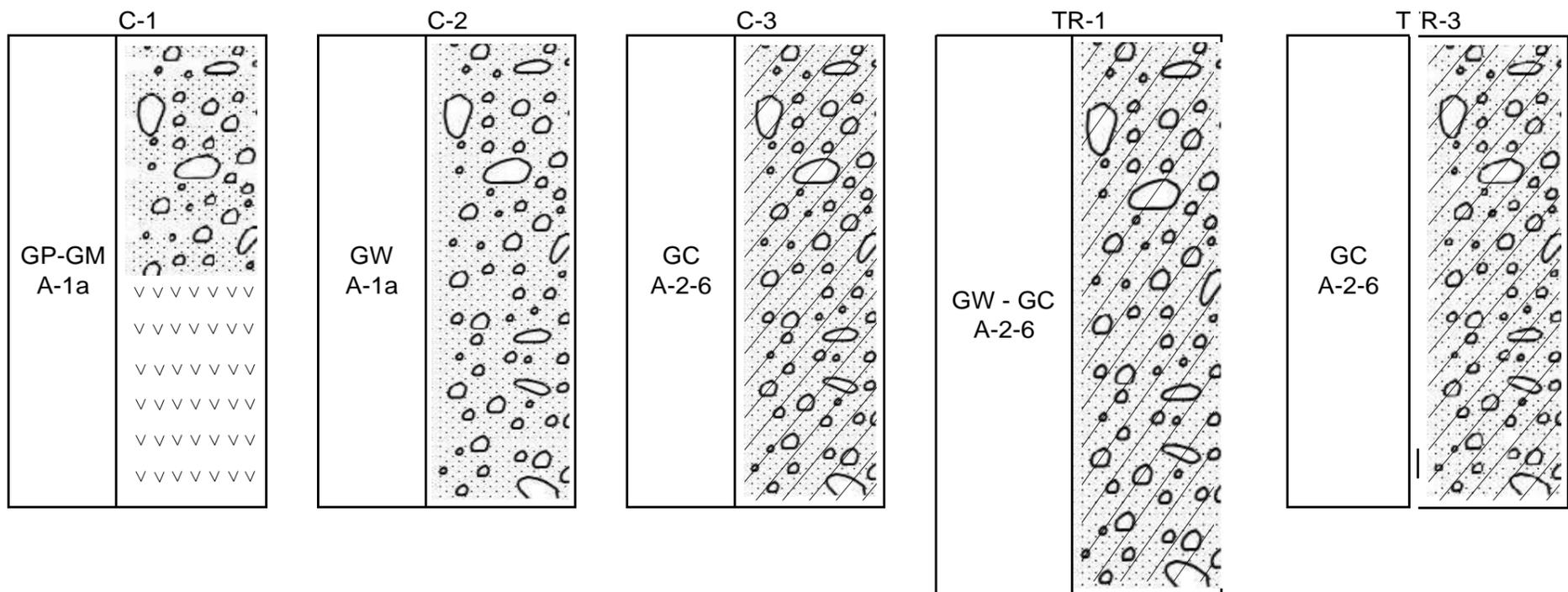
REGISTRO DE EXCAVACIÓN

DESCRIPCION DEL PERFIL DEL SUELO

PROYECTO TESIS	ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA PRESA TINKICCOCHA – APURÍMAC
Ubicación	DISTRITO DE CHINCHEROS - HUACCANA, DEPARTAMENTO DE APURÍMAC
UNIVERSIDAD	UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO PUNO-PERU
REALIZADO POR	JUAN CARLOS ARELLANO MENDOZA

Calicata	C-3	Prof. (m)	1.50	Fecha	JUNIO 2014
Zona	MARGEN IZQUIERDA	Nivel Freat.	-	Prog.	
Ubicación UTM	E= 637774.619; N= 8513237.294				

PROF. (m)	Exc.	COL.	W(%)	DESCRIPCION DEL ESTRATO	Clasif. SUCS	SIMBOL	OBSERVACION
0.20 m.				0,00 - 0,20 m.: MATERIAL ORGÁNICO DE COBERTURA, BIOTURBADO.	GP		
0.40 m.				0,20 - 0,60 m.: ESTRATO COMPUESTO POR CLASTOS DE ROCA SUBANGULOSA DE 3 cm. DE DIÁMETRO ENGLOBALADOS EN ARENAS Y LIMOS.	GP		
0.90 m.				<u>NIVEL FREÁTICO A LOS 0,90 m.</u> 0,60 - 1,50 m.: ESTRATO SATURADO Y CON MAYOR PORCENTAJE DE GRAVAS CON ARENAS Y LIMOS.	GP		



ANEXO III:

ENSAYOS DE PERMEABILIDAD

ENSAYOS DE PERMEABILIDAD TIPO LEFRANC

LAGUNA TINKICCOCHA		ENSAYO DE PERMEABILIDAD LEFRANC			
PROYECTO: ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA LA CONSTRUCCION DE LA PRESA TINKICCOCHA APURIMAC	PROF DE ENSAYO DE: 3.00 A 6.00 m	SONDEO N°	P-01		
FECHA: 28/05/13 Hr INICIO: FIN:	LITOLOG DEL TRAMO: MATERIAL FRAGMENTADO	ENSAYO N°	LF-02		

ENSAYO REALIZADO		TIPO DE ENSAYO	
ABAJO DE LA NF	<input checked="" type="checkbox"/>	INFILTRACION	<input checked="" type="checkbox"/>
ARRIBA DE LA NF	<input type="checkbox"/>	BOMBEO	<input type="checkbox"/>
CON ARTESIANISMO	<input type="checkbox"/>	RECUPERACION	<input type="checkbox"/>

CONDICIONES DE LAS MEDIDAS			
REBAJAMIENTO	CILINDRO	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	(ø =cm.)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	REVESTIMIENTO	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
HIDROMETRIA		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
PROBETA		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

DATOS

a = 1.50 m S = 1.50 m

c = 1.00 m ha = 0.60 m

Zn = m

Zn = PROFUNDIDAD DEL AGUA EN EL REVESTIMIENTO _____ cm

hn = ha+a-Zn = SOBRECARGA DEL AGUA EN EL TIEMPO n. _____ cm

H = SOBRECARGA HIDRAULICA FINAL 325.0 cm

d = ø int. tubo = 11.00 cm L = 6.00 m

ø = ø sondeo = 9.65 cm Inclinación con horizontal : 90°

TIPO DE ENSAYO : CARGA CONSTANTE		REPRESENTACION GRAFICA			
t (min)	Caudalímetro	Q (l/min)			
01'00"		3.50			
02'00"		3.45			
03'00"		3.40			
04'00"		3.40			
05'00"		3.45			
06'00"		3.45			
07'00"		3.50			
08'00"		3.40			
09'00"		3.40			
10'00"		3.35			
11'00"					
12'00"					
13'00"					
14'00"					
15'00"					
TOTAL		34.30			
CAUDAL PROMEDIO		57.2 cm ³ /s			

