



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y

METALÚRGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



**PANTALLA DE IMPERMEABILIZACIÓN MEDIANTE
INYECCIONES DE MORTERO CEMENTO EN LA REPRESA
PALLCCA, DISTRITO DE QUINUA – HUAMANGA - AYACUCHO**

TESIS

PRESENTADA POR:

BACH. OLINDA ESTHER POMA URUCHI

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO GEÓLOGO**

PUNO – PERÚ

2023



NOMBRE DEL TRABAJO

**"PANTALLA DE IMPERMEABILIZACIÓN
MEDIANTE INYECCIONES DE MORTERO
CEMENTO EN LA REPRESA PALLCCA, DI
S**

AUTOR

OLINDA ESTHER POMA URUCHI

RECuento de palabras

53400 Words

RECuento de caracteres

246123 Characters

RECuento de páginas

210 Pages

Tamaño del archivo

43.2MB

Fecha de entrega

Jan 11, 2023 9:30 PM GMT-5

Fecha del informe

Jan 11, 2023 9:34 PM GMT-5

● **7% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos

- 7% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 2% Base de datos de trabajos entregados
- 0% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Bloques de texto excluidos manualmente
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 20 palabras)



Firmado digitalmente por MACHACA
CONDORI Hector Raúl FAU
20145496170 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 11.01.2023 22:06:27 -05:00



DEDICATORIA

A Dios por darme vida, salud y por permitirme haber llegado hasta este momento tan importante en mi formación profesional.

Al regalo más grande que Dios me dio, mi hijo Dangelo Magno, la persona más importante de mi vida, mi fuente de motivación e inspiración quien me da fuerzas y motivos para luchar y seguir adelante. A mi amado esposo Carlo Magno por su sacrificio y su arduo esfuerzo, por creer en mi capacidad y por estar siempre a mi lado en momentos hostiles y benévolos.

A mis padres y a mis hermanos por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su cariño y apoyo.

Olinda E. Poma Uruchi



AGRADECIMIENTO

- Agradezco a la Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ingeniería geológica y metalúrgica, Escuela Profesional de Ingeniería geológica y a cada uno de los docentes por brindarme sus conocimientos que ayudaron en mi formación profesional, impulsándome siempre a seguir adelante.
- Quiero agradecer de manera especial y sincera a mi asesor de tesis el D.Sc. Héctor Raúl Machaca Condori por la orientación y apoyo que me brindó para la realización de este proyecto, por su capacidad para guiar mis ideas el cual ha sido un aporte invaluable.
- A la empresa INGESONDEX PERÚ SAC por darme la oportunidad y la facilidad de poder realizar este estudio de investigación.
- A mis padres Rubén y Gumercinda, por enseñarme a no desfallecer ni rendirme ante nada, y siempre perseverar a través de sus sabios consejos.
- Gracias a mis hermanos Iván y Cesar, quienes me han apoyado incondicionalmente en el transcurso de mi carrera universitaria, compartiendo momentos de alegría, tristeza y demostrando que siempre podré contar con ellos.
- A mis compañeros de trabajo que me brindaron su apoyo incondicional con la realización de este proyecto, a la vida por este nuevo triunfo y a todos los que creyeron en la realización de esta tesis.

Olinda E. Poma Uruchi



INDICE GENERAL

Pág.

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

INDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

RESUMEN 17

ABSTRACT..... 18

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... 19

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 19

1.2.1 Problema General 19

1.2.2 Problemas Específicos 20

1.3 HIPÓTESIS 20

1.3.1 Hipótesis General 20

1.3.2 Hipótesis Específicas 20

1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN..... 20

1.4.1 Objetivos General..... 20

1.4.2 Objetivos Específicos 20

1.5 JUSTIFICACIÓN 21

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA



2.1	ANTECEDENTES DEL PROBLEMA.....	22
2.1.1	Parámetros de Inyección de Lechada	24
2.1.2	Diseño de Mezcla para Impermeabilización	26
2.1.3	Criterios de Cierre	28
2.2	BASES TEÓRICAS	29
2.2.1	Calidad del Macizo Rocoso	29
2.2.1.1	Índice de Calidad de la Roca (RQD)	29
2.2.1.2	Rock Mass Rating (RMR)	30
2.2.2	Permeabilidad In Situ	33
2.2.3	Ensayo Lefranc.....	33
2.2.4	Ensayo Lugeon.....	37
2.2.5	Práctica Actual de Interpretación de Lugeon	41
2.2.6	Diseño de Mezcla de Inyección	45
2.2.7	Ensayos de Laboratorio In Situ	45
2.2.7.1	Ensayo de Cono de Marsh	46
2.2.7.2	Ensayo de Densidad	46
2.2.7.3	Ensayo de Decantación	47
2.2.7.4	Ensayo de Cohesión	47
2.2.8	Método GIN	48
2.2.8.1	Consideraciones Generales	49
2.2.8.2	Presión de Inyección	50
2.2.8.3	Elección de la Curva de Inyección.....	51
2.2.8.4	Interpretación de Trayectorias Sobre Gráficos	54
2.2.8.5	Seguimiento y Registro de Trabajos de Inyección.....	55
2.3	MARCO CONCEPTUAL O GLOSARIO	58



2.4	ESTUDIOS RECOPIRADOS	61
2.4.1	Prospección Geofísica – Tomografía Eléctrica.....	61
2.4.1.1	TE-01	61
2.4.1.2	TE-02	62
2.4.1.3	TE-03	62
2.4.1.4	TE-04	63
2.4.1.5	TE-05	64
2.4.1.6	TE-06	64
2.4.1.7	TE-07	65
2.4.1.8	TE-08	66
2.4.2	Caracterización Geomecánica.....	66
2.4.3	Permeabilidad In Situ.....	70

CAPÍTULO III

MÉTODOS Y MATERIALES

3.1	METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.....	71
3.1.1	Recopilación y Revisión Bibliográfica	71
3.1.2	Trabajos de Campo	72
3.1.2.1	Mapeo Geológico Local.....	72
3.1.2.2	Perforaciones Diamantinas y Rotopercusivas.....	73
3.1.2.3	Logueo Geotécnico	75
3.1.2.4	Ensayos de Permeabilidad Lefranc	76
3.1.2.5	Ensayos de permeabilidad Lugeon	77
3.1.2.6	Control Diario de Nivel Agua.....	78
3.1.2.7	Ensayos de Calidad de Mezcla.....	79
3.1.2.8	Selección de Curva GIN y Presión de Inyección.....	80



3.1.2.9	Espaciamiento Entre Pozos de Inyección	81
3.1.2.10	Inyecciones con Mortero Cemento	81
3.1.3	Trabajos de Gabinete.....	83
3.2	MATERIALES Y EQUIPOS.....	84
3.2.1	Materiales	84
3.2.2	Equipos.....	85
CAPÍTULO IV		
CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO		
4.1	DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	86
4.1.1	Ubicación del Área de Estudio.....	86
4.1.2	Accesos al Área de Estudio.....	86
4.1.2.1	Vía terrestre.....	86
4.1.2.2	Vía Aérea	87
4.1.3	Clima	87
4.1.4	Flora y Fauna.....	88
4.2	CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS.....	89
4.2.1	Geomorfología	89
4.2.2	Geología Regional.....	90
4.2.2.1	Grupo Mitu.....	90
4.2.2.2	Formación Ayacucho	91
4.2.2.3	Subvolcánico Yanacochoa	92
4.2.2.4	Batolito Villa Azul.....	92
4.2.2.5	Intrusivo Sienita	93
4.2.3	Geología Local	93
4.2.3.1	Grupo Mitu.....	93



4.2.3.2 Depósito Aluvial	95
4.2.3.3 Depósito Fluvio-aluviales	96
4.2.3.4 Depósito Antropogénico	96
4.2.3.5 Condiciones Estructurales del Plinto	97
4.2.3.6 Condiciones de Agua	98

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO.....	103
5.1.1 Perforaciones Diamantinas.....	103
5.2 PERMEABILIDAD IN SITU	134
5.2.1 Ensayo Lefranc.....	134
5.2.1.1 Ensayos Lefranc, Primera Campaña de Inyección 2021.....	134
5.2.1.2 Ensayo Lefranc, Segunda Campaña de Inyección 2022.....	136
5.2.2 Ensayo Lugeon.....	139
5.3 EFICIENCIA DEL MÉTODO DE INYECCIÓN	142
5.3.1 Ensayos de Calidad de Lechada In Situ	142
5.3.1.1 Ensayo de Fluidez (Cono de Marsh).....	143
5.3.1.2 Ensayo de Decantación	145
5.3.1.3 Ensayo de Cohesión	146
5.3.1.4 Ensayo de Densidad de la Mezcla	148
5.3.2 Inyecciones de Lechada con Método GIN	149
5.3.2.1 Selección de Mezcla.....	149
5.3.2.2 Elección de la Curva GIN y Presión de Inyección.....	151
5.3.2.3 Pantalla de Impermeabilización y Profundidad de Inyección...	153
5.3.2.4 Inyecciones con el Método GIN	155



5.3.3	Control de Absorción de Lechada en el Plinto.....	160
5.3.3.1	Consumo de mezcla por Pozos Perforados	164
5.3.4	Ensayos de Permeabilidad Pre y Post Impermeabilización	166
5.3.4.1	Primera Campaña de Inyección 2021	166
5.3.4.2	Segunda Campaña de Inyección 2022	166
VI.	CONCLUSIONES	171
VII.	RECOMENDACIONES	173
VIII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	174

Area: Geotecnia

Tema: Impermeabilización de represa

Fecha de sustentación: 13 de enero del 2023



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Presiones de inyección de acuerdo a las prácticas en Suecia y Estados Unidos.	25
Figura 2. Ensayo Lefranc de Nivel variable.....	35
Figura 3. Ensayo Lefranc de Nivel constante.....	36
Figura 4. Configuración de ensayo Lugeon.	38
Figura 5. Patrones de resultados de pruebas de Lugeon para la obtención del valor Lugeon representativo.....	44
Figura 6. Envoltentes Limitantes propuestas para inyectado.	52
Figura 7. Ejemplo de curvas de trayectorias de inyectado.	55
Figura 8. Proceso de inyección en una progresión.	57
Figura 9. Perfil geoelectrico TE-01, 470 metros.	61
Figura 10. Perfil geoelectrico TE-02, 470 metros.	62
Figura 11. Perfil geoelectrico TE-03, 470 metros.	63
Figura 12. Perfil geoelectrico TE-04, 470 metros.	63
Figura 13. Perfil geoelectrico TE-05, 235 metros.	64
Figura 14. Perfil geoelectrico TE-06, 235 metros.	65
Figura 15. Perfil geoelectrico TE-07, 235 metros.	65
Figura 16. Perfil geoelectrico TE-08, 235 metros.	66
Figura 17. Marcado y distribución de los pozos de perforación.....	73
Figura 18. Perforaciones diamantinas en plinto de la represa.	74
Figura 19. Perforaciones rotoperkusivas en plinto de la represa.	75
Figura 20. Logueo geotécnico de las cajas de perforación.	76



Figura 21. Ensayo de permeabilidad Lefranc.	77
Figura 22. Ensayo de permeabilidad tipo Lugeon.	78
Figura 23. control del nivel de agua en los pozos perforados.....	79
Figura 24. Ensayos de calidad de lechada.	80
Figura 25. Distribución de los pozos primarios, secundarios y terciarios.	81
Figura 26. Registro de inyección en tiempo real.	82
Figura 27. Trabajos de inyección de lechada.....	83
Figura 28. Procesamiento de curvas de trayectoria P-V.	84
Figura 29. Ubicación y accesibilidad a la zona de estudio.	88
Figura 30. Valle glaciar Pallcca con forma de “U”, vista hacia el NE.	89
Figura 31. Afloramientos de andesita, textura afanítica pseudoestratificada.	93
Figura 32. Transición de Brecha volcánica en pozo S-43, caja 04.	94
Figura 33. Depósitos antropogénicos, vista al cuerpo de presa y blanquet.	96
Figura 34. flujo de agua por debajo del cuerpo de la presa.	98
Figura 35. Ubicación de perforaciones diamantinas y Clasificación RMR de macizo rocoso por sondaje.	133
Figura 36. Ejecución del ensayo Lefranc.....	136
Figura 37. Ejecución del ensayo Lugeon.....	140
Figura 38. Ensayo de cono de Marsh para estimar la fluidez de la mezcla.	144
Figura 39. Tiempo de fluidez de lechada con diferentes % de aditivo.	144
Figura 40. Ejecución del ensayo de decantación.	145
Figura 41. Decantación de lechada con diferentes dosificaciones de aditivo polifuncional.	146



Figura 42. Ejecución del ensayo de cohesión.	147
Figura 43. Cohesión de lechada con diferentes dosificaciones de aditivo polifuncional.	147
Figura 44. Ejecución del ensayo de densidad.	148
Figura 45. Densidades de lechada con diferentes dosificaciones de aditivo polifuncional.	149
Figura 46. Gráfico GIN para presiones máximas de 5 bar y 7 bar.	153
Figura 47. Zonificación geotécnica y perfil del terreno.....	154
Figura 48. Ubicación de la pantalla de inyección.	155
Figura 49. Distribución de los pozos primarios, secundarios y terciarios.	156
Figura 50. Caudalímetro y registro de inyección en tiempo real.....	157
Figura 51. Trabajos de inyección de lechada.....	158
Figura 52. Curvas de trayectoria P-V, pozo P-165.	159
Figura 53. Curvas de trayectoria P-V, pozo P-177.	160
Figura 54. Ubicación de pozos de control de la primera y segunda campaña de inyección.	163
Figura 55. Consumo de cemento de la primera campaña (color amarillo, 2021) respecto a la segunda campaña (color verde, 2022).....	165
Figura 56. Valores de permeabilidad versus profundidad en la primera campaña de inyección 2021.	168
Figura 57. Valores de permeabilidad versus profundidad en la segunda campaña de inyección 2022.	169
Figura 58. Flujo de lechada a través de discontinuidades en afloramiento de andesita.	170
Figura 59. Evidencia de mezcla inyectada en campaña 2021.....	170



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Importancia de diferentes factores en la funcionalidad de la mezcla y en relación con la apertura de las fracturas por inyectar.....	27
Tabla 2. Propiedades especificadas para la mezcla de inyección.....	28
Tabla 3. Clasificación de la calidad del macizo rocoso según RQD.....	30
Tabla 4. Sistema de valoración del macizo rocoso - RMR.	32
Tabla 5. Clasificación RMR y relación con propiedades físicas.....	32
Tabla 6. Clasificación de la conductividad hidráulica.	36
Tabla 7. Clasificación según coeficiente de permeabilidad.	36
Tabla 8. Condición de discontinuidades del macizo rocoso asociadas con valores Lugeon.....	40
Tabla 9. Clasificación del valor Lugeon representativo.	41
Tabla 10. Clasificación de macizos rocosos en función de la permeabilidad.....	41
Tabla 11. Ejemplo de secuencia de mezcla.	46
Tabla 12. Logueo Geotécnico de perforación.....	68
Tabla 13. Resultados de ensayos de permeabilidad.....	70
Tabla 14. Presión máxima de inyección.	80
Tabla 15. Coordenadas de localización.	86
Tabla 16. Vías de acceso a la represa Palleca.....	86
Tabla 17. Composiciones petrográficas de muestras analizadas.	90
Tabla 18. Niveles de agua registrados en pozos perforados.	99
Tabla 19. Clasificación del macizo rocoso por zonas.....	104



Tabla 20. Calidad de la roca en el pozo P-09.	105
Tabla 21. Calidad de la roca en el pozo S-11.	106
Tabla 22. Calidad de la roca en el pozo P-13.	107
Tabla 23. Calidad de la roca en el pozo S-15.	108
Tabla 24. Calidad de la roca en el pozo PD-02 – P-17.	108
Tabla 25. Calidad de la roca en el pozo S-19.	109
Tabla 26. Calidad de la roca en el pozo P-21.	110
Tabla 27. Calidad de la roca en el pozo PD-03.	111
Tabla 28. Calidad de la roca en el pozo S-43.	112
Tabla 29. Calidad de la roca en el pozo P-45.	113
Tabla 30. Calidad de la roca en el pozo S-47.	114
Tabla 31. Calidad de la roca en el pozo P-49.	115
Tabla 32. Calidad de la roca en el pozo P-53.	116
Tabla 33. Calidad de la roca en el pozo P-89.	117
Tabla 34. Calidad de la roca en el pozo T-100.	117
Tabla 35. Calidad de la roca en el pozo T-76A.	118
Tabla 36. Calidad de la roca en el pozo P-109.	119
Tabla 37. Calidad de la roca en el pozo PD-07.	120
Tabla 38. Calidad de la roca en el pozo P-117.	121
Tabla 39. Calidad de la roca en el pozo P-129.	122
Tabla 40. Calidad de la roca en el pozo T-138.	123
Tabla 41. Calidad de la roca en el pozo PD-08.	124



Tabla 42. Calidad de la roca en el pozo T-168.	125
Tabla 43. Calidad de la roca en el pozo P-169.	126
Tabla 44. Calidad de la roca en el pozo S-183.	127
Tabla 45. Calidad de la roca en el pozo S-203.	128
Tabla 46. Calidad de la roca en el pozo P-209.	129
Tabla 47. Calidad de la roca en el PD-12.	129
Tabla 48. Calidad de la roca en el pozo T-230.	130
Tabla 49. Calidad de la roca en el pozo S-231.	130
Tabla 50. Calidad de la roca en el pozo T-232.	131
Tabla 51. Calidad de la roca en el pozo T-236.	131
Tabla 52. Resultados de permeabilidad tipo Lefranc 2021.	135
Tabla 53. Resultados de permeabilidad tipo Lefranc 2022.	136
Tabla 54. Resultados de permeabilidad tipo Lugeon 2021.	140
Tabla 55. Resultados de permeabilidad tipo Lugeon 2022.	141
Tabla 56. Selección de mezcla de inyección para la represa Palcca.	151
Tabla 57. Parámetro seleccionado para la calidad de mezcla.	151
Tabla 58. Presión máxima de inyección en la represa Palcca.	152
Tabla 59. volúmenes para presiones máximas de 5 bares y 7 bares.	152
Tabla 60. Profundidad de inyección y presión máxima.	153
Tabla 61. Parámetros de la mezcla de inyección para la represa Palcca.	155
Tabla 62. Pozos de control para verificación de inyección en la campaña 2021 y 2022.	161



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

A/C:	Relación Agua Cemento.
ASTM:	Asociación Americana de Ensayos de Materiales.
GIN:	Grouting Intensity Number (Número de Intensidad de Inyección).
INGEMMET:	Instituto Geológico y Metalúrgico del Perú.
m.:	Metro.
m.s.n.m.:	Metros sobre el Nivel del Mar.
MPa:	Mega Pascal.
NAMO:	Nivel de aguas máximo ordinario.
P_{max}:	Presión máxima.
Ps-m:	Grupo Mitu.
r.p.m.:	Revoluciones por minuto.
RCU:	Resistencia a la compresión uniaxial.
RMR:	Rock Mass Rating (Clasificación del Macizo Rocosos).
RQD:	Rock Quality Designation (Designación de Calidad de Roca).
U.L.:	Unidad Lugeon.
V_{max}:	Volumen máximo.
ZFP:	Zero Flow Paths (trayectoria de flujo cero).



RESUMEN

La presente investigación se desarrolló en la infraestructura de la represa Palcca que se encuentra ubicada en la región Sierra del departamento de Ayacucho a una altitud promedio de 4,000 metros sobre el nivel del mar. La represa en mención es de tipo tierra con 27.5 metros de altura, ubicada en la quebrada Palcca, el cual almacenará 2.1 millones de metros cúbicos de agua. La zona de estudio está cubierta principalmente por depósitos volcánicos del Grupo Mitu (Ps-m), constituida por afloramientos de andesita de alta dureza de color gris oscuro, con una superficie rojiza por la abundante concentración de ferromagnesiano. Los afloramientos de andesitas se aprecian en los lados Noroeste y Sureste del valle, específicamente en los estribos de la represa Palcca. La geoforma característica de estos afloramientos son farallones en las cumbres. Asimismo, se han efectuado 39 perforaciones diamantinas distribuidas a lo largo del plinto con un total de 547.50 metros perforados, con los cuales se ha realizado un registro lineal de los testigos de perforación y se evaluó las condiciones geotécnicas del macizo rocoso; las zonas con calidad de roca Mala son la Zona: C, D, E, F y G con valores RMR 38, 39, 31.8, 38.7 y 31.2 respectivamente. La zona A y H presentó calidad de roca Regular con valores RMR 43 y 56 respectivamente. Mientras que, la Zona B presentó una calidad de roca de Buena con un RMR de 77. La permeabilidad del medio geológico está influenciada por las fracturas y discontinuidades del macizo rocoso, esto implica que fue necesario el desarrollo de dos campañas de inyección de mortero en el eje del plinto. En cada campaña se llevaron a cabo ensayos de permeabilidad Lefranc y Lugeon. Los valores iniciales de valor K (conductividad hidráulica) obtenidos en el estudio definitivo fueron de hasta $2.51E-1$ cm/s y $1.03E-2$ cm/s, en campaña de inyección con mortero en el año 2021 se obtuvieron valores entre $2.71E-04$ cm/s a $9.68E-03$ cm/s y en la campaña de inyección con mortero en el año 2022 se obtuvo valores entre $1.28E-07$ cm/s a $3.94E-04$ cm/s.

Palabras Claves: Impermeabilización, Inyección de cemento, Permeabilidad, Plinto.



ABSTRACT

The present investigation was developed in the infrastructure of the Palacca dam that is located in the Sierra region of the department of Ayacucho at an average altitude of 4,000 meters above sea level. The dam in question is earth type, 27.5 meters high, located in the Palacca stream, which will store 2.1 million cubic meters of water. The study area is mainly covered by volcanic deposits of the Mitu Group (Ps-m), made up of outcrops of dark gray high-hardness andesite, with a reddish surface due to the abundant concentration of ferromagnesian. Andesite outcrops can be seen on the northwest and southeast sides of the valley, specifically in the abutments of the Palacca dam. The characteristic geform of these outcrops are cliffs on the summits. Likewise, 39 diamond perforations have been carried out distributed along the plinth with a total of 547.50 meters perforated, with which a linear record of the perforation witnesses has been made and the geotechnical conditions of the rock mass have been evaluated; the zones with Bad rock quality are Zone: C, D, E, F and G with RMR values 38, 39, 31.8, 38.7 and 31.2 respectively. Zone A and H presented Regular rock quality with RMR values of 43 and 56 respectively. While, Zone B presented a rock quality of Good with an RMR of 77. The permeability of the geological medium is influenced by the fractures and discontinuities of the rock mass, this implies that it was necessary to develop two mortar injection campaigns in the axis of the plinth. Lefranc and Lugeon permeability tests were carried out in each campaign. The initial values of the K value (hydraulic conductivity) obtained in the definitive study were up to $2.51E-1$ cm/s and $1.03E-2$ cm/s, in the mortar injection campaign in 2021 values between $2.71E-04$ cm/s at $9.68E-03$ cm/s and in the mortar injection campaign in 2022, values between $1.28E-07$ cm/s to $3.94E-04$ cm/s were obtained.

Keywords: Waterproofing, Mortar injection, Permeability, Plinth.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El plinto de la represa se encuentra emplazado en depósitos volcánicos del Grupo Mitu que afloran en el cauce del río y en los estribos de la represa donde afloran rocas volcánicas conformadas por andesitas pseudoestratificadas de grano fino y brechas volcánicas de color rojizo y blanquecino con alto contenido de ferromagnesianos el cual se encuentra meteorizado y muy fracturado, por la presencia de fallas locales.

Según estudios anteriores, el plinto de presa se emplaza en un medio de permeabilidad alta (76.92 U.L.) a muy alta (769.23 U.L.) y afectado por fallas geológicas a nivel local. Con la finalidad de impermeabilizar el terreno de fundación es importante aplicar una técnica que garantice el almacenamiento adecuado de la represa.

La presente investigación pretende determinar la calidad del macizo rocoso del terreno de fundación y posteriormente realizar un tratamiento geotécnico de impermeabilización empleando los criterios de inyección adecuados.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 Problema General

¿En qué medida contribuye las inyecciones de mortero cemento en la impermeabilización de la represa Pallcca?



1.2.2 Problemas Específicos

- ¿A qué calidad de macizo rocoso se encuentra el dique de la represa Pallcca?
- ¿Qué grado de permeabilidad posee el macizo rocoso para el terreno de fundación de la represa Pallcca?
- ¿Qué método de inyección será efectiva para la impermeabilización de la represa Pallcca?

1.3 HIPÓTESIS

1.3.1 Hipótesis General

La impermeabilización del macizo rocoso del terreno de fundación de la represa Pallcca, es posible utilizando métodos de inyección de mortero de cemento adecuados.

1.3.2 Hipótesis Específicas

- La evaluación de la calidad de roca es causal directa para determinar las condiciones de inyectabilidad del mortero.
- El grado de permeabilidad del macizo rocoso es indicativo de la efectividad del método GIN de inyecciones.
- El método GIN es un criterio de impermeabilización efectiva.

1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1 Objetivos General

Realizar el proceso de impermeabilización con mortero de cemento en la represa Pallcca.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Determinar la calidad del macizo rocoso del terreno de fundación de la represa Pallcca.



- Determinar el grado de permeabilidad del macizo rocoso de la represa.
- Verificar la eficiencia del método de inyección empleado, efectuando ensayos de permeabilidad, pre y post impermeabilización.

1.5 JUSTIFICACIÓN

El macizo rocoso sobre el cual se emplaza la represa de tierra Palleca posee permeabilidad del tipo secundario. Ello implica identificar las condiciones geológicas del sitio, geoestructurales y grado de permeabilidad inicial del medio.

La presente investigación busca determinar la calidad del macizo rocoso por zonas en el dique de la represa para luego reducir el grado de permeabilidad en la roca de fundación empleando los criterios de inyección óptimos para garantizar el adecuado almacenamiento de agua en la represa.

Hoy en día existen muchos métodos de impermeabilización de cortinas de represas. El método GIN fue desarrollado por Lombardi en 1993, este método fue seleccionado y aplicado en el proceso de inyección para la impermeabilización de la represa Palleca. Además del análisis del método GIN, el cual permite conocer las ventajas de los resultados obtenidos en este proyecto de investigación.

Los procesos de impermeabilización en macizos rocosos no han sido ampliamente estudiados en proyectos de gran magnitud en el país, por lo que este tipo de investigación servirá como guía para proyectos con condiciones geológicas – geotécnicas similares y permitirá optimizarlos para su adecuada aplicación.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

Guadalupe (2011), en su tesis de grado titulado: “Análisis del uso del método GIN (Grouting intensity Number) en el proyecto hidroeléctrico Mazar”, explica que los parámetros fundamentales concernientes a las características del macizo, tales como: litología; tipos de discontinuidades: su orientación y condiciones geotécnicas; el perfil de meteorización; condiciones hidrogeológicas, etc., que fueron encontrados en el área de implantación del proyecto, junto con las condiciones hidráulicas de la presa y geométricas del plinto, son la base principal para el correcto diseño de la cortina de inyección. A partir de estos datos se obtiene las condiciones geomecánicas y estructurales de la roca delimitan la profundidad de impermeabilización y la orientación de las perforaciones. La persistencia y abertura de las discontinuidades determinan en parte las características y dosificaciones de las lechadas.

Rimachi (2016), en su tesis de grado titulado: “Aplicación del método GIN para la pantalla de impermeabilización de la presa Pumamayo – distrito de Macusani – provincia de Carabaya – departamento de Puno”, describió y comparó el método convencional o tradicional de inyecciones y el método GIN y se concluyó que el método GIN es técnica y económicamente más efectivo, por lo tanto, debe ser aplicado a la presa Pumamayo.

Hernández (2013), en su tesis de grado de maestro en ingeniería titulado: “Evaluación de método GIN (número de intensidad de inyectado) en inyección de pantallas de impermeabilización en macizos rocosos”, llegó a la conclusión:



El método aplicado satisface las condiciones del macizo rocoso, notándose un cierre progresivo entre las diferentes etapas de inyección. La importancia de ajustar los parámetros GIN en función de las condiciones del macizo rocoso es una práctica vital para optimizar el tratamiento de inyección, disminuyendo en gran medida los posibles hidrofracturamientos o hidrogateo (distensión) y mejorando las condiciones del macizo de manera óptima.

Las mezclas de inyección deben ser diseñadas en función de las necesidades del macizo rocoso, con el objetivo de conseguir una mezcla resistente que mejore las condiciones y resistentes contra el lavado, la reducción de la cantidad de agua en la mezcla es muy importante, de este modo se garantiza inyectar una mezcla densa y estable, es decir con una decantación o sedimentación mínima.

El método GIN propone utilizar una mezcla única para simplificar lo más posible los trabajos de inyección y se agilizan los procedimientos de inyección, sin embargo, el monitoreo de las mezclas debe ser una tarea continua, ya que existen factores externos que pueden afectar las propiedades reológicas de las mezclas, es por eso que en muchas ocasiones se requieren ajustes durante el proceso de ejecución de los tratamientos.

Valencia (2009), en su tesis de grado de maestro en ingeniería titulado: “Control de la inyección de pantallas de impermeabilización mediante el análisis y desarrollo del método GIN (Numero de intensidad de inyección)”, concluye que:

Como parte de la exploración de la masa de roca en la que se realizará un tratamiento con inyecciones, es imprescindible realizar pruebas de absorción de agua para conocer la permeabilidad original de aquella. La



presión máxima a la que conviene hacer esas pruebas es de 1.2 veces la presión de agua a la que estará sujeta la masa de roca en el punto donde se realice la prueba. Durante la ejecución de una prueba podría presentarse una presión crítica que manifieste hidrofracturamiento (creación de fracturas nuevas) o distensión (abertura de fracturas o discontinuidades preexistentes), lo cual debe considerarse al diseñar el tratamiento de inyección.

la lechada agua-cemento que se utilice para rellenar las fisuras de la masa de roca, debe penetrar lo más posible en ellas y permanecer después de la inyección. Para ello debe tener baja resistencia o cohesión y alta fluidez además de ser estable en su composición. Para definir la mezcla más apropiada para un caso determinado, debe realizarse el diseño de esta en laboratorio y controlar los parámetros que la caracterizan. A fin de lograr propiedades más adecuadas, generalmente es necesario adicionar a la mezcla agua-cemento y un aditivo fluidizante.

También indica que: El método GIN no es aplicable a cualquier macizo de roca. Fue desarrollado para aplicarse a medios fisurados, elásticos y saturados, en los que el fisuramiento es relativamente homogéneo, el estado de esfuerzos propicia el comportamiento elástico de la masa al aplicarle presiones, y el nivel de aguas freáticas está por arriba de la zona en tratamiento. No es aplicable a terrenos con oquedades o cavernas, con elevada alteración o intemperización, y situados a poca profundidad respecto al terreno natural.

2.1.1 Parámetros de Inyección de Lechada

Según Yaghoobi (2014) los principales parámetros importantes que deben considerarse en los trabajos de inyección son la presión de inyección, criterios de cierre y las propiedades del material Bingham, es decir, el límite elástico y viscosidad. El

objetivo es seleccionar los valores óptimos para alcanzar la profundidad de penetración deseada en el menor tiempo y con los menores daños.

Sobre la presión de inyección, Houlsby (1990) sugiere que la máxima presión permitida debería basarse en la profundidad de las fracturas y las condiciones de roca. Weaver (1991), explica que es un factor importante determinar la presión de inyección y depende de la calidad de roca y la profundidad de inyección (ver Figura 1).

De acuerdo con el reporte USACE (1984) son aplicables presiones máximas de 0.0055 MPa/m de sobrecarga y 0.011 MPa/m de material rocoso, para condiciones de subsuelo deficientes o desconocidas.

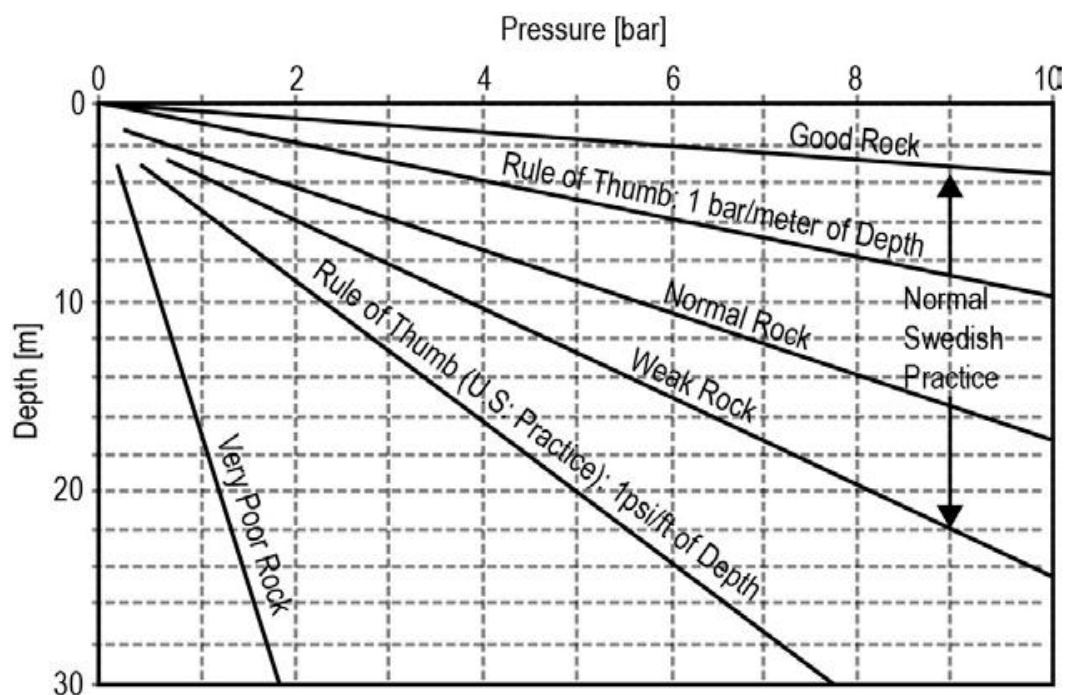


Figura 1. Presiones de inyección de acuerdo a las prácticas en Suecia y Estados Unidos. Fuente: (Weaver, 1991).

Lombardi y Deere (1993) reconocieron que la roca se vuelve más “impermeable” en las sucesivas fases de inyección, es decir, se produce al menos un relleno parcial de al menos algunas de las fracturas, de modo que se reduce la permeabilidad del macizo rocoso. En consecuencia, introdujeron el procedimiento de



utilizar un volumen de lechada progresivamente menor a una presión progresivamente mayor para inyectar en las fisuras más finas. Propusieron que, al aplicar la lechada de esta manera, el producto de la presión y el volumen del cemento no debe exceder el valor dado en la etapa de diseño, al que llamaron Número de intensidad de inyección (GIN), de lo contrario, la presión inducida podría causar hidrofRACTURAMIENTO o hidrogateo.

Sobre el criterio de cierre Lombardi y Deere (1993) describe que: “la inyección debe detenerse al alcanzar uno de los límites; límite de la presión máxima, límite del volumen máximo o la hipérbola”. Sin embargo, El Tani (2012) sugirió continuar con la lechada después de alcanzar la hipérbola con una presión decreciente hasta el punto en que no haya ingreso de lechada. Este punto está en la llamada curva ZFP (trayectorias de flujo cero), que es la combinación de presión y volumen, en la que el flujo de lechada es cero (rechazo). Por lo tanto, la lechada se completa en la intersección de la hipérbola ZFP y GIN.

El método de control de lechada en tiempo real es una herramienta robusta en la evaluación de los trabajos de lechada realizados y la estimación analítica de los parámetros de diseño de la lechada. Eso hace posible aproximar la distancia en que la lechada se esparció en la fractura en un tiempo al simplificar la red de fracturas a una fractura horizontal dominante (Yaghoobi Rafi, 2014).

2.1.2 Diseño de Mezcla para Impermeabilización

En el diseño de los tratamientos de impermeabilización-consolidación en la cimentación y empotramientos del proyecto Hidroeléctrico La Yesca ubicada en el cauce del río grande de Santiago, Jalisco – Mexico. López-Molina *et al.*, describe:

Que la elección de la mezcla se basó en la evaluación del tipo de fracturamiento por tratar y la influencia de cada una de sus propiedades reológicas para la eficiencia del tratamiento; para ello, emplearon la Tabla 1 como referencia cualitativa. Al mismo tiempo, resalta que el enfoque cualitativo descrito en la tabla 1 y los resultados de los estudios previos, proporcionan baja cohesión y viscosidad, lo cual aumenta la efectividad del tratamiento en zonas con fracturamiento cerrado, o bien con relleno impermeable y poco erosionable, lo cual reflejó en los bajos consumos de mezcla. Sin embargo, continúa el autor, la aplicabilidad de esta mezcla es cuestionable para las zonas de falla principales y diques. (2010, p. 835)

Tabla 1. Importancia de diferentes factores en la funcionalidad de la mezcla y en relación con la apertura de las fracturas por inyectar.

Factor	Muy estrecha \leq 0.1 mm	(-) (+)	Abierta
		←————→	> 1 mm
Apertura			
Baja cohesión	++	+	-
Baja viscosidad	++	+	-
Alta penetrabilidad	++	+	-
Alta estabilidad	-	+	++

++ representa altamente importante, + importante, - poco importante.

Fuente: Adaptada de (Eriksson, 2002).

Sobre las propiedades reológicas y mecánicas consideradas adecuadas para la etapa de construcción en el proyecto Hidroeléctrico La Yesca, López-Molina *et al.*, refiere que se definieron las propiedades específicas como se muestra en la Tabla 2.

Finalmente concluye, de acuerdo con los resultados obtenidos hasta la fecha, la metodología GIN empleada durante el proceso de inyección, ha resultado favorable para el tratamiento de las zonas del cauce y laderas de la margen derecha, las cuales presentaron consumos mínimos y conductividades hidráulicas bajas; sin embargo, aún se encuentra en proceso de análisis y de

optimización, el tratamiento de otras zonas del proyecto que presentaron alta heterogeneidad hidráulica durante los estudios previos (2010, p. 839).

Tabla 2. Propiedades especificadas para la mezcla de inyección.

Propiedad	Valor	Equipo de medición
Viscosidad	29 a 33s.	Cono Marsh
Densidad	1.69 a 1.57 g/cm ³	Balanza de lodos
Decantación	≤ 4% en dos horas	Probeta de decantación
Cohesión	≤ 0.03 gr/cm ² ó 0.2 mm	Placa ranurada
Coefficiente de filtrado	≤ 0.6 min ^{-0.5}	Filtro prensa
Resistencia a la compresión simple	10 MPa a 28 días	Prensa hidráulica

Fuente: López-Molina et al., 2010.

2.1.3 Criterios de Cierre

Yaghoobi, en su tesis doctoral titulado “Estudio de presión de bombeo y criterios de cierre en inyección de roca fracturadas” concluye:

El uso del método GIN ha sido y puede ser útil en proyectos de lechada, pero se informó que no tuvo éxito en muchos proyectos debido a la falta de comprensión e interpretaciones incorrectas. Con el fin de examinar de cerca este popular método empírico, el GIN y los criterios de cierre se determinan analíticamente en función de la distancia que recorre la lechada en la fractura. Al aplicar una presión constante mayor que la presión crítica, la inyección se completa en la intersección de la hipérbola GIN y la curva de elevación teórica. En este caso y especialmente en fracturas poco profundas, GIN depende de la profundidad de penetración de la lechada. Por lo tanto, al usar la técnica de separación dividida con una presión constante para inyectar fracturas cerca de la superficie, se deben considerar diferentes GIN para diferentes conjuntos de pozos. Dado que alcanzar la hipérbola con flujo cero mientras se aplica una



presión constante toma mucho tiempo, la propuesta óptima sugerida es aplicar una presión alta para abrir las fracturas hasta una cantidad permitida, seguido de una disminución de la presión de inyección a lo largo de la hipérbola después de interceptar eso, para traer la fractura de nuevo a su tamaño inicial en la negativa. La investigación analítica del método GIN muestra que, al reducir la presión, la hipérbola GIN es conservadora en comparación con la curva de elevación teórica y sugiere aplicar una presión relativamente menor (2014, p. 41).

