



**VICERRECTORADO ACADÉMICO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS**

**TESIS**

**“INFLUENCIA DEL MÉTODO - INYECCIÓN  
TRADICIONAL DE IMPERMEABILIZACIÓN EN LA  
REDUCCIÓN DE FILTRACIÓN - PRESA DE RELAVE EL  
PORVENIR MAPSAC - 2018”**

Presentado por:

**Bach. Luis Alberto QUITO CARLOS**

Para obtener el título profesional de:

**INGENIERO DE MINAS**

**PASCO – PERÚ**

**2019**

## **DEDICATORIA**

A los trabajadores de la zona II, Nivel 1200, zona de recuperación año 1998 quienes demostraron con sus enseñanzas laborales que querer es poder, pues fue un punto de partida para que mi persona emprenda la senda de la minería y realice lo que más me gusta. A ellos mi sincero reconocimiento y gratitud.

## **AGRADECIMIENTO**

Considero de importancia, mencionar en estas líneas mi muy especial reconocimiento y agradecimiento al personal de la Compañía Minera MILPO S.A.A., especialmente a los ingenieros, que me brindaron las facilidades para el desarrollo y culminación de la presente tesis; así como porque contribuyeron en el enriquecimiento contextual con sus aportes, sugerencias precisas y objetivas.

Igualmente deseo expresar mi sincero agradecimiento a los docentes, quienes nos han transmitido sus conocimientos y experiencias a favor de mi formación profesional; de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería de Minas de la Universidad Alas Peruanas y que han hecho de mí un profesional competente, basado en principios, valores y calidad humana.

Especial gratitud a mis tres hijos, quienes me brindaron su comprensión y apoyo incondicional para lograr con la culminación de mi carrera profesional. Asimismo, me siento orgulloso de ser serreño y servir en la provincia y región de Pasco y, ser útil dentro de la sociedad de nuestro Perú.

## RESUMEN

En principio, para realizar una buena impermeabilización creando cortinas de inyecciones y con ello consolidar la zona a trabajar, es necesario conocer detalladamente los rasgos geotécnicos, geológicos, hidrogeológicos y antecedentes que van a contribuir a desarrollar de buena forma dicha impermeabilización.

En las inyecciones de lechada se utiliza generalmente elementos como el cemento agua y en algunos casos aditivos como la bentonita, los cuales son inyectadas en el macizo rocoso, teniendo como base el estudio de la calidad de la roca a inyectar. En los depósitos de agua se realizan hasta 3 cortinas y en depósitos de relave solo uno con profundidad de 15 a 20 metros aproximadamente.

Esta investigación “INFLUENCIA DEL MÉTODO - INYECCIÓN TRADICIONAL DE IMPERMEABILIZACIÓN EN LA REDUCCIÓN DE FILTRACIÓN - PRESA DE RELAVE EL PORVENIR MAPSAC - 2018” se desarrolló en la Presa de la CIA. Minera MILPO, por la decisión de ampliar el depósito de relaves, planteando el recrecimiento de la cresta de la mencionada presa mediante el método de línea central con relave cicloneado en cuatro fases.

Se tiene un fin del presente trabajo cómo es el de establecer la influencia por acción de las inyecciones y su incidencia en las filtraciones en la presa de relave; de tal manera que se consolide la presa para su recrecimiento en la Unidad Minera El Porvenir MAPSAC.,

Los resultados que se obtuvo en cuanto a la emanación de afluentes, fue que se redujo en un 75% en promedio, ya que inicialmente se tenía un caudal de 0.118 l/s. a 0.03 l/s. según los datos registrados en un periodo de 2 meses de implementada la inyección tradicional de impermeabilización.

**Palabra clave:** Impermeabilización, Mediante Inyecciones de cemento, Flujo.

## ABSTRACT

The improvement of the foundation of a dam, applying the techniques of injections, requires geological, geotechnical, hydrogeological, and builder's experience; having these investigations, you can design the mixtures for the injections and the curtains, waterproofing the area and consolidating it.

The slurry mixtures are usually composed of cement, additives and water, these mixtures are injected into soils and rocks at different pressures, according to the quality of the land, in water dams are usually made of 2 to 3 curtains for a good seal and in dams of relave a single curtain with depths ranging from 15 to 20 m.