NIVEL VARIABLE $H = \frac{(h_1 + h_2)}{2} =$ _____ cm

NIVEL CONSTANTE $H = h_n =$ 325 = _____ cm

$t_f - t_i =$ _____ min

$Z_f - Z_i =$ _____ cm

CALCULO DE COEFICIENTES DE PERMEABILIDAD	
<p style="text-align: center;">CALCULO DEL CAUDAL</p> <p>NIVEL VARIABLE $Q = \frac{f \cdot d^2}{4 \times 60} \times \frac{(Z_f - Z_i)}{(t_f - t_i)} =$ _____ cm³/s</p> <p>NIVEL CONSTANTE $Q =$ 57.2 cm³/s</p>	<p style="text-align: center;">CALCULO DE K</p> <p><input type="checkbox"/> Con $S/\delta < 2$ $K = \frac{Q}{f \cdot w \cdot H}$</p> <p><input type="checkbox"/> Con $S/\delta = 2$ $K = \frac{Q}{2 \cdot f \cdot w \cdot H \cdot \sqrt{\frac{S}{w} + \frac{1}{4}}}$</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Con $S/\delta > 2$ $K = \frac{Q \cdot \ln\left(\frac{2S}{w}\right)}{2 \cdot f \cdot H \cdot S}$</p> <p>K (nivel variable) = _____ cm/s</p> <p>K (nivel constante) = 6.41E-04 cm/s</p>
OBSERVACIONES :	

LAGUNA TINKICCOCHA

PROYECTO: ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA LA CONSTRUCCION DE LA PRESA TINKICCOCHA APURIMAC

ENSAYO DE PERMEABILIDAD LEFRANC

PROF DE ENSAYO DE: 1.00 A 4.00 m

FECHA: 29/05/13 Hr INICIO: FIN: LITOLÓG DEL TRAMO: MATERIAL FRAGMENTADO

SONDEO N° P-03
ENSAYO N° LF-01

ENSAYO REALIZADO		TIPO DE ENSAYO	
ABAJO DE LA NF	<input checked="" type="checkbox"/>	INFILTRACION	<input checked="" type="checkbox"/>
ARRIBA DE LA NF	<input type="checkbox"/>	BOMBEO	<input type="checkbox"/>
CON ARTESIANISMO	<input type="checkbox"/>	RECUPERACION	<input type="checkbox"/>

CONDICIONES DE LAS MEDIDAS	
REBAJAMIENTO	<input type="checkbox"/> CILINDRO <input type="checkbox"/> (Ø =cm.) <input type="checkbox"/> REVESTIMIENTO
HIDROMETRIA	<input type="checkbox"/>
PROBETA	<input type="checkbox"/>

Z_n = PROFUNDIDAD DEL AGUA EN EL REVESTIMIENTO _____ cm
 h_n = $h_a + a - Z_n$ = SOBRECARGA DEL AGUA EN EL TIEMPO t_n _____ cm
 H = SOBRECARGA HIDRAULICA FINAL 250.0 cm

DATOS

a = 1.45 m S = 1.00 m $d = \phi$ int. tubo = 11.00 cm L = 4.00 m
 c = 0.55 m h_a = 1.35 m $\phi = \phi$ sondeo = 9.65 cm Inclínación con horizontal : 90°
 Z_n = _____ m

TIPO DE ENSAYO :		CARGA CONSTANTE	
t (min)	Caudalímetro	Q (l/min)	
	435.00		
01'00"	439.50	4.50	
02'00"	444.05	4.55	
03'00"	448.05	4.00	
04'00"	452.05	4.00	
05'00"	456.05	4.00	
06'00"	460.05	4.00	
07'00"	464.00	3.95	
08'00"	468.55	4.55	
09'00"	472.95	4.40	
10'00"	477.25	4.30	
11'00"			
12'00"			
13'00"			
14'00"			
15'00"			
TOTAL		42.25	
CAUDAL PROMEDIO		70.4	cm ³ /s

REPRESENTACION GRAFICA

NIVEL VARIABLE $H = \frac{(h_i + h_f)}{2} =$ _____ cm $t_f - t_i =$ _____ min
 NIVEL CONSTANTE $H = h_n =$ 250 = _____ cm $Z_f - Z_i =$ _____ cm

CALCULO DE COEFICIENTES DE PERMEABILIDAD

CALCULO DEL CAUDAL

NIVEL VARIABLE $Q = \frac{f \cdot d^2}{4 \times 60} \times \frac{(Z_f - Z_i)}{(t_f - t_i)} =$ _____ cm³/s

NIVEL CONSTANTE $Q =$ 70.4 cm³/s

CALCULO DE K

Con $S/\phi < 2$ $K = \frac{Q}{f \cdot w \cdot H}$

Con $S/\phi = 2$ $K = \frac{Q}{2 \cdot f \cdot w \cdot H \cdot \sqrt{\frac{S}{w} + \frac{1}{4}}}$

Con $S/\phi > 2$ $K = \frac{Q \cdot \ln\left(\frac{2S}{w}\right)}{2 \cdot f \cdot H \cdot S}$

K (nivel variable) = _____ cm/s
 K (nivel constante) = 1.36E-03 cm/s

OBSERVACIONES :

ENSAYOS DE PERMEABILIDAD TIPO LUGEON

ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE AGUA A PRESION LUGEON

LAGUNA TINKICCOCHA

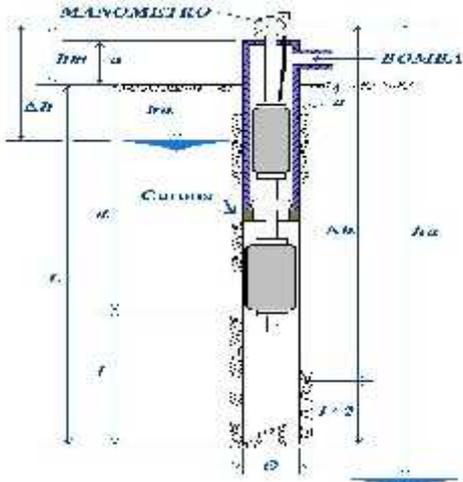
PROYECTO : ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA LA CONSTRUCCION E IMPERMEABILIZACIONE DE LA PRESA TINKICCOCHA

