

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**Análisis numérico de la infiltración con el Software Slide en la
represa de material suelto Pallca, Ayacucho 2020**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERA AGRÍCOLA**

**PRESENTADO POR:
Almeida Gracely Huamaní Palomino**

**ASESOR:
Dr. Jorge Edmundo Pastor Watanabe**

Ayacucho – Perú

2021

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
TESIS

**Análisis numérico de la infiltración con el Software Slide en la represa
de material suelto Pallca, Ayacucho 2020.**

Expedido : 24 de setiembre de 2021

Sustentado : 27 de octubre de 2021

Calificación : Muy bueno

Jurados :



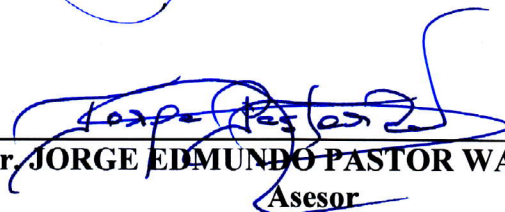
Ph.D. SANDRA DEL AGUILARÍOS
Presidente



Ing. EFRAÍN CHUCHÓN PRADO
Miembro



Ing. VANCE GIORGIO FERNÁNDEZ HUAMÁN
Miembro



Dr. JORGE EDMUNDO PASTOR WATANABE
Asesor

A Dios, por guiarme, darme la valentía necesaria para afrontar los momentos más difíciles y darme un día más para disfrutar de su creación.

A mis padres Bartolomé R. Huamaní Espinoza y Sonia Palomino Calderón, que han sido mi amparo en todo momento en las diferentes circunstancias de mi vida, Quienes han depositado su entera confianza en cada reto que se me ostentaba sin titubear un solo momento en mi inteligencia y capacidad.

A mis hermanas Mayli Huamaní Palomino y Claudia Velit Huamaní Palomino, que, en los momentos malos y buenos, siempre estuvieron allí, con esa forma y actitud de niñas lograron demostrar que el verdadero cariño y unión familiar existe.

AGRADECIMIENTO

A la segunda universidad fundada en el Perú Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga, Alma Mater, por haberme acogido en su templo del saber y a la Facultad de Ciencias Agrarias.

A mi gloriosa Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola por brindarme las enseñanzas necesarias en la ingeniería y demostrarme el verdadero valor de unión como Escuela.

A mi asesor MSc. Ing. Jorge Edmundo Pastor Watanabe.

A mis excelentes docentes e ingenieros que contribuyeron en mi formación profesional con el único objetivo de formar ingenieros con ética profesional.

Agradezco también al Ing. Rocky Giban Ayala Bizarro, por sus sugerencias y apreciaciones que sirvieron de mucha ayuda en la elaboración de mi proyecto de tesis.

A Jhonatan y amigos de la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga.

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO	iii
Índice general.....	iv
Índice de figuras.....	viii
Índice de tablas	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS	xv
LISTA DE ACRÓNIMOS	xv
RESUMEN	15
INTRODUCCIÓN.....	17
CAPÍTULO I MARCO TEÓRICO.....	19
1.1. Antecedentes	19
1.2. Bases teóricas	21
1.2.1. Clasificación de presas.....	22
1.3. Características hidrogeológicas en formaciones geológicas	25
1.3.1. Tipos de acuíferos y su comportamiento	25
1.4. Hidrogeología	28
1.4.1. Medios porosos	28
1.4.2. Número de Froude	30
1.4.3. Parámetros hidrogeológicos.....	31
1.5. Logueo.....	35
1.6. Ensayos hidráulicos.....	35
1.6.1. Ensayo de Permeabilidad LEFRANC	36
1.6.2. instrumentación y equipos para el ensayo	36
1.6.3. Realización de la prueba	37
1.6.4. Ensayo de Permeabilidad LUGGEON	39
1.7. La conductancia hidráulica	41
1.7.1. Ecuación de Bernoulli	42
1.8. Ecuaciones de la Ley de Darcy	45
1.8.1. Velocidad de Darcy y velocidad real	47
1.8.2. Limitaciones de la ley de Darcy.....	48

1.9. Comportamiento de las fallas de presas de materiales sueltos.....	50
1.9.1. Fallas en presas de materiales sueltos	50
1.10. Ecuación de continuidad de Laplace.....	54
1.10.1. Ecuación de infiltración en 2D	54
1.10.2. Método de Elementos Finitos	57
1.10.3. Software Slide	59
1.10.4. Software Geo5	60
1.10.5. Modelación matemática.....	60
1.11. Definición de términos	62
1.11.1. Geotécnia	62
1.11.2. Geología.....	62
1.11.3. Represa.....	62
1.11.4. Infiltración	62
1.11.5. Método de elementos finitos.....	62
1.12. Hipótesis	62
1.12.1. Hipótesis general.....	62
1.12.2. Hipótesis específicas.....	63
CAPÍTULO II METODOLOGÍA.....	64
2.1. Ubicación.....	64
2.1.1. Ubicación política	64
2.1.2. Ubicación geográfica.....	64
2.1.3. Ubicación de la presa.....	64
2.1.4. Ubicación hidrográfica.....	65
2.1.5. Ubicación administrativa.....	65
2.1.6. Accesos y vías de conexión	66
2.1.7. Aspectos climáticos	68
2.1.8. Geomorfología regional.....	68
2.1.9. Geología local	69
2.2. Materiales y equipos	74
2.2.1. Fase de gabinete.....	74

2.2.2. Fase de campo	75
2.3. Problemas específicos	75
2.3.1. ¿Cómo se obtiene los parámetros hidrogeológicos (porosidad, permeabilidad y transmisividad) en la represa Palca ubicado en la región Ayacucho?	76
2.3.2. ¿Qué resultados se obtiene del cálculo de la ecuación de Laplace para la determinación del flujo de la infiltración en la represa Palca de material suelto, ubicado en la región Ayacucho?	98
2.3.3. ¿Cuál es la diferencia entre los resultados de un modelo numérico computacional diseñado en el software Slide con los ensayos de Lefranc y Lugeon realizados en la zona de estudio?	104
CAPÍTULO III RESULTADOS Y DISCUSIÓN	108
3.1. Parámetros hidrogeológicos obtenidos a partir de los ensayos de permeabilidad Lefranc y Lugeon.....	108
3.1.1. Parámetros hidrogeológicos obtenidos a partir de los ensayo Lefranc ...	108
3.1.2. Parámetros hidrogeológicos (factor de permeabilidad k), obtenidos a partir del ensayo de tipo Lugeon.	111
3.1.3. Discusiones de los parámetros hidrogeológicos obtenidos a partir de los ensayos de tipo Lefranc y Lugeon.	115
3.2. Ecuación de Laplace en la determinación del flujo de infiltración.....	115
3.2.1. Solución de la ecuación de Laplace con elementos finitos en el software GeoStudio	116
3.2.2. Discusión sobre la ecuación de Laplace en el software GeoStudio.....	121
3.3. Modelación numérica computacional con el software Slide y su diferenciación con los ensayos Lefranc y Lugeón.....	122
3.3.1. Modelación numérica computacional en el software Slide	122
3.3.2. Diferencia entre el Software Slide con los ensayos Lugeon y Lefranc ...	129
3.3.3. Discusión de resultados de la modelación en el software Slide.	131
3.3.4. Discusión sobre la diferencia entre los resultados obtenidos del Software Slide y los ensayos Lugeon y Lefranc.....	132
CONCLUSIONES	133
RECOMENDACIONES	136

Referencias bibliográficas	137
ANEXOS	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Partes de una represa	23
Figura 1.2. Obras anexas en una represa.....	23
Figura 1.3. Obras anexas en una represa.....	25
Figura 1.4. Cono de influencia al bombear un pozo de captación.	26
Figura 1.5. Tipos de acuíferos según su textura.	26
Figura 1.6. Esquemas de acuífero libre y confinado.....	27
Figura 1.7. Esquema de acuífero semiconfinado.	28
Figura 1.8. Instalación de la prueba de Lefranc.	37
Figura 1.9. Establecimiento de la prueba Lefranc con succión del agua.	37
Figura 1.10. Prueba Lefranc de Flujo constante inyección	38
Figura 1.11. Prueba Lefranc de Flujo constante bombeo.	38
Figura 1.12. Prueba Lefranc de Flujo variable descenso.	39
Figura 1.13. Prueba Lefranc de Flujo variable ascenso.	39
Figura 1.14. Configuración de la prueba de Lugeón.....	40
Figura 1.15. Configuración de la prueba de Lugeón.....	41
Figura 1.16. Presión, elevación y cargas totales en la circulación del agua.	43
Figura 1.17. Diferencia de v en relación a la gradiente hidráulico, i	44
Figura 1.18. Ley de Darcy	46
Figura 1.19. Régimen de flujo	47
Figura 1.20. Pilotes puestos en una zona impermeable	55
Figura 1.21. Flujo en A	55
Figura 2.1. Imagen satelital de la ubicación de la presa.	65
Figura 2.2. Vista panorámica de la presa con el dique actual.	65
Figura 2.3. Ubicación del proyecto.....	66
Figura 2.4. Cuenca de estudio	67
Figura 2.5. Mapa de ubicación hidrográfica.	68
Figura 2.6. Mapa de ubicación administrativa.	68
Figura 2.7. Vista del depósito fluvio-aluvial (Qh-fl-al) en el ancho del río.	73
Figura 2.8. Vista del vaso margen izquierdo (aguas abajo), afloramiento de macizo rocoso (roca ígnea-volcánica), se clasifica como roca buena tipo II.....	73

Figura 2.9. Vista del rumbo de las lineaciones (fallas tipo normales - líneas rojas)...	74
Figura 2.10. Ubicación de perforación diamantina	89
Figura 2.11. Descensos del nivel del agua	92
Figura 2.12. Esquema de acuífero semiconfinado.	93
Figura 2.13. Vista general del ensayo Lugeon.	97
Figura 2.14. Esquema de ensayo de agua - Lugeon.	97
Figura 2.15. Discretización en la represa Palcca mediante los elementos finitos.	101
Figura 2.16. Elemento triangular propio de los elementos finitos	102
Figura 2.17. Sección de análisis para la optimización geométrica.	107
Figura 3.1. Coeficiente de almacenamiento para LCV-1 (SP-1)	110
Figura 3.2. Coeficiente de almacenamiento para LCV-1 (SP-2)	110
Figura 3.3. Condiciones de Análisis, caso Protección de Geomembrana únicamente en el talud Aguas Arriba para el cálculo de Filtración – presa Palcca	116
Figura 3.4. Red de Flujo - Equipotenciales, caso Protección de Geomembrana únicamente en el talud Aguas Arriba, cálculo de Filtración – presa Palcca	116
Figura 3.5. Red de Flujo - Equipotenciales, caso Protección de Geomembrana únicamente en el talud Aguas Arriba, cálculo de Filtración – presa Palcca	117
Figura 3.6. Red de Flujo – Caudal de Filtración, caso Protección de Geomembrana únicamente en el talud Aguas Arriba, cálculo de Filtración.	117
Figura 3.7. Caudal de filtración en el talud aguas abajo	117
Figura 3.8. Gráfico de la tasa de consumo de agua versus tiempo.	118
Figura 3.9. Gráfico de la tasa de consumo de agua versus tiempo.	118
Figura 3.10. Caudal de filtración en el centro de la presa	119
Figura 3.11. Gráfico de la tasa de consumo de agua versus tiempo.	119
Figura 3.12. Gráfico de la tasa de consumo de agua versus tiempo.	119
Figura 3.13. Caudal de filtración en el talud aguas arriba	120
Figura 3.14. Gráfico de la tasa de consumo de agua versus tiempo.	120
Figura 3.15. Gráfico de la tasa de consumo de agua versus tiempo.	121
Figura 3.16. Sección de análisis para inicio de la optimización geométrica	122
Figura 3.17. Estabilidad física – aguas abajo - espaldón ancho	123

Figura 3.18. Estabilidad física – aguas abajo - espaldón ancho	124
Figura 3.19. Estabilidad física – aguas arriba - espaldón ancho	124
Figura 3.20. Estabilidad física – aguas arriba - espaldón ancho	124
Figura 3.21. Estabilidad física – aguas abajo - espaldón delgado	125
Figura 3.22. Estabilidad física – aguas abajo - espaldón delgado	125
Figura 3.23. Estabilidad física – aguas arriba - espaldón delgado	125
Figura 3.24. Estabilidad física – aguas arriba - espaldón delgado	126
Figura 3.25. Estabilidad física – aguas abajo - espaldón ancho	127
Figura 3.26. Estabilidad física – aguas abajo - espaldón ancho	127
Figura 3.27. Estabilidad física – aguas arriba - espaldón ancho	127
Figura 3.28. Estabilidad física – aguas arriba - espaldón ancho	128
Figura 3.29. Estabilidad física – aguas abajo - espaldón delgado	128
Figura 3.30. Estabilidad física – aguas abajo - espaldón delgado	128
Figura 3.31. Estabilidad física – aguas arriba - espaldón delgado	129
Figura 3.32. Estabilidad física – aguas arriba - espaldón delgado	129
Figura 3.33. Modelación de la infiltración en el Software Slide con los parámetros hidráulicos descritos anteriormente.	131
Figura A.1. Permeabilidad Lefranc carga variable SP-1, LCV-1	144
Figura A.2. Permeabilidad Lefranc carga variable SP-2, LCV-1	145
Figura A.3. Prueba de Lugeon SDP-01, LU-01	146
Figura A.4. Prueba de Lugeon SDP-01, LU-02	147
Figura A.5. Prueba de Lugeon SDP-01, LU-03	148
Figura A.6. Prueba de Lugeon SDP-01, LU-04	149
Figura A.7. Prueba de Lugeon SDP-01, LU-05	150
Figura A.8. Prueba de Lugeon SDP-01, LU-06	151
Figura A.9. Prueba de Lugeon SDP-01, LU-01 con el software Aquifer Test	152
Figura A.10. Prueba de Lugeon SDP-01, LU-02 con el software Aquifer Test	152
Figura A.11. Ensayo de permeabilidad a presión Lugeon SDP-01, LU-03 con el software Aquifer Test.	152

Figura A.12. Ensayo de permeabilidad a presión Lugeon SDP-01, LU-04 con el software	
Aquifer Test.	153
Figura A.13. Ensayo de permeabilidad a presión Lugeon SDP-01, LU-05 con el software	
Aquifer Test.	153
Figura A.14. Ensayo de permeabilidad a presión Lugeon SDP-01, LU-06 con el software	
Aquifer Test.	153
Figura A.15. Ensayo de permeabilidad a presión Lugeon SDP-02, LU-01 con el software	
Aquifer Test.	154
Figura A.16. Ensayo de permeabilidad a presión Lugeon SDP-03, LU-01 con el software	
Aquifer Test.	154
Figura A.17. Ensayo de permeabilidad a presión Lugeon SDP-03, LU-02 con el software	
Aquifer Test.	154
Figura A.18. Ensayo de permeabilidad a presión Lugeon SDP-03, LU-03 con el software	
Aquifer Test.	155
Figura A.19. Ensayo de permeabilidad a presión Lugeon SDP-03, LU-04 con el software	
Aquifer Test.	155
Figura A.20. Ensayo de permeabilidad a presión Lugeon SDP-03, LU-05 con el software	
Aquifer Test.	155
Figura A.21. Ensayo de permeabilidad a presión Lugeon SDP-03, LU-06 con el software	
Aquifer Test.	156
Figura B.22. Matriz de consistencia	158
Figura C.23. Fotografía con el equipo de ensayo utilizado.	160
Figura C.24. Equipo técnico que participó en los ensayos de prospección geofísica. . .	160
Figura C.25. Ensayo de refracción sísmica.	160
Figura C.26. Participación en el manejo de drones.	161
Figura C.27. Logueo geomecánico en la represa Pallica.	161
Figura C.28. Recorrido con el equipo consultor en el área de la presa.	161
Figura C.29. Vista de la presa en el talud aguas abajo.	162
Figura C.30. Vista de la presa en el talud aguas abajo.	162
Figura C.31. Ubicación de zonas vulnerables al problema de la infiltración en la presa	162
Figura C.32. Calicatas realizada en el talud aguas arriba de la presa.	162

Figura C.33.Toma de lecturas en el piezómetro.	163
Figura C.34.Inicio de los trabajos de perforación diamantina.	163
Figura C.35.Máquina perforadora.....	163
Figura C.36.Perforistas encargados de realizar los trabajos de perforación diamantina.164	
Figura C.37.Reunión del equipo consultor con las autoridades de la localidad Palleca.164	
Figura C.38.Equipo de instalación para la prueba Lugeon.....	164
Figura C.39.Tanque de presión de agua.	165
Figura C.40.Participación en los ensayos in situ.	165
Figura C.41.Recorrido en la corona y plintón de la presa..	165
Figura D.42.Planta y perfil del eje de dique y eje de embalse.	167
Figura D.43.Planta y perfil del eje de dique y eje de embalse.	168
Figura D.44.Detalle de dique.	169
Figura D.45.Plano de detalle de blanquet.	170
Figura D.46.Detalle de pinto adicional.....	171
Figura D.47.Detalle de plinto.	172
Figura D.48.Metraje de perforaciones para inyecciones.....	173
Figura D.49.Metraje de perforaciones para inyecciones.....	174

Tabla 2.1. Normas vigentes para la ejecución de los ensayos	78
Tabla 2.2. Ubicación de perforaciones diamantinas	79
Tabla 2.3. Resumen litológico del sondeo SP-1	80
Tabla 2.4. Resumen litológico del sondeo SP-2 (L1-122).....	81
Tabla 2.5. Resumen litológico del sondeo SP-3 (L2-1212).....	82
Tabla 2.6. Resumen litológico del sondeo SDP-01 (L1-123)	83
Tabla 2.7. Resumen litológico del sondeo SDP-02 (L1-103)	85
Tabla 2.8. Resumen litológico del sondeo SDP-3 (L1-65)	87
Tabla 2.9. Ensayo de permeabilidad por gravedad Lefranc carga variable	89
Tabla 2.10. Datos de entrada.....	90
Tabla 2.11. Datos obtenidos del ensayo	91
Tabla 2.12. Clasificación USCS	98
Tabla 2.13. Pendientes recomendadas para pequeños terraplenes homogéneos hasta presas sobre cimientos estables.	105
Tabla 2.14. Propiedades de materiales	106
Tabla 2.15. Propiedades de materiales	106
Tabla 3.1. Resultados de los ensayos Lefranc en el sondeo SP-1	109
Tabla 3.2. Propiedades de materiales	109
Tabla 3.3. Resultados de los ensayos Lefranc en el sondeo SP-2 (L1-122)	109
Tabla 3.4. Resultados de los ensayos Lugeon en el sondeo SDP-01 (L1-123)	111
Tabla 3.5. Resultados de los ensayos Lugeon en el sondeo SDP-02 (L1-103)	112
Tabla 3.6. Resultados de los ensayos Lugeon en el sondeo SDP-03 (L1-65)	112
Tabla 3.7. Resumen de parámetros hidrogeológicos del ensayo Lefranc.....	114
Tabla 3.8. Resumen de parámetros hidrogeológicos del ensayo Lugeon.....	115
Tabla 3.9. Caudal de infiltración en el talud aguas abajo	118
Tabla 3.10. Caudal de infiltración en el centro de la presa.....	120
Tabla 3.11. Caudal de infiltración en el talud aguas arriba.....	121
Tabla 3.12. Volúmenes anuales de pérdidas por filtración con blanket	121
Tabla 3.13. Resumen de los ensayos de penetración en la presa.....	123

Tabla 3.14. Características de la presa y embalse Palcca, niveles característicos – consideraciones para hipótesis de embalse lleno	126
Tabla 3.15. Resumen general de ensayos de permeabilidad.	130
Tabla 3.16. Parámetros hidráulicos considerados para el Análisis de Filtración de la Presa Palcca en el software Slide.	130
Tabla 3.17. Ensayo de permeabilidad Lugeon en el sondaje SDP-01	131

LISTA DE ACRÓNIMOS

A.A.S.H.T.O.	American Association of State Highway and Transportation Officials o Asociación Americana de Autoridades Estatales de Carreteras y Transporte.
CF	Cámara filtrante.
cte.	Constante.
EDP	Ecuaciones Diferenciales Parciales.
FS	Factor de seguridad.
g.	Aceleración de la Gravedad
h.	Carga Total
i.	Gradiente Hidráulica.
ISMR	International Society of Rock Mechanics.
K.	Factor de Permeabilidad.
L.	Unidad de Lugeon.
LCV	Lefranc de Carga Variable.
LE	Lefranc.
LU	Lugeon.
m.	Metro
m.s.n.m.	Esfuerzo efectivo.
MEF	Métodos de Elementos Finitos.
mm.	Milímetros.
n.	Porosidad.
N.F.	Intensidad Duración y Frecuencia.
NAME	Nivel de agua máxima extraordinario.

NAMIN	Nivel de aguas mínimas.
NAMO	Nivel de agua máxima ordinario.
NT	Nivel de terreno.
NW	Nor Oeste.
P-01	Punto número 1.
Q	Caudal.
RQD	Rock Quality Design.
S.	Coeficiente de Almacenamiento
SDP	Sondaje de Perforación.
SE	Sur Este.
SP	Sondaje de perforación.
u	Presión
U.T.M.	Universal Translate Mercator. (Sistema de coordenadas universal transversal de Mercato)
UL	Unidad de Lugeon.
V.	Velocidad

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como eje principal realizar el análisis en base a tres objetivos principales, lo primero fue la obtención de los parámetros hidrogeológicos a partir de los ensayos in situ de Lefranc y Lugeon, se realizaron ensayos de tipo Lefranc en sondajes SP-1 y SP-2(L1-122), donde se obtuvo valores de transmisividad ($m^2/día$) 0.00992 y 0.00000217, factor de permeabilidad $k(m/día)$ 7.91E-02 y 5.18E-05, coeficiente de almacenamiento 0.001628 y 6.31E-11 respectivamente. También en los ensayos de tipo Lugeon para los sondajes SDP-01 (L1-123) con códigos de ensayo LU-01, LU-02, LU-03, LU-04, LU-05 y LU-06, SDP-02 (L1-103) con código de ensayo SDP-02 LU-01 y SDP-03(L1-65), con códigos de ensayo LU-01, LU-02, LU-03, LU-04, LU-05 y LU-06, se obtienen valores de transmisividad ($m^2/día$) 0.012, 0.036, 0.036, 0.065, 0.016, 0.012, 0.003, 0.04, 0.03, 0.05, 0.02, 0.01, 0.01, coeficiente de almacenamiento con valor estándar de 0.0016 y conductividad hidráulica $k(m/día)$ 1.57E-05, 4.86E-05, 2.80E-05, 3.88E-05, 7.36E-06, 4.37E-06, 6.55E-06, 4.45E-05, 2.42E-05, 2.93E-06, 8.79E-06, 4.64E-06, 3.96E-06 respectivamente. Se hizo el análisis de la filtración en la presa de tierra Pallica mediante la ecuación de Laplace con los elementos finitos, ya que esta es una ecuación diferencial gobernante en los flujos de agua en medios porosos, haciendo uso del software GeoStudio mediante su programa computacional Seep/W, donde se obtienen caudales de filtración en el talud aguas abajo 613.86 ($m^3/año$), en el centro de la presa 45398.83($m^3/año$) y con protección de geomembrana en el talud aguas arriba 18.95($m^3/año$), también se realizó la simulación de estabilidad de taludes con métodos indirectos, a través del método de equilibrio límite y realizar el análisis para la obtención de los factores de seguridad. Se hizo el análisis en 2 hipótesis, siendo la primera final de construcción y la segunda el análisis de embalse lleno. Ambas hipótesis fueron hechas en análisis estáticos y Pseudoestáticos, teniendo en cuenta que se consideró un volumen útil de 828,000.00(m^3), Volumen Total 920,762.77(m^3), cota base 3997.00(msnm), cota NAMIN 4001.7(msnm), cota NAMO 4017.60(msnm), cota NAME 4017.95(msnm), cota corona 4020.5(msnm) y por último se realizó la comparación entre los caudales obtenidos de la modelación en el software Slide y de los ensayos Lugeon y Lefranc, siendo los caudales obtenidos de 5.15l/min y 1.11l/min respectivamente.

INTRODUCCIÓN

La presente investigación, surge tras la necesidad principal de conocer el flujo de agua subterránea, saber sobre lo que es "La hidrogeología" y geotécnia, ya que son temas que fueron estudiados de manera superficial en la universidad y debido a ello tuve la necesidad de hacer investigaciones que sirven de orientación en el estudio y análisis de los diversos problemas geotécnicos que están dentro de la ingeniería agrícola. Mencionar que mi participación en el proyecto fue como asistente del área de geotécnia.

Para tal fin fue indispensable el uso de libros, artículos, investigaciones, en el marco nacional e internacional respecto a la filtración en presas de tierra y los parámetros hidrogeológicos relacionados a él. Se sabe que las presas de materiales térreos y enrocamiento vienen a ser proyectos que tuvieron mayor impacto en el desarrollo y bienestar de la humanidad. El flujo de agua constituye uno de los temas de mayor notoriedad, debido a la importancia que tiene la presa, como estructura, tal razón hace que sea necesario realizar un análisis exacto de la infiltración en presas de tierra.

Del proyecto "Construcción del sistema de irrigación - represa Palcca en el distrito de Quinua, provincia de Huamanga - Ayacucho", se consiguió la información de los factores que intervienen en el análisis de filtración en la presa de tierra.

Beneyto et al. (2012) en su trabajo de investigación menciona que el flujo de agua a régimen permanente a través de presas de tierra está gobernado por la ecuación de Laplace y es un problema de gran importancia en la ingeniería práctica.

Objetivo general

Desarrollar el análisis numérico del fenómeno de la infiltración en presas de material suelto con el software Slide.

Objetivos específicos

1. Obtener los parámetros hidrogeológicos (porosidad, permeabilidad y transmisividad) a partir de los estudios de campo realizados en la represa Palcca ubicado en la región Ayacucho.

2. Calcular la ecuación de Laplace para determinar el flujo de la infiltración en la represa Pallca de material suelto, ubicado en la región Ayacucho.
3. Comparar los resultados obtenidos de los ensayos Lefranc y Lugeon realizados en la zona de estudio con el modelo numérico computacional diseñado en el software Slide.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes

Antecedentes en América

Beneyto [et al.](#) (2012), el autor menciona que la transformada de Laplace que rige en la circulación del agua a régimen permanente, siendo así una problemática de mayor relevancia en el sector ingenieril. Se sabe que existen métodos empíricos para la obtención y que son diseñados para resolver filtraciones a régimen permanente a través de suelos saturados, homogéneos e isótropos.

Considerando como condición de contorno la superficie libre, del que se desconoce su ubicación en el caso de flujo no confinado. Sobre esta esta superficie la presión de poros es igual a la atmosférica, tal razón hace que se considere la 1ra línea de corriente y hace que sea intersectada en forma habitual por las líneas equipotenciales.

J. G. Sánchez (2013), para la presente investigación se tomó en cuenta las diversas condiciones de flujo y los principales parámetros del fenómeno de la infiltración en medios porosos, resolviendo sistemáticamente mediante el método de elementos finitos.

Toro (2009), para el análisis de filtraciones en presas es llevado a cabo empleando soluciones analíticas que toman en cuenta la geometría y las propiedades hidrogeológicas, así como programas de modelación numérica considerando la zona saturada del flujo. Mencionar que se desarrolló novedosas herramientas computacionales que permiten una adecuada modelación de la zona saturada y no saturada del flujo permitiendo un análisis más completo y por ende más confiable.

Salazar [et al.](#) (2013), los métodos numéricos empleados queda muy distante del objetivo de la presente investigación, recomendando así hacer una breve reseña de los mismos, aportando las referencias indispensables para que el leyente pueda ahondar en ellos.

Lifonzo y Lifonzo (2018), el autor del trabajo de investigación menciona comprende la modelación matemática, análisis numérico y simulación computacional de la filtración en

medios permeables, únicamente con los daños por infiltración en presas de material suelto. Sabiendo que es uno de los más novedosos, últimamente empleados para la solución de ecuaciones diferenciales parciales. El mosaico de Dirichet o esquema de Voronoi para construir la interpolación y obtener la funciones de forma y se presentan las cualidades más sobresalientes del Método de elementos finitos. Para culminar la investigación, con el objetivo de probar la exactitud del método mencionado, empleando un código de ordenador en Matlab se realizó la modelación numérica de la represa Pallca en la región Ayacucho.

C. J. Aguirre [et al.](#) (2015), explica que la ecuación de Laplace se aplica a diversos temas, que tenga que ver con la circulación del flujo, también se le relaciona la conductividad eléctrica, con la transmisión de energía calorífica o como el tema de flujos, que viene a ser del caso que se está tratando. La solución analítica viene a depender del espacio de análisis en el problema y también está relacionado con las condiciones de contorno.

Antecedentes en el Perú

Barrazueta y [Alberto](#) (2004), la zona de estudio se ubica en el distrito de Quinua y Huamanguilla, provincia Huanta y Huamanga, departamento de Ayacucho. Tiene por finalidad principal es el análisis de la infiltración en el cuerpo de la presa, mencionando que se hicieron las investigaciones geotécnicas. Mencionar que la presente investigación está enfocada en la evaluación geotécnica de la zona de emplazamiento y material de préstamo para presas de material suelto cuyo almacenamiento es con fines de irrigación.

[Silva](#) (2004), en esta investigación menciona que recoge se basa en los conocimientos explicados respecto al fenómeno de la infiltración, aplicando estos conceptos al modelamiento matemático de dicho fenómeno y contrasta las respuestas con auscultaciones de la instrumentación geotécnica. La finalidad será entender el fenómeno de la infiltración y todo lo relacionado que se tiene para su análisis, planteando también las leyes matemáticas que rigen este fenómeno. Se presentan los criterios generales del método de elementos finitos y su aplicación en el fenómeno de la infiltración en estructuras de tierra, siendo este caso una presa. Tal razón se plantea criterios de discretización de la estructura en elementos pequeños que posibiliten la representación del fenómeno físico y las ecuaciones gobernantes desarrolladas para su cálculo.

[Beltrán](#) (1999), dice que la circulación del agua lo produce mediante los poros que hay entre los suelos, ya que son los materiales que forman parte de la presa. Aquí se toma en

cuenta flujo permanente y del movimiento bidimensional. Tal razón es necesario tomar en cuenta el medio de filtración, saber sobre los materiales que componen la presa.

Alarcón y Alva (1999), la infiltración que produce las pérdidas de agua, en el suelo, están definidas por fórmulas del flujo en los poros. En diversos puntos del suelo mediante el cual se cumple la ecuación de Laplace.

Los ensayos de permeabilidad en el laboratorio son importantes, porque a través de ellos se logra ver o saber la composición del suelo. Cuando se trata de medios o composiciones del medio natural, por lo general logra tratarse de composiciones de diversos mantos, que varían importantemente y logra ser mas complicado en su estudio. La permeabilidad propia es importante para cada caso en particular dependiendo de diversos factores, como el tipo de composición o material, ubicación del nivel freático y su homogeneidad o heterogeneidad en los distintos tipos de suelos y también su permeabilidad.

1.2 Bases teóricas

Necesidad de construir presas

Conviene recordar que la extracción anual de agua dulce en el mundo proveniente de lagos, ríos y acuíferos subterráneos, es de aproximadamente 3800 km³, es decir, el doble que hace 50 años y sigue en aumento, ya que se ha estimado que 50 litros diarios es el mínimo indispensable que requiere una persona para su consumo y aseo, y más de la sexta parte de la población mundial no dispone ni siquiera de esa cantidad mínima de agua. Debe tenerse en mente que los caudales que escurren por un río varían continuamente en el tiempo y que hay épocas de varios meses en que los escurrimientos son reducidos y otras en que fluye el agua en abundancia. La única forma de regular, controlar, almacenar y aprovechar esos escurrimientos es con las presas. Con ellas es posible garantizar el abastecimiento de agua a la creciente población y el suministro del líquido para riego. (Maza, 2004)

Es una estructura hidráulica, que logre construirse en la sección transversal del cauce de un curso de agua con dos objetivos: el primero, subir su nivel de forma constante o cambiante para lograr hacerlo pasar por una conducción; y el segundo es reservar el agua para suministrarla en los periodos de escasez. En forma conjunta, los usos más importantes son: la generación de energía eléctrica, el abastecimiento de agua para acueducto y riego, la regulación de caudales, control de crecientes, y usos derivados como la recreación, el deporte, y la piscicultura. (Santaella, 2001)

La represa o presa consta de una barrera de hormigón, piedra u otro material, que se construye sobre un río, arroyo o canal para embalsar el agua en su cauce. Luego esta agua embalsada puede derivarse a canalizaciones de riego o aprovecharse para la producción de energía mecánica o eléctrica. La construcción de una presa se requiere garantizar el necesario almacenamiento de agua y crear un nivel de agua constante con el fin de regular los aportes del río y suplir las demandas durante épocas de sequía. Como toda obra que edifica el hombre, también las presas, en mayor o menor grado, producen diversos impactos favorables y desfavorables que pueden convertirse en provechosas y desventajosas. A continuación, se mencionarán las primeras tratando, en lo posible, de ser realistas y respetando los hechos. Entre los objetivos principales por los cuales las presas son construidas resaltan los siguientes:

- Proveer de agua a poblaciones para uso humano y fauna doméstica, así como para la industria y servicios.
- Proveer agua para riego y agroindustrias.
- Producir energía eléctrica.
- Regulación de inundaciones.

Del reconocimiento de sus varios propósitos y provecho, se pueden destacar los siguientes valores. Almacenan agua durante la época de abundancia para disponer de ella durante el estío, controlan de manera total las avenidas reduciendo parcialmente el pico de las mismas, favorecen el crecimiento de la piscicultura, contribuyen al desarrollo de centros turísticos, generación hidroeléctrica, desarrollo local y regional. Del reconocimiento de sus múltiples propósitos y beneficios, se pueden destacar las siguientes desventajas:

- Efectos económicos y financieros.
- Problemas sociales.
- Efectos en la arqueología.
- Daño al medio ambiente.
- Problemas hidráulicos.
- Problemas de manejo.

1.2.1 Clasificación de presas

Las presas se clasifican en distintos niveles, dependiendo del objeto que se dé la clasificación.

Lógicamente este tipo de presas varían según su tamaño y clase de cortina, también de su uso, capacidad de almacenamiento en su vaso y más. El análisis y dibujo de alguna dependen de todas las ísticas ya mencionadas. (Hinojosa, 2006), ver figuras 1.1 y 1.2.

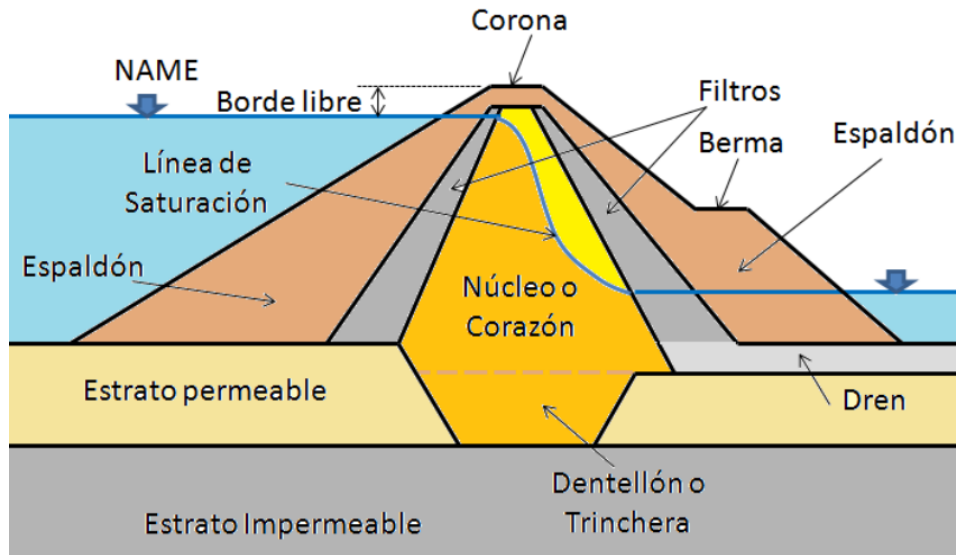


FIGURA 1.1 Partes de una represa
Fuente: Adaptado de Sandoval (n.d.)

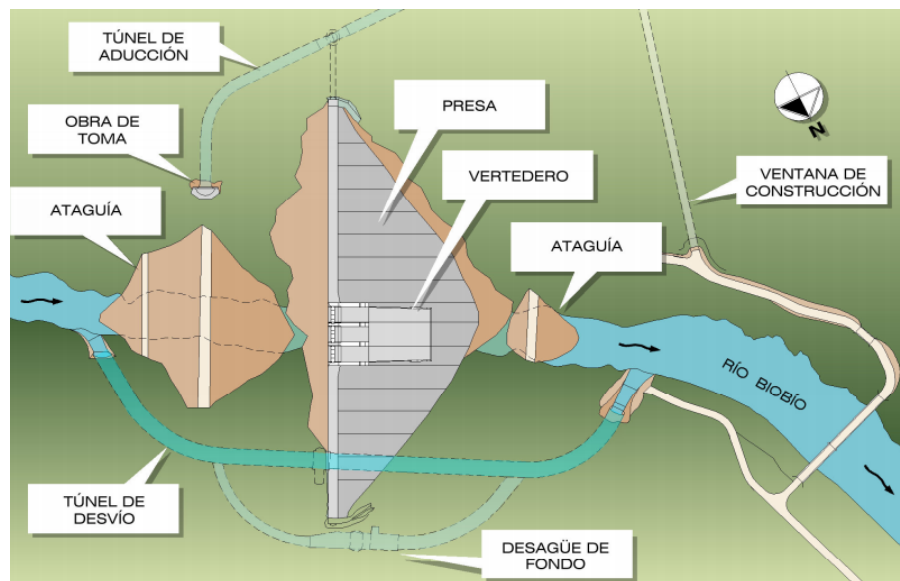


FIGURA 1.2 Obras anexas en una represa.
Fuente: Adaptado de Hinojosa (2006)

Tomando en cuenta los tipos de materiales que intervienen e la construcción , se hace la siguiente clasificación:

- Presas resistentes o rígidas.
- Presas de relleno.

Presas Rígidas

Construidos de materiales sólidos como el hormigón o elementos de albañilería y también el acero.

Presas de terraplén o de relleno

Construidos con materiales rocosos o del suelo.

1.2.1.1 Clasificación según el uso

Se clasifican en base al tipo de función y son:

Presas de almacenamiento

Son presas que sirve para el almacenamiento del recurso agua en épocas sequía.

Presas de derivación

Se construye con el fin de hacer la adecuada distribución y desarrollo en el riego.

1.2.1.2 Tipo de presa según su proyecto hidráulico

De acuerdo con el proyecto hidráulico:

Presas vertedoras

Cuya función es verte encima de sus coronas, trasladan caudales a través de la cresta o su vertedero.

Presas no vertedora

Tienen por función evitar el exceso de agua en su corona.

1.2.1.3 Clasificación de acuerdo a los materiales

Según sus materiales que forman parte de su tipo de estructura

Presas de material térreo

Este tipo de presa se logra contruir en el casoque los suelos son compresión uniforme en una capa sobre otra, donde también sus suelos son más del 50% del volumen colocado de material. Logra ser el tipo de presa mas común, ya que su construcción es manejado por materiales que estan en su estado natural y en el caso de sus cimentaciones que son menos rígidos que otros tipos de presa, ver figura 1.3.

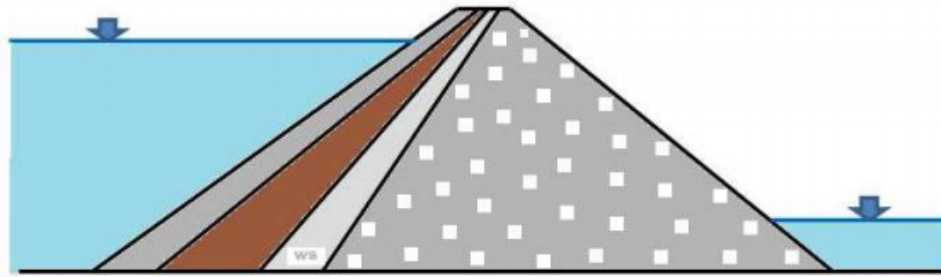


FIGURA 1.3 Obras anexas en una represa.

Fuente: Adaptado de Sandoval (n.d.)

Presa de tipo enrocado

Son tipos de presas que incluyen un relleno de materiales térreos compactados, también de concreto tipo esbelto.

Presas de hormigón tipo gravedad:

Una presa de gravedad está relacionada completamente con su propio peso para su estabilidad.

1.3 Características hidrogeológicas en formaciones geológicas

Acuífero

Proviene del origen latín (*fero*, llevar), logra ser aquellos tipo de formaciones que contienen agua de manera considerada o apreciable y la principal característica es que permite una fácil circulación a través de acuífero, entre los ejemplos más resaltantes se tiene arenas y gravas.

1.3.1 Tipos de acuíferos y su comportamiento

Cuando se bombea un pozo baja el nivel del agua en el mismo y en toda la porción de acuífero circundante a él; el descenso de nivel es más pronunciado en el pozo y se reduce a medida que aumenta la distancia al mismo. La distancia existente entre el pozo de bombeo y la zona del acuífero en la que la influencia puede considerarse nula, es el llamado radio de influencia, se muestra en la **figura** 1.4.

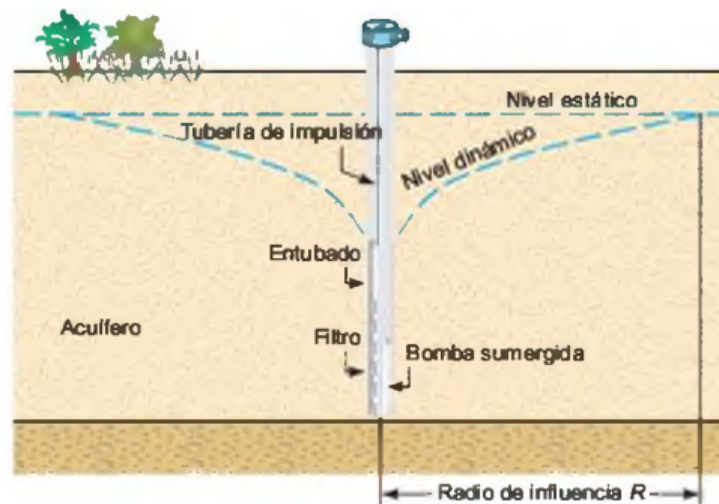


FIGURA 1.4 Cono de influencia al bombear un pozo de captación.

Fuente: Adaptado de González et al. (2002)

Desde el punto de vista de su textura, existen fundamentalmente tres tipos de materiales acuíferos, que se representan para su mejor comprensión en la **figura** 1.5.

- los denominados **acuíferos porosos**, cuya permeabilidad es debida a su porosidad intergranular, entre ellos se encuentran las gravas, arenas, arcosas y, en general, todos los materiales detríticos con tamaño de grano de arena como mínimo.

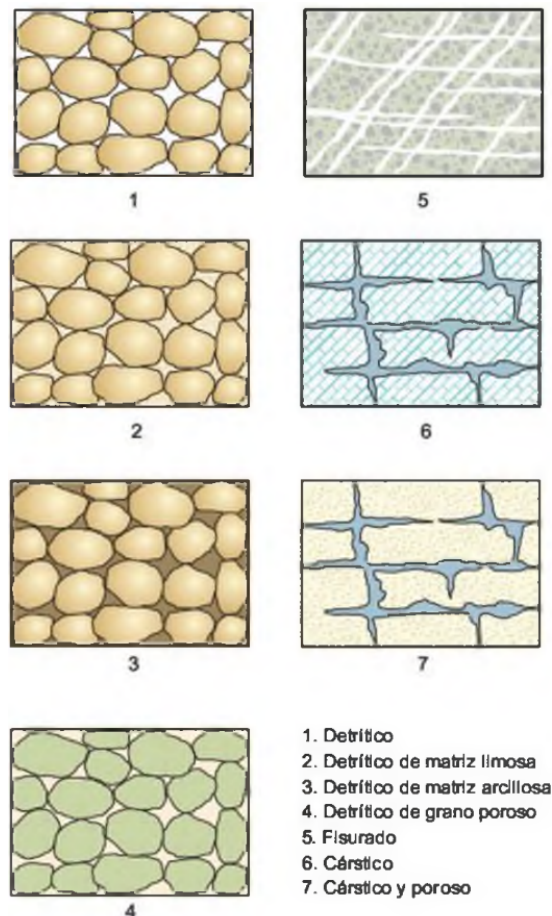


FIGURA 1.5 Tipos de acuíferos según su textura.

Fuente: Adaptado de González et al. (2002)

- los denominados **acuíferos cársticos y fisurados**, cuya permeabilidad es debida a grietas y fisuras, tanto de origen mecánico como disolución y se encuentran entre ellos las calizas, dolomías, granitos, basaltos, etc. Donde los dos primeros son de más importancia.
- los denominados **acuíferos cársticos y porosos**, cuya permeabilidad es debida a un conjunto de las dos anteriores causas, son típicas las calcarenitas.

Por otra parte, según sus circunstancias hidráulicas y estructurales, pueden funcionar de tres distintas formas (Figuras 1.6 y 1.7)

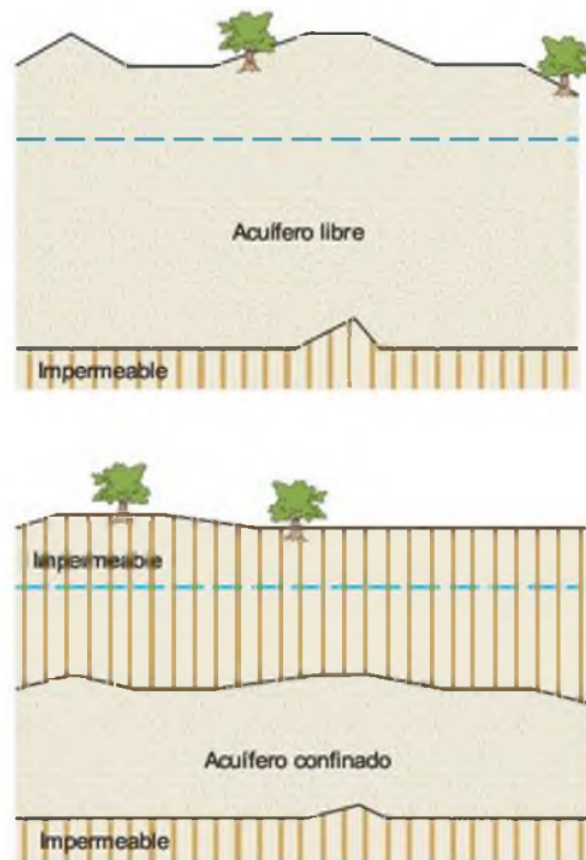


FIGURA 1.6 Esquemas de acuífero libre y confinado.

Fuente: Adaptado de González et al. (2002)

- los denominados **Acuíferos cautivos o confinados**, son aquellos que están aislados en el subsuelo, rodeados de materiales impermeables por todos sus lados. El nivel de agua en los acuíferos cautivos está por encima del techo del material acuífero; en realidad, están a presión o en carga, debido al peso de los materiales superiores.
- los denominados **Acuíferos semiconfinados**, los materiales que los rodean no son todos impermeables; así, el paquete superior o semiconfinante lo constituyen formaciones

semipermeables, que permiten el paso del agua de otros acuíferos superiores al inferior semiconfinado.

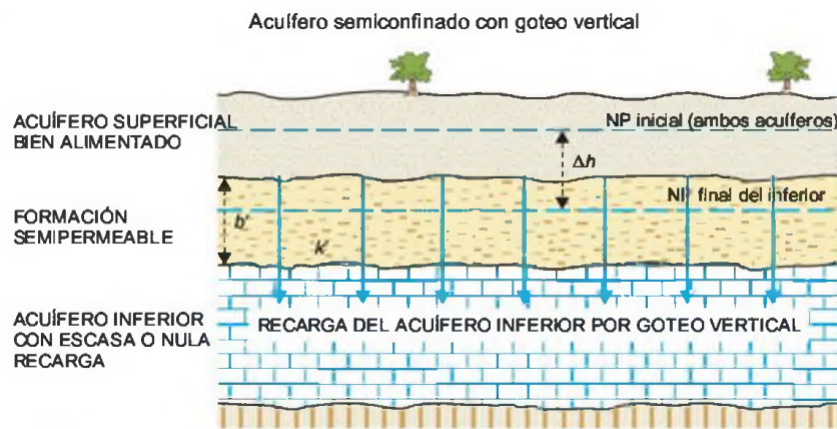


FIGURA 1.7 Esquema de acuífero semiconfinado.

Fuente: Adaptado de González et al. (2002)

1.4 Hidrogeología

La hidrogeología es la ciencia que se ocupa del estudio de las aguas subterráneas. Este estudio no puede ni debe ser forma unilateral, analizando solamente las características físicas y químicas de dichas aguas, de las rocas donde se almacenan y por las cuáles a su vez transitan. Para poder conocer el origen de las aguas subterráneas, su quimismo, así como composición y estructura de los horizontes acuíferos y cuencas subterráneas es imprescindible definir los procesos que existieron en distintas épocas geológicas, es decir, esclarecer “paleohidrogeología” del territorio de estudio. (Fernández et al., 1999) La Geotécnica y la Geología aplicada a la ingeniería de la construcción también tienen frecuentes conexiones con la Hidrogeología. Así, por ejemplo, los problemas de impermeabilidad de embalses, de estabilidad de laderas y taludes, de presas de materiales sueltos, de drenajes agrícolas, de asentamientos, etc., no pueden ser estudiados sin tener en cuenta como un factor importante a veces el más decisivo la situación y/o la circulación del agua del terreno. (Custodio & Llamas, n.d.)

1.4.1 Medios porosos

Se podrían describir un medio poroso como aquel material que esta contenido por dos fases: una matriz sólida y dentro contiene un conjunto de huecos que puedan estar interrelacionados o no entre ambos.

La forma de un sistema poroso representa las formas y tamaños de sus poros como así también la rugosidad de la superficie. Mientras que la topología nos menciona el modo

en que dichos poros están relacionados entre sí.

La morfología de los contenidos porosos se divide en aquellos que pueden ser vistos a simple vista y los otros no. Las cualidades que se logran ver son más trascendentes son la porosidad, el área superficial específica y permeabilidad, entre varios. Los más conocidos como medios porosos son: arena, gravilla, esponjas y lechos empaquetados. (Baldeon & Laurente, 2014)

- Ejemplos de medios porosos: arena, gravilla, esponjas, lechos empaquetados.
- Los medios porosos pueden ser: Impermeables cuando los poros no están interconectados. Permeables cuando los poros están conectados.
- Las principales características de un flujo en medio poroso, son La fricción es mucho mayor de lo que sería en un flujo análogo sin medio poroso. El factor de fricción se calcula de manera diferente. La variación de la velocidad del fluido a través de un medio poroso es despreciable comparada con la fricción.

1.4.1.1 Dinámica del agua en medios porosos

Los desplazamientos de un flujo en medio poroso están definidos por las mismas leyes fundamentales que dirigen el flujo en régimen abierto, que están como origen en la ley de conservación de la masa, momento y energía, ligado con las relaciones de proporcionalidad y ecuaciones de estado propias del medio poroso y del fluido. El recurso hídrico y su relación con el suelo tiene diversas cantidades y formas de energía. De acuerdo con la física clásica existen dos formas importantes de energía son la cinética y la potencial. Por lo general, la energía cinética no necesariamente se puede tomar en cuenta, puesto que el desplazamiento del agua del suelo es mas tardío, y el concepto cinético está en medida al cuadrado de la velocidad. De esta manera, la energía potencial es un factor determinante del como se encuentre el agua en la superficie del suelo. La energía que tiene el agua que es parte del suelo comúnmente es denominado potencial de agua del suelo y suele expresarse en fines referentes, para lo cual es primordial definir un estado de conexión. (L. A. Molina, 2017) Se puede describir que el potencial de agua del suelo como el número de trabajo que debe hacerse por unidad de agua limpia y libre para llevar reversible e isotérmicamente una cantidad de agua desde el estado de relación al punto del suelo en mención. Las unidades podrían de la energía por unidad de volumen, masa o de energía por unidad de peso o masa (presión hidráulica). La energía está sujeto, Por tal razón se presenta de manera que

se pueda expresar la energía potencial, cinética y de presión así:

$$E_h = mgh \quad E_c = \frac{1}{2}mv^2 \quad E_p = pV \quad Ec. (1.1)$$

Donde:

g = Gravedad

m = Masa

z = Cota con respecto al nivel de referencia

v = Velocidad

p = Presión

V = Volumen

Por el principio de conservación de la energía, esta va a permanecer constante a lo largo de una línea de corriente, y por tanto:

$$E = E_h + E_c + E_p = cte \quad Ec. (1.2)$$

1.4.2 Número de Froude

El número de Reynolds y los términos laminar y turbulentos no bastan para caracterizar todas las clases de flujo en los canales abiertos. El mecanismo principal que sostiene flujo en un canal abierto es la fuerza de gravitación. Por ejemplo, la diferencia de altura entre dos embalses hará que el agua fluya a través de un canal que los conecta.

$$Fr^2 = \frac{v^2}{gL}$$

L = parámetros de la longitud [m]

v = parámetros de la velocidad [m/s]

g = aceleración de la gravedad [m/s^2]

El flujo se clasifica como:

$Fr < 1$, Flujo subcrítico o tranquilo, tiene una velocidad relativa baja y la profundidad es relativamente grande, prevalece la energía potencial. Corresponde a un régimen de llanura.

$Fr = 1$, Flujo crítico, es un estado teórico en corrientes naturales y representa el punto de transición entre los regímenes subcrítico y supercrítico.

$Fr > 1$, Flujo supercrítico o rápido, tiene una velocidad relativamente alta y poca profundidad prevalece la energía cinética. Propios de cauces de gran pendiente o ríos de montaña. (García, 2016)

1.4.2.1 Movimiento con turbulencia o laminar

Relacionado a las fuerzas de tipo viscosas, referentes a las inerciales y propiamente a través del número de Reynolds.

$$R_e = \frac{VR}{\nu}$$

Siendo:

R_e = número de Reynolds

V = viscosidad cinemática del agua

R = Radio hidráulico

El número de Reynolds que supera a 10000 relacionados con el desplazamiento turbulento, en la que los gránulos del agua representan una distorsión al sentido que logra tener. Números inferiores a 2000 relacionados con el flujo de tipo laminar, cuyas partículas que forman parte del tipo de flujo logran describir una línea. Es primordial indicar que las características de la agitación del fluido en los espacios porosos son como las estructuras en la represa o también de los espacios semejantes, la corriente hace un movimiento laminar. (Chow, 1994)

1.4.2.2 El flujo de los fluidos puede ser:

- Estacionario o no estacionario: Se da Cuando la velocidad del agua v no varía en cualquier punto de estudio, es invariable en relación al tiempo .

En el *flujo estacionario*, la velocidad v se mantiene de modo contante en relación al tiempo. Donde todo elemento que pase por este punto mantiene la velocidad inicial que tenía y de la misma manera su *línea de corriente* suele ser la tangente para cada punto en relación a la velocidad. (Beléndez, Beléndez et al., 2002)

1.4.3 Parámetros hidrogeológicos

A través de los parámetros hidrogeológicos se pueden conocer y saber la cantidad sobre el cómo es el movimiento del agua dentro del acuífero, en base a la fórmula global de las aguas subterráneas. Posteriormente se define sobre la porosidad, permeabilidad,

transmisividad, coeficiente de almacenamiento. (Dominguez & Nieves, 2006). La capacidad de almacenar y transmitir el agua por parte de un acuífero debe ser medida para analizar las formaciones desde el punto de vista hidrológico. Por ello, se asocian a las formaciones de cuatro parámetros básicos en cuanto a su comportamiento respecto al agua que puedan contener y transmitir. Porosidad y coeficiente de almacenamiento, permeabilidad y transmisividad, son los cuatro parámetros dependientes dos a dos.