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 Calidad del Macizo Rocosó

Las evaluaciones geotécnicas que se realizan mediante perforaciones con recuperación de testigos, caracterización del macizo rocoso y el registro diario de los niveles de agua en los sondeos, tienen como finalidad y permiten determinar las características del macizo rocoso.

2.2.1.1 Índice de Calidad de la Roca (RQD)

En 1989, Deere propuso un índice cuantitativo de la calidad del macizo rocoso basado en:

Registros de recuperación de los testigos de perforación diamantina, llamado índice de calidad de la roca (Rock Quality Designation), el cual se identifica por RQD y se calcula hallando la sumatoria de testigos con longitudes de tramos mayores o iguales a 100 mm y dividida entre la longitud total del tramo muestreado, expresado en %. El cual depende indirectamente del número de fracturas y el grado de alteración del macizo rocoso (p. 22).

Deere, propone la siguiente clasificación:

Tabla 3. Clasificación de la calidad del macizo rocoso según RQD.

RQD %	Calidad de roca
< 25	Muy mala
25 - 50	Mala
50 - 75	Regular
75 - 90	Buena
90 - 100	Excelente

Fuente: Deere, 1989, p. 22

2.2.1.2 Rock Mass Rating (RMR)

Según Bieniawski (1989), el sistema de clasificación geomecánica (RMR), “trata de estimar la resistencia de los macizos rocosos, el cual indica la calidad del macizo rocoso en cada dominio estructural a partir de los siguientes parámetros”, los cuales según Bieniawski son:

1. *Resistencia a la compresión uniaxial de la roca intacta*: Se obtiene de una parte de la roca que no presenta discontinuidades (esto se realiza mediante el ensayo de carga puntual o compresión simple), también puede determinarse a través de pruebas efectuadas en campo con el martillo de geólogo (picsa) o con el martillo Schmidt. La valoración máxima es de 15.
2. *Grado de fracturación del macizo (RQD)*: Se obtiene mediante la evaluación de los testigos de recuperación diamantina, su valoración máxima es de 20.
3. *Espaciado o separación de las discontinuidades*: Es la distancia medida entre los planos de discontinuidades de cada familia, valoración máxima de 20.
4. *Condición de las discontinuidades*: se evalúa mediante otros cinco subparámetros, tiene una valoración máxima de 30.



- Abertura de las caras de la discontinuidad.
 - Persistencia de las discontinuidades.
 - Rugosidad.
 - Dureza de las caras de la discontinuidad.
 - Relleno de las Juntas.
5. *Agua subterránea*: la Presencia de agua en el macizo rocoso diaclasado, tiene gran influencia sobre su comportamiento, la descripción para este criterio es: completamente seco, húmedo, agua a presión moderada y agua a presión fuerte, valoración máxima de 15.
6. *Orientación de las discontinuidades*: se clasifica la roca de acuerdo al rumbo y buzamiento con respecto a la obra civil que se va a ejecutar.

El índice RMR se obtiene sumando los cinco primeros parámetros enumerados anteriormente (ver Tabla 4). Este valor se corrige con un factor de ajuste que está en función de la orientación de las discontinuidades (parámetro 6), este parámetro es desfavorable (según se aplique a túneles, cimentaciones o taludes) por lo que se sustrae al valor obtenido de la suma de los otros 5 parámetros anteriormente descritos. luego se busca ese valor en la Tabla 5.

Tabla 4. Sistema de valoración del macizo rocoso - RMR.

PARÁMETROS DE CLASIFICACIÓN									
1	Resistencia de la Matriz Rocosa	Ensayo de Carga Puntual	>10	10-4	4-2	2-1	Compresión Simple (MPa)		
		Compresión Simple (MPa)	>250	250-100	100-50	50-25	25-5	5-1	<1
Puntuación			15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		100-90%	90-75%	75-50%	50-25%	<25%		
	Puntuación			20	17	13	6	3	
3	Separación entre diaclasas		> 2m	2-0.6m.	0.6-0.2m.	0.2-0.06m.	< 0.06m.		
	Puntuación			20	15	10	8	5	
4	Estado de las discontinuidades	Persistencia	<1m	1-3m	3-10m	10-20m	>20m		
		Puntuación		6	4	2	1	0	
		Abertura	Cerrada	<0.1mm	0.1-1mm	1-5mm	>5mm		
		Puntuación		6	5	3	1	0	
		Rugosidad	Muy Rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave		
		Puntuación		6	5	3	1	0	
		Relleno	Ninguno	Relleno duro <5mm	Relleno duro >5mm	Relleno suave <5mm	Relleno suave >5mm		
		Puntuación		6	4	2	2	0	
Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta				
	Puntuación		6	5	3	1	0		
5	Agua Freática	Caudal por 10m de túnel	Nulo	<10litros/min	10-25 litros/min	25-125 litros/min	>125 litros/min		
		Relación Presión de agua/Tensión principal mayor	0	0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	>0.5		
		Estado general	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo		
Puntuación			15	10	7	4	0		
ORIENTACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES EN EL TÚNEL									
Dirección Perpendicular al eje del túnel				Dirección Paralela al eje del túnel			Cualquier Dirección Buzamiento 0°- 20°		
Excavación a favor del Buzamiento		Excavación en contra del buzamiento							
Buz. 45°-90°	Buz. 20°-45°	Buz. 45°-90°	Buz. 20°-45°	Buz. 45°-90°	Buz. 20°-45°				
Muy Favorable	Favorable	Media	Desfavorable	Muy desfavorable	Media	Desfavorable			
CORRECCIÓN POR ORIENTACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES									
Dirección y Buzamiento		Muy Favorable	Favorable	Media	Desfavorable	Muy Desfavorable			
Puntuación	Túnel	0	-2	-5	-10	-12			
	Cimentaciones	0	-2	-7	-15	-25			
	Taludes	0	-5	-25	-50	-60			
CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO SEGÚN EL RMR									
RMR	100-81		80-61		60-41		40-21		<20
Clase	I		II		III		IV		V
Calidad	Muy Buena		Buena		Media		Mala		Muy Mala
Cohesión	> 4 Kp/cm ²		3 - 4 Kp/cm ²		2 - 3 Kp/cm ²		1 - 2 Kp/cm ²		< 1 Kp/cm ²
Ángulo de rozamiento	> 45°		35° - 45°		25° - 35°		15° - 25°		< 15°
Tiempo de Autosostener y longitud sin sostener	10 años 15m.		6 meses 8m.		1 semana 5m.		10 horas 2.5m.		30 minutos 1m.

Fuente: Bieniawski, 1989.

Tabla 5. Clasificación RMR y relación con propiedades físicas.

CLASE	Calidad de roca	RMR
I	Muy Buena	100 – 81
II	Buena	80 – 61
III	Regular	60 – 41
IV	Mala	40 – 21
V	Muy mala	20 – 0

Fuente: Bieniawski, 1989, p. 138



2.2.2 Permeabilidad In Situ

Los ensayos In Situ para determinar la permeabilidad de las rocas son parte fundamental de la investigación en proyectos de presas y represas, debido a que las filtraciones en el subsuelo pueden provocar pérdidas de agua, también puede iniciar erosión interna que con el transcurso del tiempo puede poner en peligro la estabilidad de la presa y también podría producir presiones de agua en fondo (levantamiento) (Ewert, 1985, p. 141).

“Los ensayos para determinar la permeabilidad in situ en suelos con fines geotécnicos pueden realizarse al interior de sondeos o pozos y en excavaciones. Los más extendidos son los realizados en sondeos, utilizando las perforaciones de las campañas de investigación geotécnica” (González de Vallejo *et al.*, 2002, p. 357).

A continuación, se describen los ensayos más utilizados en suelos y macizos rocosos muy fracturados a triturados (ensayo Lefranc) o en macizos rocosos poco fracturados (ensayo Lugeon).

2.2.3 Ensayo Lefranc

El ensayo Lefranc se realiza para:

Medir el coeficiente de permeabilidad en suelos permeables o semipermeables, de tipo granular, que se sitúan por debajo del nivel freático, y en rocas muy fracturadas. El ensayo se efectúa en el interior del sondeo y puede realizarse durante la ejecución de la perforación o una vez finalizada ésta.

El procedimiento consiste en rellenar de agua el sondeo y medir el caudal necesario para mantener el nivel constante (ensayo de régimen constante) o bien medir la velocidad de descenso del nivel de agua (ensayo de



régimen variable). La medida del caudal de admisión debe realizarse en la boca del sondeo durante 45 minutos. Si la admisión es muy alta, debe medirse cada minuto durante los 20 primeros y después cada 5 minutos hasta llegar a los 45 minutos.

La ejecución del ensayo requiere que, antes de medir el tiempo y el caudal, se llene el sondeo de agua, observando que se expulsa el aire y se estabiliza el nivel y la velocidad de descenso, lo que indica que se ha alcanzado el régimen permanente. Para los cálculos posteriores es necesario determinar la cota del nivel freático (González de Vallejo et al., 2002, p. 358).

Cuando no es posible realizar una prueba de bombeo, una alternativa interesante puede ser inyectar o bombear agua en un volumen perforado para evaluar la conductividad hidráulica alrededor de esta cavidad. La mayoría de las veces, esta prueba de Lefranc se puede realizar durante la ejecución de la perforación misma, creándose el volumen (cavidad) en la base del pozo, delimitado por el fondo y una parte de las paredes del pozo. Se supone que el flujo generado por la diferencia de carga tiene lugar sólo a través de la cavidad, ya que se instala un sello de arcilla/bentonita alrededor de la carcasa superior. En cuanto a otras pruebas, se puede adoptar un procedimiento de estado estacionario (es decir, altura constante) o transitorio (es decir, altura ascendente o descendente) (Rat *et al.*, 1968). El problema principal en la interpretación de las mediciones radica en determinar el volumen y la forma reales de la cavidad probada.

a) Lefranc Nivel Variable

Consiste en extraer o agregar agua de un sondeo para luego medir el ascenso o descenso del nivel dentro del mismo, en intervalos iguales de tiempo. Por lo tanto, las

pruebas de nivel variable se subdividen a su vez en dos modalidades “ascenso y descenso”, éste depende de la posición inicial del nivel freático, generalmente estos ensayos se seleccionan cuando la velocidad de circulación de agua hacia el terreno es baja, pues se facilita la medición de los niveles de agua con sonda. En la Figura 2 se muestran los datos considerados en un ensayo Lefranc de Nivel variable descenso y los de un ensayo Lefranc de Nivel variable ascenso, respectivamente (Comisión Federal de Electricidad, 2021, p. 7).

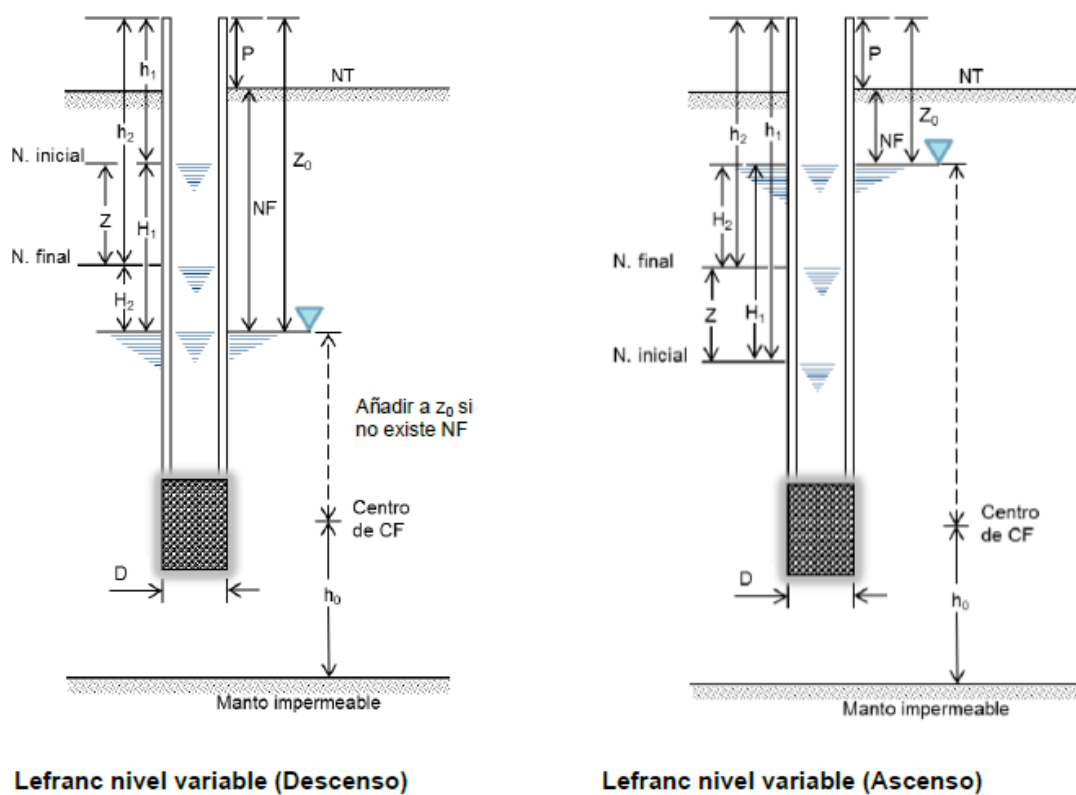


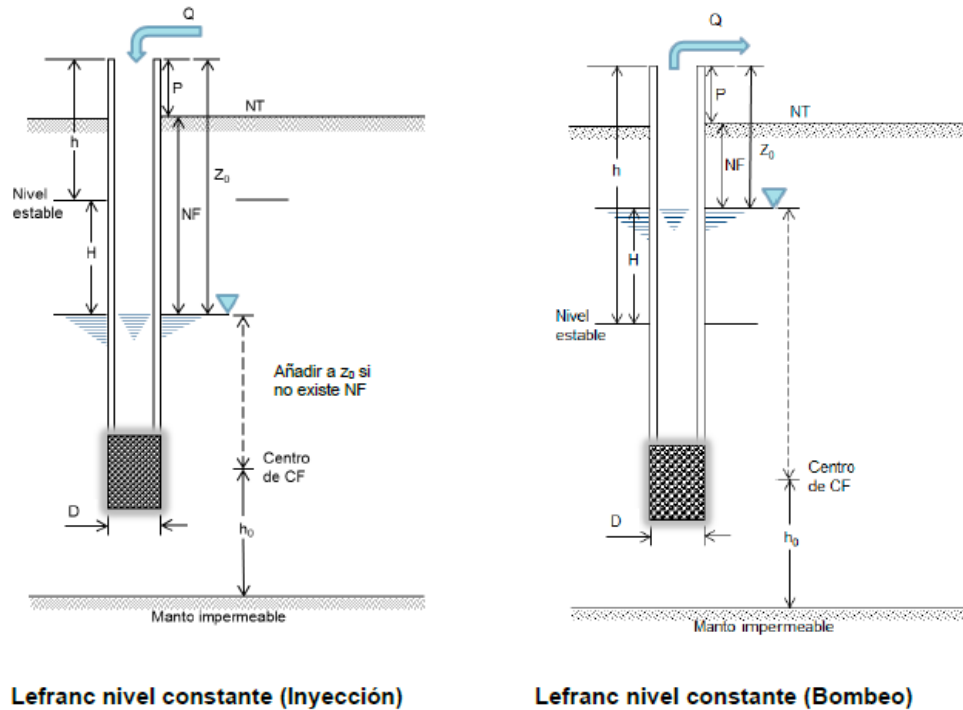
Figura 2. Ensayo Lefranc de Nivel variable.

Fuente: (CFE Comisión Federal de Electricidad, 2021).

b) Lefranc Nivel Constante

Consiste en inyectar o extraer agua de un sondeo hasta estabilizar el nivel de este durante un determinado tiempo, recomendándose cinco minutos por observación y se deben observar por lo menos 5 veces. También da lugar a dos métodos conocidas como de “inyección y bombeo”, esto depende de la posición inicial del nivel freático

y de la velocidad, generalmente alta, con la que circula el agua hacia el terreno. la presencia de un manto impermeable en la cercanía inferior de la cámara filtrante. En la Figura 3 se muestran los datos considerados en un ensayo Lefranc de Nivel constante inyección y los de un ensayo Lefranc de Nivel constante bombeo, respectivamente (Comisión Federal de Electricidad, 2021, p. 7).



Lefranc nivel constante (Inyección)

Lefranc nivel constante (Bombeo)

Figura 3. Ensayo Lefranc de Nivel constante.

Fuente: (CFE Comisión Federal de Electricidad, 2021).

Tabla 6. Clasificación de la conductividad hidráulica.

CLASIFICACIÓN	CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA EN cm/s
Material impermeable	$\leq 10^{-6}$
Material poco impermeable	de 1.00 a 9.99×10^{-5}
Material permeable	de 1.00 a 9.99×10^{-4}
Material muy permeable	de 1.00 a 9.99×10^{-3}
Material altamente permeable	$\geq 10^{-2}$

Fuente: (CFE Comisión Federal de Electricidad, 2021).

Tabla 7. Clasificación según coeficiente de permeabilidad.



GRADO DE PERMEABILIDAD	VALOR DE K (cm/s)
Prácticamente impermeable	$\leq 10^{-7}$
Permeabilidad muy baja	$10^{-5} - 10^{-7}$
Permeabilidad baja	$10^{-3} - 10^{-5}$
Permeabilidad media	$10^{-1} - 10^{-3}$
Permeabilidad Elevada	$\geq 10^{-1}$

Fuente: (Terzaghi y Peck, 1967).

2.2.4 Ensayo Lugeon

La prueba, que deriva su nombre de Maurice Lugeon (1933), es una prueba de presión constante que se lleva a cabo en una parte aislada de un pozo. Se inyecta agua a presión constante en el macizo rocoso a través de un tubo ranurado delimitado por obturadores neumáticos (Figura 4). Un empacador neumático de goma inflable que se expande radialmente para sellar el espacio anular entre las barras de perforación y las paredes de perforación (Quiñones-Rozo, 2010, p. 406).

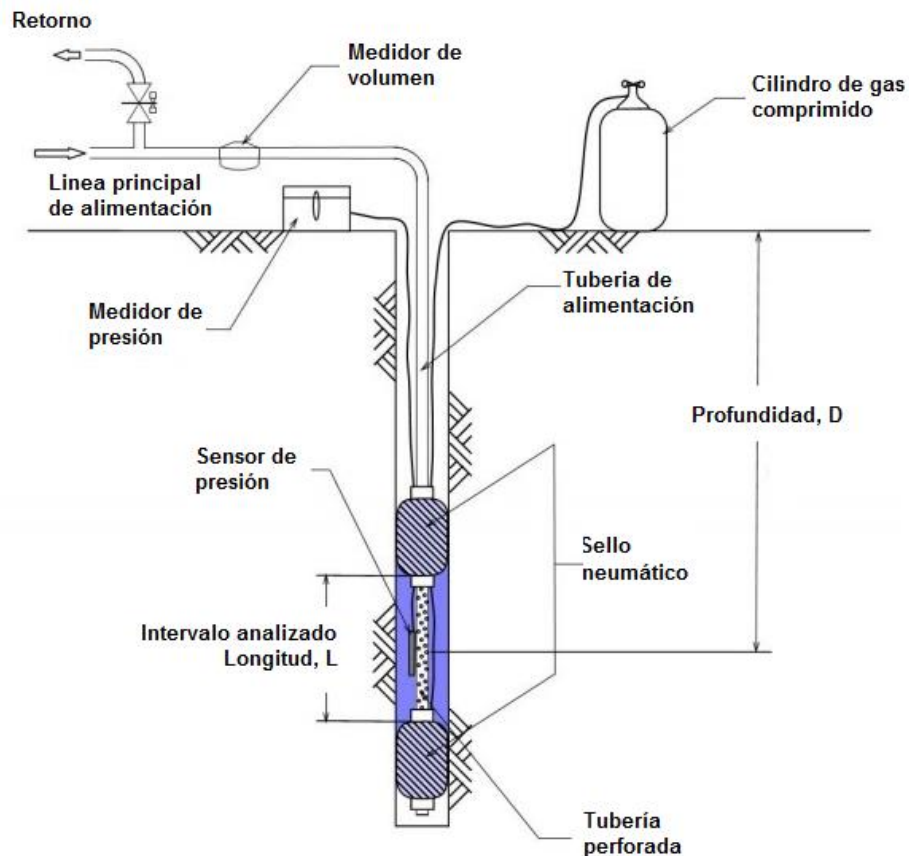


Figura 4. Configuración de ensayo Lugeon.

Fuente: (Quiñones-Rozo, 2010).

“El ensayo Lugeon se realiza en el interior de sondeos y permite calcular semicuantitativamente la permeabilidad del macizo rocoso, en cualquier tipo de litología y estado de fracturación” (González de Vallejo *et al.*, 2002, pp. 359, 361).

El ensayo consiste en medir la cantidad de agua inyectada bajo magnitudes de presión en un intervalo aislado del pozo durante un período determinado. Los packers inflables se utilizan para aislar los intervalos de prueba seleccionados. Se prueban diferentes periodos de presiones crecientes hasta alcanzar una presión máxima predefinida (que debe ser inferior al esfuerzo de confinamiento normal esperada a la profundidad considerada, para estar seguro de evitar hidrofracturamiento). Luego, también se realizan pasos de presión decrecientes. En cada paso de presión, se mide el caudal medio que fue necesario para mantener la presión constante. Una conductividad hidráulica local se expresa en unidades Lugeon, definiéndose empíricamente 1 Lugeon



cuando se encuentra un caudal de 1 litro/minuto por metro de intervalo de prueba (Dassargues, 2019).

Las principales aplicaciones de la prueba de Lugeon, están relacionadas con:

La investigación de la capacidad de absorción de agua del macizo rocoso y la estimación del coeficiente isotrópico equivalente de permeabilidad/conductividad hidráulica del macizo rocoso alrededor de cualquier pozo de prueba dado. Esto se utilizará para cuantificar el comportamiento hidráulico variable del macizo rocoso con la profundidad y la ubicación para predecir la cantidad variable de lechada que se utilizará en los cimientos y pilares de las presas o en otras excavaciones subterráneas en la roca. También se puede utilizar para estimar los materiales de inyección óptimos y las presiones de inyección que se utilizarán para la inyección (Vaskou, de Quadros, Kanji, Johnson, & Ekmekci, 2019).

En ingeniería de presas, el criterio para definir la presión máxima de prueba (P_{max}), generalmente se basa en la profundidad del intervalo de prueba (0.023 MPa a 0.025 MPa por metro de profundidad) o $\frac{3}{4}$ de la presión de sobrecarga, con el uso de la densidad de la sobrecarga (Oliveira *et al.*, 1975; Banks 1972). Estas dos formas son válidas (los resultados son bastante similares cuando se usa una densidad de 2.7) mientras que la primera se usa generalmente para perforaciones y prácticas de ingeniería de presas a poca profundidad (menos de 200 m), y la segunda en túneles, cavernas y en grandes profundidades para laboratorios de investigación subterráneos (Vaskou *et al.*, 2019).

La prueba se realiza en cinco etapas, con una magnitud particular de presión de agua asociada con cada etapa. Una sola etapa consiste en mantener

una presión de agua constante en el intervalo de prueba durante 10 minutos bombeando tanta agua como sea necesario. La primera etapa se mantiene a baja presión de agua, aumentando la presión en cada etapa posterior hasta alcanzar P_{MAX} . Una vez que se alcanza P_{MAX} , las presiones disminuyen siguiendo las mismas etapas de presión utilizadas en el camino hacia arriba, describiendo así un "bucle de presión". Durante la ejecución de cada etapa, se registran cada minuto tanto los valores de presión de agua (P) como de caudal (q). Posteriormente, los valores promedio de P y q se utilizan para calcular la conductividad hidráulica de cada etapa (Quiñones-Rozo, 2010, p. 407).

Según Fell *et al.*, (2005) "en condiciones ideales (es decir, homogéneas e isotrópicas), un Lugeon equivale a $1,3 \times 10^{-5}$ cm/seg". La Tabla 8 describe las condiciones típicamente asociadas con diferentes valores de Lugeon, así como la precisión típica utilizada para informar estos valores.

Tabla 8. Condición de discontinuidades del macizo rocoso asociadas con valores Lugeon.

Rango de Lugeon	Clasificación	Rango de conductividad hidráulica (cm/seg)	Estado de las discontinuidades del macizo rocoso	Precisión de informes (Lugeons)
< 1	Muy bajo	$<1 \times 10^{-5}$	muy ajustado	< 1
1 - 5	bajo	$1 \times 10^{-5} - 6 \times 10^{-5}$	ajustado	± 0
5 - 15	moderado	$6 \times 10^{-5} - 2 \times 10^{-4}$	Algunos parcialmente abiertos	± 1
15 - 50	medio	$2 \times 10^{-4} - 6 \times 10^{-4}$	algunos abiertos	± 5
50 - 100	alto	$6 \times 10^{-4} - 1 \times 10^{-3}$	muchos abiertos	± 10
> 100	muy alto	$>1 \times 10^{-3}$	abierto poco espaciado o huecos	> 100

Fuente: Quiñones-Rozo, 2010.

Tabla 9. Clasificación del valor Lugeon representativo.

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

Fuente: Housby, 1990.

Tabla 10. Clasificación de macizos rocosos en función de la permeabilidad.

Tipo de Macizo	Unidades Lugeon	Presión (kp/cm ²)
Muy impermeable	0 - 1	10
Prácticamente impermeable	1 - 3	10
Permeable	> 3	10
	1,5 - 6	5
Muy permeable	> 3	10
	> 6	5

Fuente: (Olalla & Sopena, 1991).

“Una vez que se ha calculado un valor de Lugeon para cada una de las cinco etapas de la prueba, se selecciona un valor representativo de la conductividad hidráulica en función de la tendencia observada a lo largo de la prueba, como se explica en las siguientes dos secciones” (Quiñones-Rozo, 2010, p. 408).

2.2.5 Práctica Actual de Interpretación de Lugeon

La práctica actual de interpretación de Lugeon se deriva principalmente del trabajo realizado por Housby (1976). En su trabajo, orientado a establecer los requisitos de inyección, Housby propuso que se seleccionaran valores de conductividad hidráulica representativos en función del comportamiento observado en los valores de Lugeon calculados para las diferentes etapas de presión.

Housby (1976) clasificó los comportamientos típicos observados en la práctica en cinco grupos diferentes, como sigue:



- **Flujo Laminar:** La conductividad hidráulica del macizo rocoso es independiente de la presión del agua empleada. Este comportamiento es característico de los macizos rocosos que observan conductividades hidráulicas bajas, donde las velocidades de filtración son relativamente pequeñas (es decir, menos de cuatro Lugeons).

- **Flujo Turbulento:** La conductividad hidráulica del macizo rocoso disminuye a medida que aumenta la presión del agua. Este comportamiento es característico de los macizos rocosos que exhiben grietas parcialmente abiertas o moderadamente anchas.

- **Dilatación:** Se observan conductividades hidráulicas similares a bajas y medias presiones; sin embargo, se registra un valor mucho mayor a la presión máxima. Este comportamiento, que en ocasiones también se observa a presiones medias, se produce cuando la presión del agua aplicada es superior a la tensión principal mínima del macizo rocoso, provocando una dilatación temporal (hidro-jacking) de las fisuras del macizo rocoso. La dilatación provoca un aumento en el área de la sección transversal disponible para que fluya el agua y, por lo tanto, aumenta la conductividad hidráulica.

- **Lavado:** (erosión de partículas de relleno) Las conductividades hidráulicas aumentan a medida que avanza la prueba, independientemente de los cambios observados en la presión del agua. Este comportamiento indica que la filtración induce daños permanentes e irreversibles en el macizo rocoso, generalmente debido al lavado de rellenos y/o movimientos permanentes de rocas.



- **Relleno de vacíos con finos:** Las conductividades hidráulicas disminuyen a medida que avanza la prueba, independientemente de los cambios observados en la presión del agua. Este comportamiento indica que: (1) el agua llena progresivamente las discontinuidades aisladas/no persistentes, (2) se produce un hinchamiento en las discontinuidades o (3) los finos fluyen lentamente hacia las discontinuidades y forman una capa de torta que las obstruye.

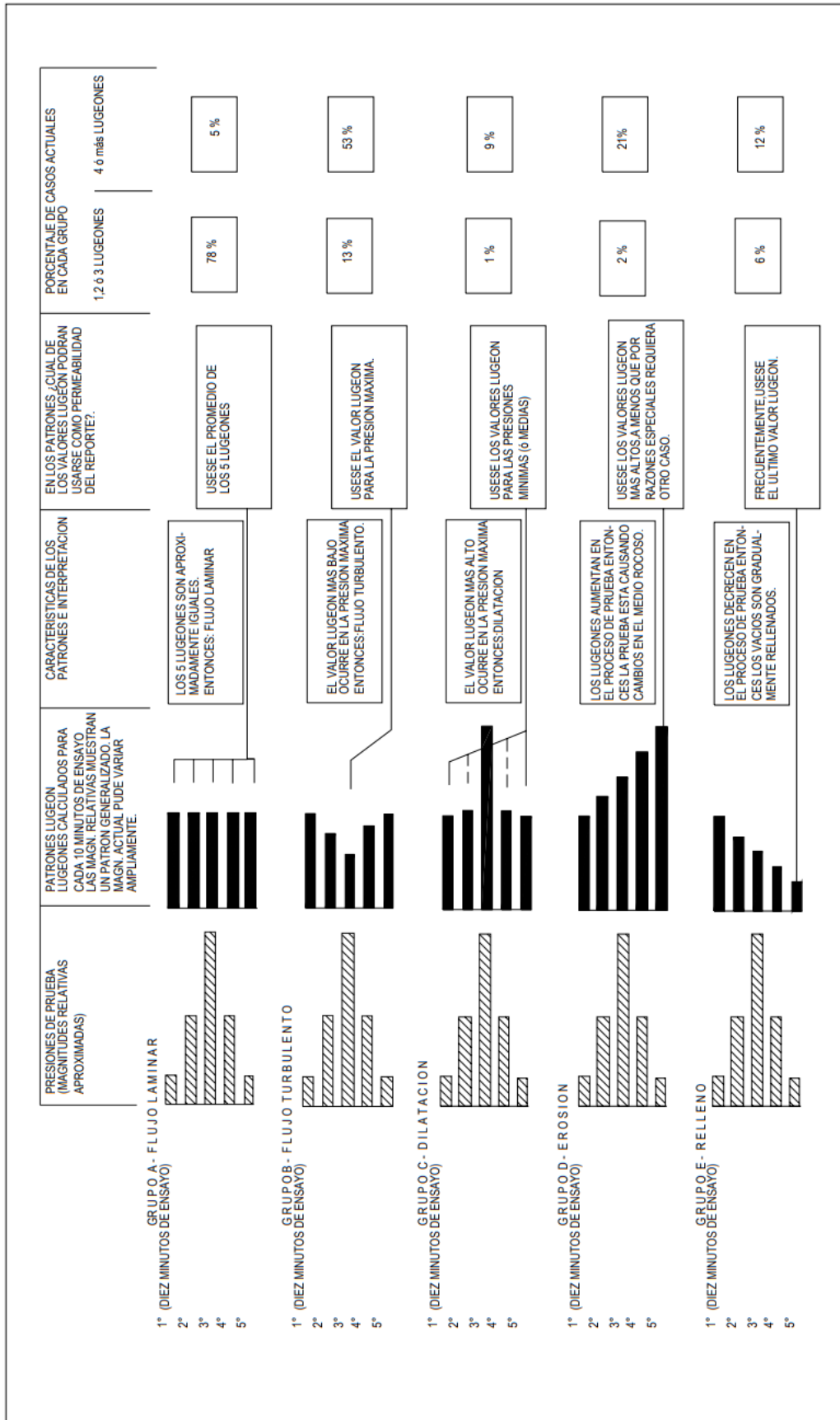


Figura 5. Patrones de resultados de pruebas de Lugeon para la obtención del valor Lugeon representativo.
Fuente: Housby, 1976.



2.2.6 Diseño de Mezcla de Inyección

Para un buen diseño de mezcla se debe tener en cuenta las principales propiedades reológicas de la lechada, los cuales son:

La estabilidad, el tiempo de fraguado y la viscosidad. Estas propiedades definen el grado de manejabilidad o fluidez de los morteros para ser bombeados e inyectados; también permiten determinar los tiempos óptimos de mezclado y los lapsos de tiempo requeridos entre las diferentes etapas de inyección (Santoyo y Ovando, 2002).

2.2.7 Ensayos de Laboratorio In Situ

Se lleva a cabo una serie amplia de pruebas de laboratorio en el periodo inicial con varias mezclas de lechada con una relación de agua: cemento (por peso) que varía de 0.7 a 1.1. esto es para: (a) probar diferentes aditivos en diferentes porcentajes; y (b) obtener valores de prueba del peso unitario de la lechada, viscosidad aparente del embudo de Marsh, sedimentación a las dos horas, cohesión, tiempos iniciales y finales de fraguado, resistencia a la compresión a los 7 y 28 días y pérdida de agua en pruebas de exprimido (Lombardi y Deere, 1993, p. 19).

Según Lombardi y Deere (1993), se usan aditivos para obtener características deseadas de la lechada:

- a) aditivo superplastificante para reducir la cohesión y viscosidad de la mezcla de manera de incrementar la penetrabilidad de la lechada
- b) posiblemente un agente retenedor de agua, para reducir la pérdida de agua durante el fraguado (p. 9).

2.2.7.1 Ensayo de Cono de Marsh

Según Paniagua *et al.*, (2010), “para determinar la viscosidad de la lechada se debe medir el tiempo que tarda en fluir a través de un cono estandarizado, expresado en segundos, para que un volumen de 946 ml de mezcla escurra a través de un orificio circular de 5 mm”. “Los valores óptimos de fluidez se encuentran entre 29 y 33 seg.” Según Lombardi (1993).

“Para un proyecto de lechada, normalmente se puede contemplar un conjunto de 4 a 6 mezclas de diseño aceptables para cada mezcla, como se muestra en la Tabla 11; cada mezcla está diseñada para tener decantación de menos del 5% a las 2 horas” (Bonin *et al.*, 2012).

Tabla 11. Ejemplo de secuencia de mezcla.

Abertura de Fractura Observada	Mezcla	Viscosidad de Embudo Marsh (ASTM D6910)
< 0.3 mm	A	30 s a 33 s
< 0.6 mm	B	35 s a 38 s
0.6 - 2 mm	C	45 s a 50 s
2 - 5 mm	D	60 s a 75 s
5 - 20 mm	E	> 90 s
>20 mm	F	> 120 s

Fuente: (Bonin *et al.*, 2012).

2.2.7.2 Ensayo de Densidad

La densidad de la lechada se determina mediante una balanza de lodos, el cual consiste en un recipiente cilíndrico de 150 cm³ de capacidad, donde se vacía cuidadosamente una muestra de lechada, en el otro extremo se encuentra la balanza, cuyo equilibrio define la densidad de la mezcla (Paniagua *et al.*, 2010). También puede determinarse de forma tradicional, tomando un volumen determinado de lechada en una probeta graduada, previamente tarada, luego se pesa en una balanza digital; al



obtener ambos valores, tanto de masa y volumen, se usa la relación de densidad de la masa dividida por el volumen para obtener la densidad de la lechada en g/cm^3 .

Este ensayo se especifica en la norma ASTM D4380 y donde describe los procedimientos a realizar. Los valores óptimos de densidades de lechada que propone Lombardi son de 1,69 a 1,57 g/cm^3 .

2.2.7.3 Ensayo de Decantación

Santoyo y Ovando (2002), “define esta característica como la cantidad de agua que expulsan al fraguar expresada en porcentaje, como el resultado del volumen de sangrado entre el volumen inicial del mortero”.

Según Herrera (2002), “el procedimiento del ensayo de decantación consiste en colocar un volumen de mezcla recientemente agitada en una probeta graduada de 1000 ml de capacidad, luego la probeta se coloca en posición vertical y medir durante 2 horas la cantidad de agua libre en la parte superior de la probeta, el porcentaje de decantación de la mezcla debe ser menor o igual a 5%” (p. 567).

2.2.7.4 Ensayo de Cohesión

Para obtener los valores de cohesión de manera sencilla, Lombardi (1993), sugiere:

La utilización de una lámina de acero con superficies ásperas (rayado transversalmente), con dimensiones de 100mm x 100mm y espesor de 1.5 mm y que se pesa antes y después de sumergirla por unos segundos a la lechada de inyección; la diferencia de peso dividida entre el área de ambos lados de la lámina proporciona el resultado del parámetro de cohesión en unidades de resistencia al esfuerzo cortante. Es conveniente dividir la cohesión C entre el

peso unitario de la lechada γ , expresando la cohesión relativa $C_r = C / \gamma$, que es la que normalmente se reporta. Generalmente en mm, y los valores típicos son de 90.2 a 0.35 mm para lechadas espesas sin aditivo superplastificante. Con aditivos la cohesión aparente, baja a valores de 0.08 a 0.15 mm o $\leq 0.03 \text{ gr/cm}^2$, para el rango recomendado (p. 5).

2.2.8 Método GIN

Lombardi y Deere (1993), establecieron el concepto de Número de Intensidad de Inyección (Grouting Intensity Number) en base a los resultados obtenidos a partir de ensayos de laboratorio sobre la cohesión (resistencia a la fluencia), la viscosidad dinámica de diferentes composiciones de mezclas de inyección, los estudios teóricos de flujo y penetración de lechada y el monitoreo en campo de las presiones de inyección y absorción del tramo.

Para Lombardi y Deere (1993), “la principal característica de GIN es la limitación de la presión de inyección, evitando presiones excesivas y volúmenes de inyección que pueden causar fracturas hidráulicas o levantamiento de la masa de cimentación”.

Según Lopes y Assis (2020):

La metodología GIN requiere que, una vez seleccionado el nivel de intensidad a inyectar, este número se mantenga no solo para el relleno de fracturas fácilmente inyectables (con gran volumen de absorción y baja presión), sino también para las fracturas más delgadas (con menor absorción de lechada y mayor presión adoptada), manteniendo el GIN constante. Lombardi y Deere (1993) definieron curvas guías utilizadas como parámetros



de referencia para la adopción de intensidades, en las que discontinuidades más amplias requieren una intensidad de 250 MPa L/m. Finalmente, en casos caracterizados por grietas cerradas y extremadamente cerradas, la presión aumenta con un pequeño aumento en el volumen de lechada (GIN <150 MPa L/m). (p. 173)

2.2.8.1 Consideraciones Generales

Según Lombardi (2011), el método del número de intensidad de inyectado (GIN) tiene las características siguientes:

- a. Empleo de una sola mezcla estable para todo el proceso de inyectado (relación agua:cemento por peso de 0.67 a 0.8:1) con un aditivo superplastificante para incrementar la penetrabilidad.
- b. Una velocidad constante de inyección de la lechada, que conduce con el tiempo, a una presión que se incrementa gradualmente conforme la lechada penetra más dentro de las fracturas de la roca.
- c. El monitoreo de la presión, velocidad de flujo, volumen inyectado y la penetrabilidad contra el tiempo, en tiempo real, por medio de gráficos en una computadora.
- d. La inyección se considera terminada cuando la trayectoria de inyectado registrado sobre el diagrama de presión contra volumen total (por metro de intervalo inyectado) intercepta a una de las curvas de volumen limitante, presión limitante, intensidad de inyectado limitante como queda dado por la curva hiperbólica seleccionada de GIN.

La ecuación para el valor GIN es:



$$\text{GIN} = P \times V$$

Donde:

- P = Presión de inyección con flujo de lechada cero
- V = Volumen de lechada con flujo de lechada cero

La presión máxima (P_{\max}) y el volumen (V_{\max}) son condiciones técnicas y económicas específicas en el proyecto, independiente de la opción del valor GIN. (pp. 3-4)

2.2.8.2 Presión de Inyección

La presión que se puede aplicar depende de las condiciones de la roca (grado de fractura, meteorización, tensiones in situ y la profundidad del nivel freático) y si la inyección se lleva a cabo utilizando un obturador que se baja por el pozo en cada etapa. (es decir, en el fondo del pozo con lechada de relleno) o desde la superficie. (Fell, MacGregor, Stapledon, Bell, & Foster, 2015. p.1039).