PROF. DE ENSAYO DE : 6.00 A 11.00 m
FECHA : 28-may.-2013 **Hr.INICIO** **FIN :**

SONDEO N° P-01

ENSAYO N° LUG-01

LITOLOG. DEL TRAMO : GRANITO



hm	=	ALTURA DEL MANOMETRO	0.60	m
a	=	ALTURA SOBRE NIVEL DEL TERRENO	0.60	m
ha	=	PROFUNDIDAD NIVEL FREATICO	1.20	m
Dh	=	SOBRECARGA HIDRAULICA	0.60	m
d	=	PROFUNDIDAD DEL OBTURADOR	6.00	m
L	=	PROFUNDIDAD DE PERFORACION	11.00	m
a	=	INCLINACION C/HORIZONTAL	90	°
Dh'	=	h CORREGIDA = Sen a x Dh	0.60	m
l	=	LONGITUD TRAMO DE ENSAYO	5.00	m
Ø	=	DIAMETRO DEL BULBO DEL ENSAYO	9.65	cm
e	=	DIAMETRO DE LA TUBERIA DE ENSAYO	7.62	cm
PM	=	PRESION MANOMETRICA		
PEF	=	PRESION EFECTIVA EN EL PUNTO MEDIO DEL TRAMO DEL ENSAYO		
Dp	=	PERDIDAS DE CARGA		
q	=	VOLUMEN DE AGUA EN LITROS POR MINUTO DURANTE EL ENSAYO		
qt	=	VOLUMEN TOTAL DE AGUA EN LITROS PARA CADA ESTADIO		
G	=	CAUDAL EN LITROS POR MINUTO PARA CADA ESTADIO		
Q	=	CAUDAL EN LITROS POR MINUTO POR Ml. DE TRAMO DE ENSAYO		
UL	=	UNIDAD LUGEON (Q x 10 / P _{EF})		

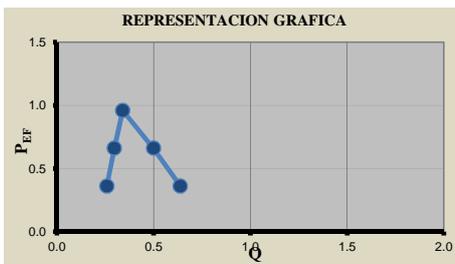
TIEMPO EN MINUTO	P _M = 0.30	q (l)	P _M = 0.60	q (l)	P _M = 0.90	q (l)	P _M = 0.60	q (l)	P _M = 0.30	q (l)
0	204.0		245.0		279.0		301.0		321.0	
1	207.0	3.00	248.2	3.20	281.2	2.20	302.4	1.40	322.9	1.90
2	210.2	3.20	250.0	1.80	282.9	1.70	303.9	1.50	324.2	1.30
3	213.9	3.70	252.6	2.60	284.6	1.70	305.0	1.10	326.1	1.90
4	216.0	2.10	255.0	2.40	286.7	2.10	306.8	1.80	327.8	1.70
5	219.1	3.10	257.8	2.80	288.1	1.40	308.1	1.30	329.0	1.20
6	223.4	4.30	259.9	2.10	290.0	1.90	309.8	1.70	330.5	1.50
7	227.1	3.70	262.7	2.80	291.7	1.70	311.0	1.20	331.7	1.20
8	230.8	3.70	265.0	2.30	293.1	1.40	312.4	1.40	332.5	0.80
9	233.0	2.20	267.5	2.50	294.3	1.20	314.0	1.60	333.1	0.60
10	235.9	2.90	270.0	2.50	296.0	1.70	315.8	1.80	333.9	0.80
q (l)		31.90		25.00		17.00		14.80		12.90
qt (l)		3.19		2.50		1.70		1.48		1.29
Q (l/min/m)		0.64		0.50		0.34		0.30		0.26
Dp (kg/cm ²)		0.00		0.00		0.00		0.00		0.00
CH (h/10)		0.06		0.06		0.06		0.06		0.06
P _{EF} (kg/cm ²)		0.36		0.66		0.96		0.66		0.36
UL		17.72		7.58		3.54		4.48		7.17



UNIDAD LUGEON SELECCIONADA : **12.44** UL

K (PERMEABILIDAD) : **1.62E-04** cm/s

$$P_{EF} = (P_M - p) + CH$$



OBSERVACIONES

El valor mas razonable encontrado por los investigadores para una variación constante de esta relación entre la Unidad Lugeon y K de Darcy, es el de aproximadamente 1.3 x 10⁻⁵ cm/s por cada unidad Lugeon. Lo que es igual a la multiplicación de la unidad lugeon obtenido en el ensayo, por 0,000013, para obtener el valor de la permeabilidad (K)

ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE AGUA A PRESION LUGEON

LAGUNA TINKICCOCHA

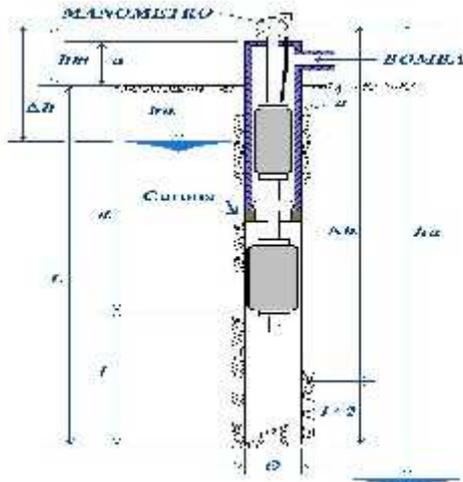
PROYECTO : ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA LA CONSTRUCCION DE LA PRESA TINKICCOCHA APURIMAC

PROF. DE ENSAYO DE : 5.00 A 10.00 m
FECHA : 28-may.-2013 **Hr.INICIO** **FIN :**

SONDEO N° P-02

ENSAYO N° LUG-01

LITOLOG. DEL TRAMO : GRANITO



hm	=	ALtura DEL MANOMETRO	0.60	m
a	=	ALtura SOBRE NIVEL DEL TERRENO	0.60	m
ha	=	PROFUNDIDAD NIVEL FREATICO	1.00	m
Dh	=	SOBRECARGA HIDRAULICA	0.60	m
d	=	PROFUNDIDAD DEL OBTURADOR	5.00	m
L	=	PROFUNDIDAD DE PERFORACION	10.00	m
a	=	INCLINACION C/HORIZONTAL	90	°
Dh'	=	h CORREGIDA = Sen a x Dh	0.60	m
l	=	LONGITUD TRAMO DE ENSAYO	5.00	m
Ø	=	DIAMETRO DEL BULBO DEL ENSAYO	9.65	cm
e	=	DIAMETRO DE LA TUBERIA DE ENSAYO	7.62	cm
PM	=	PRESION MANOMETRICA		
PEF	=	PRESION EFECTIVA EN EL PUNTO MEDIO DEL TRAMO DEL ENSAYO		
Dp	=	PERDIDAS DE CARGA		
q	=	VOLUMEN DE AGUA EN LITROS POR MINUTO DURANTE EL ENSAYO		
qt	=	VOLUMEN TOTAL DE AGUA EN LITROS PARA CADA ESTADIO		
G	=	CAUDAL EN LITROS POR MINUTO PARA CADA ESTADIO		
Q	=	CAUDAL EN LITROS POR MINUTO POR Ml. DE TRAMO DE ENSAYO		
UL	=	UNIDAD LUGEON (Q x 10 / P _{EF})		