This research "INFLUENCE OF THE TRADITIONAL INJECTION METHOD - WATERPROOFING IN THE REDUCTION OF THE FILTRATION - SLAVE DAMAGE THE PERVENIR MAPSAC - 2018" was developed in the CIA Dam. Minera MILPO, which has decided to expand the tailings deposit by considering the regrowth of the Presa ridge using the center line method with cyclone tailings in four phases.

The objective of this thesis is to establish the influence of the injections and their incidence on the leaks in the tailings dam in such a way to consolidate the dam for its re-growth in the Mining Unit El Porvenir MAPSAC.,

The results that were obtained regarding the emanation of tributaries were reduced by 75% of what was initially a flow of 0.118 l / s. respectively registered at 2 months of implementation of the injection drills for the waterproofing of the tailings dam of the MAPSAC El Porvenir Mining Unit, which is an effective incentive.

**Keyword:** Waterproofing, by means of cement injections, flow.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTO .....	iii
RESUMEN .....	iv
ABSTRACT.....	v
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	vi
ÍNDICE DE FIGURA.....	x
ÍNDICE DE CUADROS .....	xi
ÍNDICE DE TABLA .....	xii
ÍNDICE DE GRÁFICOS .....	xiv
INTRODUCCIÓN .....	xv

### CAPITULO I

#### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1	DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA .....	17
1.2	DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	18
	1.2.1 Espacial.....	18
	1.2.2 Temporal.....	24
1.3	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	24
	1.3.1 Problema General.....	24
	1.3.2 Problemas Específicos .....	24
1.4	OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN.....	25
	1.4.1 Objetivo General.....	25
	1.4.2 Objetivos Específicos.....	25
1.5	FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN.....	25
	1.5.1 Hipótesis General.....	25
	1.5.2 Hipótesis Específico.....	25
1.6	VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN .....	26

1.6.1	Variable independiente.....	26
1.6.2	Variable dependiente.....	26
1.6.3	Operacionalización de Variables.....	27
1.7	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN .....	28
1.7.1	Tipo de investigación .....	28
1.7.2	Nivel de investigación.....	28
1.7.3	Método de investigación .....	28
1.7.4	Diseño de investigación .....	28
1.8	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	29
1.8.1	Población.....	29
1.8.2	Muestra.....	29
1.9	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS ..	29
1.9.1	Para recolectar datos .....	29
1.9.2	Para analizar información .....	29
1.10	JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN .....	30
1.10.1	Justificación.....	30
1.10.2	Importancia.....	30
1.11	LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN .....	31
<b>CAPÍTULO II</b>		
2.1	ANTECEDENTES DE ESTUDIO .....	32
2.1.1	Antecedentes nacionales .....	32
2.1.2	Antecedentes Internacionales.....	33
2.2	BASES TEÓRICAS.....	35
2.2.1	Sustento del método de inyección tradicional en la relavera El Porvenir.....	35
2.2.2	Definición de la Variable Método de inyección de impermeabilización.....	35
2.3	Definición de términos básicos .....	51

2.3.1	Cimentación por inyecciones .....	51
2.3.2	Clasificación geomecánica de Bieniawski (RMR).....	51
2.3.3	Densidad.....	52
2.3.4	Exudación.....	52
2.3.5	Filtraciones.....	52
2.3.6	Fluidez.....	52
2.3.7	Ganga .....	53
2.3.8	Índice de la calidad de la roca (RQD).....	53
2.3.9	Impermeabilización.....	53
2.3.10	Lechada.....	53
2.3.11	Método tradicional de inyección .....	53
2.3.12	Medio Inyectables .....	54
2.3.13	Rechazo .....	54
2.3.14	Sedimentación .....	54
2.3.15	Toma.....	54
2.3.16	Tramo .....	55