Porosidad

La capacidad del acuífero de almacenar agua está determinada por su porosidad. El concepto porosidad (o volumen de poros) se utiliza también para el volumen de grietas y el volumen de huecos cársticos. La zona saturada del acuífero consiste en la matriz rocosa y en huecos (poros, intersticios) rellenos de agua. La porosidad p es la parte o porcentaje del volumen de poros en un acuífero relleno de agua. (Werner, 1996)

La porosidad es la relación existente entre el volumen de hueco y el volumen total de una roca. La porosidad total n , que es el volumen total de poros, específicamente si el fluido tiene o no la capacidad de transitar en medio de los mismos:

$$n = \frac{\text{volumen de los poros}}{\text{volumen total}}$$

$$m = \frac{V_h}{V_r} \quad \text{Ec. (1.3)}$$

Donde:

V_h = es el volumen de huecos

V_r = es el volumen de roca

Permeabilidad

La permeabilidad viene a ser un factor que tiene la capacidad de estimar el traslado del agua en un compuesto, dependiendo tan solo de medio en el que se encuentre, tomar en cuenta la estructura del cuerpo de la presa o su forma geométrica.

Al hablar de la permeabilidad efectiva k se podría definir que el caudal tiene la facilidad de pasar a través de una sección propia del acuífero. Dependiendo, en resultado, como en el acuífero, también en lo que el fluido logra traspasarla. Tal razón la permeabilidad efectiva se describe del siguiente modo:

$$[k] = \frac{L^3 T^{-1}}{L^2} = LT^{-1}$$

Se usará *cm/s* y *m/día* como factores más comunes, lograremos usar en términos de *cm/s* para la ingeniería que estamos manejando. La permeabilidad de tipo intrínseca y efectiva están relacionadas únicamente por los aspectos que tienen la capacidad de describir las características del agua. (Custodio & Llamas, n.d.)

La permeabilidad es aquel tipo de flujo de agua que pasa a través de una unidad unitaria de acuífero, teniendo relación con la gradiente hidráulica a cierta temperatura, y se explica así:

$$K = c \cdot d^2 \cdot \frac{\gamma}{\mu} \quad \text{Ec. (1.4)}$$

Donde:

c = constante adimensional.

d^2 = factor intergranular de la superficie.

γ = peso específico del agua.

μ = viscosidad del agua.

Coefficiente de almacenamiento

La capacidad de almacenar agua se mide a partir del “coeficiente de almacenamiento”, S , que se define como el volumen de agua que proporciona una columna de acuífero de base unitaria y altura el espesor saturado del acuífero al descender en una unidad el potencial hidráulico. El coeficiente de almacenamiento no tiene dimensiones (volumen de agua que puede extraerse de un volumen de acuífero $[L^3/L^3]$). También, puede ser definido como la proporción del volumen de agua extraído V_a entre el volumen de agua del acuífero V_ω

$$S = \frac{V_a}{V_\omega}$$

Los Valores de S de 0.3 a 0.01 característicos para acuíferos libres y de 10^{-6} a 10^{-6} para confinados. (Sen, 2017)

El Coeficiente de almacenamiento específico S_s , es la cantidad de agua cedida o absorbida por unidad de volumen de acuífero al variar el nivel piezométrico en un metro.

Se denota por S_s y tiene dimensiones $1/L$, es decir m^{-1} . El coeficiente de almacenamiento específico es expresado por la siguiente expresión. (Papadopoulos & Cooper, 1967)

$$S_s = \rho_w \cdot g \cdot (\alpha + n\beta)$$

Donde:

ρ_w = densidad del agua [kg/m^3]

g = aceleración de la gravedad [m/s^2]

α = compresibilidad del medio [$1/N/m^2$]

n = porosidad ($[L^3/L^3]$)

β = compresibilidad del agua [$1/N/m^2$], a temperatura ambiente de $4.6 \cdot 10^{-10} m^2/N$

El coeficiente de almacenamiento de un acuífero confinado puede ser calculado por el producto del almacenamiento específico y el espesor saturado.

$$S = b \cdot S_s$$

En acuíferos libres el almacenamiento es calculado mediante la fórmula:

$$S = S_y + b \cdot S_s$$

Donde:

S = coeficiente de almacenamiento

S_y = rendimiento específico

S_s = coeficiente de almacenamiento específico

b = espesor saturado

Transmisividad

Cuando se habla de “transmisividad” del acuífero se considera el caudal del agua que pasa por una sección de acuífero de base unitaria y altura su espesor saturado. La “transmisividad” es igual a la “conductividad hidráulica” por el “espesor saturado” y tiene dimensiones (Santos, Martinez & Castaño, 2006) En Acuíferos de mucha porosidad y de bajo espesor podrían y teniendo adecuadas clases texturales, podrían no ser adecuados para transmitir agua por su bajo espesor y tal razón mínimo espesor.

$$T = K \cdot b \quad Ec. (1.5)$$

1.5 Logueo

En la investigación la roca, llegando hasta el núcleo de la misma y para lo cuál se harán estudios en base las muestras obtenidas teniendo como base principal su profundidad.

Para loguear se anotará de la siguiente manera:

- Alistado de las cajas para la colocación de los ensayos obtenidos.
- Análisis geotécnico.
- Estudio y análisis de las rocas, su textura, composición química, propiedades físicas.
- Variaciones.
- Muestreo.

1.6 Ensayos hidráulicos

Vargas (2020), donde se explica también que los ensayos tienen por finalidad la determinación de la permeabilidad o la filtración en el macizo rocoso esto con fines geomecánicos y geotécnicos, estas pruebas se pueden efectuar con taladros de perforación en excavaciones comúnmente llamadas calicatas. Se sabe que existen dos tipos de ensayos de permeabilidad más utilizados que logran ser en Ensayo de tipo Lefranc y el Ensayo de tipo Lugeon, que son aplicados en macizos rocosos tanto fracturados como no fracturados. Herrera (2019), el objetivo es definir la conductividad hidráulica o permeabilidad en lo que los materiales que componen partes de la presa.

La permeabilidad en el suelo puede establecerse en un laboratorio o también en campo; las medidas obtenidas de laboratorio son mucho mas sencillos de hacer que los cálculo en campo. El grado de permeabilidad tiene mucho que ver con la composición del suelo y tal razón con lo difícil que es conseguir muestras de suelo que representa, es necesario las determinaciones en el campo de la permeabilidad promedio.

Los ensayos de permeabilidad de campo relacionados con la perforación son de varios tipos:

- Prueba de permeabilidad Lefranc en suelos
- Prueba de permeabilidad Lugeon en rocas

Los pasos para determinar la prueba de permeabilidad Lefranc y Lugeon, de acuerdo a esta investigación que está relacionado en el aprovechamiento con la perforación para poder hacer circular el agua a través de un tubo de revestimiento hasta el fondo de la perforación de manera que haya un flujo permanente; apoyándonos de un caudalímetro se medirá el

caudal de agua a intervalo de 1 minuto durante 10 minutos y mediante las ecuaciones matemáticas se logra determinar la permeabilidad del suelo o roca.

1.6.1 Ensayo de Permeabilidad LEFRANC

Este tipo de ensayo viene en relación con la metodología que se logre emplear en el ensayo, existen dos clases: Lefranc de carga permanente y carga no permanente. Ambas pruebas son clasificadas dependiendo de la subida o bajada del nivel del agua. En el caso que la muestra obtenida de la sección de prueba indica que podría ser un tramo con fácil circulación del agua, en tal razón se puede establecer sobre la altitud de la nivelación del agua pueda variar con presura, tal razón se debería hacer un test de la circulación de agua, se deberá equilibrar la altitud de la nivelación del agua con relación hacia el barrenps, bajo o sometido a un nivel de prueba fijo. Estos ensayos introducen o absorben agua, en suelos permeables como arenas y gravas ($k > 10^{-4}$ cm/seg) la prueba se hace de inyección y carga constante en suelos de baja permeabilidad ($k < 10^{-4}$ cm/seg) como tierras, barros y afar haciendo la extracción.

Los pasos para los dos ensayos se definen como: La permeabilidad puntual o precisa a carga constante, que se deja circular con el caudal hasta la profundidad de perforación sin alzar el casing; y para el ensayo de permeabilidad lateral a carga constante se tendrá que levantar el tubo de revestimiento casing entre 0.50 m. a 1.00 m. de manera que el agua circule por medio de las paredes de material en perforación.

1.6.2 instrumentación y equipos para el ensayo

El equipo mencionado y su instalación se muestra en las figuras 1.8 y 1.9

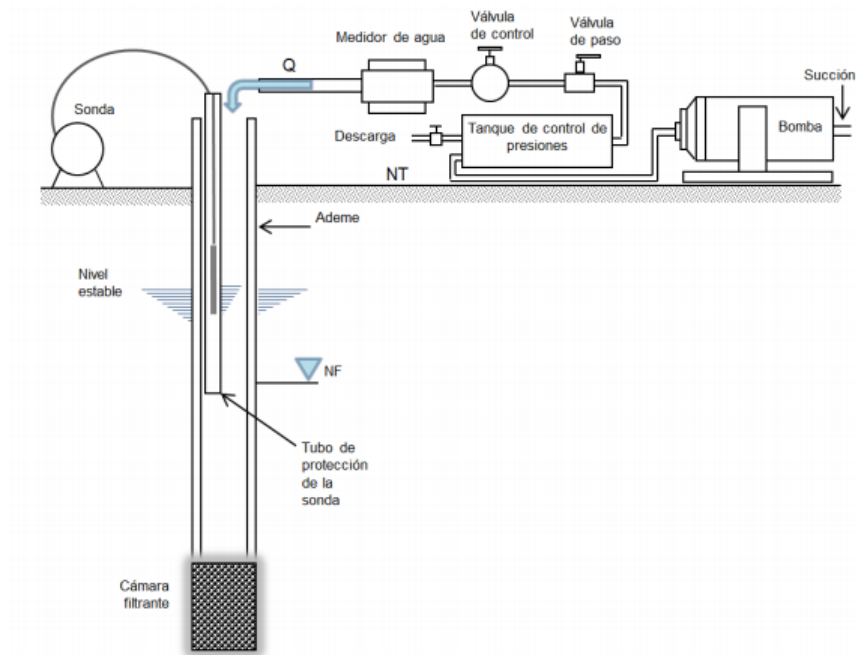


FIGURA 1.8 Instalación de la prueba de Lefranc.

Fuente: Adaptado de Freyre (2015)

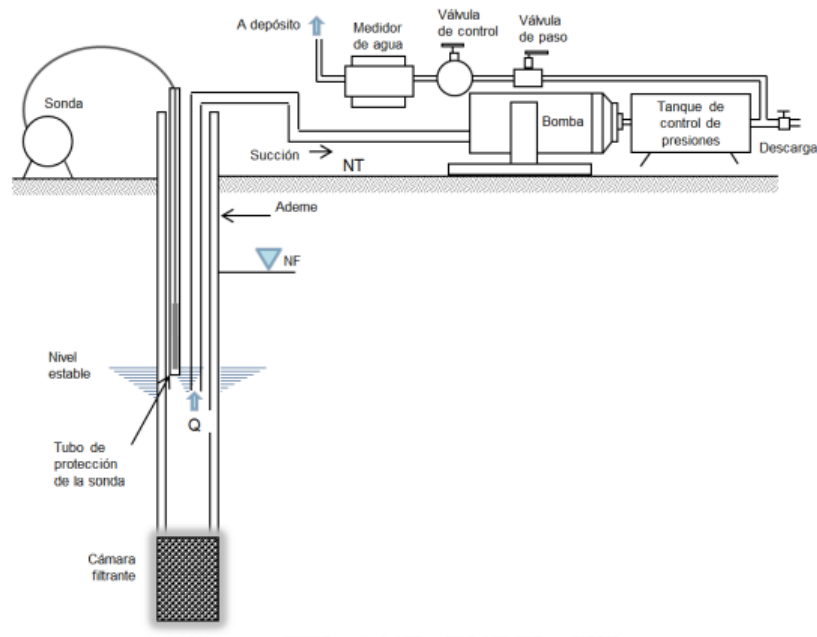


FIGURA 1.9 Establecimiento de la prueba Lefranc con succión del agua.

Fuente: Adaptado de Freyre (2015)

1.6.3 Realización de la prueba

1.6.3.1 Realización de Lefranc a Flujo Permanente

Se basa en la inyección o extracción de agua través de un barreno, hasta llegar a la estabilidad del ensayo, durante cierto tiempo. Será recomendable establecer 5 minutos por cada prueba o por cada observación. Se deberá realizar 5 observaciones, Ver figuras

1.10 y 1.11

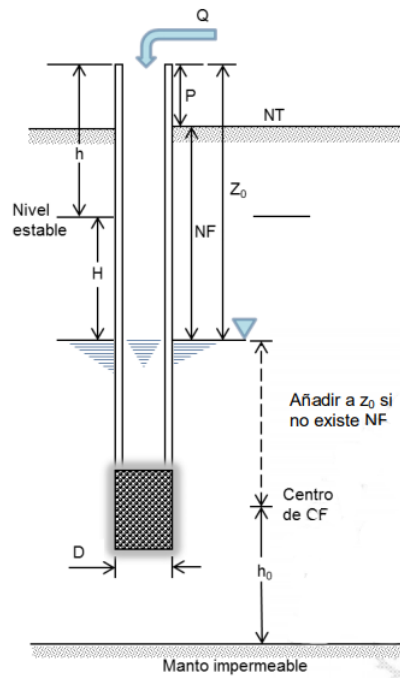


FIGURA 1.10 Prueba Lefranc de Flujo constante inyección
Fuente: Adaptado de Freyre (2015)

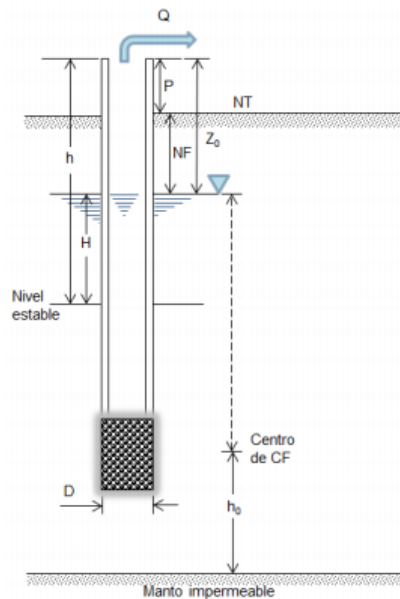


FIGURA 1.11 Prueba Lefranc de Flujo constante bombeo.
Fuente: Adaptado de Freyre (2015)

1.6.3.2 Realización de prueba Lefranc a Flujo Variable (Subida o Bajada)

Se basa en la extracción o aumento de agua al barreno para que posteriormente se deba medir la subida o bajada del nivel en el barreno, se hará en intervalos de igual tiempo. Tal razón, este tipo de pruebas de circulación del agua de manera variable se logra dividir en "Subida o Bajada" y este depende de la ubicación del nivel del agua. Por lo general para la elección de este tipo de pruebas son seleccionadas en el momento en que la velocidad es baja, tal razón se observa en la siguientes figuras 1.12 y 1.13 se pueden ver los datos

que fueron considerados en la prueba Lefranc en subida y bajada, respectivamente:

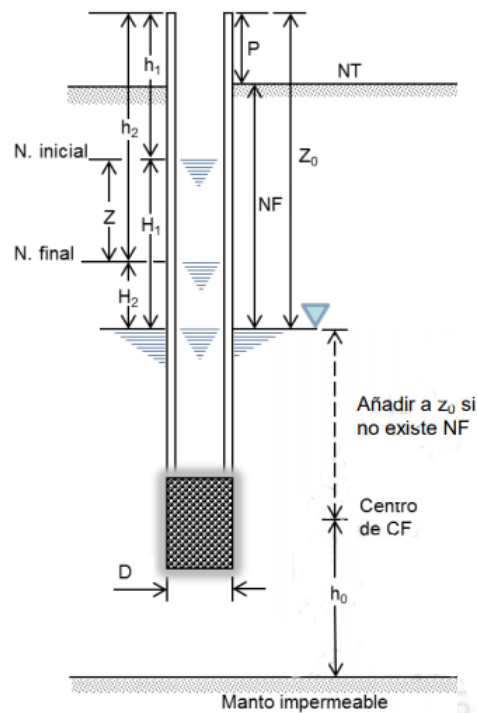


FIGURA 1.12 Prueba Lefranc de Flujo variable descenso.
Fuente: Adaptado de Freyre (2015)

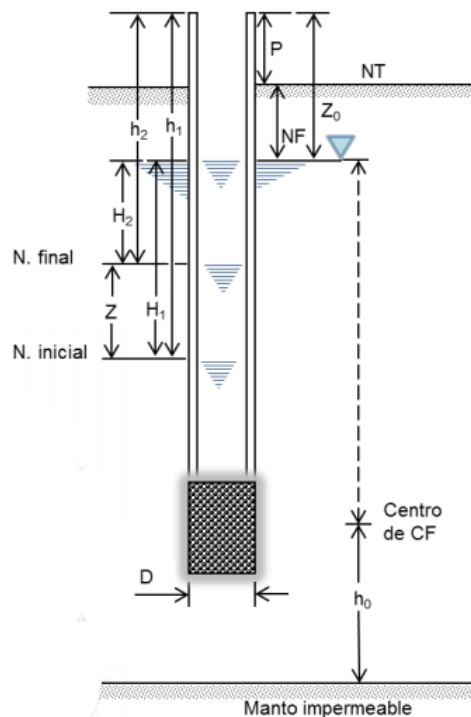


FIGURA 1.13 Prueba Lefranc de Flujo variable ascenso.
Fuente: Adaptado de Freyre (2015)

1.6.4 Ensayo de Permeabilidad LUGEON

Se refiere a un ensayo de carga constante que esta ubicado en la parte lejana del terreo mediante un pozo de estudio. A presión constante se le somete al agua y es inyectada al

suelo a través de un sistema de tubería, así como se observa en la **figura** 1.14.

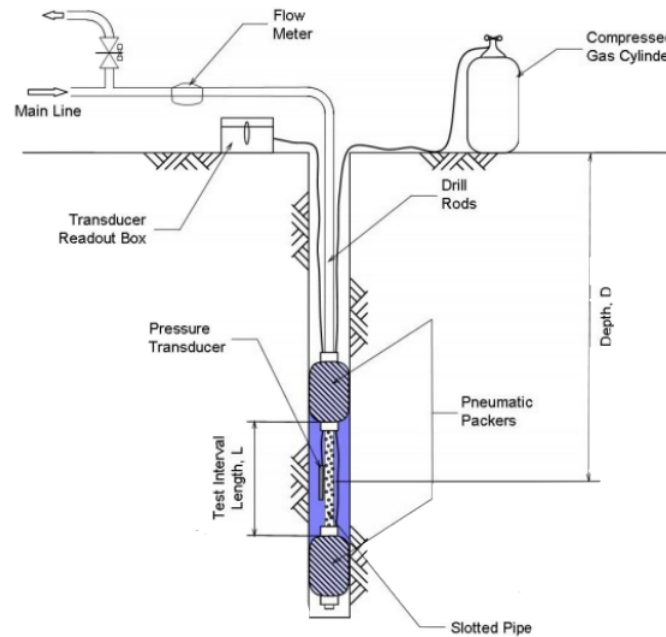


FIGURA 1.14 Configuración de la prueba de Lugeon.

Fuente: Adaptado de Chumpeaz (2007)

Primero se tendrá que definir una P_{max} , eligiendo de modo que no supere el estrés al cuál está sometido la tubería en donde se esté realizando la prueba, previendo la fracturación hidráulica. La prueba fue llevada en cinco etapas, a distinta medida de presión. Para una etapa se mantiene una presión de agua invariable para en un intervalo de 10 minutos, a través del bombeo de agua. La primera etapa es sometida a una mínima presión del flujo y luego se incrementará la presión hasta una P_{max} . Ya alcanzado una P_{max} , se empiezan a reducir las presiones de la misma manera que las otras etapas.

1.6.4.1 Permeabilidad modificado de TIPO LUGEON

La prueba Lugeon modificado proviene de las investigaciones elaboradas por Houlsby (1976), en cuál propone sobre los valores de la permeabilidad, que deben ser elegidos en base a los valores que se obtienen de cada etapa. Este tipo de ensayo "modificado" difiere con el ensayo del (Lugeon, 1993) a causa de las presiones bajas. Houlsby (1976) ordenó el ensayo en cinco grupos que se diferencian uno del otro, de la siguiente manera:

- Flujo laminar: La permeabilidad es no tiene relación con la presión de agua usada.
- Flujo desordenado: Tiene relación inversa entre la permeabilidad del suelo y la presión que existe en el agua.
- Dilatación: La permeabilidad suele ser semejante a los valores de las presiones bajas y

medias.

- Lavado: La permeabilidad aumenta a medida que avanza la prueba, separadamente de las variaciones observadas en la presión del agua.
- Relleno en los vacíos: Las permeabilidades disminuyen a razón que se empieza a hacer el ensayo, sin tener en cuenta la variedad de todas las presiones.

Se presentará en el gráfico los cinco estados definidos por Houlsby del ensayo de Lugeon, como se observa en la **figura** 1.15:

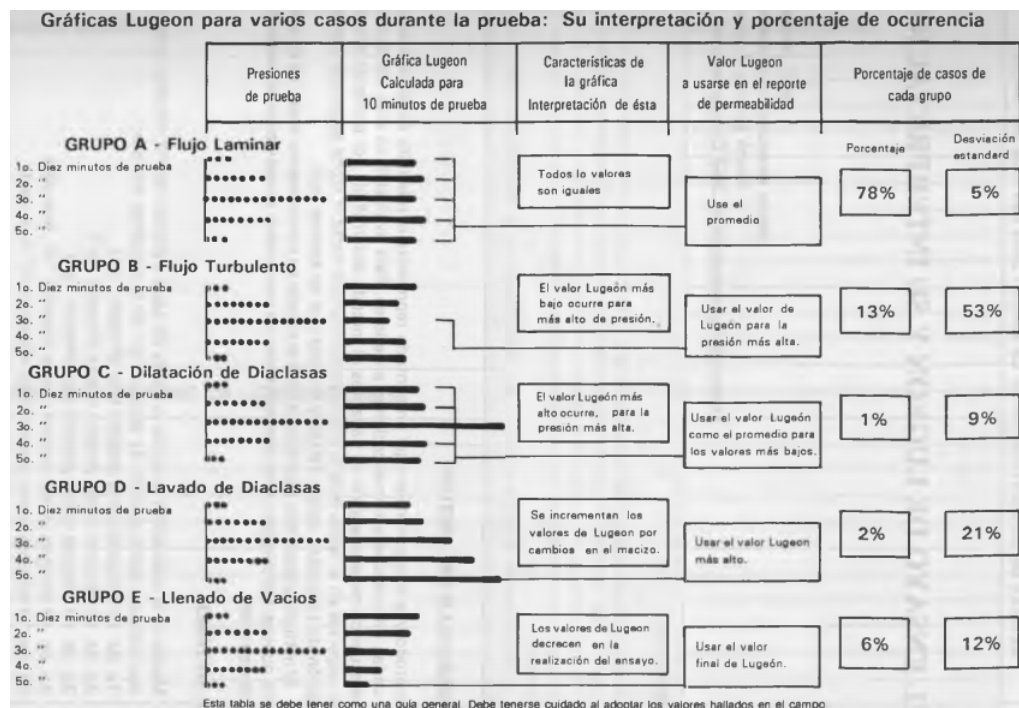


FIGURA 1.15 Configuración de la prueba de Lugeon.

Fuente: Adaptado de Houlsby (1976)

1.7 La conductancia hidráulica

La conductancia Hidráulica es propia en los espacios porosos, esta propiedad tiene relación con el medio tal razón hace que no dependa de las características del agua. Para impedir el desorden con la Conductividad Hidráulica, se expresa del siguiente modo.

$$K = \frac{k\mu}{\rho g} \quad Ec. (1.6)$$

La k , es la permeabilidad, μ viene a ser la viscosidad dinámica y ρ la densidad en el agua, g la gravedad.

Para la Hidrogeología, el agua es el fluido que mas resalta. Tal razón se puede mencionar

que existe permeabilidad en un medio, cuando este logra transmitir cierto volumen de agua en un tiempo a una viscosidad mediante una sección, medida en ángulo recto en dirección del agua, sujeto a una gradiente hidráulica. La permeabilidad está descrita en unidades de $[M.L^{-1}]$ y la formula mediante:

$$K = -v \frac{\partial h}{\partial l} \quad \text{Ec. (1.7)}$$

Corresponde v a la velocidad de Darcy y $\partial h / \partial l$ viene a ser el la permeabilidad y esta designado por la diferencia de presiones en cierto tramo. (Keith & Mays, 2004)

1.7.1 Ecuación de Bernoulli

Los suelos tienen huecos enlazados unos con otros, por donde el agua circula desde puntos de elevada energía a puntos de menor energía. Es importante realizar el análisis de la circulación del agua en los espacios porosos del suelo. Es importante conocer la filtración subterránea en varias condiciones hidráulicas. (Das, 2015)

$$h = \frac{u}{\gamma_w} + \frac{v^2}{2g} + Z \quad \text{Ec. (1.8)}$$

donde:

h = carga total

u = presión

v = velocidad

g = aceleración de la gravedad

γ_w = peso unitario del agua

Se sabe que el desnivel, Z , es la distancia vertical de un punto dado por encima o por debajo de un plano de referencia. La carga de presión es la presión del agua u en ese punto, dividida entre el peso unitario de agua γ_w

i la ecuación de Bernoulli se aplica al flujo de agua a través de un medio de suelo poroso, el término que contiene la velocidad de carga puede despreciarse debido a que la velocidad de filtración es pequeña. A continuación, la altura total en cualquier punto se puede representar adecuadamente por

$$h = \frac{u}{\gamma_w} + Z \quad \text{Ec. (1.9)}$$

La presión, elevación y las cargas totales, están estrechamente relacionadas en la circulación del agua en el suelo. Los tubos abiertos conocidos como *piezómetros* son colocados A y B. La elevación del agua donde se levantan los tubos ubicados en A y B se le conocen como *niveles piezométricos* en los puntos A y B, respectivamente. La variación A y B, se da como:

$$\Delta h = h_A - h_B = \left(\frac{u_A}{\gamma_w} + Z_A \right) - \left(\frac{u_B}{\gamma_w} + Z_B \right) \quad \text{Ec. (1.10)}$$

Se puede ver en la [figura 1.16](#) y 1.17.

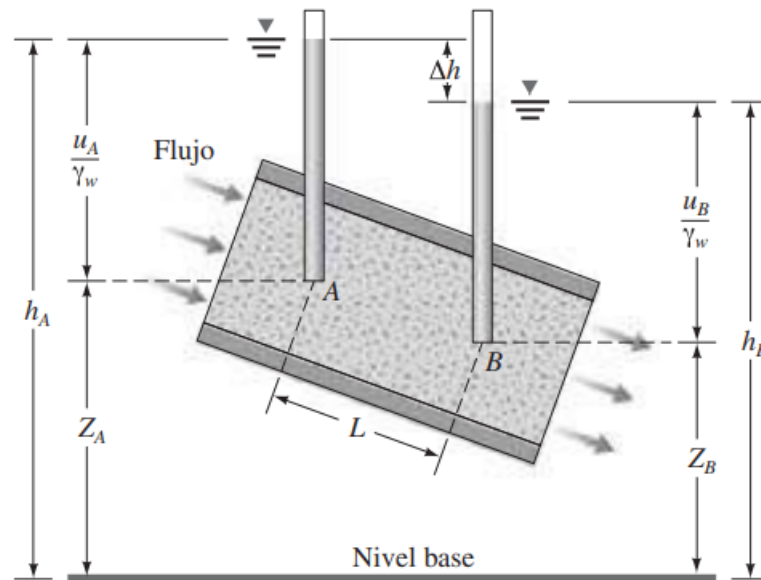


FIGURA 1.16 Presión, elevación y cargas totales en la circulación del agua.

Fuente: Adaptado de Das (2015)

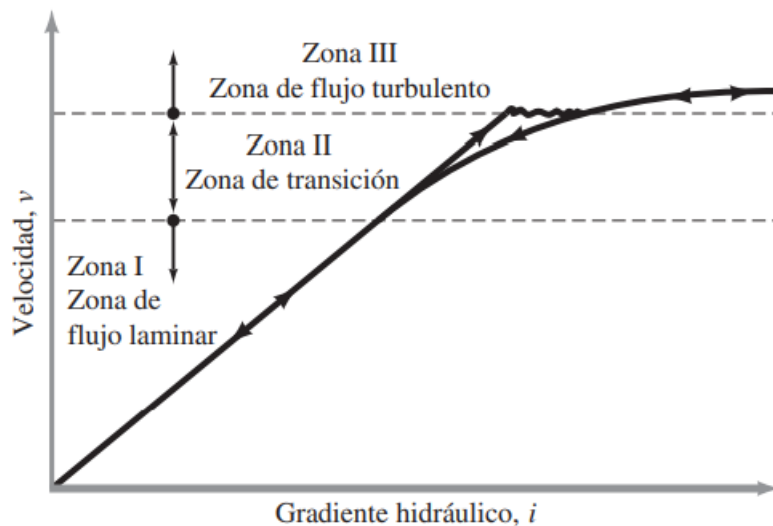


FIGURA 1.17 Diferencia de v en relación a la gradiente hidráulico, i
Fuente: Adaptado de Das (2015)

$$i = \frac{\Delta h}{L} \quad \text{Ec. (1.11)}$$

donde:

i = gradiente hidráulico

L = espacio entre los puntos A y B, pérdida de carga

Se puede ver en la siguiente figura 1.17, aquí se muestra en las tres zonas:

1. Sector laminar (zona I)
2. Sector de transición (zona II)
3. Sector turbulencia (zona III)

Solo se encuentra condiciones de flujo laminar sólo en la zona I. Se podría considerar como laminar, por lo que,

$$v \propto i \quad \text{Ec. (1.12)}$$

La ecuación Ec. (1.12) no podría tener valor, en las rocas fracturadas como gravas y las arenas gruesas sometidos bajo turbulencia.

1.7.1.1 Flujo de agua en el terreno

el suelo es un conjunto de partículas entre las que existen huecos o poros interconectados, de modo que el agua pueda fluir a su través. El camino de la filtración resulta bastante “tortuoso”, ya que el agua ha de “sortear” la gran cantidad de obstáculos que suponen las

partículas del suelo. El coeficiente de permeabilidad, k , de un suelo como un parámetro que mide, la facilidad para que el agua circule a su través,

El coeficiente de permeabilidad fue enunciado por primera vez por Darcy en 1856. Se mide en unidades de velocidad m/s, m/día, o cm/s y es quizás el parámetro hidráulico que registra mayores variaciones en función del tipo de suelo. (Romana, 2014)

1.7.1.2 Ley de Darcy

El flujo de 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 contra otras. En caso contrario, se trata de un flujo turbulento

la ecuación de Darcy esta basada en las examinaciones que se hace a la circulación del agua mediante las arenas limpias se expone del siguiente modo:

$$v = k \cdot \frac{\Delta h}{L} = k_i \quad \text{Ec. (1.13)}$$

donde:

v = velocidad de descarga

k = conductividad hidráulica

1.8 Ecuaciones de la Ley de Darcy

$$Q = -kAi$$

siendo:

Q = caudal [$L^3 T^{-1}$]

k = permeabilidad [LT^{-1}]

A = área [L^2]

i = gradiente hidráulica

Al circular el agua de zonas elevadas a menor nivel piezométrico, que viene a ser un escalar, luego se puede dar cuenta que la gradiente y el flujo tienen sentidos distintos. Lo que hace dar signo negativo cuando se encuentra en el segundo final de la ecuación de Darcy. Donde es el nivel piezométrico y h es el espacio en el flujo, tal razón se muestra en la siguiente figura 1.18:

$$Q = -KA \frac{\partial h}{\partial x}$$

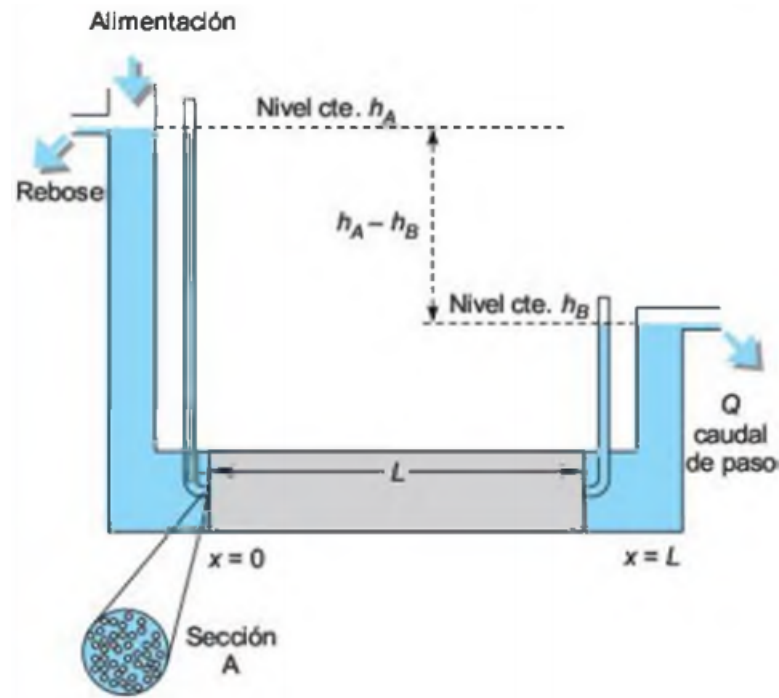


FIGURA 1.18 Ley de Darcy
Fuente: Adaptado de González et al. (2002)

En la figura 1.18, mantiene constantes los niveles h_A y h_B , y al ser constantes K y A para todo el medio permeable se establece la forma más sencilla de Darcy:

$$Q = K A \frac{h_A - h_B}{L}$$

La ley de Darcy es particularmente útil solo los casos de régimen laminar. Para realizar el análisis si es laminar o no se acude al número de Reynolds:

$$Re = \frac{\rho v d}{\mu}$$

donde:

v = velocidad del agua

d = tamaño medio de las partículas

ρ = densidad del agua

μ = viscosidad dinámica

el número de Reynolds no tiene dimensión o unidades

$$[Re] = \frac{(ML^3)(L)}{(MLT^2)(T)(L^{-2})} \rightarrow \text{adimensional}$$

De muchas maneras, se debe usar unidades iguales. Valores obtenidos que varían de 1 y 10, implica ser adecuado para el régimen laminar tal razón se podría usar en la Ley de

Darcy, también se podrían considerar aquellos valores menores a 4, ver la figura . En el régimen se podría ver la turbulencia para aquellos valores que están dentro de 60-180, así como para aquellos valores intermedios conocidos como cuasi-turbulentos.

$$Q = -KA \frac{\partial h}{\partial x}$$

Ver la figura 1.19

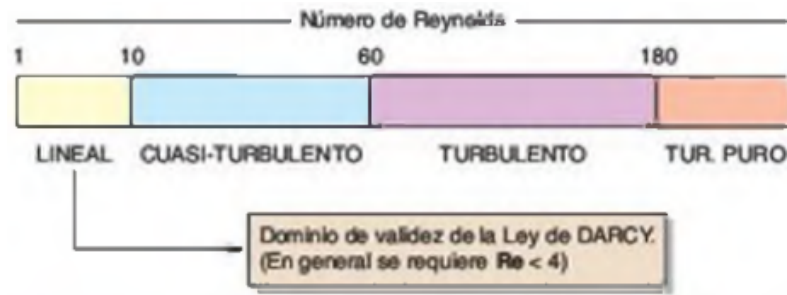


FIGURA 1.19 Régimen de flujo
Fuente: Adaptado de González et al. (2002)

1.8.1 Velocidad de Darcy y velocidad real

La velocidad v con la que el flujo atraviesa el medio permeable, puede ser fácilmente deducida combinando las leyes de Darcy y del gasto. Así se tendría:

$$Q = vA ; v = \frac{Q}{A}$$

Siendo Q el caudal de paso y A .

Dado que:

$$Q = -K \cdot A \cdot \frac{\partial h}{\partial x} \Rightarrow v = -K \cdot \frac{\partial h}{\partial x}$$

Esta velocidad conocida también como la velocidad de Darcy, y esta relacionada a la velocidad del agua cuando este pasa por una sección abierta. La velocidad verdadera v_r del agua esta comprendida por:

$$Q = v_r A n_e \Rightarrow v_r = \frac{Q}{A n_e} \Rightarrow v_r = \frac{v}{n_e}$$

Es decir, la velocidad real del fluido es el cociente entre la velocidad de Darcy y la porosidad eficaz. La ley de Darcy, a pesar de su sencillez, tiene un campo de aplicación muy amplio. No sólo es la base, unto con la ley de continuidad, para la deducción de las diversas ecuaciones del flujo en medios permeables en régimen permanente y transitorio, sino que por sí sola es capaz de cubrir un importante campo de aplicaciones en hidrodinámica en medios permeables.

1.8.2 Limitaciones de la ley de Darcy

La Ley de Darcy puede no cumplirse por las siguientes razones:

1.8.2.1 La constante de proporcionalidad k no es propia y característica del medio poroso

Sino que también depende del fluido. El factor k puede descomponerse así:

$$K = k \frac{\gamma}{\mu} \quad \text{Ec. (1.14)}$$

K = conductividad hidráulica

k = permeabilidad intrínseca (depende sólo del medio poroso)

γ = peso específico del fluido

μ = viscosidad dinámica del fluido

Se puede modificar la expresión Ec. (1.14), se tendrá en cuenta que:

viscosidad dinámica (μ) = viscosidad cinemática ν · densidad (ρ)

Peso específico (γ) = densidad (ρ) · gravedad (g)

Obteniendo:

$$K = k \frac{g}{\nu} \quad \text{Ec. (1.15)}$$

Entonces:

g = gravedad

ν = viscosidad cinemática del fluido

Esta cuestión es importante en geología del petróleo o en el flujo de contaminantes, donde se analizan los fluidos de diferentes características. En el caso del agua, la salinidad apenas hace variar el peso específico ni la viscosidad. Solamente habría que considerar la variación de la viscosidad con la temperatura, que se duplica de 35 a 5 ° C, con lo que se la permeabilidad de Darcy K sería la mitad y también se reduciría en la misma proporción el caudal circulante por la sección tomada en cuenta del medio poroso. Las aguas subterráneas presentan mínimas diferencias de temperatura a lo largo del año en un mismo acuífero, pero en otros entornos sí pueden producirse diferencias de temperatura notables.

Por tanto, aunque sabemos que K depende tanto del medio como del propio fluido, como

la parte que depende del fluido normalmente es despreciable, para las aguas subterráneas a efectos prácticos asumimos que la K de Darcy, o conductividad hidráulica es una característica del medio poroso.

1.8.2.2 Relación entre el caudal y la permeabilidad no es lineal

En algunas casos. Esto pasa cuando el valor de K es bajo o cuando las velocidades del flujo son muy elevadas.

$$q = -k \left(\frac{\partial h}{\partial l} \right)^n \quad \text{Ec. (1.16)}$$

donde el exponente n es distinto de 1.

Para estudiar este límite de validez de la ley de Darcy se aplica el **número de Reynolds**. Este coeficiente se creó para canales abiertos o tuberías, y en general valores altos indican **régimen turbulento** y valores bajos indican **régimen laminar**. Para medios porosos se aplica la fórmula utilizada para canales o tubos, pero sustituyendo el diámetro de la conducción por el diámetro medio del medio poroso y considerando la velocidad Darcy:

$$R = \frac{\rho v d}{\mu} = \frac{v d}{\nu} \quad \text{Ec. (1.17)}$$

donde:

ρ = densidad del fluido kg/m^3

v = velocidad de Darcy (m/s)

d = diámetro medio de los granos (m)

μ = viscosidad dinámica $\left(\text{Pascal} \cdot \text{m} = \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} \right)$

ν = viscosidad cinemática $\left(= \frac{\mu}{\rho} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right)$

Es imposible conocer el grado de turbulencia del flujo a través de un medio poroso, pero experimentalmente se ha observado que deja de cumplirse la Ley de Darcy (el caudal deja de ser linealmente proporcional al gradiente) cuando R alcanza un valor que varía entre 1 y 10. (Es decir: $R < 1$, sí cumple $R > 10$, **no** se cumple Darcy; R entre 1 y 10, puede cumplirse o no)

Esa falta de precisión del valor límite probablemente sea debida a otros factores diferentes del diámetro medio de los granos: heterometría, forma, etc. En el flujo subterráneo las

velocidades son muy lentas, los valores e y R muy bajos, y prácticamente siempre la relación es lineal, salvo en las proximidades de captaciones bombeando en ciertas condiciones. (Sánchez, 2012)

1.9 Comportamiento de las fallas de presas de materiales sueltos.

Las presas de materiales sueltos son las más utilizadas en el mundo por los ahorros económicos significativos que conlleva su construcción y por la posibilidad de aprovechar los materiales disponibles en el sitio.

Los suelos son el más antiguo de los materiales de construcción y el más complejo de cuantos se conocen. Su variedad es enorme y sus propiedades, variables en el tiempo y el espacio, son difíciles de entender y medir. El siglo XX constituyó el de mayor esfuerzo de los científicos para resolver los problemas que enfrentaba la Mecánica de Suelos y con ello el diseño y construcción de presas de tierra.

Se propone el siguiente orden de ocurrencia de daños graves o desastrosos en presas de térreos.

1. Rebase de la cortina
2. Sifonamiento mecánico
3. Agrietamiento transversal
4. Deslizamiento del talud aguas abajo
5. Sismos
6. Licuación
7. Pérdidas por filtración

1.9.1 Fallas en presas de materiales sueltos

El concepto de falla en presas ha sido definido por varios autores que han abordado este tema para su estudio y profundización.

1.9.1.1 Roturas violentas:

las que liberan el agua embalsada en pocas horas creando una inundación importante aguas abajo. La presa queda parcial o totalmente destruida.

1.9.1.2 Roturas con vaciado controlado:

Las que provocan o requieren el vaciado del embalse y permiten hacerlo de una manera controlada, sin daños a personas o propiedades. La presa necesita después una reparación

importante para volverla a poner en servicio.

1.9.1.3 Incidentes graves:

Fallos que obligan a una limitación de la explotación o incluso a un vaciado parcial, para restituir la funcionalidad de la presa. En caso de presas en construcción estos fallos obligan a paralizar la obra y reconsiderar el proyecto

1.9.1.4 Rebase de la cortina:

Cuando la cota del agua embalsada supera la cota de la corona, se vierte sobre ésta provocando la erosión del talud aguas abajo del terraplén y el fallo inmediato de la estructura, ya que sus materiales no están preparados para funcionar como obra de alivio.

1.9.1.5 Falla por sifonamiento:

Al producirse el flujo de filtración a través del terraplén y el cimiento, el agua ejerce una fuerza de arrastre sobre las partículas. En el interior de un suelo uniforme, cada partícula es retenida en su sitio por la coacción de las que la rodean. Si el gradiente es elevado, podría erosionarse; tal razón, los fragmentos ubicados detrás están ahora en roce con el afuera, y podría ser a su vez arrastrados, lo que conduce a una falla que avanza de tubificación en aguas arriba, generándose oquedades y cavernas conduciendo a una falla.

1.9.1.6 Falla por agrietamiento:

El agrietamiento de la cortina se origina cuando las deformaciones excesivas, por establecimiento diferente en el suelo, originan zonas de tracciones que no resiste el suelo, sea por deformidad del cuerpo de la estructura.

1.9.1.7 Pérdida de estabilidad del talud:

Un deslizamiento de talud no es más que un corrimiento de tierra sobre un espacio de falla en donde la resistencia cortante resulta inferior a los esfuerzos originados por acción de la gravedad sobre la masa de suelo.

- Falla en el proceso construcción
- Falla en la operación
- Falla por colapso rápido

1.9.1.8 Falla por sismos

De acuerdo a las recomendaciones de la Comisión Internacional de Grandes Presas (ICOLD, por sus siglas en inglés), el efecto de los sismos logran ser verificadas en dos espacios: el movimiento de operación normal y el movimiento de seguridad.

1.9.1.9 Falla por licuación

Este fenómeno ocurre bajo la combinación de tres requisitos; presencia de un suelo licuable. (M. S. Molina [et al.](#), 2016)

1.9.1.10 Filtración

Para conceptualizar la red de flujo que esta basado en la ecuación de Laplace, viene regido por la condicionantes en flujos constantes. En esta investigación se tiene por objetivo la deducción de la ecuación de Laplace y su aplicación en la elaboración de redes de flujo. (“Determinación del caudal de infiltración en la cimentación de la presa Camilaca en el distrito de Camilaca, provincia de Candarave, región Tacna, [2019](#)”, 2020)

Estudiando la filtración será necesario saber las permeabilidades que tienen los materiales. El cimiento y su permeabilidad, donde se va construir presa, se asumieron teniendo en cuenta los resultados de la prueba de Lugeon y Lefranc de perforaciones realizadas hechas en la presa. ([Lapa](#), 2015)

El objetivo primordial de una presa de tierra es brindar la seguridad de retención y almacenamiento de agua; para varios usos tales como irrigación, agua potable, hidroeléctricas entre otros, como consecuencia todas las presas deben representar una solución específica de diseño a las circunstancias de sitio. (Tin[copa](#), 2014)

Filtraciones mediante el cuerpo de presa

“Estudio hidráulico y de estabilidad de una presa de materiales sueltos sobre el río Callazas en la región de Tacna” (n.d.), describe que teniendo en cuenta la clase de estructura y la zona central del núcleo pertenece a la presa compuesta por materiales térreos, que muestra oposición a la pérdida de agua. Aunque, la variedad de suelos varía dependiendo de la permeabilidad que lo compone, como en las arcillas que son más comprimidas y por lo general son más porosas, aunque algunas veces es imposible evitar que el agua fluya mediante ellas.

Filtraciones bajo la presa

“Estudio hidráulico y de estabilidad de una presa de materiales sueltos sobre el río Callazas

en la región de Tacna” (n.d.), Para medir las filtraciones será necesario tener en cuenta el factor de permeabilidad (k), y que está en función a los componentes que forman parte del suelo en la cimentación. Para hallar el factor de permeabilidad k, se podrían tomar en cuenta múltiples. Obtenido el factor de permeabilidad, se determina el agua filtrada con la Ecuación de Darcy:

$$Q = k \cdot i \cdot A \quad \text{Ec. (1.18)}$$

Donde:

Q = caudal

K = factor de permeabilidad.

I= gradiente hidráulico (h/L)

A = es el área de la estructura a través de la cual scircula el flujo.

“Estudio hidráulico y de estabilidad de una presa de materiales sueltos sobre el río Callazas en la región de Tacna” (n.d.), menciona que Los resultados usando la ecuación anterior, tendrá que hacer uso de métodos más efectivos en el desarrollo de elementos finitos. Con más razón cuando tienen variedad de estratos, algo que suele pasar es que la permeabilidad vertical suele ser menor a la horizontal.

Infiltración

Existen 2 principales clases de en el estudio de la infiltración, en este caso son el flujo estacionario y transitorio.

Se explica en Collado (2015), cuando se estudia el flujo permanente no considera el factor tiempo. En el estudio de las propiedades se hacen caso omiso al tiempo y al contenido del volumen del agua. Esto no significa ser útil en la solución. El volumen de agua se usa para equilibrar las pérdidas o ganancias en caso haya variación en las presiones. El estudio en flujo no permanente cuyo significado manifiesta variación. Un ejemplo de este estudio se pronostica el lapso que tarda un cuerpo de presa en humedecerse en momento que el reservorio se llene de manera rápida. En el estudio impermanente se conoce las condiciones de inicio y las características que definen el cambio de las mencionadas.

Redes de circulación o flujo

Collado (2015), es una de las metodologías que se suelen ser usados en la solución a diversas dificultades relacionadas a la parte hidráulica en relación a las pérdidas de agua

en presas y daños que suelen tener las obras hidráulicas. Es un método con diseño que tiene la opción de solucionar daños de filtración solucionando en manera simple la ecuación de Laplace.

1.10 Ecuación de continuidad de Laplace

La ecuación de Laplace es la primera de las ecuaciones diferenciales en derivadas parciales que dirigen 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 sumideros. (Ortiz, Alhama [et al.](#), 2014)

En un espacio poroso homogéneo y de característica isotrópica, cuyo régimen suele ser estacionario. El fluido suele ser no compresible, no hay firmeza en el terreno y eso hace que se dé la Ley de Darcy. (Navarro [et al.](#), 2020)

La problemática del flujo de agua que ocurre en filtraciones de presa de tierra, están descritas bajo condicionantes por la ecuación de continuidad de Laplace.

1.10.1 Ecuación de infiltración en 2D

Tal razón hace que el flujo de agua subterránea se calcule generalmente por el uso de gráficos que se refieren como redes de flujo. La red de flujo se basa en la ecuación de continuidad de Laplace, que gobierna la condición de flujo constante para un punto dado en la masa de suelo.

Para deducir la ecuación diferencial de continuidad de Laplace, tengamos en cuenta una sola fila de pilotes colocados en un suelo permeable, como se observa en la [figura 1.20](#). Se supondrá que los pilotes son impermeables. Para el flujo en A, se va considerar un bloque de suelo. El bloque tiene medidas de ∂x , ∂y , ∂z (la longitud ∂y es perpendicular al papel); mostrando en escala ampliada la [figura 1.21](#). Siendo v_x y v_z siendo componentes de la velocidad en dirección vertical y horizontal. Siendo el caudal de agua en la dirección horizontal es igual $v_x \partial z \partial y$, y en dirección vertical es $v_z \partial x \partial y$. Los tipos de flujo de salida en direcciones horizontal y vertical son:

$$\left(v_x + \frac{\partial v_x}{\partial x} \cdot \partial x \right) \partial z \partial y$$

y

$$\left(v_z + \frac{\partial v_z}{\partial z} \cdot \partial z \right) \partial x \partial y$$

El modelo que sera analizado en la presa de material térreo tendrá una aproximación en dos dimensiones, ya que la circulación del agua a lo largo de la presa es bastante mínima a comparación del flujo en la sección transversal. Entonces se obtiene:

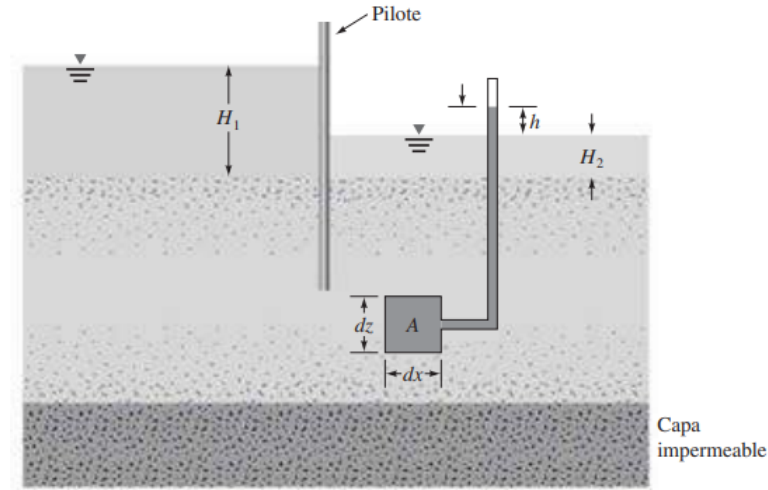


FIGURA 1.20 Pilotes puestos en una zona impermeable

Fuente: Adaptado de Das (2015)

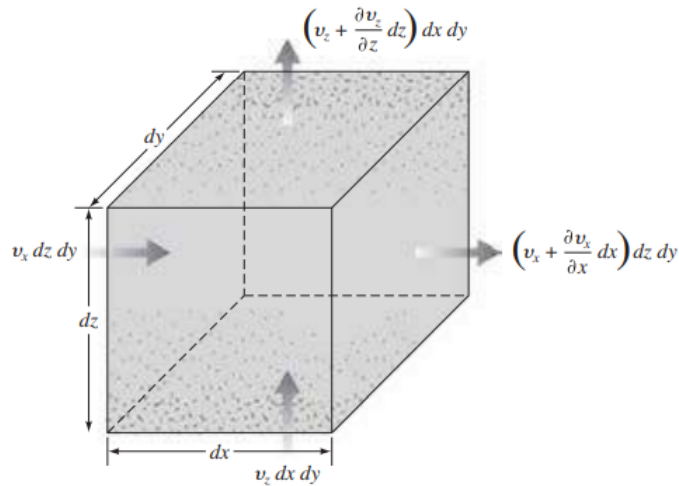


FIGURA 1.21 Flujo en A

Fuente: Adaptado de Das (2015)

$$Q_{entrada} = Q_{salida}$$

$$\left[\left(v_x + \frac{\partial v_x}{\partial x} \cdot dx \right) dz dy + \left(v_y + \frac{\partial v_y}{\partial y} \cdot dy \right) dz dx + \left(v_z + \frac{\partial v_z}{\partial z} \cdot dz \right) dx dy \right] - [v_x dy dz + v_y dx dz + v_z dx dy] = 0$$

o

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0 \quad Ec. (1.19)$$

En base a la ley de Darcy, se generan las siguientes velocidades:

$$v_x = k_x i_x = k_x \left(-\frac{\partial h}{\partial x} \right) \quad \text{Ec. (1.20)}$$

,

$$v_{xy} = k_y i_y = k_y \left(-\frac{\partial h}{\partial x} \right) \quad \text{Ec. (1.21)}$$

y

$$v_z = k_z i_z = k_z \left(-\frac{\partial h}{\partial z} \right) \quad \text{Ec. (1.22)}$$

Siendo k_x , k_y y k_z que vienen a ser las permeabilidades sentido horizontal y vertical.

Entonces Ec.(1.19), Ec.(1.20), Ec.(1.21) y Ec.(1.22) podemos escribir

$$k_x \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + k_y \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + k_z \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0 \quad \text{Ec. (1.23)}$$

La ecuación principal se usa para el análisis del flujo de dos dimensiones; también, en el caso que el suelo tenga carácter isotrópico en relación a la permeabilidad, entonces $k_x = k_y$, entonces se podría reducir a partir de la ecuación de continuidad a:

$$k \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + k \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = 0; \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = \nabla^2 h = 0 \quad \text{Ec. (1.24)}$$

La ecuación anterior es conocido como la solución de Laplace y cuyo resultado obtenido esta conformados en 2 grupos familiares. La ecuación de Laplace, tiene sobre el comportamiento del flujo, representando la condición peculiar donde el suelo tiene carácter isotrópico con relación a la permeabilidad. (Juárez & Rico, 1973)

$$\partial q = \frac{\partial V}{\partial t} = vA = k_x \frac{\partial h}{\partial x} \partial y \partial z + k_y \frac{\partial h}{\partial y} \partial x \partial z + k_z \frac{\partial h}{\partial z} \partial x \partial y$$

En caso que el suelo sea de carácter isótropico en relación con la permeabilidad

$$\partial q = k \left(\frac{\partial h}{\partial x} \partial y \partial z + \frac{\partial h}{\partial y} \partial x \partial z + \frac{\partial h}{\partial z} \partial x \partial y \right)$$

En el flujo bidimensional

$$\partial q = k \left(\frac{\partial h}{\partial x} \partial y + \frac{\partial h}{\partial y} \partial x \right)$$

1.10.2 Método de Elementos Finitos

El Método de los Elementos Finitos ha demostrado las amplias posibilidades que posee como herramienta para la solución de problemas de ingeniería y para el análisis de problemas de investigación. Como resultado de ello su empleo tiene una gran difusión en la comunidad de ingenieros, tanto en centros de estudio como en centros de investigación y en empresas de producción. (Pereiro, 2006)

Los elementos finitos son un métodos matemáticos que se puede utilizar para obtener soluciones una gran clase de problemas de ingeniería que involucran análisis de tensión, transferencia de calor, electromagnetismo y flujo de fluidos. (Bansal et al., 2013)

El método de elementos finitos, por tanto, se basa en transformar un cuerpo de naturaleza continua en un modelos discreto aproximado, esta transformación se denomina discretización del modelo. El conocimiento de lo que sucede en el interior de este modelo del cuerpo aproximado, se obtiene mediante la interpolación de los valores conocidos en los nodos. Es por tanto una aproximación de los valores de una función a partir del conocimiento de un número determinado y finito de puntos. (Frias, 2004)

Bathel y Khoshgoftaar (1979)

Los Elementos Finitos son métodos numéricos de solución a problemas de ingeniería que son de mucha importancia. Viene a ser un instrumento de cálculo muy eficiente que facilita en resolver diversos tipos de problemas. Aunque, es un método que no brinda una solución precisa al problema, sin embargo, en verdad, brinda una respuesta aproximada. Viene a ser un método basado en las mallas (no específicamente rectangular).