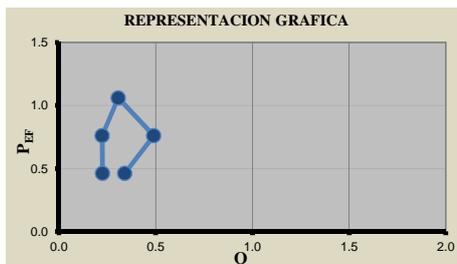
TIEMPO EN MINUTO	P _M = 0.40 Kg/cm ²		P _M = 0.70 Kg/cm ²		P _M = 1.00 Kg/cm ²		P _M = 0.70 Kg/cm ²		P _M = 0.40 Kg/cm ²	
	LECTURA CAUDAL	q (l)								
0	162.0		185.0		212.0		230.0		250.0	
1	163.5	1.50	187.2	2.20	213.5	1.50	231.2	1.20	251.2	1.20
2	164.8	1.30	190.0	2.80	215.3	1.80	232.7	1.50	252.4	1.20
3	165.9	1.10	192.8	2.80	216.7	1.40	233.6	0.90	253.6	1.20
4	167.0	1.10	195.3	2.50	218.3	1.60	234.8	1.20	254.8	1.20
5	169.5	2.50	197.5	2.20	220.1	1.80	236.4	1.60	255.7	0.90
6	171.5	2.00	199.9	2.40	221.8	1.70	237.5	1.10	256.7	1.00
7	173.9	2.40	202.4	2.50	223.3	1.50	238.4	0.90	258.4	1.70
8	176.0	2.10	204.7	2.30	224.9	1.60	239.3	0.90	259.3	0.90
9	177.5	1.50	207.1	2.40	226.3	1.40	240.0	0.70	260.1	0.80
10	179.0	1.50	209.5	2.40	227.3	1.00	241.2	1.20	261.3	1.20
q (l)	17.00		24.50		15.30		11.20		11.30	
qt (l)	1.70		2.45		1.53		1.12		1.13	
Q (l/min/m)	0.34		0.49		0.31		0.22		0.23	
Dp (kg/cm ²)	0.00		0.00		0.00		0.00		0.00	
CH (h/10)	0.06		0.06		0.06		0.06		0.06	
P _{EF} (kg/cm ²)	0.46		0.76		1.06		0.76		0.46	
UL	7.39		6.45		2.89		2.95		4.91	



UNIDAD LUGEON SELECCIONADA : **6.15** UL

K (PERMEABILIDAD) : **8.00E-05** cm/s

$$P_{EF} = (P_M - p) + CH$$



OBSERVACIONES

El valor mas razonable encontrado por los investigadores para una variación constante de esta relación entre la Unidad Lugeon y K de Darcy, es el de aproximadamente 1.3 x 10⁻⁵ cm/s por cada unidad Lugeon. Lo que es igual a la multiplicación de la unidad lugeon obtenido en el ensayo, por 0,000013, para obtener el valor de la permeabilidad (K)

ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE AGUA A PRESION LUGEON

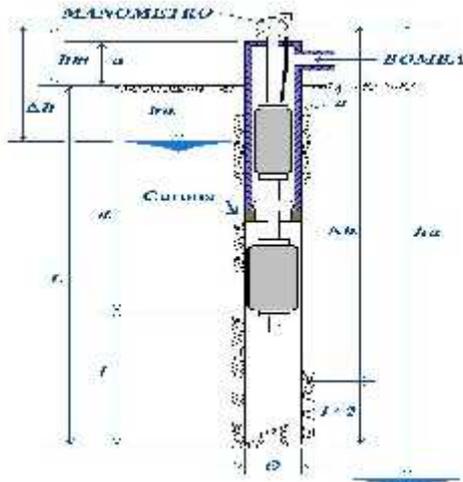
LAGUNA TINKICCOCHA

PROYECTO : ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA LA CONSTRUCCION DE LA PRESA TINKICCOCHA APURIMAC

PROF. DE ENSAYO DE : 10.00 A 15.00 m
FECHA : 28-may.-2013 **Hr.INICIO** **FIN :**
LITOLÓG. DEL TRAMO : GRANITO

SONDEO N° P-02

ENSAYO N° LUG-02



hm	=	ALTURA DEL MANOMETRO	0.60	m
a	=	ALTURA SOBRE NIVEL DEL TERRENO	0.60	m
ha	=	PROFUNDIDAD NIVEL FREÁTICO	1.30	m
Dh	=	SOBRECARGA HIDRAULICA	0.60	m
d	=	PROFUNDIDAD DEL OBTURADOR	10.00	m
L	=	PROFUNDIDAD DE PERFORACION	15.00	m
a	=	INCLINACION C/HORIZONTAL	90	°
Dh'	=	h CORREGIDA = Sen a x Dh	0.60	m
l	=	LONGITUD TRAMO DE ENSAYO	5.00	m
Ø	=	DIAMETRO DEL BULBO DEL ENSAYO	9.65	cm
e	=	DIAMETRO DE LA TUBERIA DE ENSAYO	7.62	cm
PM	=	PRESION MANOMETRICA		
PEF	=	PRESION EFECTIVA EN EL PUNTO MEDIO DEL TRAMO DEL ENSAYO		
Dp	=	PERDIDAS DE CARGA		
q	=	VOLUMEN DE AGUA EN LITROS POR MINUTO DURANTE EL ENSAYO		
qt	=	VOLUMEN TOTAL DE AGUA EN LITROS PARA CADA ESTADIO		
G	=	CAUDAL EN LITROS POR MINUTO PARA CADA ESTADIO		
Q	=	CAUDAL EN LITROS POR MINUTO POR Ml. DE TRAMO DE ENSAYO		
UL	=	UNIDAD LUGEON (Q x 10 / P _{EF})		