### CAPÍTULO III

3.1	CONFIABILIDAD Y VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO.....	56
3.1.1	Alfa de Cronbach .....	56
3.2	ANÁLISIS CUANTITATIVO DE LAS VARIABLES .....	58
3.2.1	Caso aplicativo presa de relave el porvenir MAPSAC .....	59
3.2.2	Datos geológicos del sitio. ....	59
3.2.3	Datos de impermeabilidad del área de influencia .....	60
3.2.4	Número de puntos de filtración.....	61
3.2.5	Equipo de perforación .....	61
3.2.6	Equipo para las inyecciones .....	62
3.2.7	Tuberías y accesorios metálicos.....	63

3.2.8	Elaboración de la lechada.....	64
3.2.9	Ensayos ejecutados en laboratorio de campo.....	64
3.2.10	Diseños de mezcla ensayados.....	65
3.2.11	Desarrollo de la prueba de inyectabilidad.....	66
3.3	EJECUCIÓN DE LA INYECCIÓN EN LA PRESA DE RELAVES.....	67
3.3.1	Lavado con agua a presión.....	67
3.3.2	Proceso de inyección.....	68
3.3.3	Método de inyección.....	68
3.4	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	70
3.4.1	Análisis de resultados del volumen de filtración por acción de la impermeabilización (antes y después).....	70
3.4.2	Análisis de resultados de permeabilidad por acción de la impermeabilización.....	73
3.4.3	Análisis de resultados de volumen de exudación por acción de impermeabilización.....	75
3.5	PRUEBA DE NORMALIDAD.....	78
3.5.1	Matriz para el SPSS.....	78

#### CAPÍTULO IV

4.1	PRUEBA DE HIPÓTESIS GENERAL.....	86
4.2	PRUEBA DE HIPÓTESIS ESPECÍFICA.....	90
4.2.1	Hipótesis específica 1.....	90
4.2.2	Hipótesis específica 2.....	93

#### CAPÍTULO V

	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	96
	CONCLUSIONES.....	99
	RECOMENDACIONES.....	101
	BIBLIOGRAFÍA.....	102
	ANEXOS.....	104

**ÍNDICE DE FIGURA**

Figura 1. Ubicación y acceso hacia la Compañía Milpo y la presa de Relave	19
Figura 2. Plano geológico regional	21
Figura 3. Ensayo de carga puntual	41
Figura 4. Ensayo de LUGEON	43
Figura 5. Colocación de cortinas de mortero debajo del macizo rocoso.	43
Figura 6. Distribución de perforaciones primarias, secundarias, terciarias.	44
Figura 7. Disposición del material relave (arenas, lamas) y agua.	46
Figura 8. Crecimiento de presa según línea central	47
Figura 9. Crecimiento de presa según aguas arriba	47
Figura 10. Crecimiento hacia aguas abajo.	48
Figura 11. Estadística de colapsos de presas de tierra.	48
Figura 12. Índice de consistencia	56
Figura 13. Equipo de perforación Boart Longyear	62
Figura 14. Equipo para las inyecciones	63
Figura 15 Dimensión de Hipótesis General	86
Figura 16 Dimensión de Hipótesis Específica 1	90
Figura 17 Dimensión de Hipótesis Específica 2	93

**ÍNDICE DE CUADROS**

Cuadro 1. Operacionalización de variables	27
Cuadro 2. Clasificación Geomecánica de Bieniawski	39
Cuadro 3. Componentes de la lechada utilizada	64

**ÍNDICE DE TABLA**

Tabla 1 Calidad de Roca	38
Tabla 2. Número de muestras	57
Tabla 3. Estadística de los elementos evaluados	58
Tabla 4. Estadísticas de Fiabilidad	58
Tabla 5. Resumen de la clasificación Geomecánica – estaciones Geomecánica	60
Tabla 6. Permeabilidad registrada según el tipo de roca - Presa de relave.	61
Tabla 7. Número de puntos de filtración externa de la Presa.	61
Tabla 8. Diseño de mezclas en laboratorio	66
Tabla 9. Presiones de inyección sondaje DH_EP11-118	69
Tabla 10. Presiones de inyección sondaje DH_EP11-115	70
Tabla 11. Flujo antes y después de la cortina de Inyección	71
Tabla 12. Permeabilidad Antes y Después de la cortina de Inyección	73
Tabla 13. Cálculo de volumen de taladros Primarios por exudación.	75
Tabla 14. Cálculo de volumen de taladros Secundarios por exudación	77
Tabla 15. Cálculo de volumen de taladros Terciarios por exudación	77
Tabla 16. Volumen total de Exudación antes y después de la cortina de Inyección	78
Tabla 17. Datos de filtración	79
Tabla 18. Data de permeabilidad	80
Tabla 19. Data de exudación primer tramo.	81
Tabla 20. Data de exudación segundo tramo.	82
Tabla 21. Data de Exudación tercer tramo	83
Tabla 22. Matriz para el desarrollo del SPSS.	84
Tabla 23. Prueba de Normalidad volumen de filtración	84
Tabla 24. Prueba de Normalidad permeabilidad	84