La ecuación principal del flujo en dos dimensiones y anisótropo:

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

Se plantea la ecuación funcional en:

$$I = \frac{1}{2} \iint_{Area} \left[k_x \left(\frac{\partial h}{\partial x} \right)^2 + k_y \left(\frac{\partial h}{\partial y} \right)^2 \right] dy dx$$

Cuando esté en función de h que cumple con las condiciones de borde y minimiza la funcional cuando plantea una solución entonces es equivalente a una solución precisa en la fórmula de Laplace. (Armas & Álvarez, 1867)

Minimizar implica plantear: $\partial I / \partial h = 0$

Solución del método de elementos finitos:

Se debe discretizar, dividir o seccionar el área de flujo en pequeñas áreas geométricas definidas. La ecuación formula de manera matricial al idear una interpolación, dentro las pequeños espacios, de la variable h dependiendo de h_n en los puntos o nudos del área, la quedaría así:

$$[k_e]h_n$$

Donde:

$$[k_e] = \frac{1}{2} \iint_{Area} [B]^T [R] [B] dArea$$

$$h_n = \text{Lista de cargas nodales}$$

Las áreas se denominan elementos finitos, pueden ser triangulares o cuadriláteros de varios nodos, el numero de nodos en el elemento es debido a la función de interpolación (la solución es mas precisa mientras mas nodos tenga el elemento) y por tanta la matriz dada por la ecuación dependerá de la discretización de los elementos.

Al ensamblar la matriz de rigidez $[k_e]$ de cada elemento en una matriz $[k]$ de todo el sistema se puede resolver y obtener las cargas para cada uno de los elementos, ya que se podría plantear el sistema:

$$[k]H = 0$$

Donde:

$$[k] = \sum [k_e]$$

H: Vector de todos los nodos del problema en los que se incluye aquellos con carga conocida. Los sistemas formados son demasiado grandes para solucionar manualmente, por lo tanto requiere de uso de computadores que automáticamente realizan:

1. Construyen la matriz de rigidez de cada elemento $[k_e]$
2. Utilizan la posición de cada nudo y ensambla la matriz $[k]$
3. Plantean la solución del sistema $[k]H = 0$

De la siguiente manera:

$$\begin{bmatrix} k_d & k^T \\ K^{*T} & K_C \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} H_d \\ H_c \end{Bmatrix} = 0$$

Entonces:

$$[Kd]Hd = -[k^*]Hc$$

Es resultado de las cargas es h en el problema. tal razón se calcula en cualquier nodo y también el caudal en la sección deseada. Los elementos finitos tienen diversas ventajas en las diferencias finitas sobre los problemas de infiltración. Las ventajas son:

- Estudio más sencillo en las secciones geométricas.
- Modelado a precisión.
- Modelamiento en el suelo con sus capas.

1.10.3 Software Slide

Slide es un software de análisis de infiltración en presas de todo tipo de material, también permite el estudio de la estabilidad en los taludes, usando diversos métodos de equilibrio límite. Su ámbito de aplicación en minería y obra civil es muy variado, permitiendo evaluar un gran número de problemáticas geotécnicas, tales como estabilidad de terraplenes, presas, taludes en excavaciones mineras o en edificaciones, efectos de cargas externas, sísmicas, eficiencia de elementos de refuerzo, etc. Es un software potente y flexible desarrollado por Rocscience, empresa puntera a nivel mundial en modelización geotécnica. El programa Slide ha ido creciendo de manera continua al mismo ritmo que se expandía la capacidad de análisis geotécnico por ordenador en los últimos años. Este continuo esfuerzo en investigación y actualización, y la solvencia que proporciona su trayectoria, lo convierten en un software de referencia. Prueba de ello es el hecho de ser uno de los programas más reconocidos y utilizados que existen en el mercado.

Hoy en día existe una creciente variedad de software de modelización geotécnica a nivel general, y también en relación a la estabilidad de taludes. Sin embargo, no todos los programas cuentan con la capacidad de cálculo y fiabilidad de Slide. Este programa destaca además, entre otros programas del mercado, por una interfaz clara y sencilla y por un manejo muy intuitivo de las diversas capacidades que ofrecen los menús de análisis.

Con un coste de licencia muy competitivo en relación a otros competidores en el mercado de su misma capacidad, y su amplia cobertura técnica de análisis, Slide se convierte en un software líder en el campo de la modelización geotécnica.

1.10.4 Software Geo5

GEO5 es un conjunto de software, que proveen soluciones para la mayoría de las tareas geotécnicas. Los diferentes programas tienen la misma interfaz de usuario y se comunican entre sí, siendo que cada uno de ellos verifica un tipo de estructura diferente. El programa GEO5 MEF - Flujo de Agua se utiliza para el análisis de flujo de agua transitorio o en estado estacionario (infiltración). Dadas las propiedades del material y las condiciones iniciales en los límites del modelo, el programa calcula la evolución y el estado estacionario de la distribución de la presión de poros, el grado de saturación en la zona no saturada, las velocidades de infiltración y el flujo de entrada/salida a través del modelo. La napa freática resultante puede importarse en el análisis de tensión-deformación estándar.

El módulo Flujo de Agua es una extensión del programa MEF que se utiliza para el análisis de problemas geotécnicos generales.(software, 2021)

1.10.5 Modelación matemática

La modelización matemática ha sido utilizada por los que denominamos convencionalmente matemáticos aplicados como un proceso dinámico que les ayuda a entender cierto problema o alguna situación de interés en Física, Química, Biología, etc. El uso de este método de Educación Matemática debe seguir una secuencia de etapas bien definidas, inicialmente, ha de quedar perfectamente claro la dinámica del proceso, lo que puede hacerse con ejemplo bien escogido y que proporcione una visión panorámica del programa que ha desarrollado. La mayoría de autores cuando se refieren a la modelización matemática hacen como el proceso que utiliza conceptos y técnicas, esencialmente matemáticas, para el análisis de situaciones reales. En cambio, son raros los casos en que se emplea tal proceso para el propio estudio de las matemáticas.(Bassanezi & Biembengut, 1997)

1.10.5.1 Análisis numérico

El análisis numérico es una vía de solución alterna que permite conectar la teoría y la práctica al nivel que se quiera de medición y cálculo pero en una forma diferente a como normalmente se enseña la operación analítica de los conceptos(Delgado, n.d.). Los métodos numéricos son técnicas a través del cual formulan problemas matemáticos, tal razón se puede resolver mediante ecuaciones aritméticas. (C. et al., 2007)

1.10.5.2 Simulación computacional

La Simulación es la imitación del funcionamiento de un sistema real durante un intervalo de tiempo. Esta simulación puede realizarse ya sea de forma manual o computacional. La simulación se basa en un modelo de la realidad que cuenta una historia y al observar el comportamiento de esta, nos permite obtener conocimiento acerca del sistema real. El comportamiento de la simulación está determinado por el modelo de simulación o conjunto de supuestos concernientes al Sistema real, estos supuestos se expresan a través de relaciones lógicas y Matemáticas entre las entidades.

1.10.5.3 Diferencias finitas

Este método viene a ser la aproximación a las derivadas parciales por las propiedades algebraicas que la componen. (Hernández, 2010)

1.10.5.4 Métodos numéricos y herramientas computacionales

Todo algoritmo tiene relación con las operaciones lógicas, sean aritméticas y diversas graficaciones. La relación computadora-lenguaje, ha sido usado en muchos años para la educación y el formación en los métodos numéricos. Ciertamente que la fórmula fue exitosa y sigue vigente, también los paquetes comerciales como Mathcad, Maple, Matlab (por citar algunos de los más conocidos) permiten mas cercanía a los métodos numéricos. (Dominguez & Nieves, 2014)

1.10.5.5 Método de los elementos finitos

El Método de los Elementos Finitos ha demostrado las amplias posibilidades que posee como herramienta para la solución de problemas de ingeniería y para el análisis de problemas de investigación. Como resultado de ello su empleo tiene una gran difusión en la comunidad de ingenieros, tanto en centros de estudio como en centros de investigación y en empresas de producción. (Pereira, 2006) El método de elementos finitos, por tanto, se basa en transformar un cuerpo de naturaleza continua en un modelos discreto aproximado, esta transformación se denomina discretización del modelo. El conocimiento de lo que sucede en el interior de este modelo del cuerpo aproximado, se obtiene mediante la interpolación de los valores conocidos en los nodos. Es por tanto una aproximación de los valores de una función a partir del conocimiento de un número determinado y finito de puntos. (Frias, 2004)

1.11 Definición de términos

1.11.1 Geotécnia

Parte de la geología aplicada que estudia la composición y propiedades de la zona más superficial de la corteza terrestre, para el asiento de todo tipo de construcciones y obras públicas.

1.11.2 Geología

La Geología es la ciencia que estudia la composición, estructura, dinámica e historia de la Tierra, incluyendo sus recursos naturales (energía, minerales, agua, etc.), así como los procesos que repercuten en su superficie y, por tanto, en el medio ambiente.

1.11.3 Represa

En ingeniería se denomina presa o represa a una barrera fabricada de piedra, hormigón o materiales sueltos, que se construye habitualmente en una cerrada o desfiladero sobre un río o arroyo.

1.11.4 Infiltración

La infiltración es el proceso por el cual el agua en la superficie de la tierra entra en el suelo. La tasa de infiltración, en la ciencia del suelo, es una medida de la tasa a la cual el suelo es capaz de absorber la precipitación o la irrigación.

1.11.4.1 Medio poroso

Son materiales heterogéneos (formados por elementos de diferente naturaleza) y multifásicos, donde una de las fases que compone al material es sólida.

1.11.5 Método de elementos finitos.

El método de los elementos finitos (MEF en castellano o FEM en inglés) es un método numérico general para la aproximación de soluciones de ecuaciones diferenciales parciales muy complejas utilizado en diversos problemas de ingeniería y física.

1.12 Hipótesis

1.12.1 Hipótesis general.

El fenómeno de la infiltración en presas de material suelto alcanza ser analizada numéricamente en el software Slide.

1.12.2 Hipótesis específicas.

- Los estudios de campo permiten la deducción concreta y eficaz de los parámetros hidrogeológicos (porosidad, permeabilidad y transmisividad) en la represa Pallca ubicado en la región Ayacucho.
- Los resultados obtenidos del cálculo de la ecuación de Laplace en la represa pallca de material suelto, ubicado en la región Ayacucho permiten una óptima determinación del flujo de la infiltración .
- Se logra llevar a cabo la comparación entre los resultados obtenidos de los ensayos Lefranc y Lugeon ejecutados en la zona de estudio con el modelo numérico computacional diseñado en el software Slide.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1 Ubicación

2.1.1 Ubicación política

Región : Ayacucho

Provincia : Huamanga y Huanta

Distrito : Quinua y Huamanguilla

2.1.2 Ubicación geográfica

La zona de ubicación del proyecto sobre el río Palcca de acuerdo a la visita de campo, información cartográfica a escala 1:100.000 del IGN y la información topográfica. Las coordenadas en el sistema UTM.

Este : 594,437 m

Norte : 8561.434 m

Cota : 3750 m s. n.m

2.1.3 Ubicación de la presa

La presa **Palcca** se encuentra ubicada sobre el río del mismo nombre, en base a la información cartográfica se ubican en las siguientes coordenadas:

Norte: 8'562,542.57 m.

Este: 597,607.10 m.

Altitud: 4,000 m.s.n.m.

En este lugar se ha construido una presa, con el fin de regular el régimen hídrico de este río, pero que a la fecha se encuentra inconclusa. Se verificó las condiciones de su colocación, su ubicación cumple con:

- Capacidad de almacenamiento adecuado.
- Ubicación en el punto del cauce para una mínima longitud de la presa.
- Disposición de materiales de construcción.

- Reducción de impacto ambiental.

Teniendo en cuenta aspectos anteriores, la presa cumple estos criterios generales. En la actualidad la presa tiene construida una altura de 18m, tal como se aprecia en las fotografías 2.1 y 2.2 .



FIGURA 2.1 Imagen satelital de la ubicación de la presa.

Fuente: Elaboración propia



FIGURA 2.2 Vista panorámica de la presa con el dique actual.

Fuente: Elaboración propia

2.1.4 Ubicación hidrográfica

Hidrográficamente se ubica en la región del Amazonas, parte Baja del río Mantaro, perteneciente a la unidad hidrográfica de la sub - cuenca del río Huarpa,

2.1.5 Ubicación administrativa

El proyecto se encuentra dentro de la jurisdicción de la Autoridad Administrativa del Agua - Mantaro, y la Autoridad Local del Agua en Ayacucho, Ver figura 2.3

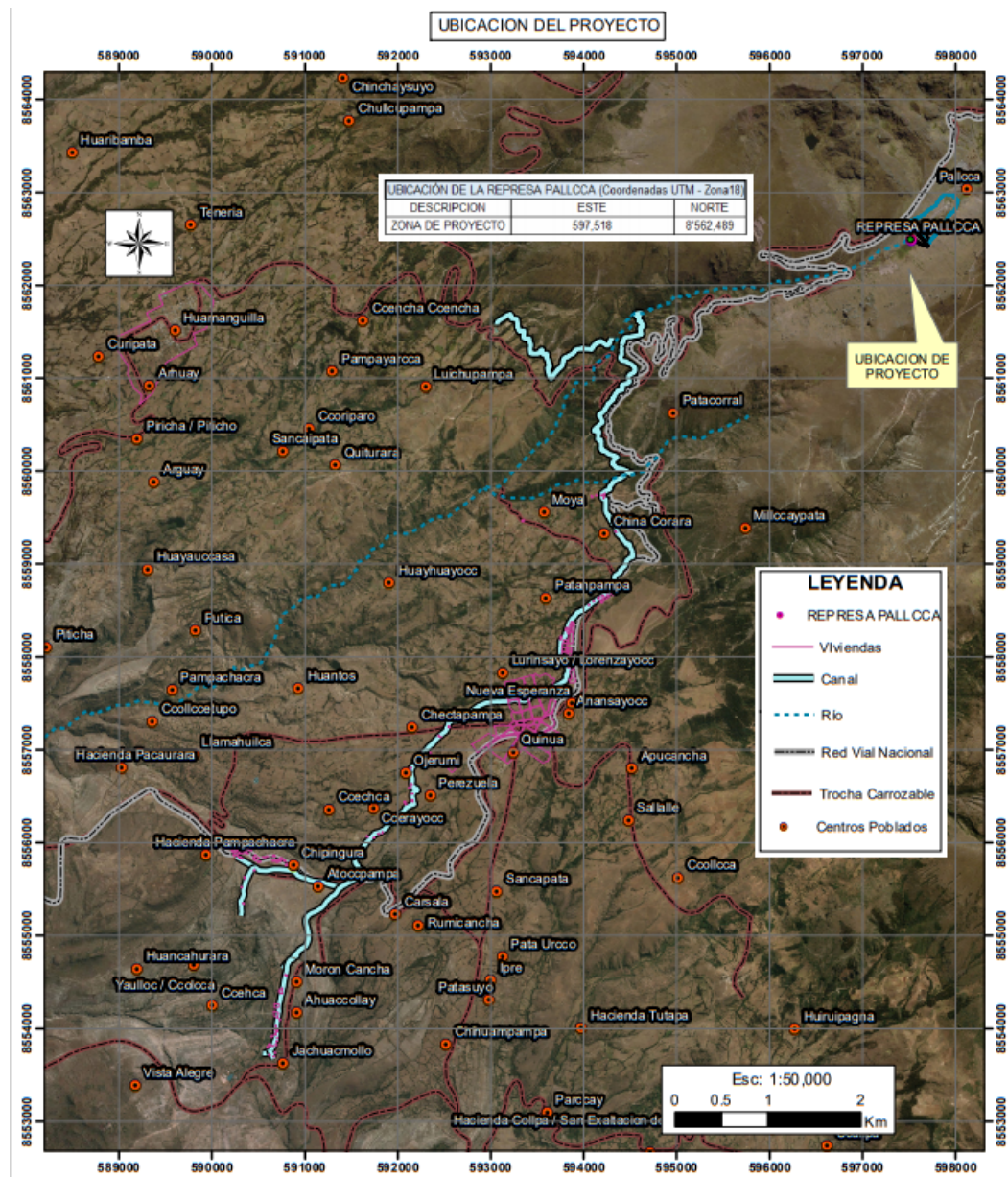


FIGURA 2.3 Ubicación del proyecto.

Fuente: Elaboración propia

2.1.6 Accesos y vías de conexión

Hacia la zona del proyecto se tiene acceso directo desde el departamento de Lima: La principal vía de acceso la que cuenta el área de influencia del proyecto en la siguiente [figura 2.4](#), [2.5](#) y [2.6](#):

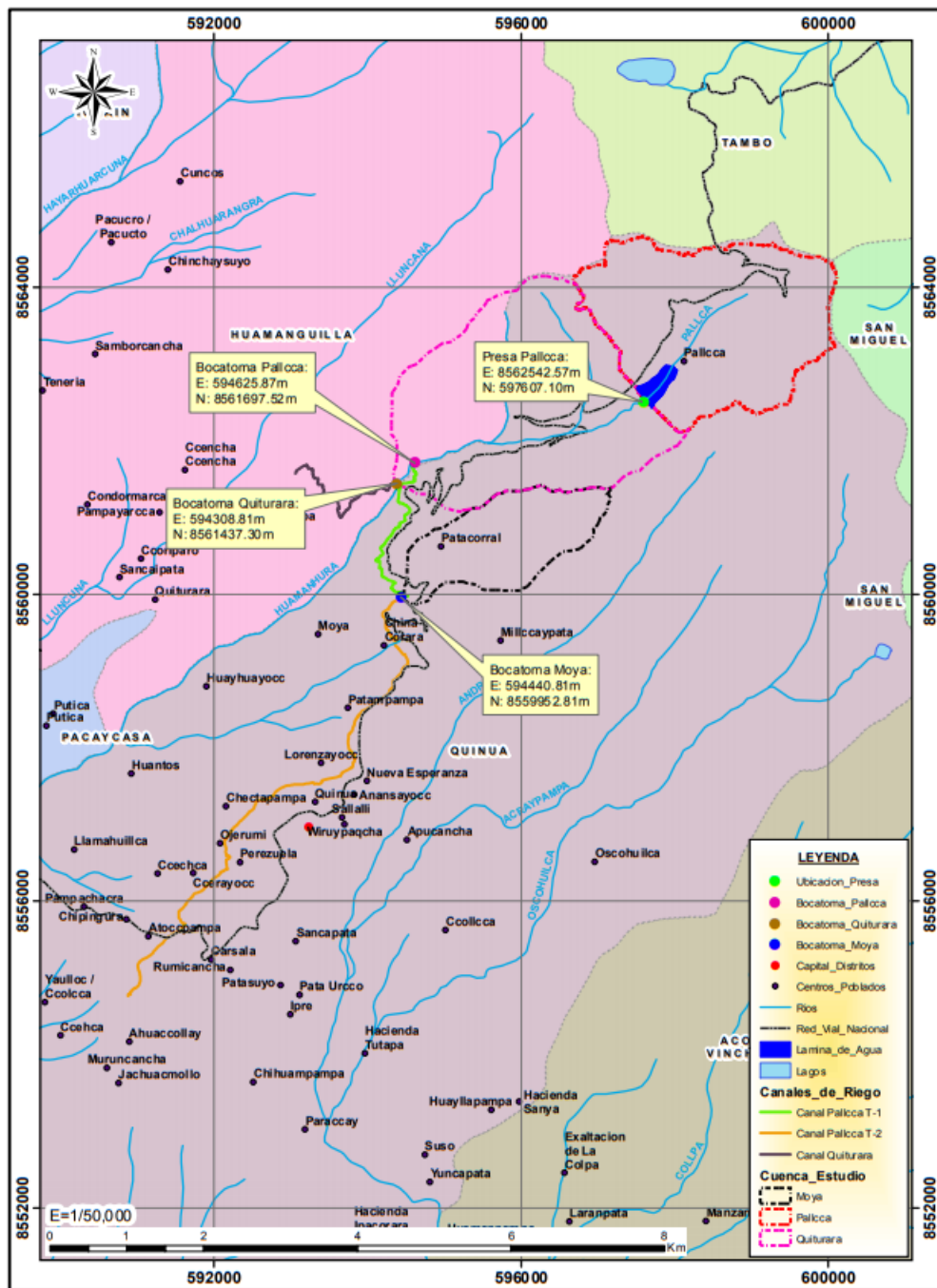


FIGURA 2.4 Cuenca de estudio
Fuente: Elaboración propia

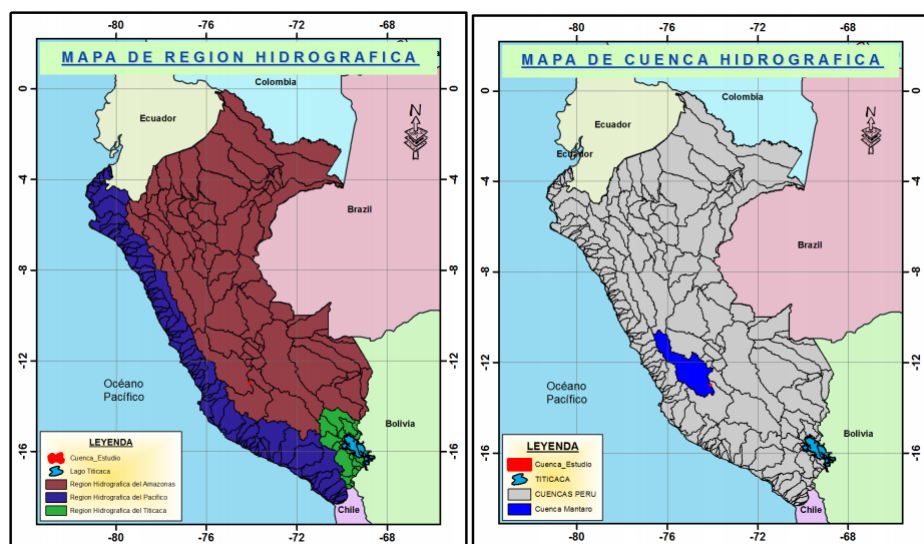


FIGURA 2.5 Mapa de ubicación hidrográfica.
Fuente: Elaboración propia

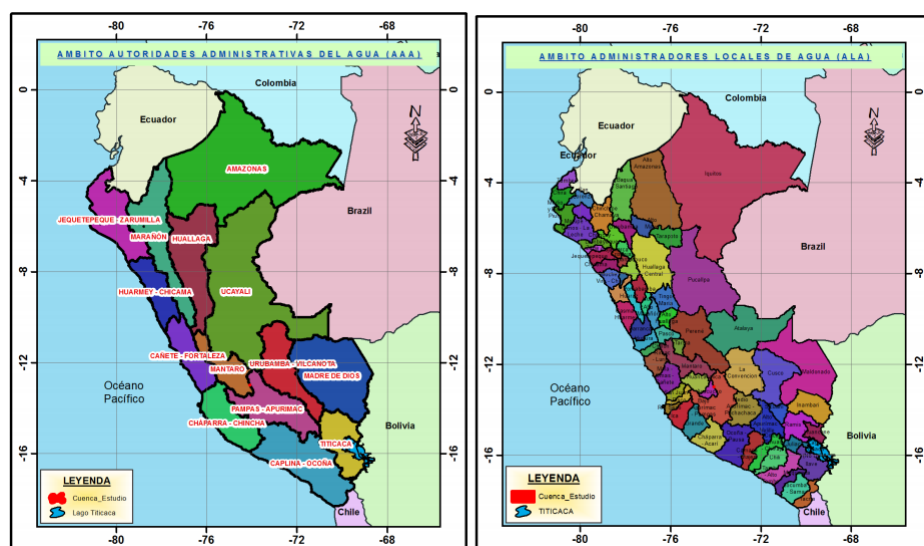


FIGURA 2.6 Mapa de ubicación administrativa.
Fuente: Elaboración propia

2.1.7 Aspectos climáticos

La Represa Palcca, se halla en un relieve moderadamente accidentado, propio de la cordillera andina, en el límite de la región Jalca y Puna. La principal depresión corresponde al valle del río Palcca, los canales se hallan aguas abajo del valle principal y el canal Lluncuna en la quebrada del mismo nombre. Los cerros más importantes en el área de presa corresponden a: Condorcunca, Apacheta y Rumihuasi, entre otros.

2.1.8 Geomorfología regional

La presa de Palcca se encuentra con latitudes de 3905 a 4050 msnm y se caracteriza por presentar una superficie de cotas altas, disectada por el río Palcca en dirección Sur-Oeste,

el río Palcca el que tiene la escorrentía superficial principal y permanentemente. Por su posición altimétrica este río actúa como dren principal y controla el gradiente hidráulico. Esta unidad geomorfológica, está constituida principalmente por depósitos volcánicos de la formación Grupo Mitu (Ps-m), se puede observar el afloramiento brecha basáltica con una superficie rojiza por la meteorización química que se produce por las precipitaciones de la zona y la cantidad de hierro que presentan los basaltos como matriz de soporte. En nuestra zona de estudio los valles son en forma de “U”, morfológicamente sus laderas son simétricas con pendientes, el fondo de los valles superficialmente se encuentra constituido por depósitos fluviales, aluviales, coluviales con altas cantidades de material biogénico originado por el hombre (deposición antropógena). El vaso se extiende hasta 2 Km en dirección Norte, constituidos por material fluvial con clastos y bloques sub-redondeados a sub-angulosos de dimensiones de 10 cm a 50 cm, material aluvial con dimensiones de 30 a 80 cm sub-redondeados a sub-angulosos de coloración gris a rojiza por la meteorización química producto de las precipitaciones y el contenido de ferromagnesianos en las rocas, material coluvial sub-redondeado de dimensiones de 1.50 m a 5.00 m de coloración de rojiza.

2.1.9 Geología local

La presa Palcca presenta material cuaternario en toda la parte del vaso (mayor potencia, 2.00 a 5.00 m) y en los estribos (menor potencia 1.00 a 3.00 m). Debajo del material cuaternario se presenta el macizo rocoso del Grupo Mitu (Ps-m) que están constituidas por rocas ígneas-volcánicas conformada por brecha basáltica y basalto, la presa de tierra tiene como finalidad abastecer de agua a los pobladores que se encuentran en la cercanía del proyecto. El área de estudio presenta diversidad de relieves, en su mayor parte muy escabrosos, a excepción del Sur donde el relieve se presenta más suave. En la zona de estudio en el valle del eje de la presa se presentan depósitos cuaternarios del tipo antropógeno, fluvial, aluvial, deluvial y coluvial, a los costados del estribo derecho e izquierdo se puede observar pie de monte producto de la erosión de los afloramientos de roca que limita los 2 estribos. En zonas cercanas al río se pueden observar bloques caídos, bolonería, cantos rodados, grava y arena. Los depósitos clásticos poseen clastos de origen volcánico de diferentes tipos (polimícticos), sus coloraciones van de gris a rojizo por la cantidad de óxidos que presenta, estos óxidos son producto de la cantidad de hierro que posee la roca (clastos), las dimensiones van de 0.10 a 1.00 m de diámetro. El depósito

coluvial es de coloración gris a rojizo y estas van desde 1.5 a 7.00 m de diámetro.

2.1.9.1 Zona de almacenamiento (dique, eje de la presa)

En la zona de almacenamiento podemos observar depósitos antropogénicos, fluviales, aluviales, deluviales y coluviales de coloración gris a rojizo por la cantidad de ferromagnesiano que tienen los clastos (compuesto por roca ígnea-volcánica), envueltas por material biológico. Está situado entre los afloramientos de composición basáltica los cuales están meteorizados (meteorización química) su coloración es de gris a rojizo por la composición de los basaltos (predominan ferromagnesianos), también se pudo observar que hay erosión por el material llamado pie de monte que está en los bordes del afloramiento. Las fallas son de tipo normal y algunas más pronunciadas son 7 de acuerdo a las pocas perforaciones que se ejecutaron el presente año más la geofísica, las fallas que se encuentran cercanas al estribo derecho posee un buzamiento de 35° y una dirección de buzamiento de 210°, las fallas que se encuentran cercanas al estribo izquierdo poseen un buzamiento aproximadamente de 70° con una dirección de buzamiento de 330° y por ultimo las fallas que se encuentran al centro del eje del plinto o al centro del dique de la presa tienen un buzamiento de 35° con 045° de dirección de buzamiento y otra falla que también se presenta es de 70° de buzamiento con 270° de dirección de buzamiento aproximadamente.

2.1.7.1.1 Roca volcánica del terciario(Paleógeno - Neógeno)

Grupo Mitu (Ps-m)

Esta unidad litológica está constituida por depósitos volcánicos de la formación Grupo Mitu (Ps-m), se observa afloramientos de brecha basáltica color gris rojizo oscuro, con una superficie rojiza, estas se presentan moderadamente fracturada a fracturada, este material es un macizo rocoso moderadamente alterado a altamente alterado, este macizo rocoso como está cercano a la superficie se presenta en un medio saturado a húmedo. Esta roca debe su coloración a su matriz que soporta los fragmentos de roca o a los clastos angulosos a subangulosos, esta matriz presenta abundante concentración de ferromagnesianos (abundante hierro) y minerales oscuros, debido a ello esta roca también posee una alta dureza.

2.1.7.1.2 Depósitos del cuaternario

Depósito coluvial (Qh-cl)

Conformado por bloques caídos in-situ de 1.00 a 7.00 m de diámetro compuesto por rocas ígneas-volcánicas polimícticas (andesita, basalto, brechas basálticas, etc). Este depósito no ha sufrido mayor transporte, también está conformado por grava angulosa envueltos por una posible matriz de arena con limo. Estos materiales principalmente ocupan la parte de la ladera de los cerros. Los agentes formadores característicos del depósito son; intemperismo, gravedad, movimientos telúricos, descenso de rocas, derrumbe sin o con agua, desequilibrio en los taludes.

Depósito fluvio-aluvial (Qh-fl-al-1)

Este material es la transición de dos tipos de depósitos clásticos, en este caso el fluvial y el aluvial. Este depósito posee el código “*fl – al – 1*” debido a que es el más antiguo en su categoría y está conformado por bolonería, cantos rodados, grava, arena, y posiblemente limo. Este depósito presenta coloraciones de gris a rojizo debido a la concentración de ferromagnesianos, minerales rojizos y oscuros que poseen los clastos de origen volcánico y sedimentario que fueron transportados por el flujo del río. EL agente formador del depósito fluvial y aluvial son las corrientes de agua de río principal, donde los materiales que se encuentran en la zona de estudio fueron transportados desde grandes distancias y fueron depositados en forma de terrazas, abanicos aluviales extensos.

Depósito fluvio-aluvial (Qh-fl-al-2)

Este material es la transición de dos tipos de depósitos clásticos, en este caso el fluvial y el aluvial. Este depósito posee el código “*fl – al – 2*” debido a que es el más reciente en su categoría y está conformado por bolonería, cantos rodados, grava, arena, y posiblemente limo. Este depósito presenta coloraciones de gris a rojizo debido a la concentración de ferromagnesianos, minerales rojizos y oscuros que poseen los clastos de origen volcánico y sedimentario que fueron transportados por el flujo del río. EL agente formador del depósito fluvial y aluvial son las corrientes de agua de río principal, donde los materiales que se encuentran en la zona de estudio fueron transportados desde grandes distancias y fueron depositados en forma de terrazas, abanicos aluviales extensos.

Depósito fluvial (Qh-fl)

Está conformado por bolonería, cantos rodados, grava, arena. Este depósito presenta coloraciones grises, sus clastos son de origen volcánico y sedimentario que fueron transportados por el flujo del río. EL agente formador del depósito fluvial son las corrientes de agua del río principal, pero con menor intensidad que las aguas de río que

provoca el depósito aluvial.

Depósito antropógeno (Qh-an-1)

Material originado por el hombre de color gris pardo oscuro, este depósito posee el código “*Qh – an – 1*” debido a que es el antiguo en su categoría y está compuesto por grava subredondeada (1”-3” de diámetro) soportado con arena de grano medio a grueso con limo y arcilla.

Depósito antropógeno (Qh-an-2)

Material originado por el hombre de color gris pardo oscuro, este depósito posee el código “*Qh – an – 2*” debido a que es el intermedio en su categoría y está compuesto por grava subangulosa (2”- 5” de diámetro) soportado con arena de grano medio a grueso con limo y arcilla.

Depósito antropógeno (Qh-an-3)

Material originado por el hombre de color gris rojizo oscuro, este depósito posee el código “*Qh – an – 3*” debido a que es el reciente en su categoría y está compuesto por grava subangulosa (2”- 8” de diámetro) soportado con arena de grano medio a grueso con limo y arcilla.

2.1.9.2 Vaso de la presa

Diferentes lugares del área de embalse, existen afloramientos de agua en forma de manantiales, que en su mayoría se estima son permanentes, las aguas que surgen por estos manantiales es el resultado de la infiltración de las aguas de lluvia a través de las fracturas. El basamento del vaso de la represa Palcca está constituidos por depósitos cuaternarios, superficialmente están cubiertos por un relleno fluvial, aluvial, coluvial conformado por bloques caídos, bolonería, cantos rodados, gravas, arenas y escaso limo, calificadas como muy sueltas. La estratigrafía de los flancos en la zona derecha e izquierda, están constituidos por depósitos aluviales por clastos subredondeados con una matriz limosa y tienen ligera inclinación llamada imbricación que nos muestra la dirección del curso fluvial que toma el agua. Cabe mencionar que los flancos superficialmente están cubiertos por depósitos fluviales, aluviales y coluviales, provenientes de las precipitaciones fluviales y por efecto de la gravedad. El mapeo estructural en superficie que se realizó en campo (imagen satelital) también se logra identificar “falla tipo inversa” esto por presencia en los pliegues con sentido NW-SE, los cuales fueron determinadas a partir de la toma de

datos de los afloramientos de roca. Pero en superficie se pudieron ubicar 6 “fallas tipo normal” en los cuales predominan más, donde su rumbo se aproxima al rumbo del eje del dique de la presa, ver figuras 2.7, 2.8 y 2.9.



FIGURA 2.7 Vista del depósito fluvio-aluvial (Qh-fl-al) en el ancho del río.
Fuente: Elaboración propia



FIGURA 2.8 Vista del vaso margen izquierdo (aguas abajo), afloramiento de macizo rocoso (roca ígnea-volcánica), se clasifica como roca buena tipo II.
Fuente: Elaboración propia



FIGURA 2.9 Vista del rumbo de las lineaciones (fallas tipo normales - líneas rojas).

Fuente: Elaboración propia

2.2 Materiales y equipos

La actual investigación fue desarrollado teniendo en cuenta los materiales, equipos y herramientas informáticas que fueron utilizados en la fase de campo y gabinete, que son útiles para los objetivos mencionados que se presentan a continuación.

2.2.1 Fase de gabinete

2.2.1.1 materiales de escritorio

- Laptop
- Impresora
- Celular digital
- Calculadora científica
- Libreta de campo
- Lapiceros
- Expediente técnico
- Informes

2.2.1.2 Herramientas informáticas

- Autocad civil 3d
- Software: SEEP/W del Geostudio
- Slide

- Hoja de cálculo Excel 2016
- Microsoft Word 2016
- TeXstudio
- Texmaker

2.2.2 Fase de campo

2.2.2.1 Materiales

- Flexómetro de 5m y 50m
- Yeso de 25kg, cordel y escuadras

2.2.2.2 Equipos topográficos

- Calculadora científica
- GPS

2.2.2.3 Equipos de perforación e inyección

- 02 perforadoras geotécnicas TP-50D
- 01 bomba con inyección en pistones
- 01 juego de equipos de ensayo lefranc y lugeon

2.3 Problemas específicos

La detección de posibles filtraciones de agua en el subsuelo es un tema de gran importancia en ingeniería, en especial cuando estamos estudiando estructuras como las presas de tierra o diques, en donde estas filtraciones pueden incluso provocar su colapso estructural. Además, la presencia de flujos de agua en el subsuelo, también puede inducir la aparición de fenómenos tales como los hundimientos del terreno, y por lo tanto dañar gravemente las infraestructuras superficiales existentes en la zona. Por esta razón, necesitamos de metodologías eficaces que nos permitan abordar este tipo de problemas, a fin de poder adoptar las medidas correctoras oportunas, y evitar sus consecuencias. (Ontiveros & Ponsanti, 2003)

Los problemas de infiltración ocurren en todas las presas, independientemente de sus materiales, y estas pueden causar erosión, tubificación, desprendimiento e inestabilidad. La infiltración en las presas generalmente está relacionada con la geología de la cimentación y la magnitud y variedad de discontinuidades en la roca perteneciente al área de emplazamiento de la presa. Otros se deben principalmente al material de construcción

como el caso de las presas de relleno de tierra. La presa Palcca actualmente se encuentra parcialmente construido hasta una altura de 17m como se puede ver en la Figura 1, quedando por construir 10m según el expediente técnico del proyecto aprobado. Está conformado por un terraplén de grava arcillosa – GC de dos capas, siendo la primera capa un material no seleccionado y con un grado de compactación por debajo de los valores requeridos, por lo tanto, no cumple con los requerimientos mínimos para ser un relleno controlado y utilizado en la de la ingeniería de presas.(T. H. Sánchez, 2020)

En consecuencia, el riesgo de falla por infiltración de la presa Palcca constituye uno de los problemas más peligrosos. Por lo tanto, la presa Palcca es una "presa deficiente" que no cumple con los estándares mínimos de seguridad y presenta un riesgo inaceptable. La rehabilitación de la presa Palcca, es decir, la reparación, reubicación, reconstrucción o remoción se debe hacer a partir de la evaluación y análisis minuciosa del estado actual de la presa; además de estudios exhaustivos como investigaciones geológicas, geotécnicas, hidrogeológicas, y geoambientales. De manera que los parámetros geomecánicos de diseño que repercuten en la seguridad de la presa y conocidos estudios que deben evaluarse a partir de pruebas en laboratorio, además se debe hacer una evaluación cuidadosa de una amplia gama de posibles alternativas estructurales y no estructurales para plantear la solución correcta.(Oldecop et al., 2008)

2.3.1 ¿Cómo se obtiene los parámetros hidrogeológicos (porosidad, permeabilidad y transmisividad) en la represa Palcca ubicado en la región Ayacucho?

Para la obtención de los parámetros hidrogeológicos se harán a partir de los ensayos en perforación diamantina realizados en campo. Estos son los llamados ensayos de permeabilidad Lugeon y Lefranc. A partir de los ensayos de Lugeon se obtendrán el factor de permeabilidad k , ya que de este ensayo se logra obtener dicho factor y de los ensayos de Lefranc se obtiene el factor de permeabilidad k y transmisividad.

Los trabajos de exploración geotécnica e hidrogeológica consisten de 09 perforaciones diamantinas; de las cuales solo se ejecutaron 06 perforaciones (SP-1, SP-2, SP-3, SDP-01, SDP-02 y SDP-03), en los que se realizaron las pruebas de tipo Lefranc y Lugeon en base o a las características del terreno atravesado. Estos ensayos se realizaron con el objetivo en determinar las propiedades físicas, mecánicas y elásticas del macizo rocoso, describir y clasificar el suelo e identificar la presencia del nivel freático y fallas geológicas. Estas actividades se desarrollaron en los meses de diciembre del 2020, y enero del 2021. Ello

se presenta en los reportes diarios de la exploración.

2.3.1.1 Alcance

Con la finalidad de cumplir con el objetivo del presente estudio se realizaron las siguientes actividades en campo y gabinete:

- Hasta enero del 2021 se ejecuta sondajes directos mediante perforación diamantina, haciendo un total de 121.70 m de perforación. Los cuales se distribuyeron de la siguiente manera:
 1. Sondaje SP-1, perforación vertical (-90°), hasta 01.20 m (Centro del eje del plinto).
 2. Sondaje SP-2 (L1-122), perforación vertical (-90°), hasta 03.60 m (Centro del eje del plinto).
 3. Sondaje SP-3 (L2-121), perforación vertical (-90°), hasta 01.00 m (Centro del eje del plinto).
 4. Sondaje SDP-01 (L1-123), perforación vertical (-90°), hasta 31.10 m (Centro del eje del plinto).
 5. Sondaje SDP-02 (L1-103), perforación inclinada (-85°), hasta 40.10 m (Centro derecho del eje del plinto).
 6. Sondaje SDP-03 (L1-65), perforación inclinada (-85°), hasta 44.70 m (Margen derecho del pie de talud).
- Se ejecutó ensayos de permeabilidad tipo Lefranc/Lugeon, esto de acuerdo a la litología observada de los testigos de perforación.
- Elaboración del registro litológico de la perforación diamantina en suelo y roca.
- Elaboración del informe de campo.
- Elaboración de panel fotográfico.

2.3.1.2 Normativa

En la tabla 2.1 se presentan las normas vigentes en Perú, consideradas para la ejecución de los ensayos en el presente estudio.

TABLA 2.1 Normas vigentes para la ejecución de los ensayos

Nombre de Norma	Código
Ensayos de Permeabilidad tipo Lefranc	U.S. Army Corps of Engineers TM 5-818-5, page 3-7
Ensayo de Permeabilidad tipo Lugeon	Houlsby A.C.,1976 Quiñones-Rozo C.,2010
Suelos y Cimentaciones	E.050

Fuente: Elaboración propia

2.3.1.3 Ubicación de los puntos de investigación

Se programaron perforar 09 sondajes diamantinos de las cuales solo 06 sondajes se ejecutaron en el valle del río Palcca (eje del plinto de la presa). En la tabla 2.2

TABLA 2.2 Ubicación de perforaciones diamantinas

N° orden perfo.	Códig. sondaje inyecc.	Códig. sondaje perfo.	Ubicac.	Prof. program. (m)	Prof. final (m)	Este(m)	Norte(m)	Cota
1°	NP	SP-1	Centro del eje del plinto	NP	1.20	0'597,658	8'562,586	3,997
2°	L1-122	SP-2	Centro del eje del plinto	NP	1.20	0'597,659	8'562,586	3,997
3°	L2-121	SP-3	Centro del eje del plinto	NP .	1.00	0'597,658	8'562,584	3,997
4°	L1-123	SDP-01	Centro del eje del plinto	30.00	31.10	0'597,660	8'562,585	3,997
5°	L1-103	SDP-02	Centro derecho del eje del plinto	30.00	40.10	0'597,639	8'562,607	3,999
6°	L1-65	SDP-03	Margen derecho del pie de talud	30.00	44.70	0'597,598	8'562,644	4,001
7°	NP	SDP-04	Margen derecho (Aliviadero)	10.00	NP	0'597,530	8'562,694	4,016
8°	L1-217	SDP-05	Margen izquierdo del eje del plinto	20.00	NP	0'597,707	8'562,454	4,013
9°	L1-152	SDP-06	Centro izquierdo del eje del plinto	30.00	NP	0'597,685	8'562,548	3,998

Fuente: Elaboración propia

Total de metrados lineales perforados = 121.70

2.3.1.4 Litología en los pozos de perforación

Las descripciones litológicas de los sondeos son presentadas.

Sondaje SP-1

Los trabajos de perforación en el sondeo SP-1 se desarrolla el 15 de diciembre del 2020, con profundidad de perforación final de 1.20 m. Asimismo el sondeo no evidencia inyección de cemento, el sondeo presenta nivel freático a 0.25 m y la litología atravesada se presenta a continuación en la tabla 2.3:

TABLA 2.3 Resumen litológico del sondeo SP-1

Desde	Hasta	Tipo	Tipo	Litología
0.00	0.20	0.20	Concreto	Qh-an: Depósito antropogénico. Compuesto por concreto de plinto.
0.20	0.60	0.40	Concreto	Ps-m: Grupo Mitu. Macizo rocoso constituido por brecha basáltica (roca ígnea-volcánica) color gris rojizo oscuro
0.60	0.80	0.20	Concreto	Ps-m: Grupo Mitu. Macizo rocoso constituido por dacita (roca ígnea-volcánica) color gris blanquecino claro.
0.80	1.20	0.40	Concreto	Ps-m: Grupo Mitu. Macizo rocoso constituido por dacita (roca ígnea-volcánica) fracturado color gris blanquecino claro.

Fuente: Elaboración propia

Sondaje SP-2 (L1-122)

Los trabajos de perforación en el sondeo SP-2 (L1-122) se desarrolla el 16 de diciembre del 2020, con profundidad de perforación final de 3.60 m. Asimismo el sondeo evidencia inyección de cemento desde los 0.00 m hasta los 2.80 m, el sondeo presenta nivel freático a 0.25 m y la litología atravesada se presenta a continuación en la tabla 2.4:

TABLA 2.4 Resumen litológico del sondeaje SP-2 (L1-122)

Desde (m)	Hasta(m)	Tipo(m)	Tipo	Litología
0.00	0.30	0.30	Concreto	Qh-an: Depósito antropogénico. Compuesto por concreto de plinto.
0.30	1.50	1.20	Roca	Ps-m: Grupo Mitu. Macizo rocoso constituido por brecha basáltica (roca ígnea-volcánica) color gris rojizo oscuro.
1.50	2.30	0.80	Roca	Ps-m: Grupo Mitu. Macizo rocoso constituido por brecha basáltica (roca ígnea-volcánica) moderadamente fracturado color gris rojizo oscuro.
2.30	3.20	0.90	Roca	Ps-m: Grupo Mitu. Macizo rocoso constituido por brecha basáltica (roca ígnea-volcánica) fracturado color gris rojizo oscuro.
3.20	3.60	0.40	Roca	Ps-m: Grupo Mitu. Macizo rocoso constituido por brecha basáltica (roca ígnea-volcánica) color gris rojizo oscuro.

Fuente: Elaboración propia

Sondaje SP-3 (L2-121)

Los trabajos de perforación en el sondeaje SP-3 (L2-121) se desarrolla el 17 de diciembre del 2020, con profundidad de perforación final de 1.00 m. Asimismo el sondeaje no evidencia inyección de cemento, el sondeaje presenta nivel freático a 0.25 m y la litología atravesada se presenta a continuación en la tabla 2.5:

TABLA 2.5 Resumen litológico del sondeaje SP-3 (L2-1212)

Desde (m)	Hasta(m)	Tipo(m)	Tipo	Litología
0.00	0.30	0.30	Concreto	Qh-an: Depósito antropogénico. Compuesto por concreto de plinto.
0.30	0.80	0.50	Roca	Ps-m: Grupo Mitu. Macizo rocoso constituido por dacita (roca ígnea-volcánica) fracturado color gris blanquecino claro.
0.80	1.00	0.20	Roca	Ps-m: Grupo Mitu. Macizo rocoso constituido por dacita (roca ígnea-volcánica) moderadamente fracturado color gris blanquecino claro.

Fuente: Elaboración propia

Sondeaje SDP-01 (L1-123)

Los trabajos de perforación en el sondeaje SDP-01 (L1-123) se desarrollaron desde el 20 de diciembre del 2020 al 10 de enero del 2021, con profundidad de perforación final de 31.10 m. Asimismo el sondeaje evidencia inyección de cemento desde los 0.00 m hasta los 4.15 m, el sondeaje presenta nivel freático a 0.00 m y la litología atravesada se presenta a continuación en la tabla 2.6:

TABLA 2.6 Resumen litológico del sondaje SDP-01 (L1-123)

Desde (m)	Hasta(m)	Tipo(m)	Tipo	Litología
0.00	0.30	0.30	Concreto	Qh-an: Depósito antropogénico. Compuesto por concreto de plinto.
0.30	13.65	13.35	Roca	Ps-m: Grupo Mitu. Macizo rocoso constituido por brecha basáltica (roca ígnea volcánica) color gris rojizo oscuro.
13.65	14.65	1.00	Roca	Ps-m: Grupo Mitu. Macizo rocoso constituido por dacita (roca ígnea-volcánica) color gris blanquecino claro.
14.65	15.65	1.00	Roca	Ps-m: Grupo Mitu. Macizo rocoso constituido por brecha basáltica (roca ígnea volcánica) color gris rojizo oscuro.
15.65	17.55	1.90	Roca	Ps-m: Grupo Mitu. Macizo rocoso constituido por dacita (roca ígnea-volcánica) fracturado color gris rojizo claro.
17.55	20.25	2.70	Roca	Ps-m: Grupo Mitu. Macizo rocoso constituido por dacita (roca ígnea-volcánica) color gris rojizo claro.
20.25	22.15	1.90	Roca	Ps-m: Grupo Mitu. Macizo rocoso constituido por dacita (roca ígnea-volcánica) fracturado color gris amarillento claro. Falla (21.30m).

22.15	23.90	1.75	Roca	Ps-m: Grupo Mitu. Macizo rocoso constituido por brecha basáltica (roca ígnea volcánica) color gris rojizo oscuro.
23.90	26.65	2.75	Roca	Ps-m: Grupo Mitu. Macizo rocoso constituido por dacita (roca ígnea-volcánica) fracturado color gris rojizo oscuro.
26.65	31.10	4.45	Roca Buena	Ps-m: Grupo Mitu. Macizo rocoso constituido por dacita (roca ígnea-volcánica) color gris blanquecino claro. La roca tiene RQD>75%

Fuente: Elaboración propia

Sondaje SDP-02 (L1-103)

Los trabajos de perforación en el sondeo SDP-02 (L1-103) se desarrollaron desde el 11 de enero del 2021 al 19 de enero del 2021, con profundidad de perforación final de 40.10 m. Asimismo el sondeo evidencia inyección de cemento desde los 0.00 m hasta los 1.00 m, el sondeo presenta nivel freático a 0.20 m y la litología atravesada se presenta a continuación en la tabla 2.7:

TABLA 2.7 Resumen litológico del sondaje SDP-02 (L1-103)

Desde (m)	Hasta(m)	Tipo(m)	Tipo	Litología
0.00	0.30	0.30	Concreto	Qh-an: Depósito antropogénico. Compuesto por concreto de plinto.
0.30	1.70	1.40	Roca	Ps-m: Grupo Mitu. Macizo rocoso constituido por brecha basáltica (roca ígnea volcánica) fracturado color gris blanquecino claro.
1.70	4.20	2.50	Roca	Ps-m: Grupo Mitu. Macizo rocoso constituido por brecha basáltica (roca ígnea volcánica) moderadamente fracturado color gris blanquecino claro.
4.20	4.80	0.60	Roca	Ps-m: Grupo Mitu. Macizo rocoso constituido por brecha basáltica (roca ígnea volcánica) color gris blanquecino claro.
4.80	6.90	2.10	Roca	Ps-m: Grupo Mitu. Macizo rocoso constituido por brecha basáltica (roca ígnea volcánica) color gris rojizo oscuro.
6.90	8.00	1.10	Roca	Ps-m: Grupo Mitu. Macizo rocoso constituido por brecha basáltica (roca ígnea volcánica) moderadamente fracturado color gris rojizo oscuro.
8.00	16.20	8.20	Roca	Ps-m: Grupo Mitu. Macizo rocoso constituido por dacita (roca ígnea-volcánica) moderadamente fracturado color gris blanquecino claro.

16.20	20.00	3.80	Roca	Ps-m: Grupo Mitu. Macizo rocoso constituido por dacita (roca ígnea-volcánica) fracturado color gris blanquecino claro. Falla (18.00m).
20.00	22.65	2.65	Roca	Ps-m: Grupo Mitu. Macizo rocoso constituido por dacita (roca ígnea-volcánica) moderadamente fracturado color gris blanquecino claro.
22.65	28.70	6.05	Roca Buena	Ps-m: Grupo Mitu. Macizo rocoso constituido por dacita (roca ígnea-volcánica) color gris blanquecino claro. La roca tiene RQD>75%
28.70	34.60	5.90	Roca	Ps-m: Grupo Mitu. Macizo rocoso constituido por dacita (roca ígnea-volcánica) fracturado color gris rojizo claro.

Fuente: Elaboración propia

Sondaje SDP-03 (L1-65)

La perforación en SDP-03 (L1-65) se desarrollaron desde el 20 de enero del 2021 al 25 de enero del 2021, con profundidad de perforación final de 44.70 m. Asimismo el sondaje evidencia inyección de cemento desde los 0.00 m hasta los 11.89 m, el sondaje presenta nivel freático a 0.25 m y la litología atravesada se presenta a continuación en la tabla 2.8:

TABLA 2.8 Resumen litológico del sonduje SDP-3 (L1-65)

Desde (m)	Hasta(m)	Tipo(m)	Tipo	Litología
0.00	0.50	0.50	Concreto	Qh-an: Depósito antropogénico. Compuesto por concreto de plinto.
0.50	7.20	6.70	Roca	Ps-m: Grupo Mitu. Macizo rocoso constituido por brecha basáltica (roca ígnea volcánica) fracturado color gris rojizo oscuro.
7.20	11.30	4.10	Roca	Ps-m: Grupo Mitu. Macizo rocoso constituido por dacita (roca ígnea-volcánica) fracturado color gris blanquecino claro.
11.30	12.80	1.50	Roca	Ps-m: Grupo Mitu. Macizo rocoso constituido por dacita (roca ígnea-volcánica) moderadamente fracturado color gris blanquecino claro.
12.80	14.00	1.20	Roca	Ps-m: Grupo Mitu. Macizo rocoso constituido por dacita (roca ígnea-volcánica) fracturado color gris blanquecino claro.
14.00	15.80	1.80	Roca	Ps-m: Grupo Mitu. Macizo rocoso constituido por dacita (roca ígnea-volcánica) moderadamente fracturado color gris blanquecino claro.

15.80	20.15	4.35	Roca	Ps-m: Grupo Mitu. Macizo rocoso constituido por dacita (roca ígnea-volcánica) fracturado color gris blanquecino claro.
20.15	21.65	1.50	Roca	Ps-m: Grupo Mitu. Macizo rocoso constituido por dacita (roca ígnea-volcánica) moderadamente fracturado color gris blanquecino claro.

Fuente: Elaboración propia

2.3.1.5 Ensayo Lefranc

Custodio y Galofre (1983), Puertos (1994), Extremera et al. (2015), González et al. (2002)

El tipo de ensayo de permeabilidad que se realizó fue Lefranc carga variable y Lefranc carga constante dadas las características de la litología atravesada.

- Para el ensayo Lefranc carga variable se inyecta agua con flujo estabilizado suministrado por la bomba de la máquina en la entrada en la tubería, entonces el nivel del agua sube, hasta que alcance un nivel de agua al nivel de la tubería dentro del revestimiento. Luego de manera inmediata, se detiene la circulación de agua y se comienza a tomar en cuenta el descenso de agua, inicialmente en tiempos cortos y luego más extendidos. Se registran las lecturas de la recuperación del nivel en el formato respectivo y una vez que se alcanza la estabilidad de nivel, culmina la prueba y se procede a realizar la desinstalación del equipo para continuar con la perforación.
- Para el ensayo Lefranc carga constante se inyecta agua con flujo estabilizado suministrado por la bomba de la máquina en la entrada de la tubería, hasta que agua ascienda a lo largo de la tubería, hasta que alcance un nivel constante dentro de la tubería de revestimiento y se trata de mantener la estabilidad en ese nivel. El control a nivel permanente será posible a través de la regulación con las válvulas y descarga del equipo. Se realizan lecturas del caudal de ingreso al sondaje a cada minuto hasta 20 minutos, cuidando de que el nivel estabilizado no varíe. El Ing. geotécnico recopila esta información en el formato adecuado para su reporte. Terminado las lecturas se procede a realizar la desinstalación del equipo para continuar con la perforación.