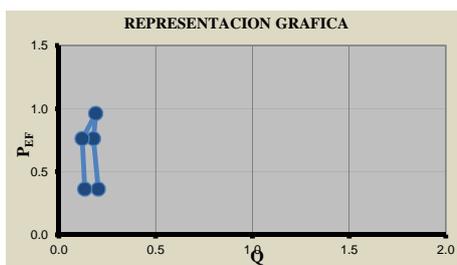
TIEMPO EN MINUTO	P _M = 0.30 Kg/cm ²		P _M = 0.70 Kg/cm ²		P _M = 0.90 Kg/cm ²		P _M = 0.70 Kg/cm ²		P _M = 0.30 Kg/cm ²	
	LECTURA CAUDAL	q (l)								
0	270.0		283.0		294.0		306.0		314.0	
1	271.0	1.00	283.9	0.90	295.1	1.10	306.0	0.00	314.6	0.60
2	271.9	0.90	284.5	0.60	296.3	1.20	306.6	0.60	315.2	0.60
3	272.8	0.90	285.4	0.90	297.2	0.90	307.2	0.60	316.0	0.80
4	273.5	0.70	286.1	0.70	298.5	1.30	308.0	0.80	316.7	0.70
5	274.6	1.10	287.0	0.90	299.1	0.60	308.6	0.60	317.4	0.70
6	275.8	1.20	288.2	1.20	300.0	0.90	309.4	0.80	318.0	0.60
7	276.9	1.10	289.3	1.10	301.2	1.20	310.2	0.80	318.6	0.60
8	278.0	1.10	290.1	0.80	302.0	0.80	311.0	0.80	319.2	0.60
9	279.6	1.60	291.0	0.90	302.9	0.90	311.7	0.70	320.0	0.80
10	280.2	0.60	291.9	0.90	303.5	0.60	312.0	0.30	320.7	0.70
q (l)	10.20		8.90		9.50		6.00		6.70	
qt (l)	1.02		0.89		0.95		0.60		0.67	
Q (l/min/m)	0.20		0.18		0.19		0.12		0.13	
Dp (kg/cm ²)	0.00		0.00		0.00		0.00		0.00	
CH (h/10)	0.06		0.06		0.06		0.06		0.06	
P _{EF} (kg/cm ²)	0.36		0.76		0.96		0.76		0.36	
UL	5.67		2.34		1.98		1.58		3.72	



UNIDAD LUGEON SELECCIONADA : **4.69** UL

K (PERMEABILIDAD) : **6.10E-05** cm/s

$$P_{EF} = (P_M - p) + CH$$



OBSERVACIONES

El valor mas razonable encontrado por los investigadores para una variación constante de esta relación entre la Unidad Lugeon y K de Darcy, es el de aproximadamente 1.3 x 10⁻⁵ cm/s por cada unidad Lugeon. Lo que es igual a la multiplicación de la unidad lugeon obtenido en el ensayo, por 0,000013, para obtener el valor de la permeabilidad (K)

ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE AGUA A PRESION LUGEON

LAGUNA TINKICCOCHA

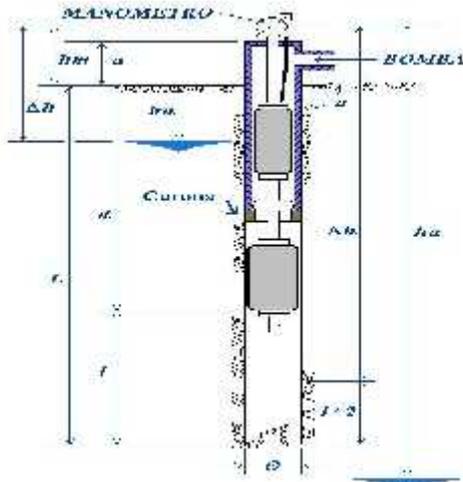
PROYECTO : ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA LA CONSTRUCCION DE LA PRESA TINKICCOCHA APURIMAC

PROF. DE ENSAYO DE : 15.00 A 20.45 m
FECHA : 28-may.-2013 **Hr.INICIO** **FIN :**

SONDEO N° P-02

ENSAYO N° LUG-03

LITOLOG. DEL TRAMO : GRANITO



hm	=	ALTURA DEL MANOMETRO	0.60	m
a	=	ALTURA SOBRE NIVEL DEL TERRENO	0.60	m
ha	=	PROFUNDIDAD NIVEL FREATICO	1.00	m
Dh	=	SOBRECARGA HIDRAULICA	0.60	m
d	=	PROFUNDIDAD DEL OBTURADOR	15.00	m
L	=	PROFUNDIDAD DE PERFORACION	20.45	m
a	=	INCLINACION C/HORIZONTAL	90	°
Dh'	=	h CORREGIDA = Sen a x Dh	0.60	m
l	=	LONGITUD TRAMO DE ENSAYO	5.45	m
Ø	=	DIAMETRO DEL BULBO DEL ENSAYO	9.65	cm
e	=	DIAMETRO DE LA TUBERIA DE ENSAYO	7.62	cm
PM	=	PRESION MANOMETRICA		
PEF	=	PRESION EFECTIVA EN EL PUNTO MEDIO DEL TRAMO DEL ENSAYO		
Dp	=	PERDIDAS DE CARGA		
q	=	VOLUMEN DE AGUA EN LITROS POR MINUTO DURANTE EL ENSAYO		
qt	=	VOLUMEN TOTAL DE AGUA EN LITROS PARA CADA ESTADIO		
G	=	CAUDAL EN LITROS POR MINUTO PARA CADA ESTADIO		
Q	=	CAUDAL EN LITROS POR MINUTO POR Ml. DE TRAMO DE ENSAYO		
UL	=	UNIDAD LUGEON (Q x 10 / P _{EF})		

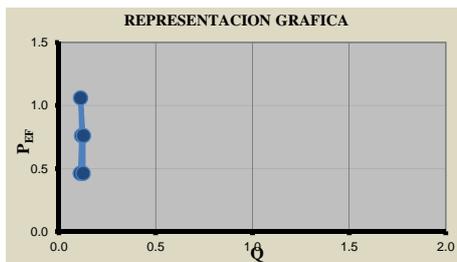
TIEMPO EN MINUTO	P _M = 0.40 Kg/cm ²		P _M = 0.70 Kg/cm ²		P _M = 1.00 Kg/cm ²		P _M = 0.70 Kg/cm ²		P _M = 0.40 Kg/cm ²	
	LECTURA CAUDAL	q (l)								
0	350.0		358.0		367.0		375.0		385.0	
1	350.7	0.70	358.6	0.60	367.6	0.60	375.8	0.80	385.9	0.90
2	351.2	0.50	359.1	0.50	368.0	0.40	376.2	0.40	386.2	0.30
3	352.0	0.80	359.9	0.80	368.6	0.60	377.0	0.80	387.0	0.80
4	352.6	0.60	360.6	0.70	369.2	0.60	377.6	0.60	387.8	0.80
5	353.1	0.50	361.2	0.60	370.0	0.80	378.1	0.50	388.4	0.60
6	353.8	0.70	362.0	0.80	370.8	0.80	379.0	0.90	389.0	0.60
7	354.3	0.52	362.6	0.60	371.2	0.40	379.5	0.50	389.7	0.70
8	355.0	0.68	363.1	0.50	372.0	0.80	380.1	0.60	390.2	0.50
9	355.7	0.70	363.9	0.80	372.7	0.70	381.0	0.90	391.0	0.80
10	356.0	0.30	364.4	0.50	373.1	0.40	381.9	0.90	391.8	0.80
q (l)	6.00		6.40		6.10		6.90		6.80	
qt (l)	0.60		0.64		0.61		0.69		0.68	
Q (l/min/m)	0.11		0.12		0.11		0.13		0.12	
Dp (kg/cm ²)	0.00		0.00		0.00		0.00		0.00	
CH (h/10)	0.06		0.06		0.06		0.06		0.06	
P _{EF} (kg/cm ²)	0.46		0.76		1.06		0.76		0.46	
UL	2.39		1.55		1.06		1.67		2.71	