Tabla 25. Prueba de Normalidad volumen de exudación	85
Tabla 26 Datos para la contratación de Hipótesis	86
Tabla 27. Resumen de procesamiento de casos	87
Tabla 28. Descripción de datos de volumen de filtración	88
Tabla 29. Prueba de correlación volumen de filtración.	88
Tabla 30. Prueba muestras emparejadas volumen de filtración	89
Tabla 31. Resumen de procesamiento de casos hipótesis 1	90
Tabla 32. Descripción de datos de permeabilidad	91
Tabla 33 Prueba correlación entre Permeabilidad.	91
Tabla 34 Prueba Muestras emparejadas de Permeabilidad.	92
Tabla 35. Resumen de procesamiento de casos hipótesis 2	93
Tabla 36. Descripción datos de exudación	94
Tabla 37. Prueba correlación entre Volumen de Exudación	94
Tabla 38. Prueba de Muestras emparejadas de Volumen de Exudación	95

**ÍNDICE DE GRÁFICOS**

Gráfico 1. Pruebas de inyectabilidad	67
Gráfico 2. Comparación de Volumen de Flujo antes y después	72
Gráfico 3. Comparación de Permeabilidad Media	74
Gráfico 4. Curva de Gauss hipótesis general.	89
Gráfico 5. Curva de Gauss hipótesis específica 1	92
Gráfico 6. Curva de Gauss hipótesis específica 2	95

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación, intitulada “INFLUENCIA DEL MÉTODO - INYECCIÓN TRADICIONAL DE IMPERMEABILIZACIÓN EN LA REDUCCIÓN DE FILTRACIÓN - PRESA DE RELAVE EL PORVENIR MAPSAC - 2018” nace como interés por conocer la metodología de las inyecciones para la solidificación de las presas de relave. El tratamiento de impermeabilización a través de cortinas de inyecciones es direccionado con un solo objetivo, el de evitar el flujo de aguas contaminadas y la consolidación a través del tratamiento de las fracturas del terreno interno con aberturas de toda índole. El método de inyección nos permite ingresar lechadas en algunos casos con aditivos cuya presión y recorrido sellan espacios vacíos dependiendo de varios factores de desarrollo. Esto como producto de los avances tecnológicos que ya existen y que a través de estas actividades se pueden disminuir la probabilidad de inestabilidad de las presas y filtración de afluentes de relaves.

En principio, la impermeabilización se realiza al inyectar lechadas dosificadas con agua y aditivos en una o más filas perforadas para ello, en el interior del macizo, específicamente en la base de la presa de relave. Efectuando para ello perforaciones con taladros primarios o iniciales a distancias adecuadas, donde no haya conjugación de taladro a taladro. A continuación, la distancia entre los taladros primarios se divide a la mitad estableciéndose los puntos a aplicar los taladros secundarios, secuencia que debe repetirse para proceder con los taladros terciarios, cuaternarios y así sucesivamente.

Al finalizar el proceso de inyección, se realiza pruebas de permeabilidad de los taladros la cual nos definirá como están las cortinas y finalmente se puede originar los datos de cierre con los datos de referencia requeridos para su análisis.

Por tal motivo, el desarrollo de la tesis comprende

**El Capítulo I**, trata sobre el problema de investigación; en donde se visualiza el planteamiento y formulación del problema, los respectivos objetivos de investigación, hipótesis, el marco metodológico, en el cual se detalla el tipo, nivel y diseño de investigación, además de las técnicas de recolección de datos y el procesamiento de información seguido de la justificación e importancia.