La presión máxima a emplear en la boca del taladro según Lombardi (2001), debe ser lo suficientemente alta (2 o 3 veces la presión futura del agua en el sitio, es decir la boca del taladro) como para que al llenar el embalse las fisuras no se abran de nuevo por hidrogateo”. De esta manera el método GIN permite la utilización de presiones altas ya que ello es necesario.

Houlsby (1977, 1978) y WRC (1981) presentan gráficos que permiten la estimación de la presión máxima. Los cuales están dados por:



$$P_B = \alpha d$$

Donde:

- P_B = presión en la base del pozo en kPa;
- α = factor que depende de la condición de roca; ≈ 70 para roca dura; ≈ 50 para roca moderada; ≈ 25 a 35 para roca débil;
- d = profundidad en metros.

La ocurrencia de fracturamiento se puede detectar por la pérdida repentina de presión de la lechada, por el aumento de la absorción, la fuga en la superficie o por el control de los niveles de la superficie sobre la roca que se está inyectando (Fell *et al.*, 2015, p.1039).

2.2.8.3 Elección de la Curva de Inyección

Por otro lado, Lombardi (1993) recomienda aplicar la curva más baja para áreas geológicamente críticas (estratos superficiales o sobre taludes empinados). En la Figura 6 se ilustra cinco envolventes limitantes sugeridas para diferentes intensidades de lechada. El valor GIN, la presión límite y el volumen límite son, de hecho, tres parámetros más o menos independientes que definen la envolvente límite para la inyección. (p. 12)

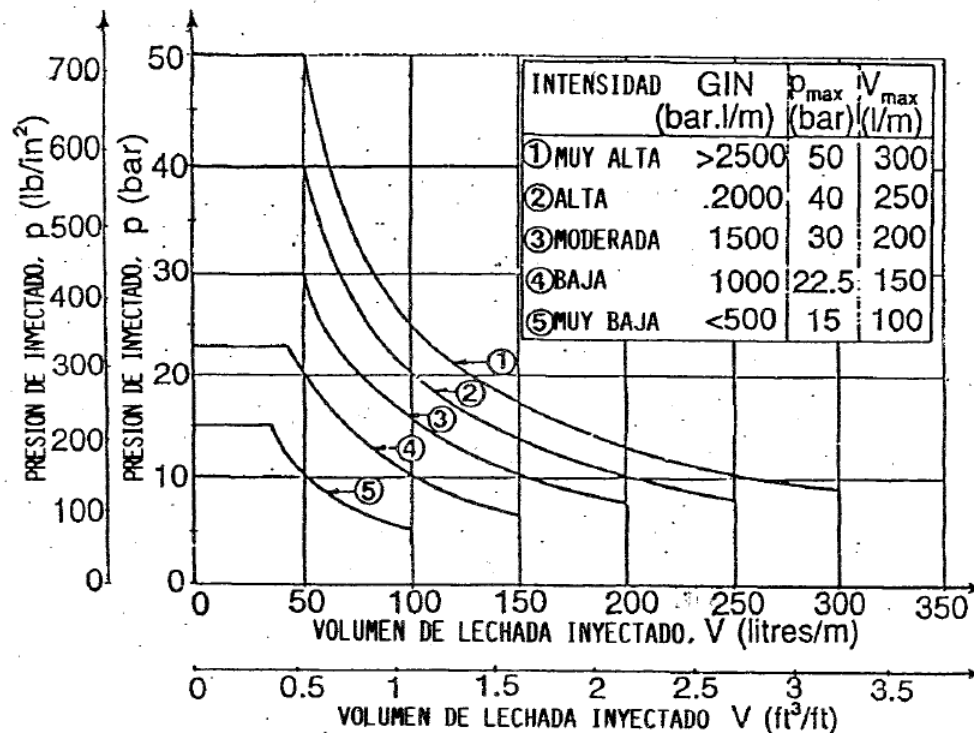


Figura 6. Envolturas Limitantes propuestas para inyectado.

Fuente: (Lombardi, 1993).

Después de pruebas extensas de laboratorio y de campo, Lombardi (1993) seleccionó una sola mezcla “normal”, estable, pero muy fluida con propiedades de alta penetración durante la primera hora y una excelente resistencia mecánica como contra lixiviación. El cual tiene las siguientes características:

- Cemento: cemento puzolánico fino con valor Blaine alrededor de 5100 cm²/g.
- Relación agua-cemento: 0.9:1 (mayor que el normal, debido al valor elevado de Blaine).
- Aditivo superplastificante: 1.6% del peso de cemento de Sikament NZ.
- Densidad de la mezcla: 1.5 a 1.69 g/cm³.
- Decantación: 4% en 2 horas.
- Tiempo de flujo en el cono de Marsh: 28 a 32 s.
- Cohesión relativa (c / γ): 0.08 a 0.2 mm, aumentando a 0.2 hasta 0.3 en 2 horas.



- Resistencia de la mezcla endurecida: 9 a 10 Mpa a los 7 días y 13 a 17 Mpa a los 28 días.

Según Lombardi (2007), la razón para buscar una mayor finura del cemento radica en una mejor penetración de la lechada en las fisuras más finas. El resultado de la inyección se mejora si se utilizan presiones de inyección elevadas dependiendo del estado de tensión del macizo rocoso, esto facilita la penetración de la lechada y mejora la calidad del resultado, pero obviamente aumentando el volumen de lechada absorbido. (p. 9)

Lombardi (2003) expresa que, con el fin de optimizar el proceso de inyección, lo mejor es adaptarlo a las condiciones reales del macizo rocoso, así como a los objetivos reales del proyecto, para lo cual describió los siguientes principios esenciales del método GIN:

- a) Establece específicamente los trabajos de inyección a partir de la definición de la presión y del volumen de inyección más conveniente determinada en pruebas de inyectabilidad.
- b) Diseña, no especifica, el proceso de inyección. En base a los factores que presente el macizo rocoso y en función de las pruebas de inyectabilidad que se realicen previamente.
- c) Selecciona la "mejor mezcla" para el proyecto a partir de los resultados de pruebas de laboratorio desde el punto de vista técnico y económico. Únicamente deben utilizarse mezclas estables, en muchas ocasiones es necesario utilizar un aditivo superplastificante para mantener sus condiciones de estabilidad y penetrabilidad.



- d) Simplifica el proceso de inyección debido al empleo de una sola mezcla, "la mejor posible", para todas las etapas de inyección, asegurando la calidad de los resultados.
- e) Define los parámetros de la curva GIN a partir de pruebas de inyectabilidad, tomando en cuenta los parámetros mecánicos de la roca, la geología del macizo rocoso y los objetivos a cumplirse en el proyecto.
- f) Confirmar los estudios mediante ensayos de campo y comprobar los trabajos realizados con pruebas de inyección adicionales.
- g) Se debe evitar realizar pruebas de inyección de agua a presiones altas durante los trabajos de inyección, ya que pueden provocar daños en los tramos ya inyectados.
- h) La distribución y espaciamiento de los pozos de inyección en el método GIN es un procedimiento autoadaptable, según las condiciones del macizo rocoso.
- i) Es importante el control del proceso de inyección, mediante equipos automatizados para generar los gráficos necesarios y el análisis estadístico para la evaluación de los resultados.
- j) Permite ampliar los alcances del programa de inyección en base a los resultados que se obtengan progresivamente. (pp. 27-28)

2.2.8.4 Interpretación de Trayectorias Sobre Gráficos

En la Figura 7 se muestran las trayectorias P-V de tres tipos de fisuras. Una fisura abierta con abertura amplia representa la curva 1, que demuestra un volumen creciente de lechada inyectada con solo un incremento ligero de la presión. La curva 2

representa a fisuras promedio, donde la presión se incrementa gradualmente conforme el volumen de lechada inyectado aumenta; únicamente en el punto a' se eleva rápidamente la presión conforme la resistencia a la penetración de la lechada se incrementa desproporcionadamente. La curva 3 representa a fisuras cerradas, en donde la presión de inyectado se eleva rápidamente con admisiones de lechada pequeñas. (Lombardi y Deere 1993, p. 11)

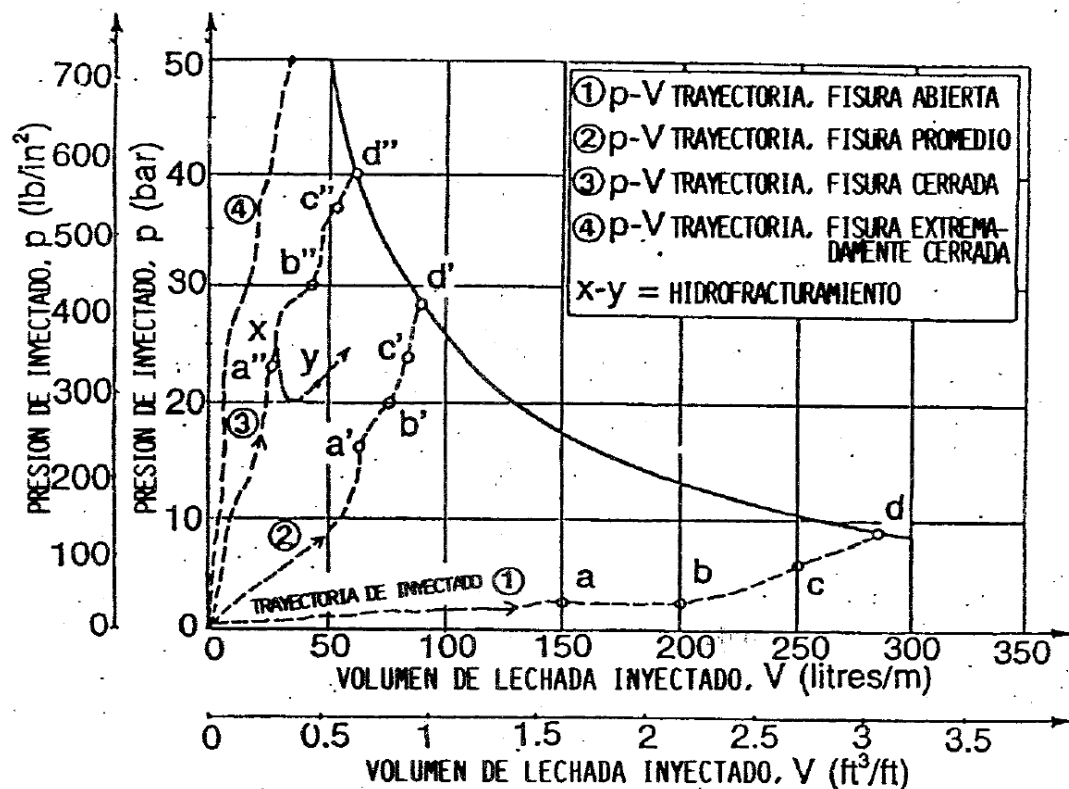


Figura 7. Ejemplo de curvas de trayectorias de inyectado.

Fuente: (Lombardi, 1993).

2.2.8.5 Seguimiento y Registro de Trabajos de Inyección

a) Inyección Controlada por Computadora

Hoy en día se pueden instalar y operar fácilmente computadoras PC en el mismo sitio de inyección, donde se puede monitorear continuamente en tiempo real el proceso de inyección.

El sistema sólo necesita leer continuamente dos valores: la presión real de inyección p y el caudal q . A partir de los dos valores medidos de p y q , se pueden mostrar y trazar diferentes gráficos de tiempo en la pantalla de control (por ejemplo, presión, caudal, volumen acumulativo y penetrabilidad frente al tiempo).

La interpretación en tiempo real de las gráficas de estas funciones permite caracterizar el proceso de inyección y detectar a tiempo cualquier proceso de hidro-jacking o hidrofracturación, ajustando así la inyección a las condiciones reales del macizo rocoso. Hoy en día hay una serie de aplicaciones de software disponibles en este campo, que han demostrado ser muy eficaces. (Lombardi 2002, p. 14)

b) Gráfica de Monitoreo en el Proceso de Inyección

En la Figura 8 se presentan las gráficas principales de control que pueden presentarse en un equipo automatizado. Estas curvas pueden utilizarse para controlar el proceso de inyección. La Figura 8 a) muestra la envolvente limitante de inyectado que ha sido seleccionada para el proyecto (o para una zona dada del proyecto), incluyendo la presión límite P_{max} , el volumen límite de V_{max} por unidad de longitud y la envolvente GIN seleccionada.

La curva (2) mostrada en la Figura 8 a) representa la trayectoria real del inyectado graficada en pequeños incrementos de tiempo, de la presión instantánea de inyectado contra el volumen acumulado de inyección de lechada por unidad de longitud. La curva irregular (2) de la trayectoria de inyección intercepta la curva GIN en el punto F, y el inyectado se detiene a una velocidad de flujo "cero", con una presión final P_F y un volumen total unitario acumulado de lechada inyectada V_F . Hernández Juárez (2013).

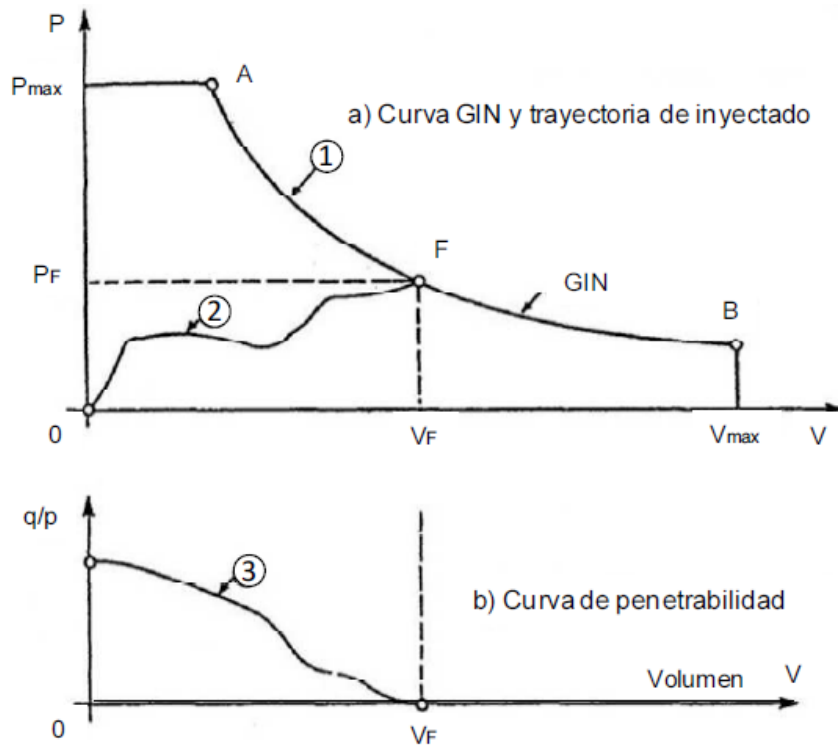


Figura 8. proceso de inyección en una progresión.

Fuente. (Lombardi, 1993).

En donde: (1): Curva límite, presión contra toma de lechada; (2): Trayectoria real de inyección, presión contra toma de lechada; (3): Penetrabilidad (q/p) contra toma de lechada; F: Punto Final del inyectado; P_F : Presión Final de Inyectado y V_F : Toma real de lechada.

La Figura 8 b) también es una curva importante de monitoreo en tiempo real. La penetrabilidad q/p se gráfica contra el volumen acumulado de lechada inyectada en vez de, contra el tiempo, como en la figura 5.18 a) dando curvas similares.



2.3 MARCO CONCEPTUAL O GLOSARIO

Aditivo: Sustancia o producto que puede ser incorporado a la lechada en etapa de mezclado para mejorar las características de sangrado, cohesión, penetración, durabilidad o trabajabilidad de la lechada.

Cohesión: Es un parámetro de resistencia al flujo que determina la distancia máxima por el cual el mortero de cemento penetrará las fisuras del macizo rocoso. Esta distancia de penetración depende directamente de la presión de inyección e inversamente con la viscosidad del mortero.

Disturbancia del macizo rocoso: Está relacionado al fracturamiento innecesario del macizo rocoso, estos son ocasionados por los malos cálculos de las presiones litostáticas y por el mal control de las presiones máximas durante la ejecución del ensayo Lugeon.

Erosión interna: Esta es la principal causa de daños o fallas en presas de tierra. Este fenómeno ocurre cuando existe arrastre de las partículas de suelo en el interior de un estrato o a través del contacto entre dos estratos o en el contacto entre suelo y estructura, por efecto de las fuerzas erosivas, los cuales son generados por el flujo de agua. Una vez que las partículas empiecen a ser removidas van dejando pequeños canales en el suelo por donde el agua circula a mayor velocidad y con mayor poder de arrastre, de manera que el fenómeno de erosión tiende a crecer continuamente, formándose canales con diámetros cada vez mayores.

Hidrofracturamiento: Está relacionado con la formación y abertura de nuevas fracturas y fisuras en el macizo rocoso, esto se debe al incremento y exceso de presión de agua durante los ensayos realizados o durante los procesos de inyección de lechada.



Hidrogateo (Hidrojacking): Está relacionado a la apertura por penetración de la lechada en fracturas y fisuras preexistentes en el macizo rocoso esto se debe al incremento y exceso de presión de agua o durante el proceso de inyección a altas presiones.

Inyecciones: Es el proceso mediante el cual se introduce un fluido (lechada) a presión en el terreno con el objetivo de reemplazar el aire o el agua presente en las fracturas, grietas y oquedades con una suspensión de cemento sólido en agua llamada “lechada”, que permite reducir el flujo de agua a través del medio inyectado (impermeabilización) el cual incrementará la resistencia y el módulo de elasticidad del macizo rocoso.

Mezcla estable: Son aquellas mezclas en que las partículas de cemento se mantienen en suspensión durante un periodo de tiempo prolongado. La estabilidad de una mezcla se determina con ensayos de decantación y se considera estable cuando el agua que queda libre es menor o igual al 5%.

Penetrabilidad (q/p): Es la relación entre el caudal inyectado (q) y la presión (p), medida durante el proceso de inyección, el cual depende de las características reológicas de la mezcla de inyección .

Permeabilidad: Es la capacidad de un material para permitir que el agua fluya en el interior del macizo rocoso. La mayoría de las rocas presentan una permeabilidad muy baja. La filtración y el flujo de agua a través de la matriz rocosa se lleva a cabo en poros, fisuras y discontinuidades, tomando mucha importancia la interconexión entre estos. El grado de meteorización, la anisotropía y el estado de esfuerzos al que está sometido el macizo rocoso son factores que también afectan la permeabilidad del material, el cual se mide por el coeficiente de conductividad hidráulica



Plinto: El plinto es la estructura sobre la cual se cimienta la cara de concreto y sirve como una extensión de ésta última hacia la roca de fundación, con el propósito de continuar con el plano de impermeabilidad de la presa. Físicamente, el plinto es una estructura en concreto reforzado con un ancho variable que bordea la presa y va desde el lecho del río hasta la cresta de la presa y sobre la cual se apoyan las losas de concreto reforzado. El plinto se cimenta sobre roca y está ligado a ella mediante anclajes de acero.

Propiedades del material Bingham: El fluido de Bingham es un término para un líquido no newtoniano (es decir, la viscosidad no tiene un valor constante, pero depende de la velocidad de corte) en forma de un fluido plástico, ambos tienen una proporcionalidad entre la velocidad de corte después del rendimiento.

Sangrado: Llamado también exudación. Es una medida física del grado de contracción que experimenta el mortero después de fraguar. Por esta razón, el mortero debe presentar una mínima reducción de volumen después del fraguado.

Viscosidad de la lechada: Este parámetro controla la fluidez de la lechada para garantizar de que sean fácilmente bombeables. Las viscosidades se miden con el cono de Marsh estandarizado, con el cual se determinó que las mezclas con viscosidades superiores a 120 segundos no son bombeables. Cuanto más alto sea el valor de la viscosidad, mayor es la resistencia interna a fluir.

2.4 ESTUDIOS RECOPIRADOS

2.4.1 Prospección Geofísica – Tomografía Eléctrica

Para el expediente técnico se realizaron 08 líneas de tomografía eléctrica, para ello utilizaron el arreglo polo dipolo para la adquisición de datos. Los cuales se describieron como indica a continuación:

2.4.1.1 TE-01

Ubicado al pie del talud aguas arriba. Se detectaron anomalías de baja resistividad que estarían relacionados a zonas húmedas. Las resistividades altas posiblemente podrían denotar la presencia de material sin presencia de humedad y roca de bajo fracturamiento en la parte media del perfil. La coloración verde, representaría material compacto o roca con cierto contenido de humedad y bajo fracturamiento que tiene una resistividad que varía entre 500 – 1000 ohm*m aproximadamente. La coloración rojiza y magenta representaría a material muy resistivo o roca de bajo fracturamiento sin contenido de humedad, cuya resistividad llega hasta 3500 ohm*m.

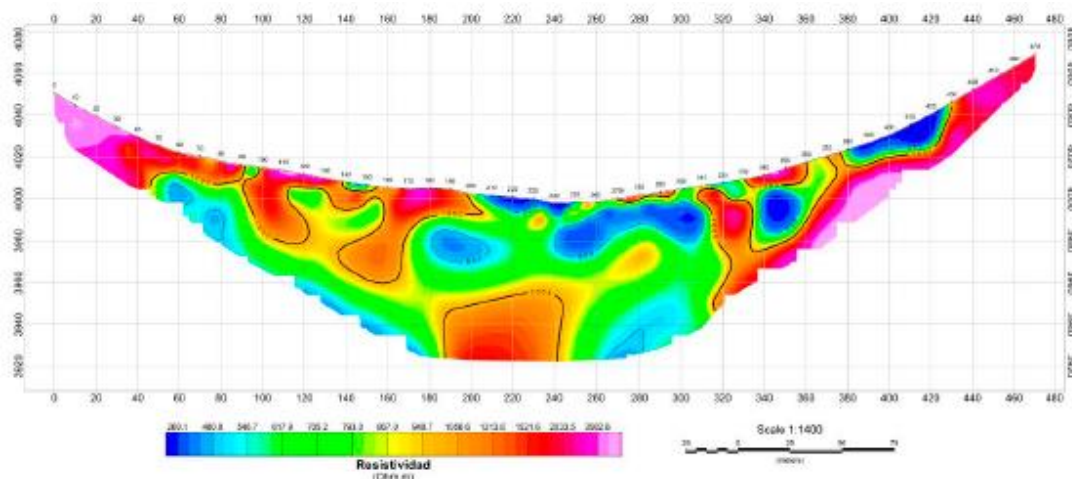


Figura 9. Perfil geoelectrico TE-01, 470 metros.
Fuente: Expediente técnico, 2019.

2.4.1.2 TE-02

Ubicado al pie del talud aguas arriba. Se detectaron anomalías de baja resistividad que estarían relacionadas a zonas húmedas ubicadas cerca de la superficie. La coloración verde, representaría material compacto o roca con cierto contenido de humedad y bajo fracturamiento que tiene una resistividad que varía entre 400 – 1100 ohm*m aproximadamente. La coloración rojiza y magenta representaría a material muy resistivo o roca de bajo fracturamiento sin contenido de humedad, cuya resistividad llega hasta 3700 ohm*m.

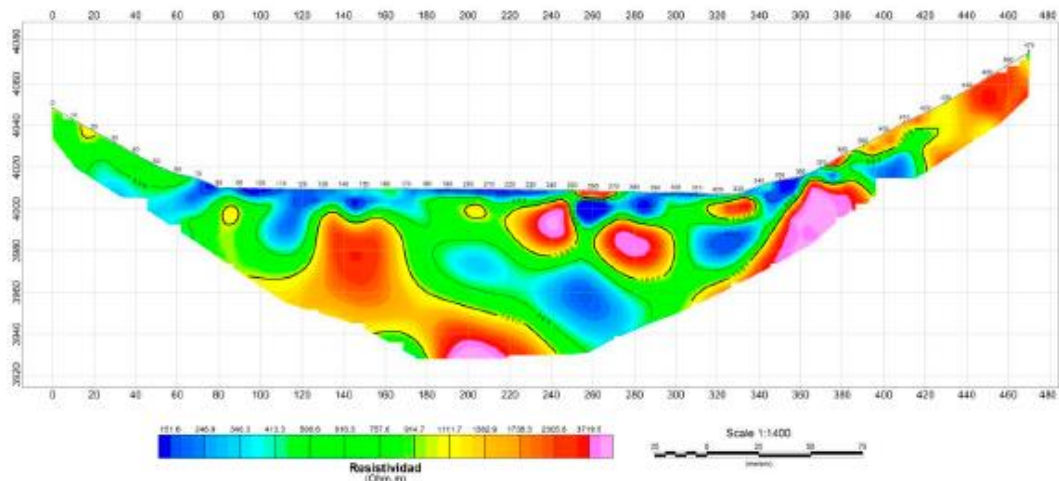


Figura 10. Perfil geoelectrico TE-02, 470 metros.

Fuente: Expediente técnico, 2019.

2.4.1.3 TE-03

Ubicado en el eje de la represa. Se detectaron anomalías de baja resistividad que estarían relacionados a zonas húmedas. La coloración verde, representaría material compacto o roca con cierto contenido de humedad y bajo fracturamiento que tiene una resistividad que varía entre 600 – 1250 ohm*m. La coloración rojiza y magenta representaría a material muy resistivo o roca de bajo fracturamiento sin contenido de humedad, cuya resistividad llega hasta 3000 ohm*m.

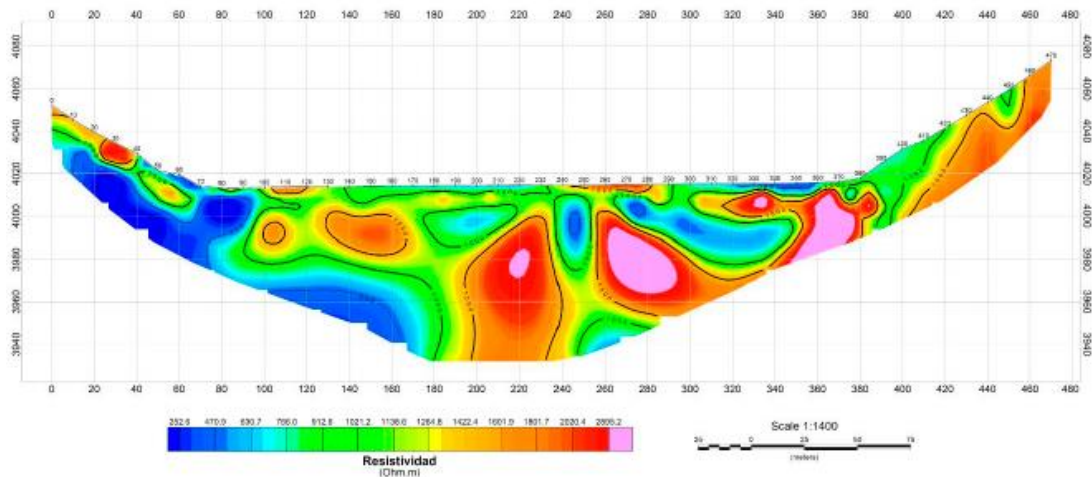


Figura 11. Perfil geoelectrico TE-03, 470 metros.
Fuente: Expediente técnico, 2019.

2.4.1.4 TE-04

Ubicado en el talud aguas abajo del dique. Se detectaron anomalías de baja resistividad que estarían relacionados a zonas húmedas. La coloración verde, representaría material compacto o roca con cierto contenido de humedad y bajo fracturamiento que tiene una resistividad que varía entre 600 – 1350 ohm*m. La coloración rojiza y magenta representaría a material muy resistivo o roca de bajo fracturamiento sin contenido de humedad, cuya resistividad llega hasta 4500 ohm*m.

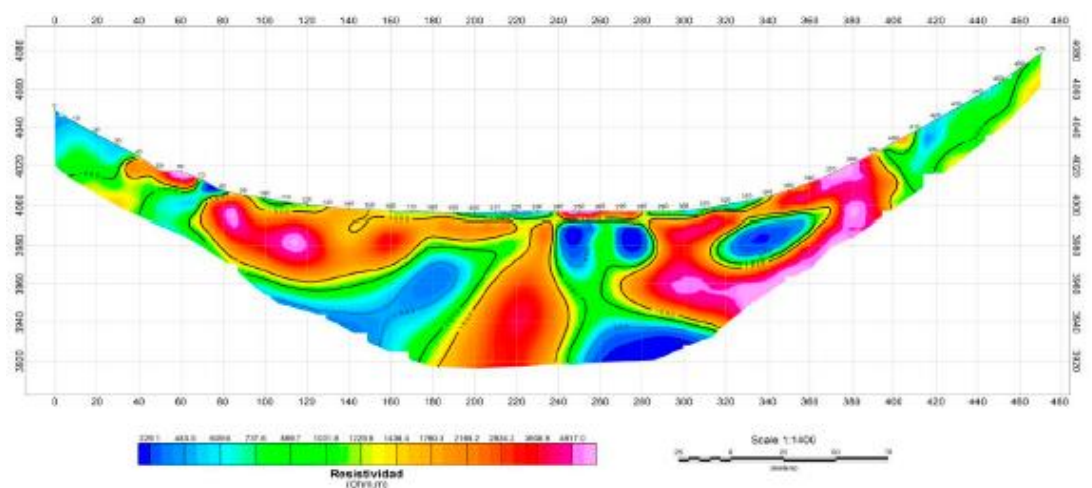


Figura 12. Perfil geoelectrico TE-04, 470 metros.
Fuente: Expediente técnico, 2019.

2.4.1.5 TE-05

Ubicado en el talud natural del cerro. Se detectaron anomalías de baja resistividad que estarían relacionados a zonas húmedas. La coloración verde, representaría material compacto o roca con cierto contenido de humedad y bajo fracturamiento que tiene una resistividad que varía entre 700 – 1600 ohm*m. La coloración rojiza y magenta representaría a material muy resistivo o roca de bajo fracturamiento sin contenido de humedad, cuya resistividad llega hasta 3000 ohm*m.

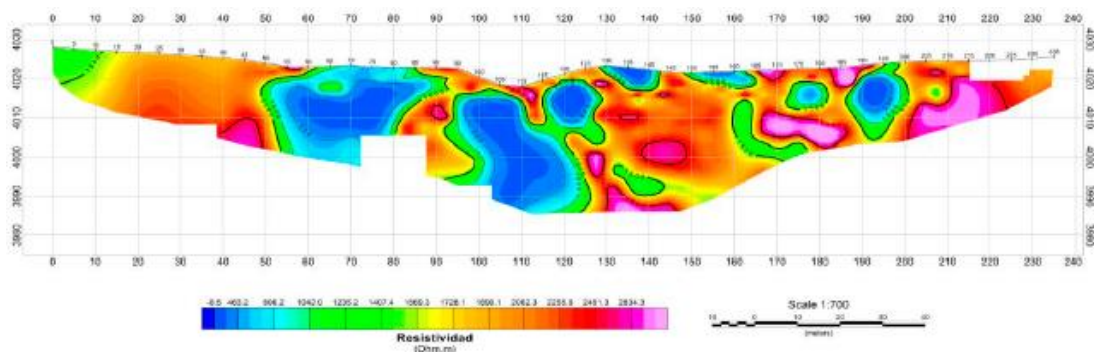


Figura 13. Perfil geoelectrico TE-05, 235 metros.

Fuente: Expediente técnico, 2019.

2.4.1.6 TE-06

Ubicado en el estribo derecho en la plataforma del dique. Se detectaron anomalías de baja resistividad que estarían relacionados a zonas húmedas. La coloración verde, representaría material compacto o roca con cierto contenido de humedad y bajo fracturamiento que tiene una resistividad que varía entre 500 – 1100 ohm*m. La coloración rojiza y magenta representaría a material muy resistivo o roca de bajo fracturamiento sin contenido de humedad, cuya resistividad llega hasta 4000 ohm*m.

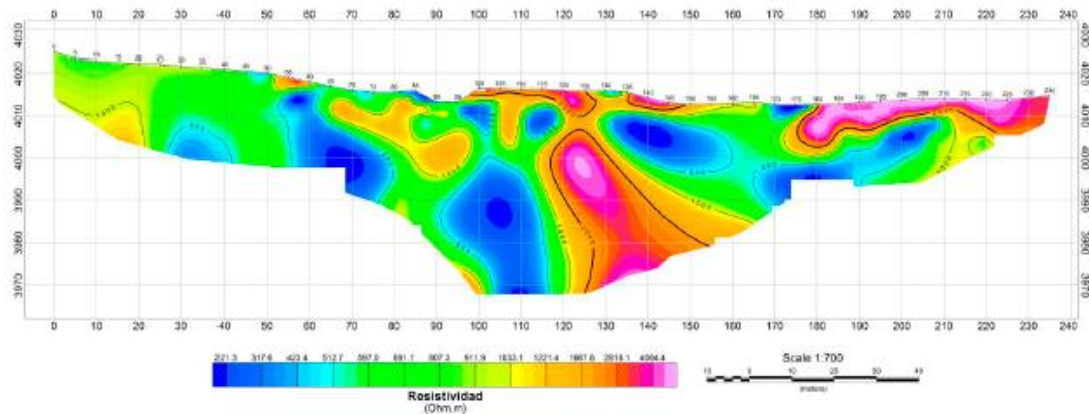


Figura 14. Perfil geoelectrico TE-06, 235 metros.
Fuente: Expediente técnico, 2019.

2.4.1.7 TE-07

Ubicado en el estribo derecho del dique en la plataforma. Se detectaron anomalías de baja resistividad que estarían relacionados a zonas húmedas presentes sobre todo en la parte central del perfil en evaluación. La coloración verde, representaría material compacto o roca con cierto contenido de humedad y bajo fracturamiento que tiene una resistividad que varía entre 400 – 1050 ohm*m. La coloración rojiza y magenta representaría a material muy resistivo o roca de bajo fracturamiento sin contenido de humedad, cuya resistividad llega hasta 3000 ohm*m.

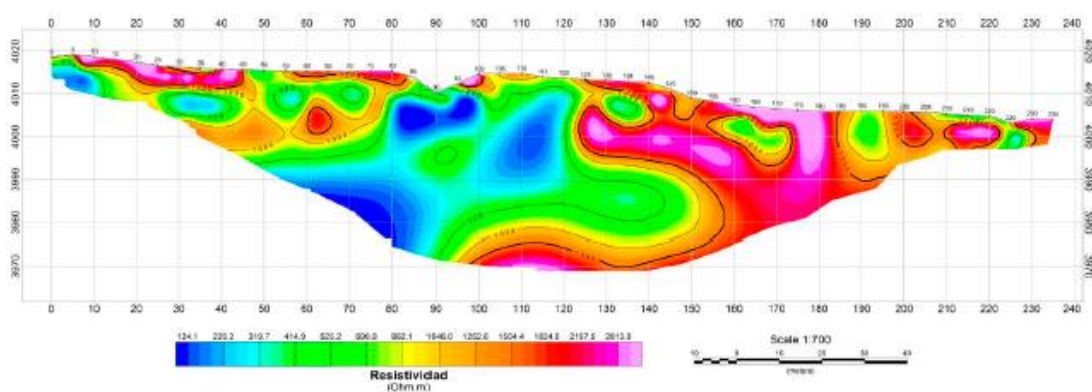


Figura 15. Perfil geoelectrico TE-07, 235 metros.
Fuente: Expediente técnico, 2019.

2.4.1.8 TE-08

Ubicado en el talud natural cerca al estribo derecho del dique. Se detectaron anomalías de baja resistividad que estarían relacionados a zonas húmedas. La coloración verde, representaría material compacto o roca con cierto contenido de humedad y bajo fracturamiento que tiene una resistividad que varía entre 350 – 1000 ohm*m. La coloración rojiza y magenta representaría a material muy resistivo o roca de bajo fracturamiento sin contenido de humedad, cuya resistividad llega hasta 4500 ohm*m.

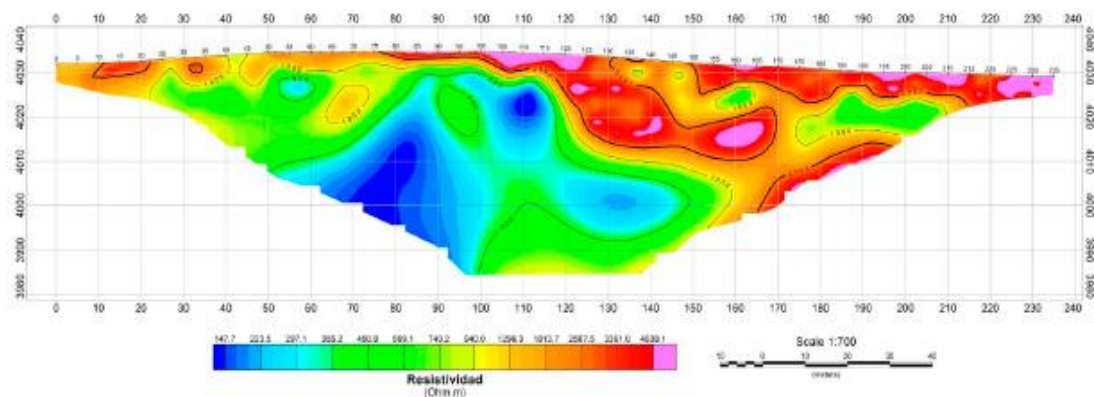


Figura 16. Perfil geoelectrico TE-08, 235 metros.
Fuente: Expediente técnico, 2019.

2.4.2 Caracterización Geomecánica

Durante los estudios previos para el expediente técnico, se ejecutaron 06 perforaciones: SP-1, SP-2, SP-3, SDP-01, SDP-02 y SDP-03. Estos se ubican en el centro del eje del plinto y su litología encontrada se describe a continuación en la



Tabla 12.

Tabla 12. Logueo Geotécnico de perforación.

Sondaje	Desde	Hasta	RMR	Calidad de roca	Descripción
SDP-01	0.00	0.30	-	-	Concreto del plinto.
	0.30	2.15	MG: 36, máx. 42, mín. 23	Mala	(0.30 – 9.85 m) Ps-m: Grupo Mitu. Macizo rocoso
	2.15	9.15	MG: 50, máx. 57, mín. 42	Regular	constituido por brecha basáltica de color gris rojizo oscuro.
	9.15	14.85	MG: 60, máx. 68, mín. 45	Buena	(9.85 – 15.65 m) Ps-m: Grupo Mitu. constituido por brecha basáltica de color gris rojizo oscuro.
	14.85	17.65	MG: 32, máx. 36, mín. 25	Mala	(17.55 – 20.25 m) Ps-m: Grupo Mitu. Constituido por dacita color gris rojizo claro.
	17.65	19.15	67	Buena	(20.25 – 22.15 m)
	19.15	20.65	54	Regular	Ps-m: Grupo Mitu. Dacita fracturada, color gris amarillento claro. Falla (21.30m).
	20.65	22.15	33	Mala	(22.15 – 23.90 m)
	22.15	26.65	MG: 37, máx. 59, mín. 25	Mala	Ps-m: Grupo Mitu. Brecha basáltica color gris rojizo oscuro. (23.90 – 26.65 m)
	26.65	31.10	MG: 66.6, máx. 69, mín. 63	Buena	Ps-m: Grupo Mitu. Dacita fracturada, color gris rojizo oscuro. (26.65 – 31.10 m) Ps-m: Grupo Mitu. Dacita de color gris blanquecino claro. La roca tiene RQD>75%.
SDP-02	0.00	0.30	-	-	Concreto del plinto.
	0.30	1.70	34	Mala	(0.30 – 1.70 m) Ps-m: Grupo Mitu. Brecha basáltica fracturada, color gris blanquecino claro.
	1.70	16.00	MG: 46, máx. 53, mín. 39	Regular	(1.70 – 4.80 m) Ps-m: Grupo Mitu. Brecha basáltica moderadamente fracturada color gris blanquecino. (4.80 – 8.00 m)
	16.00	20.00	36	Mala	Ps-m: Grupo Mitu. Brecha basáltica color rojizo oscuro. (8.00 – 16.20 m) Ps-m: Grupo Mitu. Dacita moderadamente fracturada color gris blanquecino. (16.20 – 20.00 m)
	20.00	22.65	MG: 49, máx. 51, mín. 47	Regular	Ps-m: Grupo Mitu. Dacita fracturada color gris blanquecino. Falla (18.00m). (20.00 – 22.65 m)



Sondaje	Desde	Hasta	RMR	Calidad de roca	Descripción
SDP-03					Ps-m: Grupo Mitu. Dacita moderadamente fracturada color gris blanquecino. (22.65 – 28.70 m)
	22.65	28.70	MG: 64, máx. 69, min. 61	Buena	Ps-m: Grupo Mitu. dacita, color gris blanquecino claro. La roca tiene RQD>75%. (28.70 – 34.60 m)
	28.70	34.60	MG: 48, máx. 54, min. 33.	Regular	Ps-m: Grupo Mitu. Brecha basáltica fracturada color gris blanquecino claro. (34.60 – 40.10 m)
	34.60	40.10	MG: 65, máx. 69, min. 62.	Buena	Ps-m: Grupo Mitu. Macizo rocoso constituido por dacita, color gris blanquecino claro. La roca tiene 75%>RQD>60%.
	0.00	0.50	-	-	Concreto del plinto. (0.50 – 7.20 m)
	0.50	26.15	MG: 37, máx. 57, min. 26.	Mala	Ps-m: Grupo Mitu. Brecha basáltica fracturada, color gris rojizo oscuro. (7.20 – 23.15 m) Ps-m: Grupo Mitu. Dacita fracturada de color gris blanquecino. (23.15 – 26.15 m) Ps-m: Grupo Mitu. Dacita muy fracturada color gris rojizo oscuro. Falla (25.00m). (26.72 – 29.70 m)
	26.15	29.70	MG:51, máx. 53, min. 47	Regular	Ps-m: Grupo Mitu. Constituido por dacita moderadamente fracturada de color gris rojizo oscuro. (29.70 – 33.00 m)
	29.70	33.00	MG: 64, máx. 66, min. 61	Buena	Ps-m: Grupo Mitu. Macizo rocoso constituido por dacita color gris rojizo oscuro. La roca tiene 75%>RQD>60%. (33.00 – 35.10 m)
	33.00	35.10	MG: 34, máx. 37, min. 31	Mala	Ps-m: Grupo Mitu. Macizo rocoso constituido por dacita fracturada color gris oscuro. (35.10 – 44.70 m)
	35.10	44.70	MG: 64, máx. 74, min. 60	Buena	Ps-m: Grupo Mitu. Macizo rocoso constituido por dacita color gris oscuro. La roca tiene 75%>RQD>60%.