UNIDAD LUGEON SELECCIONADA : 2.55 U L

K (PERMEABILIDAD) : 3.32E-05 cm/s

$P_{EF} = (P_M - p) + CH$



OBSERVACIONES

El valor mas razonable encontrado por los investigadores para una variación constante de esta relación entre la Unidad Lugeon y K de Darcy, es el de aproximadamente 1.3 x 10⁻⁵ cm/s por cada unidad Lugeon. Lo que es igual a la multiplicación de la unidad lugeon obtenido en el ensayo, por 0,000013, para obtener el valor de la permeabilidad (K)

ANEXO IV:

ENSAYOS DE LABORATORIO



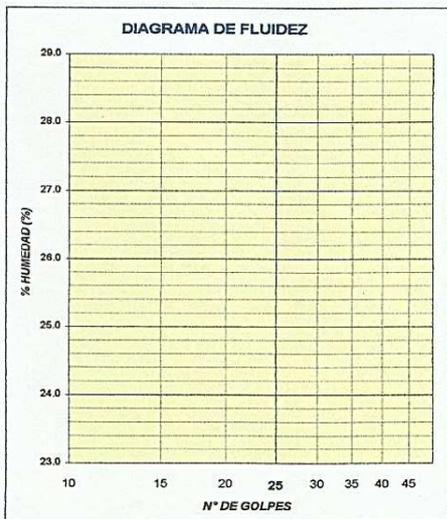
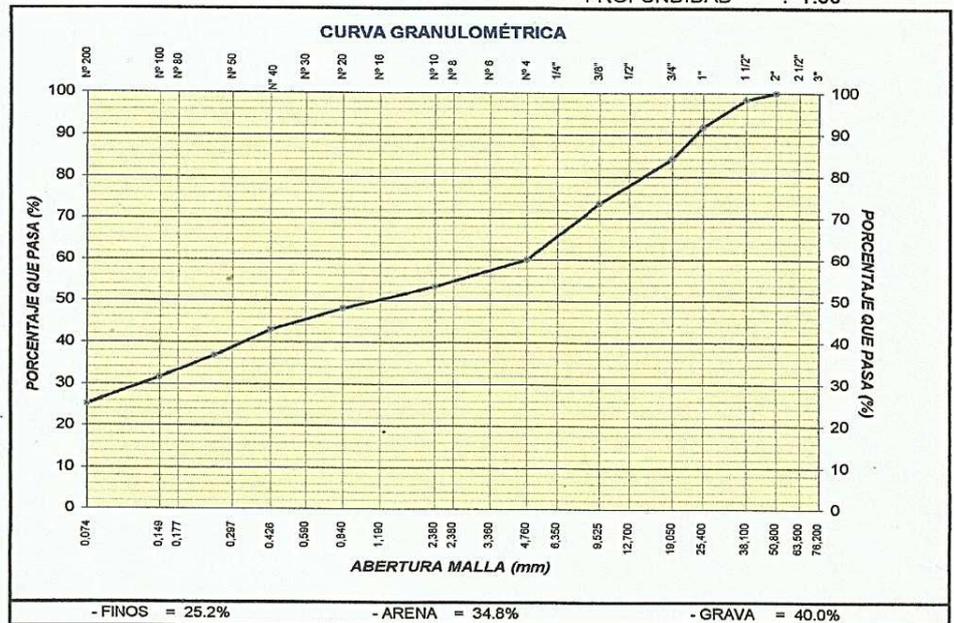
CARACTERIZACIÓN DE SUELOS

PROYECTO : SISTEMA DE IRRIGACIÓN HUACCANA
 SOLICITANTE : INGESONDEX PERU SAC
 UBICACIÓN : DIST. HUACCANA, PROV. CHINCHEROS, DPTO. APURIMAC.
 ZONA : LAGUNA TINKICCOCHA
 SONDAJE : CALICATA Nº 2

REGISTRO : **028/013.Geosur**
 ING. RESP. : G. BRAZZINI S.
 TÉCNICO : J.D.P.
 FECHA : sep-2013

PROFUNDIDAD : 1.50

MALLAS SERIE AMERICANA	GRANULOMETRÍA NTP 339.128 (99)		
	ABERTURA (mm)	RET (%)	PASA (%)
3"	76.200		
2 1/2"	63.500		
2"	58.800		100.0
1 1/2"	38.100	1.6	98.4
1"	25.400	6.6	91.8
3/4"	19.050	7.6	84.2
1/2"	12.700		
3/8"	9.525	10.6	73.6
1/4"	6.350		
Nº 4	4.760	13.6	60.0
Nº 6	3.360		
Nº 8	2.380		
Nº 10	2.000	6.6	53.4
Nº 16	1.190		
Nº 20	0.840	5.3	48.1
Nº 30	0.590		
Nº 40	0.426	5.2	42.9
Nº 50	0.297		
Nº 60	0.250	6.1	36.8
Nº 100	0.149	5.3	31.5
Nº 200	0.074	6.3	25.2
- Nº 200		25.2	-



DESCRIPCIÓN	LÍMITE LÍQUIDO NTP 339.129 (98)	LÍMITE PLÁSTICO NTP 339.129 (98)
ENSAYO No.		
CÁPSULA No.		
PESO CÁPSULA + SUELO HÚMEDO, gr		
PESO CÁPSULA + SUELO SECO, gr		
PESO AGUA, gr		
PESO DE LA CÁPSULA, gr		
PESO SUELO SECO, gr		
CONTENIDO DE HUMEDAD, %		
NÚMERO DE GOLPES		

NO PLÁSTICO

RESULTADOS DE ENSAYOS			
CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL (%)	NTP 339.127 (98)		5.6
LÍMITE LÍQUIDO (%)	--	CLASIFICACIÓN	
LÍMITE PLÁSTICO (%)	--	SUCS NTP 339.135 (99)	GM
ÍNDICE PLASTICIDAD (%)	NP	AASHTO NTP 339.134 (99)	A-2-4 (0)

DESCRIPCIÓN : - GRAVA LIMOSA. PIEDRAS DE FORMA SUB ANGULAR Y ARENA CON FINOS NO PLÁSTICOS.