**El Capítulo II**, presenta el marco teórico conceptual de la investigación; donde se aprecia primero los antecedentes y luego la información teórica sustentada en bibliografías actualizadas y finalmente definición de términos básicos utilizados en la investigación.

**El Capítulo III**, presenta los resultados e interpretación, donde se muestra el resumen de análisis y Comparaciones, también la prueba de normalidad.

**El Capítulo IV**, muestra las contrastaciones de las hipótesis.

**El Capítulo V**, presenta en forma concreta la discusión de los resultados obtenidos y su comparación con otras investigaciones sobre el tema.

Al final el presente trabajo de investigación, se complementa con las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y los respectivos anexos.

## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA**

La minería es indudablemente una de las actividades más rentables de nuestro territorio, dentro del proceso del ciclo general cada minera tiene la obligación de tener un depósito de relave cuyo proceso extenso determina contener los restos de la metalurgia, contenedor que requiere un estudio y afirmación de una presa de relave, la presa de relave de MAPSAC, no estuvo en su momento construido bajo consideraciones de impermeabilidad tal es así que se detectaron afluencias de líquido de relave en la parte contraria de la presa de relave, es allí el interés de solucionar el problema de impermeabilizar y solidificar la presa de relave de MAPSAC a través de perforaciones e inyecciones sobre la cresta de la presa de relave.

La inyección consiste en el proceso de llenar las fisuras en la fundación rocosa. Tres factores primarios controlan el diseño de inyección: el tipo de presa, los requisitos de rendimiento para el proyecto, y la geología del sitio. Estos factores deben estar totalmente interrelacionados en la forma de realizar la pantalla de

inyección, sin embargo, se tiene una variable determinante que es la geología del sitio, la cual controla la profundidad a la que se inicia la inyección; las zonas de fundación en donde la inyección es eficaz y económica; y la disposición, profundidad y orientación de las perforaciones. Por lo tanto, se debe obtener suficiente información para poder comprender a fondo la estratigrafía, la estructura, los patrones de fracturación, las líneas de flujo dominantes y la variación de la permeabilidad a lo largo de la longitud de la presa, tanto en dirección aguas arriba como aguas abajo, así como a profundidad.

## **1.2. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.2.1. Espacial.**

Los estudios de investigación se efectuaron en la Unidad Minera el Porvenir Milpo.

#### **1.2.1.1. Ubicación**

La Unidad Minera El Porvenir está localizado en la sierra central del Perú en el distrito de San Francisco de Asís de Yarusyacán, provincia de Pasco, región Pasco, a la altura del km 340 de la carretera Central en el trayecto Lima - Huánuco.