Fuente: Expediente Técnico de Saldo de Obra Represa Pallcca, 2021.

2.4.3 Permeabilidad In Situ

En la tabla que se presenta a continuación se resumen los resultados de los ensayos de permeabilidad que se realizaron en etapa exploratoria para los estudios previos del expediente técnico.

Tabla 13. Resultados de ensayos de permeabilidad.

Sondaje	Desde	Hasta	Tipo	Coef. de Permea.	Unidad Lugeon	Descripción
SP-1	0.60	1.20	Lefranc	9.16 E-4	-	Tramo poco permeable
SP-2	1.05	3.60	Lefranc	6.03 E-7	-	Tramo poco impermeable
SDP-01	3.50	8.50	Lugeon	1.57 E-5	1.21	Macizo rocoso es impermeable.
	6.00	8.50	Lugeon	4.86 E-5	4.35	Macizo rocoso es "permeable".
	10.45	14.85	Lugeon	2.80 E-5	2.21	Macizo rocoso es impermeable.
	14.85	19.15	Lugeon	3.88 E-5	3.07	Macizo rocoso es "permeable".
	20.00	25.00	Lugeon	7.36 E-6	0.57	Macizo rocoso es "muy impermeable".
	28.15	31.10	Lugeon	4.37 E-6	0.38	Macizo rocoso es "muy impermeable".
SDP-02	2.00	5.00	Lugeon	6.55 E-6	0.56	Macizo rocoso es "muy impermeable".
	5.00	10.00	Lugeon	4.45 E-5	3.42	Macizo rocoso es "permeable".
	10.00	15.00	Lugeon	2.42 E-5	1.86	Macizo rocoso es impermeable.
	15.00	20.00	Lugeon	2.93 E-5	2.25	Macizo rocoso es impermeable.
SDP-03	20.00	25.00	Lugeon	8.79 E-6	0.68	Macizo rocoso es "muy impermeable".
	25.00	30.00	Lugeon	4.64 E-6	0.36	Macizo rocoso es "muy impermeable".
	30.00	35.00	Lugeon	3.96 E-6	0.30	Macizo rocoso es "muy impermeable".

Fuente: Expediente Técnico de Saldo de Obra Represa Pallcca, 2021.



CAPÍTULO III

MÉTODOS Y MATERIALES

3.1 METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación que se empleó fue de acuerdo con el fin que se persigue el cual es la investigación *Aplicada*, además de ser descriptivo, donde se busca estudiar, conocer y aplicar el método GIN de inyección a la problemática de la permeabilidad de la represa.

Para demostrar la hipótesis se aplicó una investigación experimental descriptiva donde se toman en cuenta las condiciones geotécnicas del macizo rocoso en el cual se emplaza la represa. Asimismo, se contrastan las permeabilidades iniciales con las permeabilidades obtenidas después de realizar la primera campaña de inyección y finalmente con las permeabilidades de la segunda campaña de inyección de la represa Pallca. Donde se evalúa las admisiones de lechada en cada fase de inyección y se verifica las curvas de trayectoria de inyectado que muestran un cierre progresivo de la cortina impermeable.

A continuación, se detallan las siguientes etapas que se desarrollaron en esta investigación:

3.1.1 Recopilación y Revisión Bibliográfica

En esta etapa se realizó la búsqueda y recopilación bibliográfica, documental y análisis de información existente de la zona de estudio, para evaluar y tener conocimiento sobre la realidad de las condiciones en que se encuentra el área del proyecto.

Se realizó la recopilación de datos a nivel regional como; revisión de las condiciones geológicas, condiciones geotécnicas y la caracterización geotécnica, principalmente la clasificación geomecánica RMR, ensayos de permeabilidades,



prospección geofísica y tomografía eléctrica, los cuales fueron efectuados para el Expediente Técnico del Saldo de Obra “Construcción del sistema de irrigación – Presa Palleca en el Distrito de Quinoa, Provincia de Huamanga – Ayacucho” (PRIDER 2021).

Cabe indicar que las condiciones geológicas regionales fueron tomadas del cuadrángulo de Ayacucho 27-ñ, boletín A 061 y del cuadrángulo de Huanta 26-ñ, boletín A 072, publicado por el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico en 1995 y 1996 respectivamente.

3.1.2 Trabajos de Campo

Se realizó trabajos de campo que comprende del análisis de documentos como las especificaciones técnicas y criterios establecidos para los tratamientos de impermeabilización de la represa, reconocimiento de campo e instalación de campamento, asimismo se realizó mapeo geológico local de la zona de influencia del proyecto.

El trabajo de campo realizado para el tratamiento de la represa comprende de las siguientes actividades:

3.1.2.1 Mapeo Geológico Local

Se realizó un mapeo geológico local a lo largo del plinto donde se identificó las unidades litoestratigráficas; la roca predominante es la andesita, el cual se encuentra pseudoestratificada con una dureza media; en algunos sectores puntuales se ha identificado la Brecha I y II, la Brecha II se presenta blanquecina y masiva (00+055 – 00+075), coincidiendo con los reportes de perforación diamantina y ensayos de permeabilidad (ver en anexo P-03). Esta información se obtuvo utilizando materiales e instrumentos como: brújula Brunton, lupa acromática 20 aumentos, martillo de geólogo, lápiz de dureza, libreta de campo.

3.1.2.2 Perforaciones Diamantinas y Rotopercusivas

Previo al inicio de las perforaciones diamantinas, se realizó el marcado y distribución de los sondajes diamantinos, detallando el orden de perforación, código del sondaje a perforar e inyectar, profundidad de perforación programada y distancia entre pozos primarios, secundarios y terciarios.



Figura 17. Marcado y distribución de los pozos de perforación.

a) Perforación Diamantina

Se ejecutaron treinta y nueve (39) perforaciones diamantinas con recuperación de muestras, ubicadas en el plinto de la represa, los cuales se hicieron según las profundidades indicadas, completando un total de 547.50 metros lineales.

La perforadora diamantina utilizada para el proyecto es TP-50D sobre oruga provista de un castillo retráctil; durante la perforación se utilizaron las medidas **HQ (63.50 mm)** con un diámetro de perforación de 96.00 mm y diámetro de testigos recuperados de 63.50 mm. El fin de esta partida es realizar una perforación con recuperación de muestras y dejar un pozo por el cual se va a ingresar la lechada de

cemento, la inclinación con la que se realizó los trabajo en la mayoría de los pozos es 90° y algunas de 70° en pendiente.



Figura 18. Perforaciones diamantinas en plinto de la represa.

b) Perforación Rotopercusiva

Se ejecutaron ciento noventa y nueve (199) perforaciones de tipo rotopercusivas sin recuperación de muestras, ubicadas en el plinto de la represa, los cuales se hicieron según las profundidades indicadas, completando un total de 2484 metros lineales. El fin de esta partida es dejar un pozo por el cual se va a ingresar la lechada de cemento. La máquina empleada para el trabajo es una Perforadora rotopercusiva con martillo de cabeza, sobre oruga, marca Klemm, tipo KR 807-1, que utiliza una Broca DTH BIT 90.



Figura 19. Perforaciones rotopercusivas en plinto de la represa.

3.1.2.3 Logueo Geotécnico

Se realizó logueo geotécnico de los testigos de perforación diamantina, esto se realiza en una hoja de registro, donde se registraron los siguientes datos: longitud de perforación, datos de recuperación, color de retorno, diámetro de tubería, descripción de la matriz rocosa (color, RCU de roca intacta, espaciamiento, grado de fracturamiento), condición de las discontinuidades (apertura, persistencia, relleno, meteorización), condición de agua, corrección por orientación de las discontinuidades, RQD, RMR básico, RMR corregido, calidad de roca, tipo de roca y descripción litológica.



Figura 20. Logueo geotécnico de las cajas de perforación.

3.1.2.4 Ensayos de Permeabilidad Lefranc

Se ejecutaron ensayos de permeabilidad Lefranc de nivel variable y nivel constante. El ensayo consistió en la inyectar agua con flujo constante, luego de manera inmediata, se detiene el suministro de agua luego se mide el descenso de agua en la tubería, obteniendo así el parámetro de permeabilidad, el cual nos brinda una idea clara de cómo se comportará la inyección de lechada en el macizo rocoso.



Figura 21. Ensayo de permeabilidad Lefranc.

3.1.2.5 Ensayos de permeabilidad Lugeon

Se ejecutaron ensayos de permeabilidad Lugeon, estos se controlan con un caudalímetro y un cronómetro digital, los cuales se realizaron durante la perforación de los sondeos y cada 5.0 m, principalmente en rocas con un buen RQD o poco fracturadas. Este ensayo consiste en medir el volumen de agua que se inyecta con una bomba de alta presión, durante un periodo de tiempo, en un tramo de sondeo y a una presión determinada.



Figura 22. Ensayo de permeabilidad tipo Lugeon.

3.1.2.6 Control Diario de Nivel Agua

Se realizó el monitoreo diario del nivel de agua en cada uno de los pozos perforados. Esto fue registrado con una sonda de nivel de agua, que cuenta con un electrodo en el extremo de la cinta métrica, que detecta cuando este entra en contacto con el agua, gracias a la señal acústica que emite y así medir con precisión la profundidad del agua en cada pozo.



Figura 23. control del nivel de agua en los pozos perforados.

3.1.2.7 Ensayos de Calidad de Mezcla

Para realizar ensayos de calidad de mezcla se han utilizado los siguientes materiales: cemento, agua, aditivo.

Se efectuaron ensayos de calidad de lechada con diferentes dosificaciones de aditivo, los cuales se realizaron en una mezcla de lechada estable, donde se evaluó las propiedades mecánicas y reológicas de la lechada de inyección, luego se seleccionó una mezcla estable con una relación de agua/cemento (A/C) de 0.65 y con un aditivo polifuncional al 0.7% con relación al peso del cemento. Los ensayos que se realizaron se detallan a continuación:

- ✓ Ensayo de cono de Marsh
- ✓ Ensayo de decantación
- ✓ Ensayo de cohesión
- ✓ Ensayo de densidad de la mezcla



Figura 24. Ensayos de calidad de lechada.

3.1.2.8 Selección de Curva GIN y Presión de Inyección

Se realizó la elección de la curva GIN y presión de inyección a emplear según la bibliografía encontrada el cual indica que la presión futura del agua debe ser 2 o 3 veces mayor a la presión futura del agua en la represa y de acuerdo con las condiciones geotécnicas del macizo rocoso, luego se planteó zonificar en 3 sectores.

Tabla 14. Presión máxima de inyección.

Zona geotécnica	Altura de agua (máx.)	Presión máxima de agua sobre terreno (bar)	Presión máxima de inyección (bar)
Zona A y B	14.20	1.4	5.0
Zona C, Zona D, Zona E, Zona F	21.70	2.1	7.0
Zona G y H	11.80	1.2	5.0

Fuente: (Expediente técnico Prider 2021)

3.1.2.9 Espaciamiento Entre Pozos de Inyección

Las perforaciones e inyecciones de cada pozo se realizaron en tres etapas con la finalidad de lograr la impermeabilización progresiva de las fracturas de la fundación de la represa. En la primera etapa se realizaron las inyecciones de taladros primarios (P) que se encuentran espaciados a 6 m. En la segunda etapa se inyectaron los taladros secundarios (S) que se encuentran espaciados a 6 m. y luego en la tercera etapa se inyectaron los taladros terciarios (T) que están distanciados 3 m.

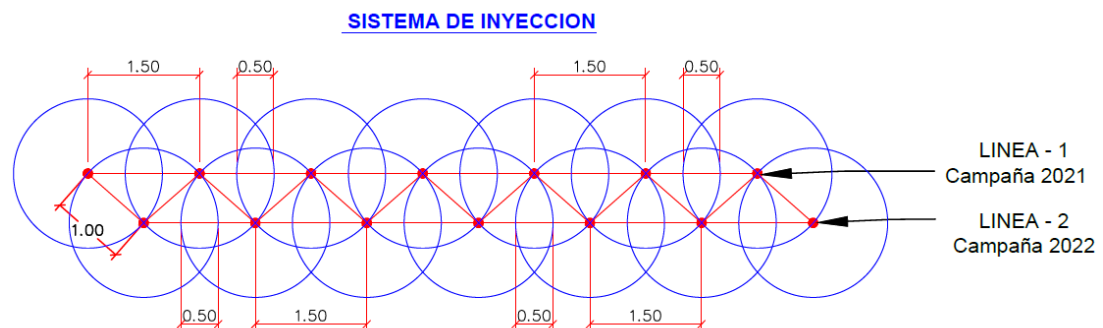


Figura 25. Distribución de los pozos primarios, secundarios y terciarios.

3.1.2.10 Inyecciones con Mortero Cemento

Se ejecutaron las inyecciones con mortero de cemento con una mezcla única para todas las actividades de consolidación de la roca que cumple con una relación de agua/cemento (A/C) de 0.65 y un aditivo polifuncional al 0.7% para que la mezcla cumpla con las propiedades óptimas siguientes (estos valores pueden variar conforme la temperatura del agua cambie en la zona):

- ✓ Viscosidad al cono Marsh entre 38 a 40 segundos.
- ✓ Lechada estable: decantación 2.5 a 3.5% en dos horas.
- ✓ Cohesión relativa: 0.01 a 0.03 g/cm².
- ✓ Densidad: 1.69 a 1.70 g/cm³.

Antes de iniciar con las inyecciones se realiza el lavado de los pozos con abundante agua hasta que esta salga limpia y luego se verifica que no haya derrumbes en los pozos perforados.

La inyección se realizó colocando un obturador (packer) en el tramo inferior, inyectando de forma ascendente (cada 5 metros), paralelo a la instalación del packer se inicia con la preparación del mortero de cemento en una mezcladora especial de alta turbulencia de tal forma que el agua y el cemento formen una mezcla homogénea. Después en esta mezcla se realizan los ensayos de calidad y una vez que se cumplieron con los parámetros establecidos. la mezcla es succionada por una bomba de lodos y es lanzada por una manguera de alta presión dentro de los pozos perforados y al mismo tiempo se mide la presión y el caudal de admisión del mortero con un caudalímetro digital y simultáneamente se realiza un registro en tiempo real del ingreso de lechada en cada tramo del pozo inyectado.

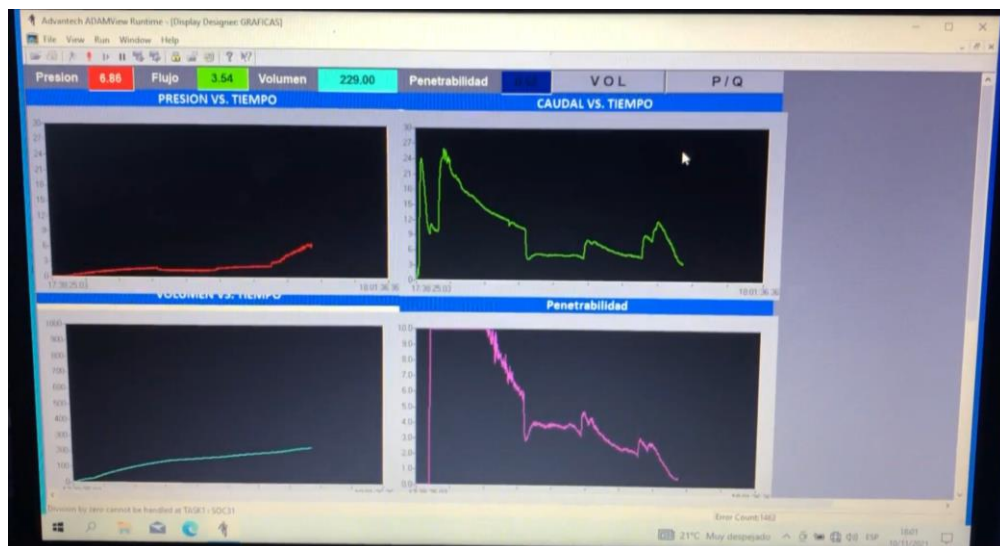


Figura 26. Registro de inyección en tiempo real.

La presión de inicio es de 0 bares y se incrementa gradualmente según la admisión de lechada en el tramo inyectado, esta se da por concluida cuando se alcanzó la presión de rechazo con un caudal menor o igual a 1 l/min/metro durante tres minutos

como mínimo. Una vez completada la inyección de un tramo de 5 metros, se espera un tiempo determinado para que la presión se disipe, posteriormente se levanta el obturador hasta el tramo superior y se continúa con la inyección del mismo modo en todos los taladros.



Figura 27. Trabajos de inyección de lechada.

Al finalizar la inyección en cada pozo, se lavan los equipos utilizados para evitar el taponamiento parcial o completo de los equipos de inyección con lechada endurecida dentro de estos.

3.1.3 Trabajos de Gabinete

Los trabajos correspondientes a esta etapa son:

- En esta etapa se realiza el procesamiento, análisis e interpretación de los datos obtenidos del registro en tiempo real en campo, de los cuales se obtendrá el comportamiento de las curvas de trayectoria de inyectado para las inyecciones tanto en la primera etapa, segunda etapa y tercera etapa. Estos gráficos de

inyección se procesan por tramo y por taladro presentando curvas de presión vs volumen, penetrabilidad y caudal. Asimismo, estas curvas de trayectoria de inyectado muestran el comportamiento de admisión de lechada en los diferentes tramos de los pozos inyectados y brindan información del criterio de cierre de la pantalla impermeable en la represa.

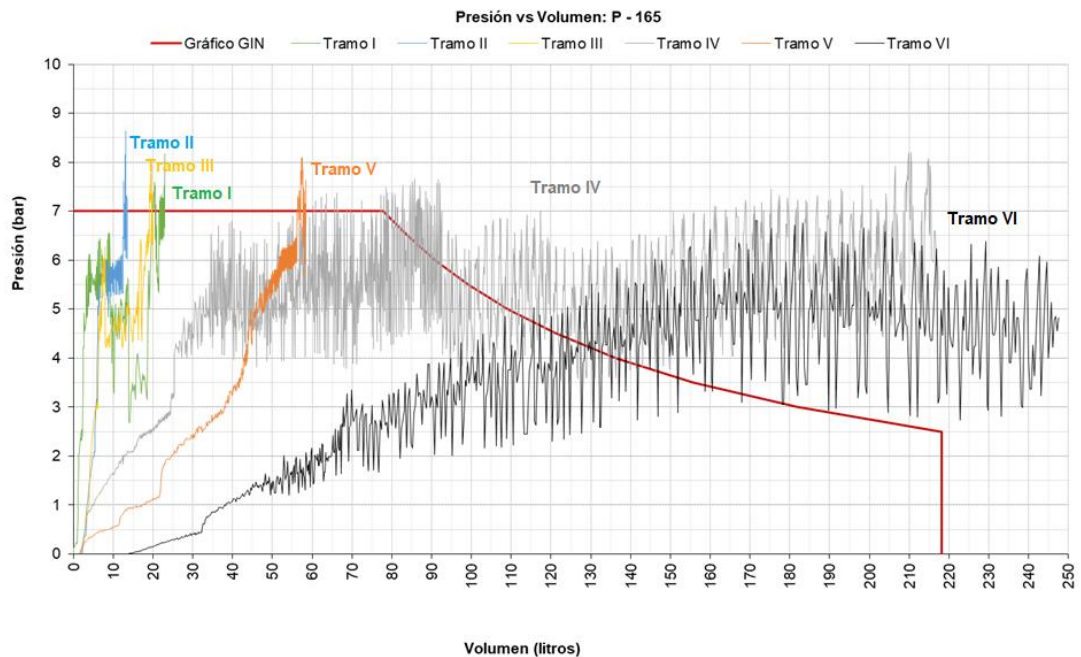


Figura 28. Procesamiento de curvas de trayectoria P-V.

- Análisis e interpretación de los valores de permeabilidad de los pozos diamantinos.
- Elaboración de mapas y perfiles para la interpretación de resultados.

3.2 MATERIALES Y EQUIPOS

Durante el proceso de inyección de la cortina de impermeabilización de la represa Pallcca, se contaron con los siguientes materiales y equipos:

3.2.1 Materiales

- Agua,
- Cemento tipo I – Andino,



- Aditivo polifuncional Euco 37,
- Computadora,
- Útiles de escritorio.

3.2.2 Equipos

Se empleo los equipos siguientes:

- Perforación diamantina TECOINSA TP-50D con recuperación de muestras.
- Perforadora rotoperkusiva sobre oruga, marca Klemm, tipo KR 807-1.
- Mezcladora de alta turbulencia ($w_1 \sim 1500$ a 2000 rpm) cuya fuente de rotación lo proporciona un motor hidráulico.
- Estante Agitador ($w_2 < w_1$) ($w_2 \sim 20$ a 40 rpm)
- Bombas: habitualmente de pistones porque tienen un menor desgaste (desplazamiento).
- Bomba de inyección de alta presión con variador de potencia.
- Generador de energía 440 volts y 220 volts.
- Equipo de registro digital en tiempo real para el caudal y presión.
- Packer
- Mangueras de alta presión,
- Tubos de acero de 3 m de alcance con uniones.
- Válvulas de paso,
- Laptop,
- Software de recuperación de datos, presión y volumen.
- Cono Marsh,
- Cronómetros,
- Probetas de capacidad de 1 litro.
- Placa de acero 10×10 .
- Balanza calibrada,
- Pesa de lodos,
- Moldes de PVC para concreto,

CAPÍTULO IV

CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

4.1 DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

4.1.1 Ubicación del Área de Estudio

Políticamente la represa Palcca se ubica en lugar conocido como Palcca específicamente en el distrito de Quinua, provincia de Huamanga, departamento de Ayacucho. Geográficamente la zona de estudio se localiza en la sierra del Perú, a una altitud aproximada de 4015 metros sobre el nivel del mar y según las coordenadas geográficas y coordenadas UTM siguientes:

Tabla 15. Coordenadas de localización.

Coordenadas Geográficas		Coordenadas UTM WGS84- Zona 18L		
Longitud	Latitud	Este	Norte	Cota
74° 6' 0.25" W	13° 0' 4.23" S	597593	8562562	4015 m.s.n.m.

4.1.2 Accesos al Área de Estudio

4.1.2.1 Vía terrestre

El acceso a la represa Palcca por vía terrestre desde la ciudad de Lima es a través de la carretera asfaltada Lima-Pisco-Ayacucho, luego Ayacucho-Quinua, del distrito de Quinua se continua por la carretera que va al distrito de Tambo, hasta el Km 34 donde se encuentra la Represa Palcca. El recorrido se muestra en la tabla que se presenta a continuación:

Tabla 16. Vías de acceso a la represa Palcca.

Tramos	Distancia (KM)	Tipo de Vía	Tiempo
Lima - Ayacucho	585	Asfaltada	10 horas
Ayacucho - Quinua	36	Asfaltada	50 min.
Quinua - Represa Palcca	13	Asfaltada	20 min.
Total	634	Asfaltada	11 horas y 10 min



También se puede llegar a la represa Palcca por la ruta Lima-Huancayo-Ayacucho con una distancia de 569 km, el cual se encuentra asfaltada hasta la ciudad de Huancayo y parcialmente asfaltada hasta Ayacucho.

Desde Ayacucho, se continúa por una carretera afirmada que une con el distrito de Quinua, de este pueblo se continúa por la carretera que conduce al distrito de Tambo hasta el Km 34, donde se encuentra el área de represa.

4.1.2.2 Vía Aérea

También se puede llegar por vía aérea utilizando la ruta Lima-Ayacucho, el vuelo dura aproximadamente 50 minutos, luego se va por la carretera asfaltada Ayacucho-Quinua, luego del distrito de Quinua se continúa por la carretera que conduce al distrito de Tambo, hasta el Km 34 donde se encuentra la Represa Palcca.

4.1.3 Clima

El clima de la zona de estudio se encuentra en un clima de alta montaña que se caracteriza por presentar temperaturas menores de 7 grados centígrados y en las noches la temperatura desciende hasta llegar a los 0° grados centígrados y con una precipitación que varía entre 450 a 1,100 mm. anuales, esta cantidad varía según la posición geográfica y altimetría.

La humedad y las precipitaciones pluviales se presentan en forma de lluvia y en menor proporción en forma sólida (granizo y nieve). La lluvia es estacional, incrementándose en los meses de diciembre a marzo y en menor magnitud los meses de noviembre y abril, esto se debe al inicio y término de las épocas de lluvias típicas del verano en la sierra. Los meses de mayo a septiembre, se denomina estación seca por la ausencia de lluvias.

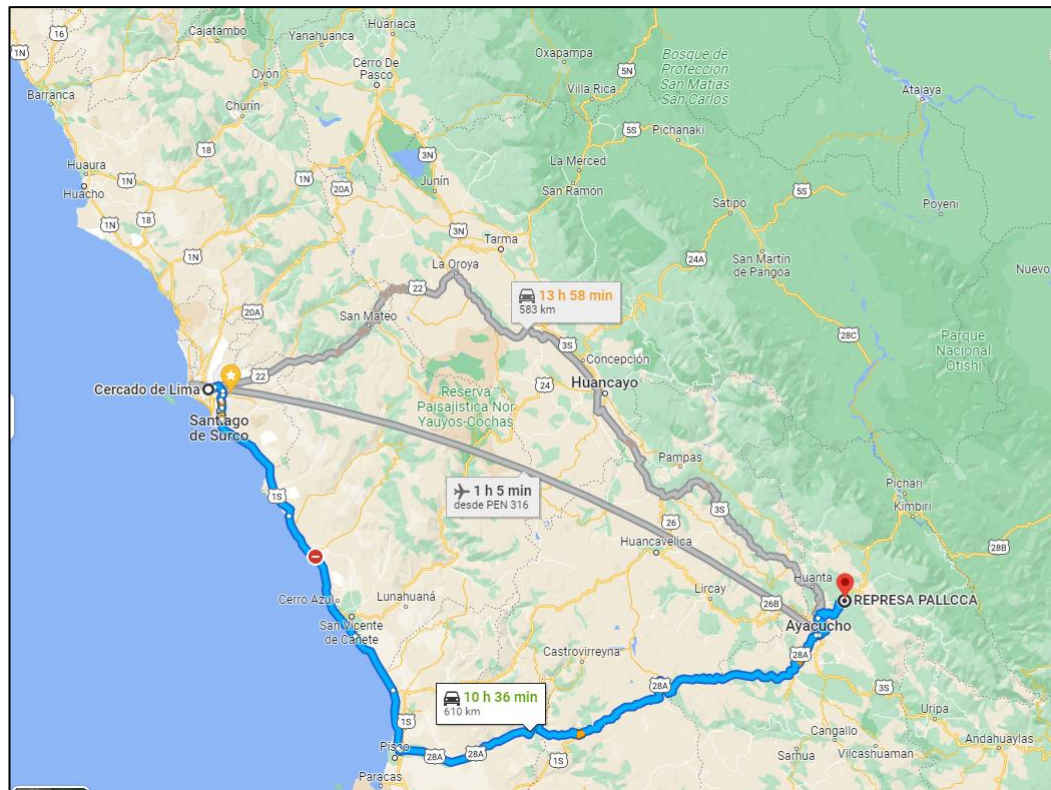


Figura 29. Ubicación y accesibilidad a la zona de estudio.

Fuente: Google Maps.

4.1.4 Flora y Fauna

La flora local es propia con características fisiológicas de los pisos ecológicos existentes, en zonas de mayor altitud existen plantas nativas como retama, taya, muña, queñua y pastizales naturales con predominio de diferentes especies de ichu. En zonas de menor altitud crecen plantas como sancay, tara, tuna, molle, sauce.

La fauna en esta zona está representada por aves silvestres como la perdiz de puna, la huallata, el guarahuau, el lique, gavilanes, lechuzas, etc. y animales como el zorro andino, zorrillo, murciélago, venados, vizcachas, cuyes silvestres, y truchas.

4.2 CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS

4.2.1 Geomorfología

La represa Palcca se encuentra en un valle glaciar en forma de “U”, con altitudes de 4000 a 4050 m.s.n.m., morfológicamente sus laderas son simétricas con pendientes 13 a 20 % en el fondo y de 40 a 60 % en laderas altas.

Esta unidad geomorfológica, está constituida principalmente por depósitos volcánicos del Grupo Mitu (Ps-m). Se puede observar afloramientos de brecha volcánica con una superficie rojiza por la meteorización química que se produce por las precipitaciones de la zona y el contenido de ferromagnesianos en el macizo rocoso.

El vaso se extiende hasta 2 kilómetros en dirección NE-SW, constituidos por material fluvio-glaciares, clastos y bloques sub-angulosos con dimensiones de 10 cm a 50 cm.



Figura 30. Valle glaciar Palcca con forma de “U”, vista hacia el NE.

4.2.2 Geología Regional

4.2.2.1 Grupo Mitu

La zona de estudio está constituida principalmente por depósitos volcánicos del Grupo Mitu (Ps-m), se puede observar afloramientos de brecha volcánica de color gris rojizo oscuro, donde su coloración es debido a la meteorización química que se produce por las precipitaciones fluviales de la zona y la cantidad de minerales ferromagnesianos que presenta la andesita y la brecha con matriz andesítica.

En la carta 27 se describe que “La unidad dominante exhibe una composición andesítica – riodacítica, se exponen variaciones de facies y cambios que se dan tanto verticalmente, como lateralmente” (Morche *et al.*, 1995). Para Megard, “las lavas son por lo general de composición andesítica, de textura porfirítica, que presentan cristales de labradorita o andesina que destacan sobre la pasta afanítica” (1979).

A continuación, se presenta una tabla donde se resumen las composiciones petrográficas de muestras analizadas por el INGEMMET, estas muestras petrográficas se encuentran en los alrededores de la represa Palcca.

Tabla 17. Composiciones petrográficas de muestras analizadas.

N°	Coord. Este	Coord. Norte	Roca	Textura	Comp. esenciales
M-01	599000	8565000	Traquita	Porfirítica	FPKs.
M-02	596514	8562253	Toba soldada, riolítica alterada	Tobácea, eutaxítica	Lapilli de pómez, plag, cz, san.
M-03	595024	8559935	Lava riolítica; alterada	Fluidal	Plag, OPs, matriz recristalizada
M-04	599305	8563292	Andesita	Afanítica	plg y anf
M-05	599298	8563398	Andesita argilizada	Oqueroso	plg y anf.
M-06	601896	8562706	Sienita	Fanerítica	Plg. Qz, anf.

Fuente: INGEMMET.



Grupo Mitu Inferior: está compuesta por lavas grises alteradas, afaníticas, que puede presentar textura vesicular, intercaladas con tobas soldadas con fiamez, cuarzo hialino con micas y una secuencia con presencia de tobas. (Monge y Montoya, 2003)

Secuencia Inferior: conformada por brechas arcósicas, cuarcitas, andesitas y calizas. La matriz de los conglomerados es areniscosa y a veces tufácea. (Megard, 1979)

Secuencia Superior: la secuencia está constituida por una sucesión de lavas, piroclastitas e ignimbritas. Las lavas son por lo general de composición andesítica, de textura porfirítica, que presentan cristales de labradorita o andesina que destacan sobre la pasta afanítica. Las piroclastitas están constituidas por tobas y brechas volcánicas, las primeras son de naturaleza andesítica a dacítica. (Megard, 1978)

Asimismo, reportan la presencia de basaltos con olivino y riolitas peralcalinas o comenditas a lo largo del tramo entre Ayacucho y San Miguel. Las riolitas tienen una textura granofírica; en varias de las muestras se notan fenocristales de cuarzo y feldespatos alcalinos. Estas rocas serían prueba de un volcanismo ocurrido en el marco de una deformación distensiva como el de un ambiente de rift o detrás de arco volcánico (Back arc). (Noble *et al.*, 1978) Se estima que la secuencia debe tener un grosor de 700 m en el sector de C° Razuhuilca.

4.2.2.2 Formación Ayacucho

El nombre fue dado por Megard y Paredes, (1972) para referirse a una secuencia piroclástica que aflora en la hoja de huanta. La secuencia está conformada en su base por tobas macizas en gruesos estratos mayores de 1 m. de color blanquecino y de naturaleza riolítica a riodacítica. Contiene litoclastos de vulcanitas (andesitas) y de pómez. Generalmente están poco soldadas, en vista de lo cual se presentan con



aspecto terroso. Las tobas pueden variar lateralmente a tobas lapillíticas o lapillitas, destacando siempre los fragmentos angulosos de pómez.

En su parte superior, la secuencia contiene tobas, tufos y diatomitas de colores blanquecino y blanco amarillento que se caracterizan por presentarse en capas generalmente menores de 30 cm. Los tufos y las diatomitas se presentan con estructura laminar, mientras que las tobas aparecen con estructura maciza.

En la parte inferior de esta sucesión se presentan conglomerados polimícticos de tipo granzonalítico y cascajalítico, intercaladas con areniscas de grano grueso y medio. Se presentan en capas lenticulares con estratificación sesgada. En ciertos casos, es posible observar una superficie de erosión en la base de estos materiales.

La formación Ayacucho sobreyace discordantemente al Grupo Mitu, a la formación Molinoyoc y al Miembro Mayocc de la formación Huanta.

4.2.2.3 Subvolcánico Yanacocha

“El subvolcánico Yanacocha aflora aproximadamente a 5000 metros en el sector sur de la represa Palleca, La roca es de color blanca, con matriz fina su textura es redondeada y masiva”. Rogríguez y Chacaltana, (2003)

4.2.2.4 Batolito Villa Azul

“El Batolito Villa Azul, petrográficamente, esta caracterizado por ser de naturaleza granítica de color blanco con una tonalidad amarillenta, que presenta una textura gruesa holocristalina hipidiomorfa. Sus minerales esenciales son: plagioclasa (abundante oligoclasa), feldespato potásico y cuarzo, mientras que los minerales accesorios son: biotita y hornblenda”. (Cerrón y Ticona, 2003)

4.2.2.5 Intrusivo Sienita

El intrusivo sienita aflora intruyendo en forma de pequeños stocks al granito de san miguel y constan de sienitas de color rosado y de grano fino con fenocristales de ortosa, plagioclasa y cuarzo en menor cantidad. Rogríguez y Chacaltana, (2003)

4.2.3 Geología Local

4.2.3.1 Grupo Mitu

El grupo Mitu (Ps-m) pertenece a la edad del Paleozoico-Pérmico, constituida por afloramientos de andesita de alta dureza, color gris oscuro, con una superficie rojiza por la abundante concentración de ferromagnesiano y minerales oscuros, estas se presentan moderadamente fracturada. Los afloramientos de andesitas se aprecian en el lado Noroeste y Sureste del valle, específicamente en los estribos de la represa Pallca. La geofoma característica de estos afloramientos son farallones en las cumbres.



Figura 31. Afloramientos de andesita, textura afanítica pseudoestratificada.

En las perforaciones realizadas en el fondo del valle, se evidencian dos tipos de brecha volcánica que se diferencian por la composición de masa afanítica, coloración y resistencia. Ambos constituyen predominio de fragmentos angulosos de andesita de tamaño < 35 mm.



Figura 32. Transición de Brecha volcánica en pozo S-43, caja 04.

En algunos sectores, se aprecia brecha volcánica III de color gris, rojizo y blanquecino el cual es una roca de mala calidad, las rocas presentes en el plinto de la represa se describen a continuación:

- **Andesita (PET-And).**- Los afloramientos de andesitas se aprecian en el lado Noroeste y Sureste del valle, específicamente en los estribos de la represa Palleca. son andesitas de color gris oscuro de textura afanítica pseudoestratificada con alto contenido de ferromagnesianos, las discontinuidades están rellenas de panizo y presentan humedad por la presencia de aguas subterráneas.
- **Dacita (PET-Dac).**- Se aprecian afloramientos de Dacita de color gris blanquecino, textura afanítica, roca muy competente de buena calidad que presenta muy pocas fracturas y en otros tramos roca masiva.
- **Brecha Volcánica I (Bx V-I).**- Brecha volcánica de color rojizo de textura afanítica que evidencia alto contenido de feldespato potásico y



ferromagnesianos, roca fresca (no meteorizada) y en algunos sectores altamente meteorizada (friable), en algunos tramos roca masivo sin fracturas y en otros tramos muy fracturado, presenta fragmentos líticos de hasta 3” de color gris oscuro (andesita), roca moderadamente dura a dura el cual requiere varios golpes del martillo para fracturarla, posee discontinuidades anchas (<5mm) con rellenos mayormente de limos por la presencia de agua subterráneas.

- **Brecha Volcánica II (Bx V-II).**- Brecha dacítica de color gris blanquecino, evidencia alto contenido de plagioclasas con una textura afanítica, roca fresca (no meteorizada) y masivo sin fracturas, roca muy dura el cual solo se rompe esquivando de la muestra con el martillo, frecuentemente posee discontinuidades muy cerradas (<0.1mm) o con rellenos de cuarzo y feldespatos, también presenta fragmentos líticos de hasta 2.5” de color gris oscuro (andesita).
- **Brecha Volcánica III (Bx V-III).**- Brecha volcánica de color gris, rojizo y blanquecino que se encuentra bandeado, de textura afanítica. presenta una composición de cuarzo, feldespato plagioclasas y alto contenido de ferromagnesianos, estructura bandeda, las fracturas están moderadamente meteorizadas, en algunos tramos la roca se encuentra ligeramente fracturada y otros tramos menores se encuentran triturados, las facturas están rellenas por óxidos y panizo, ocasionalmente presentan oquedades. roca de mala calidad. presenta fragmentos líticos de hasta 1.5” de color gris oscuro (andesítico)

4.2.3.2 Depósito Aluvial

Conformado por bloques de roca volcánica poligénica (andesitas, basalto, brechas basálticas e ignimbritas) heterométrico de hasta 7 metros de diámetro que no ha sufrido mayor transporte, también poseen gravas subangulosas en matriz limo

arenosa. Los taludes se encuentran en reposo con algunos cauces activos que producen erosión activa “carcavamiento” en temporada de avenida. El depósito puede alcanzar potencias desde 1 metro en el fondo del valle hasta los 7 metros en los flancos. Este depósito está cubierto a lo largo del valle y en los flancos.