En los vídeos Canchero (2018) y Ríos (2011), que también sirvieron de guía para el aprendizaje y elaboración en este tipo de ensayos, en base al consumo por cada minuto del intervalo evaluado se determina la conductividad hidráulica. El procedimiento realizado está alineado y cumpliendo las indicaciones de la normativa, como se muestra en la figura

2.10, (of Engineers, 1983)



FIGURA 2.10 Ubicación de perforación diamantina

Fuente: Elaboración propia

Para la estimación y análisis de parámetros hidrológicos haciendo uso de datos obtenidos de la recuperación mediante el ensayo de Lefranc de los que se tendrán datos del descenso den el nivel del agua en una gráfica de tiempo(min) y el descenso(m), logrando así una gráfica en coordenadas x e y , posterior a ello se hará uso del Software Aqtesolv. Para ingresar la información de la prueba de recuperación al software, se tiene que procesar la información adquirida en campo. A continuación se presenta los datos requeridos para el análisis e ingreso al software Aqtesolv, se muestra en las tablas 2.9 y 2.10

TABLA 2.9 Ensayo de permeabilidad por gravedad Lefranc carga variable

intervalo	2.55	de	1.05	A	3.60	m
fecha: 24/11/2020	hora	de	04:30	A	05:00	h

Fuente: Elaboración propia

TABLA 2.10 Datos de entrada

D	Diámetro del tramo de ensayo	7.40	cm
d	Diámetro interior de la tubería	7.40	cm
α	Inclinación del sondaje con la horizontal	90	°
m	Relación de condición anisotrópica $m = K_h / K_v$	1.00	Ud
a	Longitud sobrante de la tubería (Stick up)	0.00	Metros
GW	Prof. del agua subterránea dentro de la tubería	0.25	Metros
DC	Longitud de la tubería desde el nivel de terreno	1.05	Metros
FD	Longitud del pozo desde el nivel de terreno	3.60	Metros
L	Longitud del tramo de ensayo	2.55	Metros
R	Radio de influencia	2.55	Metros
(DC+L/2)	Longitud a mitad del tramo de ensayo	2.33	Metros
a'	Altura sobrante de la tubería (corr.)	0.00	Metros
GW'	Prof. del agua subterránea (corr.)	0.25	Metros
DC'	Prof. de la tubería desde el N.T. (corr.)	1.05	Metros
FD''	Prof. del pozo desde el N.T. (corr.)	3.60	Metros
L'	Longitud del ensayo (corr.)	2.55	Metros
R'	Radio de influencia (corr.)	2.55	Metros
(DC+L/2)'	Prof. a mitad del tramo de ensayo (corr.)	2.33	Metros

Fuente: Elaboración propia

Se muestra en tabla 2.11

TABLA 2.11 Datos obtenidos del ensayo

Tiempo[min]	Zn[m]	Zn - a [m]	Hn [m]
0	0.000	0.000	0.250
1	0.016	0.016	0.234
2	0.021	0.021	0.229
3	0.021	0.021	0.229
4	0.021	0.021	0.229
5	0.021	0.021	0.229
6	0.021	0.021	0.229
7	0.021	0.021	0.229
8	0.021	0.021	0.229
9	0.021	0.021	0.229
10	0.022	0.022	0.228
11	0.022	0.022	0.228
12	0.022	0.022	0.228
13	0.022	0.022	0.228
14	0.022	0.022	0.228
15	0.022	0.022	0.228
16	0.022	0.022	0.228
17	0.022	0.022	0.228
18	0.022	0.022	0.228
19	0.022	0.022	0.228

Fuente: Elaboración propia

Se muestra en la figura 2.11

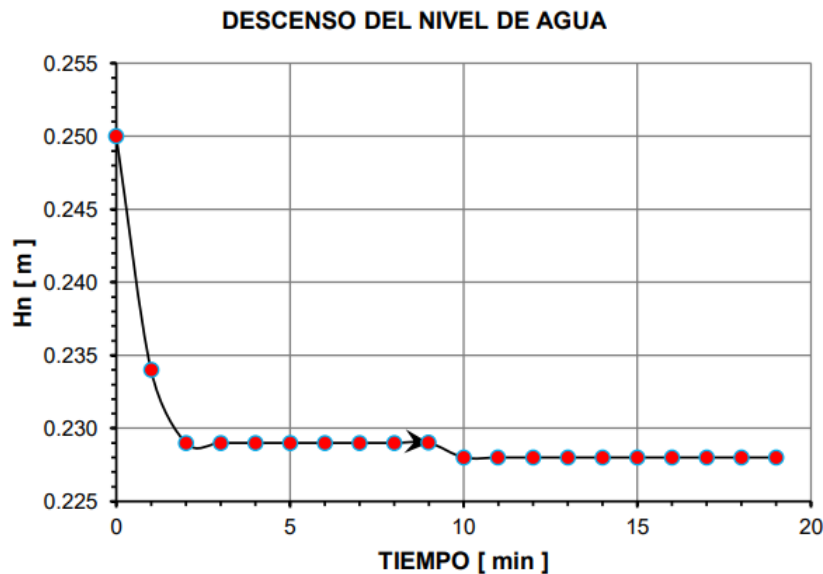


FIGURA 2.11 Descensos del nivel del agua
Fuente: Elaboración propia

2.3.1.6 Ensayo Lugeon

la prueba de Lugeon (o prueba de Packer) es un método de prueba in situ ampliamente utilizado para estimar la conductividad hidráulica media de las formaciones rocosas. La prueba lleva el nombre de Maurice Lugeon (1933). La prueba de Lugeon es una prueba de inyección de tasa constante que se lleva a cabo en una porción de un pozo aislado por empacadores inflados. Se inyecta agua en la parte aislada del pozo utilizando un tubo ranurado. El agua se inyecta a "pasos" de presión específicos y la presión resultante se registra cuando el flujo llegó a un punto estable. Un transductor con presión también se encuentra en esa parte del pozo para medir la presión con la ayuda de una lectura estación en la superficie. Los resultados proporcionan información sobre la permeabilidad de la roca, masa que incluye una matriz en la roca y las discontinuidades. (Royle, 2010)

En el vídeo Riego (2016), se logra explicar a grosso modo la teoría de este ensayo, sirviendo de mucha ayuda en el aprendizaje para la realización de este tipo de prueba.

Lugeon es uno de los ensayos puntuales in situ más conocido. Este ensayo se realiza durante la perforación de los sondeos, principalmente en rocas con buen RQD o poco fracturadas, con el objetivo de hallar el valor de la conductividad hidráulica en el tramo de ensayo.

Para realizar las pruebas de Lugeon, se tendrá en cuenta lo siguiente:

- Para comenzar con la prueba, el sondaje tendrá que estar lavado con agua limpia a presión.

- Elegir el punto de ensayo, de manera inmediata se evalúan las cajas portatestigos (cores).
En la [figura 2.12](#) muestra un tramo indicado para obturar.
- Para la hidrogeología, será mejor lograr una representación de parámetros hidráulicos.
- Calcular la presión máxima (P_{max})
- Instalación del Packer, para lo cuál el operador debe retirar el sistema de tuberías.
- Medir la profundidad del nivel de agua antes de inyectar el agua.
- Bajar el Packer hasta la profundidad de instalación.
- Adecuada instalación del sistema de agua.
- Hacer el inflado del Packer
- Empezar con la inyección de agua.
- Tomar lecturas en el caudalímetro.
- Hacer mediciones por 10 min diseñada para cada punto de presión (5 estadios).
- Se termina con el bombeo y desinflado.

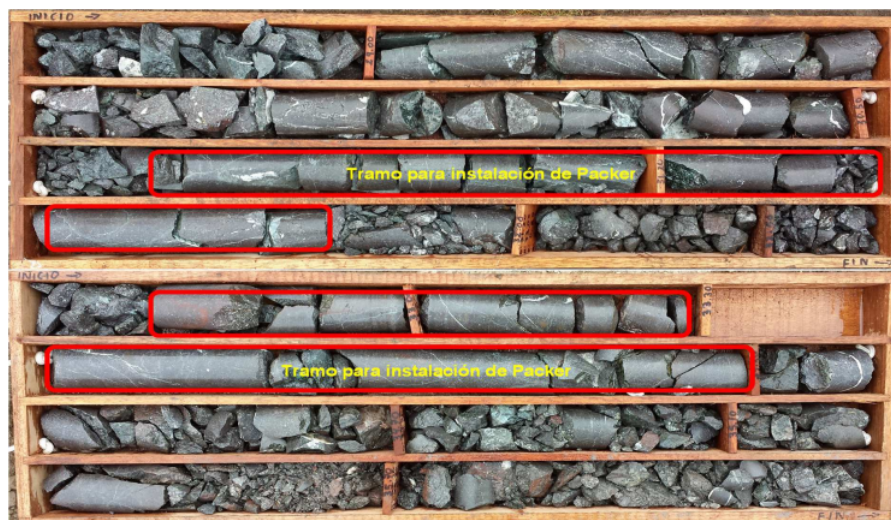


FIGURA 2.12 Esquema de acuífero semiconfinado.
Fuente: Tramo para la colocación del packer González [et al.](#) (2002)

2.3.1.2.1 Realización de la prueba

Para realizar la prueba se tendrá que tener en cuenta la información la información obtenida del logueo de las muestras. Se tendrá en cuenta lo siguiente:

- Zona con falla y bajo el nivel freático
- Zonas con fracturas importantes

- Cambios en el tipo de roca
- Cambios en hidrogeología

2.3.1.2.2 Determinación del valor de Lugeón representativo

Littejohn (1992), La unidad de la permeabilidad es en [cm/s] y como resultado obtenido de los ensayos se hará uso de las unidades de Lugeon. (Vargas, 2020)

$$1.3 \cdot 10^{-5} \left[\frac{cm}{s} \right] = 1 \text{ lugeon}$$

- En el caso de rocas débiles se usarán presiones que varían de 2, 4, 6, 4, 2 bares
- En el caso de rocas fuertes se usarán presiones que varían de 10, 20, 40, 20, 10 bares

El tiempo para cada ensayo en el inyector tendrá que durar aproximadamente de 5 a 10 min y también se hará el ensayo con profundidades aproximadas de 3 a 5 m. Ewert (2003)

2.3.1.2.3 Cálculo de presión máxima

la presión máxima al inicio era de 10 kg/cm^2 . Es recomendable someter al cuerpo rocoso a niveles de presión altas y que se encuentran inferior a la carga litostática. Para estimar la presión máxima, se considera dos aspectos:

1. el tipo de presión no sobrepasa 1 psi
2. la presión no tiene que exceder el 90%, es decir:

$$Pg = 0.9 \cdot Ge \cdot Z - (hg + DTW)$$

Entonces:

Pg = presión de medida en el manómetro (m)

Ge = gravedad perteneciente a la roca

Z = distancia hacia la parte central del sector de prueba (m)

hg = altura con respecto a la superficie del manómetro (m)

DTW = profundidad (m)

2.3.1.2.4 El método

1. Mediante la realización de cinco pruebas de agua a presión de 10 minutos una asumiéndola como presión de prueba “p” de la siguiente manera:

1er estado: de 10 minutos como presión baja (presión “a”) → presión mínima

2do estado: de 10 minutos como presión baja (presión “b”) → presión intermedia

3er estado: de 10 minutos como presión baja (presión “c”) →presión máxima

4to estado: de 10 minutos como presión baja (presión “b” otra vez) →presión intermedia

5to estado: de 10 minutos como presión baja (presión “a” otra vez) →presión mínima

2. El valor de una unidad Lugeon es calculada para cada una de estas cinco presiones usando la siguiente expresión:

$$UL = \text{toma de agua (Litros/metro/min)} \cdot \frac{(\text{Litros/metro/min}) \cdot 10(\text{Bares})}{\text{Presión de prueba (Bares)}}$$

3. Habiendo calculado los valores de las unidades LUGEON, estos se revisarán, se compararán y se patronarán de acuerdo con los problemas de permeabilidad reportados. Se debe mostrar la interpretación para las diferentes alternativas del método de los cinco valores y su interpretación en cuanto a la permeabilidad y la elaboración de cada esquema y su significado.

2.3.1.2.5 Partes para el funcionamiento del ensayo Lugeon El equipo básico usado para el ensayo es:

- Obturador o Packer
- Una Bomba Hidráulica
- Un Caudalímetro o Medidor de gastos de agua
- Uno o varios manómetros
- Línea de Inflación
- Stuffing Box
- Mangueras de presión
- Disipador de Turbulencia
- Llaves reguladoras
- Regulador de presión para gas inerte
- Agua limpia

Agua y cilindro de gaz comprimido

- El agua se inyectara para el calculo de perdida de este en el tramo a ensayar y el Nitrógeno se le usara para el inflado de los pakers.

- En ningún caso la presión de inyección de agua deberá superar a la presión de inflado del packer

Mangueras con presión

- Son mangueras enlazadas al regulador de presión.
- La presión será mayor a la presión de llenado en el packer

Obturadores ó Packers

- Los Packers inflables contienen elementos Bimbar que se refuerzan con dos capas de cables de acero incrustadas en caucho natural, cuentan con un cabezal móvil y tienen la capacidad de duplicar el tamaño de su diámetro de ejecución inicial.

Sonda piezométrica

- La sonda eléctrica consiste de un probador de acero inoxidable o de níquel latonado, un cable o cinta con graduación métrica o inglesa y un carrete.

Bomba hidráulica

- No tiene la capacidad de producir presión. La presión se da cuando el caudal dado por la bomba, vence la resistencia.

Caudalímetro o flujómetro

- Estos aparatos suelen colocarse en línea con la tubería que transporta el fluido. También suelen llamarse medidores de caudal, medidores de flujo o flujómetros.

Manómetro

- Es un instrumento de medición que sirve para medir la presión de fluidos contenidos en recipientes cerrados. Esencialmente se distinguen dos tipos de manómetros, según se empleen para medir la presión de líquidos o de gases.

Stuffing Box

- Prensaestopas (en español), su función es brindar un tipo de sello a la perforación.

Línea de medidas presión-caudal para prueba de permeabilidad

- Con esta línea se realiza las pruebas “Lugeón” inyectando agua a través de las formaciones geológicas bajo obturadores.

Se muestra a continuación las figuras 2.13 y 2.14.

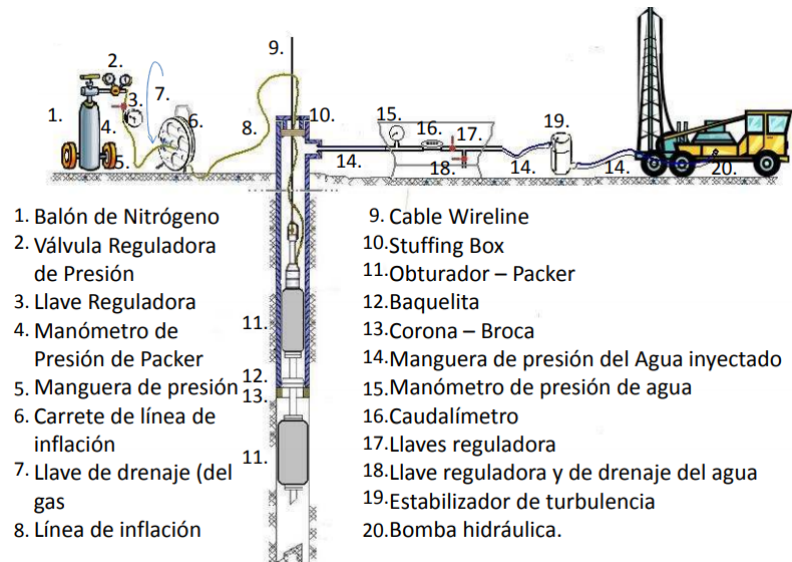


FIGURA 2.13 Vista general del ensayo Lugeon.

Fuente: Adaptado de “Pruebas de absorción de agua tipo Lugeon” (n.d.)

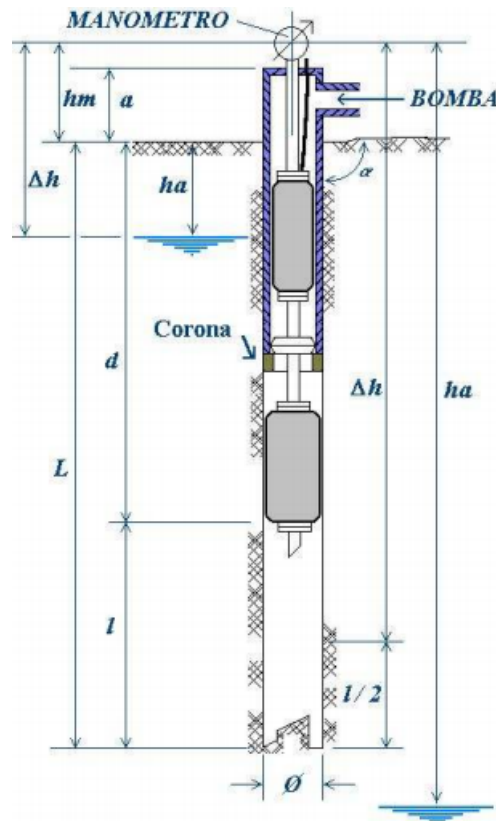


FIGURA 2.14 Esquema de ensayo de agua - Lugeon.

Fuente: Adaptado de “Pruebas de absorción de agua tipo Lugeon” (n.d.)

2.3.1.2.6 Bulbo de ensayo y ejecución de prueba

Luego de instalar el equipo se comienza a descender el obturador a la parte superior del tramo del ensayo, cuidando que este ubicado en roca no fracturada o con un mínimo de fracturas. El obturador, que puede ser de jebe o neumático, al expandirse deberá confinar herméticamente el tramo de ensayo.

Una vez instalado el equipo de prueba, se bombea agua al taladro, controlando que en el manómetro la aguja se estabilice en la presión mínima pre establecida. Una vez conseguida la estabilización, que es posible con dos válvulas, una de suministro de agua y otra de desfogue, se mide el consumo por unidad de tiempo. Mediante la diferencia de lecturas de hidrómetros, se obtiene el caudal en Lt/min, empleándose para fines de los cálculos el promedio de lecturas estabilizadas.

Terminado el primer estado de presión mínima, se continúa con el mismo procedimiento con las presiones intermedias y máximas, luego se desciende a las presiones intermedias y mínimas.

2.3.1.2.7 Valores de permeabilidad de suelos

Se observan diversos valores de permeabilidad en suelos más comunes según la clasificación USCS, como se puede ver en la **tabla** 2.12.

TABLA 2.12 Clasificación USCS

Tipo de suelo	K(cm/s)
Grava mal graduada (GP)	1
Grava uniforme (GP)	0.2-1
Grava bien graduada (GW)	0.05-0.3
Arena Uniforme (SP)	$5 * 10^{-3} - 0.2$
Arena bien graduada(SW)	$10^{-3} - 0.1$
Arena limosa (SM)	$10^{-3} - 5 * 10^{-3}$
Arena Arcillosa (SC)	$10^{-3} - 10^{-4}$
Limo de baja plasticidad (ML)	$5 * 10^{-5} - 10^{-4}$
Arcilla de baja plasticidad (CL)	$10^{-5} - 10^{-8}$

Fuente: Elaboración propia

2.3.2 ¿Qué resultados se obtiene del cálculo de la ecuación de Laplace para la determinación del flujo de la infiltración en la represa Pallca de material suelto, ubicado en la región Ayacucho?

Moreno, Hernández y Fonseca (2015), uno de los métodos que suele ser más usado en el caso de la ecuaciones diferenciales parciales y dentro de este se encuentra los elementos finitos, ya que estos tienen más cercanía a una próxima solución. En la presente investigación se muestra la aplicación de los elementos finitos con apoyo del Software

GeoStudio en el modelo SEEP/W.

La ecuación de Poisson y Laplace son las que mayormente forman parte de las EDPs. Los métodos numéricos más comunes para la solución de estas EDP son el método de diferencias finitas y el método de elementos finitos, aplicados sobre dominios rectangulares, triangulares o circulares.

La aplicación de un modelo numérico para la caracterización de la dinámica de flujo de las aguas subterráneas está basada en la resolución de la ecuación de Laplace que gobierna el flujo en régimen permanente en un acuífero (Polubarinova-Kochina, 1962), para la elaboración del modelo es de suma importancia resolver la ecuación haciendo uso de diversas técnicas de análisis numérico basado principalmente en métodos de resolución por elementos finitos en el software GeoStudio. Siendo una manera para determinar la dinámica de flujo en estas regiones consiste en emplear la ecuación de Laplace.

Para la resolución Para la resolución de esta ecuación es importante considerar un dominio limitado o finito. Una vez establecido el dominio finito, se realiza una discretización y se resuelve la ecuación diferencial parcial mediante el método de los elementos finitos (Polubarinova-Kochina, 1962).

2.3.2.1 Modelamiento matemático

Para el modelamiento matemático de la ecuación de Laplace comienza con el planteo de la ecuación general de Poisson, que es la Ec (2.1), para hacer uso de la técnica de elementos finitos que permite transformar las derivadas parciales en diferencias entre puntos discretos del dominio. Por nuestra facilidad de trabajo lo haremos bidimensional (2D). Donde se partirá de la ecuación de Poisson Ec (2.1) y que se transforma en la ecuación Ec (2.2)

$$\nabla^2 h = \rho \quad \text{Ec. (2.1)}$$

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = \rho \quad \text{Ec. (2.2)}$$

para aplicar el método de elementos finitos a discretizar el dominio en sus dos dimensiones x e y , lo cual, a su vez discretiza el campo ϕ de la ecuación diferencial. Tal razón que ahora las derivadas en la ecuación diferencial Ec (2.2) logran cambiar como en la ecuación

de Ec. (2.3) .Este tipo de ecuaciones vienen a ser el resultado de Taylor en la educación de Ec. (2.2) y de suponer una exactitud de segundo orden despreciable, con lo cual se obtienen las ecuaciones diferenciales en la forma de ecuaciones de diferencias que ya mencionamos y donde el dominio se ha transformado en un número finito de puntos.

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} = \frac{\phi_{i+1,j} - 2\phi_{i,j} + \phi_{i-1,j}}{\nabla^2} \quad \text{Ec. (2.3)}$$

Si reemplazamos esto en la , tenemos la ecuación Ec. (2.4) , mencionando de esta manera

$$\frac{\phi_{i+1,j} - 2\phi_{i,j} + \phi_{i-1,j}}{\nabla x^2} + \dots \frac{\phi_{i,j+1} - 2\phi_{i,j} + \phi_{i,j-1}}{\nabla y^2} = \rho_{i,j} \quad \text{Ec. (2.4)}$$

Utilizando la Ec. (2.4) , pasando al otro miembro $\phi_{i,j}$, y suponiendo $\Delta x = \Delta y$ se tiene en

Ec. (2.5)

$$\phi_{i,j} = \frac{\phi_{i+1,j} + \phi_{i-1,j} + \phi_{i,j+1} + \phi_{i,j-1} - \Delta x^2 \phi_{i,j}}{4} \quad \text{Ec. (2.5)}$$

Entonces $\phi_{i,j}$ es equivalente a cero, tal razón está ya seccionado y se encuentra preparado para ser resuelto la ecuación de Laplace.

Se debe sumar las condiciones de contorno a la EDP para que esta pueda ser resuelta. Para esto utilizamos Ec. (2.6) , según se plantearon los coeficientes de la Ec. (2.6)

$$a\phi + b\frac{\partial \phi}{\partial n} = c \quad \text{Ec. (2.6)}$$

De la Ec. (2.5) se entiende que para realizar el cálculo se debe hacer el dominio rectangular, siendo i y j, nodos secuenciales. Este manejo requiere que el domino quede dentro del de la geometría del cuerpo de la presa, que seguirá siendo la geometría base y donde estarán los nodos de discretización, para hacer el cálculo que está en Ec. (2.5) .

Para ello se utilizó una codificación numérica. Como es posible que los puntos de la frontera no coincidan con los nodos de la discretización del dominio. Aunque el algoritmo permite trabajar con la ecuación de Poisson, se ha fijado del valor de ρ en cero, durante la ejecución del algoritmo, por facilidad de entendimiento, y por lo tanto se trabaja con la ecuación de Laplace.

2.3.2.2 Los elementos finitos

Estos tipos de métodos basados en el concepto de subdividir continuamente en partes pequeñas, describir el comportamiento o las acciones de las piezas individuales y luego volver a conectar todas las piezas a representar el comportamiento del continuo como un todo. Este proceso de subdividir el continuo en las piezas más pequeñas se conocen como discretización o mallado. Las piezas se conocen como elementos finitos. En GeoStudio, la geometría de un modelo se define en su totalidad antes de considerar la discretización o mallado (SEEP/W 2012).

Suli y Mayers (1994) y Silvester y Pelosi (1994) Este método básicamente discretiza la región bajo análisis en una serie de conjuntos dimensionales finitos, denominados elementos. Sobre estos elementos se generan un conjunto de funciones linealmente independientes que determinan el comportamiento particular del conjunto de manera que sea coherente con el comportamiento general del problema. Las condiciones de frontera permiten establecer el punto de partida de la implementación computacional.

El análisis para el MEF de cualquier problema involucra cuatro etapas:

- Discretización de la región de solución en un número finito de subregiones o elementos.
- Obtener las ecuaciones para el elemento típico.
- Ensamblaje de todos los elementos en la región de solución.
- Solución del sistema de ecuaciones obtenido.

Durante el proceso de la discretización la región de solución en subregiones o el dominio en subdominios llamados elementos finitos. En la figura 2.15 se presenta el caso de la discretización de una zona rectangular a partir de triángulos.

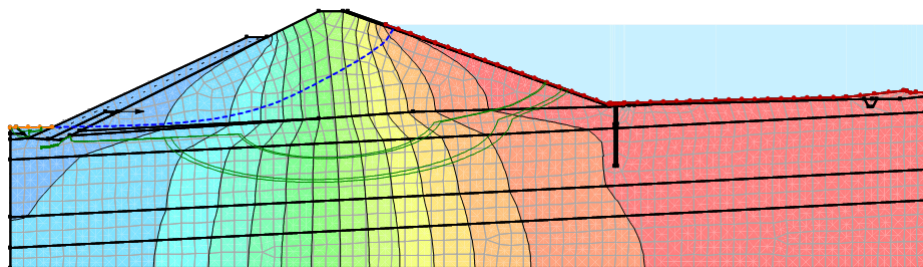


FIGURA 2.15 Discretización en la represa Pallica mediante los elementos finitos

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que los elementos finitos son elementos triangulares sobre los cuáles se aproximará la solución de nuestro problema, Una vez discretizada la región de solución el siguiente paso será obtener las ecuaciones que definen el elemento típico.

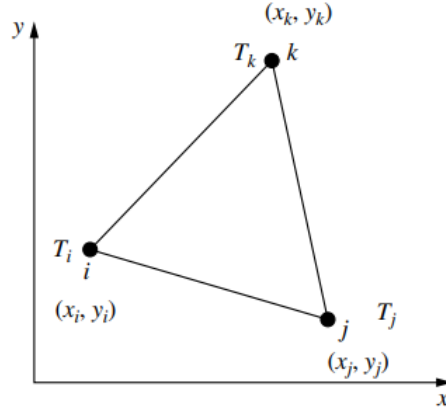


FIGURA 2.16 Elemento triangular propio de los elementos finitos
Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta que las líneas de corriente y las equipotenciales son perpendiculares entre sí, en un triángulo interno de vértices $i(x_i, y_i), j(x_j, y_j), k(x_k, y_k)$ donde el polinomio es lineal en x y y y contiene tres coeficientes. Dado que un lineal triángulo tiene tres nodos como se muestra en la figura 2.16, los valores de α_1, α_2 y α_3 se determinan a partir de:

$$T_i = \alpha_1 + \alpha_2 x_i + \alpha_3 y_i$$

$$T_j = \alpha_1 + \alpha_2 x_j + \alpha_3 y_j$$

$$T_k = \alpha_1 + \alpha_2 x_k + \alpha_3 y_k \quad \text{Ec. (2.7)}$$

lo que da como resultado lo siguiente:

$$\alpha_1 = \frac{1}{2A} [(x_j y_k - x_k y_j) T_i + (x_k y_i - x_i y_k) T_j + (x_i y_j - x_j y_i) T_k]$$

$$\alpha_2 = \frac{1}{2A} [(y_j - y_k) T_i + (y_k - y_i) T_j + (y_i - y_j) T_k]$$

$$\alpha_3 = \frac{1}{2A} [(x_k - x_j) T_i + (x_i - x_k) T_j + (x_j - x_i) T_k] \quad \text{Ec. (2.8)}$$

donde "A" es el área del triángulo dada por

$$2A = \det \begin{bmatrix} 1 & x_i & y_i \\ 1 & x_j & y_j \\ 1 & x_k & y_k \end{bmatrix} = (x_i y_j - x_j y_i) + (x_k y_i - x_i y_k) + (x_j y_k - x_k y_j) \quad \text{Ec. (2.9)}$$

Sustituyendo los valores de α_1 , α_2 y α_3 en la Ecuación 2.3.2.2 y cotejando los coeficientes de T_i , T_j y T_k , obtenemos

$$T = N_i T_i + N_j T_j + N_k T_k = \begin{bmatrix} N_i & N_j & N_k \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} T_i \\ T_j \\ T_k \end{Bmatrix} \quad Ec. (2.10)$$

entonces

$$N_i = \frac{1}{2A}(a_i + b_i x + c_i y)$$

$$N_j = \frac{1}{2A}(a_j + b_j x + c_j y)$$

$$N_k = \frac{1}{2A}(a_k + b_k x + c_k y) \quad Ec. (2.11)$$

$$a_i = x_j y_k - x_k y_j, \quad b_i = y_j - y_k, \quad c_i = x_k - x_j$$

$$a_j = x_k y_i - x_i y_k, \quad b_j = y_k - y_i, \quad c_j = x_i - x_k$$

$$a_k = x_i y_j - x_j y_i, \quad b_k = y_i - y_j, \quad c_k = x_j - x_i \quad Ec. (2.12)$$

Si evaluamos N_i en el nodo i, donde las coordenadas son (x_i, y_i) , obtenemos

$$(N_i)_i = \frac{1}{2A}[(x_j y_k - x_k y_j) + (y_j - y_k)x_i + (x_k - x_j)y_i] = \frac{2A}{2A} = 1 \quad Ec. (2.13)$$

De manera similar, se puede verificar fácilmente que $(N_j)_i = (N_k)_i = 0$. Por lo tanto, vemos que las funciones de forma tienen un valor de unidad en el vértice designado y cero en todos los demás vértices. Es posible demostrar que

$$N_i + N_j + N_k = 1 \quad Ec. (2.14)$$

en todas partes del elemento, incluidos los límites. Los gradientes de temperatura T están dados por

$$\frac{\partial T}{\partial x} = \frac{\partial N_i}{\partial x} T_i + \frac{\partial N_j}{\partial x} T_j + \frac{\partial N_k}{\partial x} T_k = \frac{\partial b_i}{2A} T_i + \frac{\partial b_j}{2A} T_j + \frac{\partial b_k}{2A} T_k$$

$$\frac{\partial T}{\partial y} = \frac{\partial N_i}{\partial y} T_i + \frac{\partial N_j}{\partial y} T_j + \frac{\partial N_k}{\partial y} T_k = \frac{\partial c_i}{2A} T_i + \frac{\partial c_j}{2A} T_j + \frac{\partial c_k}{2A} T_k \quad \text{Ec. (2.15)}$$

o

$$g = \begin{Bmatrix} \frac{\partial T}{\partial x} \\ \frac{\partial T}{\partial y} \end{Bmatrix} = \frac{1}{2A} \begin{bmatrix} b_i & b_j & b_k \\ c_i & c_j & c_k \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_i & T_j & T_k \end{bmatrix} = [B][T] \quad \text{Ec. (2.16)}$$

Cabe señalar que tanto $\partial T/\partial x$ como $\partial T/\partial y$, son constantes dentro de un elemento como b_i , b_j , b_k y c_i , c_j , c_k son constantes para un triángulo dado.

2.3.3 ¿Cuál es la diferencia entre los resultados de un modelo numérico computacional diseñado en el software Slide con los ensayos de Lefranc y Lugeon realizados en la zona de estudio?

Para la obtención de las redes de flujo, el programa Slide tiene incorporada una herramienta que permite configurar el efecto del agua subterránea mediante el método de elementos finitos. Este proceso se lo realiza previamente a la ejecución del análisis de estabilidad de taludes.

Con el Software Slide se realizó el análisis del agua subterránea dentro del cuerpo de la presa, a fin de obtener gráficamente el comportamiento de la red de flujo, que está compuesta por líneas equipotenciales y por las líneas de flujo ortogonales a las anteriores. Ya que representa la ecuación básica del flujo estacionario para un suelo isótropo y que a la vez satisface la ecuación de Laplace.

2.3.3.1 Evaluación de la Estabilidad de Taludes

La evaluación de las condiciones de estabilidad de las zonas críticas de la presa para los procesos constructivos, se realizó el análisis de estabilidad de taludes en condiciones estáticas y pseudoestáticas

A continuación, se expone el criterio de la United States Bureau of Reclamation (USBR), mismo que puede ser consultado en el Manual ampliamente consultado Design of Small Dams, tercera Edición, 1987 sobre taludes recomendados para presas de sección homogénea, con embalse de regulación o almacenamiento en función de la clasificación del suelo del cuerpo de Presa como se muestra en la tabla 2.13 , para este caso se tiene:

Case	Type	Purpose	Subject to rapid drawdown ¹	Soil classification ²	Upstream slope	Downstream slope
A	Homogeneous or modified-homogeneous	Detention or storage	No	GW,GP,SW,SP	Pervious, unsuitable	
				GC,GM,SC,SM	2.5:1	2:1
				CL,ML	3:1	2.5:1
				CH,MH	3.5:1	2.5:1
B	Modified-homogeneous	Storage	Yes	GW,GP,SW,SP	Pervious, unsuitable	
				GC,GM,SC,SM	3:1	2:1
				CL,ML	3.5:1	2.5:1
				CH,MH	4:1	2.5:1

TABLA 2.13 Pendientes recomendadas para pequeños terraplenes homogéneos hasta presas sobre cimientos estables.
Fuente: Adaptado de Lane (1955)

Para la verificación de taludes, la clasificación de suelos que compone el cuerpo del dique corresponde a GC - GM, dado que la presa se encontrará sujeta a desembalse rápido, nos encontramos en el caso B de donde los taludes recomendados, serían 3.0 H: 1V y 2.0 H: 1V correspondientemente. Del análisis de estabilidad de taludes para tres hipótesis como final de construcción, embalse lleno y desembalse rápido en casos estático, dinámico y considerando el cuadro anterior se adoptan los siguientes taludes, considerando que para el talud “aguas abajo” se cuenta con un espaldón de enrocado que aporta estabilidad a la presa:

- Inclinación del talud aguas arriba: 2.8 H: 1V
- Inclinación del talud aguas abajo: 2.0 H: 1V
- Inclinación del espaldón de enrocado: 2.3 H: 1V

2.3.3.2 Análisis y optimización geométrica

Para una evaluación de estabilidad por sismo es necesario conocer el coeficiente sísmico del área de estudio. La sección de análisis corresponde a aquella que presenta la altura de diseño de 23.5 metros, es decir en la cual se presenta la cota base de la presa.

En el siguiente cuadro se muestran los parámetros que intervienen en el análisis de estabilidad de los materiales como se puede ver en la siguiente **tabla** 2.14:

TABLA 2.14 Propiedades de materiales

Material	peso unitario [kN/m ³]	Cohesión [kN/m ²]	Angulo de fricción [°]
Relleno de Tierras	20.0	10	35
Terreno natural	20.0	10	35
Sustrato rocoso	24.0	150	40
Enrocado	20.0	0	45

Fuente: Elaboración propia

Hipótesis: Final de construcción Para los dos taludes (aguas arriba y aguas abajo de la presa) se analizarán las siguientes situaciones:

- Estático
- Pseudo-estático

Hipótesis: Embalse lleno espaldón ancho Para los dos taludes (aguas arriba y aguas abajo de la presa) se analizarán las siguientes situaciones:

- Estático
- Pseudo-estático

La hipótesis de esta de agua es de la cota máxima de embalse, garantizando la estabilidad en la presa incluso en ausencia de la Geomembrana aguas arriba, ver **tabla** 2.15

TABLA 2.15 Propiedades de materiales

Descripción	Valor
Volumen útil (m ³)	828000.00
Volumen Total (m ³)	920762.77
Cota de la base de la presa (msnm)	3997.00
Cota NAMIN (msnm)	4001.7
Cota NAMO (msnm)	4017.60
Cota NAME (msnm)	4017.95
Cota NAME (msnm)	4020.5

Fuente: Elaboración propia

Se muestra la **figura** 2.17 sección de análisis para inicio de la optimización geométrica con el software Slide

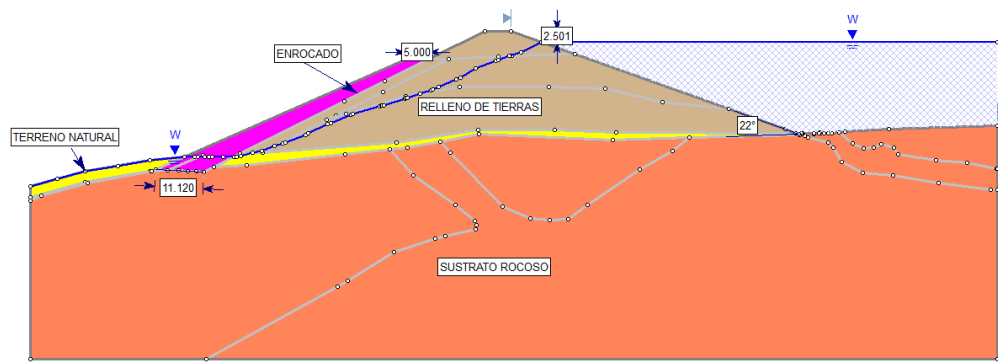


FIGURA 2.17 Sección de análisis para la optimización geométrica.
Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Parámetros hidrogeológicos obtenidos a partir de los ensayos de permeabilidad Lefranc y Lugeon.

En el presente capítulo se mencionan criterios matemáticos y analógicos. Se pretende estimar los parámetros hidrogeológicos partiendo del uso del software Aqtesol (Hydrosolv, 2008), que es una aproximación mediante la comparación de curvas características de forma visual, propuestas por distintos autores. Para ello se consideran: gráficos comparativos de diagnóstico, rasgos geológicos observados en campo (geometría del acuífero) y por último se usará el programa Aquifer Test en el estudio de los ensayos de Lugeon.

3.1.1 Parámetros hidrogeológicos obtenidos a partir de los ensayos Lefranc

se muestra la cantidad de los ensayos realizados en campo en los sondeos SP-1 y SP-2(L1-122), se presenta el código de los ensayos, la fecha de realización de cada uno de ellos, la hora inicial del ensayo, el tramo del bulbo del ensayo, y el coeficiente de permeabilidad.

3.1.1.1 Factor de permeabilidad k

Las pruebas de Lefranc para ser interpretadas se consideran como pruebas de bombeo, en el software se debe ingresar como un pumping test. Una vez ingresado toda la información que solicita el software se inicia a aproximar o ajustar la curva representada por los descensos (s) vs t/t' . Para nuestro caso se desarrollará con la información de los ensayos Lefranc en el sondeo SP-1 y SP-2 (L1-122), ver tablas [3.1](#) y [3.2](#)

DATOS RELEVANTES DE LOS ENSAYOS DE LEFRANC EN EL SONDAJE SP-1						
Código Nº	Fecha	Hora	Tramo		Bulbo de ensayo (m)	Coeficiente de Permeab. (cm/s)
			Desde (m)	Hasta (m)		
LCV-1	23/11/2020	18:00	0.60	1.20	0.60	9.16 E-4

TABLA 3.1 Resultados de los ensayos Lefranc en el sonduje SP-1
Fuente: Elaboración propia

TABLA 3.2 Propiedades de materiales

Descripción	Valor
Volumen útil (m3)	828000.00
Volumen Total (m3)	920762.77
Cota de la base de la presa (msnm)	3997.00
Cota NAMIN (msnm)	4001.7
Cota NAMO (msnm)	4017.60
Cota NAME (msnm)	4017.95
Cota NAME (msnm)	4020.5

Fuente: Elaboración propia

Interpretación LCV-1 (SP-1): Según la clasificación de Terzagui K. y Peck, 1980. El tramo ensayado es “poco permeable” como se muestra en la tabla 3.3

DATOS RELEVANTES DE LOS ENSAYOS DE LEFRANC EN EL SONDAJE SP-2 (L1-122)						
Código Nº	Fecha	Hora	Tramo		Bulbo de ensayo (m)	Coeficiente de Permeab. (cm/s)
			Desde (m)	Hasta (m)		
LCV-1	24/11/2020	16:30	1.05	3.60	2.55	6.03 E-7

TABLA 3.3 Resultados de los ensayos Lefranc en el sonduje SP-2 (L1-122)
Fuente: Elaboración propia

Interpretación LCV-1 (SP-2): Según la clasificación de Terzagui K. y Peck, 1980. El tramo ensayado es “poco impermeable”.

3.1.1.2 Coeficiente de almacenamiento

Se pueden ver en las figuras 3.1 y 3.2

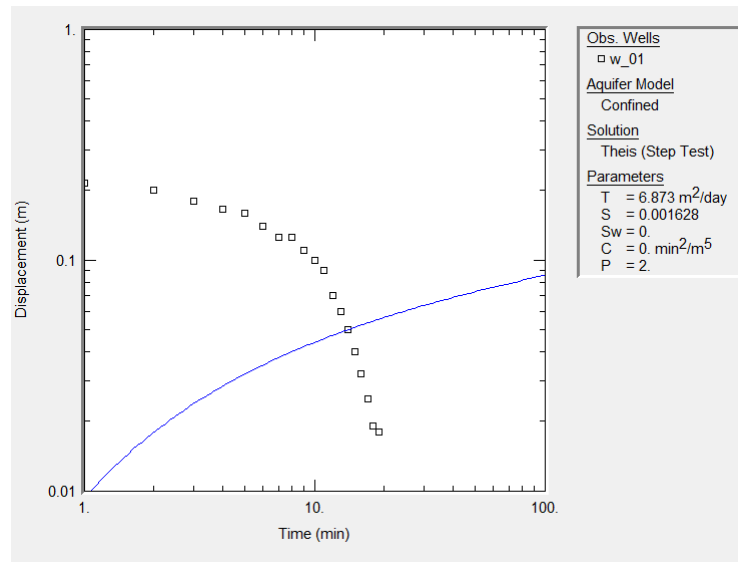


FIGURA 3.1 Coeficiente de almacenamiento para LCV-1 (SP-1)
Fuente: Elaboración propia

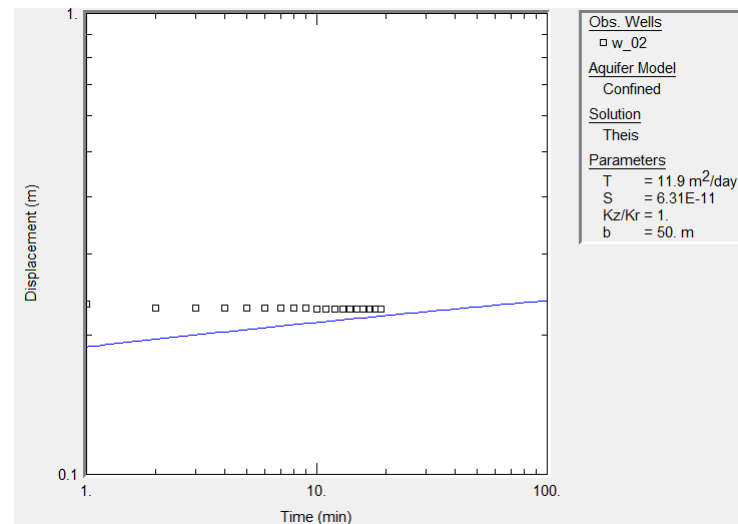


FIGURA 3.2 Coeficiente de almacenamiento para LCV-1 (SP-2)
Fuente: Elaboración propia

Interpretación: Los valores del coeficiente de almacenamiento obtenidos de LCV-1 (SP-1) y LCV-1 (SP-2), son 0.001628 y 6.31E-11 los cuáles indican valores adecuados. El coeficiente de almacenamiento por liberación elástica S es muy pequeño en relación con el coeficiente de almacenamiento por desaturación o porosidad eficaz, por ello se suele asumir, sin cometer errores significativos.

3.1.1.3 Transmisividad

Se sabe que la transmisividad se calcula mediante la siguiente ecuación: $T = k \cdot b$

Por lo tanto para LCV-1 (SP-1)

$$T = 9.16E-04 \cdot 1.20 = 0.001992$$

$$T = 6.03E-07 \cdot 3.60 = 0.00000217$$

3.1.2 Parámetros hidrogeológicos (factor de permeabilidad k), obtenidos a partir del ensayo de tipo Lugeon

Los ensayos realizados siguieron la metodología que se describe a continuación. Por otro lado, los resultados de cada ensayo, cálculo del coeficiente de permeabilidad y de la Unidad de Lugeon (U.L.) para los sondajes SDP-01 (L1-123), SDP-02 (L1-103) y SDP-03 (L1-65), se presenta el código de los ensayos, la fecha de realización de cada uno de ellos, la hora de inicio del ensayo, el tramo del bulbo del ensayo, presión manométrica del ensayo, la absorción, coeficiente de permeabilidad secundario y la Unidad de Lugeon (U.L.).

3.1.2.1 Factor de permeabilidad k

Se muestra en la tabla 3.4

DATOS RELEVANTES DE LOS ENSAYOS DE LUGEON EN EL SONDAJE SDP-01 (L1-123)									
Código Nº	Fecha	Hora	Tramo		Bulbo de ensayo (m)	Presión Manométrica del Ensayo Seleccionado (bar)	Absorción - Consumo - Gasto Seleccionado (L/min/m)	Coeficiente de Permeab. Seleccionado (cm/s)	Unidad de Lugeon Seleccionado (U.L.)
			Desde (m)	Hasta (m)					
LU-01	21/12/2020	13:00	3.50	8.50	5.00	0.80	0.10	1.57 E-5	1.21
LU-02	21/12/2020	17:00	6.00	8.50	2.50	1.00	0.45	4.86 E-5	4.35
LU-03	3/01/2021	10:30	10.45	14.85	4.40	2.20	0.49	2.80 E-5	2.21
LU-04	3/01/2021	14:00	14.85	19.15	4.30	2.00	0.62	3.88 E-5	3.07
LU-05	10/01/2021	07:00	20.00	25.00	5.00	2.80	0.16	7.36 E-6	0.57
LU-06	10/01/2021	14:00	28.15	31.10	2.95	4.80	0.18	4.37 E-6	0.38

TABLA 3.4 Resultados de los ensayos Lugeon en el sondaje SDP-01 (L1-123)

Fuente: Elaboración propia

Interpretación de los ensayos:

- LU-01(SDP-01): El resultado es 1.21 U.L (Flujo turbulento), entonces según Houlsby A.C., 1976 el bulbo de ensayo en el macizo rocoso es “favorable” por lo tanto no requiere de inyecciones de cemento. Según Olalla y Sopena, 1991 el macizo rocoso es “impermeable”.
- LU-02(SDP-01): El resultado es 4.35 U.L (Flujo tipo dilatación), entonces según Houlsby A.C., 1976 el bulbo de ensayo en el macizo rocoso es “desfavorable” por lo tanto si requiere de inyecciones de cemento. Según Olalla y Sopena, 1991 el macizo rocoso es “permeable”.
- LU-03(SDP-01): El resultado es 2.21 U.L (Flujo turbulento), entonces según Houlsby A.C., 1976 el bulbo de ensayo en el macizo rocoso es “favorable” por lo tanto no requiere de inyecciones de cemento. Según Olalla y Sopena, 1991 el macizo rocoso es

“impermeable”.

- LU-04(SDP-01): El resultado es 3.07 U.L (Flujo turbulento), entonces según Houlsby A.C., 1976 el bulbo de ensayo en el macizo rocoso es “desfavorable” por lo tanto si requiere de inyecciones de cemento. Según Olalla y Sopeña, 1991 el macizo rocoso es “permeable”.
- LU-04(SDP-01): El resultado es 3.07 U.L (Flujo turbulento), entonces según Houlsby A.C., 1976 el bulbo de ensayo en el macizo rocoso es “desfavorable” por lo tanto si requiere de inyecciones de cemento. Según Olalla y Sopeña, 1991 el macizo rocoso es “permeable”.
- LU-06(SDP-01): El resultado es 0.38 U.L (Flujo turbulento), entonces según Houlsby A.C., 1976 el bulbo de ensayo en el macizo rocoso es “muy favorable” por lo tanto no requiere de inyecciones de cemento. Según Olalla y Sopeña, 1991 el macizo rocoso es “muy impermeable”.

Se muestra en la tabla **3.5**

DATOS RELEVANTES DE LOS ENSAYOS DE LUGEON EN EL SONDAJE SDP-02 (L1-103)									
Código Nº	Fecha	Hora	Tramo		Bulbo de ensayo (m)	Presión Manométrica del Ensayo Seleccionado (bar)	Absorción - Consumo - Gasto Seleccionado (L/min/m)	Coeficiente de Permeab. Seleccionado (cm/s)	Unidad de Lugeon Seleccionado (U.L.)
			Desde (m)	Hasta (m)					
LU-01	11/01/2021	16:00	2.00	5.00	3.00	0.40	0.03	6.55 E-6	0.56

TABLA 3.5 Resultados de los ensayos Lugeon en el sondaje SDP-02 (L1-103)
Fuente: Elaboración propia

Interpretación de los ensayos: LU-01(SDP-02): El resultado es 0.56 U.L (Flujo tipo dilatación), entonces según Houlsby A.C., 1976 el bulbo de ensayo en el macizo rocoso es “muy favorable” por lo tanto no requiere de inyecciones de cemento. Según Olalla y Sopeña, 1991 el macizo rocoso es “muy impermeable” ver tabla **3.6**.

DATOS RELEVANTES DE LOS ENSAYOS DE LUGEON EN EL SONDAJE SDP-02 (L1-103)									
Código Nº	Fecha	Hora	Tramo		Bulbo de ensayo (m)	Presión Manométrica del Ensayo Seleccionado (bar)	Absorción - Consumo - Gasto Seleccionado (L/min/m)	Coeficiente de Permeab. Seleccionado (cm/s)	Unidad de Lugeon Seleccionado (U.L.)
			Desde (m)	Hasta (m)					
LU-01	01/02/2021	09:00	5.00	10.00	5.00	1.50	0.53	4.45 E-5	3.42
LU-02	01/02/2021	11:00	10.00	15.00	5.00	2.20	0.42	2.42 E-5	1.86
LU-03	01/02/2021	13:00	15.00	20.00	5.00	2.00	0.46	2.93 E-5	2.25
LU-04	01/02/2021	14:00	20.00	25.00	5.00	2.80	0.19	8.79 E-6	0.68
LU-05	01/02/2021	15:30	25.00	30.00	5.00	4.80	0.17	4.64 E-6	0.36
LU-06	01/02/2021	17:30	30.00	35.00	5.00	4.50	0.14	3.96 E-6	0.30

TABLA 3.6 Resultados de los ensayos Lugeon en el sondaje SDP-03 (L1-65)
Fuente: Elaboración propia

Interpretación de los ensayos:

- LU-01(SDP-03): El resultado es 3.42 U.L (Flujo tipo dilación), entonces según Houlsby A.C., 1976 el bulbo de ensayo en el macizo rocoso es “desfavorable” por lo tanto si requiere de inyecciones de cemento. Según Olalla y Sopeña, 1991 el macizo rocoso es “permeable”.
- LU-02(SDP-03): El resultado es 1.86 U.L (Flujo turbulento), entonces según Houlsby A.C., 1976 el bulbo de ensayo en el macizo rocoso es “favorable” por lo tanto no requiere de inyecciones de cemento. Según Olalla y Sopeña, 1991 el macizo rocoso es “impermeable”.
- LU-03(SDP-03): El resultado es 2.25 U.L (Flujo laminar), entonces según Houlsby A.C., 1976 el bulbo de ensayo en el macizo rocoso es “favorable” por lo tanto no requiere de inyecciones de cemento. Según Olalla y Sopeña, 1991 el macizo rocoso es “impermeable”.
- LU-04(SDP-03): El resultado es 0.68 U.L (Flujo laminar), entonces según Houlsby A.C., 1976 el bulbo de ensayo en el macizo rocoso es “favorable” por lo tanto no requiere de inyecciones de cemento. Según Olalla y Sopeña, 1991 el macizo rocoso es “muy permeable”.
- LU-05(SDP-03): El resultado es 0.36 U.L (Flujo laminar), entonces según Houlsby A.C., 1976 el bulbo de ensayo en el macizo rocoso es “muy favorable” por lo tanto no requiere de inyecciones de cemento. Según Olalla y Sopeña, 1991 el macizo rocoso es “muy impermeable”.
- LU-06(SDP-03): El resultado es 0.30 U.L (Flujo laminar), entonces según Houlsby A.C., 1976 el bulbo de ensayo en el macizo rocoso es “muy favorable” por lo tanto no requiere de inyecciones de cemento. Según Olalla y Sopeña, 1991 el macizo rocoso es “muy impermeable”.

3.1.2.2 Coeficiente de almacenamiento

Interpretación: Los coeficientes de almacenamiento para este ensayo logran tener valores asumidos.

3.1.2.3 Transmisividad

Se sabe que la transmisividad se calcula mediante la siguiente ecuación: $T = k.b$

Por lo tanto para

LU-01(SDP-01)

$$T = 1.57E-05 \cdot 8.50 = 0.00013345$$

LU-01(SDP-02)

$$T = 4.86E-05 \cdot 8.50 = 0.0004131$$

LU-01(SDP-03)

$$T = 2.80E-05 \cdot 14.85 = 0.0004158$$

LU-01(SDP-04)

$$T = 3.88E-05 \cdot 19.5 = 0.0007566$$

LU-01(SDP-05)

$$T = 7.36E-06 \cdot 25 = 0.000184$$

LU-01(SDP-06)

$$T = 4.37E-06 \cdot 31.1 = 0.000135907$$

LU-01(SDP-02)

$$T = 6.55E-06 \cdot 5 = 0.00003275$$

LU-01(SDP-03)

$$T = 4.45E-05 \cdot 10 = 0.000445$$

LU-02(SDP-03)

$$T = 2.42E-05 \cdot 15 = 0.000363$$

LU-03(SDP-03)

$$T = 2.93E-05 \cdot 20 = 0.000586$$

LU-04(SDP-03)

$$T = 8.79E-06 \cdot 25 = 0.00021975$$

LU-05(SDP-03)

$$T = 4.64E-06 \cdot 30 = 0.001992$$

LU-06(SDP-03)

$$T = 3.96E-06 \cdot 35 = 0.0001386$$

En la tabla 3.7 y 3.8 se muestra el resumen de los parámetros hidrogeológicos calculadas en las pruebas de Lefranc y Lugeon.

Código del ensayo	tipo de prueba	Prof. Intervalo de prueba		Longitud intervalo de prueba	espesor saturado del acuífero	Transmisividad	Conductividad hidráulica k		Coefic. De almacena.	Método de análisis
		Tope(m)	Fondo(m)	(m)	(m)	(m2/día)	(m/día)	(cm/s)		
LCV-1 (SP-1)	Lefranc	0.6	1.2	0.6	1.2	0.001992	7.91E-02	9.16E-04	0.001628	Theis
LCV-1 (SP-2)	Lefranc	1.05	3.6	2.55	3.6	0.00000217	5.18E-05	6.00E-07	6.31E-11	Theis

TABLA 3.7 Resumen de parámetros hidrogeológicos del ensayo Lefranc
Fuente: Elaboración propia

Código del ensayo	tipo de prueba		Prof. Promedio (m)	long. Intervalo de prueba (m)	Conductividad hidráulica k		Transmisividad (m ² /día)	Coefic. De almacena	Tipo de comportamiento Houlsby (1976)
	Tope(m)	Fondo(m)			(m/día)	(cm/s)			
SDP-01 LU-01	3.5	8.5	5	8.50	1.36E-03	1.57E-05	0.01153008	0.001628	TURBULENTO
SDP-01 LU-02	6	8.5	2.5	8.5	4.20E-03	4.86E-05	0.03569184	0.001628	DILATACIÓN
SDP-01 LU-03	10.45	14.85	4.4	14.85	2.42E-03	2.80E-05	0.03592512	0.001628	TURBULENTO
SDP-01 LU-04	14.85	19.15	4.3	19.5	3.35E-03	3.88E-05	0.06537024	0.001628	TURBULENTO
SDP-01 LU-05	20	25	5	25	6.36E-04	7.36E-06	0.0158976	0.001628	DILATACIÓN
SDP-01 LU-06	28.15	31.1	2.95	31.1	3.78E-04	4.37E-06	0.011742365	0.001628	TURBULENTO
SDP-02 LU-01	2.00	5.00	3	5	5.66E-04	6.55E-06	0.0028296	0.001628	DILATACIÓN
SDP-03 LU-01	5	10.00	5	10	3.84E-03	4.45E-05	0.038448	0.001628	DILATACIÓN
SDP-03 LU-02	10	15.00	5	15	2.09E-03	2.42E-05	0.0313632	0.001628	TURBULENTO
SDP-03 LU-03	15	20.00	5	20	2.53E-03	2.93E-05	0.0506304	0.001628	LAMINAR
SDP-03 LU-04	20	25.00	5	25	7.59E-04	8.79E-06	0.0189864	0.001628	LAMINAR
SDP-03 LU-05	25	30.00	5	30	4.01E-04	4.64E-06	0.01202688	0.001628	LAMINAR
SDP-03 LU-06	30	35.00	5	35	3.42E-04	3.96E-06	0.01197504	0.001628	LAMINAR

TABLA 3.8 Resumen de parámetros hidrogeológicos del ensayo Lugeon
Fuente: Elaboración propia

3.1.3 Discusiones de los parámetros hidrogeológicos obtenidos a partir de los ensayos de tipo Lefranc y Lugeon.

Del análisis en las pruebas de Lugeon y Lefranc para la obtención de los parámetros hidrogeológicos a partir de los ensayos mencionados se menciona que los factores de permeabilidad k obtenidos están basados en el criterio Houlsby (1976), es una rutina relativamente simple basada en el cálculo e interpretación del ensayo de Lugeon y que logra ser usado en el tratamiento de las fundaciones de presas, consistiendo en el cálculo de los valores del ensayo aumentando y disminuyendo las presiones como se hizo en el presente trabajo de investigación. El coeficiente de almacenamiento según González et al. (2002), los acuíferos confinados se encuentran estructuralmente situados entre capas impermeables, donde el nivel piezométrico está por encima de la cota del techo del material permeable. En Herrera (2019), en su investigación indica que los valores más representativos del parámetro transmisividad es cuando el valor de S/S' intercepta al eje del tiempo en la unidad o que logra aproximarse a ella, entonces en nuestro caso logramos optar por el valor de 0.001628m²/día, el método de aproximación para las pruebas fueron la de Theis. también que la transmisividad es un parámetro fácil de obtener teniendo como datos el factor de permeabilidad k y b como espesor del acuífero, obteniendo el resultado del valor de la transmisividad como producto de los datos ya mencionados.