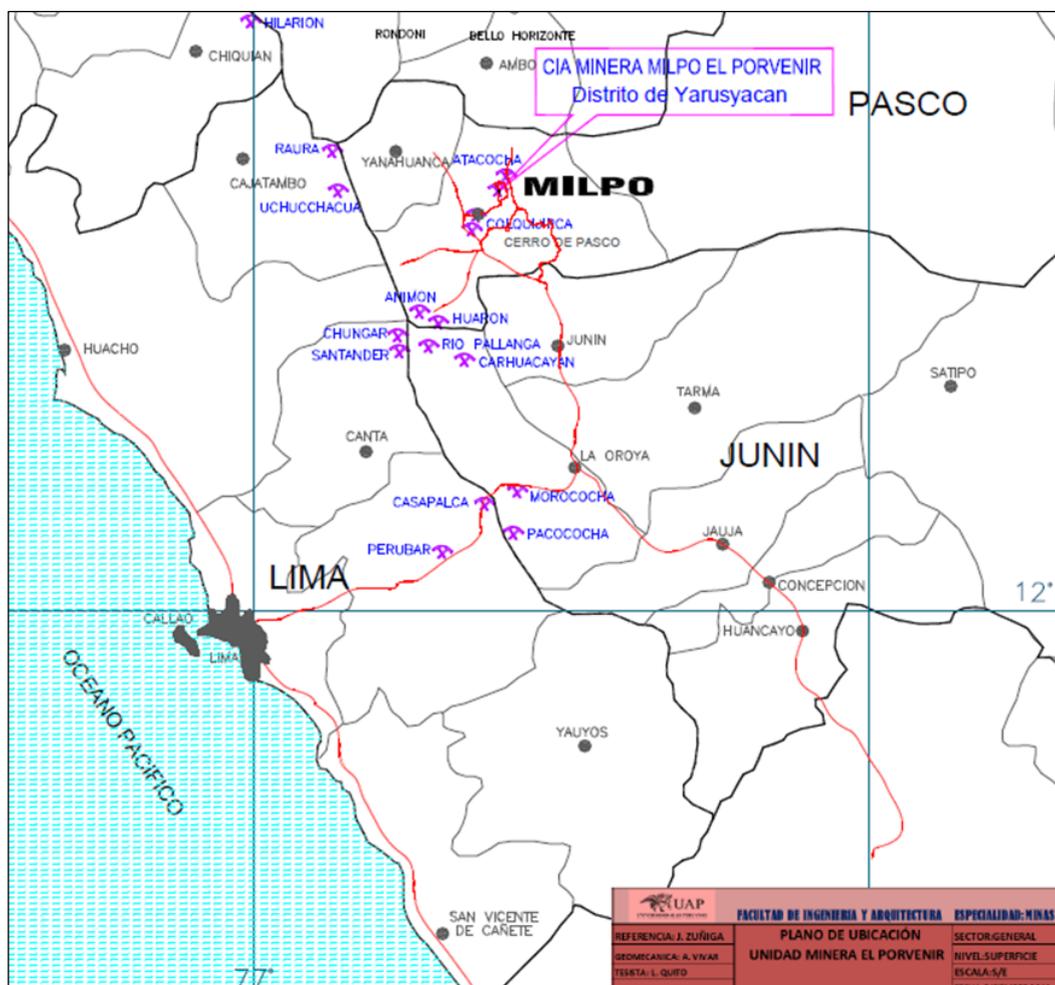
En el ámbito Geográfico se encuentra en la cordillera central que forma el nudo de Pasco entre los ríos Tingo y Huallaga, entre los 3,900 y 4,350 m.s.n.m. y sobre las faldas del cerro Pirahuay.

#### **1.2.1.2. Accesibilidad**

La Unidad Minera El Porvenir es:

- Desde Lima se realiza mediante una vía asfaltada de 300 Km., que une a la ciudad capital con La Oroya y Cerro de Pasco.

- Desde la ciudad de Cerro de Pasco, se tiene un acceso de 13 km. hasta la unidad consistente de una trocha afirmada, tal como se puede apreciar en la Figura 1.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 1. Ubicación y acceso hacia la Compañía Milpo y la presa de Relave

### 1.2.1.3. Geología Local

Geomorfológicamente, en el área se han determinado, cadenas de cerros, valles, lomadas y/o colinas, quebradas, laderas y planicies.

#### **1.2.1.4. Geología Regional**

Formado por 3 unidades litológicas, el conglomerado, Shuco y miembro calera, se describe también la geología Regional como formación Goyllarisguizga conformada por areniscas cuarzosas, cuarcitas, derrames volcánicos y mantos de carbón distribuidos heterogéneamente a lo largo de la zona. Como se muestra en la Figura 2.

##### **Miembro Inferior**

El miembro inferior está compuesto por capas de lutitas y areniscas deleznales de color verde grisáceo, con intercalaciones de margas rosáceas y lutitas de color rojo, con potencia de 300 a 330 m.

##### **Conglomerado Shuco**

El conglomerado Shuco está conformado por bloques angulares de caliza de hasta 4 m., ubicado en una matriz conformada por fragmentos calcáreos sub angulosos de variados tamaños. Al W, el conglomerado se presenta estratificado, los fragmentos de caliza decrecen en tamaño y son más redondeados, es notoria la presencia de fragmentos de areniscas, cuarcitas y chert junto a los de caliza. Al S de Cerro de Pasco tiene una potencia de 170 m.