GONZALO BRAZZINI SILVEIRA
 ING. CIVIL
 CIP. 39541



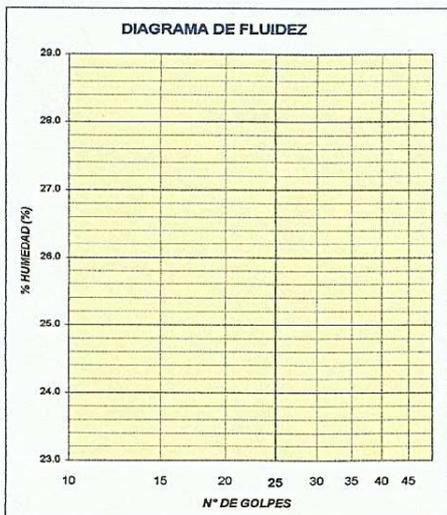
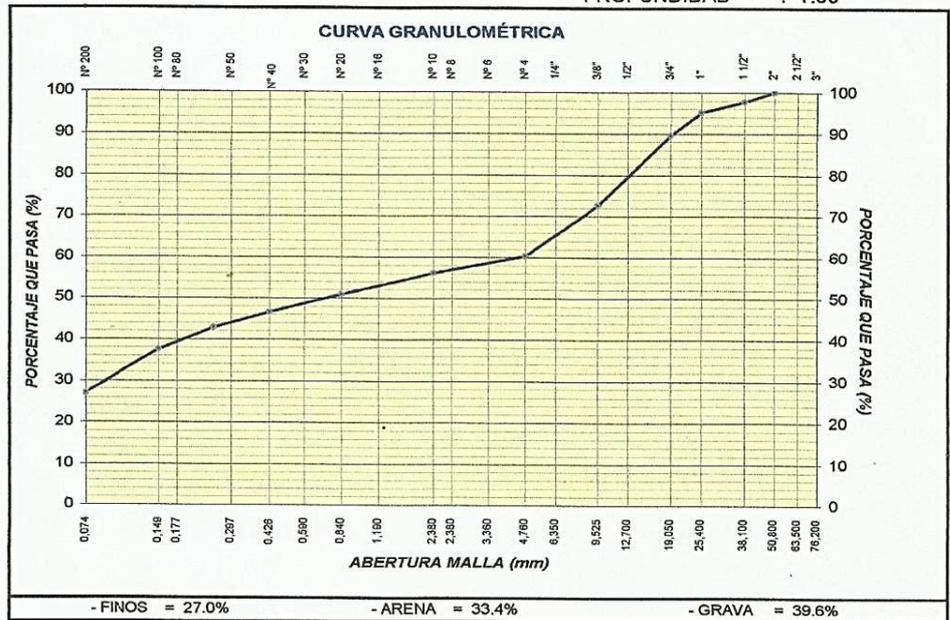
CARACTERIZACIÓN DE SUELOS

PROYECTO : SISTEMA DE IRRIGACIÓN HUACCANA
 SOLICITANTE : INGESONDEX PERU SAC
 UBICACIÓN : DIST. HUACCANA, PROV. CHINCHEROS, DPTO. APURIMAC.
 ZONA : LAGUNA TINKICCOCHA
 SONDAJE : CALICATA N° 3

REGISTRO : **028/013.Geosur**
 ING. RESP. : G. BRAZZINI S.
 TÉCNICO : J.D.P.
 FECHA : sep-2013

PROFUNDIDAD : 1.50

MALLAS SERIE AMERICANA	GRANULOMETRÍA NTP 339.128 (99)		
	ABERTURA (mm)	RET (%)	PASA (%)
3"	76.200		
2 1/2"	63.500		
2"	58.800		100.0
1 1/2"	38.100	2.3	97.7
1"	25.400	2.6	95.1
3/4"	19.050	5.6	89.5
1/2"	12.700		
3/8"	9.525	16.8	72.7
1/4"	6.350		
N° 4	4.760	12.3	60.4
N° 6	3.360		
N° 8	2.380		
N° 10	2.000	4.2	56.2
N° 16	1.190		
N° 20	0.840	5.3	50.9
N° 30	0.590		
N° 40	0.426	4.3	46.6
N° 50	0.297		
N° 60	0.250	3.8	42.8
N° 100	0.149	5.2	37.6
N° 200	0.074	10.6	27.0
- N°200		27.0	-



DESCRIPCIÓN	LÍMITE LÍQUIDO NTP 339.129 (98)	LÍMITE PLÁSTICO NTP 339.129 (98)
ENSAYO No.		
CÁPSULA No.		
PESO CÁPSULA + SUELO HÚMEDO, gr		
PESO CÁPSULA + SUELO SECO, gr		
PESO AGUA, gr		
PESO DE LA CÁPSULA, gr		
PESO SUELO SECO, gr		
CONTENIDO DE HUMEDAD, %		
NÚMERO DE GOLPES		

NO PLÁSTICO

RESULTADOS DE ENSAYOS			
CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL (%)	NTP 339.127 (98)		6.2
LÍMITE LÍQUIDO (%)	-.-	CLASIFICACIÓN	
LÍMITE PLÁSTICO (%)	-.-	SUCS NTP 339.135 (99)	GM
ÍNDICE PLASTICIDAD (%)	NP	AASHTO NTP 339.134 (99)	A-2-4 (0)

DESCRIPCIÓN : - GRAVA LIMOSA. PIEDRAS DE FORMA SUB ANGULAR Y ARENA CON FINOS NO PLÁSTICOS.