3.2 Ecuación de Laplace en la determinación del flujo de infiltración

El análisis de filtración se ha realizado en el software GeoStudio aplicado en Seep/W, a través del modelo de elementos finitos en el resultado de Laplace en situación de embalse lleno, con protección de geomembrana únicamente en el talud aguas arriba, se ha considerado el tratamiento de impermeabilización en el vaso y a embalse lleno con tratamiento geotécnico, blanquet o mandil de impermeabilización en el vaso.

También mencionar que se ha considerado pantalla de inyecciones con un factor de impermeabilidad mínimo, ya que no aporta significancia en la reducción de las filtraciones. Así mismo como complemento, se muestran los resultados obtenidos del análisis de redes de flujo, velocidad de descarga y vectores de flujo. Las filtraciones a través de la presa y sus cimentaciones se estimó en base a los resultados que se tuvieron por metro lineal en la presa. Finalmente se comprueba el volumen de pérdidas de agua por infiltración a través de la presa, fondo y contorno del embalse, y se compara con los valores asumidos, para confirmar la capacidad útil del embalse, tal que a la cota del NAMO 4017.6 m.s.n.m. se disponga de volumen de almacenamiento además para el volumen muerto y las pérdidas por infiltración y evaporación.

3.2.1 Solución de la ecuación de Laplace con elementos finitos en el software GeoStudio

Se muestra la figura 3.3, que muestra las condiciones de Análisis, caso Protección de Geomembrana únicamente en el talud Aguas Arriba para el cálculo de Filtración – presa Palcca.

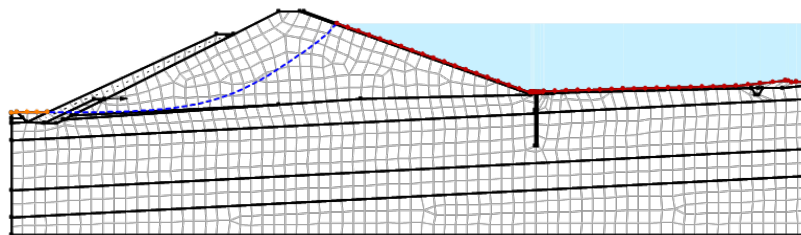


FIGURA 3.3 Condiciones de Análisis, caso Protección de Geomembrana únicamente en el talud Aguas Arriba para el cálculo de Filtración – presa Palcca
Fuente: Elaboración propia

Se muestra la figura 3.4, la red de Flujo - Equipotenciales, caso Protección de Geomembrana únicamente en el talud Aguas Arriba, cálculo de Filtración – presa Palcca.

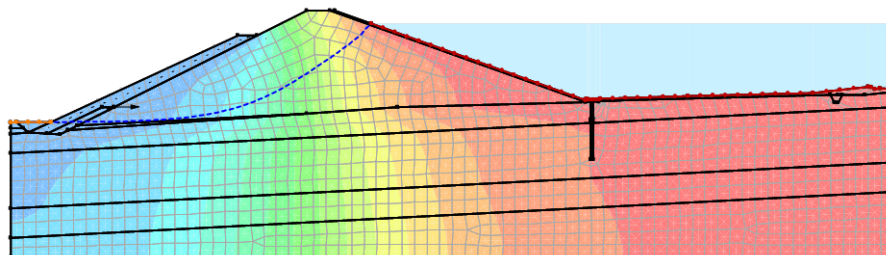


FIGURA 3.4 Red de Flujo - Equipotenciales, caso Protección de Geomembrana únicamente en el talud Aguas Arriba, cálculo de Filtración – presa Palcca
Fuente: Elaboración propia

Se muestra la figura 3.5, la red de Flujo - Equipotenciales, caso Protección de

Geomembrana únicamente en el talud Aguas Arriba, cálculo de Filtración – presa Pallica.

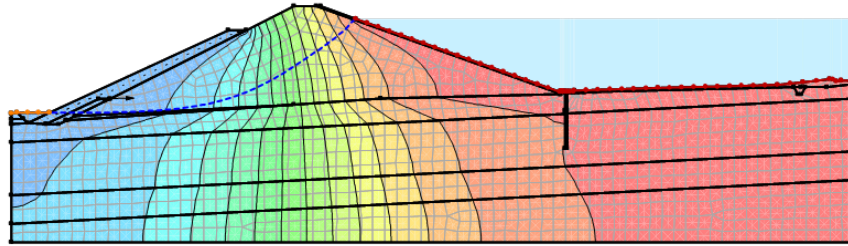


FIGURA 3.5 Red de Flujo - Equipotenciales, caso Protección de Geomembrana únicamente en el talud Aguas Arriba, cálculo de Filtración – presa Pallica

Fuente: Elaboración propia

Se muestra la figura 3.6, la red de Flujo - Equipotenciales, caso Protección de Geomembrana únicamente en el talud Aguas Arriba, cálculo de Filtración – presa Pallica.

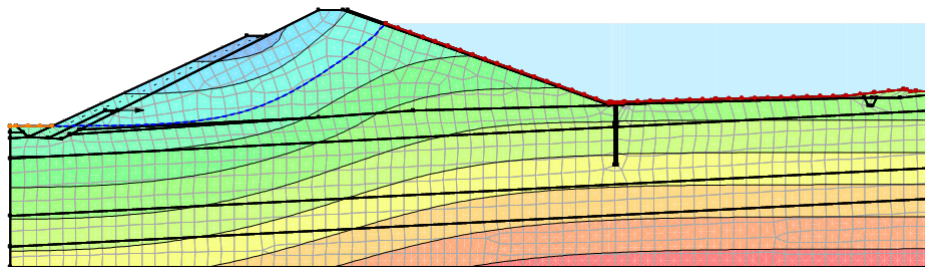


FIGURA 3.6 Red de Flujo – Caudal de Filtración, caso Protección de Geomembrana únicamente en el talud Aguas Arriba, cálculo de Filtración

Fuente: Elaboración propia

Se muestra la figura 3.7, el volumen de agua en filtración en el talud aguas abajo.

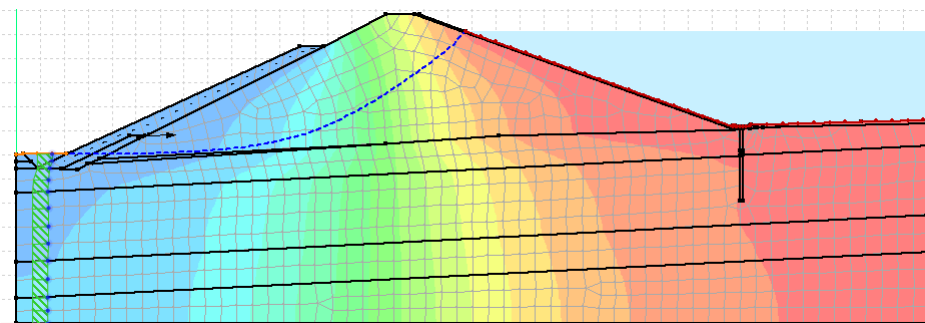


FIGURA 3.7 Caudal de filtración en el talud aguas abajo

Fuente: Elaboración propia

Se muestra la figura 3.8, gráfico de la tasa de consumo de agua versus tiempo.

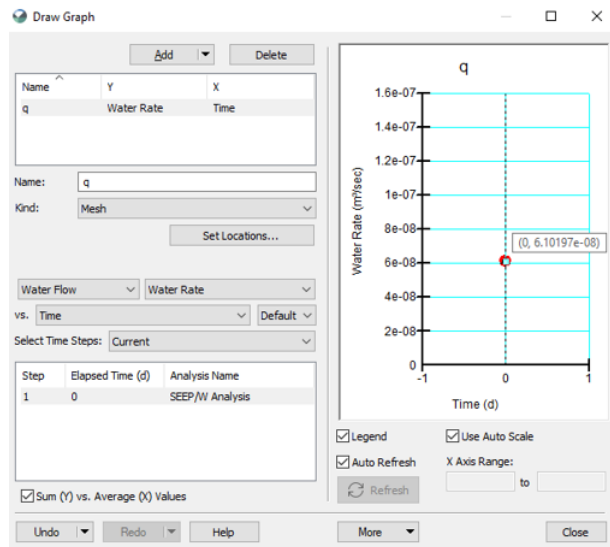


FIGURA 3.8 Gráfico de la tasa de consumo de agua versus tiempo
Fuente: Elaboración propia

Se muestra la figura 3.9, gráfico de la tasa de consumo de agua versus tiempo.

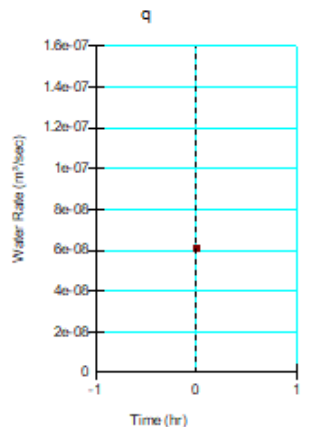


FIGURA 3.9 Gráfico de la tasa de consumo de agua versus tiempo
Fuente: Elaboración propia

se muestra la tabla 3.9, volumen de agua de filtración en el talud aguas abajo.

TABLA 3.9 Caudal de infiltración en el talud aguas abajo

tiempo (d)	tasa de agua (m³/sec)
0	6.1019715e-08

Fuente: Elaboración del investigador

se muestra en la figura 3.10, caudal de filtración en el centro de la presa.

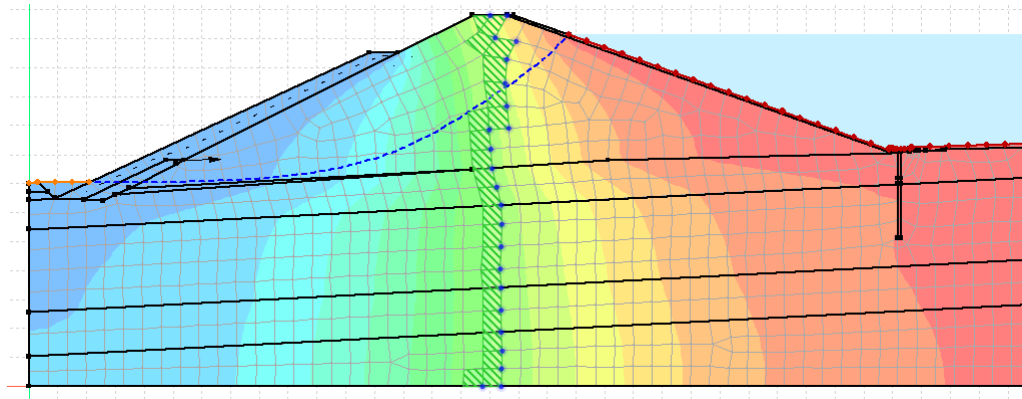


FIGURA 3.10 Caudal de filtración en el centro de la presa
Fuente: Elaboración propia

se puede ver en la figura [3.11](#), gráfico de la tasa en consumo de agua versus tiempo.

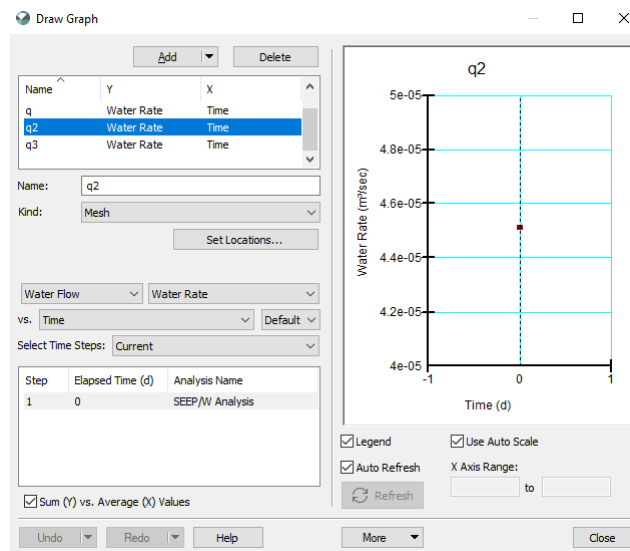


FIGURA 3.11 Gráfico de la tasa de consumo de agua versus tiempo
Fuente: Elaboración propia

Se muestra la figura [3.12](#), gráfico de la tasa de consumo de agua versus tiempo.

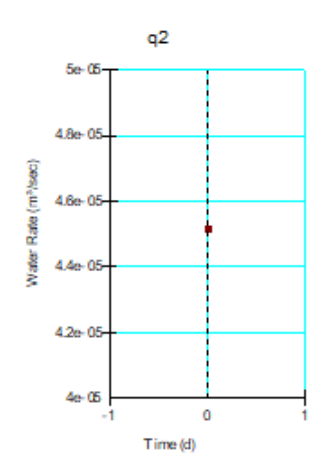


FIGURA 3.12 Gráfico de la tasa de consumo de agua versus tiempo
Fuente: Elaboración propia

Se muestra la tabla 3.10, Caudal de infiltración en el centro de la presa.

TABLA 3.10 Caudal de infiltración en el centro de la presa

tiempo (d)	tasa de agua (m3/sec)
0	4.5128137e-06

Fuente: Elaboración propia

Se muestra la figura 3.13, caudal de filtración en el talud aguas arriba.

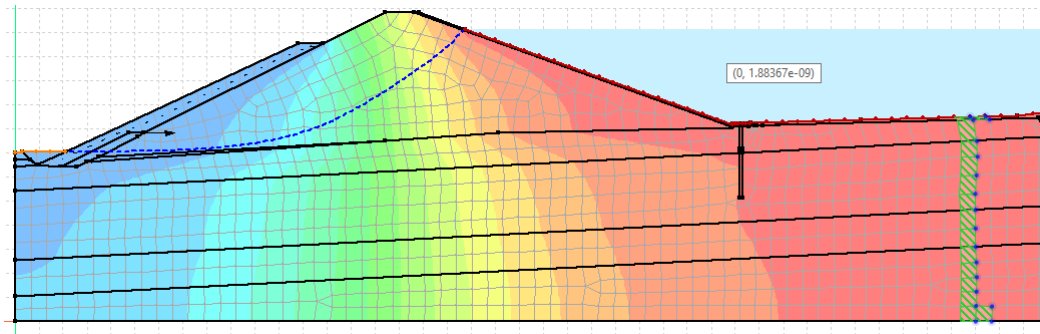


FIGURA 3.13 Caudal de filtración en el talud aguas arriba

Fuente: Elaboración propia

Se muestra la figura 3.14, gráfico de la tasa de consumo de agua versus tiempo.

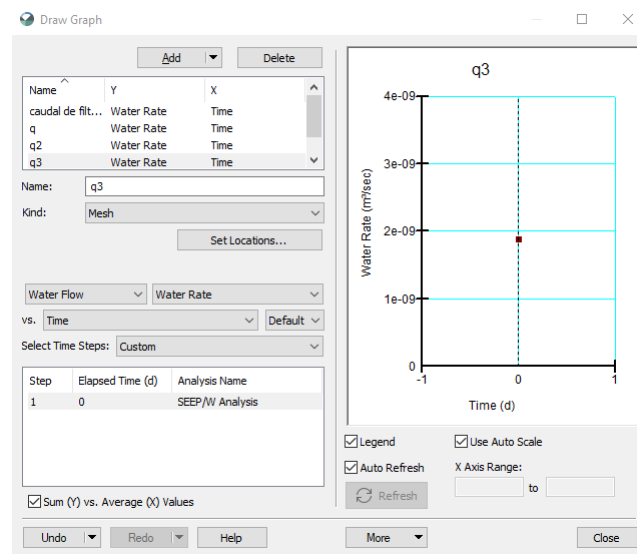


FIGURA 3.14 Gráfico de la tasa de consumo de agua versus tiempo

Fuente: Elaboración propia

Se muestra la figura 3.15, Caudal de infiltración en el talud aguas arriba.

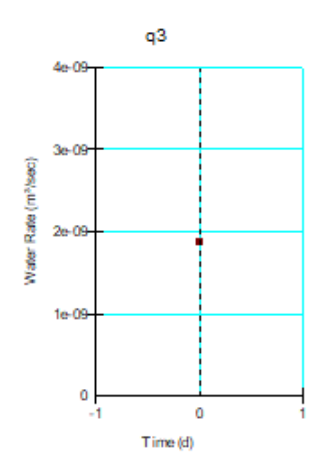


FIGURA 3.15 Gráfico de la tasa de consumo de agua versus tiempo
Fuente: Elaboración propia

Se muestra la tabla 3.11, gráfico de la tasa de consumo de agua versus tiempo.

TABLA 3.11 Caudal de infiltración en el talud aguas arriba

tiempo (d)	tasa de agua (m3/sec)
0	1.8836692e-09

Fuente: Elaboración propia

Se muestra la tabla 3.12, volúmenes anuales de pérdidas por filtración en función de Longitud blanket.

Caso	Descripción	Caudal filtración (m3/sec/m)	Caudal filtración (m3/día/m)	L(m)	Qunit*365 *L(m3)
1	talud aguas abajo	6.10E-08	5.27E-03	319	613.86
2	centro de la presa	4.51E-06	3.90E-01	319	45398.83
3	Geomembrana en el talud aguas arriba	1.88E-09	1.63E-04	319	18.95

TABLA 3.12 Volúmenes anuales de pérdidas por filtración con blanket
Fuente: Elaboración propia

3.2.2 Discusión sobre la ecuación de Laplace en el software GeoStudio

Tacco (2018), explica que de esta manera el método de elementos finitos, logra verse como una aplicación rápida de los método de Rayleigh-Ritz o residuo pesado; las funciones de la aproximación son vistas de forma general, como los polinomios y coeficientes no definidos como valores en la respuesta de un número ilimitado de puntos llamados nodos. También en Gonzales y Peláez (2017), donde se menciona sobre el “Manual de pequeñas presas de tierra” (Bureau of Reclamation), donde se explica sobre los ensayos en mecánica de suelos, que son de importancia en el logro de características necesarias para tener una adecuada cimentación en la presa. Menciona que no se necesitan soluciones para las filtraciones porque son muy reducidas. Ello se debe a que la capa superficial del suelo

considerado es prácticamente impermeable ya que el núcleo tiene propiedades hidráulicas similares a ese estrato. Entonces, este es el motivo de pasar de unas filtraciones que comprometían el futuro de la presa en el eje anterior de Ingeniería (2011). Aquí Velazquez (2016), se menciona que elaboró el estudio de la filtración en presas de este tipo, para cuál también usó el programa GeoStudio 2018. El estudiador hizo diversos ejemplos con problemas matemáticos hechos con el programa (Seep/W) para presas de materiales térreos, donde se logró determinar la línea de filtración. En (Bureau of Reclamation), se dice que para estudiar la filtración en la presa primero se tendrá que saber sobre el agua que pasa a través de la presa, mencionando que logra producir erosión interna.

3.3 Modelación numérica computacional con el software Slide y su diferenciación con los ensayos Lefranc y Lugeón

La principal diferencia entre la modelación diseñada en el software Slide con los ensayos Lefranc y Lugeon radica en que la primera servirá para realizar el análisis de estabilidad de taludes y hallar los factores de seguridad en la presa y que de la segunda se obtendrán los factores de permeabilidad k , que servirán para la modelación en el software Slide.

3.3.1 Modelación numérica computacional en el software Slide

Por consiguiente se mostrará el análisis y optimización geométrica en la presa en el software Slide en la figura y tabla respectivamente 3.16 y 3.13.

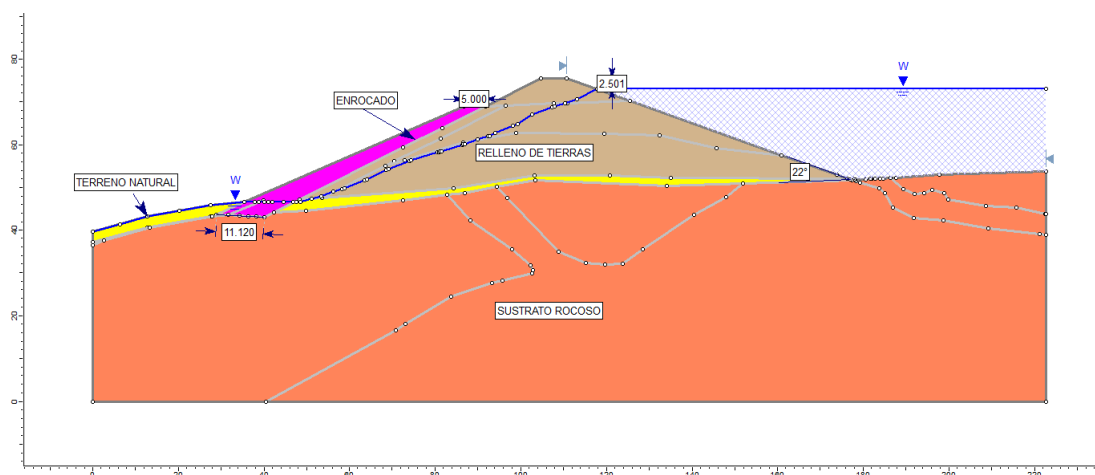


FIGURA 3.16 Sección de análisis para inicio de la optimización geométrica
Fuente: Elaboración propia

Nombre	Número	Tramo de Ensayo (m)	Unidad Geológica - Geotécnica	SUCS	Nspt	Compacidad
Perforación	Ensayo					
P-01	SPT-01	2.00 – 2.45	Suelo antrópico de relleno 2 (Ant-rep-2)	GP	43	Denso
	SPT-02	5.00 – 5.45			48	Denso
	SPT-03	8.00 – 8.45			Rechazo	Muy Denso
	SPT-04	10.00 – 10.45	Suelo antrópico de relleno 1 (Ant-rep-1)		36	Denso
	SPT-05	14.00 – 14.45			Rechazo	Muy Denso

TABLA 3.13 Resumen de los ensayos de penetración en la presa.
Fuente: Elaboración propia

Hipótesis: final de construcción

Para los dos taludes (aguas arriba y aguas abajo de la presa) se analizarán las siguientes situaciones:

- Estático
- Pseudo-estático

Se muestra la figura 3.17, estabilidad física – aguas abajo - espaldón ancho.

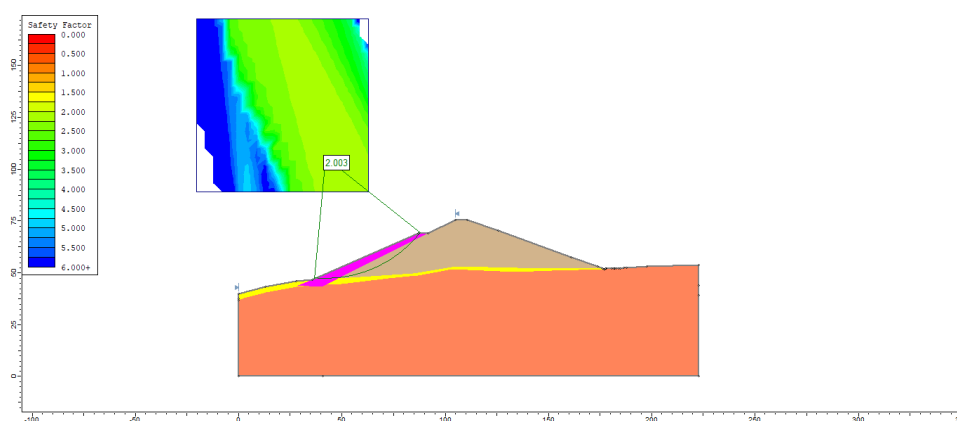


FIGURA 3.17 Estabilidad física – aguas abajo - espaldón ancho
Fuente: Factor de seguridad, hipótesis: final de construcción – estático F.S. = 2.003 > 1.5

Se muestra la figura 3.18, estabilidad física – aguas abajo - espaldón ancho.

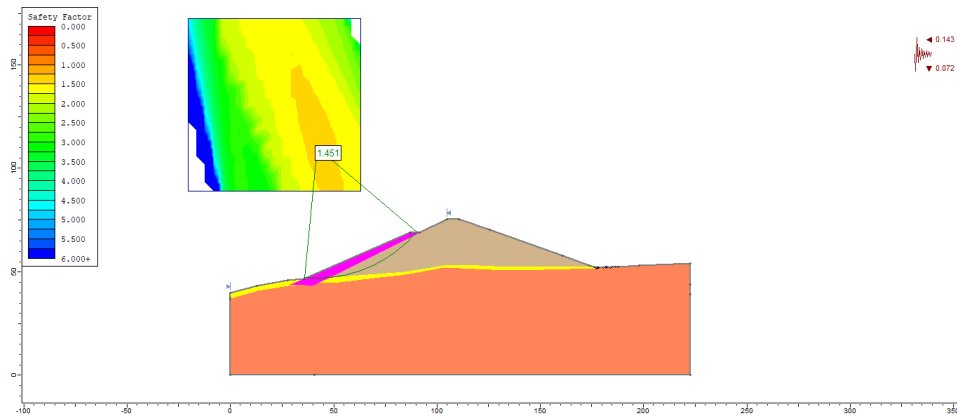


FIGURA 3.18 Estabilidad física – aguas abajo - espaldón ancho
Fuente: Factor de seguridad, hipótesis: Final de construcción pseudoestático F.S. = 1.451 > 1.3

Estabilidad física – aguas arriba - Espaldón ancho

Se muestra la figura [3.19](#), estabilidad física – aguas arriba - espaldón ancho.

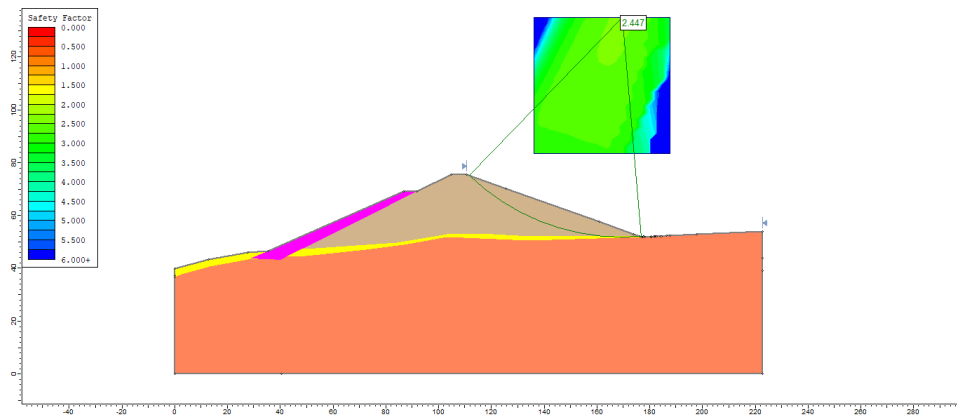


FIGURA 3.19 Estabilidad física – aguas arriba - espaldón ancho
Fuente: Factor de seguridad, hipótesis: final de construcción – estático F.S. = 2.447 > 1.5

Se muestra la figura [3.20](#), estabilidad física – aguas arriba - espaldón ancho.

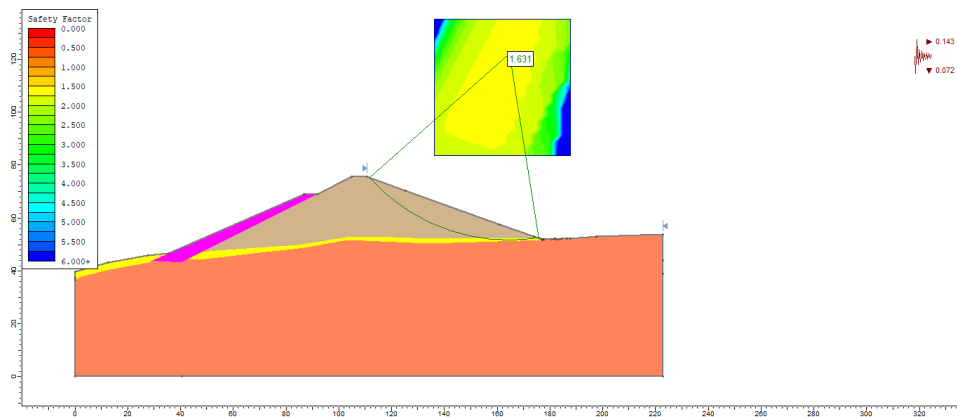


FIGURA 3.20 Estabilidad física – aguas arriba - espaldón ancho
Fuente: Factor de seguridad, hipótesis: final de construcción pseudoestático F.S. = 1.631 > 1.3

Estabilidad física – aguas abajo espaldón delgado

Se muestra la figura [3.21](#), estabilidad física – aguas abajo - espaldón delgado.

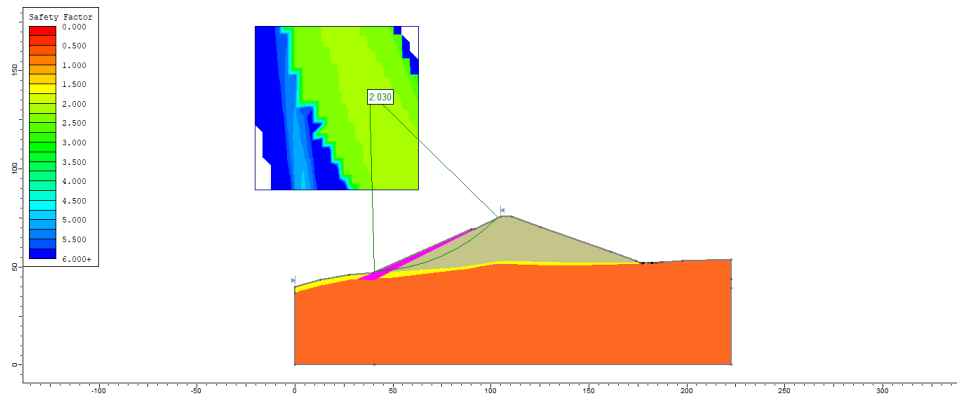


FIGURA 3.21 Estabilidad física – aguas abajo - espaldón delgado
Fuente: Factor de seguridad, hipótesis: final de construcción – estático F.S. = 2.023 < 2.11 F.S. = 2.03 > 1.5

Se muestra la figura 3.22, estabilidad física – aguas abajo - espaldón delgado.

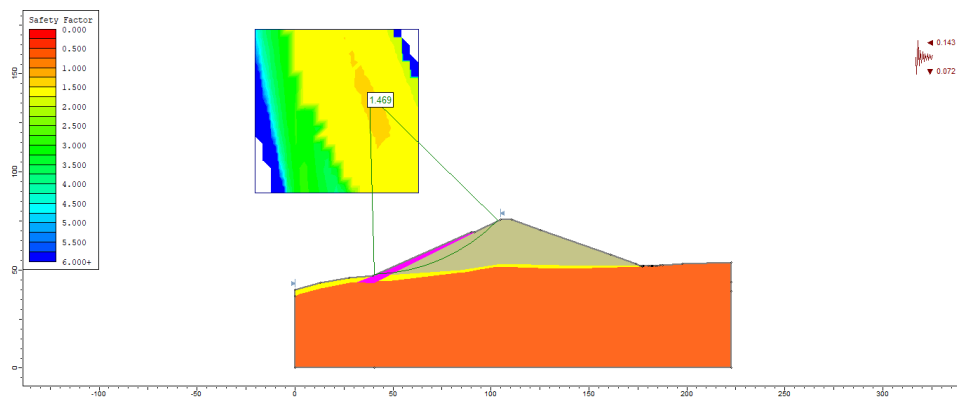


FIGURA 3.22 Estabilidad física – aguas abajo - espaldón delgado
Fuente: Factor de seguridad, hipótesis: final de construcción – pseudoestático F.S. = 1.469 < 1.52 F.S. = 1.469 > 1.3

Estabilidad física – aguas arriba espaldón delgado

Se muestra la figura 3.23, estabilidad física – aguas arriba - espaldón delgado.

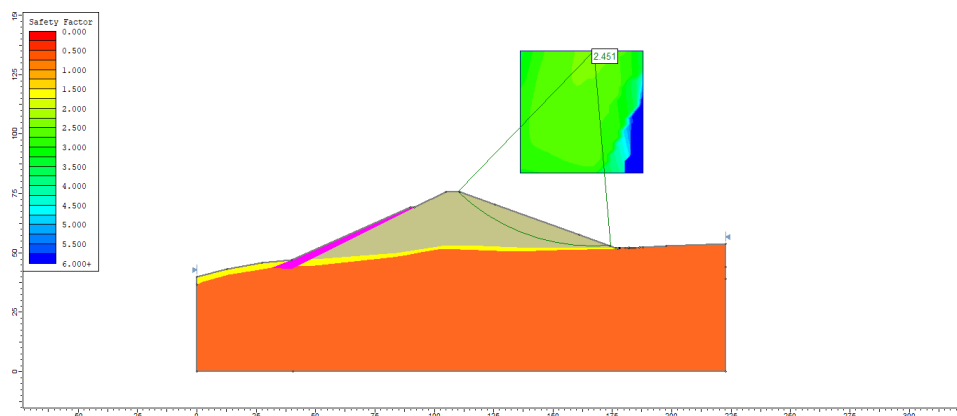


FIGURA 3.23 Estabilidad física – aguas arriba - espaldón delgado
Fuente: Factor de seguridad, hipótesis: final de construcción – estático F.S. = 2.451 > 1.5

Se muestra la figura 3.24, estabilidad física – aguas arriba - espaldón delgado.

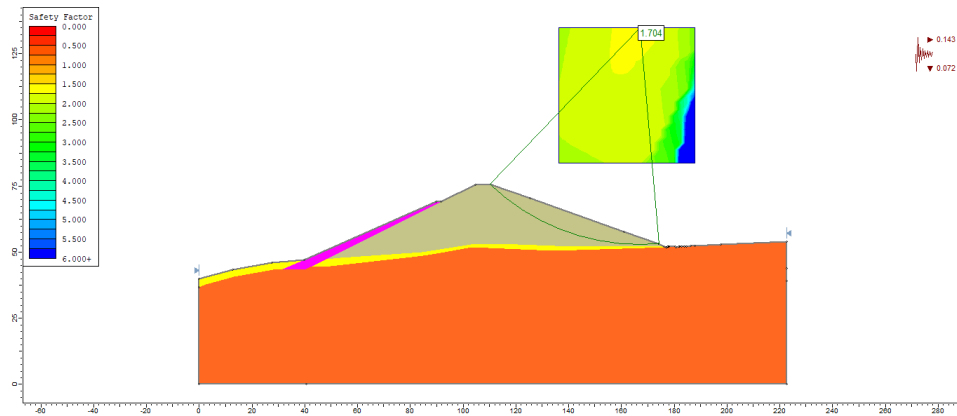


FIGURA 3.24 Estabilidad física – aguas arriba - espaldón delgado
Fuente: Factor de seguridad, hipótesis: final de construcción – pseudoestático F.S. = 1.704 > 1.3

Hipótesis: embalse lleno con espaldón ancho

Para los dos taludes (aguas arriba y aguas abajo de la presa) se analizarán las siguientes situaciones:

- Estático
- Pseudo-estático

Esta hipótesis basada en el supuesto de de un carga de agua en la cota máxima del embalse, garantizando la estabilidad en la presa incluso en ausencia de la Geomembrana aguas arriba, ver tabla 3.14

TABLA 3.14 Características de la presa y embalse Palcca, niveles característicos – consideraciones para hipótesis de embalse lleno

Descripción	Valor
Volumen útil (m3)	828,000.00
Volumen Total (m3)	920,762.77
Cota de la base de la presa (msnm)	3997.00
Cota NAMIN (msnm)	4001.7
Cota NAMO (msnm)	4017.60
Cota NAME (msnm)	4017.95
Cota Corona (msnm)	4020.5

Fuente: Elaboración propia

Estabilidad física – aguas abajo: espaldón ancho

Se muestra la figura [3.25](#), estabilidad física – aguas abajo - espaldón ancho.

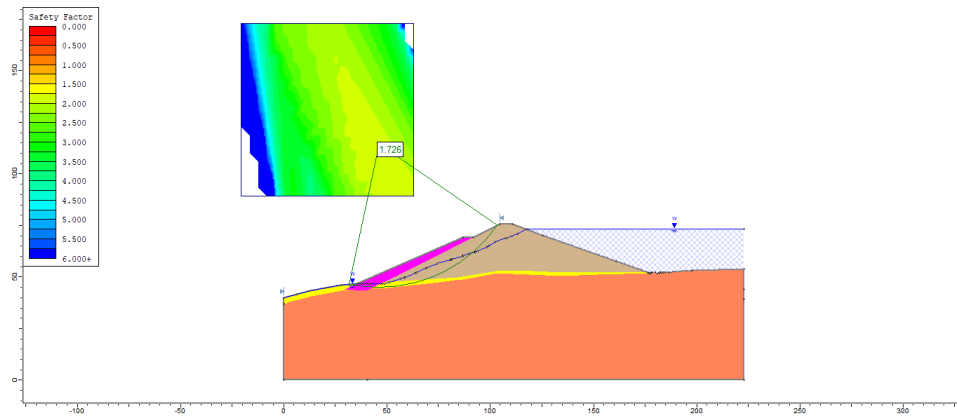


FIGURA 3.25 Estabilidad física – aguas abajo - espaldón ancho

Fuente: Factor de seguridad, hipótesis: embalse lleno – estático F.S. = 1.726 > 1.5 F.S. = 1.98 < 1.726 F.S. = 1.98 > 1.5

Se muestra la figura [3.26](#), estabilidad física – aguas abajo - espaldón ancho.

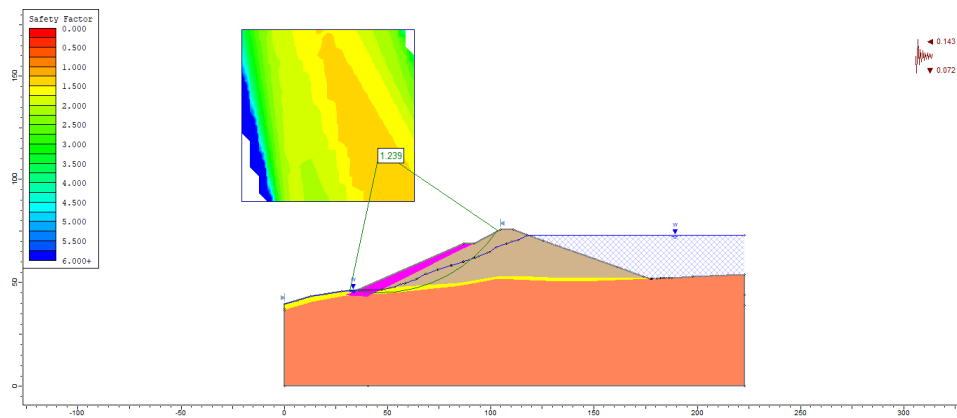


FIGURA 3.26 Estabilidad física – aguas abajo - espaldón ancho

Fuente: Factor de seguridad, hipótesis: final de construcción – pseudoestático F.S. = 1.34 > 1.285 F.S. = 1.34 > 1.3

Estabilidad física – aguas arriba - espaldón ancho

Se muestra la figura [3.27](#), estabilidad física – aguas arriba - espaldón ancho.

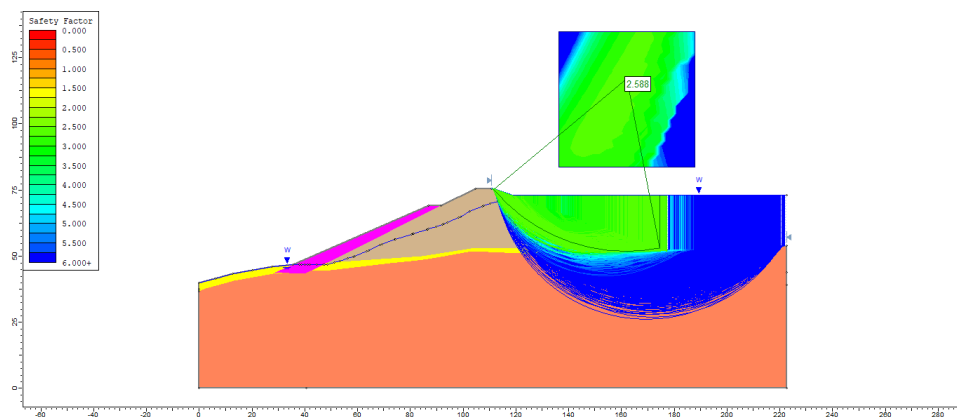


FIGURA 3.27 Estabilidad física – aguas arriba - espaldón ancho

Fuente: Factor de seguridad, hipótesis: embalse lleno – estático F.S. = 2.588 > 1.5

Se muestra la figura [3.28](#), estabilidad física – aguas arriba - espaldón ancho.

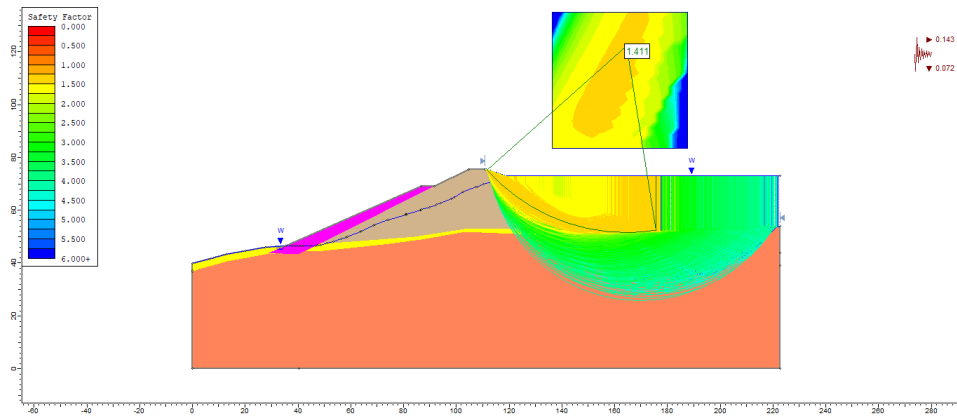


FIGURA 3.28 Estabilidad física – aguas arriba - espaldón ancho
Fuente: Factor de seguridad, hipótesis: embalse lleno – pseudoestático F.S. = 1.411 > 1.3

Estabilidad física – aguas abajo - espaldón delgado

Se muestra la figura 3.29, estabilidad física – aguas abajo - espaldón delgado.

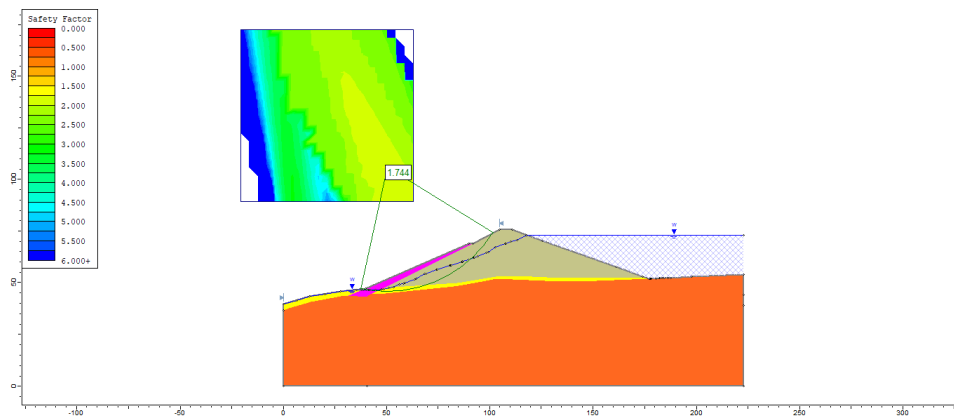


FIGURA 3.29 Estabilidad física – aguas abajo - espaldón delgado
Fuente: Factor de seguridad, hipótesis: embalse lleno – estático F.S. = 1.744 > 1.5

Se muestra la figura 3.30, estabilidad física – aguas abajo - espaldón delgado.

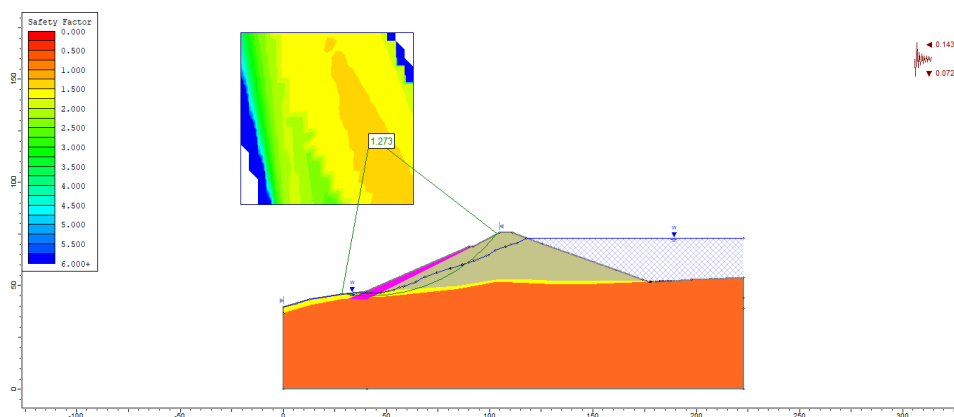


FIGURA 3.30 Estabilidad física – aguas abajo - espaldón delgado
Fuente: Factor de seguridad, hipótesis: embalse lleno – pseudoestático F.S. = 1.27 < 1.3

NO se admite por encontrarse por debajo de los valores mínimos, aun habiendo considerado un riesgo sísmico resultado de una evaluación de peligrosidad sísmica.

Estabilidad física – aguas arriba - espaldón delgado

Se muestra la figura 3.31, estabilidad física – aguas arriba - espaldón delgado.

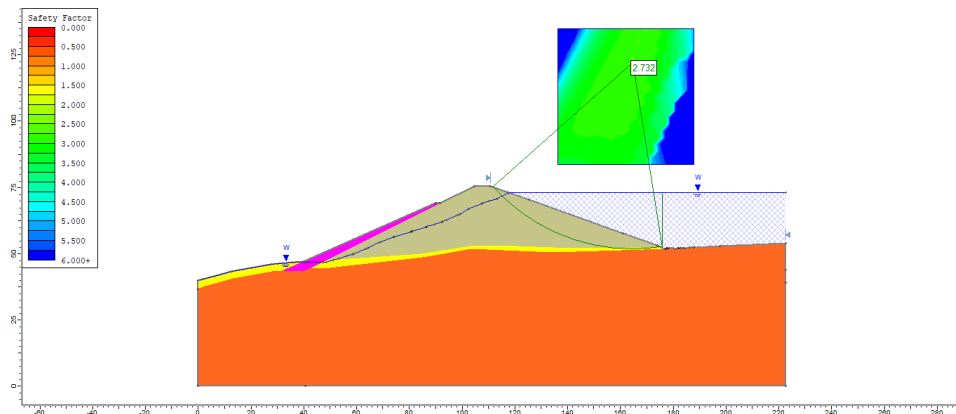


FIGURA 3.31 Estabilidad física – aguas arriba - espaldón delgado

Fuente: Factor de seguridad, hipótesis: embalse lleno – estático F.S. = 2.732 > 1.5

Se muestra la tabla 3.32, estabilidad física – aguas arriba - espaldón delgado.

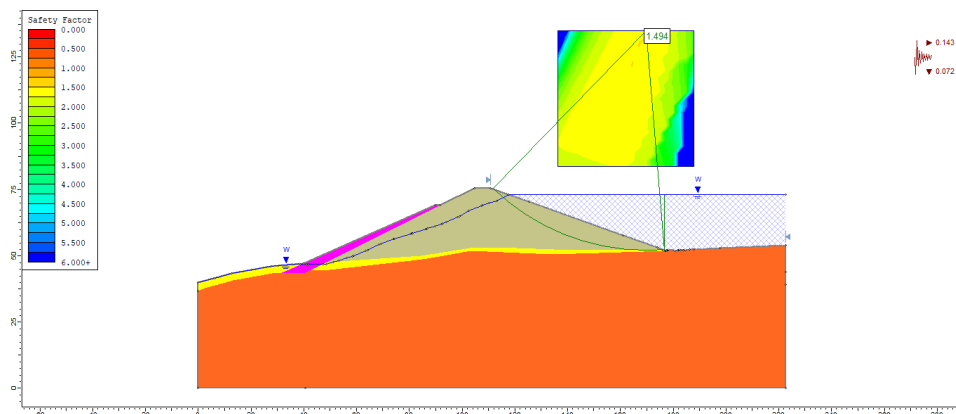


FIGURA 3.32 Estabilidad física – aguas arriba - espaldón delgado

Fuente: Factor de seguridad, hipótesis: embalse lleno – pseudoestático F.S. = 1.494 > 1.3

3.3.2 Diferencia entre el Software Slide con los ensayos Lugeon y Lefranc

Slide es un Software completo de análisis de estabilidad de taludes en 2D utilizando el método de equilibrio límite para el cálculo de estabilidad, con análisis de filtración de aguas subterráneas por el método de elementos finitos. Rodríguez (2016). El Software Slide mediante el método de equilibrio. Donde la estratigrafía, la presión del agua en ocasiones de irregularidad. Cayo (2017). A comparación de los ensayos in situ de Lugeon y Lefranc que permiten calcular de forma más o menos cuantitativa el coeficiente de permeabilidad. El ensayo Lugeon se realiza dentro de los sondeos geotécnicos y calcula la permeabilidad de un macizo rocoso fracturado y el ensayo de Lefranc permite determinar la permeabilidad de los suelos en el interior de los sondeos, sea durante o una vez finalizada la ejecución de la perforación. Geotécnia (2018)

Con la finalidad de evaluar las propiedades hidráulicas de los suelo y rocas que conforman la represa de tierra Palcca, se hicieron dos (02) ensayos de permeabilidad en campo tipo Lefranc y un (01) ensayos de permeabilidad in situ tipo Lugeon; siguiendo los lineamientos descritos en la (ASTM D4631) y (CA HOUSBLY 1976), respectivamente, a continuación se muestra la tabla 3.15 que muestra el resumen general de la permeabilidad.

Perforación Geotécnica	Nº	Prof. (m)	Tramo (m)	Tipo Ensayo	K cm/seg	UL	Valoración	Material
P-01	1	5.50 – 6.00	0.50	Lefranc	3.10E-03	-	Baja	Depósito antrópico represa de tierra #1
	2	15.50 – 16.00	0.50	Lefranc	2.75E-04	-	Baja	Contacto suelo fluvio-aluvial
	5	28.50 – 30.00	1.50	Lugeón	3.50E-06	0.3	Muy Baja	Roca conglomerado

TABLA 3.15 Resumen general de ensayos de permeabilidad.

Fuente: Elaboración del equipo técnico.

A continuación se muestra los resultados de permeabilidad en ambos estratos del suelo que conforman el dique son 3.10×10^{-3} cm/s y 2.75×10^{-4} cm/s, depósito antrópico suelo estrato superior y contacto de suelo fluvioaluvial (estrato inferior), respectivamente. En caso del ensayo Lugeon presenta un decrecimiento de las unidades de permeabilidad conforme avanza el ensayo (Inicialmente 4.7 UL, 3.2 U.L., 1.8 U.L., 0.8 U.L. y por último 0.3 U.L.), tanto en el tramo de carga y descarga. Este efecto es conocido como “llenado de vacíos” y significa que los vacíos son gradualmente rellenados en el macizo rocoso, clasificando al macizo rocoso como “Muy impermeable” considerando la última lectura de las unidades de permeabilidad ($0.3 \text{ U.L.} = 3.50 \times 10^{-6}$ cm/s). Ver la tabla 3.16.

MATERIAL	REFERENCIA	PERMEABILIDAD (cm/seg)	PERMEABILIDAD (m/día)
ENROCADO	----	1.00	864
RELLENO	LEFRANC P-01 (5.50 - 6.00)	3.10×10^{-3}	2.68
T. NATURAL	----	1.50×10^{-2}	12.96
SUSTRATO ROCOSO	LUGEON P-01 (28.50 - 30.00)	3.50×10^{-6}	0.95

TABLA 3.16 Parámetros hidráulicos considerados para el Análisis de Filtración de la Presa Palcca en el software Slide.

Fuente: Elaboración del equipo técnico.

A continuación se muestra en la figura 3.33, el caudal de filtración modelado en el Software Slide. Donde se logra obtener 5.15l/min

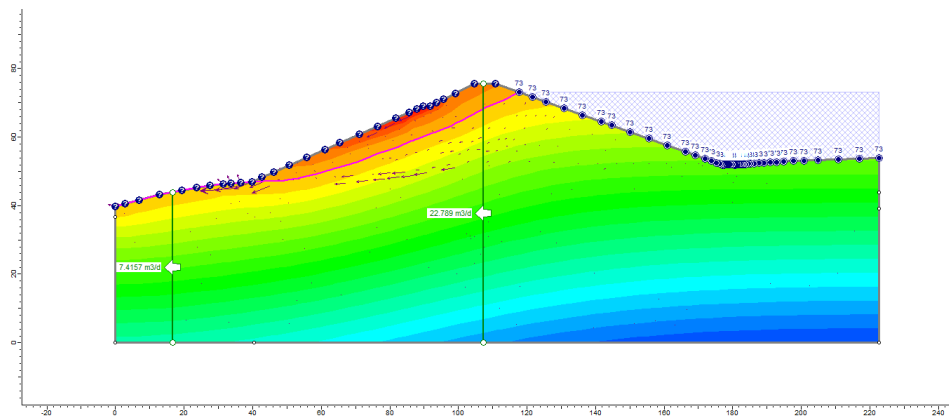


FIGURA 3.33 Modelación de la infiltración en el Software Slide con los parámetros hidráulicos descritos anteriormente.
Fuente: Elaboración propia.

Se muestra en la tabla [3.17](#) el caudal de inyección en el ensayo Lugeon con código de sondaje SDP-01 y código de ensayo LU-02. Dando como resultado 4.35U.L. en tal razón general un caudal de inyección de 1.11 l/min, donde este último valor servirá de comparación con el valor obtenido en el Software Slide.

Pg [Kg/cm ²]	Volumen de inyección por intervalo de tiempo [l]					Q [l/min]	G [l/min/m]	Hf [Kg/cm ²]	Pef [Kg/cm ²]	K [cm/seg]	Lugeon [U.L.]
	t = 0' - 2'	t = 2' - 4'	t = 4' - 6'	t = 6' - 8'	t = 8' - 10'						
1.00	2.22	2.25	2.22	2.24	2.21	1.11	0.45	9.675E-08	1.02	4.86E-05	4.35
1.50	3.82	3.81	3.83	3.80	3.84	1.91	0.76	2.844E-07	1.52	5.60E-05	5.01
2.00	7.10	7.10	7.30	7.40	7.10	3.60	1.44	1.010E-06	2.02	7.95E-05	7.11
1.50	5.38	5.36	5.38	5.40	5.39	2.69	1.08	5.646E-07	1.52	7.89E-05	7.06
1.00	2.51	2.57	2.56	2.53	2.55	1.27	0.51	1.261E-07	1.02	5.55E-05	4.96

TABLA 3.17 Ensayo de permeabilidad Lugeon en el sondaje SDP-01
Fuente: Elaboración propia.