##### **Miembro Calera.**

Sus afloramientos se localizan al S del distrito en la proximidad de Colquijirca. Consiste de lutitas, areniscas y lodolitas en un 70 %, y de calizas con capas de nódulos de chert en el 30 % restante. La potencia total es de 155 m.



que las calizas Pucara se encuentren buzando verticalmente en el centro y a todo el largo del eje.

### **La Falla Regional Milpo-Atacocha**

Es la estructura de mayor importancia del distrito y tiene un rumbo N-S con longitud de 15 km desde Yarusyacán en el norte hasta Carmen Chico en el Sur.

Megard (1919) considera que la falla Milpo Atacocha pertenece a un sistema de fracturamiento que estuvo activo desde el Triásico tardío como consecuencia de una tectónica distendida, que actuó en el Perú central desde el Triásico al Cretáceo Superior, y la que fue responsable del hundimiento del flanco oriental. Durante la tectogénesis andina, estas fallas se activaron nuevamente debido al levantamiento andino, ocasionando grandes movimientos verticales que habrán puesto el contacto, una al lado de la otra, a la porción inferior de la Formación Pucará con las areniscas de la Formación Goyllarisquizga en el distrito de Milpo.

K.A y M. Gunnesh, postulan que los stocks hipan bísales e incluso los pulsos del magnetismo ocurridos en el distrito básico-ácido-básico están asociados y controlados por el fallamiento Milpo-Atacocha y, en consecuencia, por las diferentes etapas del proceso mineralizaste.

### **El Fracturamiento**

En el distrito se presentan varios sistemas de fracturamiento más jóvenes concordantes con la tectónica de bloques, relacionadas con las fuerzas compresionales E a O, que de acuerdo con el

“elipsoide de deformación” unas corresponderían a fracturas de tensión (rumbo E-O) y otras de fracturas de cizalla rumbo N65°-70°E y N50°-60°O

#### **1.2.1.6. Hidrología en el Porvenir**

Hidrográficamente, la zona de estudio pertenece a la sub cuenca del río Lloclla y la inter cuenca denominada El Porvenir, la unión del río Lloclla y el río Pariamarca da origen al río Huallaga, la zona de estudio pertenece al sistema hídrico del río Huallaga y consecuentemente pertenece a la vertiente del Atlántico.

La red de drenaje de la sub cuenca Lloclla fluye en dirección Nor Oeste, y nace de la unión de la quebrada Pucayacu y Jabonera, en su recorrido recibe aportes de diversas quebradas pequeñas por ambos márgenes, siendo el más importante el de la quebrada Chinchao por su margen izquierda, y es ahí precisamente donde se ubican los componentes de la Ampliación de la Planta de Beneficio a 7,500 TMD, el río Lloclla va desde la cota mínima (3,650 msnm) a la cota máxima (4570 m.s.n.m.), la longitud del cauce principal es de 10,41 km, su pendiente media es de 9,0%, la longitud total de los ríos es del orden de 26,25 km. La densidad de drenaje es de 0,19 km/km<sup>2</sup> y la frecuencia de ríos 0,19 ríos/km<sup>2</sup>. Es nacimiento del río Huallaga con una corriente de Tercer Orden.

Para determinar los caudales medios de los ríos en estudio se han empleado los registros de diversas estaciones hidrométricas con las que cuenta la U.M. El Porvenir, de los resultados del análisis

de tiene: río Lloclla antes de la confluencia con la quebrada Chinchao, en la estación 7MM se tiene 300 l/s y en la estación 8 MM después de la confluencia con la quebrada Chinchao se tiene 910 l/s; en la quebrada Chinchao se tiene la estación 6MM donde se tiene 260 l/s; y en la inter cuenca El Porvenir se tiene una descarga de agua de mina de 90 l/s en la estación 5 MM.

### **1.2.2. Temporal.**

La presente investigación fue desarrollada en el periodo comprendido entre marzo a diciembre el año 2018.

## **1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

### **1.3.1. Problema General**

¿Influye el método de inyección tradicional de impermeabilización en la reducción de filtración de la presa de relave, El Porvenir MAPSAC 2018?

### **1.3.2. Problemas Específicos**

- A. ¿De qué manera influye el método de inyección tradicional de impermeabilización en la reducción del flujo en la presa de relave, El Porvenir MAPSAC 2018?
- B. ¿De qué manera influye el método de inyección tradicional de impermeabilización en la reducción de la exudación por filtración en la presa de relave, El Porvenir MAPSAC 2018?