4.2.3.3 Depósito Fluvio-aluviales

Característico de quebradas activas que tiene la geoforma de cárcavas profundas “erosión”, estas quebradas generan material a manera de deltas en el pie de ladera, constituyen gravas con bloques de roca poligénica y arena. En temporada de estiaje, estos depósitos se mantienen en reposo debido al escaso transporte y erosión de las quebradas.

4.2.3.4 Depósito Antropogénico

Material alóctono transportado de color gris pardo y está compuesto por grava subangulosa (2’’- 8’’ de diámetro) en matriz arenoso con limo y arcilla. Este depósito se observa en el cuerpo de la presa y materiales empleados en el terraplén de los accesos y la vía asphaltada PE-28 B (Ayacucho – San Francisco).



Figura 33. Depósitos antropogénicos, vista al cuerpo de presa y blanquet.



4.2.3.5 Condiciones Estructurales del Plinto

Según el mapeo geológico superficial y la recuperación de los testigos de roca de las perforaciones, se ha determinado que la zona de emplazamiento de presa se encuentra a 3 km de una falla regional e interceptada por dos fallas locales, estas presentan una conexión, que aparece en los estribos de la presa (plinto margen derecha e izquierda).

En el margen izquierdo de la represa Palcca, entre las progresivas 0+000 hasta 0+033 del plinto presenta familias con planos de discontinuidad con dirección de buzamiento y buzamiento: $000/58^\circ$ (F 01), $196/48^\circ$ (F 02) y $079/64^\circ$ (F 03). En esta zona se observa la andesita pseudoestratificada con patinas rojizas, la apertura de las discontinuidades es de hasta 7 centímetros y éstas no están rellenas a diferencia de las discontinuidades que se encuentran en el dentellón entre las progresivas 0+000 hasta 0+013 están rellenas por limos con presencia de humedad (indicativo de presencia de agua subterránea y/o filtración). Así también, en el dentellón se evidenció presencia de espejos de falla con Rumbo $N33^\circ W$ y Buzamiento de 35° al Suroeste.

En el margen derecho de la represa Palcca, entre las progresivas 0+245 hasta 0+345 se encontró tres familias principales con dirección de buzamiento y buzamiento de $186/24^\circ$ (F 01), $065/80^\circ$ (F 02) y $310/77^\circ$ (F 03). Los cuales se observa que las aperturas de las discontinuidades varían hasta 8 centímetros y estas están rellenas por limos, en este sector se puede observar que la roca es una andesita pseudoestratificada (F 01) con alto grado de fracturamiento hasta friable hacia aguas abajo (debajo del cuerpo de represa). Por otro lado, se evidenció mediante el mapeo superficial la presencia de dos fallas con Rumbo/Buzamiento de $N16^\circ W/56^\circ$ y $N38^\circ W/84^\circ$ que interceptan al plinto en las progresivas 0+320 hasta 0+345.

4.2.3.6 Condiciones de Agua

Se evidenció flujo de agua mediante las fracturas del macizo rocoso por debajo (cimentación) del cuerpo de la presa entre las progresivas 0+245 hasta 0+290, asimismo, se observó un alto consumo de cementó coincidentemente con el alto diaclasamiento que presenta el macizo rocoso, donde las fracturas se encuentran interconectadas entre sí (pseudoestratificado). Esto puede afectar al cuerpo de la presa, generando el fenómeno de tubificación (ocurre cuando hay arrastre de las partículas de suelo en el interior del macizo rocoso por efecto de las fuerzas erosivas generadas por el flujo de agua), la erosión interna también puede afectar al talud y provocar el fallamiento del sistema.



Figura 34. flujo de agua por debajo del cuerpo de la presa.

Se han efectuado mediciones de nivel de agua en los inicios de turno evidenciándose agua a nivel de plinto entre las progresivas 0+200 hasta 0+290. El nivel de agua se puede apreciar en el perfil geológico realizado en la presente investigación (Ver plano P-03).

Tabla 18. Niveles de agua registrados en pozos perforados.

N°	Tipo de perforación	POZO	Fecha (d/m/a)	Hora	Prof. Perfor. (m)	N.A. (m)	Observaciones
1	Rotopercusiva	P-81	28/06/2022	08:05	10 m	1.65	Nivel de agua a 1.65 metros del pozo.
2	Rotopercusiva	P-77	28/06/2022	08:10	20 m	0.69	Nivel de agua a 69 centímetros del pozo.
3	Rotopercusiva	P-73	28/06/2022	08:12	10 m	2.37	Nivel de agua a 2.37 metros del pozo.
4	Rotopercusiva	P-69	28/06/2022	08:12	20 m	0.88	Ingreso de agua por boca del pozo.
5	Rotopercusiva	P-65	28/06/2022	08:13	10 m	6.83	Ingreso de agua por boca del pozo.
6	Rotopercusiva	P-61	28/06/2022	08:14	15 m	0.55	Ingreso de agua por boca del pozo.
7	Rotopercusiva	P-57	28/06/2022	08:15	8 m	0.57	Nivel de agua a 57 centímetros del pozo.
8	Rotopercusiva	P-53	28/06/2022	08:17	15 m	-	Seco
9	Rotopercusiva	P-41	28/06/2022	08:21	8 m	-	Seco
1	Rotopercusiva	P-25	29/06/2022	07:40	5 m	-	Seco
2	Rotopercusiva	P-29	29/06/2022	07:41	10 m	-	Seco
3	Rotopercusiva	P-35	29/06/2022	07:43	5 m	-	Seco
4	Rotopercusiva	P-37	29/06/2022	07:45	15 m	-	Seco
5	Rotopercusiva	P-41	29/06/2022	07:50	8 m	-	Seco
6	Rotopercusiva	P-53	29/06/2022	07:53	15 m	15.54	Nivel de agua a 15 metros del pozo.
7	Rotopercusiva	P-57	29/06/2022	07:57	8 m	0.77	Nivel de agua a 77 centímetros del pozo.
8	Rotopercusiva	P-61	29/06/2022	08:05	15 m	0.45	Nivel de agua a 45 centímetros del pozo.
9	Rotopercusiva	P-65	29/06/2022	08:07	10 m	3.19	Nivel de agua a 3.19 metros del pozo.
10	Rotopercusiva	P-69	29/06/2022	08:09	20 m	0.86	Nivel de agua a 86 centímetros del pozo.
11	Rotopercusiva	P-73	29/06/2022	08:12	10 m	3.18	Nivel de agua a 3.18 metros del pozo.
1	Rotopercusiva	P-141	30/06/2022	08:10	30 m	0.00	Pozo surgente.
2	Rotopercusiva	P-145	30/06/2022	08:11	15 m	0.00	Pozo surgente.
3	Rotopercusiva	P-153	30/06/2022	08:13	15 m	0.00	Pozo surgente.
4	Rotopercusiva	P-161	30/06/2022	08:14	15 m	0.00	Pozo surgente.
1	Rotopercusiva	S-228	01/07/2022	14:30	8 m	0.68	Nivel de agua a 68 centímetros del pozo.
2	Rotopercusiva	T-326	01/07/2022	14:32	8 m	5.40	Nivel de agua a 5.40 metros del pozo.
3	Rotopercusiva	S-223	01/07/2022	14:35	8 m	1.10	Nivel de agua a 1.10 metros del pozo.
4	Rotopercusiva	S-219	01/07/2022	14:38	8 m	1.25	Nivel de agua a 1.25 metros del pozo.
5	Rotopercusiva	S-215	01/07/2022	14:40	8 m	1.03	Nivel de agua a 1.03 metros del pozo.
6	Rotopercusiva	S-211	01/07/2022	14:43	8 m	1.62	Nivel de agua a 1.62 metros del pozo.
7	Rotopercusiva	S-207	01/07/2022	14:45	10 m	1.44	Nivel de agua a 1.44 metros del pozo.
8	Rotopercusiva	S-203	01/07/2022	14:48	10 m	2.39	Nivel de agua a 2.39 metros del pozo.
9	Rotopercusiva	S-199	01/07/2022	14:52	10 m	7.18	Nivel de agua a 7.18 metros del pozo.
10	Rotopercusiva	S-195	01/07/2022	14:58	10 m	9.82	Nivel de agua a 9.82 metros del pozo.
11	Rotopercusiva	S-191	01/07/2022	15:02	10 m	3.83	Nivel de agua a 3.83 metros del pozo.
12	Rotopercusiva	S-187	01/07/2022	15:04	10 m	1.48	Nivel de agua a 1.48 metros del pozo.
13	Rotopercusiva	S-183	01/07/2022	15:05	10 m	0	Pozo surgente.



N°	Tipo de perforación	POZO	Fecha (d/m/a)	Hora	Prof. Perfor. (m)	N.A. (m)	Observaciones
1	Rotopercusiva	T-226	04/07/2022	08:13	8.00 m	0.15	Nivel de agua a 15 centímetros del pozo.
2	Rotopercusiva	S-223	04/07/2022	08:14	8.00 m	0.57	Nivel de agua a 57 centímetros del pozo.
3	Rotopercusiva	S-219	04/07/2022	08:16	8.00 m	0.96	Nivel de agua a 96 centímetros del pozo.
4	Rotopercusiva	S-207	04/07/2022	08:18	10.00 m	0.97	Nivel de agua a 97 centímetros del pozo.
5	Rotopercusiva	S-203	04/07/2022	08:20	10.00 m	0.60	Nivel de agua a 60 centímetros del pozo.
6	Rotopercusiva	S-199	04/07/2022	08:22	10.00 m	0.58	Nivel de agua a 58 centímetros del pozo.
7	Rotopercusiva	S-195	04/07/2022	08:25	10.00 m	4.62	Nivel de agua a 4.62 metros del pozo.
8	Rotopercusiva	S-191	04/07/2022	08:26	10.00 m	0.00	Pozo surgente.
9	Rotopercusiva	S-187	04/07/2022	08:27	10.00 m	0.00	Pozo surgente.
10	Rotopercusiva	S-183	04/07/2022	08:29	10.00 m	0.00	Pozo surgente.
11	Rotopercusiva	S-179	04/07/2022	08:30	15.00 m	0.00	Pozo surgente.
12	Rotopercusiva	S-175	04/07/2022	08:31	15.00 m	0.00	Pozo surgente.
13	Rotopercusiva	S-171	04/07/2022	08:32	15.00 m	0.00	Pozo surgente.
14	Rotopercusiva	S-167	04/07/2022	08:34	15.00 m	0.00	Pozo surgente.
15	Rotopercusiva	S-163	04/07/2022	08:36	15.00 m	0.00	Pozo surgente.
1	Rotopercusiva	S-171	05/07/2022	09:30	15 m	0.00	Pozo surgente.
2	Rotopercusiva	S-167	05/07/2022	09:33	15 m	0.00	Pozo surgente.
3	Rotopercusiva	S-163	05/07/2022	09:34	15 m	0.00	Pozo surgente.
4	Rotopercusiva	S-159	05/07/2022	09:36	15 m	0.00	Pozo surgente.
5	Rotopercusiva	S-155	05/07/2022	09:37	15 m	0.00	Pozo surgente.
6	Rotopercusiva	S-151	05/07/2022	09:38	15 m	0.30	Nivel de agua a 30 centímetros del pozo.
7	Rotopercusiva	S-147	05/07/2022	09:40	15 m	6.62	Nivel de agua a 6.62 metros del pozo.
8	Rotopercusiva	S-143	05/07/2022	09:45	15 m	6.67	Nivel de agua a 6.67 metros del pozo.
9	Rotopercusiva	S-139	05/07/2022	09:51	15 m	12.53	Nivel de agua a 12.5 metros del pozo.
1	Rotopercusiva	P-49	06/07/2022	07:40	8.00 m	2.12	Nivel de agua a 2.12 metros del pozo.
2	Rotopercusiva	S-131	06/07/2022	07:53	15.00 m	6.69	Nivel de agua a 6.69 metros del pozo.
3	Rotopercusiva	S-135	06/07/2022	07:56	15.00 m	0.15	Nivel de agua a 15 centímetros del pozo.
4	Rotopercusiva	S-139	06/07/2022	07:58	15.00 m	0.10	Nivel de agua a 10 centímetros del pozo.
5	Rotopercusiva	S-143	06/07/2022	07:59	15.00 m	0.20	Nivel de agua a 20 centímetros del pozo.
6	Rotopercusiva	S-147	06/07/2022	08:02	15.00 m	1.88	Nivel de agua a 1.88 metros del pozo.
7	Rotopercusiva	S-151	06/07/2022	08:04	15.00 m	0.00	Pozo surgente.
8	Rotopercusiva	S-155	06/07/2022	08:08	15.00 m	0.05	Nivel de agua a 5 centímetros del pozo.
1	Rotopercusiva	S-127	07/07/2022	08:51	15.00 m	4.80	Nivel de agua a 4.80 metros del pozo.
2	Rotopercusiva	S-123	07/07/2022	08:54	15.00 m	6.42	Nivel de agua a 6.42 metros del pozo.
3	Rotopercusiva	S-119	07/07/2022	08:57	15.00 m	14.32	Nivel de agua a 14.32 metros del pozo.
4	Rotopercusiva	S-115	07/07/2022	09:03	15.00 m	10.83	Nivel de agua a 10.83 metros del pozo.
5	Rotopercusiva	S-107	07/07/2022	09:05	10.00 m	1.66	Nivel de agua a 1.66 metros del pozo.
6	Rotopercusiva	P-105	07/07/2022	09:06	10.00 m	6.20	Nivel de agua a 6.20 metros del pozo.
1	Rotopercusiva	P-17	12/07/2022	08:03	5 m	1.30	Nivel de agua a 1.30 metros del pozo.



N°	Tipo de perforación	POZO	Fecha (d/m/a)	Hora	Prof. Perfor. (m)	N.A. (m)	Observaciones
2	Rotopercusiva	P-21	12/07/2022	08:04	10 m	3.70	Nivel de agua a 3.70 metros del pozo.
3	Rotopercusiva	S-23	12/07/2022	08:06	5 m	4.87	Nivel de agua a 4.87 metros del pozo.
4	Rotopercusiva	S-27	12/07/2022	08:08	5 m	4.78	Nivel de agua a 4.78 metros del pozo.
5	Rotopercusiva	S-31	12/07/2022	08:10	5 m	4.58	Nivel de agua a 4.58 metros del pozo.
6	Rotopercusiva	T-34	12/07/2022	08:12	5 m	1.97	Nivel de agua a 1.97 metros del pozo.
7	Rotopercusiva	P-45	12/07/2022	08:14	10 m	4.00	Nivel de agua a 4.00 metros del pozo.
8	Rotopercusiva	P-49	12/07/2022	08:17	8 m	2.20	Nivel de agua a 2.20 metros del pozo.
9	Rotopercusiva	S-55	12/07/2022	08:20	8 m	5.62	Nivel de agua a 5.62 metros del pozo.
10	Rotopercusiva	S-59	12/07/2022	08:21	10 m	0.38	Nivel de agua a 38 centímetros del pozo.
11	Rotopercusiva	S-63	12/07/2022	08:23	10 m	0.63	Nivel de agua a 68 centímetros del pozo.
12	Rotopercusiva	S-67	12/07/2022	08:25	10 m	4.51	Nivel de agua a 4.51 metros del pozo.
13	Rotopercusiva	S-71	12/07/2022	08:27	10 m	0.75	Nivel de agua a 75 centímetros del pozo.
14	Rotopercusiva	S-75	12/07/2022	08:29	10 m	0.90	Nivel de agua a 90 centímetros del pozo.
15	Rotopercusiva	S-79	12/07/2022	08:30	10 m	1.10	Nivel de agua a 1.10 metros del pozo.
1	Rotopercusiva	T-222	18/07/2022	12:15	8 m	1.40	Nivel de agua a 1.40 metros del pozo.
2	Rotopercusiva	T-220	18/07/2022	12:17	8 m	1.50	Nivel de agua a 1.50 metros del pozo.
3	Rotopercusiva	T-218	18/07/2022	12:19	8 m	1.40	Nivel de agua a 1.40 metros del pozo.
4	Rotopercusiva	T-216	18/07/2022	12:21	8 m	1.15	Nivel de agua a 1.15 metros del pozo.
5	Rotopercusiva	T-214	18/07/2022	12:24	8 m	3.48	Nivel de agua a 3.48 metros del pozo.
6	Rotopercusiva	T-212	18/07/2022	12:25	8 m	2.10	Nivel de agua a 2.10 metros del pozo.
7	Rotopercusiva	T-210	18/07/2022	12:26	8 m	1.60	Nivel de agua a 1.60 metros del pozo.
8	Rotopercusiva	T-208	18/07/2022	12:28	8 m	1.10	Nivel de agua a 1.10 metros del pozo.
9	Rotopercusiva	T-206	18/07/2022	12:30	10 m	1.15	Nivel de agua a 1.15 metros del pozo.
10	Rotopercusiva	T-204	18/07/2022	12:33	10 m	0.40	Nivel de agua a 40 centímetros del pozo.
11	Rotopercusiva	T-202	18/07/2022	12:36	10 m	8.60	Nivel de agua a 8.60 metros del pozo.
12	Rotopercusiva	T-200	18/07/2022	12:38	10 m	0.60	Nivel de agua a 60 centímetros del pozo.
13	Rotopercusiva	T-198	18/07/2022	12:40	10 m	5.85	Nivel de agua a 5.85 metros del pozo.
14	Rotopercusiva	T-196	18/07/2022	12:42	10 m	5.90	Nivel de agua a 5.90 metros del pozo.
15	Rotopercusiva	T-194	18/07/2022	12:44	10 m	0.65	Nivel de agua a 65 centímetros del pozo.
16	Rotopercusiva	T-192	18/07/2022	12:45	10 m	0.50	Nivel de agua a 50 centímetros del pozo.
17	Rotopercusiva	T-190	18/07/2022	12:47	10 m	0.00	Pozo surgente.
18	Rotopercusiva	T-188	18/07/2022	12:50	10 m	0.60	Nivel de agua a 60 centímetros del pozo.
19	Rotopercusiva	T-186	18/07/2022	12:52	10 m	0.00	Pozo surgente.
1	Rotopercusiva	T-16	19/07/2022	10:10	5 m	1.45	Nivel de agua a 1.45 metros del pozo.
2	Rotopercusiva	T-14	19/07/2022	10:12	5 m	3.10	Nivel de agua a 3.10 metros del pozo.
3	Rotopercusiva	T-12	19/07/2022	10:14	5 m	1.37	Nivel de agua a 1.37 metros del pozo.



N°	Tipo de perforación	POZO	Fecha (d/m/a)	Hora	Prof. Perfor. (m)	N.A. (m)	Observaciones
4	Rotopercusiva	T-10	19/07/2022	10:16	5 m	1.34	Nivel de agua a 1.34 metros del pozo.
5	Rotopercusiva	T-182	19/07/2022	10:20	10 m	0.00	Pozo surgente.
6	Rotopercusiva	T-184	19/07/2022	10:25	20 m	0.00	Pozo surgente.
7	Rotopercusiva	T-186	19/07/2022	10:28	10 m	0.00	Pozo surgente.
8	Rotopercusiva	T-188	19/07/2022	10:36	10 m	0.10	Nivel de agua a 10 centímetros del pozo.
9	Rotopercusiva	T-190	19/07/2022	10:40	10 m	0.00	Pozo surgente.
10	Rotopercusiva	T-192	19/07/2022	10:45	10 m	0.40	Nivel de agua a 40 centímetros del pozo.
11	Rotopercusiva	T-194	19/07/2022	10:48	10 m	0.65	Nivel de agua a 65 centímetros del pozo.
12	Rotopercusiva	T-196	19/07/2022	10:50	10 m	3.40	Nivel de agua a 3.40 metros del pozo.
1	Rotopercusiva	T-178	20/07/2022	08:30	30 m	0.00	Surgente en regular proporción
2	Rotopercusiva	T-160	20/07/2022	09:03	30 m	0.00	Surgente en regular proporción
3	Rotopercusiva	T-162	20/07/2022	09:05	15 m	0.00	Surgente en exceso
4	Rotopercusiva	T-164	20/07/2022	09:08	15 m	0.00	Surgente en exceso
5	Rotopercusiva	T-166	20/07/2022	09:10	15 m	0.00	Surgente en exceso
6	Rotopercusiva	T-170	20/07/2022	09:12	15 m	0.00	Surgente en exceso
7	Rotopercusiva	T-172	20/07/2022	09:14	15 m	0.00	Surgente en exceso
8	Rotopercusiva	T-174	20/07/2022	09:16	15 m	0.00	Surgente en poca cantidad
9	Rotopercusiva	T-176	20/07/2022	09:18	15 m	0.00	Surgente en exceso
10	Rotopercusiva	T-16	20/07/2022	09:21	5 m	1.48	Nivel de agua a 1.48 metros del pozo.
11	Rotopercusiva	T-14	20/07/2022	09:23	5 m	4.05	Nivel de agua a 4.05 metros del pozo.
12	Rotopercusiva	T-12	20/07/2022	09:24	5 m	1.76	Nivel de agua a 1.76 metros del pozo.
13	Rotopercusiva	T-10	20/07/2022	09:25	5 m	2.12	Nivel de agua a 2.12 metros del pozo.
14	Rotopercusiva	T-16	20/07/2022	17:10	5 m	0.13	Se llena de agua
15	Rotopercusiva	T-14	20/07/2022	17:13	5 m	2.22	Se llena de agua
1	Rotopercusiva	S-235	21/07/2022	08:23	8 m	1.17	Desciende 117 cm en 15 horas
2	Rotopercusiva	T-16	21/07/2022	09:15	5 m	0.52	Desciende 39 cm en 16 horas
3	Rotopercusiva	T-14	21/07/2022	09:16	5 m	3.38	Desciende 116 cm en 16 horas
4	Rotopercusiva	T-12	21/07/2022	09:28	5 m	2.06	Nivel de agua a 2.00 metros del pozo.
5	Rotopercusiva	T-10	21/07/2022	09:29	5 m	2.78	Nivel de agua a 2.78 metros del pozo.
6	Rotopercusiva	T-12	21/07/2022	09:43	5 m	0.32	Llenado para ver descenso
7	Rotopercusiva	T-16	21/07/2022	12:07	5 m	0.56	Llenado para ver descenso



CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO

Para determinar la calidad del macizo rocoso, fue necesario realizar perforaciones diamantinas con recuperación de muestras para tener conocimiento de los tipos de roca (litología) presentes el sitio donde se emplaza la represa Palcca y conocer la clasificación de la roca (RMR), los cuales influyen en las condiciones de inyección de la represa.

5.1.1 Perforaciones Diamantinas

Se han efectuado 39 perforaciones diamantinas distribuidas a lo largo del plinto con un total de 547.50 metros perforados, con los cuales se ha realizado un registro lineal de los testigos de perforación y se evaluó las condiciones del macizo rocoso recuperado (Resistencia de la roca intacta, Valor RQD%, espaciado de discontinuidades, condición de las discontinuidades, condiciones generales del agua subterránea y ajuste por orientación de discontinuidades).

El tipo de litología y la clasificación del macizo rocoso del plinto dio lugar a dividir en 8 sectores geotécnicos que van en orden alfabético, este inicia en el estribo izquierdo y termina en el estribo derecho; la zona A presenta RMR 43 (Regular), zona B presenta RMR 77 (Buena), zona C presenta RMR 38 (Mala), zona D presenta RMR 39 (Mala), zona E presenta RMR 31.8 (Mala), zona F presenta RMR 38.7 (Mala), zona G presenta RMR 31.2 (Mala), zona H presenta RMR 56 (Regular). Las zonas con calidad de roca Mala son Zona: C, D, E, F y G que se ejecutó pantallas de impermeabilización con profundidades de 20, 20, 30, 20 y 15 metros respectivamente. La zona A y H presentó calidad de roca Regular que se ejecutó una pantalla de 10 y

15 metros de profundidad respectivamente. Mientras que la Zona B presentó roca de Buena calidad al cual se ejecutó una pantalla de 15 metros de profundidad.

Tabla 19. Clasificación del macizo rocoso por zonas.

ZONA	Progresiva	Profundidad de inyección (m)	SONDAJE	RMR Corregido promedio	Calidad del macizo rocoso	Resumen estadístico de la zona
A	0+000 – 0+052	10	P-09	25.16	Mala	Prom: 43 Media Geo: 39
A		10	S-11	21.88	Mala	
A		10	P-13	44.6	Regular	
A		10	P-13	61.23	Buena	
A		10	S-15	60.69	Buena	
A		10	P-17- PD-02	32.99	Mala	
A		10	P-17	47.25	Regular	
A		10	S-19	55.64	Regular	
A		10	P-21	48.67	Regular	
A		10	P-21	37.22	Mala	
B	0+052 – 0+092	15	P-41- PD-03	85.76	Muy buena	Prom: 77 Media Geo: 76
B		15	S-43	81.01	Muy buena	
B		15	S-43	83.75	Muy buena	
B		15	P-45	82.29	Muy buena	
B		15	S-47	78.58	Buena	
B		15	P-49	78.47	Buena	
B		15	P-53	52.57	Buena	
C	0+092 – 0+152	20	P-89 (I)	27.85	Mala	Prom: 38 Media Geo: 31
C		20	P-89 (II)	14.88	Muy mala	
C		20	T-76A	46.89	Regular	
C		20	T-100	44.61	Regular	
D	0+152 – 0+172	20	P-109	26.52	Mala	Prom: 39.8 Media Geo: 33
D		20	PD-07	55.13	Regular	
E	0+172 - 0+271	30	P-117	43.57	Regular	Prom: 31.8 Media Geo: 27.6
E		30	P-129	45.49	Regular	
E		30	T-138	31.47	Mala	
E		30	PD-08	33.38	Mala	
E		30	T-168	15.71	Muy mala	
E		30	P-169	17.75	Muy mala	
F		20	PDS-183	33.56	Mala	Prom: 38.7



ZONA	Progresiva	Profundidad de inyección (m)	SONDAJE	RMR Corregido promedio	Calidad del macizo rocoso	Resumen estadístico de la zona
F	0+271 - 0+311	20	S-203	48.24	Regular	Media Geo: 30.9
G	0+311 - 0+331	15	P-209	25.95	Mala	Prom: 31.2 Media Geo: 28.5
G		15	PD-12	34.44	Mala	
H	0+331 - 0+385	15	T-230	54.92	Buena	Prom: 56.1 Media Geo: 54.8
H		15	S-231	47.39	Regular	
H		15	T-232	67.68	Buena	
H		15	P-233	66.5	Buena	
H		15	T-234	54.38	Regular	
H		15	T-236	53.98	Regular	

El sondeaje P-09 se realizó con una profundidad de 5.75 m, de 0.00 a 1.10m se tiene concreto – plinto, luego se ha evidenciado que la roca está compuesta por andesita afanítica de color gris muy fracturado, estas fracturas se encuentran meteorizadas y están rellenas con óxido, la roca presenta una resistencia R3 (media) con presencia de oquedades y la calidad de la roca es mala a muy mala con un RMR mínimo 20.77 y máximo 30.24, la clasificación detallada se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 20. Calidad de la roca en el pozo P-09.

POZO	CORRIDA		CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO			CALIDAD DE LA ROCA
	DESDE	HASTA	RQD	RMR BÁSICO	RMR CORREGIDO	
P-09	0	1.10	-	-	-	Concreto
	1.10	1.60	48	45.24	30.24	Mala
	1.60	2.55	0	34.51	22.51	Mala
	2.55	3.45	22	40.49	25.49	Mala
	3.45	4.55	27	41.81	26.81	Mala
	4.55	5.75	11	35.77	20.77	Muy Mala
Media geométrica					24.95	Mala
Promedio					25.16	Mala
Máximo					30.24	Mala
Mínimo					20.77	Muy Mala

El sondaje S-11 se realizó con una profundidad de 5.00 m, de 0.00 a 1.30m se tiene concreto – plinto, luego se ha evidenciado que la roca está compuesta por andesita afanítica de color gris rojizo muy fracturado, estas fracturas se encuentran meteorizadas y están rellenas con óxido y panizo, la roca presenta una resistencia R3 (media) con presencia de oquedades y alto contenido de ferromagnesianos, la calidad de la roca es mala a muy mala con RMR mínimo 15.77 y máximo 30.54, la clasificación detallada se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 21. Calidad de la roca en el pozo S-11.

POZO	CORRIDA		CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO			CALIDAD DE LA ROCA
	DESDE	HASTA	RQD	RMR BÁSICO	RMR CORREGIDO	
S-11	0	1.30	-	-	-	Concreto
	1.30	1.85	0	32.89	17.89	Muy Mala
	1.85	2.50	0	36.70	21.70	Mala
	2.50	315	18	38.69	23.69	Mala
	315	3.70	0	36.70	21.70	Mala
	3.70	4.30	0	30.77	15.77	Muy Mala
	4.30	5.00	57	45.54	30.54	Mala
Media geométrica					21.40	Mala
Promedio					21.88	Mala
Máximo					30.54	Mala
Mínimo					15.77	Muy Mala

El sondaje P-13 se realizó con una profundidad de 10.05 m, de 0.00 a 1.40m se tiene concreto – plinto, luego se ha evidenciado que la roca está compuesta por andesita afanítica de color gris rojizo muy fracturada, estas fracturas se encuentran meteorizadas y están rellenas con óxido y panizo, la roca presenta una resistencia R3 (media) con presencia de oquedades y alto contenido de ferromagnesianos la calidad de la roca es mala. A partir de 4.80m se aprecia brecha dacítica con textura afanítica

de color gris blanquecino, la roca está ligeramente fracturada y aparentemente cloritizada, la calidad de la roca es buena. La clasificación detallada se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 22. Calidad de la roca en el pozo P-13.

POZO	CORRIDA		CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO			CALIDAD DE LA ROCA
	DESDE	HASTA	RQD	RMR BÁSICO	RMR CORREGIDO	
P-13	0	1.40	-	-	-	Concreto
	1.40	1.60	0	34.98	19.98	Muy Mala
	1.60	2.55	39	39.44	24.44	Mala
	2.55	3.75	33	42.34	27.34	Mala
	3.75	4.80	25	41.64	26.64	Mala
	4.80	6.40	91	74.05	67.05	Buena
	6.40	8.00	73	70.47	63.47	Buena
	8.00	9.10	50	62.05	58.05	Regular
	9.10	10.05	100	76.83	69.83	Buena
Media geométrica					39.67	Mala
Promedio					44.60	Regular
Máximo					69.83	Buena
Mínimo					19.98	Muy Mala

El sondaje S-15 se realizó con una profundidad de 10.50 m, de 0.00 a 1.60m se tiene concreto – plinto, luego se ha evidenciado que la roca está compuesta por brecha dacítica afanítica de color blanquecino ligeramente fracturado y cloritizada, la calidad de roca es buena con un RMR mínimo 50.21 y máximo 67.41, la clasificación detallada se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 23 Calidad de la roca en el pozo S-15.

POZO	CORRIDA		CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO			CALIDAD DE LA ROCA
	DESDE	HASTA	RQD	RMR BÁSICO	RMR CORREGIDO	
S-15	0	160	-	-	-	Concreto
	160	320	86	74.41	67.41	Buena
	320	460	81	74.02	67.02	Buena
	460	610	49	65.17	58.17	Regular
	610	770	63	67.87	60.87	Regular
	770	930	71	68.09	61.09	Buena
	930	1050	53	57.21	50.21	Regular
Media geométrica					60.51	Buena
Promedio					60.80	Buena
Máximo					67.41	Buena
Mínimo					50.21	Regular

El sondaje PD-02 se realizó con una profundidad de 10.45 m, de 0.00 a 1.30m se tiene concreto – plinto, luego se ha evidenciado que la roca está compuesta desde 1.33 a 10.45 m por brecha dacítica con textura afanítica de color blanquecino muy fracturado y cloritizada, con presencia de xenolitos y la calidad de la roca es mala con un RMR mínimo 21.10 y máximo 52.93, la clasificación detallada se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 24. Calidad de la roca en el pozo PD-02 – P-17.

POZO	CORRIDA		CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO			CALIDAD DE LA ROCA
	DESDE	HASTA	RQD	RMR BÁSICO	RMR CORREGIDO	
PD-02	0	130	-	-	-	Concreto
	130	160	33	23.64	23.64	Mala
	160	250	44	25.38	25.38	Mala
	250	310	17	21.10	21.10	Mala
	310	470	75	52.93	52.93	Regular
	470	565	24	42.52	42.52	Regular
	565	650	16	28.60	28.60	Mala
	650	765	47	35.25	35.25	Mala
	765	905	52	37.20	37.20	Mala
	905	1045	34	30.29	30.29	Mala
Media geométrica					31.70	Mala
Promedio					32.99	Mala
Máximo					52.93	Regular
Mínimo					21.10	Mala

El sondaje S-19 se realizó con una profundidad de 10.20 m, de 0.00 a 1.60m se tiene concreto – plinto, luego se ha evidenciado que la roca está compuesta por brecha volcánica con textura afanítica de color rojizo, moderadamente fracturada con presencia de xenolitos, la calidad de la roca es regular con un RMR mínimo de 49.1 y máximo 67.03, la clasificación detallada se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 25. Calidad de la roca en el pozo S-19.

POZO	CORRIDA		CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO			CALIDAD DE LA ROCA
	DESDE	HASTA	RQD	RMR BÁSICO	RMR CORREGIDO	
S-19	0	160	-	-	-	Concreto
	160	310	73	74.03	67.03	Buena
	310	450	32	62.40	55.40	Regular
	450	610	42	56.56	49.56	Regular
	610	770	63	61.96	54.96	Regular
	770	930	44	56.01	49.01	Regular
	930	1020	54	64.87	57.87	Regular
Media geométrica					55.33	Regular
Promedio					55.64	Regular
Máximo					67.03	Buena
Mínimo					49.01	Regular

El sondaje P-21 se realizó con una profundidad de 10.35 m, de 0.00 a 1.00m se tiene concreto – plinto, luego se ha evidenciado que la roca está compuesta desde 1.00 a 6.30 m, por andesita afanítica de color gris oscuro muy fracturado con alto contenido de ferromagnesianos de color rojizo con presencia de xenolitos, la calidad de la andesita es mala. A partir de 6.30 a 10.35 m la roca está compuesta por brecha dacítica de color gris blanquecino ligeramente fracturada, roca de alta dureza y la calidad de la roca es regular a buena, la clasificación detallada se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 26. Calidad de la roca en el pozo P-21.

POZO	CORRIDA		CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO			CALIDAD DE LA ROCA
	DESDE	HASTA	RQD	RMR BÁSICO	RMR CORREGIDO	
P-21	0	1.00	-	-	-	Concreto
	1.00	1.60	40	43.19	28.19	Mala
	1.60	2.80	58	46.52	31.52	Mala
	2.80	4.20	41	42.94	27.94	Mala
	4.20	5.20	52	45.33	30.33	Mala
	5.20	6.30	33	38.50	23.50	Mala
	6.30	7.90	68	64.34	57.34	Regular
	7.90	9.20	45	62.01	55.01	Regular
	9.20	10.35	100	72.97	65.97	Buena
	Media geométrica					37.22
Promedio					39.98	Mala
Máximo					65.97	Buena
Mínimo					23.50	Mala

El sondaje PD-03 se realizó con una profundidad de 15.30 m, de 0.00 a 0.70m se tiene concreto – plinto, luego se ha evidenciado que la roca está compuesta desde 0.70 a 11.90 m, por brecha dacítica afanítica de color gris blanquecino, roca masiva de alta dureza con presencia de xenolitos, la calidad de la roca es muy buena. A partir de 11.90 a 15.30 m la roca está compuesta por brecha volcánica de color rojizo ligeramente fracturada, roca de alta dureza y la calidad de la roca es buena, la clasificación detallada se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 27. Calidad de la roca en el pozo PD-03.

POZO	CORRIDA		CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO			CALIDAD DE LA ROCA
	DESDE	HASTA	RQD	RMR BÁSICO	RMR CORREGIDO	
PD-03	0	70	-	-	-	Concreto
	70	160	72	80.80	80.80	Buena
	160	320	85	83.41	83.41	Muy Buena
	320	480	100	86.48	86.48	Muy Buena
	480	575	100	88.48	88.48	Muy Buena
	575	735	100	92.48	92.48	Muy Buena
	735	870	89	90.21	90.21	Muy Buena
	870	1030	94	91.21	91.21	Muy Buena
	1030	1190	56	69.81	67.81	Buena
	1190	1350	90	78.40	76.40	Buena
	1350	1430	100	92.54	92.54	Muy Buena
	1430	1530	100	92.48	92.48	Muy Buena
	Media geométrica					85.30
Promedio					85.66	Muy Buena
Máximo					92.54	Muy Buena
Mínimo					67.81	Buena

El sondaje S-43 se realizó con una profundidad de 15.20 m, de 0.00 a 0.48m se tiene concreto – plinto, luego se ha evidenciado que la roca está compuesta desde 0.48 a 9.40 m, por brecha dacítica afanítica de color gris blanquecino, roca masiva de alta dureza con presencia de xenolitos, la calidad de la roca es buena a muy buena. A partir de 9.40 a 15.20m la roca está compuesta por brecha volcánica de color rojizo ligeramente fracturada, roca de alta dureza y la calidad de la roca es buena a muy buena, la clasificación detallada se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 28. Calidad de la roca en el pozo S-43.

POZO	CORRIDA		CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO			CALIDAD DE LA ROCA
	DESDE	HASTA	RQD	RMR BÁSICO	RMR CORREGIDO	
S-43	0	48	-	-	-	Concreto
	48	150	91	80.35	80.35	Buena
	150	310	93	80.95	80.95	Buena
	310	470	100	91.79	91.79	Muy Buena
	470	620	79	79.19	79.19	Buena
	620	780	100	91.79	91.79	Muy Buena
	780	940	93	78.16	71.16	Buena
	940	1100	100	91.24	84.24	Muy Buena
	1100	1200	77	72.93	65.93	Buena
	1200	1360	88.125	77.14	75.14	Buena
	1360	1520	98.75	91.54	89.54	Muy Buena
Media geométrica					80.58	Muy Buena
Promedio					81.01	Muy Buena
Máximo					91.79	Muy Buena
Mínimo					65.93	Buena

El sondaje P-45 se realizó con una profundidad de 15.10 m, de 0.00 a 0.50m se tiene concreto – plinto, luego se ha evidenciado que la roca está compuesta desde 0.50 a 15.10 m, por brecha dacítica afanítica de color gris blanquecino, roca masiva de alta dureza con presencia de xenolitos, la calidad de la roca es buena a muy buena. A partir de 9.60 a 15.10m la roca está compuesta por brecha volcánica de color rojizo ligeramente fracturada, roca de alta dureza y la calidad de la roca es buena a muy buena, la clasificación detallada se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 29. Calidad de la roca en el pozo P-45.

POZO	CORRIDA		CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO			CALIDAD DE LA ROCA
	DESDE	HASTA	RQD	RMR BÁSICO	RMR CORREGIDO	
P-45	0	50	-	-	-	Concreto
	50	160	82	77.76	75.76	Buena
	160	320	84	82.20	80.20	Buena
	320	480	100	84.62	82.62	Muy Buena
	480	610	123	90.27	88.27	Muy Buena
	610	800	82	80.71	78.71	Buena
	800	960	95	74.78	72.78	Buena
	960	1120	100	93.24	91.24	Muy Buena
	1120	1270	107	95.62	93.62	Muy Buena
	1270	1430	100	88.15	86.15	Muy Buena
	1430	1510	100	90.15	88.15	Muy Buena
Media geométrica					83.49	Muy Buena
Promedio					83.75	Muy Buena
Máximo					93.62	Muy Buena
Mínimo					72.78	Buena

El sondaje S-47 se realizó con una profundidad de 15.40 m, de 0.00 a 0.34m se tiene concreto – plinto, luego se ha evidenciado que la roca está compuesta desde 0.34 a 6.40 m, por brecha dacítica afanítica de color gris blanquecino, roca masiva de alta dureza con presencia de xenolitos, la calidad de la roca es buena a muy buena. A partir de 6.40 a 14.00.m la roca está compuesta por brecha volcánica de color rojizo ligeramente fracturada, roca de alta dureza y la calidad de la roca es buena a muy buena, la clasificación detallada se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 30. Calidad de la roca en el pozo S-47.