3.3.3 Discusión de resultados de la modelación en el software Slide.

Mendoza ([2016](#)), menciona que para realizar el análisis de estabilidad de taludes, antes del inicio de cualquier estudio se tuvo que hacer previos análisis de las características en la geotécnica de cada material del suelo, para lo cual se obtuvieron secciones de análisis y también tener en cuenta la cantidad de aguas que se encuentran debajo del estrato del suelo. En el estudio del análisis de la estabilidad se tuvo que hacer uso del equilibrio límite y para lo cual se trabajó con secciones de la presa que fueron diseñadas con el Software AutoCad y posteriormente se hizo la importación al Software de SLIDE, con los métodos de Jambu Simplified, Morgenstern-Price y Spencer. Aquella resistencia que sucede entre el material y los diferentes esfuerzos generados se llaman factores de seguridad (FS). De otra manera, para el estudio pseudoestático se consideró 1/3 de la aceleración sísmica Hz de 0.143g. También en el análisis de la estabilidad de taludes se puede determinar el factor de seguridad así: Si el (FS<1) indica que el talud logra ser inestable con tendencia probable falla, en el caso que (FS=1) implica que el talud se encuentra en equilibrio. H. Aguirre ([2011](#)), con el programa Slide se tuvo el análisis en el

agua subterránea dentro al interior del cuerpo de la presa mediante los elementos finitos, también mencionar que el comportamiento de las redes de flujo, que viene a estar compuesta por las líneas equipotenciales y también compuesta por las líneas de flujo perpendiculares a las anteriormente mencionadas. Barrazueta y Alberto (2004)

3.3.4 Discusión sobre la diferencia entre los resultados obtenidos del Software Slide y los ensayos Lugeon y Lefranc.

Es necesario saber sobre el estado de la geotécnia del cuerpo rocoso, entonces es se deberá saber sobre la metodología de la perforación. Para tener las muestras de los testigos de todos los estudios realizados en campo. ASTM (1999)

Se puede decir que es ilimitado respecto al estudio en las rocas. Gutiérrez (2016). Para calcular la filtración es importante considerar factor de permeabilidad, que depende de las partículas que estan en el suelo k , se podrían tomar en cuenta diversos métodos. “Estudio hidráulico y de estabilidad de una presa de materiales sueltos sobre el río Callazas en la región de Tacna” (n.d.), Mamani y Mamani (2020).

CONCLUSIONES

1. Se ha conseguido hacer los análisis numéricos de la infiltración en la presa Pallica de tipo material suelto utilizando el Software Slide. La sección típica de la presa que se analizó estuvo conformada por 4 tipos de materiales que se obtuvieron producto de estudios geológicos y geotécnicos in situ. Las cuales son: enrocado, relleno de tierras, terreno natural y sustrato rocoso, cada una con una permeabilidad distinta de la otra. Para saber sobre la cantidad de agua que se pierde en la sección típica que se encuentra en la presa específicamente en su corona, se realizó ensayos de perforación diamantina de Lugeon y Lefranc los cuáles permiten conocer los factores de permeabilidad en materiales rocosos y suelo, ya que forman parte de la cimentación de la presa. Se ha representado gráficamente con ayuda de la herramienta Seep/W en el Software GeoStudio.
2. Los parámetros hidrogeológicos obtenidos a partir de los ensayos Lefranc y Lugeon, fueron de gran importancia en la elaboración de este proyecto de investigación. En este primer problema específico se obtienen los factores de permeabilidad realizadas in situ mediante perforaciones diamantinas, que en lo posterior del ensayo de Lefranc se obtienen datos del descenso del agua en función del tiempo y que estos datos permitieron el cálculo de los parámetros hidrogeológicos haciendo uso del software Aqtesol y plantillas Excel, también mencionar que se hizo uso del software Aquifer Test para el cálculo de los factores de permeabilidad, que sirvió para la comparación con los resultados obtenidos de las plantillas Excel en los ensayos de Lugeo. Se calculó los factores de permeabilidad empezando con las pruebas de Lefranc en los sondeos LCV-1 (SP-1) y LCV-1 (SP-2), donde se obtuvieron valores de coeficiente de permeabilidad $9.16\text{E-}4$ y $6.03\text{E-}7$ respectivamente, valores del coeficiente de almacenamiento se obtuvieron 0.001628 y $6.31\text{E-}11$ respectivamente, los valores de transmisividad son 0.001992 y 0.00000217 respectivamente. También se obtuvo parámetros hidrogeológicos a partir de los ensayos de tipo Lugeon para

los sondeos SDP-01 (L1-123), SDP-02 (L1-103) y SDP-03(L1-65). Para el primer sondeo se realizaron 6 pruebas de tipo de Lugeon las cuáles se presentan a continuación LU-01(SDP-01), LU-02(SDP-01), LU-03(SDP-01), LU-04(SDP-01), LU-05(SDP-01) y LU-06(SDP-01) en los cuáles los valores de permeabilidad son $1.57\text{E-}05$, $4.86\text{E-}05$, $2.806\text{E-}05$, $3.88\text{E-}05$, $7.36\text{E-}06$ Y $4.37\text{E-}06$ respectivamente. Para SDP-02 (L1-103) se obtuvo el valor de permeabilidad $6.55\text{E-}6$ y para el sondeo SDP-03(L1-65) también se realizaron 6 pruebas de tipo de Lugeon las cuáles son LU-01(SDP-03), LU-02(SDP-03), LU-03(SDP-03), LU-04(SDP-03), LU-05(SDP-03) y LU-06(SDP-03) en los cuáles los valores de permeabilidad son $4.42\text{E-}5$, $2.42\text{E-}5$, $2.93\text{E-}5$, $8.79\text{E-}5$, $4.64\text{E-}5$, $3.96\text{E-}6$ respectivamente. Los valores del coeficiente de almacenamiento para el sondeo SDP-01 (L1-123) son 0.00013345, 0.0004131, 0.0004158, 0.0007566, 0.000184 y 0.000184 respectivamente de acuerdo a las 6 pruebas por sondeo mencionadas anteriormente. Para SDP-02 (L1-103) se obtuvo 0.00003275 y finalmente para SDP-03(L1-65) son 0.000445 , 0.000363, 0.000586, 0.00021975, 0.001992 y 0.0001386 respectivamente de acuerdo a las 6 pruebas por sondeo mencionadas anteriormente. El valor del coeficiente de almacenamiento se asume y es el valor de 0.001628.

3. En el análisis de la infiltración se empleó el Software Seep/w, que está incluida en el programa de GeoStudio. Resuelve la ecuación de Laplace mediante los elementos finitos. Se obtienen como resultados del caudal de infiltración el talud aguas abajo $613.85(\text{m}^3/\text{año})$, en el centro de la presa $45398.83(\text{m}^3/\text{año})$ y finalmente con Geomembrana en el talud aguas arriba $18.95(\text{m}^3/\text{año})$. Tal razón se podría decir que la presa de material térreo queda adecuadamente asegurada, ya que también estará reforzada por una pantalla impermeabilizante. La cantidad de filtración que sucede en la presa mediante el subsuelo logran ser mínimas. Tal razón hace que se deba a la permeabilidad mínima que está en el núcleo y también en su primer estrato.
4. Para realizar la comparación del software Slide con las pruebas de Lugeon y lefranc, primero se hizo una modelación en Slide tomando como datos los 4 componentes que conforman la geometría de la presa, donde cada componente tiene un factor de permeabilidad distinta de la otra. Se menciona los siguientes componentes con su respectivo valor de permeabilidad a continuación: enrocado($k=1.00\text{cm}/\text{seg}$), relleno de tierras($k=3.10 \times 10^{-3}\text{cm}/\text{seg}$), terreno natural($k=1.50 \times 10^{-2}\text{cm}/\text{seg}$) y sustrato

rocoso($k=3.50 \times 10^{-6}$ cm/seg), los cuáles son ingresados al Slide y se obtuvo un caudal de 5.15l/min. Por otra parte se obtiene un caudal de inyección de 1.11l/min en la prueba de Lugeon. En la que se concluye que no es posible realizar dicha comparación, porque en el Slide se obtiene un caudal de filtración de una determinada sección de la presa y en la prueba de Lugeon se obtiene el caudal de inyección de un punto en específico la cuál permite realizar dicho tipo de ensayo. Al haber realizado este tipo de análisis se realizaron estudios geotécnicos como ensayos de Lefranc y Lugeon, ya que a partir de estos se pasa al uso del software Slide. Se realizaron hipótesis de análisis en final de construcción, embalse lleno con espaldón ancho y espaldón delgado. Para modelación en el software Slide se tomó la sección central de la presa la cuál está compuesta por sustrato rocoso, relleno de tierras, terreno natural y enrocado. El análisis se hizo en estabilidad física aguas arriba y abajo en estado estático - pseudoestático. El análisis pseudo-estático horizontal (kh) definido para el análisis de estabilidad de taludes del Proyecto; como (1/2) un medio de la aceleración del terreno, asumiendo un valor de 0.143, que representa el grado de peligrosidad del terremoto considerado.

RECOMENDACIONES

1. Es recomendable que para realizar los ensayos in situ son procesos repetitivos en cualquier área en donde se pretenda realizar estos ensayos se deba saber que estos ensayos sirven para hacer el análisis del estado del macizo rocoso o del terreno y que a partir de estos se pueden realizar distintos análisis como obtener parámetros hidrogeológicos.
2. Se recomienda realizar la creación de un programa de análisis que permita resolver la ecuación de Laplace mediante elementos finitos, que permita complementar la información obtenido del Seep/W.
3. En el análisis sobre la estabilidad de taludes se debe contar con adecuada bibliografía y tener conocimientos previos para saber que es lo que se pretende obtener y hacer en el software que se emplee.
4. Es recomendable hacer el uso de controles de tipo geotécnicos, con instrumentos como piezómetros y también controles topográficos.
5. Es aconsejable contar con los factores de permeabilidad de los materiales que conforman la sección típica de la presa de tal modo se logra calcular el caudal de filtración en Slide.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre, C. J. et al. (2015). Estudio numérico del caudal de agua subterráneo bajo presas de hormigón mediante el método de redes. *Revista de obras públicas*.
- Aguirre, H. (2011). Instituto Superior de Posgrado. *Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental. Universidad Central del Ecuador “Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales”*.
- Alarcón, B. Y. & Alva, H. J. E. (1999). Ensayos de permeabilidad en materiales de baja de permeabilidad compactados. *Curso de Doctorado. Departamento de Mecánica Estructural y Construcciones Industriales-ETS Ingenieros Industriales. Madrid*.
- Armas, N. R. & Álvarez, O. F. (1867). *Ánalisis del gasto de filtración a través de las ataguías aguas arriba y abajo de la presa de hcr en el proyecto hidroeléctico minas San Francisco - La Unión*.
- ASTM, I. (1999). Standard Practice for Rock Core Drilling and Sampling of Rock for Site Investigation Designation: D 2113 – 99. *100 Barr Harbor Drive*.
- Baldeon, O. H. J. & Laurente, G. I. H. (2014). Simulación y validación del flujo de un fluido a través de lechos porosos depositada en un medio filtrante.
- Bansal, R. et al. (2013). Dynamic simulation of connecting rod made of aluminium alloy using finite element analysis approach. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 5(2), 01–05.
- Barrazueta, N. & Alberto, M. (2004). Evaluación geotécnica para la construcción de la presa Huanzo.
- Bassanezi, R. & Biembengut, M. (1997). Modelación matemática. *Números. Revista de didáctica de las matemáticas*, 32, 13–25.
- Bathel, J. K. & Khoshgoftaar, R. M. (1979). Finite element free surface seepage analysis without mesh iteration. *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, 3(1), 13–22.
- Beléndez, T., Beléndez, A. et al. (2002). Tema 8-ITOP: Dinámica de fluidos y fluidos reales (Resumen). *Física General*.
- Beltrán, F. (1999). Teoría general del método de los elementos finitos. *Curso de Doctorado. Departamento de Mecánica Estructural y Construcciones Industriales-ETS Ingenieros Industriales. Madrid*.

- Beneyto, P. A. et al. (2012). Comparación de Métodos de Obtención de la Red de Flujo en Presas de Tierra Utilizando Elementos Finitos. *Mecánica Computacional*, 31(4), 447–456.
- C., C. S. et al. (2007). *Métodos numéricos para ingenieros*. McGraw-Hill México.
- Cancho, J. (2018). Ensayo Lefran. <https://www.youtube.com/user/jcanchero>.
- Cayo, V. D. (2017). Análisis comparativo de la aplicación del método de equilibrio límite en el modelamiento de la estabilidad de taludes de la presa Huenque.
- Chow, V. T. (1994). *Hidráulica de canales abiertos*. Bogotá, CO: McGraw-Hill.
- Chumpitaz, C. R. C. (2007). Estudio geotécnico y geognóstico del subsuelo mediante perforación diamantina.
- Collado, C. (2015). Inyección e infiltración en presas de relave, aplicación de la presa Las Gordas. Disponible en: <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/3199>, 140.
- Custodio, E. & Galofre, A. (1983). Hidráulica de captaciones de agua subterránea. *Hidrología subterránea*, 2, 9–1.
- Custodio, E. & Llamas, M. R. (n.d.).
- Das, B. M. (2015). Fundamentos de Ingeniería Geotécnica (Cuarta Edición ed. México: Cengage Learning.
- de Ingeniería, U. N. (2011). Estudio de preinversión a nivel de factibilidad del proyecto de inversión pública: Proyecto de regulación del río Callazas y mejoramiento de la infraestructura de riego en la Provincia de Candarave.
- Delgado, C. F. J. (n.d.). Métodos numéricos para ingeniería.
- Determinación del caudal de infiltración en la cimentación de la presa Camilaca en el distrito de Camilaca, provincia de Candarave, región Tacna, 2019. (2020).
- Dominguez, S. F. C. & Nieves, H. A. (2006). *Hidrogeología básica. Las aguas subterráneas y su flujo*. Edic. FIEC, Madrid.
- Dominguez, S. F. C. & Nieves, H. A. (2014). *Métodos numéricos aplicados a la ingeniería*. Estudio hidráulico y de estabilidad de una presa de materiales sueltos sobre el río Callazas en la región de Tacna. (n.d.).
- Ewert, F. (2003). Discussion of rock type related criteria for curtain grouting. (120).
- Extremera, P. et al. (2015). Mejora y corrección de la impermeabilización en el cimiento de la presa de Las Fititas.
- Fernández, M. et al. (1999). Hidrogeología aplicada. 11(1), 5.

- Freyre, R. L. J. (2015). Realización de pruebas Lefranc.
- Frias, V. E. (2004). *Aportaciones al estudio de las máquinas eléctricas de flujo axial mediante la aplicación del método de los elementos finitos.*
- García, V. N. H. (2016). Hidráulica de canales principios básicos.
- Geotécnia. (2018). Geotécnia Fácil. <https://geotecniafacil.com/ensayo-lugeon/>.
- Gonzales, E. & Peláez, r. (2017). Elaboración de una gráfica adimensional de diseño para filtros en presas de tierra homogéneas, 214pp.
- González, d. V. L. I. et al. (2002). *Ingeniería geológica*. Pearson Educación.
- Gutiérrez, F. Í. J. (2016). Determinación de la permeabilidad en roca para el control del flujo de aguas subterráneas de la relavera Huancapetí en la cuenca Rio Sipchoc, Recuay-Ancash. *100 Barr Harbor Drive*.
- Hernández, G. (2010). El método de diferencias finitas.
- Herrera, V. L. L. (2019). Interpretación de pruebas hidráulicas en medios porosos y fracturados: aplicación práctica.
- Hinojosa, F. J. (2006). *Material de apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje de la asignatura de obras hidráulicas II.*
- Houlsby, A. (1976). Routine interpretation of the Lugeon water-test. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 9(4), 303–313.
- Juárez, B. E. & Rico, R. A. (1973). Mecánica de suelos.
- Keith, T. D. & Mays, W. L. (2004). Groundwater Hydrology, 90.
- Lane, E. W. (1955). Design of stable channels. *Transactions of the American society of Civil Engineers*, 120(1), 1234–1260.
- Lapa, N. R. (2015). Reducción del gasto por inyección de impermeabilización en la presa Carnicería Pampa - Huamanguilla - Huanta - Ayacucho - 2014.
- Lifonzo, S. C. A. & Lifonzo, S. C. D. (2018). Modelización tridimensional de infiltración en presas de material suelto mediante el método de Elementos Naturales.
- Littejohn, G. (1992). Report on session 2: Consolidation grouting. Grouting in the ground, 183–192.
- Mamani, M. A. Y. & Mamani, R. E. (2020). Estudio geotécnico definitivo para el análisis de filtración y estabilidad en el modelo de impermeabilización con geomembrana del dique de la presa Pallallaje, Coporaque Espinar-Cusco 2019. *100 Barr Harbor Drive*.

- Maza, Á. J. A. (2004). La necesidad de construir presas. *Ingeniería del agua*, 11(4), 445–454.
- Mendoza, L. J. A. (2016). Análisis de estabilidad de taludes de suelos de gran altura en la mina Antapaccay.
- Molina, L. A. (2017). Fundamentos de la ingeniería de riegos.
- Molina, M. S. et al. (2016). Comportamiento de las fallas de presas de materiales sueltos en cuba.
- Moreno, M. L., Hernández, O. G. & Fonseca, F. (2015). Discretización en diferencias finitas de la ecuación de Laplace y Poisson. Aplicación a un anillo circular (dona. *Revista Ciencia en Desarrollo*, 6(2).
- Navarro, A. A. et al. (2020). La hidrogeología como tecnología de apoyo en la ingeniería civil.
- of Engineers, U. A. C. (1983). Dewatering and groundwater control. *TM 5-818-5*, 3–7.
- Oldecop, L. et al. (2008). Funcionamiento hidráulico, estabilidad y mecanismos de rotura de presas de relaves mineros.
- Ontiveros, S. J. & Ponsanti, C. A. (2003). *Caracterización geofísica de filtraciones de agua en el subsuelo* (tesis de doctorado). Universitat Politècnica de Catalunya, Valencia.
- Ortiz, G. P., Alhama, M. I. et al. (2014). Modelo en red para la solución numérica de la ecuación de Laplace, 2D, con condiciones de contorno arbitrarias. Una aplicación a ingeniería civil: construcción de redes de flujo.
- Papadopoulos, I. S. & Cooper, J. H. H. (1967). Drawdown in a well of large diameter. *Water Resources Research*, 3(1), 241–244.
- Pereiro, L. O. (2006). Aprendiendo sobre el Método de los Elementos Finitos. *Ingeniería Mecánica*, 9(3), 7–13.
- Polubarinova-Kochina, P. Y. (1962). Theory of Groundwater Movement, translated from Russian by JM Roger de Wiest, Princeton U. Press, Princeton, NJ, 381–95.
- Pruebas de absorción de agua tipo Lugeon. (n.d.).
- Puertos, d. e. (1994). Recomendaciones geotécnicas para construcciones marítimas y portuarias.
- Riego, M. (2016). Pruebas de permeabilidad Lugeon. <https://www.youtube.com/watch?v=9dti1FqYAu0>.

- Ríos, C. O. (2011). Ensayo Lefran. <https://www.youtube.com/watch?v=m2xlNtjz1B8>.
- Rodriguez, G. (2016). Minicurso Slide Set 2015 - Estabilidad de taludes. <https://centrogeotecnico.com/blog-geotecnia/slide-estabilidad-de-taludes.html>.
- Romaña, G. J. F. (2014). Los límites de la ley de Darcy. *Escuela de Ingeniería Civil*.
- Royle, M. (2010). Standard Operating Procedures for Borehole Packager Testing. *SRK Consulting*.
- Salazar, F. et al. (2013). El papel de los modelos numéricos en la investigación y el diseño de aliviaderos de presas. En *Jornada Técnica Avances en Investigación Aplicada en Seguridad Hidráulica de Presas* (pp. 94–108). Red de Laboratorios de Hidráulica de España (RLHE).
- Sánchez, S. R. F. J. (2012). Hidrología - Hidrogeología.
- Sánchez, J. G. (2013). Hidromecánica computacional de la infiltración en presas con el método de elementos finitos. *Mecánica Computacional*.
- Sánchez, T. H. (2020). Seguridad de la presa Palcca relacionados con los problemas de infiltración.
- Sandoval, E. W. (n.d.). Presas de tierra y enrocamiento.
- Santaella, M. L. Y., Luz Elena y Marín. (2001). Conceptos básicos en presas. *II*(1), 5.
- Santos, M. P., Martinez, A. P. E. & Castaño, C. P. (2006). Fundamentos de hidrogeología.
- SEEP/W. (2012). Seepage modeling with SEEP/W. An engineering methodology. July 2012 Edition. *Press, Princeton, NJ*, 381–95.
- Sen, Z. (2017). *Applied hydrogeology for scientists and engineers*. CRC Press.
- Silva, E. Y. Y. (2004). Infiltración en estructuras de tierra.
- Silvester, P. P. & Pelosi, G. (1994). *Finite Elements for Wave Electromagnetics: Methods and Techniques*. Piscataway, NJ: IEEE Press.
- software, G. G. (2021). Flujo de Agua. <https://www.finesoftware.es/software-geotecnico>.
- Suli, E. & Mayers, F. D. (1994). *An introduction to numerical analysis*. BCambridge university press.
- Tacco, C. M. F. (2018). *Metodología de enseñanza del método de Elementos Finitos para estudiantes de ingeniería*.
- Tincopa, H. M. A. (2014). Análisis acoplado hidro-mecánico en la construcción y operación de una presa de tierra homogénea.

- Toro, F. M. Á. (2009). Evaluación de Filtraciones en Presas. Modelación Numérica de Flujo en Medios Porosos Saturados y No Saturados.
- Vargas, H. L. M. (2020). Aplicación del método Jet Grouting para la impermeabilización de la represa Ancascococha y disponibilidad hídrica en minera Las Bambas - Apurímac.
- Velazquez, A. (2016). Mecanismos de fallas de las presas de residuos mineros. Trabajo De Diplomado: (optar el título de ingeniería civil, 95pp.
- Werner, J. (1996). Fundamentos de hidrogeología. *Introducción a la hidrogeología*.

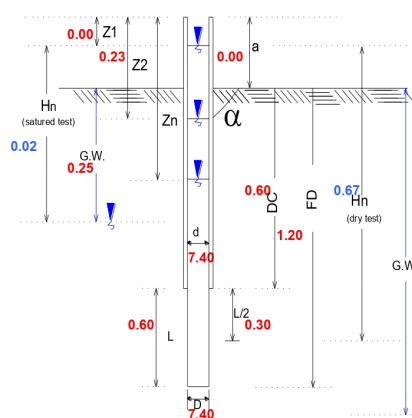
ANEXO A
ANEXOS

ENSAYO DE PERMEABILIDAD POR GRAVEDAD **LEFRANC CARGA VARIABLE**

PROYECTO :	EXPEDIENTE TÉCNICO DEL SALDO DE OBRA: " CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE IRRIGACIÓN REPRESA PALLCCA, DISTRITO DE QUINUA, PROVINCIA DE HUAMANGA - AYACUCHO "	UBICACIÓN :	CENTRO DEL EJE DEL PLUNTO
CLIENTE :	GRA-PRIDER	SISTEMA DE COORDENADAS :	UTM - WGS 84 AZIMUT : 000°
EJECUCIÓN :	PRUEBAS HIDRÁULICAS EN PERFORACIÓN DIAMANTINA	COORDENADAS :	0°597,658 E. 8°562,586 N. 3,997 m.s.n.m
		SUPERVISOR DE TURNO :	

INTERVALO DE PRUEBA :	0.60	DE	0.60	A	1.20	Metros
FECHA :	23/11/2020	HORA :	DE	18:00:00	A	18:30:00
						Horas

CÓDIGO DEL SONDAGE :	SP-1
CÓDIGO DEL ENSAYO :	LCV-1



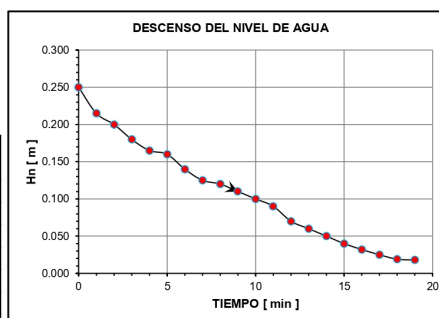
DATOS DE ENTRADA

D = Diámetro del tramo de ensayo	7.40	cm
d = Diámetro interior de la tubería	7.40	cm
α = Inclinação del sondaje con la horizontal	90	°
m = Relación de condición anisotrópica m = Kh / Kv	1.00	Ud.
a = Longitud sobrante de la tubería (Stick up)	0.00	Metros
GW = Prof. del agua subterránea dentro de la tubería	0.25	Metros
DC = Longitud de la tubería desde el nivel de terreno	0.60	Metros
FD = Longitud del pozo desde el nivel de terreno	1.20	Metros
L = Longitud del tramo de ensayo	0.60	Metros
R = Radio de influencia	0.60	Metros
(DC+L/2) = Longitud a mitad del tramo de ensayo	0.90	Metros
a' = Altura sobrante de la tubería (corr.)	0.00	Metros
GW' = Prof. del agua subterránea (corr.)	0.25	Metros
DC' = Prof. de la tubería desde el N.T. (corr.)	0.60	Metros
FD' = Prof. del pozo desde el N.T. (corr.)	1.20	Metros
L' = Longitud vertical del tramo de ensayo (corr.)	0.60	Metros
R' = Radio de influencia (corr.)	0.60	Metros
(DC+L/2)' = Prof. a mitad del tramo de ensayo (corr.)	0.90	Metros

NOTA:

Carga hidráulica para el tramo de ensayo saturado:
 $H_n = a + GW - Z_n$ $H_n = 0.02$
Carga hidráulica para el tramo de ensayo no saturado:
 $H_n = a + (DC + L/2) - Z_n$ $H_n = 0.67$

Tiempo [min]	Zn [m]	Zn - a [m]	Hn [m]
0	0.000	0.000	0.250
1	0.035	0.035	0.215
2	0.050	0.050	0.200
3	0.070	0.070	0.180
4	0.085	0.085	0.165
5	0.090	0.090	0.160
6	0.110	0.110	0.140
7	0.125	0.125	0.125
8	0.130	0.130	0.120
9	0.140	0.140	0.110
10	0.150	0.150	0.100
11	0.160	0.160	0.090
12	0.180	0.180	0.070
13	0.190	0.190	0.060
14	0.200	0.200	0.050
15	0.210	0.210	0.040
16	0.218	0.218	0.032
17	0.225	0.225	0.025
18	0.231	0.231	0.019
19	0.232	0.232	0.018



NOTATION	
D	= DIAM, INTAKE, SAMPLE, CM
d	= DIAM, STANDPIPE, CM
L	= LENGTH, INTAKE, SAMPLE, CM
H _c	= CONSTANT PIEZ HEAD, CM
H ₁	= PIEZ HEAD FOR t = t ₁ , CM
H ₂	= PIEZ HEAD FOR t = t ₂ , CM
q	= FLOW OF WATER, CM ³ /SEC
t	= TIME, SEC
k _v ¹	= VERT PERM CASING, CM/SEC
k _v	= VERT PERM GROUND, CM/SEC
k _h	= HORIZ PERM GROUND, CM/SEC
k _m	= MEAN COEFF PERM, CM/SEC
m	= TRANSFORMATION RATIO
$k_m = \sqrt{k_h k_v}$ $m = \sqrt{k_h/k_v}$	
$\ln = \log_e = 2.3 \log_{10}$	

CASE	CONSTANT HEAD		VARIABLE HEAD	
	A	B	A	B
	$k_h = \frac{q \ln \left[\frac{2mL}{D} + \sqrt{1 + \left(\frac{2mL}{D} \right)^2} \right]}{2\pi L H_c}$		$k_h = \frac{d^2 \ln \left[\frac{2mL}{D} + \sqrt{1 + \left(\frac{2mL}{D} \right)^2} \right]}{8L (t_2 - t_1)} \ln \frac{H_1}{H_2}$	
	$k_h = \frac{q \ln \left[\frac{mL}{D} + \sqrt{1 + \left(\frac{mL}{D} \right)^2} \right]}{2\pi L H_c}$		$k_h = \frac{d^2 \ln \left[\frac{mL}{D} + \sqrt{1 + \left(\frac{mL}{D} \right)^2} \right]}{8L (t_2 - t_1)} \ln \frac{H_1}{H_2}$	

LITOLOGÍA DEL TRAMO DE ENSAYO :

Macizo rocoso, roca ígnea volcánica constituida por brecha basáltica color gris rojizo oscuro moderadamente fracturado a fracturado. El ensayo se realiza en medio fracturado saturado con agua.

INTERPRETACIÓN:

Según la clasificación de Terzaghi K. y Peck R., 1980, el tramo de ensayo es: POCO PERMEABLE

CÁLCULO DE LA CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA

$K_H = \frac{d^2 \ln \left(\frac{4mL}{D} \right) \ln \left(\frac{H_1}{H_2} \right)}{8L(t_2 - t_1)}$	H1 = Carga hidráulica inicial	25	cm
	H2 = Carga hidráulica final	2	cm
	H1' = Carga hidráulica inicial (corr.)	25	cm
	H2' = Carga hidráulica final (corr.)	2	cm
	t1 = Tiempo inicial	0	min
	t2 = Tiempo final	19	min
For $\frac{2mL}{D} > 4$	CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA (K) =	9.16E-04	cm/seg

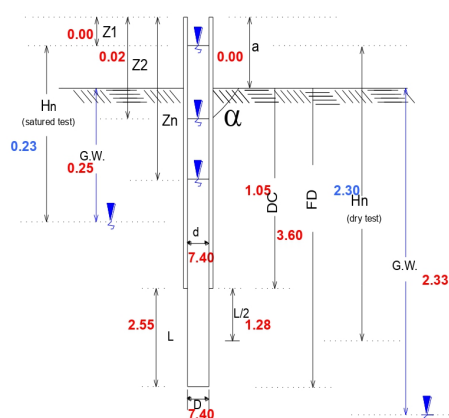
Figura A.1 Permeabilidad Lefranc carga variable SP-1, LCV-1
Fuente: Elaboración propia

ENSAYO DE PERMEABILIDAD POR GRAVEDAD **LEFRANC CARGA VARIABLE**

PROYECTO :	EXPEDIENTE TÉCNICO DEL SALDO DE OBRA: " CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE IRRIGACIÓN REPRESA PALLCCA, DISTRITO DE QUINUA, PROVINCIA DE HUAMANGA - AYACUCHO "	UBICACIÓN :	CENTRO DEL EJE DEL PLUNTO
CLIENTE :	GRA-PRIDER	SISTEMA DE COORDENADAS :	UTM - WGS 84 AZIMUT : 000°
EJECUCIÓN :	PRUEBAS HIDRÁULICAS EN PERFORACIÓN DIAMANTINA	COORDENADAS :	0°59'7.659 E. 8°56'2.586 N. 3,997 m.s.n.m
		SUPERVISOR DE TURNO :	

INTERVALO DE PRUEBA :	2.55	DE	1.05	A	3.60	Metros
FECHA :	24/11/2020	HORA :	DE 16:30:00	A 17:00:00		Horas

CÓDIGO DEL SONDAGE :	SP-2
CÓDIGO DEL ENSAYO :	LCV-1



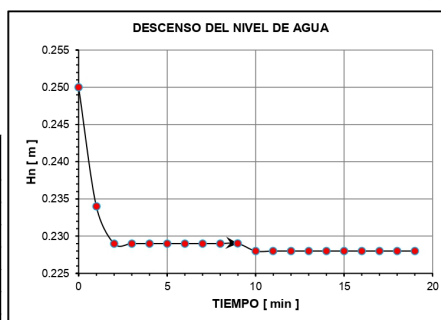
DATOS DE ENTRADA

D = Diámetro del tramo de ensayo	7.40	cm
d = Diámetro interior de la tubería	7.40	cm
α = Inclinación del sondaje con la horizontal	90	°
m = Relación de condición anisotrópica m = Kh / Kv	1.00	Ud.
a = Longitud sobrante de la tubería (Stick up)	0.00	Metros
GW = Prof. del agua subterránea dentro de la tubería	0.25	Metros
DC = Longitud de la tubería desde el nivel de terreno	1.05	Metros
FD = Longitud del pozo desde el nivel de terreno	3.60	Metros
L = Longitud del tramo de ensayo	2.55	Metros
R = Radio de influencia	2.55	Metros
(DC+L/2) = Longitud a mitad del tramo de ensayo	2.33	Metros
a' = Altura sobrante de la tubería (corr.)	0.00	Metros
GW' = Prof. del agua subterránea (corr.)	0.25	Metros
DC' = Prof. de la tubería desde el N.T. (corr.)	1.05	Metros
FD' = Prof. del pozo desde el N.T. (corr.)	3.60	Metros
L' = Longitud vertical del tramo de ensayo (corr.)	2.55	Metros
R' = Radio de influencia (corr.)	2.55	Metros
(DC+L/2)' = Prof. a mitad del tramo de ensayo (corr.)	2.33	Metros

NOTA:

Carga hidráulica para el tramo de ensayo saturado:
 $H_n = a + GW - Z_n$ $H_n = 0.23$
Carga hidráulica para el tramo de ensayo no saturado:
 $H_n = a + (DC + L/2) - Z_n$ $H_n = 2.30$

Tiempo [min]	Zn [m]	Zn - a [m]	Hn [m]
0	0.000	0.000	0.250
1	0.016	0.016	0.234
2	0.021	0.021	0.229
3	0.021	0.021	0.229
4	0.021	0.021	0.229
5	0.021	0.021	0.229
6	0.021	0.021	0.229
7	0.021	0.021	0.229
8	0.021	0.021	0.229
9	0.021	0.021	0.229
10	0.022	0.022	0.228
11	0.022	0.022	0.228
12	0.022	0.022	0.228
13	0.022	0.022	0.228
14	0.022	0.022	0.228
15	0.022	0.022	0.228
16	0.022	0.022	0.228
17	0.022	0.022	0.228
18	0.022	0.022	0.228
19	0.022	0.022	0.228



NOTATION	
D	= DIAM, INTAKE, SAMPLE, CM
d	= DIAM, STANDPIPE, CM
L	= LENGTH, INTAKE, SAMPLE, CM
H _c	= CONSTANT PIEZ HEAD, CM
H ₁	= PIEZ HEAD FOR t = t ₁ , CM
H ₂	= PIEZ HEAD FOR t = t ₂ , CM
q	= FLOW OF WATER, CM ³ /SEC
t	= TIME, SEC
k _v ¹	= VERT PERM CASING, CM/SEC
k _v	= VERT PERM GROUND, CM/SEC
k _h	= HORIZ PERM GROUND, CM/SEC
k _m	= MEAN COEFF PERM, CM/SEC
m	= TRANSFORMATION RATIO
$k_m = \sqrt{k_h k_v}$ $m = \sqrt{k_h/k_v}$	
$\ln = \log_e = 2.3 \log_{10}$	

CASE	CONSTANT HEAD		VARIABLE HEAD	
	A	B	A	B
	$k_h = \frac{q \ln \left[\frac{2mL}{D} + \sqrt{1 + \left(\frac{2mL}{D} \right)^2} \right]}{2\pi L H_c}$	$k_h = \frac{q \ln \left[\frac{mL}{D} + \sqrt{1 + \left(\frac{mL}{D} \right)^2} \right]}{2\pi L H_c}$	$k_h = \frac{d^2 \ln \left[\frac{2mL}{D} + \sqrt{1 + \left(\frac{2mL}{D} \right)^2} \right]}{8L (t_2 - t_1)} \ln \frac{H_1}{H_2}$	$k_h = \frac{d^2 \ln \left(\frac{4mL}{D} \right)}{8L (t_2 - t_1)} \ln \frac{H_1}{H_2}$ FOR $\frac{2mL}{D} > 4$
			$k_h = \frac{d^2 \ln \left[\frac{mL}{D} + \sqrt{1 + \left(\frac{mL}{D} \right)^2} \right]}{8L (t_2 - t_1)} \ln \frac{H_1}{H_2}$	$k_h = \frac{d^2 \ln \left(\frac{2mL}{D} \right)}{8L (t_2 - t_1)} \ln \frac{H_1}{H_2}$ FOR $\frac{mL}{D} > 4$

LITOLOGÍA DEL TRAMO DE ENSAYO :

Macizo rocoso, roca ígnea volcánica constituida por brecha basáltica color gris rojizo oscuro moderadamente fracturado a fracturado. El ensayo se realiza en medio fracturado saturado con agua.

INTERPRETACIÓN:

Según la clasificación de Terzaghi K. y Peck R., 1980. el tramo de ensayo es : POCO IMPERMEABLE

CÁLCULO DE LA CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA

$K_H = \frac{d^2 \ln \left(\frac{4mL}{D} \right)}{8L (t_2 - t_1)} \ln \left(\frac{H_1}{H_2} \right)$	H1 = Carga hidráulica inicial	23	cm
	H2 = Carga hidráulica final	23	cm
	H1' = Carga hidráulica inicial (corr.)	23	cm
	H2' = Carga hidráulica final (corr.)	23	cm
	t1 = Tiempo inicial	3	min
	t2 = Tiempo final	19	min
For $\frac{2mL}{D} > 4$	CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA (K) =	6.03E-07	cm/seg

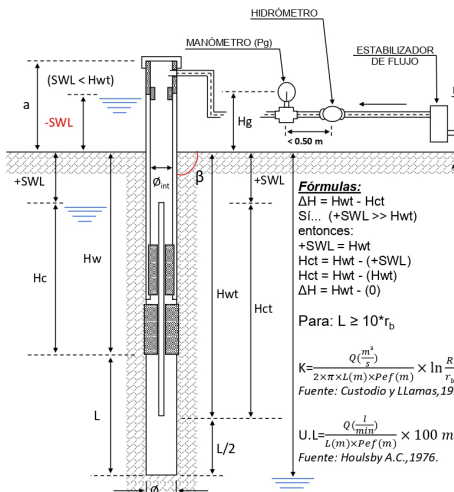
Figura A.2 Permeabilidad Lefranc carga variable SP-2, LCV-1
Fuente: Elaboración propia

ENSAYO DE PERMEABILIDAD A PRESIÓN LUGEON

PROYECTO:	EXPEDIENTE TÉCNICO DEL SALDO DE OBRA: " CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE IRRIGACIÓN REPRESA PALLCA, DISTRITO DE QUINUA, PROVINCIA DE HUAMANGA - AYACUCHO "	UBICACIÓN:	CENTRO DEL EJE DEL PUNTO		
CLIENTE:	GRA-PRIDER	SISTEMA DE COORDENADAS:	UTM - WGS 84	AZIMUT:	000°
EJECUCIÓN:	PRUEBAS HIDRÁULICAS EN PERFORACIÓN DIAMANTINA	COORDENADAS:	0'597,660	8'562,585	3,997 m.s.n.m
		SUPERVISOR DE TURNO:			

INTERVALO DE PRUEBA :		5.00	DE	3.50	A	8.50	Metros
FECHA :	21/12/2020	HORA :	DE	13:00:00	A	14:30:00	Horas

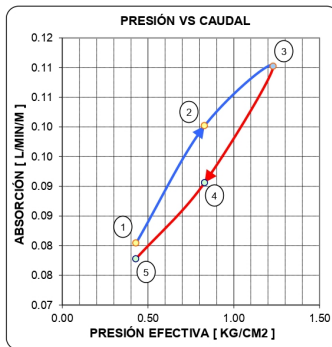
CÓDIGO DEL SONDAGE :	SDP-01
CÓDIGO DEL ENSAYO :	LU-01



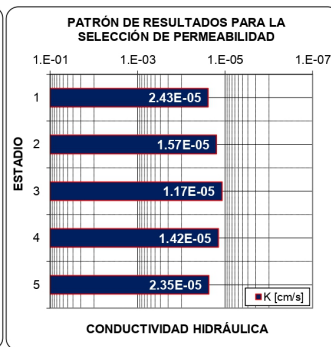
DATOS DE ENTRADA

Hg = Altura del manómetro	0.30	Metros
a = Altura sobre el nivel del terreno (Stick up)	0.20	Metros
SWL = Nivel estático del agua	0.00	Metros
β = Inclinación con la horizontal	90.00	°
ϕ_{ext} = Diámetro del bulbo del ensayo	7.40	cm
ϕ_{int} = Diámetro de la tubería de descarga	1.27	cm
Hw = Columna de agua del obturador	3.50	Metros
Hc = Carga hidrostática del obturador	3.50	Metros
Hwt = Columna de agua a mitad del ensayo	6.00	Metros
Hct = Carga hidrostática a mitad del ensayo	6.00	Metros
a' = Altura sobre el nivel del terreno (corr.)	0.20	Metros
SWL' = Nivel estático del agua (corr.)	0.00	Metros
Hw' = Columna de agua del obturador (corr.)	3.50	Metros
Hc' = Carga hidrostática del obturador (corr.)	3.50	Metros
Hwt' = Columna de agua a mitad del ensayo (corr.)	6.00	Metros
Hct' = Carga hidrostática a mitad del ensayo (corr.)	6.00	Metros
rb = Radio del bulbo del ensayo $2 \cdot r_b = \phi_{ext}$	0.037	Metros
rp = Radio de la tubería de descarga $2 \cdot r_p = \phi_{int}$	0.006	Metros
L = Longitud del bulbo del ensayo	5.00	Metros
R = Radio de influencia	5.00	Metros
Lp = Longitud de la tubería de descarga	3.80	Metros
Pgmaxt = Presión máxima teórica para el ensayo	1.97	Kg/cm2
Pg [3] = Posible presión para el estado "3" respecto al ROD	1.18	Kg/cm2
Pp = Presión de inflado del obturador (Packer neumático)	198.00	Psi
Q = Caudal promedio del estado		l/min
G = Absorción (l/min) por metro del tramo del ensayo		l/min/m
P = Presión manométrica		Kg/cm2
$\Delta H'$ = Presión hidrostática (corr.) $\Delta H' = (Hwt' - Hct') / 10$	0.00	Kg/cm2
Hf = Pérdida de carga; $Sf \text{ Q} \leq 15 \text{ [l/min]} ; Hf = (8.65E-15 \cdot Lp \cdot Q^{2.2} / r_p^{15}) / 10$		Kg/cm2
Pef = Presión efectiva $Pef = Pg + Hg/10 + \Delta H' - Hf$		Kg/cm2
K = Conductividad hidráulica o coeficiente de permeabilidad		cm/sec
U.L = Permeabilidad en unidad de luqueon		U.L

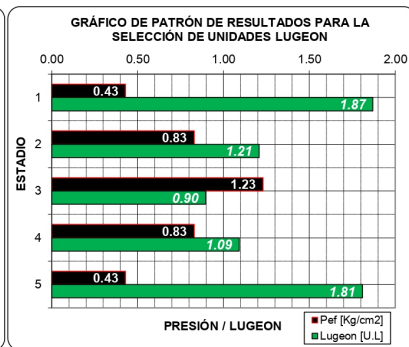
Estat.	Pg	Volumen de inyección por intervalo de tiempo [l]					Q	G	Hf	Pef	K	Lugeon
	[Kg/cm2]	t = 0' - 2'	t = 2' - 4'	t = 4' - 6'	t = 6' - 8'	t = 8' - 10'	[l/min]	[l/min/m]	[Kg/cm2]	[Kg/cm2]	[cm/seg]	[U.L.]
1	0.40	0.82	0.80	0.79	0.80	0.81	0.40	0.08	5.145E-05	0.43	2.43E-05	1.87
2	0.80	0.98	1.01	1.00	1.02	1.00	0.50	0.10	7.991E-05	0.83	1.57E-05	1.21
3	1.20	1.12	1.08	1.10	1.12	1.09	0.55	0.11	9.666E-05	1.23	1.17E-05	0.90
4	0.80	0.91	0.93	0.90	0.89	0.90	0.45	0.09	6.533E-05	0.83	1.42E-05	1.09
5	0.40	0.77	0.79	0.80	0.76	0.77	0.39	0.08	4.818E-05	0.43	2.35E-05	1.81



Fuente: Quiñones-Rozo C., 2010



Fuente: Terzaghi K. y Peck R.,1980



COMPORTAMIENTO DEL FLUJO : **TURBULENTO**

Tabla N° 01
ESCALA DE UNIDADES DE LUGEON

0 - 1 U.L	Muy Favorable
1 - 3 U.L	Favorable
3 - 10 U.L	Desfavorable
> 10 U.L	Muy Desfavorable

Fuente: Houlsby A.C.,1976

PERMEABILIDAD (K) = (Custodio y Llamas,1996)	1.57E-05	cm/seg	CLASIFICACIÓN	FUENTE
LUGEON = (Houlsby A.C.,1976)	1.21	U.L	POCO PERMEABLE	Terzaghi K. y Peck R.,1980
			IMPERMEABLE	Olalla y Sopena,1991
			FAVORABLE	Houlsby A.C., 1976
Estado de las discontinuidades del macizo rocoso			CERRADAS	Fell et al.,2005
De acuerdo a la tabla N° 01 el macizo rocoso			NO REQUIERE INYECCIONES DE CEMENTO	

INTERPRETACIÓN:

El macizo rocoso presenta flujo TURBULENTO, porque la absorción corresponde a la presión máxima que es relativamente menor a las presiones medias y mínimas, esto debido a la presencia de diferentes tipos de aberturas de las fracturas.

LITOLOGÍA DEL TRAMO DEL ENSAYO:

Macizo rocoso, roca ígnea volcánica constituida por brecha basáltica color gris rojizo oscuro moderadamente fracturado a fracturado.

Figura A.3 Prueba de Lugeon SDP-01, LU-01

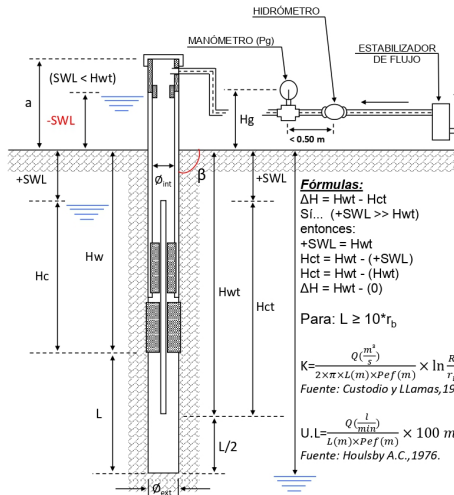
Fuente: Elaboración propia

ENSAYO DE PERMEABILIDAD A PRESIÓN LUGEON

PROYECTO:	EXPEDIENTE TÉCNICO DEL SALDO DE OBRA: "CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE IRRIGACIÓN REPRESA PALLCOA, DISTRITO DE QUINUA, PROVINCIA DE HUAMANGA - AYACUCHO"	UBICACIÓN:	CENTRO DEL EJE DEL PLUNTO
CLIENTE:	GRA-PRIDER	SISTEMA DE COORDENADAS:	UTM - WGS 84 AZIMUT: 000°
EJECUCIÓN:	PRUEBAS HIDRÁULICAS EN PERFORACIÓN DIAMANTINA	COORDENADAS:	0°59' 660 8°56' 585 3.997 m.s.n.m
		SUPERVISOR DE TURNO:	

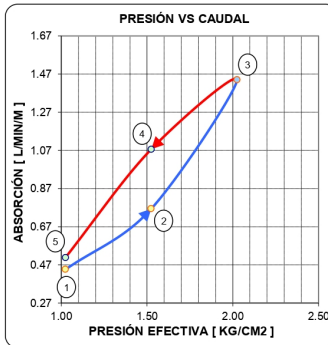
INTERVALO DE PRUEBA:	2.50	DE	6.00	A	8.50	Metros
FECHA:	21/12/2020	HORA:	DE 17:00:00	A 18:30:00	Horas	

CÓDIGO DEL SONDAJE:	SDP-01
CÓDIGO DEL ENSAYO:	LU-02

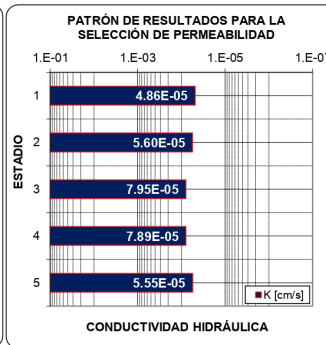


DATOS DE ENTRADA		
Hg = Altura del manómetro	0.25	Metros
a = Altura sobre el nivel del terreno (Stick up)	0.20	Metros
SWL = Nivel estático del agua	0.00	Metros
β = Inclinación con la horizontal	90.00	°
ϕ_{ext} = Diámetro del bulbo del ensayo	7.40	cm
ϕ_{int} = Diámetro de la tubería de descarga	7.40	cm
Hw = Columna de agua del obturador	6.00	Metros
Hc = Carga hidrostática del obturador	6.00	Metros
Hwt = Columna de agua a mitad del ensayo	7.25	Metros
Hct = Carga hidrostática a mitad del ensayo	7.25	Metros
a' = Altura sobre el nivel del terreno (corr.)	0.20	Metros
SWL' = Nivel estático del agua (corr.)	0.00	Metros
Hw' = Columna de agua del obturador (corr.)	6.00	Metros
Hc' = Carga hidrostática del obturador (corr.)	6.00	Metros
Hwt' = Columna de agua a mitad del ensayo (corr.)	7.25	Metros
Hct' = Carga hidrostática a mitad del ensayo (corr.)	7.25	Metros
rb = Radio del bulbo del ensayo $2 \cdot r_b = \phi_{ext}$	0.037	Metros
rp = Radio de la tubería de descarga $2 \cdot r_p = \phi_{int}$	0.037	Metros
L = Longitud del bulbo del ensayo	2.50	Metros
R = Radio de influencia	2.50	Metros
Lp = Longitud de la tubería de descarga	6.25	Metros
PgmaxT = Presión máxima teórica para el ensayo	2.37	Kg/cm2
Pg [3] = Posible presión para el estado "3" respecto al RQD	1.42	Kg/cm2
Pp = Presión de inflado del obturador (Packer neumático)	198.00	Psi
Q = Caudal promedio del estado		l/min
G = Absorción (l/min) por metro del tramo del ensayo		l/min/m
Pg = Presión manométrica		Kg/cm2
$\Delta H'$ = Presión hidrostática (corr.) $\Delta H' = (Hwt' - Hct') / 10$	0.00	Kg/cm2
Hf = Pérdida de carga; Si $Q \leq 15$ [l/min]; $Hf = (8.65E-15 \cdot L_p \cdot Q^2 / rp^5) / 10$		Kg/cm2
Pef = Presión efectiva $Pef = Pg + Hg / 10 + \Delta H' - Hf$		Kg/cm2
K = Conductividad hidráulica o coeficiente de permeabilidad		cm/seg
U.L. = Permeabilidad en unidad de lugeon		U.L.

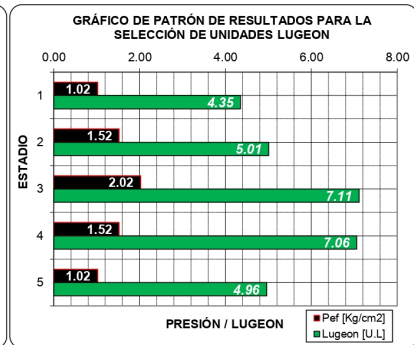
Estad.	Pg [Kg/cm2]	Volumen de inyección por intervalo de tiempo [l]					Q [l/min]	G [l/min/m]	Hf [Kg/cm2]	Pef [Kg/cm2]	K [cm/seg]	Lugeon [U.L.]
		t = 0' - 2'	t = 2' - 4'	t = 4' - 6'	t = 6' - 8'	t = 8' - 10'						
1	1.00	2.22	2.25	2.22	2.24	2.21	1.11	0.45	9.675E-08	1.02	4.86E-05	4.35
2	1.50	3.82	3.81	3.83	3.80	3.84	1.91	0.76	2.844E-07	1.52	5.60E-05	5.01
3	2.00	7.10	7.10	7.30	7.40	7.10	3.60	1.44	1.010E-06	2.02	7.95E-05	7.11
4	1.50	5.38	5.36	5.38	5.40	5.39	2.69	1.08	5.646E-07	1.52	7.89E-05	7.06
5	1.00	2.51	2.57	2.56	2.53	2.55	1.27	0.51	1.261E-07	1.02	5.55E-05	4.96



Fuente: Quiñones-Rozo C., 2010



Fuente: Terzaghi K. y Peck R., 1980



COMPORTAMIENTO DEL FLUJO: **DILATACIÓN**

Tabla N° 01
ESCALA DE UNIDADES DE LUGEON

0 - 1 U.L.	Muy Favorable
1 - 3 U.L.	Favorable
3 - 10 U.L.	Desfavorable
> 10 U.L.	Muy Desfavorable

Fuente: Hously A.C., 1976

PERMEABILIDAD (K) = (Custodio y Llamas, 1996)	4.86E-05	cm/seg	CLASIFICACIÓN	FUENTE
LUGEON = (Hously A.C., 1976)	4.35	U.L.	POCO PERMEABLE	Terzaghi K. y Peck R., 1980
Estado de las discontinuidades del macizo rocoso			PERMEABLE	Olalla y Sopeña, 1991
De acuerdo a la tabla N° 01 el macizo rocoso			DESFAVORABLE	Hously A.C., 1976
			CERRADAS	Fell et al., 2005
			SI REQUIERE INYECCIONES DE CEMENTO	

INTERPRETACIÓN:

El macizo rocoso presenta DILATACIÓN, debido a que la roca sometida a una presión máxima se abre temporalmente por efecto de la presión del agua, luego la abertura vuelve a su estado inicial "Elástico".

LITOLOGÍA DEL TRAMO DEL ENSAYO:

Macizo rocoso, roca ígnea volcánica constituida por brecha basáltica color gris rojizo oscuro moderadamente fracturada a fracturado.