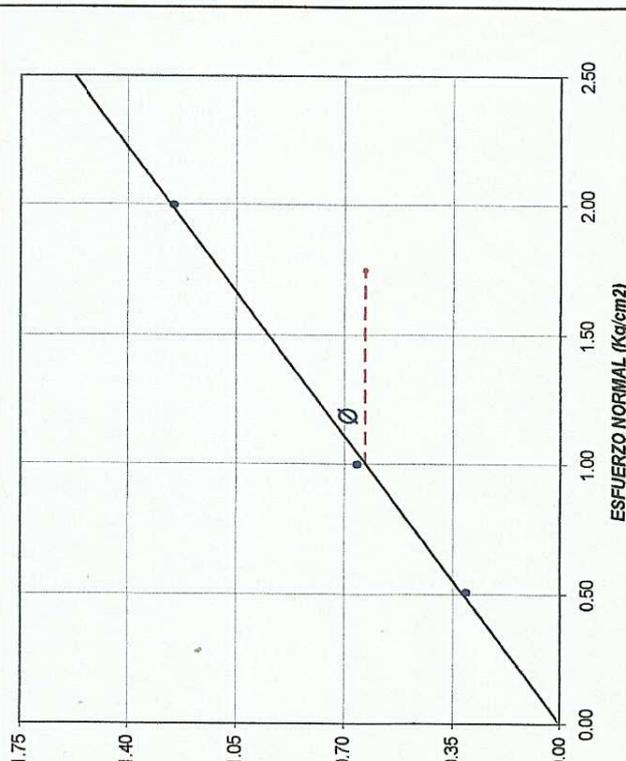
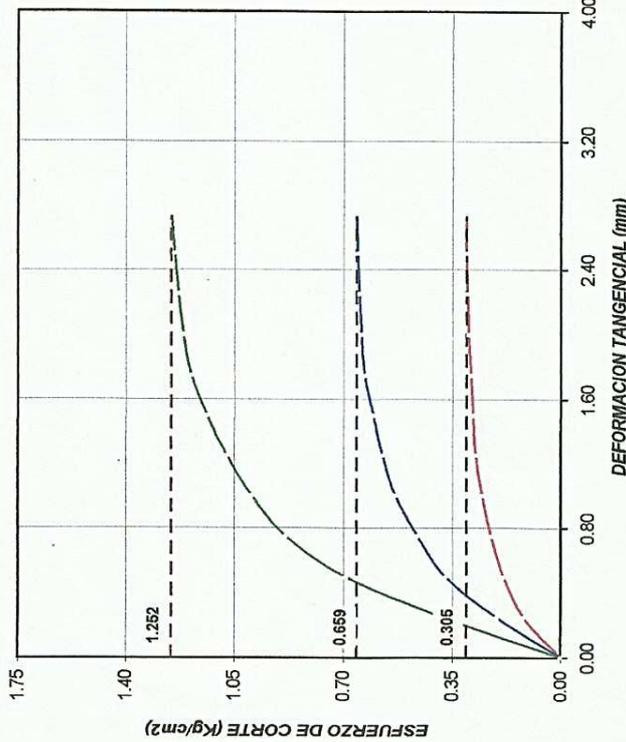
Gonzalo Brazzini Silva
GONZALO BRAZZINI SILVA
 ING. CIVIL
 CIP. 39541



ENSAYO DE CORTE DIRECTO ASTM D-3080

PROYECTO : SISTEMA DE IRRIGACIÓN HUACCANA	
SOLICITANTE : INGESONDEX PERU SAC	
UBICACIÓN : DIST. HUACCANA, PROV. CHINCHEROS, DPTO. APURIMAC.	
ZONA : LAGUNA TINKICCOCHA	
SONDAJE : CALICATA N° 1	TÉCNICO : J.D.P
CONDICIÓN : REMOLDADA	PROF. (m) : 1.50
FECHA : septiembre-2013	
CLASIF. SUCS : GM	L.L. : -
I.P. : NP % MENOR QUE MALLA N° 200 : 14.9 %	

MUESTRA N°	CARACTERÍSTICAS DE LOS ESPECÍMENES			
	ÁREA (cm ²)	CONT. HUM. (%)	DENS. SECA (gr/cm ³)	ESFUERZOS (kg/cm ²) TANGENCIAL / NORMAL
01	20.10	7.95	1.698	0.305 / 0.5
02	20.10	7.98	1.695	0.659 / 1.0
03	20.10	7.86	1.694	1.252 / 2.0



OBSERVACIONES: MUESTRA ENSAYADA EN CONDICIONES NO CONSOLIDADA NO DRENADA. PROPORCIONADA E IDENTIFICADA POR EL SOLICITANTE

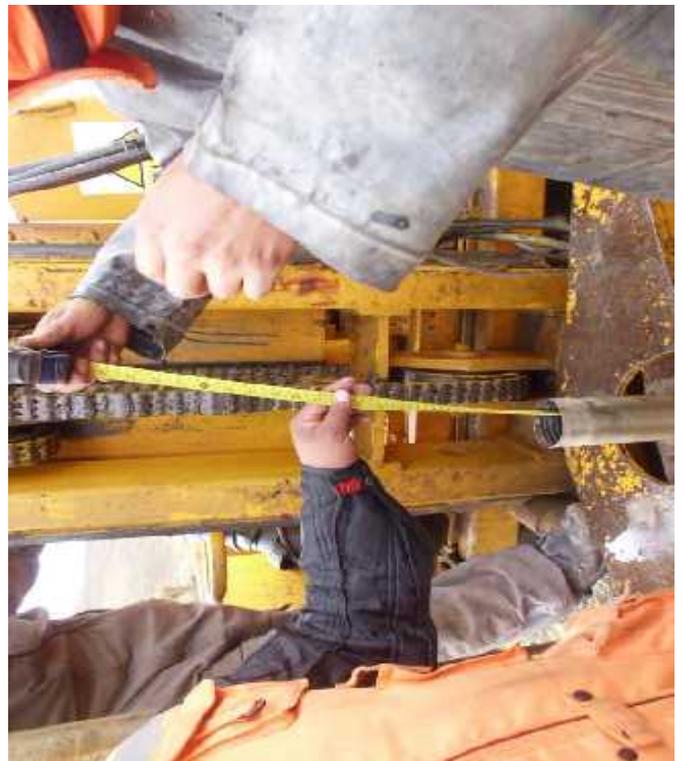
RESULTADOS DE ENSAYOS		
COHESIÓN (kg/cm ²)	0.00	ÁNGULO DE FRICCIÓN (°)
		32.2

GONZALO BRAZZINI SILVA
 ING. CIVIL
 CIP. 39541

ANEXO V:

PANEL TOGRÁFICO

ENSAYOS DE PERMEABILIDAD TIPO LEFRANC



ENSAYOS DE PERMEABILIDAD TIPO LEFRANC



ENSAYOS DE PERMEABILIDAD TIPO LUGEON



ENSAYOS DE PERMEABILIDAD TIPO LUGEON



ENSAYOS DE REFRACCION SISMICA



ENSAYOS DE REFRACCION SISMICA



INSTALACION Y TRABAJOS DE PERFORACION EN LA ZONA DE TRABAJO



LOGUEO DE LOS TESTIGOS DE PERFORACION



ACCESOS A LA ZONA DE TRABAJO