POZO	CORRIDA		CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO			CALIDAD DE LA ROCA
	DESDE	HASTA	RQD	RMR BÁSICO	RMR CORREGIDO	
S-47	0	34	-	-	-	Concreto
	34	160	79	81.92	79.92	Buena
	160	320	88	82.06	80.06	Buena
	320	480	86	83.33	81.33	Muy Buena
	480	640	91	80.92	78.92	Buena
	640	800	94	81.56	79.56	Buena
	800	960	94	86.21	84.21	Muy Buena
	960	1120	99	79.36	77.36	Buena
	1120	1280	92	78.49	76.49	Buena
	1280	1440	83.125	73.16	71.16	Buena
	1440	1540	96	78.80	76.80	Buena
Media geométrica					78.51	Buena
Promedio					78.58	Buena
Máximo					84.21	Muy Buena
Mínimo					71.16	Buena

El sondaje P-49 se realizó con una profundidad de 15.00 m, de 0.00 a 0.80m se tiene concreto – plinto, luego se ha evidenciado que la roca está compuesta desde 0.80 a 4.80 m y de 11.20 a 15.00, por brecha dacítica afanítica de color gris blanquecino, roca masiva de alta dureza con presencia de xenolitos, la calidad de la roca es buena a muy buena. A partir de 4.80 a 11.20m la roca está compuesta por brecha volcánica de color rojizo ligeramente fracturada, la calidad de la roca es buena a muy buena, la clasificación detallada se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 31. Calidad de la roca en el pozo P-49.

POZO	CORRIDA		CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO			CALIDAD DE LA ROCA
	DESDE	HASTA	RQD	RMR BÁSICO	RMR CORREGIDO	
P-49	0	80	-	-	-	Concreto
	80	160	94	82.49	80.49	Buena
	160	320	84	78.44	76.44	Buena
	320	480	94	86.00	84.00	Muy Buena
	480	640	98	80.03	78.03	Buena
	640	800	85	73.57	71.57	Buena
	800	960	91	75.98	73.98	Buena
	960	1120	93	82.09	80.09	Buena
	1120	1280	94	83.87	81.87	Muy Buena
	1280	1440	77	76.88	74.88	Buena
	1440	1500	43	66.65	64.65	Buena
Media geométrica					76.40	Buena
Promedio					76.60	Buena
Máximo					84.00	Muy Buena
Mínimo					64.65	Buena

El sondaje P-53 se realizó con una profundidad de 15.00 m, de 0.00 a 1.10m se tiene concreto – plinto, luego se ha evidenciado que la roca está compuesta desde 1.10 a 4.80 m, por brecha volcánica afanítica de color rojizo, moderadamente fracturado con alto contenido de ferromagnesianos con presencia de xenolitos, la calidad de la roca es regular a mala. A partir de 4.80 a 15.00m la roca está compuesta por brecha dacítica de color gris blanquecino ligeramente fracturada y la calidad de la roca es buena, la clasificación detallada se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 32. Calidad de la roca en el pozo P-53.

POZO	CORRIDA		CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO			CALIDAD DE LA ROCA
	DESDE	HASTA	RQD	RMR BÁSICO	RMR CORREGIDO	
P-53	0	1.10	-	-	-	Concreto
	1.10	1.60	26	53.39	46.39	Regular
	1.60	3.20	34	53.41	46.41	Regular
	3.20	4.80	40	59.23	52.23	Regular
	4.80	6.40	8	43.33	28.33	Mala
	6.40	8.00	23	51.49	36.49	Mala
	8.00	9.60	93	85.95	83.95	Muy Buena
	9.60	10.60	10	50.37	35.37	Mala
	10.60	12.00	60	69.73	62.73	Buena
	12.00	13.60	78.75	73.29	66.29	Buena
	13.60	15.00	80	74.54	67.54	Buena
Media geométrica					49.96	Regular
Promedio					52.57	Regular
Máximo					83.95	Muy buena
Mínimo					28.33	Mala

El sondaje P-89 se realizó con una profundidad de 19.50 m, de 0.00 a 3.90m se tiene concreto – plinto, luego se ha evidenciado que la roca está compuesta desde 3.90 a 11.00 m, por brecha volcánica bandeado con intercalaciones de color gris, rojizo y blanquecino, triturado o con presencia de xenolitos, la calidad de la roca es muy mala. A partir de 11.00 a 19.50m la roca está compuesta por andesita de color gris verdoso moderadamente fracturada y la calidad de la roca es regular a mala, la clasificación detallada se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 33. Calidad de la roca en el pozo P-89.

POZO	CORRIDA		CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO			CALIDAD DE LA ROCA
	DESDE	HASTA	RQD	RMR BÁSICO	RMR CORREGIDO	
P-89 (I)	0	390	-	-	-	Concreto
	390	480	20	24.28	9.28	Muy mala
	480	640	9	23.00	8.00	Muy mala
	640	790	13	29.78	14.78	Muy mala
	790	950	31	32.33	17.33	Muy mala
	950	1100	24	31.25	16.25	Muy mala
	1100	1260	39	50.59	43.59	Regular
	1230	1420	42	46.70	39.70	Mala
	1420	1570	14	36.52	21.52	Mala
	1570	1730	59	52.29	45.29	Regular
	1730	1890	58	53.93	46.93	Regular
	1890	1950	37	50.68	43.68	Regular
Media geométrica					23.24	Mala
Promedio					27.85	Mala
Máximo					46.93	Regular
Mínimo					8.00	Muy mala

El sondaje T-100 se realizó con una profundidad de 10.40 m, de 0.00 a 1.60m se tiene concreto – plinto, luego se ha evidenciado que la roca está compuesta desde 1.60 a 9.00 m, por brecha volcánica bandeado con intercalaciones de color gris, rojizo y blanquecino, ligeramente fracturado con presencia de xenolitos, la calidad de la roca es regular a mala. A partir de 9.00 la roca está compuesta por andesita de color gris verdoso ligeramente fracturada y la calidad de la roca es regular, la clasificación detallada se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 34. Calidad de la roca en el pozo T-100.

POZO	CORRIDA		CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO			CALIDAD DE LA ROCA
	DESDE	HASTA	RQD	RMR BÁSICO	RMR CORREGIDO	
T-100	0.00	1.60	-	-	-	Concreto
	1.60	3.20	77	59.06	52.06	Regular
	3.20	4.00	0	35.77	28.77	Mala
	4.00	5.30	67	56.42	49.42	Regular
	5.30	6.10	0	35.38	28.38	Mala
	6.10	7.70	79	61.02	54.02	Regular
	7.70	9.00	55	54.58	47.58	Regular
	9.00	10.40	77	59.04	52.04	Regular
	Media geométrica					43.20
Promedio					44.61	Regular
Máximo					54.02	Regular
Mínimo					28.38	Mala

El sondaje T-100 se realizó con una profundidad de 20.00 m, de 0.00 a 0.55m se tiene concreto – plinto, luego se ha evidenciado que la roca está compuesta desde 0.55 a 18.20 m, por brecha volcánica bandeado con intercalaciones de color gris, rojizo y blanquecino, moderadamente fracturado con presencia de xenolitos, la calidad de la roca es regular a mala. A partir de 18.20 la roca está compuesta por andesita de color gris verdoso ligeramente fracturada y la calidad de la roca es buena, la clasificación detallada se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 35. Calidad de la roca en el pozo T-76A.

POZO	CORRIDA		CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO			CALIDAD DE LA ROCA
	DESDE	HASTA	RQD	RMR BÁSICO	RMR CORREGIDO	
T-76A	0	0.55	-	-	-	Concreto
	0.55	1.60	59	53.96	46.96	Regular
	1.60	2.70	75	60.84	53.84	Regular
	2.70	4.15	80	79.38	72.38	Buena
	4.15	4.90	65	56.11	49.11	Regular
	4.90	6.20	68	59.46	52.46	Regular
	6.20	7.80	91	66.05	59.05	Regular
	7.80	9.00	45	52.91	37.91	Mala
	9.00	10.30	37	47.72	32.72	Mala
	10.30	11.90	67.5	53.37	38.37	Mala
	11.90	13.00	79.09	64.76	57.76	Regular
	13.00	14.50	80	63.95	56.95	Regular
	14.50	15.40	27.77	32.05	17.05	Muy mala
	15.40	16.70	0	28.77	13.77	Muy mala
	16.70	17.50	12.5	30.02	15.02	Muy mala
	17.50	18.20	85.71	71.12	64.12	Buena
	18.20	19.65	84.13	70.80	63.80	Buena
19.65	20.00	94.28	72.88	65.88	Buena	
Media geométrica					42.13	Regular
Promedio					46.89	Regular
Máximo					72.38	Buena
Mínimo					13.77	Muy mala

El sondaje P-109 se realizó con una profundidad de 15.30 m, de 0.00 a 0.80m se tiene concreto – plinto, luego se ha evidenciado que la roca está compuesta desde 0.80 a 6.10 por andesita afanítica de color gris rojizo muy fracturada, estas fracturas se encuentran meteorizadas y están rellenas con óxido y panizo, la roca presenta una resistencia R3 (media) con presencia de oquedades y alto contenido de ferromagnesianos la calidad de la roca es muy mala. A partir de 6.10 m se aprecia brecha volcánica con textura afanítica de color gris blanquecino, la roca está muy fracturada, la calidad de la roca es mala a muy mala. La clasificación detallada se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 36. Calidad de la roca en el pozo P-109.

POZO	CORRIDA		CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO			CALIDAD DE LA ROCA
	DESDE	HASTA	RQD	RMR BÁSICO	RMR CORREGIDO	
P-109	0.00	0.80	-	-	-	Concreto
	0.80	1.60	48	35.65	20.65	Muy mala
	1.60	2.70	0	24.61	9.61	Muy mala
	2.70	3.70	0	24.61	9.61	Muy mala
	3.70	5.00	52	37.70	30.70	Mala
	5.00	6.10	0	27.89	12.89	Muy mala
	6.10	7.30	42	31.63	16.63	Muy mala
	7.30	8.00	80	45.45	38.45	Mala
	8.00	8.90	0	28.10	13.10	Muy mala
	8.90	9.80	56	49.01	34.01	Mala
	9.80	11.40	53	50.35	43.35	Regular
	11.40	12.50	27	35.41	20.41	Muy mala
	12.50	13.30	95	56.95	49.95	Regular
	13.30	13.90	30	42.42	27.42	Mala
	13.90	14.50	72	52.17	45.17	Regular
	14.50	15.30	0	32.79	25.79	Mala
Media geométrica					23.20	Mala
Promedio					26.52	Mala
Máximo					49.95	Regular
Mínimo					9.61	Muy mala

El sondaje PD-07 se realizó con una profundidad de 20.10 m, de 0.00 a 1.60m se tiene concreto – plinto, luego se ha evidenciado que la roca está compuesta desde

1.60 a 4.80 por andesita afanítica de color gris ligeramente fracturada, la calidad de la roca es regular a buena. A partir de 4.80 a 9.60m y 13.00 a 20.10 se aprecia brecha volcánica con textura afanítica de color gris rojizo, la roca está ligeramente fracturada, la calidad de la roca es regular a buena. La clasificación detallada se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 37. Calidad de la roca en el pozo PD-07.

POZO	CORRIDA		CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO			CALIDAD DE LA ROCA
	DESDE	HASTA	RQD	RMR BÁSICO	RMR CORREGIDO	
PD-07	0	160	-	-	-	Concreto
	160	280	-	-	-	Concreto
	280	320	100	78.19	71.19	Buena
	320	480	42	54.53	47.53	Regular
	480	640	92	69.63	62.63	Buena
	640	800	59	59.22	52.22	Regular
	800	960	31	33.81	18.81	Muy mala
	960	1050	91	86.80	84.80	Muy Buena
	1050	1170	100	92.67	90.67	Muy Buena
	1170	1300	92	75.02	68.02	Buena
	1300	1460	75	66.25	59.25	Regular
	1460	1620	64	58.87	51.87	Regular
	1620	1780	59	53.98	51.98	Regular
	1780	1920	26	50.13	43.13	Regular
1920	2010	0	29.61	14.61	Muy mala	
Media geométrica					49.59	Regular
Promedio					55.13	Regular
Máximo					90.67	Muy Buena
Mínimo					14.61	Muy mala

El sondaje P-117 se realizó con una profundidad de 30.40 m, de 0.00 a 1.60m se tiene concreto – plinto, luego se ha evidenciado que la roca está compuesta desde 1.60 a 8.80 y 12.90 a 16.10 por brecha volcánica afanítica de color rojizo ligeramente fracturada con presencia de xenolitos, la calidad de la roca es regular. A partir de 8.80 a 12.90m se aprecia brecha dacítica con textura afanítica de color gris blanquecino, la

roca está ligeramente fracturada, la calidad de la roca es regular, luego de 16.10 a 30.40 se observa andesita ligeramente fracturada y en otros sectores muy fracturada, la clasificación detallada se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 38. Calidad de la roca en el pozo P-117.

POZO	CORRIDA		CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO			CALIDAD DE LA ROCA
	DESDE	HASTA	RQD	RMR BÁSICO	RMR CORREGIDO	
P-117	0	160.00	-	-	-	Concreto
	160	310	63	63.27	56.27	Regular
	310	470	72	66.22	59.22	Regular
	470	620	47	55.77	48.77	Regular
	620	780	31	56.86	49.86	Regular
	780	940	24	58.11	51.11	Regular
	940	1100	84	66.64	59.64	Regular
	1100	1230	58	59.93	52.93	Regular
	1230	1390	63	61.35	54.35	Regular
	1390	1550	88	71.06	64.06	Buena
	1550	1710	54	56.67	49.67	Regular
	1710	1820	0	35.77	20.77	Muy mala
	1820	1960	21	37.76	22.76	Mala
	1960	2120	16	37.01	22.01	Mala
	2120	2280	51	42.51	27.51	Mala
	2280	2440	9	34.22	19.22	Muy mala
	2440	2600	56	41.56	26.56	Mala
2600	2740	7	36.05	21.05	Mala	
2740	2880	89	70.65	63.65	Buena	
2880	3040	69	65.46	58.46	Regular	
Media geométrica					39.87	Mala
Promedio					43.57	Regular
Máximo					64.06	Buena
Mínimo					19.22	Mala

El sondaje P-129 se realizó con una profundidad de 15.50 m, de 0.00 a 0.55m se tiene concreto – plinto, luego se ha evidenciado que la roca está compuesta desde 0.55 a 7.10 m, por brecha volcánica afanítica de color rojizo moderadamente fracturado con presencia de xenolitos, la calidad de la roca es mala. A partir de 7.10 a

15.50 m la roca está compuesta por brecha dacítica de color gris ligeramente fracturada, la calidad de la roca es regular, la clasificación detallada se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 39. Calidad de la roca en el pozo P-129.

POZO	CORRIDA		CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO			CALIDAD DE LA ROCA
	DESDE	HASTA	RQD	RMR BÁSICO	RMR CORREGIDO	
P-129	0.00	0.55	-	-	-	Concreto
	0.55	1.60	57	45.26	38.26	Mala
	1.60	3.20	100	62.97	55.97	Regular
	3.20	4.30	36	40.80	33.80	Mala
	4.30	4.90	50	45.37	38.37	Mala
	4.90	6.00	44	38.06	23.06	Mala
	6.00	7.10	36	46.80	39.80	Mala
	7.10	8.30	85	66.13	59.13	Regular
	8.30	9.90	73	61.75	54.75	Regular
	9.90	11.50	75	58.64	51.64	Regular
	11.50	13.10	66	58.84	51.84	Regular
	13.10	14.70	69	57.93	50.93	Regular
	14.70	15.50	63	55.35	48.35	Regular
Media geométrica					44.12	Regular
Promedio					45.49	Regular
Máximo					59.13	Regular
Mínimo					23.06	Mala

El sondaje T-138 se realizó con una profundidad de 15.20 m, de 0.00 a 0.45m se tiene concreto – plinto, luego se ha evidenciado que la roca está compuesta desde 0.45 a 3.10 m. y de 5.30 a 13.60, por brecha volcánica afanítica de color rojizo moderadamente fracturado con presencia de xenolitos, la calidad de la roca es regular a mala. A partir de 3.10 a 5.30 m la roca está compuesta por brecha dacítica de color gris ligeramente fracturada, la calidad de la roca es regular, la clasificación detallada se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 40. Calidad de la roca en el pozo T-138.

POZO	CORRIDA		CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO			CALIDAD DE LA ROCA
	DESDE	HASTA	RQD	RMR BÁSICO	RMR CORREGIDO	
T-138	0.00	0.45	-	-	-	Concreto
	0.45	1.60	78	60.51	53.51	Regular
	1.60	3.00	29	48.41	41.41	Regular
	3.00	4.00	0	35.64	20.64	Muy mala
	4.00	5.30	86	87.31	85.31	Muy Buena
	5.30	6.70	58	70.24	63.24	Buena
	6.70	7.50	0	40.20	25.20	Mala
	7.50	9.10	68	54.66	47.66	Regular
	9.10	10.50	57	40.11	25.11	Mala
	10.50	12.00	50.6	38.77	23.77	Mala
	12.00	13.60	0	31.77	16.77	Muy mala
	13.60	14.70	20	33.95	18.95	Muy mala
	14.70	15.20	0	31.77	16.77	Muy mala
Media geométrica					31.47	Mala
Promedio					36.53	Mala
Máximo					85.31	Muy Buena
Mínimo					16.77	Muy mala

El sondaje PD-08 se realizó con una profundidad de 17.00 m, de 0.00 a 1.00m se tiene concreto – plinto, luego se ha evidenciado que la roca está compuesta desde 1.00 a 5.70m por brecha volcánica afanítica de color rojizo moderadamente fracturado con presencia de xenolitos, la calidad de la roca es regular a mala y en algunos sectores regular. A partir de 5.70 a 17.00 m la roca está compuesta por andesita de color gris muy fracturada, la calidad de la roca es mala, la clasificación detallada se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 41. Calidad de la roca en el pozo PD-08.

POZO	CORRIDA		CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO			CALIDAD DE LA ROCA
	DESDE	HASTA	RQD	RMR BÁSICO	RMR CORREGIDO	
PD-08	0	100	-	-	-	Concreto
	100	155	72.73	47.42	40.42	Mala
	155	210	69.09	46.69	39.69	Mala
	210	250	32.50	44.21	37.21	Mala
	250	300	-	39.95	32.95	Mala
	300	380	185.00	69.56	62.56	Buena
	380	540	48.13	58.63	51.63	Regular
	540	570	36.67	45.26	38.26	Mala
	570	650	75.00	63.85	56.85	Regular
	650	730	81.25	65.12	58.12	Regular
	730	825	38.95	43.48	36.48	Mala
	825	905	55.00	47.89	40.89	Mala
	905	965	25.00	42.71	35.71	Mala
	965	1035	21.43	42.08	35.08	Mala
	1035	1110	29.33	43.22	28.22	Mala
	1110	1210	46.00	46.23	31.23	Mala
	1210	1305	63.16	48.83	33.83	Mala
	1305	1355	40.00	36.72	21.72	Mala
	1355	1385	-	37.60	22.60	Mala
1385	1490	9.52	36.95	21.95	Mala	
1490	1700	0.14	36.11	21.11	Mala	
Media geométrica					35.51	Mala
Promedio					37.33	Mala
Máximo					62.56	Buena
Mínimo					21.11	Mala

El sondaje T-168 se realizó con una profundidad de 28.10.00 m, de 0.00 a 0.80m se tiene concreto – plinto, luego se ha evidenciado que la roca está compuesta desde 0.80 a 18.50m por andesita afanítica de color gris muy fracturado, la calidad de la roca es muy mala. A partir de 18.50 a 28.10m la roca está compuesta por dacita de color gris blanquecino muy fracturada con presencia de oquedades, la calidad de la roca es mala a muy mala, la clasificación detallada se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 42. Calidad de la roca en el pozo T-168.

POZO	CORRIDA		CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO			CALIDAD DE LA ROCA
	DESDE	HASTA	RQD	RMR BÁSICO	RMR CORREGIDO	
	0	0.80	-	-	-	Concreto
	0.80	1.30	24	30.22	15.22	Muy mala
	1.30	2.60	12	28.71	13.71	Muy mala
	2.60	3.90	35	34.11	19.11	Muy mala
	3.90	5.30	0	26.23	11.23	Muy mala
	5.30	6.50	0	26.23	11.23	Muy mala
	6.50	7.60	0	26.23	11.23	Muy mala
	7.60	8.70	0	27.23	12.23	Muy mala
	8.70	9.40	0	26.23	11.23	Muy mala
	9.40	10.60	47.5	37.12	22.12	Mala
	10.60	11.80	38.33	35.52	20.52	Muy mala
	11.80	12.90	0	25.61	10.61	Muy mala
T-168	12.90	14.00	0	26.61	11.61	Muy mala
	14.00	15.60	14.37	31.24	16.24	Muy mala
	15.60	17.20	46.25	38.88	23.88	Mala
	17.20	18.50	0	29.51	14.51	Muy mala
	18.50	19.50	10	30.35	15.35	Muy mala
	19.50	20.80	32.30	33.49	18.49	Muy mala
	20.80	22.20	25.71	39.98	24.98	Mala
	22.20	23.30	23.63	36.88	21.88	Mala
	23.30	24.10	0	28.51	13.51	Muy mala
	24.10	35.20	0	26.10	11.10	Muy mala
	35.20	26.30	0	27.10	12.10	Muy mala
	26.30	27.10	0	25.61	10.61	Muy mala
	27.10	28.10	0.78	39.31	24.31	Mala
	Media geométrica				15.03	Muy mala
	Promedio				15.71	Muy mala
	Máximo				24.98	Mala
	Mínimo				10.61	Muy mala

El sondaje P-169 se realizó con una profundidad de 15.40m, de 0.00 a 0.70m se tiene concreto – plinto, luego se ha evidenciado que la roca está compuesta por andesita afanítica de color gris muy fracturado, estas fracturas se encuentran meteorizadas y están rellenas con óxido, la roca presenta una resistencia R3 (media) con presencia de oquedades y la calidad de la roca es mala a muy mala con un RMR

mínimo 17.89 y máximo 32.63, la clasificación detallada se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 43. Calidad de la roca en el pozo P-169.

POZO	CORRIDA		CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO			CALIDAD DE LA ROCA
	DESDE	HASTA	RQD	RMR BÁSICO	RMR CORREGIDO	
P-169	0.00	0.70	-	-	-	Concreto
	0.70	1.60	40	47.63	32.63	Mala
	1.60	3.00	29	46.01	31.01	Mala
	3.00	4.60	0	32.89	17.89	Muy Mala
	4.60	5.20	0	32.89	17.89	Muy Mala
	5.20	6.30	0	32.89	17.89	Muy Mala
	6.30	7.30	0	32.89	17.89	Muy Mala
	7.30	8.40	0	32.89	17.89	Muy Mala
	8.40	10.00	19	35.0	20.00	Muy Mala
	10.00	10.60	0	32.89	17.89	Muy Mala
	10.60	11.40	0	32.89	17.89	Muy Mala
	11.40	12.50	0	32.89	17.89	Muy Mala
	12.50	13.20	0	32.89	17.89	Muy Mala
	13.20	14.20	33	36.98	21.98	Mala
	14.20	15.40	0	32.89	17.89	Muy Mala
Media geométrica					19.87	Muy Mala
Promedio					20.32	Muy Mala
Máximo					32.63	Mala
Mínimo					17.89	Muy Mala

El sondaje S-183 se realizó con una profundidad de 30.50 m, de 0.00 a 1.60m se tiene concreto – plinto, luego se ha evidenciado que la roca está compuesta desde 1.60 a 8.40m y 24.45 a 30.50 por andesita afanítica de color gris triturado, la calidad de la roca es muy mala. A partir de 8.40 a a 24.45 la roca está compuesta por dacita de color gris blanquecino moderadamente fracturada con presencia de oquedades, la calidad de la roca es regular a, la clasificación detallada se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 44. Calidad de la roca en el pozo S-183.

POZO	CORRIDA		CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO			CALIDAD DE LA ROCA
	DESDE	HASTA	RQD	RMR BÁSICO	RMR CORREGIDO	
S-183	0	160	-	-	-	Concreto
	160	305	8	26.78	11.78	Muy mala
	305	395	0	24.48	9.48	Muy mala
	395	525	12	26.14	11.14	Muy mala
	525	645	8	25.78	10.78	Muy mala
	645	745	10	26.09	11.09	Muy mala
	745	840	21	39.47	32.47	Mala
	840	955	52	47.20	40.20	Mala
	955	1115	55	53.74	46.74	Regular
	1115	1270	36	52.39	45.39	Regular
	1270	1420	64	59.72	52.72	Regular
	1420	1580	33	42.59	35.59	Mala
	1580	1735	29	38.37	31.37	Mala
	1735	1890	30	51.37	44.37	Regular
	1890	2035	34	52.12	45.12	Regular
	2035	2195	67	49.82	42.82	Regular
	2195	2355	30	43.20	36.20	Mala
	2355	2445	33	42.19	35.19	Mala
	2445	2605	50	47.20	40.20	Mala
	2605	2700	19	37.56	30.56	Mala
2700	2830	31	43.69	36.69	Mala	
2830	2940	73	51.12	44.12	Regular	
2940	3050	73	51.25	44.25	Regular	
Media geométrica					29.60	Mala
Promedio					33.56	Mala
Máximo					52.72	Regular
Mínimo					9.48	Muy mala

El sondaje S-203 se realizó con una profundidad de 20.15 m, de 0.00 a 1.60m se tiene concreto – plinto, luego se ha evidenciado que la roca está compuesta desde 1.60 a 14.05m por dacita afanítica de color gris blanquecino ligeramente fracturado, la calidad de la roca es regular a buena. A partir de 14.05 a 20.15 m la roca está compuesta

por andesita de color gris triturada, la calidad de la roca es muy mala, la clasificación detallada se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 45. Calidad de la roca en el pozo S-203.

POZO	CORRIDA		CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO			CALIDAD DE LA ROCA
	DESDE	HASTA	RQD	RMR BÁSICO	RMR CORREGIDO	
S-203	0	160	-	-	-	Concreto
	160	320	100	83.48	83.48	Muy Buena
	320	450	92	71.19	69.19	Buena
	450	600	100	80.48	80.48	Buena
	600	760	100	81.48	81.48	Muy Buena
	760	920	100	73.76	73.76	Buena
	920	1060	83	65.33	58.33	Regular
	1060	1220	78	63.56	56.56	Regular
	1220	1405	43	48.75	41.75	Regular
	1405	1555	0	21.96	6.96	Muy mala
	1555	1705	0	23.96	8.96	Muy mala
	1705	1855	0	23.96	8.96	Muy mala
	1855	2015	0	23.96	8.96	Muy mala
Media geométrica					33.40	Regular
Promedio					48.24	Regular
Máximo					83.48	Muy Buena
Mínimo					6.96	Muy mala

El sondaje P-209 se realizó con una profundidad de 10.60 m, de 0.00 a 1.60m se tiene concreto – plinto, luego se ha evidenciado que la roca está compuesta desde 1.60 a 10.60m por dacita afanítica de color gris blanquecino muy fracturado, con presencia de oquedades rellenas de oxido, la calidad de la roca es mala a muy mala con un RMR mínimo 18.64 y máximo 37.69, la clasificación detallada se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 46. Calidad de la roca en el pozo P-209.

POZO	CORRIDA		CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO			CALIDAD DE LA ROCA
	DESDE	HASTA	RQD	RMR BÁSICO	RMR CORREGIDO	
P-209	0.00	1.60	-	-	-	Concreto
	1.95	3.20	10	34.82	19.82	Muy Mala
	3.20	4.80	27	36.92	21.92	Mala
	4.80	6.40	63	52.69	37.69	Mala
	6.40	8.00	63	52.56	37.56	Mala
	8.00	9.10	13	35.05	20.05	Muy Mala
	9.10	10.60	0	33.64	18.64	Muy Mala
Media geométrica					24.75	Mala
Promedio					25.95	Mala
Máximo					37.69	Mala
Mínimo					18.64	Muy Mala

El sondaje PD-12 se realizó con una profundidad de 15.00 m, de 0.00 a 0.50m se tiene concreto – plinto, luego se ha evidenciado que la roca está compuesta desde 0.50 a 11.40m por dacita afanítica de color gris blanquecino ligeramente fracturado, la calidad de la roca es regular y en otros sectores muy buena. A partir de 14.40 a 15.00 m la roca está compuesta por andesita de color gris muy fracturada, la calidad de la roca es muy mala, la clasificación detallada se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 47. Calidad de la roca en el PD-12.

POZO	CORRIDA		CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO			CALIDAD DE LA ROCA
	DESDE	HASTA	RQD	RMR BÁSICO	RMR CORREGIDO	
PD-12	0	50	-	-	-	Concreto
	50	200	18	31.69	16.69	Muy mala
	200	360	16	33.89	18.89	Muy mala
	360	520	9	34.25	19.25	Muy mala
	520	680	59	53.10	46.10	Regular
	680	830	65	60.99	53.99	Regular
	830	980	57	61.30	54.30	Regular
	980	1140	44	55.93	48.93	Regular
	1140	1300	38	52.87	37.87	Mala
	1300	1460	31.25	45.01	30.01	Mala

1460	1500	0	33.38	18.38	Muy mala
Media geométrica				31.07	Mala
Promedio				34.44	Mala
Máximo				54.30	Regular
Mínimo				16.69	Muy mala

El sondaje T-230 se realizó con una profundidad de 8.00 m, de 0.00 a 1.40m se tiene concreto – plinto, luego se ha evidenciado que la roca está compuesta por brecha volcánica con textura afanítica de color rojizo, moderadamente fracturada con presencia de xenolitos, la calidad de la roca es regular a buena con un RMR mínimo de 43.87 y máximo 71.51, la clasificación detallada se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 48. Calidad de la roca en el pozo T-230.

POZO	CORRIDA		CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO			CALIDAD DE LA ROCA
	DESDE	HASTA	RQD	RMR BÁSICO	RMR CORREGIDO	
T-230	0.00	1.40	-	-	-	Concreto
	1.40	2.50	44	50.87	43.87	Regular
	2.50	3.80	53	53.17	46.17	Regular
	3.80	4.90	77	68.39	66.39	Buena
	4.90	6.50	81	73.51	71.51	Buena
	6.50	8.00	43	53.66	46.66	Regular
Media geométrica				53.75	Buena	
Promedio				54.92	Buena	
Máximo				71.51	Buena	
Mínimo				43.87	Regular	

El sondaje S-231 se realizó con una profundidad de 8.00 m, de 0.00 a 1.10m se tiene concreto – plinto, luego se ha evidenciado que la roca está compuesta por brecha volcánica con textura afanítica de color rojizo, moderadamente fracturada con presencia de xenolitos, la calidad de la roca es mala a regular con un RMR mínimo de 28.00 y máximo 62.98, la clasificación detallada se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 49. Calidad de la roca en el pozo S-231.

POZO	CORRIDA		CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO			CALIDAD DE LA ROCA
	DESDE	HASTA	RQD	RMR BÁSICO	RMR CORREGIDO	
S-231	0.00	1.10				Concreto
	1.10	1.60	0	43.00	28.00	Mala
	1.60	3.20	70	58.84	51.84	Regular

3.20	4.70	16	46.67	31.67	Mala
4.70	6.30	77	64.03	57.03	Regular
6.30	7.20	56	59.81	52.81	Regular
7.20	8.00	91	69.98	62.98	Buena
Media geométrica				45.37	Regular
Promedio				47.39	Regular
Máximo				62.98	Buena
Mínimo				28.00	Mala

El sondaje T-232 se realizó con una profundidad de 8.00 m, de 0.00 a 1.60m se tiene concreto – plinto, luego se ha evidenciado que la roca está compuesta por brecha volcánica con textura afanítica de color rojizo, roca masiva con presencia de xenolitos, la calidad de la roca es regular a muy buena, la clasificación detallada se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 50. Calidad de la roca en el pozo T-232.

POZO	CORRIDA		CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO			CALIDAD DE LA ROCA
	DESDE	HASTA	RQD	RMR BÁSICO	RMR CORREGIDO	
T-232	0.00	1.60				Concreto
	1.60	3.00	56	62.04	55.04	Regular
	3.00	3.70	97	89.04	87.04	Muy Buena
	3.70	5.30	83	84.38	82.38	Muy Buena
	5.30	6.90	87	67.36	60.36	Regular
	6.90	8.00	58	60.59	53.59	Regular
Media geométrica				66.25		Buena
Promedio				67.68		Buena
Máximo				87.04		Muy buena
Mínimo				53.59		Regular

El sondaje T-236 se realizó con una profundidad de 8.00 m, de 0.00 a 2.00m se tiene concreto – plinto, luego se ha evidenciado que la roca está compuesta por brecha volcánica con textura afanítica de color rojizo, moderadamente fracturada con presencia de xenolitos, la calidad de la roca es regular, la clasificación detallada se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 51. Calidad de la roca en el pozo T-236.

POZO	CORRIDA	CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO			CALIDAD DE LA ROCA
------	---------	---------------------------------	--	--	--------------------



	DESDE	HASTA	RQD	RMR BÁSICO	RMR CORREGIDO	
T-236	0	2.00	-	-	-	Concreto
	2.00	3.20	75	59.85	52.85	Regular
	3.20	4.00	84	63.72	56.72	Regular
	4.00	5.30	51	53.95	46.95	Regular
	5.30	6.80	73	60.59	53.59	Regular
	6.80	8.00	90	66.78	59.78	Regular
Media geométrica					53.80	Regular
Promedio					53.98	Regular
Máximo					59.78	Regular
Mínimo					46.95	Regular



5.2 PERMEABILIDAD In Situ

La permeabilidad del medio geológico está influenciada por las fracturas y las discontinuidades del macizo rocoso, esto implica que fue necesario la ejecución de dos campañas de inyección de mortero en el eje del plinto. En cada campaña se llevó a cabo ensayos de permeabilidad Lefranc y Lugeon. Luego, se comparan los valores iniciales de conductividad hidráulica (K) obtenidos en el estudio definitivo con permeabilidades obtenidas en la primera campaña de inyección 2021 y con los valores de permeabilidad obtenidos en la segunda campaña de inyección 2022.

5.2.1 Ensayo Lefranc

Se realizó ensayos de permeabilidad in situ mediante el método directo, los cuales se controlaron con un caudalímetro y un cronómetro. El ensayo consistió en inyectar agua y luego se leyó el descenso del nivel de agua a través del subsuelo, de esta manera se obtiene el parámetro de permeabilidad que nos proporcionó una idea clara de cómo se comportará la inyección de lechada en el pozo ensayado. El tramo del sondeo ensayado queda definido entre el final de la tubería de revestimiento y el fondo de este.

5.2.1.1 Ensayos Lefranc, Primera Campaña de Inyección 2021

Seguidamente, se presenta los resultados de permeabilidad que se obtuvieron en la primera etapa de inyección de la represa Palleca, los cuales se llevaron a cabo en los meses de octubre, noviembre, diciembre del 2021 y enero del 2022:

Tabla 52. Resultados de permeabilidad tipo Lefranc 2021.

Línea / Sondeo	Fecha	Hora	Tramo		Permeabilidad (K)
			Desde (M)	Hasta (M)	
Primaria / PD-12	09/10/2021	08:00	01.00	5.00	7.03E-04 cm/s
Primaria / P-89	17/11/2021	13:00	05.40	6.40	4.66E-03 cm/s
Secundaria/ PDS-183	02/12/2021	14:00	6.40	8.40	5.209E-04 cm/s
Secundaria/ PDS-183	03/12/2021	09:00	14.20	15.80	2.71E-04 cm/s
Secundaria/ PDS-203	06/12/2021	17:50	14.05	16.05	2.857E-04 cm/s
Primaria / P-145-A	30/12/2021	06:00	0.00	5.00	5.85E-03 cm/s
Primaria / P-145-A	30/12/2021	11:10	05.00	10.00	7.52E-03 cm/s
Primaria / P-145-A	30/12/2021	16:21	10.00	15.00	7.58E-03 cm/s
Primaria / P-145-A	03/01/2022	11:31	15.00	20.00	8.06E-03 cm/s
Primaria / P-145-A	03/01/2022	17:12	20.00	25.00	8.20E-03 cm/s
Primaria / P-145-A	03/01/2022	20:20	25.00	30.00	9.40E-04 cm/s
Terciaria / T-174	02/01/2022	09:05	0.00	5.00	5.72E-03 cm/s
Terciaria / T-174	02/01/2022	14:00	05.00	10.00	8.02E-03 cm/s
Terciaria / T-174	03/01/2022	10:20	10.00	20.00	9.68E-03 cm/s
Terciaria / T-174	03/01/2022	15:00	20.00	25.00	7.80E-03 cm/s
Terciaria / T-174	04/01/2022	13:10	25.00	30.00	5.72E-03 cm/s

En los trabajos efectuados durante los meses noviembre a diciembre del 2021, se obtuvieron valores de permeabilidad entre 2.71E-04 cm/s a 9.68E-03 cm/s que corresponde a una clasificación de material Permeable a Muy Permeable. El Pozo P-89 posee conductividad hidráulica de 4.66E-03 cm/s que corresponde a un material muy permeable por la existencia de una falla geológica. En este pozo se pudo observar que la calidad del macizo rocoso es Mala a Muy Mala, esto se debe al alto fracturamiento que presenta el macizo rocoso y a la presencia de fallas.



Figura 36. Ejecución del ensayo Lefranc.

5.2.1.2 Ensayo Lefranc, Segunda Campaña de Inyección 2022

A continuación, se presentan los resultados de permeabilidad obtenidos en la segunda campaña de inyección de la represa Palleca, los cuales se ejecutaron en los meses de junio, julio e inicios de agosto del 2022:

Tabla 53. Resultados de permeabilidad tipo Lefranc 2022.