Figura A.4 Prueba de Lugeon SDP-01, LU-02

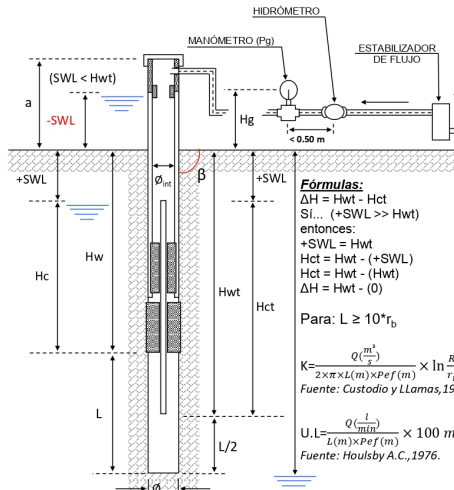
Fuente: Elaboración propia

ENSAYO DE PERMEABILIDAD A PRESIÓN LUGEON

PROYECTO:	EXPEDIENTE TÉCNICO DEL SALDO DE OBRA: " CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE IRRIGACIÓN REPRESA PALLCOA, DISTRITO DE QUINUA, PROVINCIA DE HUAMANGA - AYACUCHO "	UBICACIÓN:	CENTRO DEL EJE DEL PLUNTO
CLIENTE:	GRA-PRIDER	SISTEMA DE COORDENADAS:	UTM - WGS 84 AZIMUT: 000°
EJECUCIÓN:	PRUEBAS HIDRÁULICAS EN PERFORACIÓN DIAMANTINA	COORDENADAS:	0°59' 660 8°56' 585 3.997 m.s.n.m
		SUPERVISOR DE TURNO:	

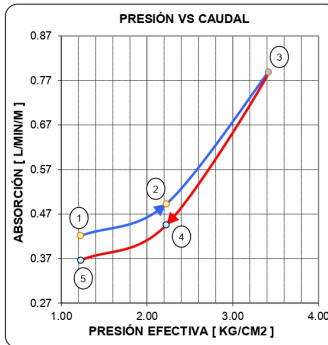
INTERVALO DE PRUEBA:	4.40	DE	10.45	A	14.85	Metros
FECHA:	3/01/2021	HORA:	DE 10:30:00	A 12:00:00		Horas

CÓDIGO DEL SONDAJE:	SDP-01
CÓDIGO DEL ENSAYO:	LU-03

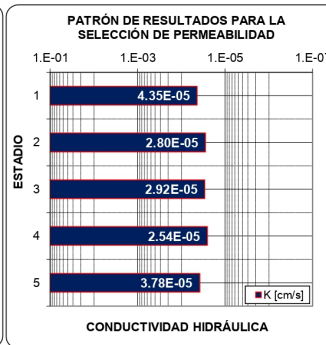


DATOS DE ENTRADA			
Hg = Altura del manómetro	0.30	Metros	
a = Altura sobre el nivel del terreno (Stick up)	0.25	Metros	
SWL = Nivel estático del agua	0.00	Metros	
β = Inclinación con la horizontal	90.00	°	
Øext = Diámetro del bulbo del ensayo	7.40	cm	
Øint = Diámetro de la tubería de descarga	1.27	cm	
Hw = Columna de agua del obturador	10.45	Metros	
Hc = Carga hidrostática del obturador	10.45	Metros	
Hwt = Columna de agua a mitad del ensayo	12.65	Metros	
Hct = Carga hidrostática a mitad del ensayo	12.65	Metros	
a' = Altura sobre el nivel del terreno (corr.)	0.25	Metros	
SWL' = Nivel estático del agua (corr.)	0.00	Metros	
Hw' = Columna de agua del obturador (corr.)	10.45	Metros	
Hc' = Carga hidrostática del obturador (corr.)	10.45	Metros	
Hwt' = Columna de agua a mitad del ensayo (corr.)	12.65	Metros	
Hct' = Carga hidrostática a mitad del ensayo (corr.)	12.65	Metros	
rb = Radio del bulbo del ensayo 2"rb = Øext	0.037	Metros	
rp = Radio de la tubería de descarga 2"rp = Øint	0.006	Metros	
L = Longitud del bulbo del ensayo	4.40	Metros	
R = Radio de influencia	4.40	Metros	
Lp = Longitud de la tubería de descarga	10.75	Metros	
PgmaxT = Presión máxima teórica para el ensayo	4.13	Kg/cm2	
Pg [3] = Posible presión para el estado "3" respecto al RQD	2.48	Kg/cm2	
Pp = Presión de inflado del obturador (Packer neumático)	198.00	Psi	
Q = Caudal promedio del estado		l/min	
G = Absorción (l/min) por metro del tramo del ensayo		l/min/m	
Pg = Presión manométrica		Kg/cm2	
ΔH' = Presión hidrostática (corr.) ΔH' = (Hwt' - Hct') / 10	0.00	Kg/cm2	
Hf = Pérdida de carga ; Si Q ≤ 15 [l/min] ; Hf = (8.65E-15 Lp Q^2 / rp^5) / 10		Kg/cm2	
Pef = Presión efectiva Pef = Pg + Hg/10 + ΔH' - Hf		Kg/cm2	
K = Conductividad hidráulica o coeficiente de permeabilidad		cm/seg	
U.L = Permeabilidad en unidad de lugeon		U.L	

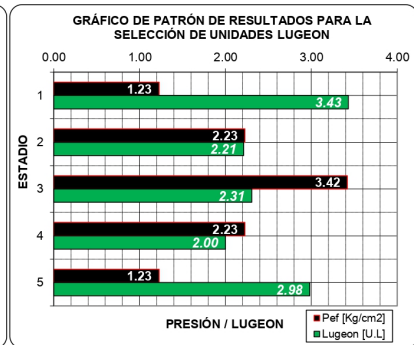
Estad.	Pg [Kg/cm2]	Volumen de inyección por intervalo de tiempo [l]					Q [l/min]	G [l/min/m]	Hf [Kg/cm2]	Pef [Kg/cm2]	K [cm/seg]	Lugeon [U.L]
		t = 0' - 2'	t = 2' - 4'	t = 4' - 6'	t = 6' - 8'	t = 8' - 10'						
1	1.20	3.70	3.72	3.69	3.71	3.70	1.85	0.42	3.089E-03	1.23	4.35E-05	3.43
2	2.20	4.37	4.32	4.33	4.30	4.35	2.17	0.49	4.229E-03	2.23	2.80E-05	2.21
3	3.40	6.94	6.97	6.94	6.90	6.95	3.47	0.79	1.084E-02	3.42	2.92E-05	2.31
4	2.20	3.93	3.90	3.92	3.95	3.90	1.96	0.45	3.460E-03	2.23	2.54E-05	2.00
5	1.20	3.22	3.21	3.23	3.25	3.20	1.61	0.37	2.337E-03	1.23	3.78E-05	2.98



Fuente: Quiñones-Rozo C., 2010



Fuente: Terzaghi K. y Peck R., 1980



COMPORTAMIENTO DEL FLUJO : **TURBULENTO**

Tabla Nº 01
ESCALA DE UNIDADES DE LUGEON

0 - 1 U.L	Muy Favorable
1 - 3 U.L	Favorable
3 - 10 U.L	Desfavorable
> 10 U.L	Muy Desfavorable

Fuente: Hously A.C., 1976

PERMEABILIDAD (K) = (Custodio y Llamas, 1996)	2.80E-05	cm/seg	CLASIFICACIÓN	FUENTE
LUGEON = (Hously A.C., 1976)	2.21	U.L	POCO PERMEABLE	Terzaghi K. y Peck R., 1980
Estado de las discontinuidades del macizo rocoso			IMPERMEABLE	Olalla y Sopeña, 1991
De acuerdo a la tabla Nº 01 el macizo rocoso			FAVORABLE	Hously A.C., 1976
			CERRADAS	Fell et al., 2005
			NO REQUIERE INYECCIONES DE CEMENTO	

INTERPRETACIÓN:

El macizo rocoso presenta flujo TURBULENTO, porque la absorción corresponde a la presión máxima que es relativamente menor a las presiones medias y mínimas, esto debido a la presencia de diferentes tipos de aberturas de las fracturas.

LITOLOGÍA DEL TRAMO DEL ENSAYO:

Macizo rocoso, roca ígnea volcánica constituida por intercalaciones de dacita (color gris blanquesino claro) con brecha basáltica (color gris rojizo oscuro), se presenta moderadamente fracturado a fracturado.

Figura A.5 Prueba de Lugeon SDP-01, LU-03

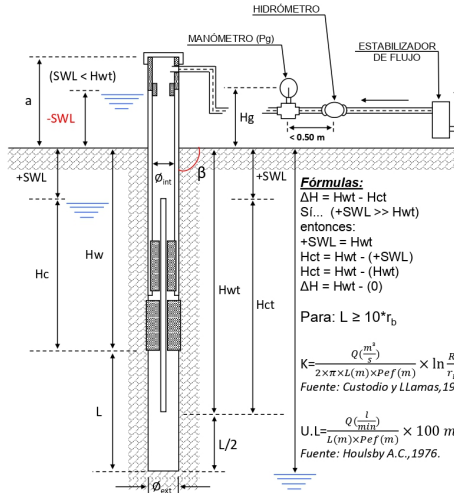
Fuente: Elaboración propia

ENSAYO DE PERMEABILIDAD A PRESIÓN LUGEON

PROYECTO:	EXPEDIENTE TÉCNICO DEL SALDO DE OBRA: " CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE IRRIGACIÓN REPRESA PALLCOA, DISTRITO DE QUINUA, PROVINCIA DE HUAMANGA - AYACUCHO "	UBICACIÓN:	CENTRO DEL EJE DEL PLUNTO
CLIENTE:	GRA-PRIDER	SISTEMA DE COORDENADAS:	UTM - WGS 84 AZIMUT: 000°
EJECUCIÓN:	PRUEBAS HIDRÁULICAS EN PERFORACIÓN DIAMANTINA	COORDENADAS:	0°59' 660 8°56' 585 3.997 m.s.n.m
		SUPERVISOR DE TURNO:	

INTERVALO DE PRUEBA:	4.30	DE	14.85	A	19.15	Metros
FECHA:	3/01/2021	HORA:	DE 14:00:00	A 15:30:00	Horas	

CÓDIGO DEL SONDAJE:	SDP-01
CÓDIGO DEL ENSAYO:	LU-04

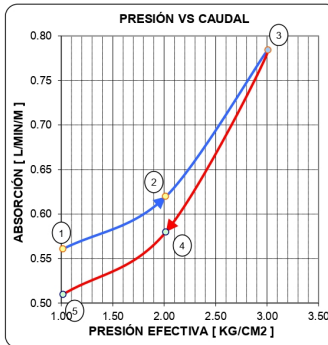


DATOS DE ENTRADA

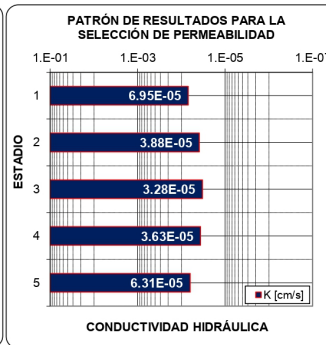
Hg = Altura del manómetro
a = Altura sobre el nivel del terreno (Stick up)
SWL = Nivel estático del agua
β = Inclinación con la horizontal
Øext = Diámetro del bulbo del ensayo
Øint = Diámetro de la tubería de descarga
Hw = Columna de agua del obturador
Hc = Carga hidrostática del obturador
Hwt = Columna de agua a mitad del ensayo
Hct = Carga hidrostática a mitad del ensayo
a' = Altura sobre el nivel del terreno (corr.)
SWL' = Nivel estático del agua (corr.)
Hw' = Columna de agua del obturador (corr.)
Hc' = Carga hidrostática del obturador (corr.)
Hwt' = Columna de agua a mitad del ensayo (corr.)
Hct' = Carga hidrostática a mitad del ensayo (corr.)
rb = Radio del bulbo del ensayo 2"rb = Øext
rp = Radio de la tubería de descarga 2"rp = Øint
L = Longitud del bulbo del ensayo
R = Radio de influencia
Lp = Longitud de la tubería de descarga
PgmaxT = Presión máxima teórica para el ensayo
Pg [3] = Posible presión para el estado "3" respecto al RQD
Pp = Presión de inflado del obturador (Packer neumático)
Q = Caudal promedio del estado
G = Absorción (l/min) por metro del tramo del ensayo
Pg = Presión manométrica
ΔH' = Presión hidrostática (corr.) ΔH' = (Hwt' - Hct') / 10
HF = Pérdida de carga; Si Q ≤ 15 [l/min]; HF = (8.65E-15 Lp Q² / rp⁵) / 10
Pef = Presión efectiva Pef = Pg + Hg/10 + ΔH' - HF
K = Conductividad hidráulica o coeficiente de permeabilidad
U.L. = Permeabilidad en unidad de lugeon

0.25	Metros
0.20	Metros
0.00	Metros
90.00	°
7.40	cm
1.27	cm
14.85	Metros
14.85	Metros
17.00	Metros
17.00	Metros
0.20	Metros
0.00	Metros
14.85	Metros
14.85	Metros
17.00	Metros
17.00	Metros
0.037	Metros
0.006	Metros
4.30	Metros
4.30	Metros
15.10	Metros
5.53	Kg/cm2
3.32	Kg/cm2
198.00	Psi
	l/min
	l/min/m
	Kg/cm2
	Kg/cm2
	Kg/cm2
	cm/seg
	U.L.

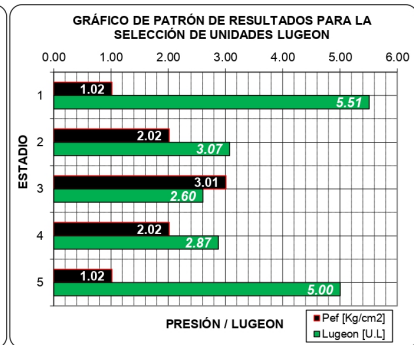
Estad.	Pg [Kg/cm2]	Volumen de inyección por intervalo de tiempo [l]					Q [l/min]	G [l/min/m]	Hf [Kg/cm2]	Pef [Kg/cm2]	K [cm/seg]	Lugeon [U.L.]
		t = 0' - 2'	t = 2' - 4'	t = 4' - 6'	t = 6' - 8'	t = 8' - 10'						
1	1.00	4.80	4.82	4.81	4.83	4.85	2.41	0.56	7.354E-03	1.02	6.95E-05	5.51
2	2.00	5.33	5.32	5.35	5.33	5.31	2.66	0.62	8.978E-03	2.02	3.88E-05	3.07
3	3.00	6.76	6.73	6.74	6.74	6.74	3.37	0.78	1.438E-02	3.01	3.28E-05	2.60
4	2.00	4.98	4.98	5.00	4.98	4.99	2.49	0.58	7.863E-03	2.02	3.63E-05	2.87
5	1.00	4.38	4.39	4.37	4.38	4.40	2.19	0.51	6.079E-03	1.02	6.31E-05	5.00



Fuente: Quiñones-Rozo C., 2010



Fuente: Terzaghi K. y Peck R., 1980



COMPORTAMIENTO DEL FLUJO: **TURBULENTO**

Tabla Nº 01
ESCALA DE UNIDADES DE LUGEON

0 - 1 U.L.	Muy Favorable
1 - 3 U.L.	Favorable
3 - 10 U.L.	Desfavorable
> 10 U.L.	Muy Desfavorable

Fuente: Hously A.C., 1976

PERMEABILIDAD (K) = (Custodio y Llamas, 1996)	3.88E-05	cm/seg	CLASIFICACIÓN	FUENTE
LUGEON = (Hously A.C., 1976)	3.07	U.L.	POCO PERMEABLE	Terzaghi K. y Peck R., 1980
Estado de las discontinuidades del macizo rocoso			PERMEABLE	Olalla y Sopeña, 1991
De acuerdo a la tabla Nº 01 el macizo rocoso			DESFAVORABLE	Hously A.C., 1976
			CERRADAS	Fell et al., 2005
			SI REQUIERE INYECCIONES DE CEMENTO	

INTERPRETACIÓN:

El macizo rocoso presenta flujo TURBULENTO, porque la absorción corresponde a la presión máxima que es relativamente menor a las presiones medias y mínimas, esto debido a la presencia de diferentes tipos de aberturas de las fracturas.

LITOLOGÍA DEL TRAMO DEL ENSAYO:

Macizo rocoso, roca ígnea volcánica constituida por intercalaciones de dacita (color gris blanquesino claro) con brecha basáltica (color gris rojizo oscuro), se presenta moderadamente fracturado a fracturado.

Figura A.6 Prueba de Lugeon SDP-01, LU-04

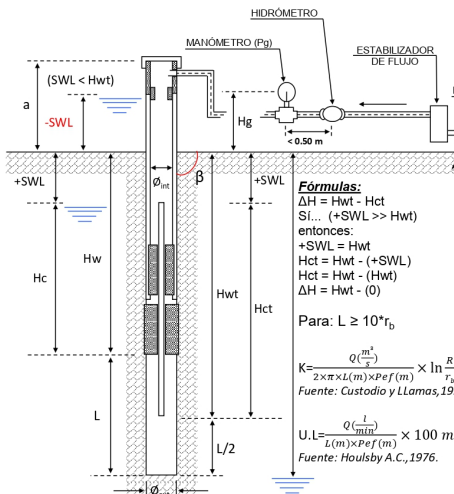
Fuente: Elaboración propia

ENSAYO DE PERMEABILIDAD A PRESIÓN LUGEON

PROYECTO:	EXPEDIENTE TÉCNICO DEL SALDO DE OBRA: " CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE IRRIGACIÓN REPRESA PALLCA, DISTRITO DE QUINUA, PROVINCIA DE HUAMANGA - AYACUCHO "	UBICACIÓN:	CENTRO DEL EJE DEL PUNTO		
CLIENTE:	GRA-PRIDER	SISTEMA DE COORDENADAS:	UTM - WGS 84	AZIMUT:	000°
EJECUCIÓN:	PRUEBAS HIDRÁULICAS EN PERFORACIÓN DIAMANTINA	COORDENADAS:	0'597,660	8'562,585	3,997 m.s.n.m
		SUPERVISOR DE TURNO:			

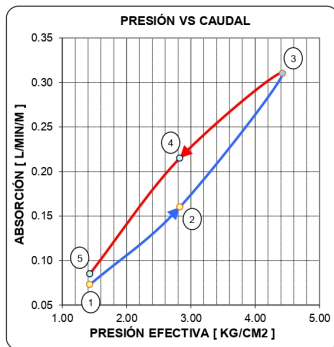
INTERVALO DE PRUEBA :		5.00	DE	20.00	A	25.00	Metros
FECHA :	10/01/2021	HORA :	DE	07:00:00	A	08:30:00	Horas

CÓDIGO DEL SONDAJE :	SDP-01
CÓDIGO DEL ENSAYO :	LU-05

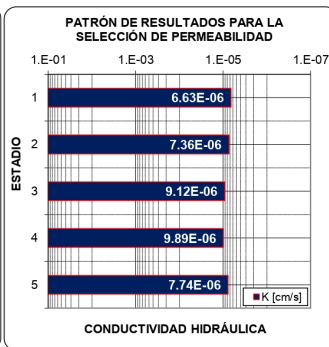
**DATOS DE ENTRADA**

Hg = Altura del manómetro	0.30	Metros
a = Altura sobre el nivel del terreno (Stick up)	0.20	Metros
SWL = Nivel estático del agua	0.00	Metros
β = Inclinación con la horizontal	90.00	°
ϕ_{ext} = Diámetro del bulbo del ensayo	7.40	cm
ϕ_{int} = Diámetro de la tubería de descarga	1.27	cm
Hw = Columna de agua del obturador	20.00	Metros
Hc = Carga hidrostática del obturador	20.00	Metros
Hwt = Columna de agua a mitad del ensayo	22.50	Metros
Hct = Carga hidrostática a mitad del ensayo	22.50	Metros
a' = Altura sobre el nivel del terreno (corr.)	0.20	Metros
SWL = Nivel estático del agua (corr.)	0.00	Metros
Hw = Columna de agua del obturador (corr.)	20.00	Metros
Hc = Carga hidrostática del obturador (corr.)	20.00	Metros
Hwt = Columna de agua a mitad del ensayo (corr.)	22.50	Metros
Hct = Carga hidrostática a mitad del ensayo (corr.)	22.50	Metros
rb = Radio del bulbo del ensayo $2 \cdot r_b = \phi_{ext}$	0.037	Metros
rp = Radio de la tubería de descarga $2 \cdot r_p = \phi_{int}$	0.006	Metros
L = Longitud del bulbo del ensayo	5.00	Metros
R = Radio de influencia	5.00	Metros
Lp = Longitud de la tubería de descarga	20.30	Metros
P _{max} = Presión máxima teórica para el ensayo	7.31	Kg/cm ²
Pg [3] = Posible presión para el estado "3" respecto al RQD	4.39	Kg/cm ²
Pp = Presión de inflado del obturador (Packer neumático)	198.00	Psi
Q = Caudal promedio del estadio		l/min
G = Absorción (l/min) por metro del tramo del ensayo		l/min/m
P = Presión manométrica		Kg/cm ²
ΔH = Presión hidrostática (corr.) $\Delta H' = (H_{wt}' - H_{ct}') \cdot 1.10$	0.00	Kg/cm ²
Hf = Pérdida de carga : Si Q ≤ 15 [l/min] ; $H_f = (8.65E-15 \cdot L_p^{1.02} \cdot r / r_p^{0.5}) / 10$		Kg/cm ²
P = Presión efectiva $P_{ef} = P_g + H_g/10 + \Delta H' - H_f$		Kg/cm ²
K = Conductividad hidráulica o coeficiente de permeabilidad		cm/ség
U.L = Permeabilidad en unidad de lugeon		U.L

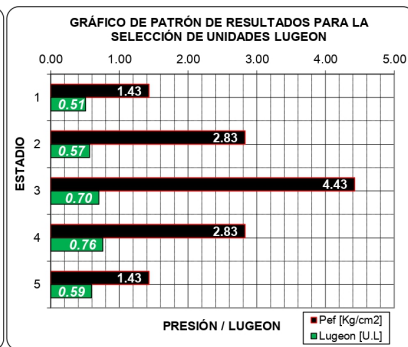
Estat.	Pg	Volumen de inyección por intervalo de tiempo [l]					Q	G	Hf	Pef	K	Lugeon
	[Kg/cm2]	t = 0' - 2'	t = 2' - 4'	t = 4' - 6'	t = 6' - 8'	t = 8' - 10'	[l/min]	[l/min/m]	[Kg/cm2]	[Kg/cm2]	[cm/seg]	[U.L.]
1	1.40	0.72	0.73	0.72	0.75	0.72	0.36	0.07	2.253E-04	1.43	6.63E-06	0.51
2	2.80	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	0.80	0.16	1.088E-03	2.83	7.36E-06	0.57
3	4.40	3.10	3.20	3.00	3.20	3.00	1.55	0.31	4.086E-03	4.43	9.12E-06	0.70
4	2.80	2.10	2.15	2.20	2.20	2.10	1.08	0.22	1.965E-03	2.83	9.89E-06	0.76
5	1.40	0.84	0.86	0.84	0.85	0.86	0.43	0.09	3.072E-04	1.43	7.74E-06	0.59



Fuente: Quiñones-Rozo C., 2010



Fuente: Terzaghi K. y Peck R.,1980



COMPORTAMIENTO DEL FLUJO : **DILATACIÓN**

Tabla N° 01
ESCALA DE UNIDADES DE LUGEON

0 - 1 U.L	Muy Favorable
1 - 3 U.L	Favorable
3 - 10 U.L	Desfavorable
> 10 U.L	Muy Desfavorable

Fuente: Houlsby A.C.,1976

PERMEABILIDAD (K) = (Custodio y Llamas,1996)	7.36E-06	cm/seg	CLASIFICACIÓN	FUENTE
LUGEON = (Houlsby A.C.,1976)	0.57	U.L	POCO IMPERMEABLE	Terzaghi K. y Peck R.,1980
			MUY IMPERMEABLE	Olafay y Sopena,1991
			MUY FAVORABLE	Houlsby A.C., 1976
Estado de las discontinuidades del macizo rocoso			MUY CERRADAS	Fell et al.,2005
De acuerdo a la tabla N° 01 el macizo rocoso			NO REQUIERE INYECCIONES DE CEMENTO	

INTERPRETACIÓN:

El macizo rocoso presenta DILATACIÓN, debido a que la roca sometida a una presión máxima se abre temporalmente por efecto de la presión del agua, luego la abertura vuelve a su estado inicial "Elástico".

LITOLOGÍA DEL TRAMO DEL ENSAYO:

Macizo rocoso, roca ígnea volcánica constituida por intercalaciones de dacita (color gris blanquesino claro) con brecha basáltica (color gris rojizo oscuro), se presenta moderadamente fracturado a fracturado.

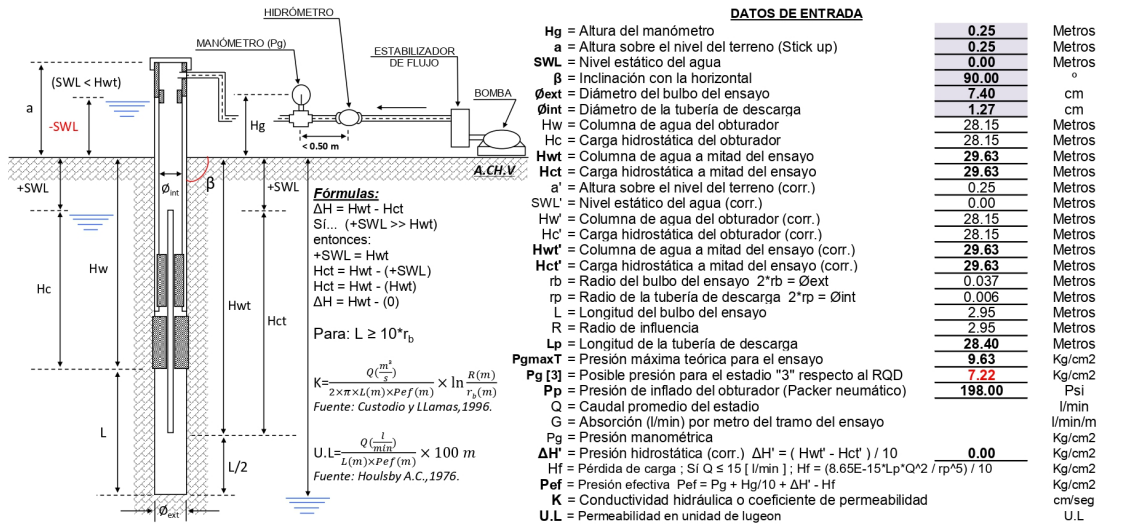
Figura A.7 Prueba de Lugeon SDP-01, LU-05

Fuente: Elaboración propia

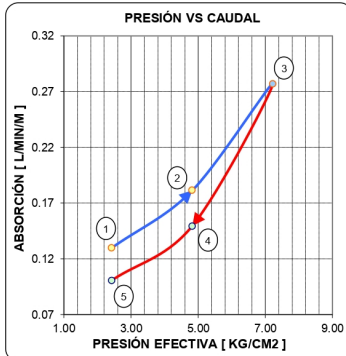
ENSAYO DE PERMEABILIDAD A PRESIÓN LUGEON

PROYECTO:	EXPEDIENTE TÉCNICO DEL SALDO DE OBRA: "CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE IRRIACIÓN REPRESA PALLCCA, DISTRITO DE QUINUA, PROVINCIA DE HUAMANGA - AYACUCHO"	UBICACIÓN:	CENTRO DEL EJE DEL PLINTO
CLIENTE:	GRA-PRIDER	SISTEMA DE COORDENADAS:	UTM - WGS 84
EJECUCIÓN:	PRUEBAS HIDRÁULICAS EN PERFORACIÓN DIAMANTINA	COORDENADAS:	0°59'860 8°56'258 3.997 m.s.n.m
		SUPERVISOR DE TURNO:	

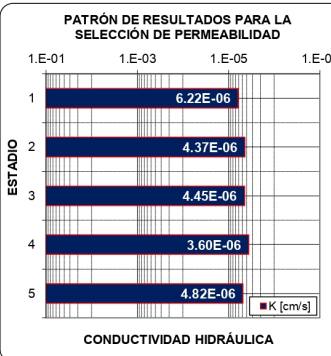
INTERVALO DE PRUEBA:	2.95	DE	28.15	A	31.10	Metros	CÓDIGO DEL SONDAJE:	SDP-01
FECHA:	10/01/2021	HORA:	14:00:00	A	15:30:00	Horas	CÓDIGO DEL ENSAYO:	LU-06



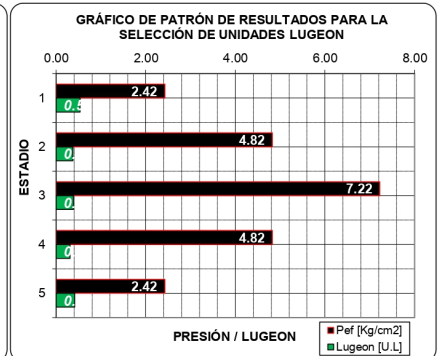
Estad.	Pg [Kg/cm2]	Volumen de inyección por intervalo de tiempo [l]					Q [l/min]	G [l/min/m]	Hf [Kg/cm2]	Pef [Kg/cm2]	K [cm/seg]	Lugeon [U.L.]
		t = 0' - 2'	t = 2' - 4'	t = 4' - 6'	t = 6' - 8'	t = 8' - 10'						
1	2.40	0.75	0.76	0.78	0.76	0.78	0.38	0.13	3.490E-04	2.42	6.22E-06	0.54
2	4.80	1.10	1.05	1.00	1.10	1.10	0.54	0.18	6.810E-04	4.82	4.37E-06	0.38
3	7.20	1.65	1.63	1.64	1.65	1.60	0.82	0.28	1.588E-03	7.22	4.45E-06	0.38
4	4.80	0.89	0.88	0.87	0.89	0.88	0.44	0.15	4.627E-04	4.82	3.60E-06	0.31
5	2.40	0.61	0.59	0.58	0.60	0.59	0.30	0.10	2.099E-04	2.42	4.82E-06	0.42



Fuente: Quiñones-Rozo C., 2010



Fuente: Terzaghi K. y Peck R., 1980



COMPORTAMIENTO DEL FLUJO: **TURBULENTO**

Tabla N° 01
ESCALA DE UNIDADES DE LUGEON

0 - 1 U.L.	Muy Favorable
1 - 3 U.L.	Favorable
3 - 10 U.L.	Desfavorable
> 10 U.L.	Muy Desfavorable

Fuente: Hously A.C., 1976

PERMEABILIDAD (K) = (Custodio y Llamas, 1996)		CLASIFICACIÓN	FUENTE
4.37E-06	cm/seg	POCO IMPERMEABLE	Terzaghi K. y Peck R., 1980
LUGEON = (Hously A.C., 1976)	0.38	MUY IMPERMEABLE	Oiala y Sopeña, 1991
Estado de las discontinuidades del macizo rocoso		MUY FAVORABLE	Hously A.C., 1976
De acuerdo a la tabla N° 01 el macizo rocoso		MUY CERRADAS	Fell et al., 2005
		NO REQUIERE INYECCIONES DE CEMENTO	

INTERPRETACIÓN:
El macizo rocoso presenta flujo TURBULENTO, porque la absorción corresponde a la presión máxima que es relativamente menor a las presiones medias y mínimas, esto debido a la presencia de diferentes tipos de aberturas de las fracturas.

LITOLOGÍA DEL TRAMO DEL ENSAYO:
Macizo rocoso, roca ígnea volcánica constituida por dacita color gris blanquesino claro, se presenta poco fracturado.

Figura A.8 Prueba de Lugeon SDP-01, LU-06
Fuente: Elaboración propia

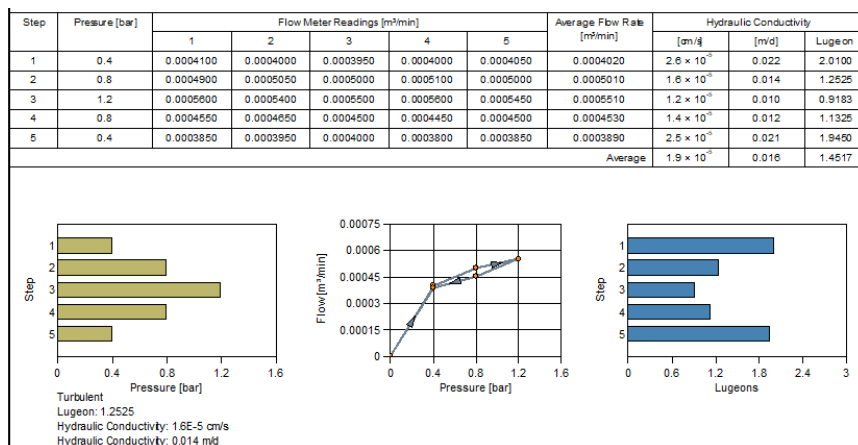


Figura A.9 Prueba de Lugeon SDP-01, LU-01 con el software Aquifer Test
Fuente: Elaboración propia

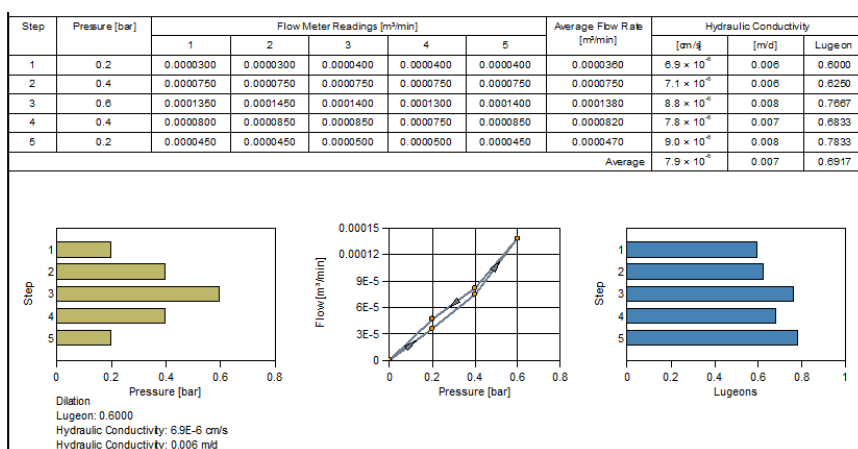


Figura A.10 Prueba de Lugeon SDP-01, LU-02 con el software Aquifer Test
Fuente: Elaboración propia

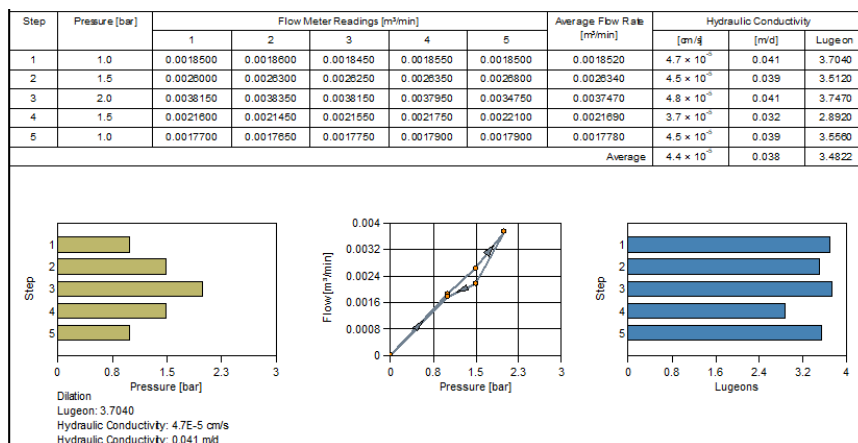


Figura A.11 Ensayo de permeabilidad a presión Lugeon SDP-01, LU-03 con el software Aquifer Test
Fuente: Elaboración propia

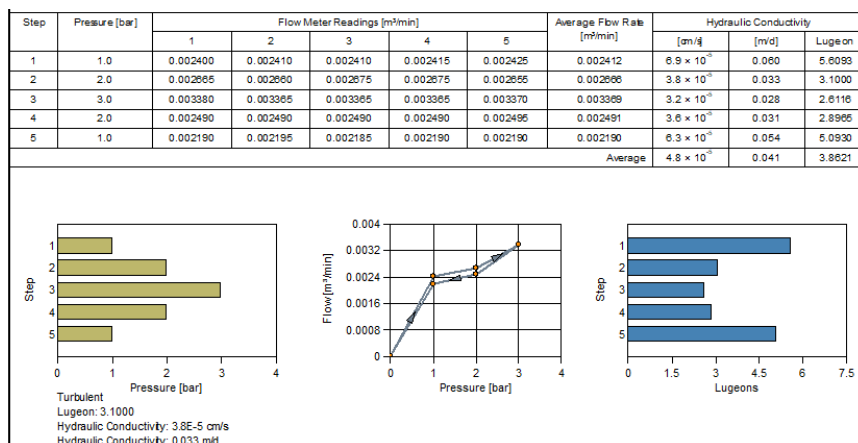


Figura A.12 Ensayo de permeabilidad a presion Lugeon SDP-01, LU-04 con el software Aquifer Test
Fuente: Elaboración propia

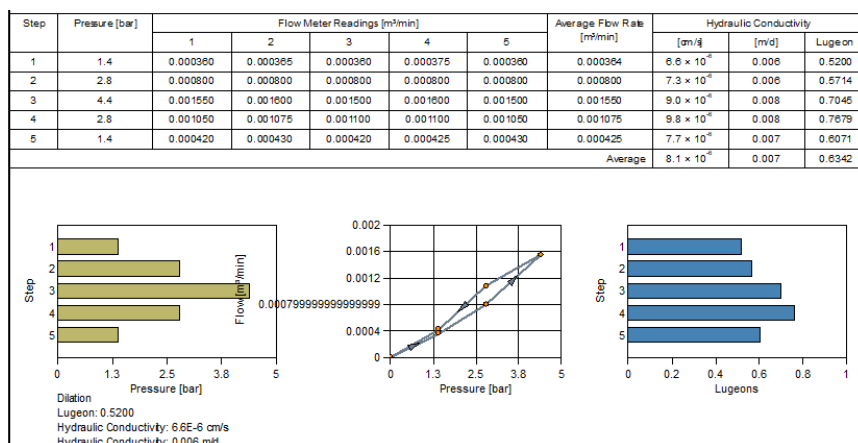


Figura A.13 Ensayo de permeabilidad a presion Lugeon SDP-01, LU-05 con el software Aquifer Test
Fuente: Elaboración propia

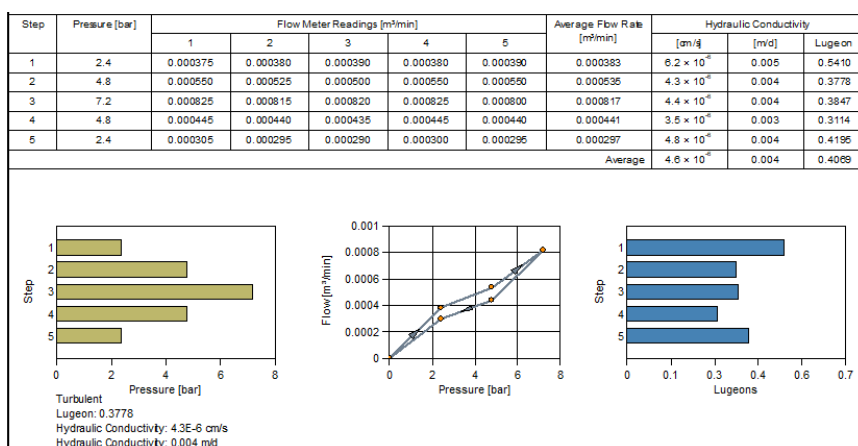


Figura A.14 Ensayo de permeabilidad a presion Lugeon SDP-01, LU-06 con el software Aquifer Test
Fuente: Elaboración propia

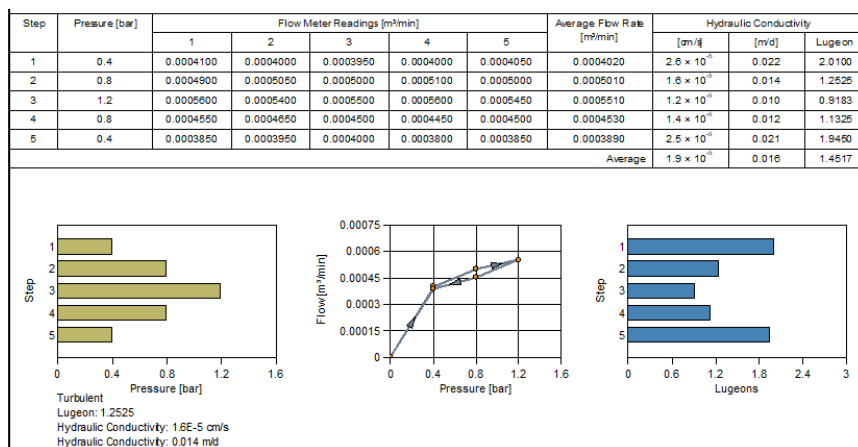


Figura A.15 Ensayo de permeabilidad a presión Lugeon SDP-02, LU-01 con el software Aquifer Test
Fuente: Elaboración propia

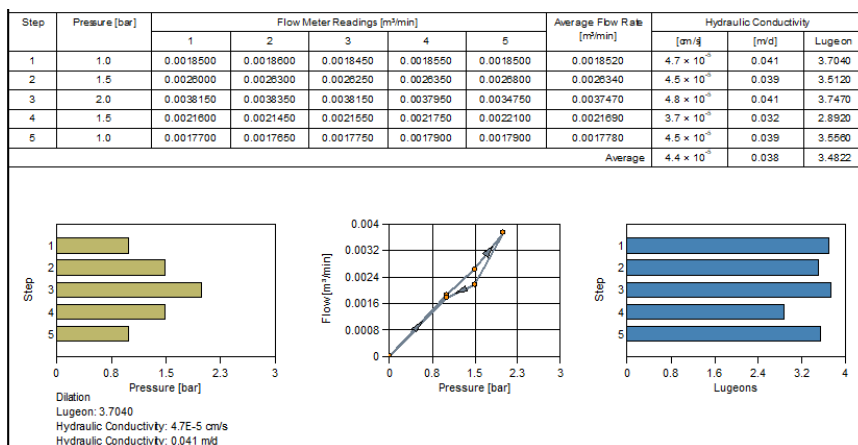


Figura A.16 Ensayo de permeabilidad a presión Lugeon SDP-03, LU-01 con el software Aquifer Test
Fuente: Elaboración propia

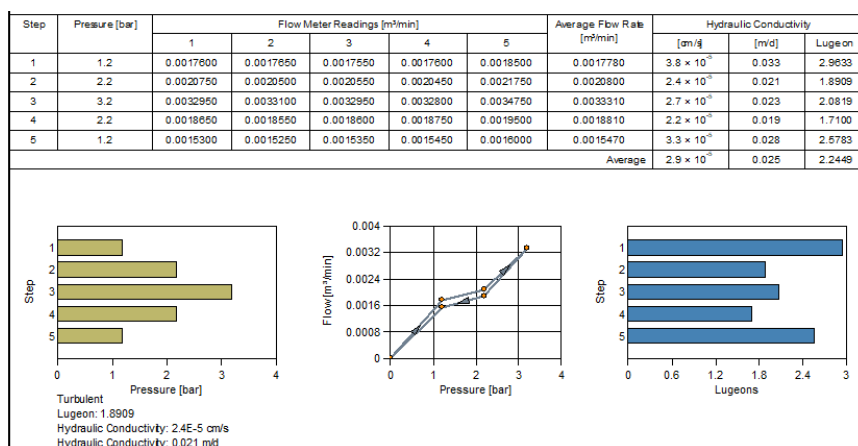


Figura A.17 Ensayo de permeabilidad a presión Lugeon SDP-03, LU-02 con el software Aquifer Test
Fuente: Elaboración propia

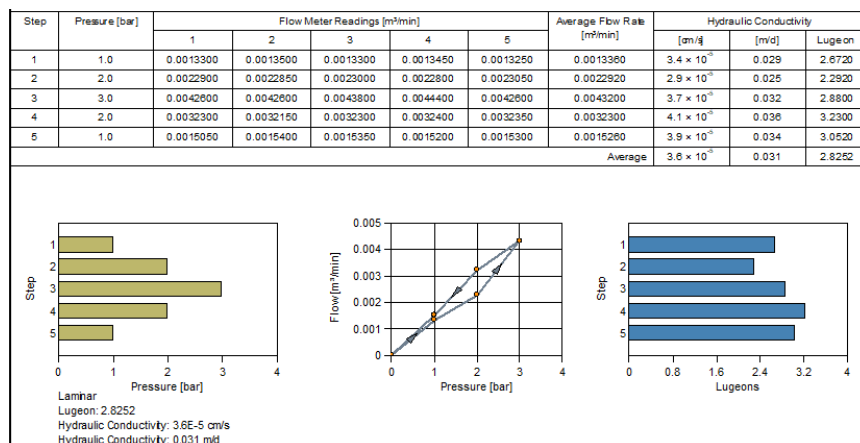


Figura A.18 Ensayo de permeabilidad a presión Lugeon SDP-03, LU-03 con el software Aquifer Test
Fuente: Elaboración propia

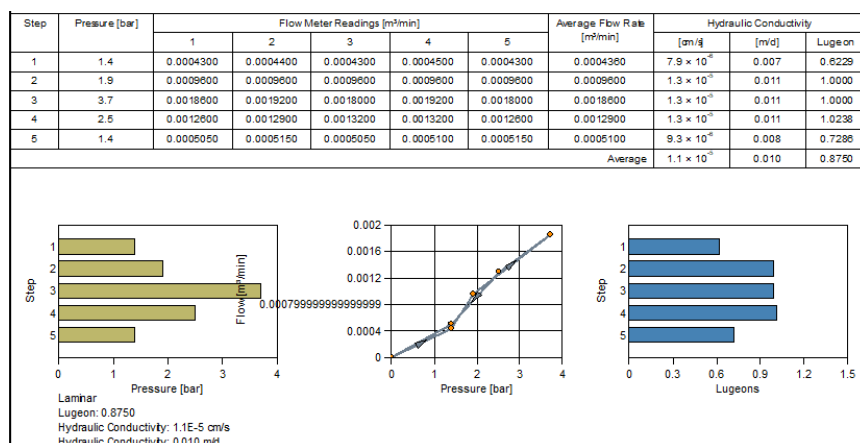


Figura A.19 Ensayo de permeabilidad a presión Lugeon SDP-03, LU-04 con el software Aquifer Test
Fuente: Elaboración propia

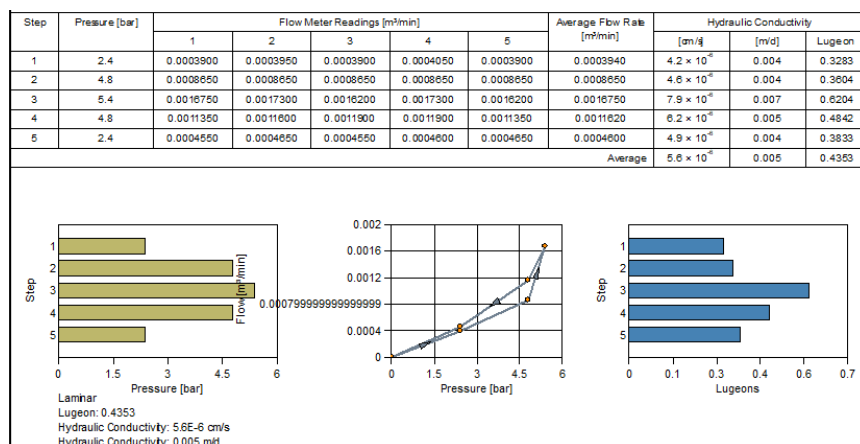


Figura A.20 Ensayo de permeabilidad a presión Lugeon SDP-03, LU-05 con el software Aquifer Test
Fuente: Elaboración propia

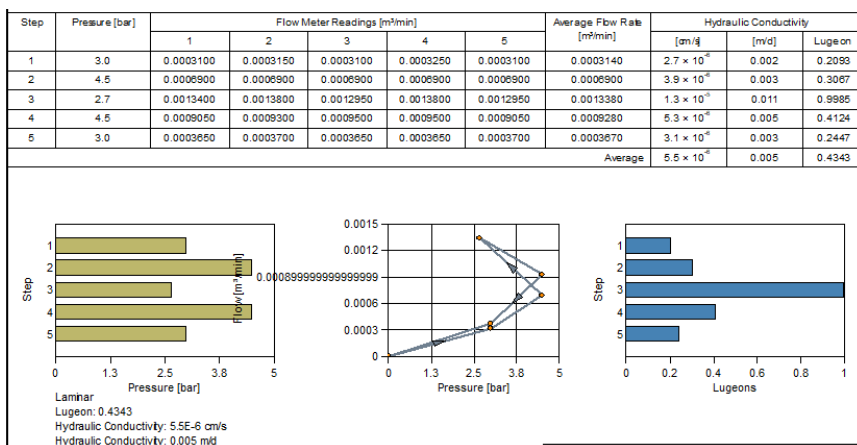


Figura A.21 Ensayo de permeabilidad a presión Lugeon SDP-03, LU-06 con el software Aquifer Test
Fuente: Elaboración propia

ANEXO B
Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGIA
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLE INDEPENDIENTE	1. Tipo de investigación 2. nivel de investigación correlacional 3. Método Cuantitativo 4. Diseño Investigación por objetivo
¿Cómo analizar numéricamente el fenómeno de la infiltración en presas de material suelto con el software Slide?	Desarrollar el análisis numérico del fenómeno de la infiltración en presas de material suelto con el software Slide.	El fenómeno de la infiltración en presas de material suelto alcanza ser analizada numéricamente en el software Slide.	X1= Parámetros hidrogeológicos Indicador: Porosidad, permeabilidad y transmisividad	
PROBLEMA ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICOS	VARIABLES DEPENDIENTES	5. PROCEDIMIENTO
¿Cómo se obtiene los parámetros hidrogeológicos (porosidad, permeabilidad y transmisividad) en la represa Palca ubicado en la región Ayacucho?	Obtener los parámetros hidrogeológicos (porosidad, permeabilidad y transmisividad) a partir de los estudios de campo realizados en la represa Palca ubicado en la región Ayacucho.	Los estudios de campo permiten la deducción concreta y eficaz de los parámetros hidrogeológicos (porosidad, permeabilidad y transmisividad) en la represa Palca ubicado en la región Ayacucho.	X1= Infiltración Indicador: Coeficiente de permeabilidad	1. Obtener los parámetros de permeabilidad con los diversos métodos existentes.
¿Qué resultados se obtiene del cálculo de la ecuación de Laplace para la determinación del flujo de la infiltración en la represa Palca de material suelto, ubicado en la región Ayacucho.?	Calcular la ecuación de Laplace para determinar el flujo de la infiltración en la represa Palca de material suelto, ubicado en la región Ayacucho.	Los resultados obtenidos del cálculo de la ecuación de Laplace en la represa palca de material suelto, ubicado en la región Ayacucho permiten una óptima determinación del flujo de la infiltración.	X2= Carga hidráulica Alturas piezométricas Indicador:	2. Resolver la ecuación de Laplace.
¿Cuál es la diferencia entre los resultados de un modelo numérico computacional diseñado en el software Slide con los ensayos de Lefranc y Lugeon realizados en la zona de estudio?	Comparar los resultados obtenidos de los ensayos Lefranc y Lugeon realizados en la zona de estudio con el modelo numérico computacional diseñado en el software Slide.	Se logra llevar a cabo la comparación entre los resultados obtenidos de los ensayos Lefranc y Lugeon ejecutados en la zona de estudio con el modelo numérico computacional diseñado en el software Slide	X3= Condiciones de borde Carga piezométrica, caudal y presión. Indicador:	3. Diseñar el fenómeno de la infiltración en el Software Slide.

Figura B.22 Matriz de consistencia

ANEXO C
Panel fotográfico



Figura C.23 Fotografía con el equipo de ensayo utilizado.
Fuente: Elaboración propia



Figura C.24 Equipo técnico que participó en los ensayos de prospección geofísica.
Fuente: Elaboración propia



Figura C.25 Ensayo de refracción sísmica.
Fuente: Elaboración propia



Figura C.26 Participación en el manejo de drones.
Fuente: Elaboración propia



Figura C.27 Logueo geomecánico en la represa Pallcca.
Fuente: Elaboración propia



Figura C.28 Recorrido con el equipo consultor en el área de la presa.
Fuente: Elaboración propia



Figura C.29 vista de la presa en el talud aguas abajo.
Fuente: Elaboración propia



Figura C.30 vista de la presa en el talud aguas abajo.
Fuente: Elaboración propia



Figura C.31 Ubicación de zonas vulnerables al problema de la infiltración en la presa.
Fuente: Elaboración propia



Figura C.32 Calicatas realizada en el talud aguas arriba de la presas.
Fuente: Elaboración propia



Figura C.33 Toma de lecturas en el piezómetro.
Fuente: Elaboración propia



Figura C.34 Inicio de los trabajos de perforación dimantina.
Fuente: Elaboración propia



Figura C.35 Máquina perforadora.
Fuente: Elaboración propia



Figura C.36 Perforistas encargados de realizar los trabajos de perforación diamantina.
Fuente: Elaboración propia



Figura C.37 Reunión del equipo consultor con las autoridades de la localidad Pallcca.
Fuente: Elaboración propia



Figura C.38 Equipo de instalación para la prueba Lugeon.
Fuente: Elaboración propia



Figura C.39 Tanque de presión de agua.
Fuente: Elaboración propia

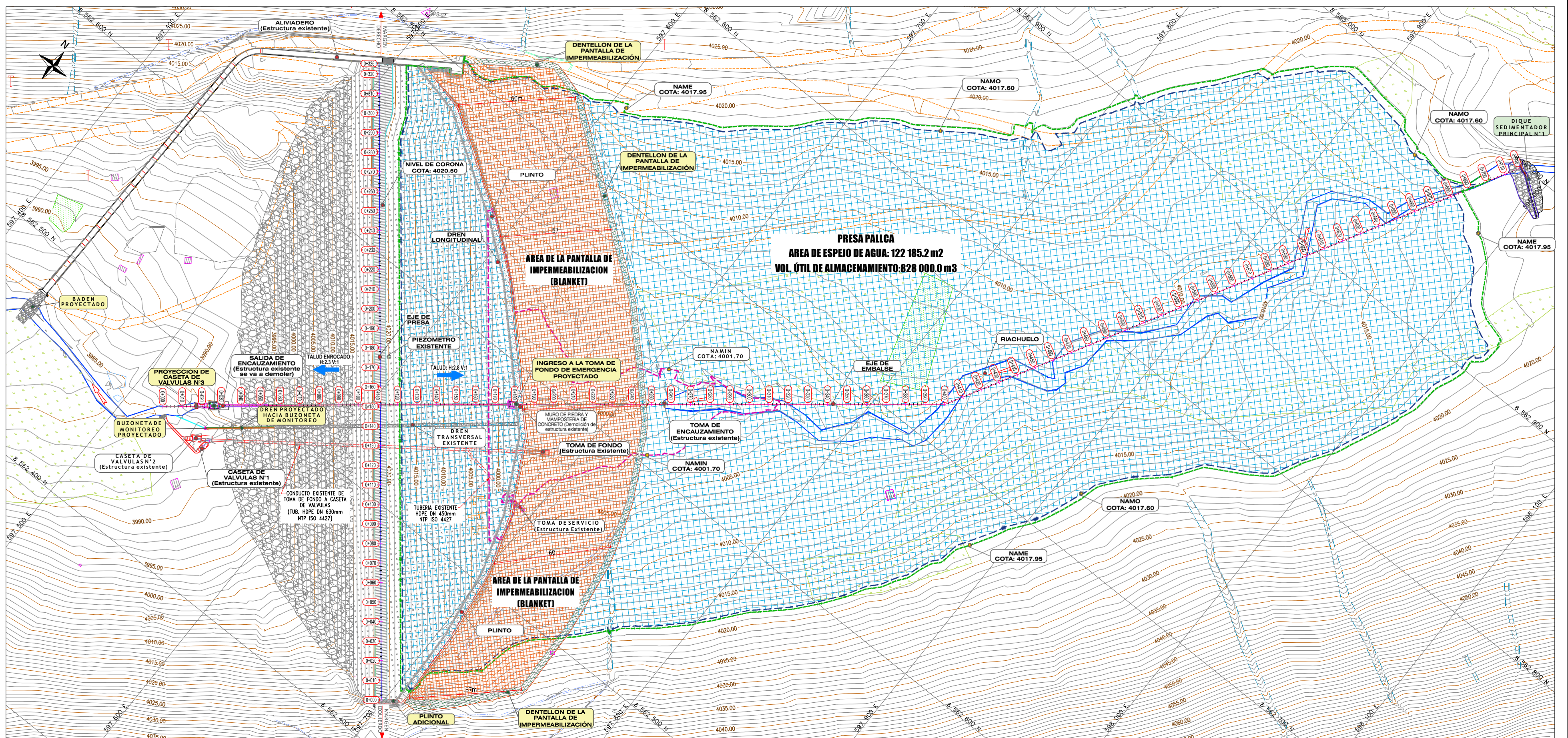


Figura C.40 Participación en los ensayos in situ.
Fuente: Elaboración propia

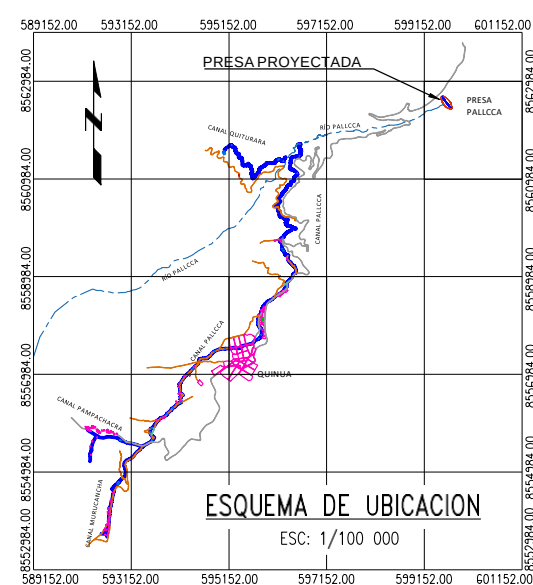


Figura C.41 Recorrido en la corona y plintón de la presa.
Fuente: Elaboración propia

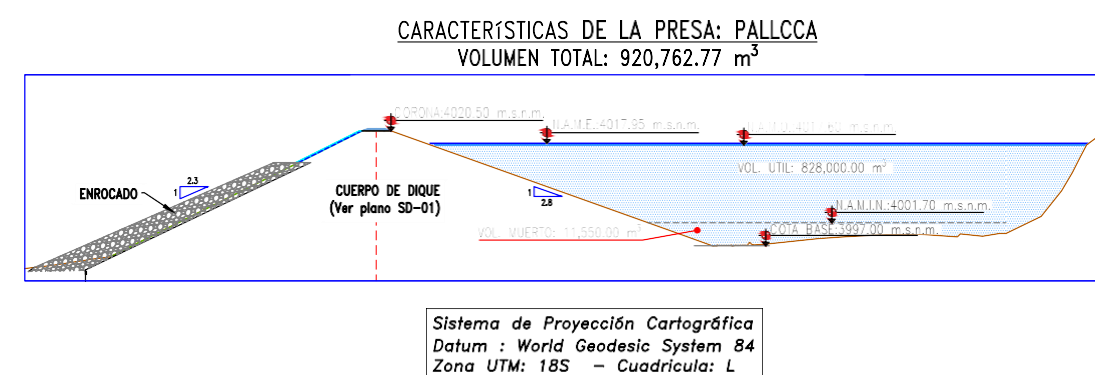
ANEXO D
Planos



PLANTA – EMBALSE
ESC: 1/1000



LEYENDA TOPOGRÁFICA			
CURVAS PRIMARIAS A 5.00 Metros		ENROCADO	
CURVAS SECUNDARIAS A 1.00 Metro		ALCANTARILLA	
PUNTO DE CONTROL		POSTE DE MEDIA TENSION	
CARRETERA		POSTE DE APOYO	
ACCESOS		CUNETA	
RIOS		EJE DE EMBALSE	
QUEBRADA		EJE DE PRESA	
CASAS		NAME 4017.95	
BOFEDALES		NAMO 4017.60	
TERRENO DE CULTIVO		NAMIN 4001.70	
PIRCA		DREN	
POZO		ESTRUCTURA EXISTENTE	



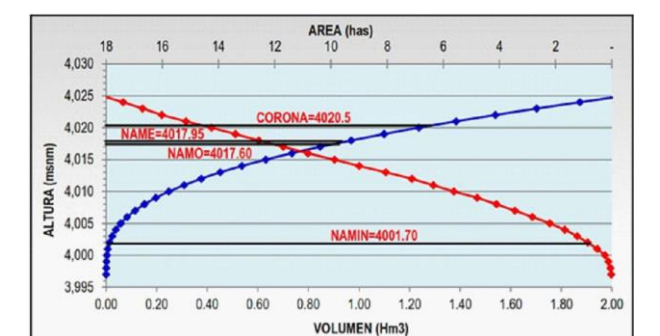
CUADRO DE UBICACIÓN DE ESTRUCTURAS PROYECTADAS			
ESTRUCTURAS PROYECTADAS	COORDENADAS WGS 84 - UTM 18 S		
	ESTE (x)	NORTE (y)	ELAVACION
INGRESO - TOMA DE FONDO DE EMERGENCIA	597657.56	8562582.97	3996.48 m.s.n.m.
SAUDA - CASETA DE VALVULAS N°3	597539.80	8562487.80	3990.26 m.s.n.m.
BUZONETA DE MONITOREO PROYECTADO	597541.85	8562474.54	3986.78 m.s.n.m.
BADEN PROYECTADO (A) (VIADUCTO)	597433.68	8562466.02	3982.47 m.s.n.m.

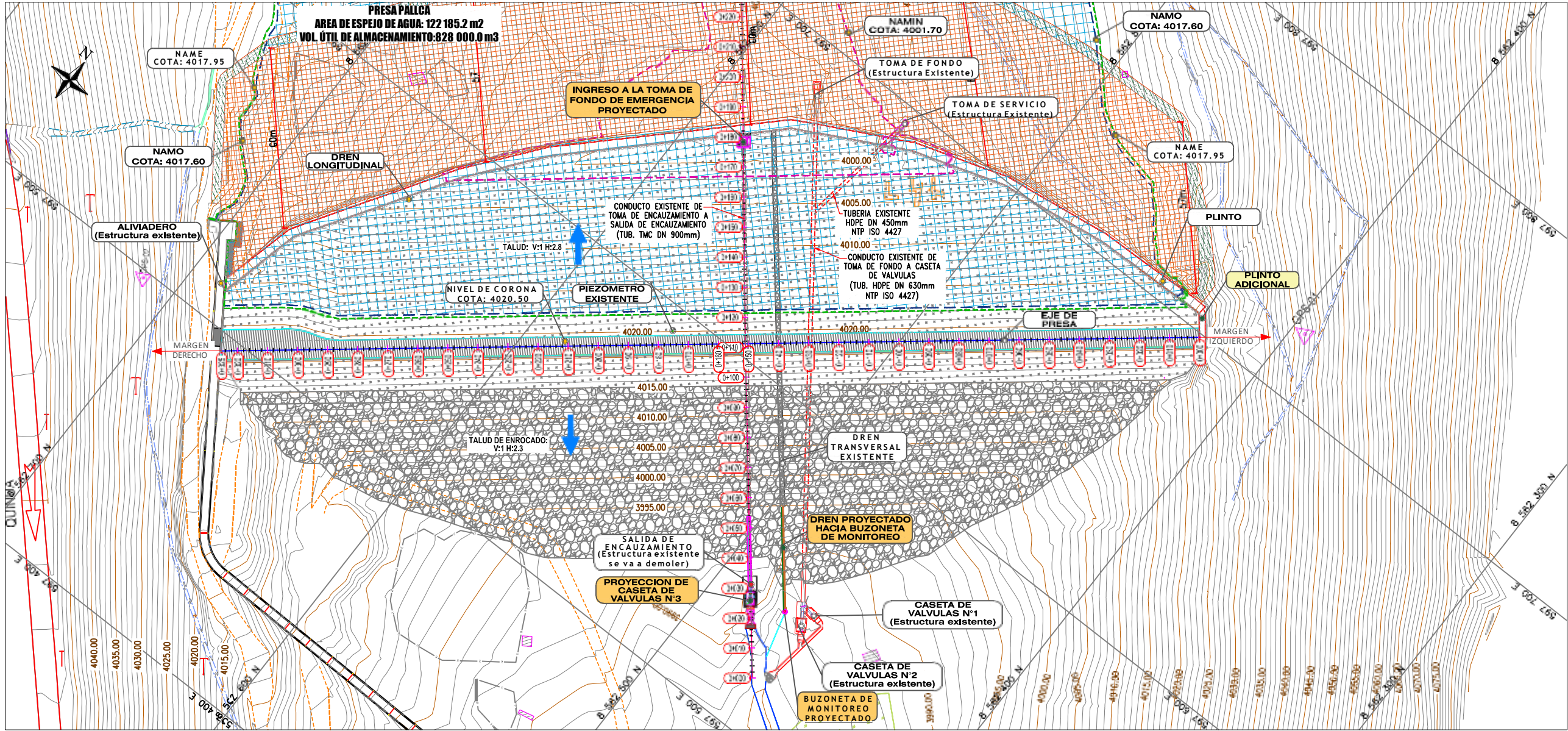
COORDENADAS DE DIQUES SEDIMENTADORES			
DESCRIPCIÓN	ESTE (X)	NORTE (Y)	ELLEVACIÓN
DIQUE SEDIMENTADOR PRINCIPAL	597991.95	8562994.96	4018.97

TABLA: CALCULO DE AREA - VOLUMEN

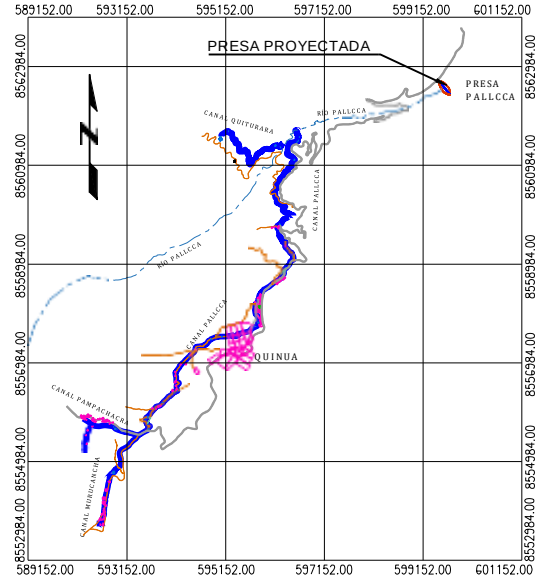
[illegible]

GRAFICO: CURVA ALTITUD
AREA-VOLUMEN





PLANTA - DIQUE
ESC: 1/1000

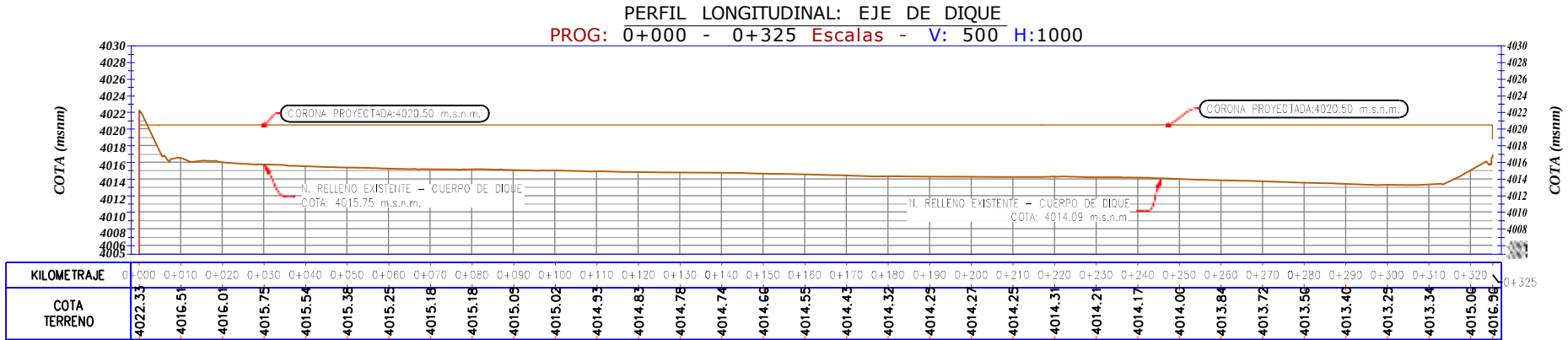


ESQUEMA DE UBICACION
ESC: 1/100 000

LEYENDA TOPOGRÁFICA			
CURVAS PRIMARIAS A 5.00 Metros		ENROCADO	
CURVAS SECUNDARIAS A 1.00 Metro		ALCANTARILLA	
PUNTO DE CONTROL		POSTE DE MEDIA TENSION	
CARRETERA		POSTE DE APOYO	
ACCESOS		CUNETA	
RÍOS		EJE DE EMBALSE	
QUEBRADA		EJE DE PRESA	
CASAS		NAME 4017.95	
BOFEDALES		NAMO 4017.60	
TERRENO DE CULTIVO		NAMIN 4001.70	
PIRCA		DREN	
POZO		ESTRUCTURA EXISTENTE	

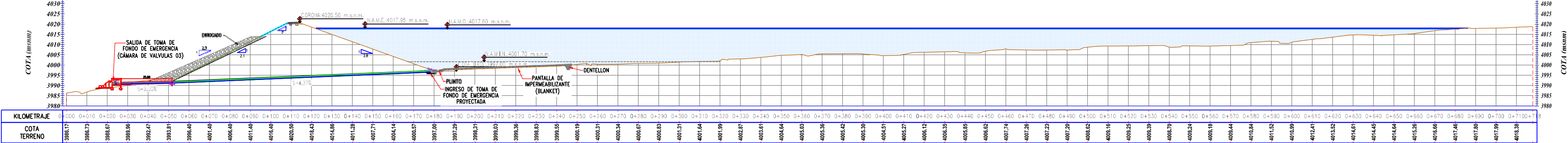
Sistema de Proyección Cartográfica
Datum : World Geodesic System 84
Zona UTM: 18S - Cuadrícula: L

ESTRUCTURAS PROYECTADAS	COORDENADAS WGS 84 - UTM 18 S		
	ESTE (x)	NORTE (y)	ELEVACION
INGRESO - TOMA DE FONDO DE EMERGENCIA	597657.56	8562582.97	3995.48 m.s.n.m.
SALIDA - CASETA DE VALVULAS N°3	597539.80	8562487.80	3990.25 m.s.n.m.
BUZONETA DE MONITOREO PROYECTADO	597541.85	8562474.54	3986.78 m.s.n.m.
BADEEN PROYECTADO (ALVIADERO)	597433.68	8562466.02	3982.47 m.s.n.m.



PERFIL LONGITUDINAL: EJE DE DIQUE
PROG: 0+000 - 0+325 Escalas - V: 500 H:1000

PERFIL TRANSVERSAL: EJE DE EMBALSE
PROG: 0+000 - 0+718 Escalas - V: 1000 H:1000



Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga
Facultad de Ciencias Agrarias
Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola

Tesis:

"Análisis numérico de la infiltración con el Software Slide en la represa de material suelto Pallca, Ayacucho 2020"



REGION: AYACUCHO
PROVINCIA: HUAMANGA Y HUANTA
DISTRITO: QUINUA Y HUAMANGUILLA

Responsable: Almeida G. Huamani Palomino
Asesor: Dr. Jorge E. Pastor Watanabe

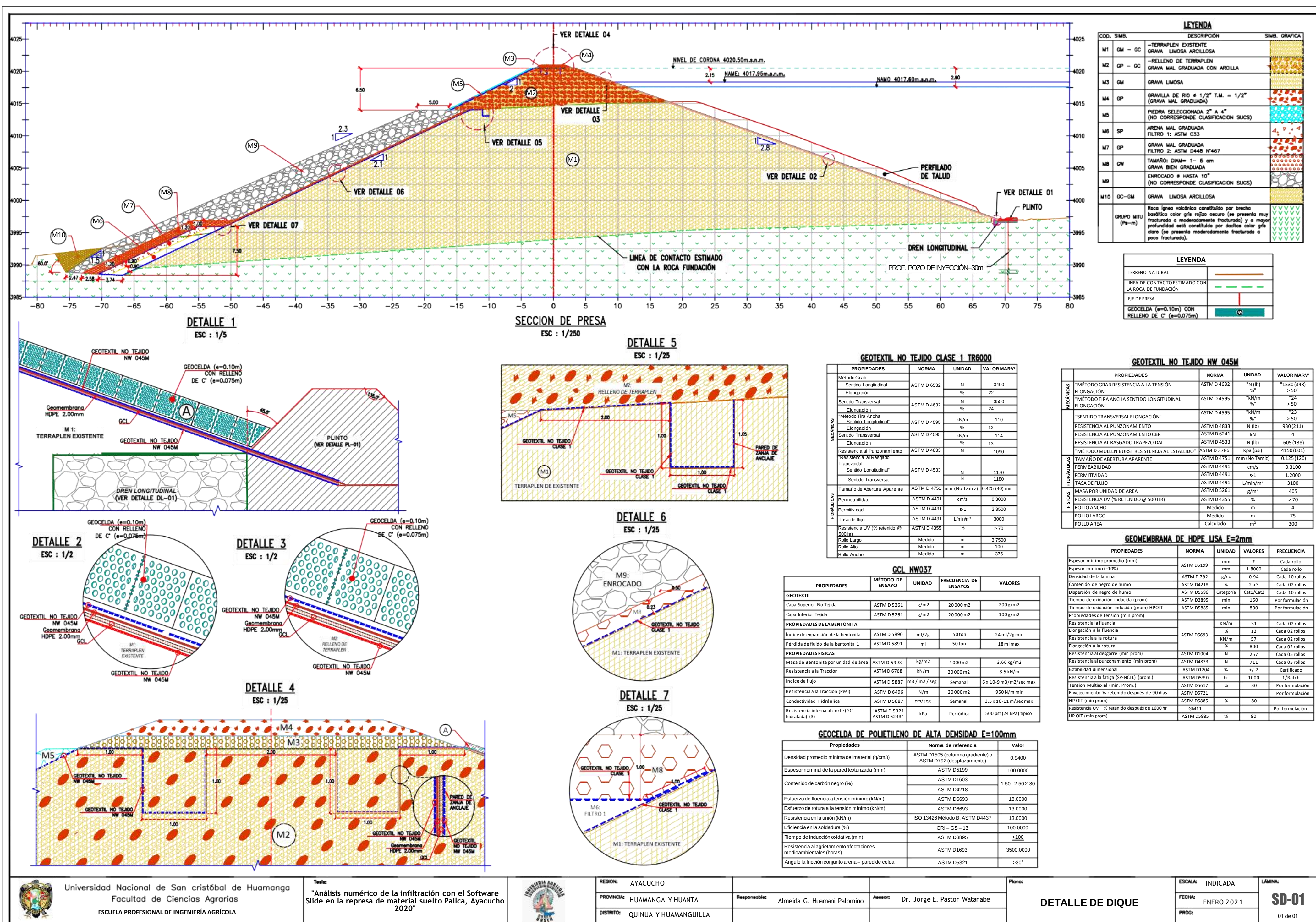
PLANO:

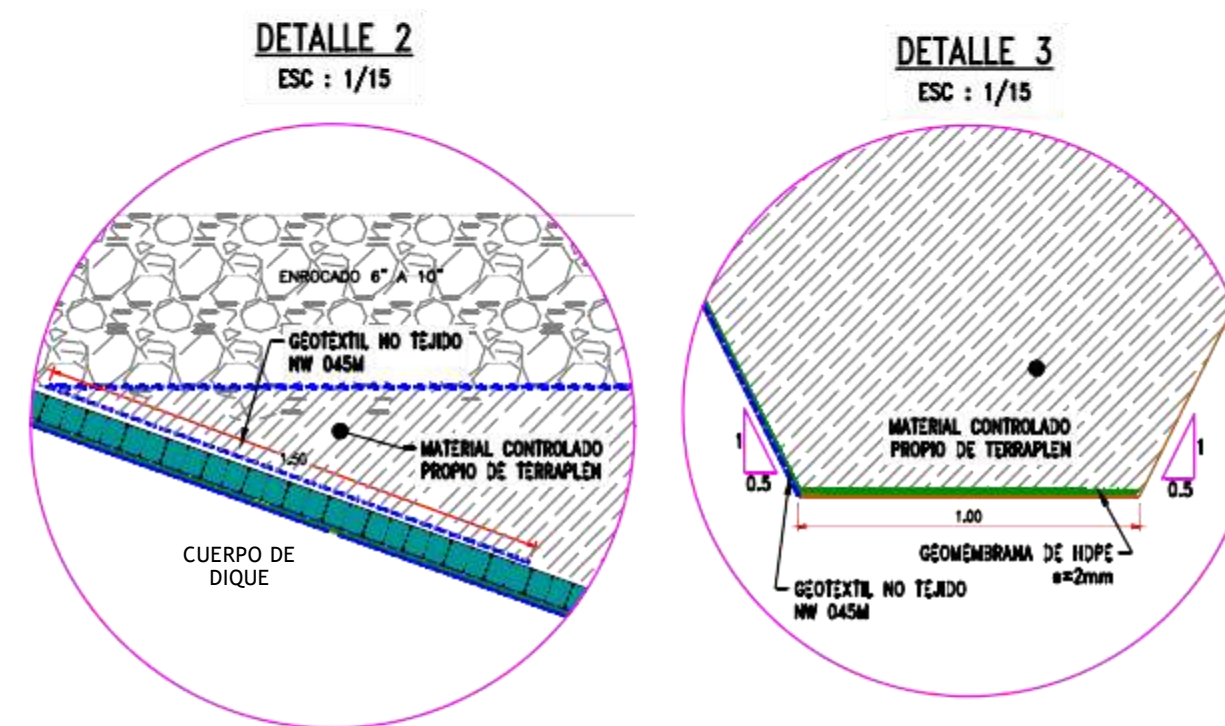
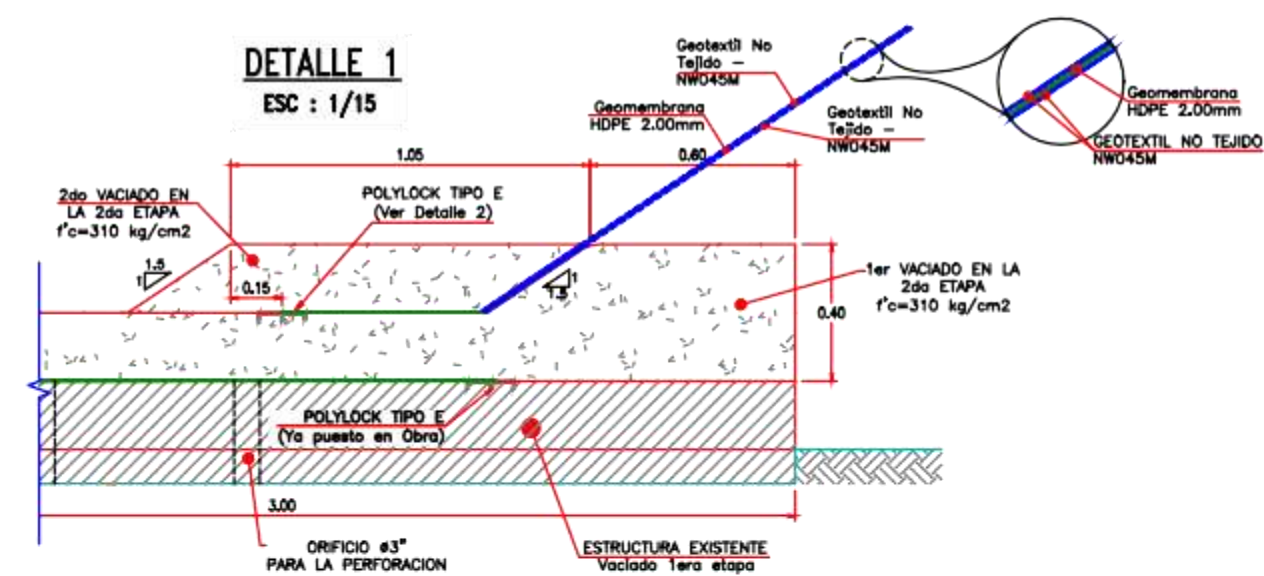
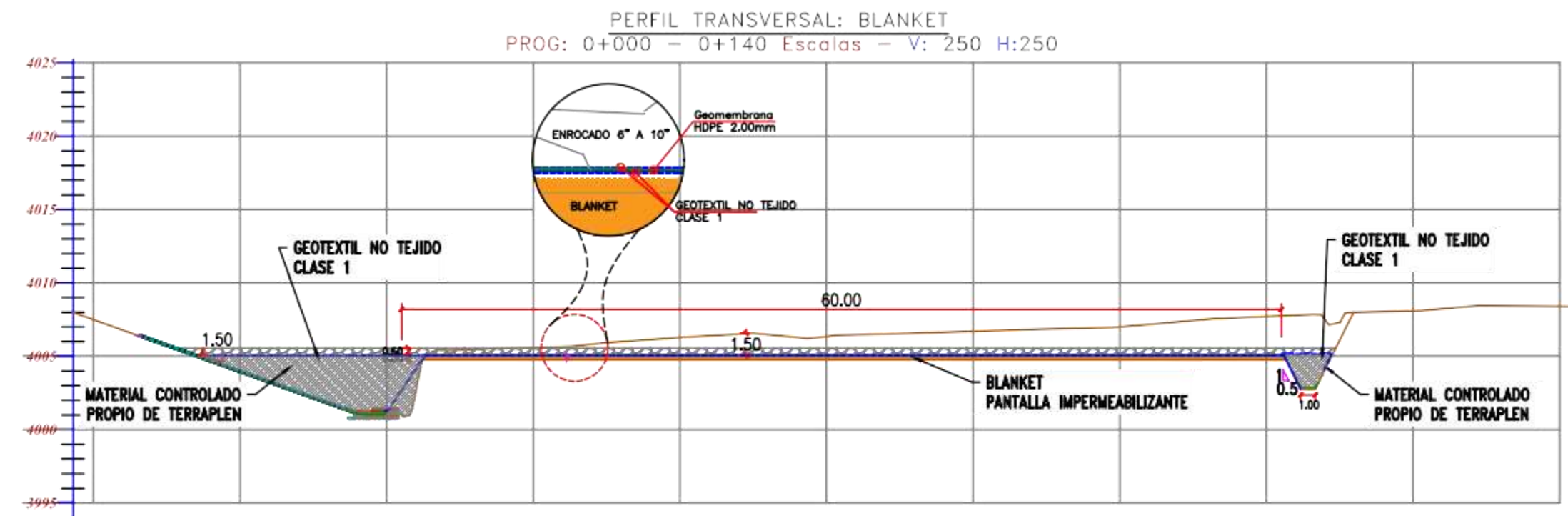
PLANTA Y PERFIL DEL EJE DE DIQUE Y EJE DE EMBALSE

ESCALA: INDICADA
FECHA: ENERO 2021
PROG:

LÁMINA:

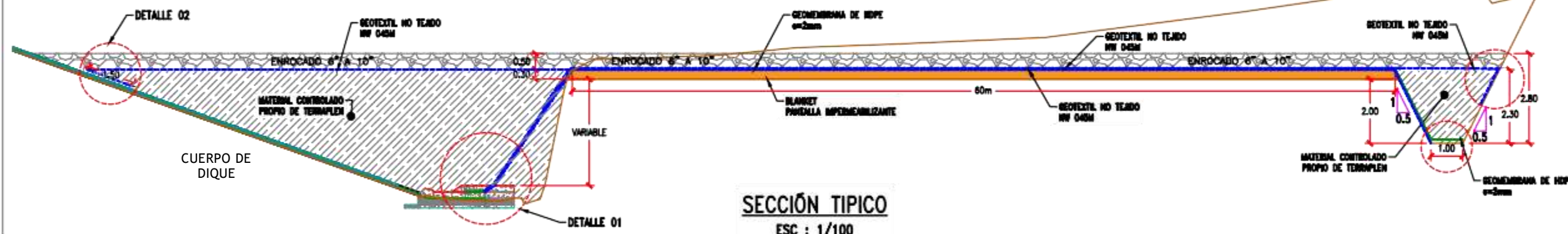
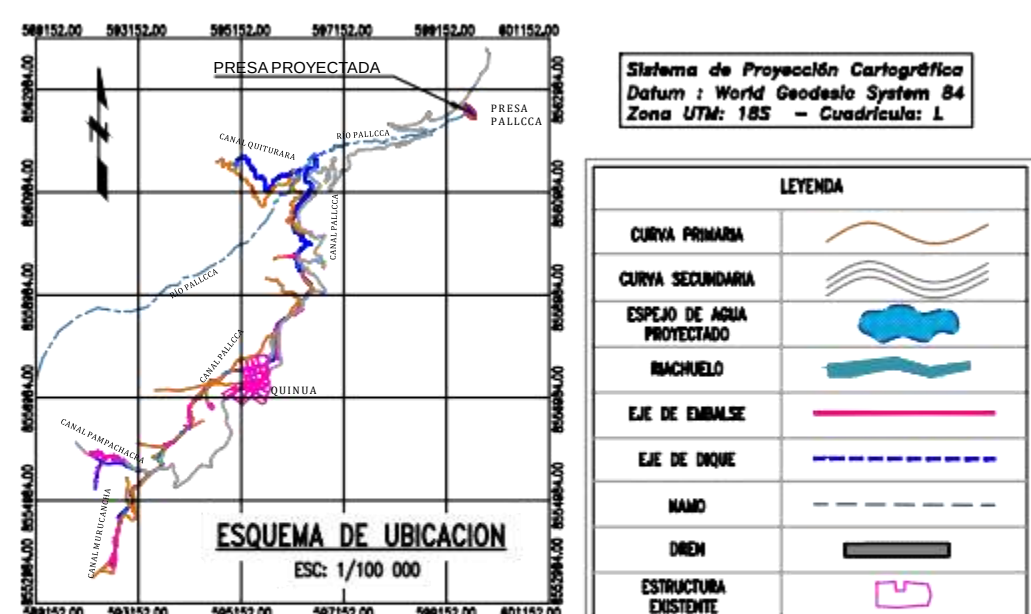
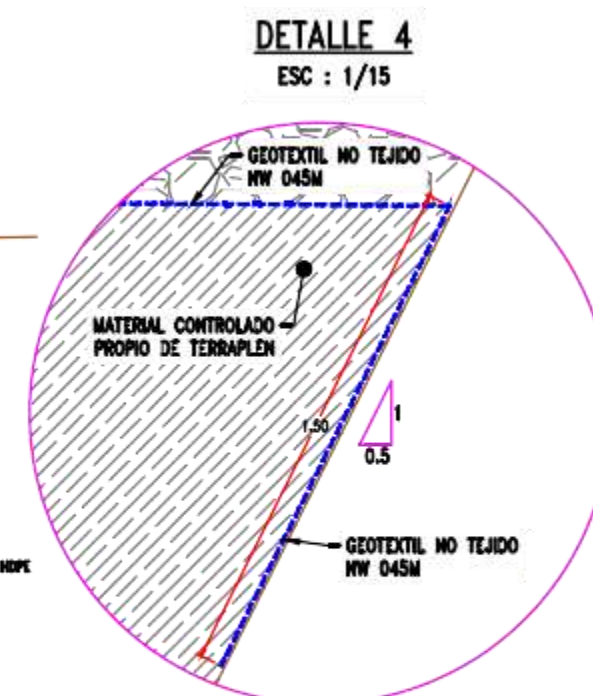
PE-02
02 de 02





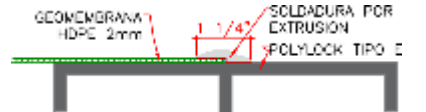
	PROPIEDADES	NORMA	UNIDAD	VALOR MÁX*
MECÁNICAS	"MÉTODO GRAB RESISTENCIA A LA TENSIÓN ELONGACIÓN"	ASTM D 4832	"k (lb)	"1530 (348)
				> 50"
	"MÉTODO TIRA ANCHA SENTIDO LONGITUDINAL ELONGACIÓN"	ASTM D 4595	"kN/m	"24
			%	> 50"
	"SENTIDO TRANSVERSAL ELONGACIÓN"	ASTM D 4595	"kN/m	"23
			%	> 50"
	RESISTENCIA AL PUNZONAMIENTO	ASTM D 4833	N (lb)	930 (211)
	RESISTENCIA AL PUNZONAMIENTO CBR	ASTM D 6242	kN	4
	RESISTENCIA AL RASGAO TRIAXIONAL	ASTM D 5398	N (lb)	605 (138)
	"MÉTODO MUELEN BURST" RESISTENCIA AL ESTALLIDO"	ASTM D 5786	Kpa (psi)	4150 (601)
HIDRÁULICAS	"TAMARZO DE ABERTURA APARENTE"	ASTM D 4752	mm (No Tamiz)	0.125 (1/20)
	PERMEABILIDAD	ASTM D 4491	cm/s	0.0100
	PIEDRIMENTADO	ASTM D 4491	s-1	1.2000
	TASA DE FLUJO	ASTM D 4492	l/(min) m ²	3.00
	MASA POR UNIDAD DE ÁREA	ASTM D 5162	g/m ²	400
FÍSICAS	RESISTENCIA UV (% RETENIDO @ 500 HRS)	ASTM D 4355	%	> 70
	ROLLO ANCHO	Medido	m	4
	ROLLO LARGO	Medido	m	75
	ROLLO DENS.	Calculado	m ³	300

GEOMEMBRANA DE HDPE LISA E=2mm				
PROPIEDADES	NORMA	UNIDAD	VALORES	FRECUENCIA
Espesor mínimo promedio (mm)	ASTM D5199	mm	2	Cada rollo
Espesor mínimo (-10%)		mm	1.8000	Cada rollo
Densidad de la lamina	ASTM D 792	g/cc	0.94	Cada 10 rollos
Contenido de negro de humo	ASTM D 2412	%	2 a 3	Cada 02 rollos
Dispersión de negro de humo	ASTM D5596	Categoría	Cat1/Cat2	Cada 10 rollos
Tiempo de oxidación inducida (prom)	ASTM D 5185	min	360	Por formulación
Tiempo de oxidación inducida (prom) HPOIT	ASTM D5185	min	800	Por formulación
Propiedades de Tensión (mm prom)				
Resistencia a la fluencia	ASTM D5693	KN/mm	31	Cada 02 rollos
Elongación a la fluencia		%	13	Cada 02 rollos
Resistencia a la rotura		KN/mm	9.7	Cada 02 rollos
Elongación a la rotura		%	800	Cada 02 rollos
Resistencia al desgarre (mm prom)	ASTM D 2004	N	257	Cada 05 rollos
Resistencia al punzonamiento (mm prom)	ASTM D4843	N	711	Cada 05 rollos
Estabilidad dimensional	ASTM D1204	%	+/- 2	Certificado
Resistencia a la fatiga (NP-HCT1) (prom.)	ASTM D5387	hr	1000	1/Batch
Tensión Multiaxial (mm. Prom.)	ASTM D5617	%	30	Por formulación
Envejecimiento % retenido después de 90 días	ASTM D5721			Por formulación
HD P.T (mm prom)	ASTM D5585	%	80	
Resistencia (UV -% retenido después de 1600 hr	GM1:			Por formulación
HD P.T (mm prom)	ASTM D5585	%	80	





SOLDADURA POR EXTRUSION
ESC. 1/2



UBICACIÓN DEL POLYLOCK EN EL PLINTO
ESC. 1/15



METRADO A

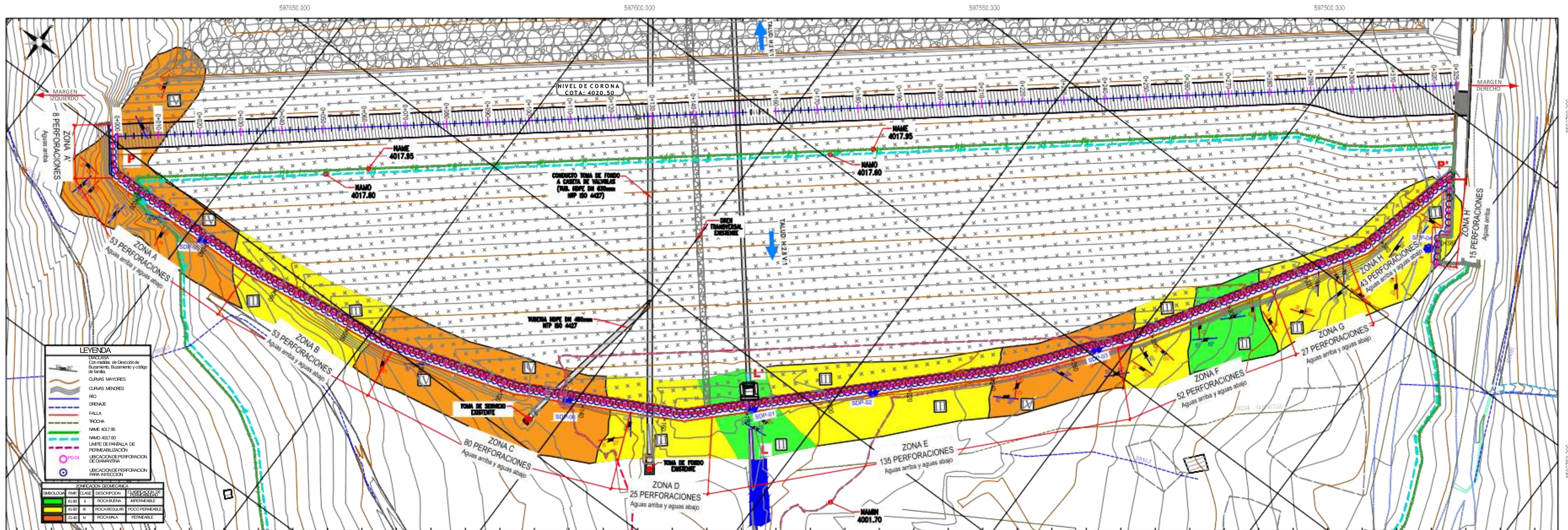
DESCRIPCION	Unid	Metrado
EMPALME EN PUNTO CON GEOTEXTILES PARA IMPERMEABILIZACION DE VADO		
ORDEN PRELIMINARIO		
LIMPIEZA DE ELUUTO. ANCHO 3.50 m	m	359.50
LIMPIEZA DEL CERCO EXTERIOR CON ASFALTO	m	538.65
INSTALACION DE ELEMENTOS TIPO POLYLOCK Y LAMINA PARA ANCLAJE DE MEMBRANA IMPERMEABILIZANTE		
SUBSTRATO E INSTALACION DE POLYLOCK PARA BANDA DE TALUD DE DIQUE	m	359.00
SUBSTRATO E INSTALACION DE POLYLOCK PARA BANDA DE PANTALLA IMPERMEABLE		
HORIZONTAL	m	869.50
SUBSTRATO E INSTALACION DE BANDA DE GEOMEMBRANA DE HOPE $\alpha=2mm$; RESINA Y RIGID		
INCLUYE Y TUBERISION	m ²	869.50
SUBSTRATO E INSTALACION DE GEOFOTIL NO TEJIDO. CONFINAMIENTO DE BASE, LATERAL Y		
TECHO CON TRASLAPE	m ²	1,739.00
ORDEN DE CONCRETO ARMADO CAPA 1		
ACERO fy=4200 kg/cm ² GRADO 80	kg	20,103.84
ENCOFRADO Y DESMCOFRADO NORMAL	m ²	287.20
CONCRETO FC = 310 kg/cm ²	m ³	272.84
ORDEN DE CONCRETO ARMADO CAPA 2		
ACERO fy=4200 kg/cm ² GRADO 80	kg	6,184.88
ENCOFRADO Y DESMCOFRADO NORMAL	m ²	11.70
CONCRETO FC = 310 kg/cm ²	m ³	71.80

NOTA

1.- LA ESCALA GRÁFICA MOSTRADA ES PARA EL FORMATO A-1, PARA A3 CONSIDERAR EL DOBLE.
2.- DIMENSIONES EN METROS Y NIVELES EN METROS, SALVO INDICADO.
3.- USAR SOLO DIMENSIONES INDICADAS EN LOS PLANOS.
4.- CUALQUIER MODIFICACIÓN DE LOS DISEÑOS SE HARÁ DEACUERDO A LAS CONDICIONES DEL TERRENO Y CON LA APROBACIÓN DE LA SUPERVISIÓN.

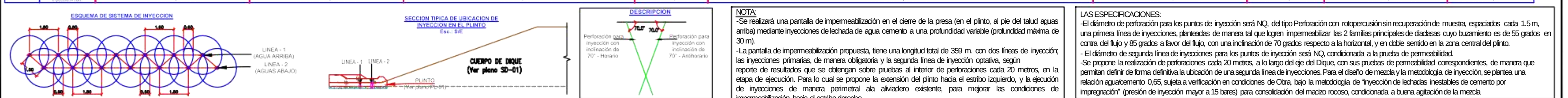
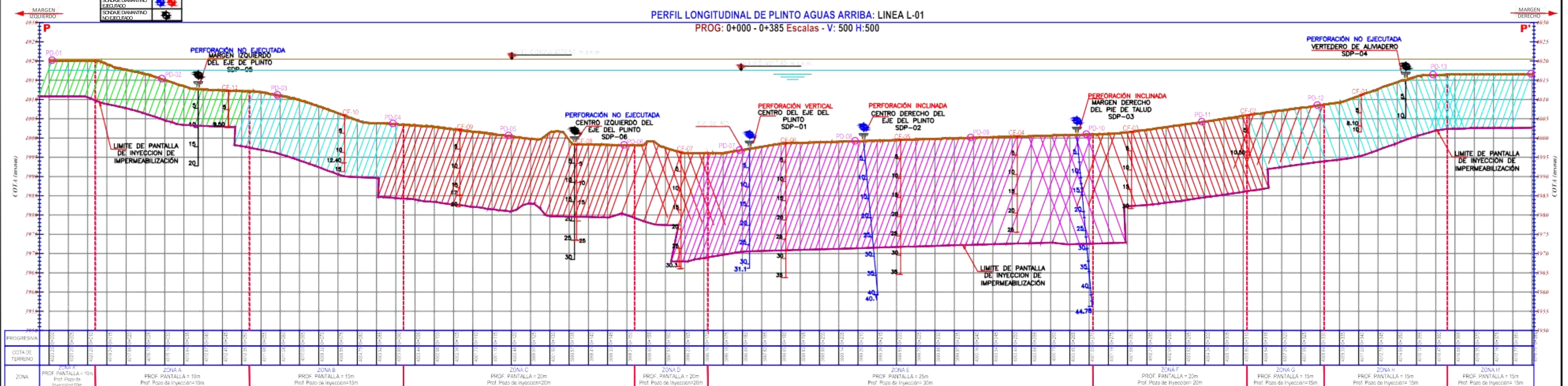
	90°	180°	
3/8"	60 mm	65 mm	
1/2"	80 mm	65 mm	
5/8"	100 mm	65 mm	
3/4"	115 mm	80 mm	

LEYEND	
	EJECUTADO EN LA 1ERA ETAPA (ESTRUCTURA EXISTENTE)
	A EJECUTAR EN LA 2DA ETAPA



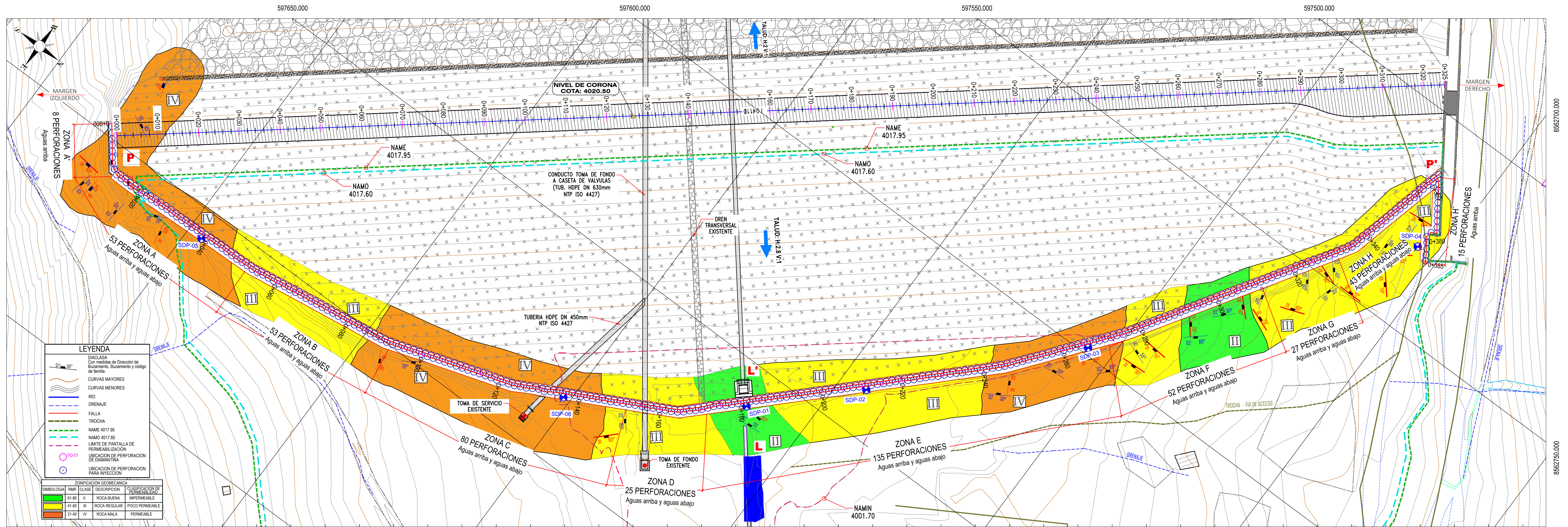
VISTA EN PLANTA
TOPOGRÁFICA
ESC. 1:500

PERFIL LONGITUDINAL DE PLINTO AGUAS ARRIBA: LINEA L-01
PROG: 0+000 - 0+385 Escalas - V: 500 H:500



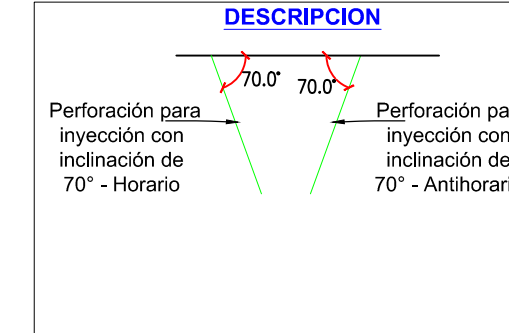
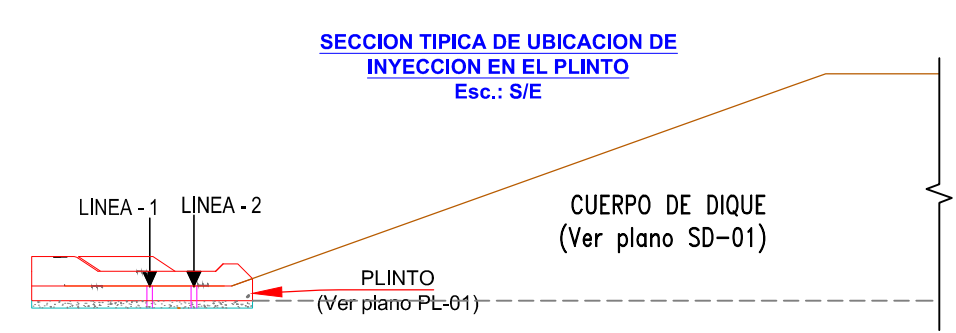
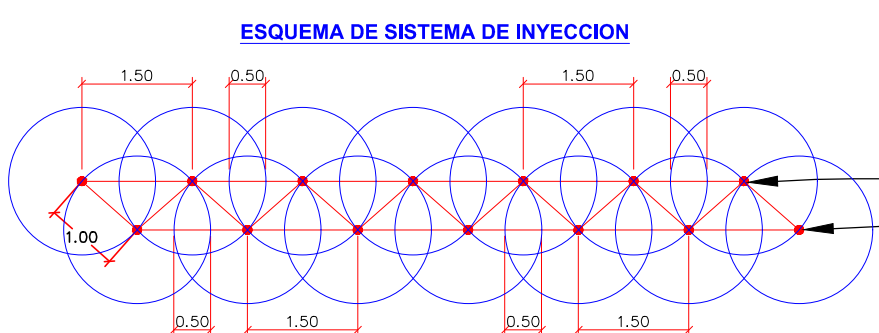
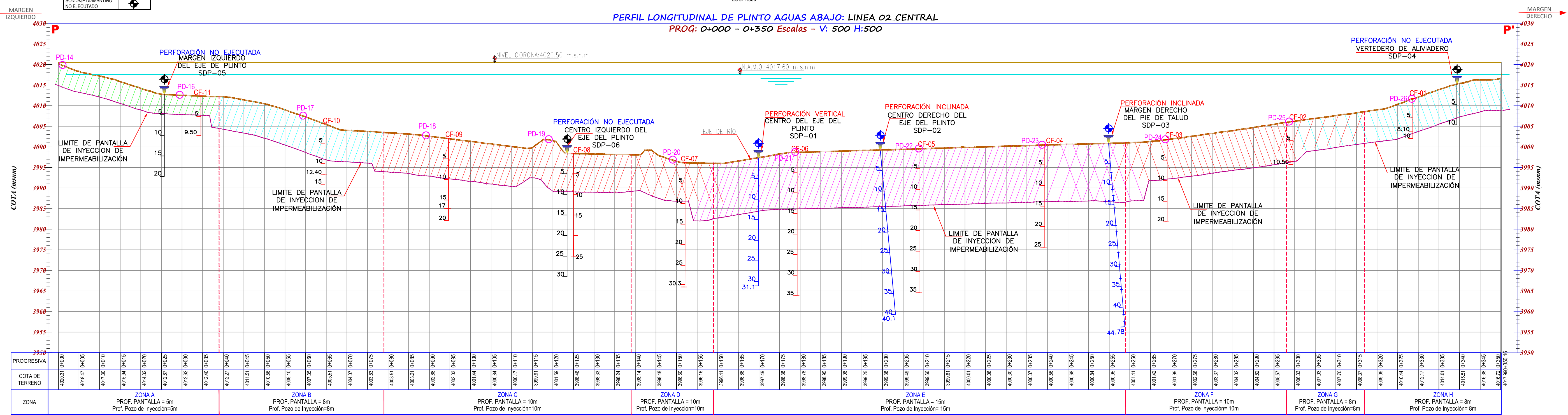
NOTA:
-Se realizará una pantalla de impermeabilización en el cierre de la presa (en el plinto, al pie del talud aguas arriba) mediante inyecciones de lechada de agua cemento a una profundidad variable (profundidad máxima de 30 m).
-La pantalla de impermeabilización propuesta, tiene una longitud total de 359 m., con dos líneas de inyección; las inyecciones primarias, de manera obligatoria y la segunda línea de inyección optativa, según reporte de resultados que se obtengan sobre pruebas al interior de perforaciones cada 20 metros, en la etapa de ejecución. Para lo cual se propone la extensión del plinto hacia el estribo izquierdo, y la ejecución de inyecciones de manera perimetral al aliviadero existente, para mejorar las condiciones de impermeabilización hacia el estribo derecho.

LAS ESPECIFICACIONES:
-El diámetro de perforación para los puntos de inyección será NQ, del tipo Perforación con rotoperforación sin recuperación de muestra, espaciados: cada 1.5 m, una primera línea de inyecciones, planteadas de manera tal que logren impermeabilizar las 2 familias principales de diaclasas cuyo buzamiento es de 55 grados en contra del flujo y 85 grados a favor del flujo, con una inclinación de 70 grados respecto a la horizontal, y en doble sentido en la zona central del plinto.
-El diámetro de segunda línea de inyecciones para los puntos de inyección será NQ, condicionada a la prueba de permeabilidad.
-Se propone la realización de perforaciones cada 20 metros, a lo largo del eje del Dique, con sus pruebas de permeabilidad correspondientes, de manera que permitan definir de forma definitiva la ubicación de una segunda línea de inyecciones. Para el diseño de mezcla y la metodología de inyección, se plantea una relación agua/cemento 0,65, sujeta a verificación en condiciones de Obra, bajo la metodología de "inyección de lechadas inestables de cemento por impregnación" (presión de inyección mayor a 15 bares) para consolidación del macizo rocoso, condicionada a buena agitación de la mezcla.



VISTA EN PLANTA
TOPOGRÁFICO
Esc. 1/500

PERFIL LONGITUDINAL DE PLINTO AGUAS ABAJO: LINEA 02 CENTRAL
PROG: 0+000 - 0+350 Escalas - V: 500 H: 500



NOTA:

- Se realizará una pantalla de impermeabilización en el cierre de la presa (en el plinto, al pie del talud aguas arriba) mediante inyecciones de lechada de agua cemento a una profundidad variable (profundidad máxima de 30 m).
- La pantalla de impermeabilización propuesta, tiene una longitud total de 359 m. con dos líneas de inyección; las inyecciones primarias, de manera obligatoria y la segunda línea de inyección optativa, según reporte de resultados que se obtengan sobre pruebas al interior de perforaciones cada 20 metros, en la etapa de ejecución. Para lo cual se propone la extensión del plinto hacia el estribo izquierdo, y la ejecución de inyecciones de manera perimetral ala aliviadero existente, para mejorar las condiciones de impermeabilización hacia el estribo derecho.

LAS ESPECIFICACIONES:

- El diámetro de perforación para los puntos de inyección será NQ, del tipo Perforación con rotoperforación sin recuperación de muestra, espaciados cada 1.5 m, una primera línea de inyecciones, planteadas de manera tal que logren impermeabilizar las 2 familias principales de diaclasas cuyo buzamiento es de 55 grados en contra del flujo y 85 grados a favor del flujo, con una inclinación de 70 grados respecto a la horizontal, y en doble sentido en la zona central del plinto.
- El diámetro de segunda línea de inyecciones para los puntos de inyección será NQ, condicionada a la prueba de permeabilidad.
- Se propone la realización de perforaciones cada 20 metros, a lo largo del eje del Dique, con sus pruebas de permeabilidad correspondientes, de manera que permitan definir de forma definitiva la ubicación de una segunda línea de inyecciones. Para el diseño de mezcla y la metodología de inyección, se plantea una relación agua/cemento 0,65, sujeta a verificación en condiciones de Obra, bajo la metodología de "inyección de lechadas inestables de cemento por impregnación" (presión de inyección mayor a 15 bares) para consolidación del macizo rocoso, condicionada a buena agitación de la mezcla



UNSCH

FACULTAD DE CIENCIAS
AGRARIAS

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE TESIS

El presidente de la comisión de docentes instructores responsables de operativizar, verificar, garantizar y controlar la originalidad de los trabajos de tesis de la Facultad de Ciencias Agrarias, deja constancia que el trabajo de tesis titulado;

“Análisis numérico de la infiltración con el Software Slide en la represa de material suelto Pallca, Ayacucho 2020”

Autor : Almeida Gracely Huamaní Palomino

Asesor : Jorge Edmundo Pastor Watanabe

Ha sido sometido al análisis del sistema antiplagio TURNITIN concluyendo que presenta un porcentaje de 20 % de similitud.

Por lo que, de acuerdo al porcentaje establecido en el Artículo 13 del Reglamento de originalidad de trabajos de investigación de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, es procedente otorgar la Constancia de Originalidad.

Ayacucho, 16 de junio de 2022

Ing. WALTER AUGUSTO MATEU MATED
Presidente de comisión

Análisis numérico de la infiltración con el Software Slide en la represa de material suelto Pallca, Ayacucho 2020

por Almeida Gracely Huamani Palomino

Fecha de entrega: 16-jun-2022 09:22a.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 1857952472

Nombre del archivo: Tesis_IA_Gracely_Huaman.pdf (51.21M)

Total de palabras: 37119

Total de caracteres: 197725

Análisis numérico de la infiltración con el Software Slide en la represa de material suelto Pallca, Ayacucho 2020

INFORME DE ORIGINALIDAD

20%

INDICE DE SIMILITUD

20%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

7%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	1 %
2	www.icog.es Fuente de Internet	1 %
3	dspace.ucuenca.edu.ec Fuente de Internet	1 %
4	creativecommons.org Fuente de Internet	1 %
5	www.xeologosdelmundu.org Fuente de Internet	1 %
6	www.scielo.org.co Fuente de Internet	1 %
7	es.scribd.com Fuente de Internet	1 %
8	Submitted to Universidad de Cartagena Trabajo del estudiante	1 %
9	transversalppd.blogspot.com Fuente de Internet	

1 %

10

ojs2.utp.edu.co

Fuente de Internet

<1 %

11

clubensayos.com

Fuente de Internet

<1 %

12

www.dspace.uce.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

13

fr.slideserve.com

Fuente de Internet

<1 %

14

fr.slideshare.net

Fuente de Internet

<1 %

15

cybertesis.urp.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

16

qdoc.tips

Fuente de Internet

<1 %

17

1library.co

Fuente de Internet

<1 %

18

dokumen.tips

Fuente de Internet

<1 %

19

repositorio.unsch.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

20

ciencia.lasalle.edu.co

Fuente de Internet

<1 %

21	doku.pub Fuente de Internet	<1 %
22	repositorio.uho.edu.cu Fuente de Internet	<1 %
23	repositorio.uss.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
24	vsip.info Fuente de Internet	<1 %
25	idoc.pub Fuente de Internet	<1 %
26	archive.org Fuente de Internet	<1 %
27	www.finesoftware.es Fuente de Internet	<1 %
28	tesis.pucp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
29	repositorio.unc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
30	www.revistas.ucr.ac.cr Fuente de Internet	<1 %
31	upcommons.upc.edu Fuente de Internet	<1 %
32	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

33	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1 %
34	gbandrea24.wordpress.com Fuente de Internet	<1 %
35	repositorio.unsa.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
36	redciencia.cu Fuente de Internet	<1 %
37	Submitted to Universidad Nacional de Colombia Trabajo del estudiante	<1 %
38	ingenierospetroleros.blogspot.com Fuente de Internet	<1 %
39	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
40	mafiadoc.com Fuente de Internet	<1 %
41	monografias.umcc.cu Fuente de Internet	<1 %
42	cdigital.dgb.uanl.mx Fuente de Internet	<1 %
43	repositorio.upct.es Fuente de Internet	<1 %
44	www.slideshare.net Fuente de Internet	

<1 %

45

filadd.com

Fuente de Internet

<1 %

46

chempublishers.com

Fuente de Internet

<1 %

47

siasa.com.sv

Fuente de Internet

<1 %

48

renati.sunedu.gob.pe

Fuente de Internet

<1 %

49

core.ac.uk

Fuente de Internet

<1 %

50

ocw.usal.es

Fuente de Internet

<1 %

51

repositorio.urp.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

52

kupdf.net

Fuente de Internet

<1 %

53

www.delegacion.caminos.upm.es

Fuente de Internet

<1 %

54

amcaonline.org.ar

Fuente de Internet

<1 %

55

Repositorio.Gestiondelriesgo.Gov.Co

Fuente de Internet

<1 %

56	files.tecnicoconstruccionipdp.webnode.cl Fuente de Internet	<1 %
57	mdc.ulpgc.es Fuente de Internet	<1 %
58	es.unionpedia.org Fuente de Internet	<1 %
59	repositorio.unh.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
60	Submitted to Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas Trabajo del estudiante	<1 %
61	bibdigital.epn.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
62	es.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
63	Repositorio.Unsa.Edu.Pe Fuente de Internet	<1 %
64	Ignacio Villalba Sanchis. "STUDY, ANALYSIS AND DETERMINATION OF BUCKLING LOAD IN DUAL GAUGE TRACKS THROUGH ANALYTICAL AND NUMERICAL METHODS.", Universitat Politècnica de Valencia, 2017 Publicación	<1 %
65	zh.scribd.com Fuente de Internet	<1 %

66	Maan H. Jawad. "Theory and Design of Plate and Shell Structures", Springer Science and Business Media LLC, 1994 Publicación	<1 %
67	Submitted to Universidad Autónoma de Nuevo León Trabajo del estudiante	<1 %
68	dspace.ups.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
69	repository.unilibre.edu.co Fuente de Internet	<1 %
70	Submitted to unap Trabajo del estudiante	<1 %
71	docplayer.es Fuente de Internet	<1 %
72	repositorio.una.edu.ni Fuente de Internet	<1 %
73	tel.archives-ouvertes.fr Fuente de Internet	<1 %
74	repositorio.continental.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
75	docslide.us Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 30 words

Excluir bibliografía

Apagado