Línea / Sondeo	Fecha	Hora	Tramo		Permeabilidad (K)
			Desde (M)	Hasta (M)	
Secundaria/ P-169	23/06/2022	15:50	0.50	5.00	2.36E-06 cm/s
Secundaria/ P-169	24/06/2022	12:08	5.00	10.00	6.40E-05cm/s
Secundaria/ P-169	25/06/2022	7:21	10.00	15.40	3.74E-05 cm/s
Secundaria/ P-209	22/06/2022	11:09	1.00	5.00	8.96E-06 cm/s
Secundaria/ P-209	22/06/2022	17:05	5.00	10.60	2.44E-06 cm/s
Secundaria/ P-109	28/06/2022	12:08	0.00	5.00	1.89E-06 cm/s
Secundaria/ P-129	25/06/2022	12:30	0.00	5.00	8.25E-06 cm/s
Secundaria/ P-233	17/06/2022	9:50	0.00	5.00	4.72E-05 cm/s
Secundaria/ P-109	29/06/2022	09:25	5.00	10.00	8.68E-06 cm/s



Línea / Sondeo	Fecha	Hora	Tramo		Permeabilidad (K)
			Desde (M)	Hasta (M)	
Secundaria/ P-109	30/06/2022	07:36	10.00	15.00	5.51E-06 cm/s
Secundaria/ P-89	30/06/2022	14:05	0.00	5.00	1.32E-05 cm/s
Secundaria/ P-89	01/07/2022	08:32	5.00	10.00	8.64E-06cm/s
Secundaria/ P-49	04/07/2022	11:40	0.00	5.00	4.53E-06 cm/s
Secundaria/P-49	04/07/2022	17:24	5.00	8.00	5.18E-06 cm/s
Secundaria/ P-45	05/07/2022	16:53	0.00	5.00	1.28E-07 cm/s
Secundaria/ P-21	07/07/2022	13:00	0.00	5.00	1.01E-05 cm/s
Secundaria/P-21	08/07/2022	10:10	5.00	8.00	1.21E-05 cm/s
Secundaria/ P-13	12/07/2022	8:40	0.00	5.00	7.15E-07 cm/s
Secundaria/P-13	12/07/2022	10:25	5.00	8.00	5.82E-06 cm/s
Secundaria/ S-235	20/07/2022	17:00	0.00	5.00	5.73E-06 cm/s
Secundaria/ S-235	20/07/2022	17:30	5.00	8.00	3.28E-07 cm/s
Secundaria/ T-14	20/07/2022	16:50	0.00	5.00	3.40E-06 cm/s
Secundaria/ T-16	20/07/2022	16:00	0.00	5.00	5.79E-06 cm/s
Secundaria/ T-234	21/07/2022	13:50	0.00	5.00	2.31E-06 cm/s
Secundaria/T-234	21/07/2022	18:00	5.00	8.00	5.15E-06
Secundaria/ T-10	21/07/2022	11:15	0.00	5.00	1.04E-06 cm/s
Secundaria/ T-12	21/07/2022	09:43	0.00	5.00	6.54E-06 cm/s
Secundaria/ T-166	21/07/2022	13:20	0.00	5.00	1.37E-06 cm/s
Secundaria/ T-166	21/07/2022	17:22	5.00	10.00	1.20E-06 cm/s
Secundaria/ T-170	21/07/2022	17:55	0.00	5.00	8.76E-02 cm/s
Secundaria/ T-170	21/07/2022	17:10	5.00	10.00	3.94E-04 cm/s
Secundaria/ T-170	21/07/2022	16:30	10.00	15.00	1.95E-04 cm/s
Secundaria/ T-172	21/07/2022	16:30	0.00	5.00	4.15E-06 cm/s
Secundaria/ T-236	22/07/2022	12:40	0.00	5.00	1.46E-06 cm/s
Secundaria/ T-236	22/07/2022	13:03	5.00	8.00	2.49E-07 cm/s
Secundaria/ T-178	POZO SURGENTE	Se realiza lectura por Litros: 2000 ml en 60 segundos			
Secundaria/ T-170	POZO SURGENTE	Se realiza lectura por Litros: 1000 ml en 44 segundos			
Secundaria/ T-232	02/08/2022	9:20	0.00	5.00	8.74E-07 cm/s
Secundaria/ T-232	02/08/2022	14:40	5.00	8.00	2.818E-05 cm/s
Secundaria/ S-231	03/08/2022	8:19	0.00	5.00	2.810E-05 cm/s
Secundaria/ S-231	03/08/2022	12:19	5.00	8.00	1.889E-05 cm/s



Línea / Sondeo	Fecha	Hora	Tramo		Permeabilidad (K)
			Desde (M)	Hasta (M)	
Secundaria/ T-76A	08/08/2022	13:19	0.00	5.00	3.424E-05 cm/s
Secundaria/ T-76A	09/08/2022	07:44	5.00	10.00	3.84E-05 cm/s
Secundaria/ T-76A	09/08/2022	12:10	10.00	15.00	4.35E-05 cm/s
Secundaria/ T-76A	09/08/2022	16:05	15.00	20.00	3.35E-05 cm/s
Secundaria/ T-138	04/08/2022	7:43	0.00	5.00	2.432E-06 cm/s
Secundaria/ T-138	04/08/2022	12:00	5.00	10.00	7.06E-06 cm/s
Secundaria/ T-138	04/08/2022	16:20	10.00	15.00	4.813E-05 cm/s
Secundaria/ T-100	05/08/2022	13:18	0.00	5.00	2.49E-05 cm/s
Secundaria/ T-168	01/08/2022	12:15	0.00	5.00	6.95E-06 cm/s
Secundaria/ T-168	01/08/2022	17:10	5.00	10.00	1.90E-06 cm/s
Secundaria/ T-168	02/08/2022	09:14	10.00	15.00	1.38E-05 cm/s
Secundaria/ T-168	02/08/2022	13:10	15.00	20.00	4.53E-06 cm/s
Secundaria/ T-168	02/08/2022	15:54	20.00	25.00	5.88E-06 cm/s
Secundaria/ T-168	02/08/2022	09:30	25.00	28.00	6.46E-06 cm/s
Secundaria/ T-230	08/08/2022	09:50	0.00	5.00	3.64E-05 cm/s
Secundaria/ T-230	08/08/2022	10:33	5.00	8.00	4.74E-05 cm/s

En los trabajos efectuados durante los meses junio, julio y agosto del 2022, se obtuvieron valores de permeabilidad entre $1.28E-07$ cm/s a $3.94E-04$ cm/s, el cual corresponde a un material Permeable a Poco Impermeable, En los pozos T-170 y T-178 se detectó una permeabilidad de $8.76E-02$ cm/s y $5.43E-02$ cm/s respectivamente, debido a que son pozos surgentes con agua a nivel superficial, esto genera que los valores de permeabilidad resulten distorsionados, en consecuencia, no son valores representativos.



5.2.2 Ensayo Lugeon

El ensayo de presión de agua tipo Lugeon es necesario y útil para evaluar la permeabilidad del terreno antes de iniciar la campaña de inyección. Los cuales se realizaron cada 5.0 metros, antes de la inyección del tramo (solo en pozos exclusivos, definidos en campo). Este ensayo se realizó con la intención de conocer la permeabilidad inicial del macizo rocoso el cual nos brindó una idea de cómo se comportará la inyección de lechada en el pozo ensayado y también para verificar la eficacia del tratamiento de impermeabilización.

El ensayo consistió en inyectar agua a distintas presiones en un tiempo determinado, donde previamente fue obturado con un packer neumático que garantizó el perfecto sellado del espacio anular del sondeo. La cantidad de agua inyectada fue medida con un caudalímetro durante el tiempo necesario para obtener los gastos constantes. Por otra parte, las presiones del ensayo se dividen en estadios máximos, intermedios y mínimos, la presión máxima debe estar por debajo de la carga litostática, para evitar disturbancias en el macizo rocoso.



Figura 37. Ejecución del ensayo Lugeon.

A continuación, se presenta los siguientes resultados de permeabilidad que se obtuvieron en la primera etapa de inyección en la represa Pallcca, los cuales se llevaron a cabo en los meses de octubre, noviembre, diciembre del 2021 y enero del 2022:

Tabla 54. Resultados de permeabilidad tipo Lugeon 2021.

Línea / Sondeo	Tramo	Fecha	Permeabilidad (K)	Unidad Lugeon
Margen Derecha PD-12	8.50 – 13.50	09-10-21	4.49E-05cm/s	3.45 UL
Margen Derecha P-117	9.40 – 14.40	26-10-21	4.19E-05 cm/s	3.22 UL
Margen Izquierdo S-11	4.40 – 9.40	17-11-21	1.80E-03cm/s	138.72 UL
Parte central del plinto P-89	12.70 – 17.70	18-11-21	6.77E-04cm/s	52.05 UL
Margen Derecha Terciaria / S-227	4.00 – 9.00	22-12-21	4.06E-05cm/s	3.12 UL
Parte central del plinto P-105	16.35 - 20.15	30-12-21	1.12E-04cm/s	8.60 UL
Margen Izquierdo T-44	10.45 – 15.15	27-12-21	2.84E-05cm/s	2.18 UL

Seguidamente, se presenta los resultados de permeabilidad que se obtuvieron en la segunda etapa de inyección de la represa Palcca, los cuales se llevaron a cabo en los meses de junio, julio y agosto del 2022:

Tabla 55. Resultados de permeabilidad tipo Lugeon 2022.

Línea / Sondeo	Tramo	Fecha	Permeabilidad (K)	Unidad Lugeon
Margen Derecha P-233	5.00 – 10.00	Conexión con pozo existente (2018) en tercer estadio.		
Parte central del plinto P-129	5.00 – 10.00	06/2022	2.02E-06 cm/s	0.16 UL
Parte central del plinto P-129	10.00 – 15.00	06/2022	6.23E-05 cm/S	4.79 UL
Margen Izquierdo P-45	5.00 – 10.00	07/2022	5.76E-07 cm/s	0.04 UL
Parte central del plinto T-100	5.00 – 10.00	08/2022	1.46E-04 cm/s	11.20 UL

En los trabajos efectuados durante los meses octubre a diciembre del 2021, se obtuvieron valores de permeabilidad entre 2.84E-5 cm/s a 1.12E-4 cm/s y unidades Lugeon entre 2.18 a 8.60, que corresponde a un material DESFAVORABLE; reduciendo los valores de conductividad hidráulica respecto a los resultados obtenidos en el expediente técnico del año 2012 con valores Lugeon de hasta 94.49 y 246.52, que corresponde a un material MUY DESFAVORABLE. Los valores de permeabilidad de los pozos S-11 con 138.72 U.L. y P-89 con 52.05 U.L. corresponden a zonas con evidencia de falla geológica y ausencia de retorno de agua durante los trabajos de perforación. Los resultados de permeabilidad Lugeon obtenidos durante la campaña 2022 fueron entre 0.04 UL hasta 11.20 UL que corresponde a un grado FAVORABLE A DESFAVORABLE, evidenciándose una clara reducción de los valores conductividad hidráulica (K) respecto a las campañas anteriores.

Para verificar la eficiencia del método de inyección se han realizado ensayos de permeabilidad durante los trabajos de inyección en la campaña octubre, noviembre, diciembre 2021 y junio, julio y agosto 2022 en los cuales se obtuvieron resultados favorables en la aplicación del método; En expediente técnico se ha determinado valores de permeabilidad de hasta 2.51E-1 cm/s y 1.03E-2 cm/s, en la campaña octubre del 2021 se tuvo valores de permeabilidad entre 2.71E-04 cm/s a 9.68E-03 cm/s, en la campaña junio del 2022 se obtuvo valores de permeabilidad 1.28E-07 cm/s a 3.94E-04 cm/s. Según estos resultados de permeabilidad se evidencia una clara reducción de



la conductividad hidráulica (K) con respecto al expediente técnico concluyendo así que la impermeabilización del macizo rocoso en el plinto de la represa Palcca, es posible utilizando el método GIN como un criterio de impermeabilización efectiva.

5.3 EFICIENCIA DEL MÉTODO DE INYECCIÓN

Para tener un adecuado y eficiente método de inyección se analizó el consumo de cemento en pozos de verificación, asimismo se realizó una comparación de las permeabilidades obtenidas en la campaña 2021 y 2022 así como también con los valores de permeabilidad obtenidos en expediente técnico 2012.

Para ello se hizo el control permanente realizando ensayos de calidad de lechada in situ como: fluidez, decantación, cohesión y densidad de la mezcla, los cuales se realizaron a lo largo de la impermeabilización del plinto, consecuentemente se realizó el control del proceso de inyección y el análisis de las curvas de trayectoria de inyectado, los cuales se describen a continuación:

5.3.1 Ensayos de Calidad de Lechada In Situ

Para determinar el rango de dosificación para la calidad de lechada se realizó un total de 21 ensayos de prueba con diferentes dosificaciones de aditivo, los cuales se llevaron a cabo con una mezcla de lechada estable, donde se evaluaron las propiedades reológicas y mecánicas de la mezcla de inyección.

Para realizar los ensayos de calidad de mezcla se han utilizado los siguientes materiales: agua, cemento y aditivo.

- *Agua.*- El agua utilizada fue de la quebrada Palcca, el agua es clara y sin presencia de turbidez.



- *Cemento.*- Se utilizó cemento Andino tipo I / Portland tipo I, el cual cumple con la Norma Técnica Peruana (NTP) 334.009 y la Norma Técnica Americana ASTM C-150.
- *Aditivo.*- El aditivo que se utilizó en la preparación de las mezclas de inyección fue el EUCO 37, que es un reductor de agua de alto rango y un superplastificante que permite reducir contenidos de cemento obteniendo concretos con alta plasticidad y sin decantación y sin segregación, el cual posee una densidad de 1.19 kg/l. el EUCO 37 es un líquido de color marrón oscuro que se añade a la mezcla en cantidades de 0.7 a 0.9% en relación al peso del cemento, para obtener una mezcla fluida.

5.3.1.1 Ensayo de Fluidiez (Cono de Marsh)

Para determinar la fluidez de la mezcla de inyección se realizó el ensayo en el Cono de Marsh en donde se vertió 1000 ml de lechada y se midió el tiempo que tarda en fluir a través del orificio, expresado en segundos, este resultado nos indica que cuanto menor es el tiempo mayor es la fluidez de la mezcla de inyección. Si se aplica este procedimiento con diferentes porcentajes de aditivo polifuncional, se determina el punto de saturación de la mezcla de inyección. Por lo tanto, una dosificación de aditivo polifuncional por encima del punto de saturación no sólo cambia la fluidez de la mezcla de inyección, sino que también puede provocar efectos adversos como (retraso de fraguado, segregación, sedimentación de la mezcla).



Figura 38. Ensayo de cono de Marsh para estimar la fluidez de la mezcla.

En la impermeabilización de la represa se ha utilizado el aditivo fluidificante EUCO 37 y se realizaron ensayos con diferentes dosificaciones, de 0.5%, 0.7 %, 0.9% y con 1.1%.

En la Figura 39 se presenta el promedio de todos los ensayos de fluidez que se han realizado, con las diferentes dosificaciones de aditivo polifuncional obteniéndose los siguientes resultados:

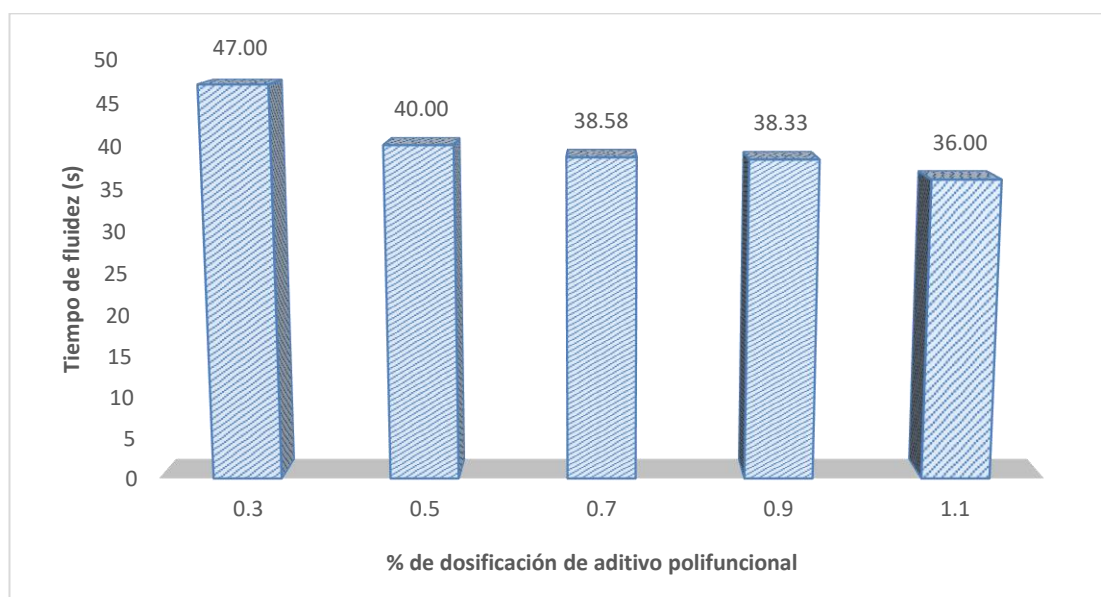


Figura 39. Tiempo de fluidez de lechada con diferentes % de aditivo.

En la Figura 39 se aprecia que a una dosificación de 0.3 % de aditivo por peso de cemento, la mezcla de lechada tarda en fluir 47 segundos. Con una dosificación de 0.5% de aditivo, la mezcla tarda en fluir 40 segundos. Mientras que a 0.7 y 0.9 % de aditivo mantienen el rango de 38.58 segundos a 38.33 segundos Y con una dosificación 1.1 % de aditivo la mezcla tardó en fluir 36 segundos.

5.3.1.2 Ensayo de Decantación

El ensayo de decantación también denominado exudación, es el proceso por el cual las partículas de la lechada se concentran por gravedad en el fondo. El ensayo se realizó en una probeta graduada de 1000 ml y el coeficiente de sedimentación es dado por la relación “h/H” y se expresa en porcentaje, donde “H” es la altura inicial de la suspensión y “h” es la altura del agua libre existente en la probeta después de 120 minutos de reposo.

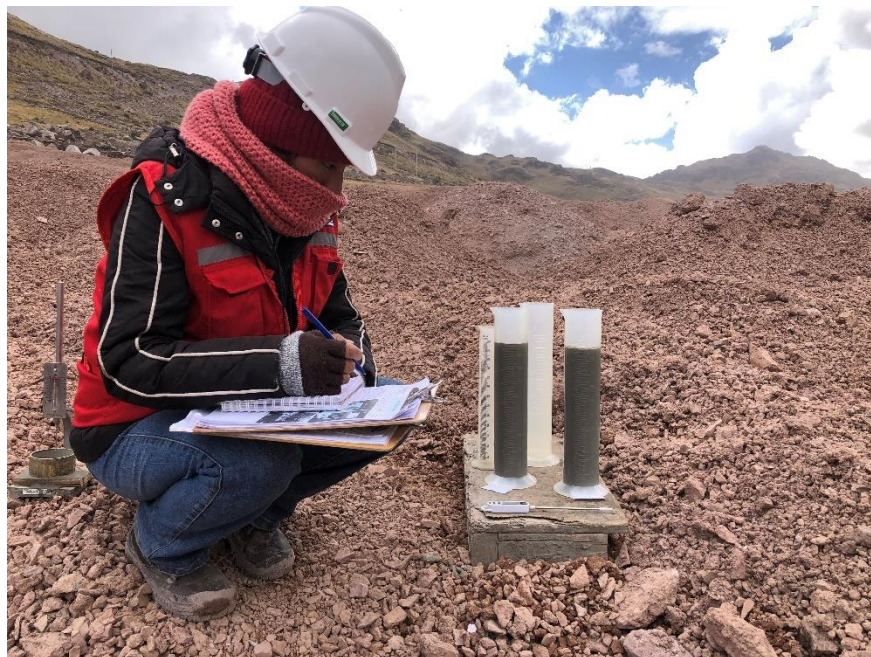


Figura 40. Ejecución del ensayo de decantación.

En la Figura 41 se presenta el promedio de todos los ensayos de decantación que se realizaron, con diferentes dosificaciones de aditivo, a continuación, se presenta los resultados obtenidos:

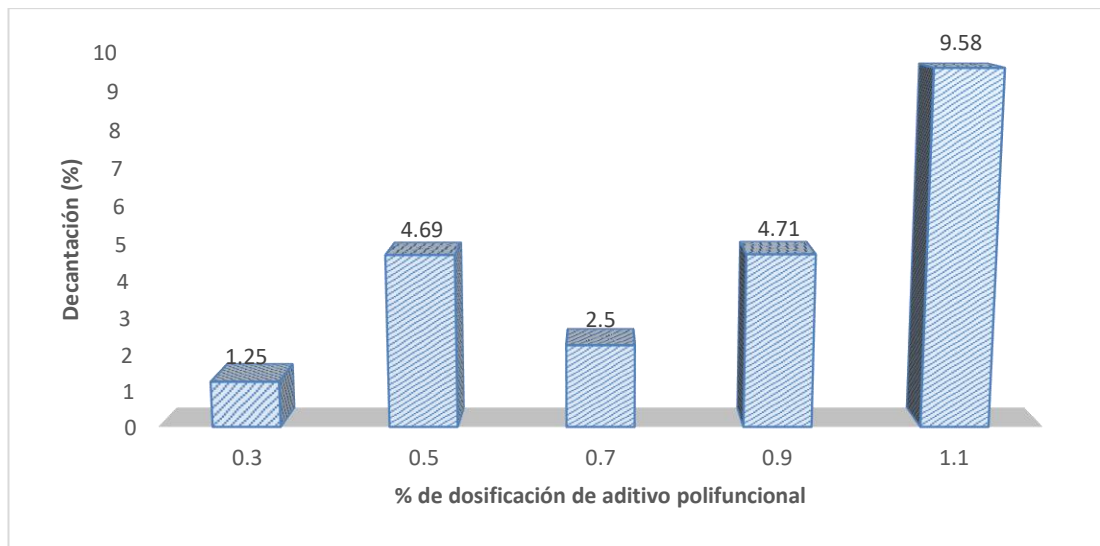


Figura 41. Decantación de lechada con diferentes dosificaciones de aditivo polifuncional.

En la Figura 41, se observa que en el rango con 0.3% de aditivo polifuncional, la mezcla de inyección alcanza su mejor estabilidad presentando una decantación menor a 5%. Con una proporción mayor a 1.1% de aditivo, la mezcla será inestable y estará sujeta a un comportamiento difícil de predecir. Por lo tanto, para el proceso de inyección se trabajó con un rango de 0.7% a 0.9% de aditivo polifuncional, que hasta el momento cumple con los valores óptimos de decantación y con el tiempo de fluidez óptima de 38.58 segundos a 38.33 segundos.

5.3.1.3 Ensayo de Cohesión

La cohesión de la lechada se determinó por medio de una placa de acero inoxidable cuadrada con un espesor de 2mm, rayada en cuadrículas cada 0.5 cm en ambas caras. El procedimiento consistió en pesar la placa seca, después se introduce totalmente en la mezcla de inyección por 5 segundos, se saca, se escurre y luego se pesa nuevamente, del cual se obtiene la diferencia entre el peso seco y el peso con mezcla, luego se divide entre el área de la placa, obteniéndose así la cohesión en gr/cm^2 .

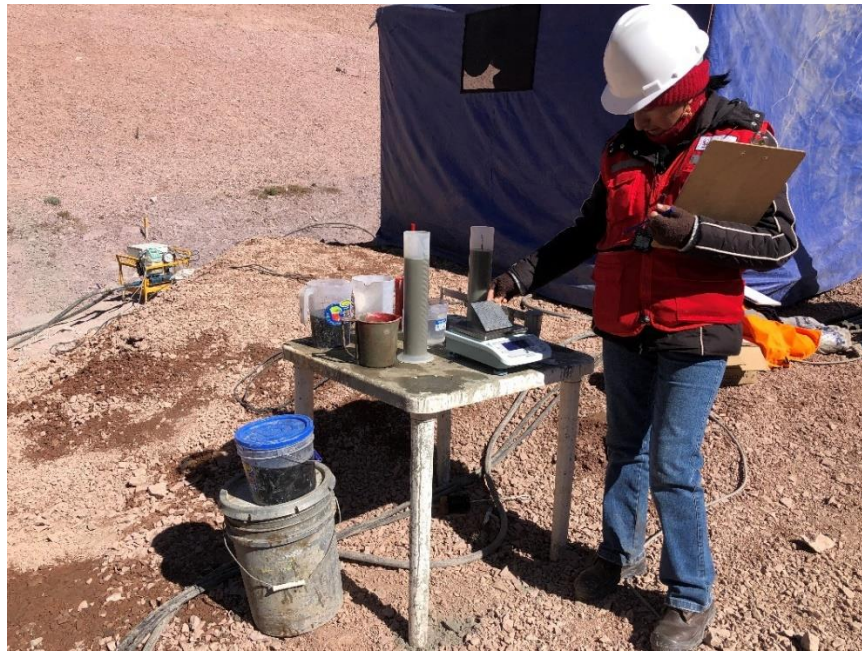


Figura 42. Ejecución del ensayo de cohesión.

En la Figura 43 se presenta el promedio de los resultados obtenidos de los ensayos de cohesión con diferentes proporciones de aditivo polifuncional, como se muestra a continuación:

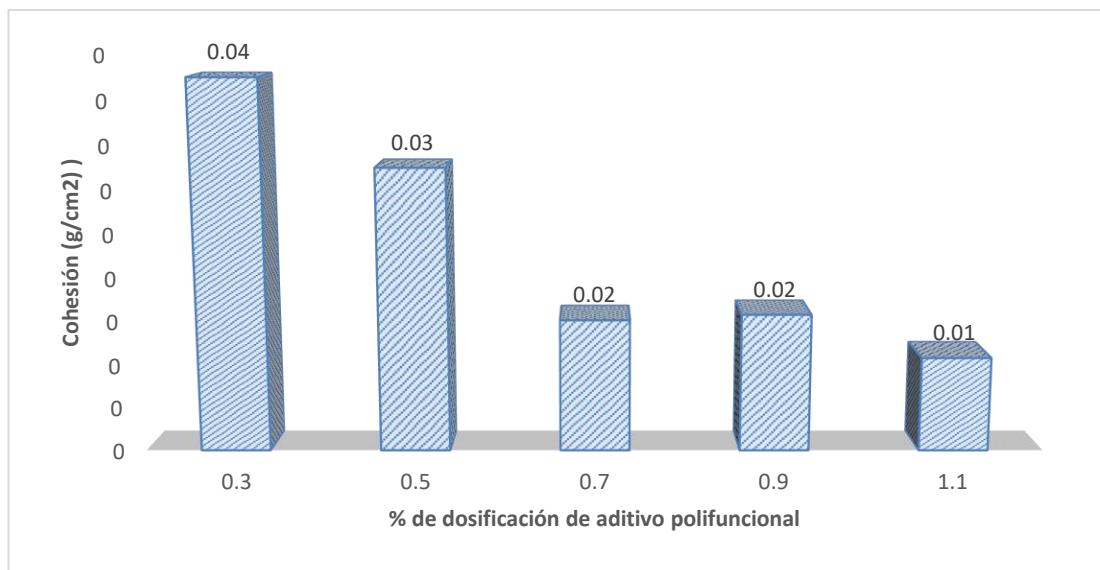


Figura 43. Cohesión de lechada con diferentes dosificaciones de aditivo polifuncional.

Según Figura 43 se observa que en el rango con 0.7%, 0.9% y 1.1% de aditivo la mezcla alcanzó valores de cohesión de 0.02g/cm², 0.02g/cm² y 0.01g/cm² respectivamente, los cuales cumplen con los valores óptimos de cohesión, a diferencia

de los valores obtenidos con un porcentaje de aditivo 0.3% y 0.5% que no cumplen con los valores óptimos necesarios.

5.3.1.4 Ensayo de Densidad de la Mezcla

Los valores de densidad de la mezcla de inyección se determinaron directamente empleando una balanza de lodos, donde se vacía cuidadosamente la lechada y después del equilibrio se lee directamente la densidad en la barra graduada.



Figura 44. Ejecución del ensayo de densidad.

A continuación, en la Figura 45 se presenta el promedio de los ensayos de densidad que se realizaron con diferentes dosificaciones de aditivo polifuncional, obteniéndose los siguientes resultados:

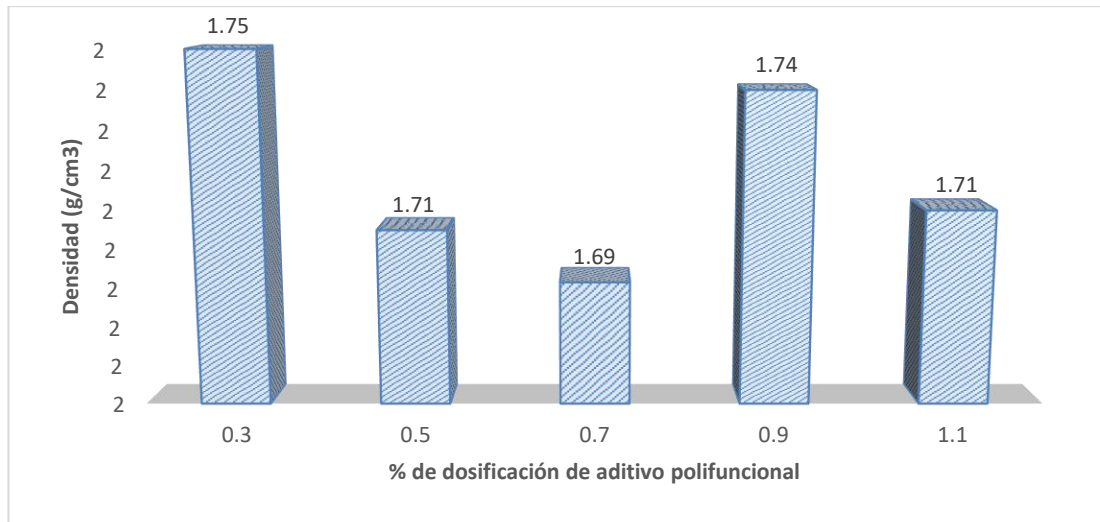


Figura 45. Densidades de lechada con diferentes dosificaciones de aditivo polifuncional.

Según la Figura 45 los valores óptimos se encuentran con 0.5% y 1.1% de aditivo equivalente a 1.71 g/cm³, los cuales no cumplen con las condiciones de fluidez y cohesión. Por lo tanto, en la impermeabilización del plinto de la represa Pallcca se utilizó el aditivo polifuncional de 0.7 en relación con el peso del cemento el cual cumple con un valor óptimo de 1.69 g/cm³.

5.3.2 Inyecciones de Lechada con Método GIN

5.3.2.1 Selección de Mezcla

Para tener un diseño de mezcla adecuado para el proyecto, se realizó una serie de ensayos de laboratorio en campo, los cuales se hicieron con diferentes dosificaciones de aditivo y se llevaron a cabo en una mezcla estable, luego se analizaron (los gráficos de fluidez, decantación, densidad y cohesión) y se seleccionaron las posibles mezclas estables para la inyección, estos resultados se muestran en la



Tabla 56.

Tabla 56. Selección de mezcla de inyección para la represa Palleca.

Relación a/c	Aditivo	Temperatura a mezcla (°C)	Fluidez (seg.)	Decantación en 2 horas	Densidad (g/cm ³)	Cohesión (g/cm ²)
0.65/1	0.7 %	11.5	38.58	2.5	1.69	0.02
0.65/1	0.9 %	12.5	38.33	4.71	1.74	0.02

Por lo tanto, para la impermeabilización del plinto de la represa Palleca, considerando los datos de cohesión, decantación, densidad y fluidez de la mezcla se utilizó el aditivo polifuncional con un porcentaje de 0.7 % en relación con el peso del cemento que presenta un comportamiento fluido y estable con los siguientes parámetros:

Tabla 57. Parámetro seleccionado para la calidad de mezcla.

Descripción	Tipo de ensayo	Valor	Unidades
Viscosidad (fluidez)	Cono Marsh	38 a 40s.	Segundos/litro
Densidad	Balanza de lodos	1.69 a 1.70 g/cm ³	g/cm ³
Decantación	Probeta de decantación	2.5 a 3.5% en dos horas	%
Cohesión	Placa metálica ranurada	0.01 a 0.03 gr/cm ²	gr/cm ²

5.3.2.2 Elección de la Curva GIN y Presión de Inyección

Debido a las condiciones del macizo rocoso y según la bibliografía encontrada el cual indica que "... La presión máxima (de inyección) a emplear, debe ser 2 o 3 veces la presión futura del agua en el sitio" (Lombardi, 2001). Enseguida se planteó zonificar en 3 sectores el alineamiento del plinto de acuerdo con la altura máxima de agua futura (NAMO). Y según las investigaciones geotécnicas (logueos, RQD y ensayo de permeabilidad) los cuales se hicieron de acuerdo con las especificaciones técnicas propuestas para la obra.

Tabla 58. Presión máxima de inyección en la represa Palcca.

Zona geotécnica	Altura de agua (máx.)	Presión máxima de agua sobre terreno (bar)	Presión máxima de inyección (bar)
Zona A y B	14.20	1.4	5.0
Zona C, Zona D, Zona E, Zona F	21.70	2.1	7.0
Zona G y H	11.80	1.2	5.0

Fuente: (Expediente técnico Prider 2021)

Tabla 59. volúmenes para presiones máximas de 5 bares y 7 bares.

Presión máxima 15 bar		Presión máxima 7 bar		Presión máxima 5 bar	
Presión (bar)	Volumen (litros)	Presión (bar)	Volumen (litros)	Presión (bar)	Volumen (litros)
15	0.0	7	0	5	0
15	33.3	7	15.6	5	11.11
14	35.7	6.5	16.8	4.5	12.35
13	38.5	6	18.2	4	13.89
12	41.7	5.5	19.8	3.5	15.87
11	45.5	5	21.8	3	18.52
10	50.0	4.5	24.2	2.5	22.22
9	55.6	4	27.3	2	27.78
8	62.5	3.5	31.2	2	27.78
7	71.4	3	36.4	0	27.78
6	83.3	2.5	43.6	-	-
5	100.0	0	43.6	-	-
0	100.0	-	-	-	-

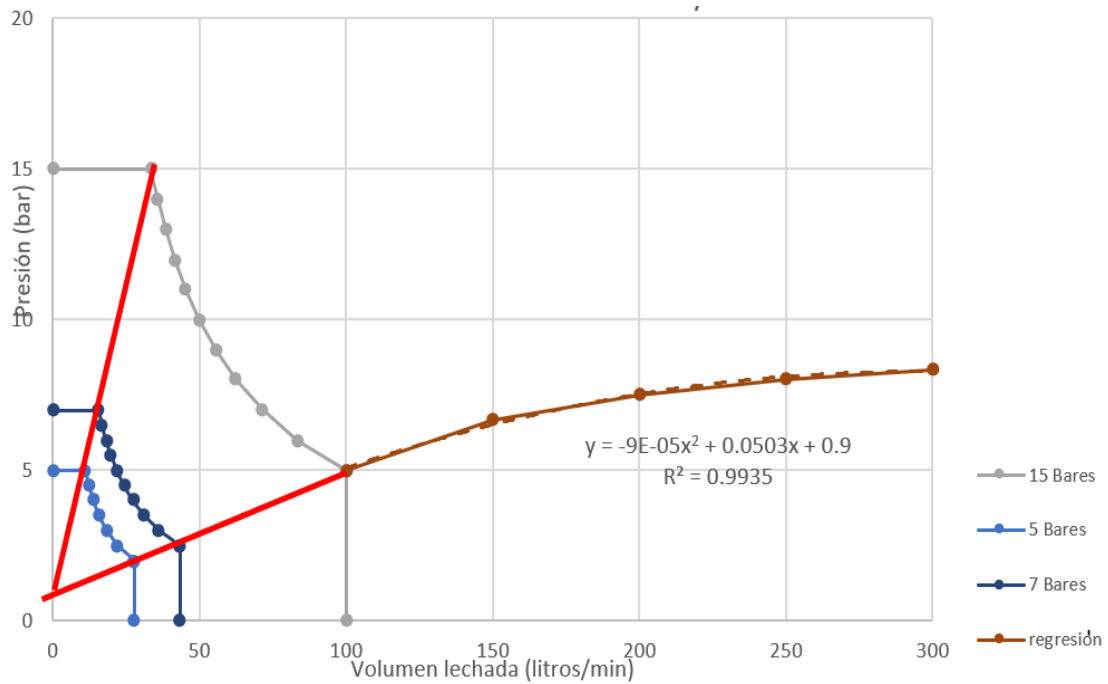


Figura 46. Gráfico GIN para presiones máximas de 5 bar y 7 bar.

5.3.2.3 Pantalla de Impermeabilización y Profundidad de Inyección

Se realizó 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 con una profundidad máxima de 30 metros. La pantalla de impermeabilización tiene una longitud total de 359 m. con dos líneas de inyecciones primarias y secundarias

Tabla 60. Profundidad de inyección y presión máxima.

Zona geotécnica	Profundidad de pantalla	Presión máxima de inyección (bar)
Zona A	10 m.	5.0
Zona B	15 m.	5.0
Zona C	20 m.	7.0
Zona D	20 m.	7.0
Zona E	30 m.	7.0
Zona F	20 m.	7.0
Zona G	15 m.	5.0
Zona H	15 m.	5.0

5.3.2.4 Inyecciones con el Método GIN

Los trabajos de inyección con mortero de cemento se realizaron para el adecuado sellado del eje del dentellón o plinto ubicado al pie del talud aguas arriba del cuerpo de la represa, con el propósito de eliminar cualquier espacio y/o abertura por donde pudiera existir una posibilidad de filtración o conducción de agua.

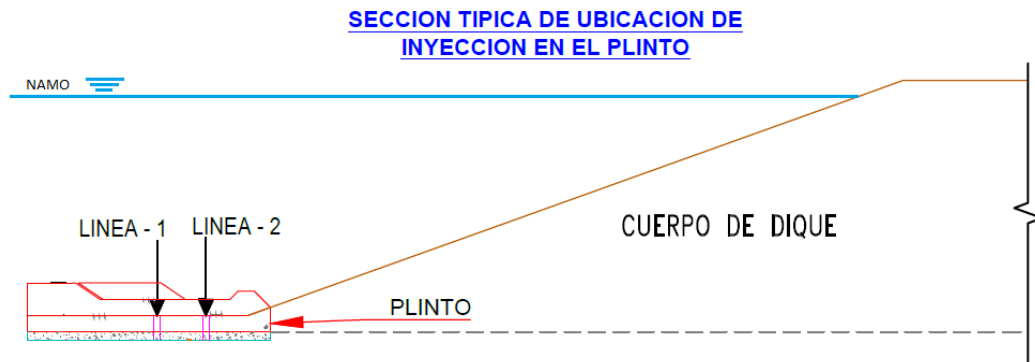


Figura 48. Ubicación de la pantalla de inyección.

La lechada está compuesta principalmente de: agua, cemento y aditivo polifuncional, los cuales fueron previamente diseñadas y aplicadas en la impermeabilización del plinto.

La lechada que se usó para la inyección es una mezcla única para todas las actividades de impermeabilización del macizo rocoso y cumple con la relación de agua/cemento (A/C) de 0.65 %. Asimismo, el aditivo polifuncional aplicado fue de 0.7 %.

Tabla 61. Parámetros de la mezcla de inyección para la represa Pallcca.

Descripción	Tipo de ensayo	Valor	Unidades
Viscosidad (fluidez)	Cono Marsh	38 a 40s.	Segundos/litro
Densidad	Balanza de lodos	1.69 a 1.70 g/cm ³	g/cm ³
Decantación	Probeta de decantación	2.5 a 3.5% en dos horas	%
Cohesión	Placa metálica ranurada	0.01 a 0.03 gr/cm ²	gr/cm ²

La variación de los parámetros se ha visto ocasionado por los cambios de temperatura del agua en la zona.

La perforación e inyección de cada pozo se realizó en tres etapas con la finalidad de lograr la impermeabilización progresiva y gradual de las fracturas de la fundación. En la primera etapa se realizaron las inyecciones de los taladros primarios (P) que se encuentran espaciados a 6 m. En la segunda etapa se inyectaron los taladros secundarios (S) que se encuentran espaciados a 6 m. y luego en la tercera etapa se inyectaron los taladros terciarios (T) que están distanciados 3 m.

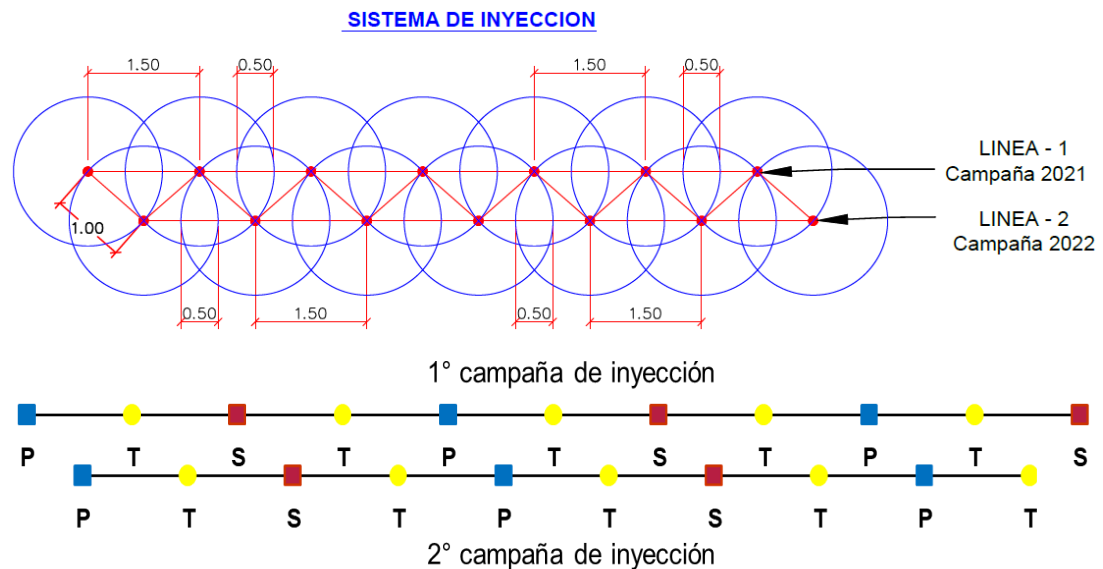


Figura 49. Distribución de los pozos primarios, secundarios y terciarios.

Antes de iniciar con las inyecciones se realiza el lavado de los pozos con abundante agua hasta que el agua salga limpia y luego se verifica que no haya derrumbes en los taladros.

El procedimiento que se realizó para la impermeabilización de la represa Palleca consistió en colocar un obturador (packers) para evitar la segregación de la lechada el cual debe infiltrar en lo posible en las fracturas del macizo rocoso. Inmediatamente se debe mezclar y bombear la lechada prefabricada en una mezcladora especial de alta turbulencia, para que luego el agua y el cemento formen una mezcla homogénea evitando grumos, después esta mezcla es succionada por una bomba de lodos y es lanzada por una manguera de alta presión dentro de los pozos perforados, la inyección se realizó controlando la presión con manómetros, caudalímetros digitales y midiendo el ingreso de lechada en cada tramo con un registro de inyección en tiempo real.



Figura 50. Caudalímetro y registro de inyección en tiempo real.

La fabricación de la lechada se efectúa con turbomezcladores de altas revoluciones (mayores a 1250 r.p.m.) colocando los materiales componentes, en base a las dosificaciones establecidas para el proyecto, con el siguiente orden: agua, cemento y por último el aditivo polifuncional. Una vez adicionado el último componente de la mezcla, se continúa agitando en el turbomezclador durante 3 a 5 minutos, después de esto se envía a los agitadores de bajas revoluciones (60 r.p.m. mínimo) de la estación de inyección, donde se agita durante el proceso de inyección o durante la vida útil de la mezcla.

La presión inicial fue de 0 bar y se incrementó gradualmente según las absorciones de lechada en el tramo inyectado, esta se dio por terminada cuando se alcanzó la presión de rechazo con un caudal menor de 1 l/min/metro durante al menos tres minutos como mínimo. Una vez completada la inyección de un tramo de 5 metros, después se esperó un tiempo determinado para que la presión se disipe, luego se levanta el obturador hasta el tramo superior y se continúa con inyectando del mismo modo en todos los taladros. Al culminar la inyección en cada pozo, se lavan los equipos para evitar la obstrucción parcial o completo de los equipos de inyección con lechada endurecida dentro de ellos.



Figura 51. Trabajos de inyección de lechada.

Las inyecciones de impermeabilización del plinto de la represa Pallcca se ejecutaron respetando los planos del expediente técnico. Inicialmente en la primera etapa de inyección se han inyectado 257 pozos que ascienden a un total de 5100.0 metros lineales, con un consumo total de 2980 bolsas de cemento. Por otro lado, en la segunda etapa de inyección se han inyectado 243 pozos entre primarios, secundarios y terciarios los cuales ascienden a un total de 2757.0 metros lineales con un consumo total de 1699 bolsas de cemento.

Como ya se mencionó anteriormente el eje del plinto se zonificó en 3 sectores de acuerdo con la presión futura del agua y según la calidad de la roca, así mismo, adicionalmente se realizaron planos de absorción de lechada por cada sondaje y el adecuado procesamiento, análisis e interpretación del comportamiento de las curvas de trayectoria de inyectado, de todas las inyecciones tanto en la primera etapa, segunda etapa y tercera etapa. Estos gráficos de inyección se procesan por tramo y por taladro presentando curvas de presión vs volumen, penetrabilidad y caudal, estas curvas de trayectoria de inyectado indican el comportamiento de admisión de lechada en los diferentes tramos y brindan un criterio de cierre de la pantalla impermeable, a continuación, analizaremos algunos gráficos de presión vs volumen más representativos:

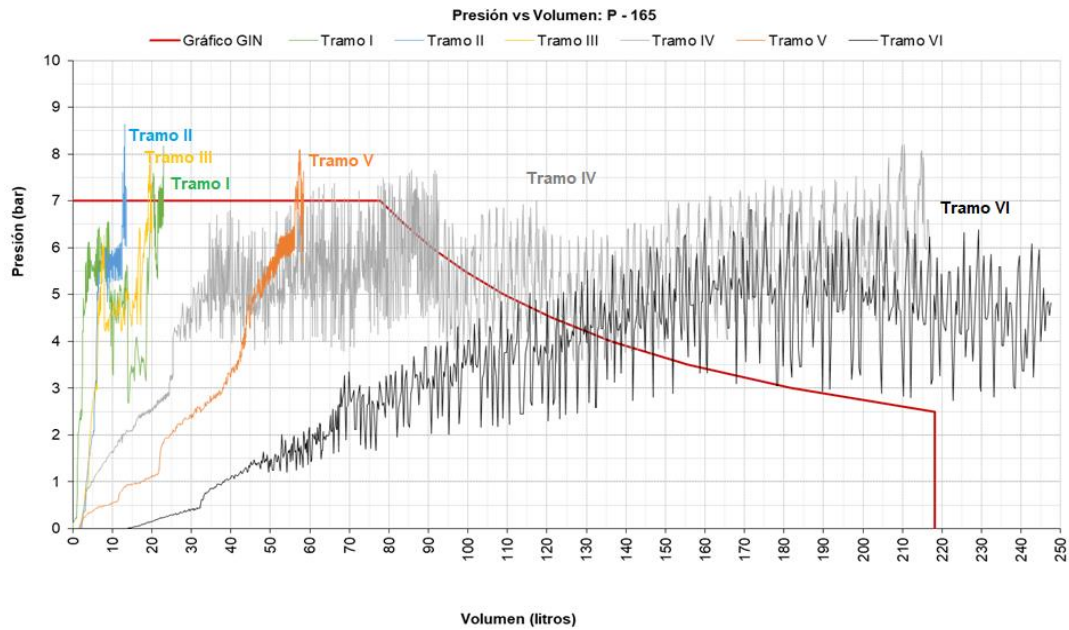


Figura 52. Curvas de trayectoria P-V, pozo P-165.

En la Figura 52 se muestran las diferentes trayectorias de P-V (presión - volumen) que representa a cada tramo inyectado del pozo P-165, que tiene una longitud total de 30 metros (cada tramo de 0.00 – 5.00 m en forma ascendente).

En el tramo I, II, III y V se observa que las líneas de inyección se incrementan paralelas al eje “Y” (presión), indicando un sector donde la roca ya ha sido impermeabilizada y está ligeramente fracturada donde la presión de inyectado se eleva rápidamente con pequeñas cantidades de lechada.

Por otro lado, el tramo IV y VI, muestra un volumen creciente de lechada donde la presión aumenta gradualmente conforme el volumen de lechada penetra. Esto indica que la roca en este tramo está fracturada o las fisuras están abiertas y necesitan ser inyectados.

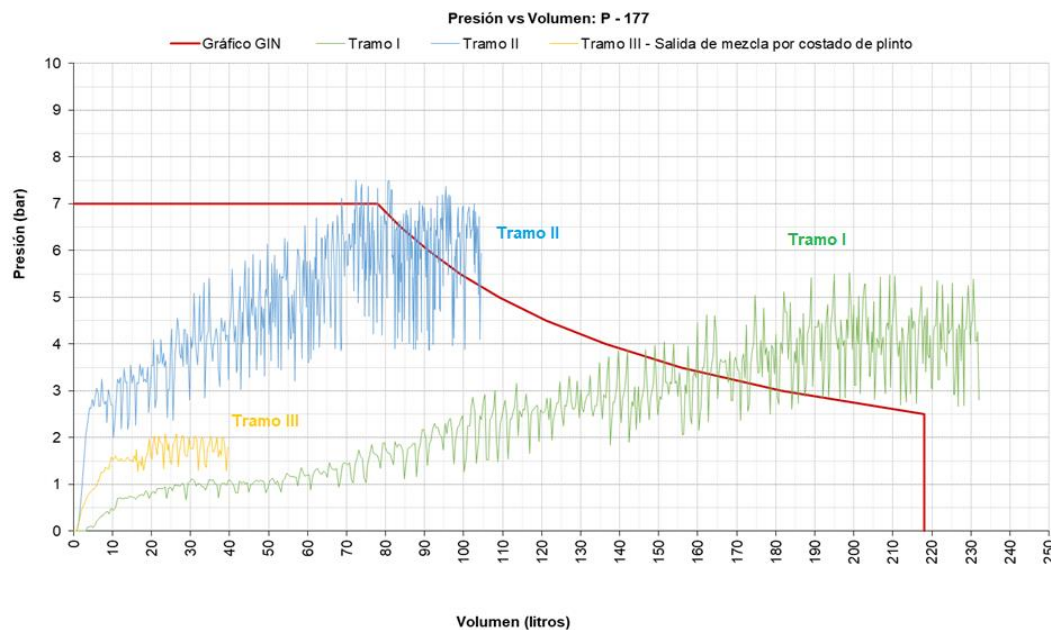


Figura 53. Curvas de trayectoria P-V, pozo P-177.

En la Figura 53 en el tramo I se observa un volumen creciente de lechada donde la presión aumenta gradualmente conforme es inyectado. Esto indica una zona donde la roca está fracturada o las fisuras de las rocas están abiertas.

En el tramo II se observa una zona donde las fisuras están poco abiertas, lo cual nos indica una zona donde la roca está ligeramente fracturada y la presión de inyectado se eleva gradualmente con cantidades moderadas de lechada.

En el tramo III se observa un volumen creciente de lechada con un ligero incremento de presión, donde se detuvo el proceso de inyección debido a la fuga de lechada por el borde del plinto. Esto nos indica que la parte superficial del macizo rocoso se encuentra muy fracturado y presenta fracturas interconectadas.

5.3.3 Control de Absorción de Lechada en el Plinto

Se realizaron pozos de control para verificar la inyección en la campaña 2021 y 2022, espaciados cada 12 m. los cuales se hicieron de igual profundidad a la primera campaña de inyección para poder ser comparados, Los pozos inyectados (barras de color rojo), corresponden a los que se realizaron en esta segunda campaña de inyección (2022), por otro lado, los pozos inyectados en la primera campaña de inyección (2021) están representadas por las barras de color amarillo, de esta comparación, se aprecia el



consumo de bolsas de cemento por pozo inyectado en la segunda campaña de inyección 2022 de igual profundidad a la primera campaña 2021 muestra el siguiente comportamiento:

Tabla 62. Pozos de control para verificación de inyección en la campaña 2021 y 2022.

Pozos de control	Bolsas Inyectadas campaña 2021	Bolsas Inyectadas campaña 2022
P-29	5 bolsas	0.9 bolsas
P-37	3 bolsas	2.5 bolsas
P-53	4.6 bolsas	2.6 bolsas
P-61	4 bolsas	4.2 bolsas
P-69	18 bolsas	5.6 bolsas
P-77	9 bolsas	13.4 bolsas
P-85	15 bolsas	12.0 bolsas
P-93	3.8 bolsas	9.9 bolsas
P-101	24 bolsas	11.1 bolsas
P-109	6 bolsas	3.3 bolsas
P-117	30 bolsas	8.7 bolsas
P-125	13 bolsas	18.6 bolsas
P-133	12 bolsas	9.9 bolsas
P-141	4.3 bolsas	8.0 bolsas
P-149	7 bolsas	31.9 bolsas
P-157	14 bolsas	20 bolsas
P-165	17 bolsas	15.2 bolsas
P-173	28 bolsas	16.1 bolsas
P-181	7 bolsas	16.6 bolsas
P-189	8 bolsas	8.5 bolsas
P-197	14 bolsas	4.8 bolsas
P-205	10 bolsas	5.7 bolsas
P-213	7 bolsas	4.0 bolsas
P-221	27 bolsas	37.0 bolsas

Se ha notado en los gráficos GIN que el contacto Plinto – Roca debe continuar sometándose a impermeabilización, esto debido al alto consumo de mezcla y no cumplir con el criterio de cierre. Asimismo, cabe resaltar la presencia de



pseudoestratificación de la roca andesita (altamente meteorizada) por debajo del cuerpo de la represa. El mismo que debe someterse a evaluación geotécnica continua e instrumentación.

Se recomienda realizar una tercera línea en los pozos con alto consumo de mezcla, zonas geológicamente no favorables y geotécnicamente desfavorables. Asimismo, en contacto Roca/Plinto (anomalías) a lo largo del plinto.

Se recomienda evitar todo tipo de vibraciones de alta intensidad que podría afectar las fracturas ya reemplazados por mortero de cemento, en caso de realizar actividades como voladura debe ser estrictamente controlado para evitar apertura de fracturas del macizo rocoso.

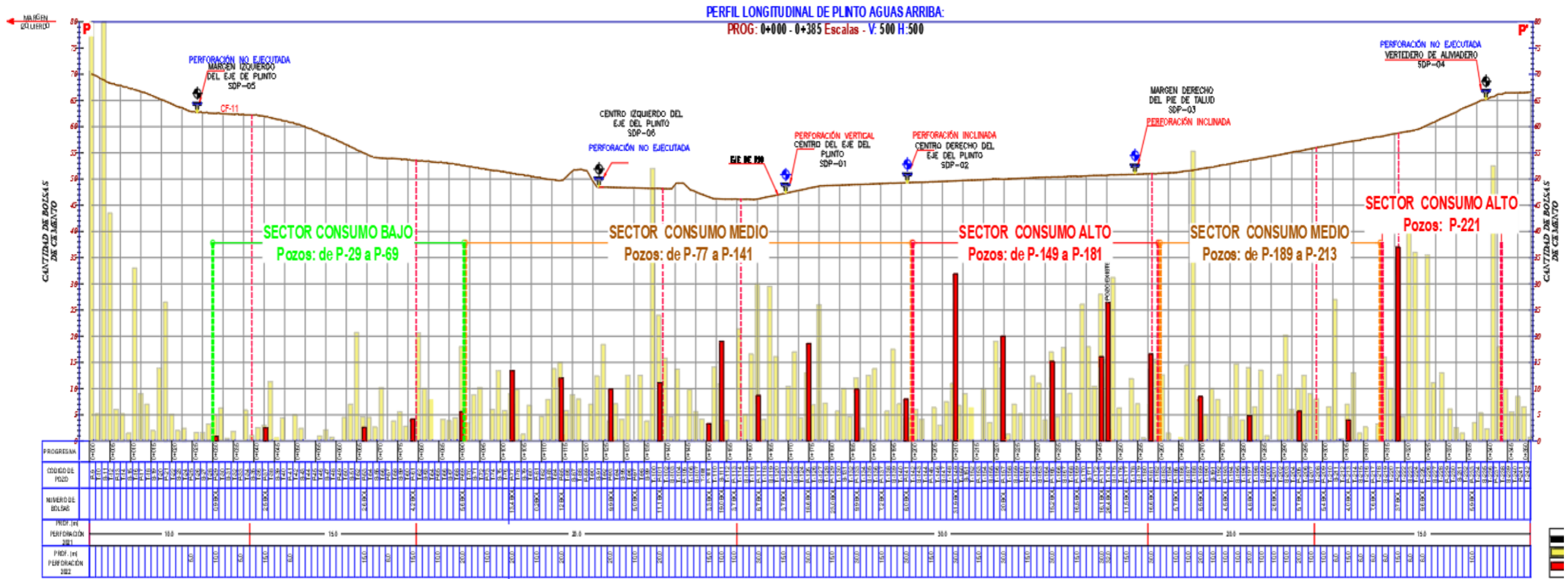


Figura 54. Ubicación de pozos de control de la primera y segunda campaña de inyección.

Sector de consumo bajo	Sector de consumo medio	Sector de consumo alto	Sector de consumo medio	Sector de consumo alto
Entre los pozos P-29 al P-69 encontramos un sector de bajo consumo de bolsas de cemento con un máximo de 5.6 bolsas y se aprecia que los consumos han disminuido en un rango de 29% a 81% con respecto a pozos cercanos inyectados en el año 2021.	Entre los pozos P-77 al P-141 encontramos un sector de consumo medio de bolsas de cemento con un promedio de 10.5 bolsas de cemento, esto se debe a que el macizo rocoso se encuentra fracturado.	Entre los pozos P-149 al P-181 encontramos un sector de alto consumo de bolsas de cemento que varía de 15.2 bolsas a 31.9 bolsas, esto debido a la presencia de agua y alto grado de fracturamiento que presenta el macizo rocoso.	Entre los pozos del P-189 al P-213 encontramos un sector de consumo medio de bolsas de cemento con un máximo de 5.75 bolsas y se aprecia que los consumos han disminuido en un rango de 39% a 43% con respecto a pozos cercanos inyectados en el año 2021.	En el pozo P-221 encontramos un sector de alto consumo de bolsas de cemento con 37 bolsas, coincidente con las fallas identificadas en campo (margen derecha).



5.3.3.1 Consumo de mezcla por Pozos Perforados

A continuación, se presenta los consumos de bolsas de cemento obtenidos en esta segunda campaña 2022 (color verde) con respecto a la primera campaña 2021 (color amarillo). Como se puede observar en la Figura 55 los pozos inyectados representados en barras de color verde corresponden a los todos los trabajos de inyección realizados en la segunda campaña de impermeabilización (2022), por otro lado, los pozos inyectados en la primera campaña de impermeabilización (2021) están representados por barras de color amarillo, de esta comparación se puede apreciar que el consumo de bolsas de cemento por pozo inyectado en la segunda campaña ha disminuido mejorado así la impermeabilización del macizo rocoso donde se emplaza la represa Pallcca.

El consumo elevado de cemento se presenta debido a las malas condiciones del macizo rocoso, el cual en determinadas zonas se encuentra muy fracturado a fracturado y a la presencia fallas locales que afloran en los estribos de la represa y que presentan una conexión evidente. En consecuencia, existe un alto consumo de cemento en el estribo derecho y estribo izquierdo de la represa Pallcca.

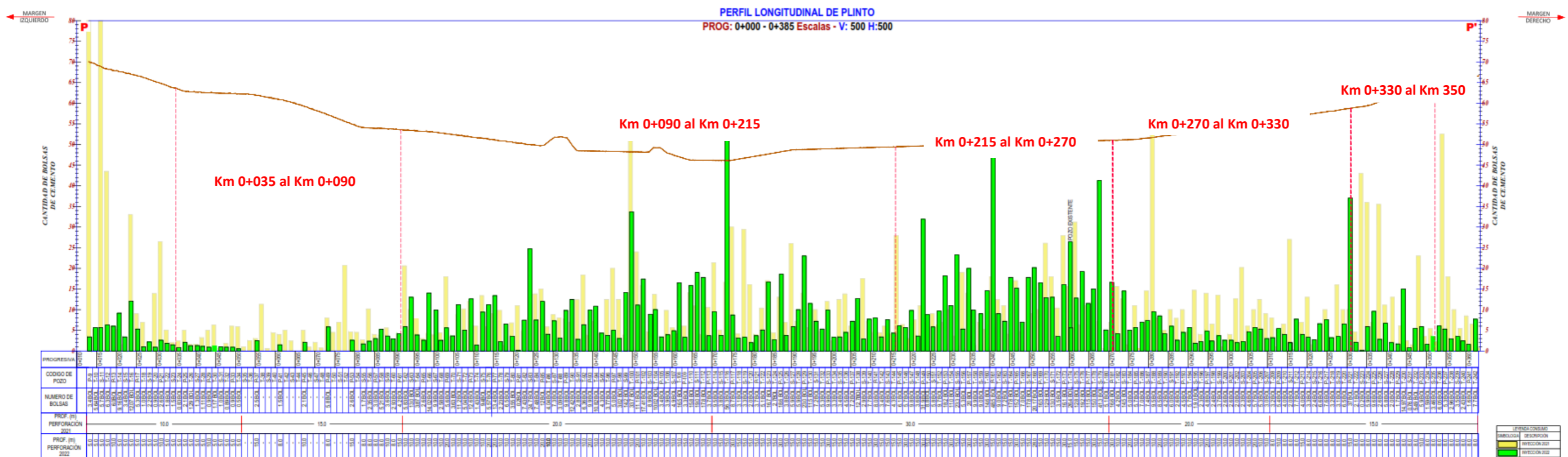


Figura 55. Consumo de cemento de la primera campaña (color amarillo, 2021) respecto a la segunda campaña (color verde, 2022).

Margen Izquierda Km 0+00 al Km 0+35	Margen Izquierda Km 0+35 al Km 0+90	Centro del plinto Km 0+90 al Km 0+215	Centro del plinto Km 0+215 al Km 0+270	Margen Derecha Km 0+270 al Km 0+330	Margen Derecha Km 0+330 al Km 0+350
Se observa que los pozos T-02, P-09, S-11, T-12, T-16, T-20 y P-21 tuvieron un alto consumo de cemento (admisión) en la primera campaña, en este sector el macizo rocoso presenta un fuerte diaclasamiento y se encuentra muy fracturado.	Se observa un consumo de cemento (admisión) bajo en todos los pozos, en este sector la roca presenta una calidad de roca buena, tanto en superficie como en profundidad.	Se observa que los pozos T-62, P-69, S-83, P-101, T-114 y T-20 tuvieron un consumo medio de cemento a diferencia de los pozos T-100, P-117, S-119, S-127 y P-144 que tuvieron un consumo de cemento alto, en este sector el macizo rocoso se encuentra diaclasado y muy fracturado. corresponde a una mala calidad.	En este sector se observa un consumo alto de cemento en los pozos P-149, P-153, P-155, P-161, T-174, S-179 y en los demás pozos se tuvo un consumo de cemento medio. Esto se debe a que en este sector la calidad de la roca es regular, mala y muy mala. Con interconexión de pozos.	En este sector se observa un consumo de cemento medio en todos los pozos. Los cuales presentan una calidad de roca buena en algunos pozos, en otros regular y en otros pozos la calidad de los pozos es mala.	En este sector se observa un consumo alto de cemento en el pozo P-221, esto se debe a la presencia de fallas en el estribo derecho de la represa los cuales necesitan volver a ser inyectados.

5.3.4 Ensayos de Permeabilidad Pre y Post Impermeabilización

En este ítem compararemos los valores iniciales de permeabilidad (K) obtenidos en la primera campaña de inyección 2021 con los valores obtenidos en la segunda campaña de inyección 2022, asimismo contrastaremos con los valores que se tiene del expediente técnico.

5.3.4.1 Primera Campaña de Inyección 2021

En los trabajos efectuados durante los meses noviembre a diciembre del 2021, se obtuvieron valores de permeabilidad entre $2.71E-04$ cm/s a $9.68E-03$ cm/s que corresponde a una clasificación de material Permeable a Muy Permeable; mejorando las condiciones en cuanto a impermeabilidad del macizo rocoso, respecto a valores de permeabilidad obtenidos en el expediente técnico del año 2012 de valores de hasta $2.51E-1$ cm/s y $1.03E-2$ cm/s que corresponde a un material Altamente Permeable.

Seguidamente en Figura 56 podemos observar que, de todos los pozos ensayados en la primera campaña de inyección, se evidencia claramente que las permeabilidades se encuentran en el rango de materiales Muy Permeables y Permeables.

5.3.4.2 Segunda Campaña de Inyección 2022

En los trabajos efectuados durante los meses junio, julio y agosto del 2022, se obtuvieron valores de permeabilidad entre $1.28E-07$ cm/s a $3.94E-04$ cm/s (ver Figura 56) el cual corresponde a un material Permeable a Poco Impermeable, notándose una reducción de la permeabilidad en comparación a los valores obtenidos en la primera campaña de inyección. En los pozos T-170 y T-178 se detectó una permeabilidad de $8.76E-02$ cm/s y $5.43E-02$ cm/s respectivamente, debido a que son pozos surgentes



con agua a nivel superficial, esto genera que los valores de permeabilidad resulten distorsionados, en consecuencia, no son valores representativos.

Al efectuar una comparación respecto a la campaña del año 2021, se observa una mejoría en cuanto a al grado de permeabilidad del macizo rocoso reduciendo los valores de conductividad hidráulica en la cimentación de la represa Palcca indicando que la impermeabilización del plinto es satisfactoria.

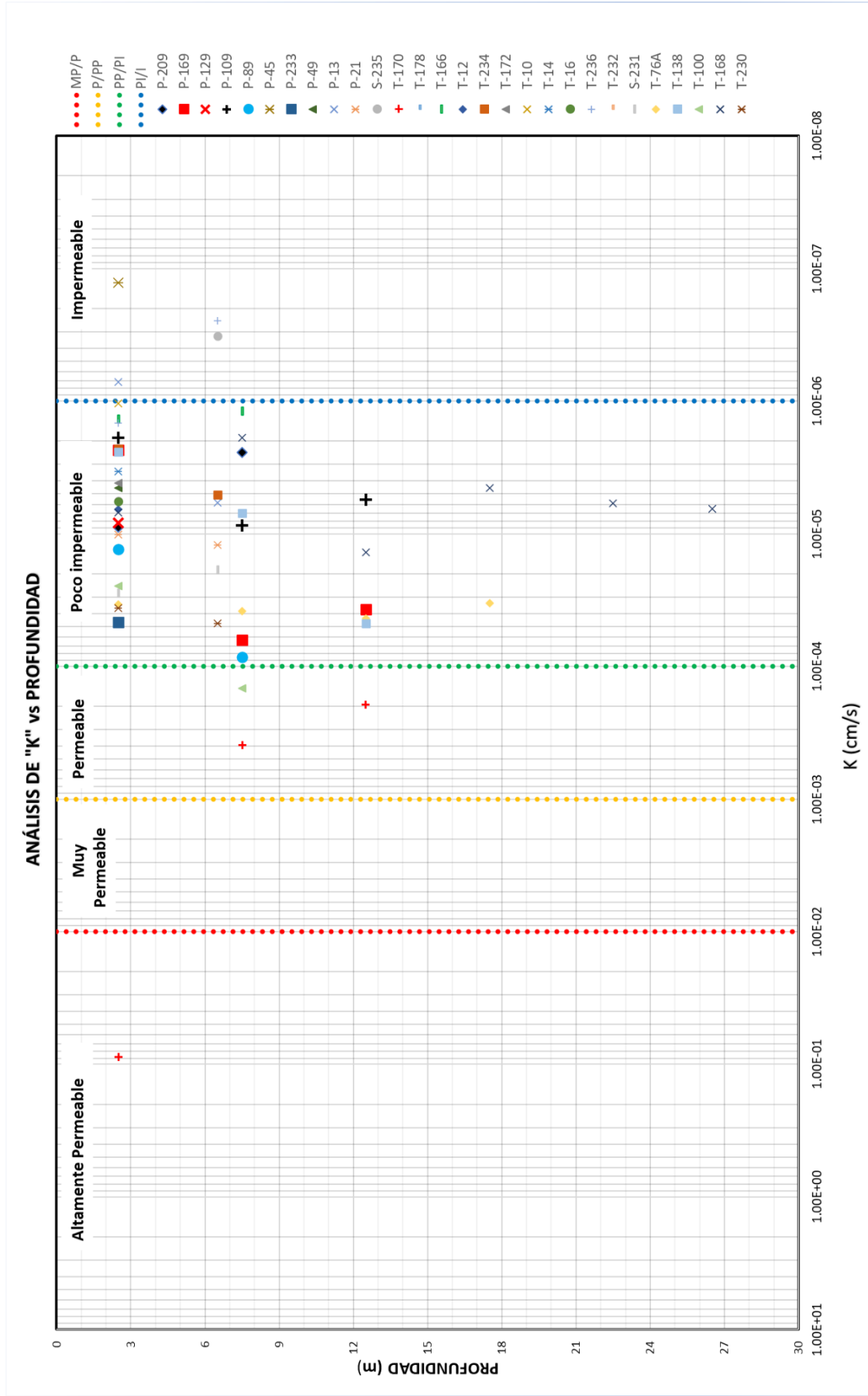


Figura 57. Valores de permeabilidad versus profundidad en la segunda campaña de inyección 2022.



Figura 58. Flujo de lechada a través de discontinuidades en afloramiento de andesita.



Figura 59. Evidencia de mezcla inyectada en campaña 2021.



VI. CONCLUSIONES

- Como parte de la evaluación de la calidad del macizo rocoso se ha efectuado 39 perforaciones diamantinas distribuidas a lo largo del plinto con un total de 547.50 metros perforados, con los cuales se ha realizado un registro lineal de los testigos de perforación y se evaluó las condiciones del macizo rocoso recuperado (Resistencia de la roca intacta, Valor RQD%, espaciado de discontinuidades, condición de las discontinuidades, condiciones generales del agua subterránea y ajuste por orientación de discontinuidades). El tipo de litología y la clasificación del macizo rocoso del plinto dio lugar a dividir en 8 sectores geotécnicos que van en orden alfabético, este inicia en el estribo izquierdo y termina en el estribo derecho; la zona A presenta RMR 43 (Regular), zona B presenta RMR 77 (Buena), zona C presenta RMR 38 (Mala), zona D presenta RMR 39 (Mala), zona E presenta RMR 31.8 (Mala), zona F presenta RMR 38.7 (Mala), zona G presenta RMR 31.2 (Mala), zona H presenta RMR 56 (Regular). Las zonas con calidad de roca Mala son Zona: C, D, E, F y G que se ejecutó pantallas de impermeabilización con profundidades de 20, 20, 30, 20 y 15 metros respectivamente. La zona A y H presentó calidad de roca Regular que se ejecutó una pantalla de 10 y 15 metros de profundidad respectivamente. Mientras que la Zona B presentó roca de Buena calidad al cual se ejecutó una pantalla de 15 metros de profundidad.
- En los trabajos efectuados durante los meses noviembre a diciembre del 2021, se obtuvieron valores de permeabilidad entre $2.71E-04$ cm/s a $9.68E-03$ cm/s que corresponde a una clasificación de material Permeable a Muy Permeable. En la campaña de junio, julio y agosto del 2022, se obtuvieron valores de permeabilidad entre $1.28E-07$ cm/s a $3.94E-04$ cm/s, el cual corresponde a un material Permeable



a Poco Impermeable. Respecto a valores Lugeon en campaña 2021 se obtuvo entre 2.18 a 8.60, que corresponde a un grado DESFAVORABLE, en la campaña 2022 se obtuvo valores entre 0.04 UL hasta 11.20 UL que corresponde a un grado FAVORABLE A DESFAVORABLE.

- Se ha comprobado la eficiencia del método de inyección para lo cual se han realizado ensayos de permeabilidad durante los trabajos de inyección en la campaña octubre, noviembre, diciembre 2021 y junio, julio y agosto 2022 en los cuales se obtuvieron resultados favorables en la aplicación del método, en la campaña octubre del 2021 se tuvo valores de permeabilidad entre $2.71E-04$ cm/s a $9.68E-03$ cm/s, en la campaña junio del 2022 se obtuvo valores de permeabilidad $1.28E-07$ cm/s a $3.94E-04$ cm/s y en el expediente técnico se ha determinado valores de permeabilidad de hasta $2.51E-1$ cm/s y $1.03E-2$ cm/s. Según estos resultados de permeabilidad se evidencia una clara reducción del valor K con respecto al expediente técnico concluyendo así que la impermeabilización del macizo rocoso del terreno de fundación de la represa Pallcca, es posible utilizando el método GIN como un criterio de impermeabilización efectiva.



VII. RECOMENDACIONES

- Se ha notado en los gráficos GIN que el contacto Plinto – Roca debe continuar sometido a impermeabilización, esto debido al alto consumo de mezcla y no cumplir con el criterio de cierre. Asimismo, cabe resaltar la presencia de pseudoestratificación de la roca andesita (altamente meteorizada) por debajo del cuerpo de la represa. El mismo que debe someterse a evaluación geotécnica continua e instrumentación.
- Se recomienda, realizar una tercera campaña de inyección en sectores con alto consumo de mezcla, zonas geológicamente no favorables (fallas geológicas), geotécnicamente desfavorables (RMR Mala, donde se ha evidenciado que los pozos contiguos se interconectan entre sí, debido a que en esta zona existe un fuerte diaclasamiento del estrato rocoso y presencia de agua a nivel superficial y corroborándose con el alto consumo de cemento). Asimismo, debe continuarse los trabajos de inyección en el contacto Roca/Plinto (anomalías) a lo largo del plinto.
- Se recomienda evitar todo tipo de vibraciones de alta intensidad que podría afectar las fracturas ya reemplazados por mortero de cemento, en caso de realizar actividades como voladura debe ser estrictamente controlado para evitar apertura de fracturas del macizo rocoso.



VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bieniawski, Z. T. (1989). *Engineering Rock Mass Classifications: A complete Manual for Engineers and Geologist in Mining, Civil, and Petroleum Engineering*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Bonin, G., Rombough, V., Carter, T., & Jefferies, M. (2012). Towards Better Injection Control and Verification of Rock Grouting. *ASCE Library*, 1460-1471. doi:<https://doi.org/10.1061/9780784412350.0122>
- Cerrón, F., & Ticona, P. (2003). *Memoria Descriptiva de la Revisión y Actualización del Cuadrángulo de Pampas (25-ñ)*. Lima: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico.
- CFE Comisión Federal de Electricidad. (2021). *Realización de Pruebas Lefranc - Guía CFE 10000-73*. México.
- D'Andrea, E., & Kanji, M. (s.f.). Metodología para Caracterización de Mezclas de Inyección. *VII Congreso Nacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones*, (págs. 215 - 321).
- Dassargues, A. (2019). Hydraulic Conductivity Measurements. En A. Dassargues, *Hydrogeology Groundwater Science and Engineering* (pág. 144). Florida: CRC Press Taylor & Francis Group.
- Deere, D. U., & Deere, D. W. (1989). Rock Quality Designation (RQD) after 20 years. *U.S. Army Corps Engrs Contract Report GL-89-1*, 100.
- El Tani, M. (2012). Grouting Rock Fractures with Cement Grout. *Rock Mechanics and Rock Engineering*.
- Eriksson, M. (2002). *Prediction of Grout Spread and Sealing Effect*. Tesis Doctoral, Royal Institute of Technology.
- Ewert, F.-K. (1985). *Rock Grouting with Emphasis on Dam Sites*. Berlin: Springer.



- Fell, R., MacGregor, P., Stapledon, D., Bell, G., & Foster, M. (2015). *Geotechnical Engineering of Dams*. London: Taylor & Francis Group.
- González de Vallejo, L. I., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. (2002). *Ingeniería Geológica*. Madrid: Pearson Educación.
- Guadalupe, R. (2011). Análisis del uso del método GIN (grouting intensity number) en el proyecto hidroeléctrico Mazar. [tesis de pregrado, Escuela Politécnica Nacional]. Repositorio Institucional - Escuela Politécnica Nacional, Quito. Ecuador.
- Hernández Juárez, P. (2013). *Evaluación del Método GIN (Número de Intensidad de Inyectado) en Inyección de Pantallas de Impermeabilización en Macizos Rocosos*. Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería-UNAM, México.
- Herrera Castañeda, S. (2002). Inyecciones en Roca. En Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, *Manual de Construcción Geotécnica*. México.
- Houlsby, A. (1976). *Routine Interpretation of the Lugeon Water-Test* (Vol. 9). Q. J. Eng. Geol.
- Houlsby, A. (1990). *Construction and Design of Cement Grouting*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Lombardi, G. (2002). Grouting of Rock Masses. *Tercera Conferencia Internacional de Grouting y Tratamiento con Lechada*. Suiza: Lombardi Engineering Limited.
- Lombardi, G. (2007). Aspects Spécifiques de L'injection du Massif Rocheux. *Symposium sur L'injection Rabat, 8 Février 2007*. Minusio: Lombardi SA.
- Lombardi, G. (2011). Concrete Face Rockfill Dams Use of GIN Criteria For Consolidation and Impermeabilization of the Foundation Rock. *The Second International Symposium on Rockfill Dam*. Suiza.



- Lombardi, G., & Deere, D. (1993). Grouting Design and Control Using the GIN Principle. *Water Power Dam constr* , 45 (6): 15-22.
- Lopes, M. B., & Assis, A. P. (2020). *Application of Grouting Intensity NUmber in Spillway Foundation at Jirau HPP/RO*. Sao Paulo.
- López Avilés, J., Cerrón Zeballos, F., Carpio Ronquillo, M., & Morales Reyna, M. (1996). *Geología del Cuadrángulo de Huanta*. Lima - Perú: Serie A, Carta Geológica Nacional, Boletín N° 72, Serie A Carta Geológica Nacional.
- López-Molina, J., Valencia Quintanar, J., & Espinosa Guillen, J. (2010). Diseños de los Tratamientos de Impermeabilización-consolidación en la Cimentación y Empotramiento de P.H. La Yesca. *XXV Reunión Nacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica*. Acapulco, Guerrero: Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica A.C.
- Materials, A. S. (2004). *ASTM C191 - Método de prueba estándar para el tiempo de fraguado del cemento hidráulico por vicat*.
- Megard, F. (1979). *Estudio Geológico del Cuadrángulo de Huancayo*. Bol n° 1 O, Serie A Servicio de geología y Minería del Perú.
- Monge, R., & Montoya, C. (2003). *Revisión y Actualización de los Cuadrangulos de San José de Secce (25-ñ), Llochegua (25-o), Huanta (26-ñ) y San Francisco (26-o)*. Lima - Perú: Instituto Geológico Minero Metalurgico.
- Moguel, E. A. R. (2005). *Metodología de la Investigación*. Univ. J. Autónoma de Tabasco.
- Morche, W., Albán, C., De La Cruz, J., & Cerrón, F. (1995). *Geología del Cuadrángulo de Ayacucho*. Lima - Perú: Boletín N° 61, Serie A Carta Geológica Nacional, Instituto Geológico Minero y Metalúrgico.



- Noble, D., Miles, L., Silberman, Megard, F., & Bowman, R. (1978). *Condelite (perakaline rhyolite) and basalt in the Mitu Group, Perú: evidence for Permian Triassic litospheric extension in the central Andes*. Jour. Research U. S. Geol. Survey Vol 6, N° 4, pag 453 - 457.
- Olalla, C., & Sopena, L. (1991). *Ensayos de Campo. Monografía n° 5*. Master en Ingeniería Geológica . Madrid: Universidad Complutense de Madrid .
- Paniagua, W., Valle, J., & Elvira, A. (2010). Pantalla Flexo-impermeable para la Remediación de Suelos Contaminados en la Refinería 18 de Marzo, en la ciudad de México. En S. M. A.C., *XXV Reunión Nacional de Mecánica de suelos e Ingeniería Geotécnica* (Vol. II, pág. 447). México.
- Quiñones-Rozo, C. (2010). Lugeon Test Interpretation, Revisited in: Collaborative Management of Integrated Watersheds. *US Society of Dams, 30 th Anual Conference*, (págs. 405-415).
- Rimachi T. E., (2016). “Aplicación del método GIN para la pantalla de impermeabilización de la presa Pumamayo – Distrito de Macusani – Provincia de Carabaya – Departamento de Puno”. [tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. Repositorio Institucional - Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa - Perú.
- Rodríguez Mejía, R., & Chacaltana Budiel, C. (2003). *Memoria Descriptiva de la Revisión y Actualización del Cuadrángulo de Ayacucho (27 ñ)*. Lima : instituto Geológico Minero y Metalúrgico.
- Santoyo Villa, E., & Ovando Shelley, E. (2002). Inyecciones por Fracturamiento Hidráulico. En S. M. SUELOS, *Manual de Construcción Geotécnica - tomo II* (págs. 587 - 646). México: Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, A.C.



- Valencia, J. (2009). Control de la inyección en la pantalla de impermeabilización mediante el análisis y desarrollo del método GIN [tesis de posgrado, Universidad Nacional Autónoma de México]. Repositorio Institucional - Universidad Nacional Autónoma de México.
- Vaskou, P., de Quadros, E. F., Kanji, M. A., Johnson, T., & Ekmekci, M. (2019). ISRM Suggested Method for the Lugeon Test. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 52, 4155–4174. doi:<https://doi.org/10.1007/s00603-019-01954-x>.
- Weaver, K. (1991). *Dam Foudation Grouting*. New York: ASCE.
- Yaghoobi Rafi, J. (2014). *Study of Pumping Pressure and Stop Criteria in Grouting Of Rock Fractures*. Estocolmo, Suiza: KTH Royal Institute of Technology School of Architecture and the built Environment Department of Civil and Architectural Engineering Division of Soil and Rock Mechanics .