## **1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.**

### **1.4.1. Objetivo General.**

Comprobar que el método de inyección tradicional de impermeabilización influye en la reducción del flujo de filtración de la presa de relave, El Porvenir MAPSAC 2018.

### **1.4.2. Objetivos Específicos**

A. Establecer de qué manera influye el método de inyección tradicional de impermeabilización en la reducción del flujo en la presa de relave, El Porvenir MAPSAC 2018.

B. Establecer de qué manera influye el método de inyección tradicional de impermeabilización en la reducción de la exudación en la presa de relave, El Porvenir MAPSAC 2018.

## **1.5. FORMULACIÓN DE LAS HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.5.1. Hipótesis General.**

El método de inyección tradicional de impermeabilización reduce la filtración de la presa de relave, El Porvenir MAPSAC 2018.

### **1.5.2. Hipótesis Específico**

A. El método de inyección tradicional de impermeabilización influye en la reducción del flujo de la presa de relave, El Porvenir MAPSAC 2018.

B. El método de inyección tradicional de impermeabilización influye positivamente en la reducción de la exudación en la presa de relave, El Porvenir MAPSAC 2018.

## **1.6. VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.6.1. Variable independiente**

Método de inyección tradicional de impermeabilización.

### **1.6.2. Variable dependiente**

Filtración de la presa de relave.

### 1.6.3. Operacionalización de Variables

La operacionalización de la variable independiente y dependiente, se muestran en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Operacionalización de variables

OPERACIONALIZACION DE VARIABLES				
TIPO DE VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
<b>Variable Independiente</b> Método de inyección de impermeabilización Tradicional	El método de inyección, se refiere a la serie de actividades que se requieren realizar para preparar el área en donde se impermeabilizará la cimentación de la presa de relave, a través de inyecciones de cemento y aditivos, si lo requiere y evitar filtraciones. (Ing. Ampuero Cayo Salomon)	Son todas las actividades que dependen por un lado de las condiciones geológicas del sitio y por el otro, del tipo de cortina donde se construirá.	Macizo rocoso	RMR
				RQD
			Permeabilidad	cm/s
				Numero de puntos de filtración (unid)
<b>Variable Dependiente</b> Filtración de la presa de relave	La filtración de los depósitos de relaves considerable en las aguas adyacentes producto negativo que a la larga producirá contaminación en ríos y lagos aledaños. (Ing. Ampuero cayo salomon)	La formación de charcos y escorrentías no deseados en la parte exterior inferior de la relavera por filtración del mismo, lo cual hizo sospechar que las filtraciones provienen de estados defectuosos y discontinuos de la geología interna de la fundación aguas arriba y abajo.	Flujo	Volumen (m³)
				Caudal (l/min)
			Exudación	Volumen (m³)

## 1.7. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

### 1.7.1. Tipo de investigación

Es una investigación de tipo **Aplicada**, cuyo objetivo es solucionar un determinado, a través de la búsqueda y consolidación de los conocimientos para su aplicación, siendo en la mayoría de los casos, en provecho de la sociedad.

### 1.7.2. Nivel de investigación

Se empleó un nivel de Investigación Descriptivo **Correlacional**. Según Dankhe (1986), se define como “La importancia y el propósito principal de los estudios correlacionales son saber cómo se puede comportar un concepto o variable conociendo el comportamiento de otras variables relacionadas”.

### 1.7.3. Método de investigación

En la presente investigación, se ha utilizado el **Método Científico** como método general. Según Kerlinger (1992), este método se define como “El estudio sistemático, controlado, empírico y crítico de proposiciones hipotéticas acerca de presuntas relaciones entre varios fenómenos”.

### 1.7.4. Diseño de investigación

La investigación es **Experimental**, según Santa Paella y Feliberto Martins (2010), señala que este diseño es aquel según el cual, el investigador manipula una variable experimental no comprobada, bajo condiciones estrictamente controladas, siendo en el presente estudio la variable manipulada la filtración del agua, por efecto del tipo de inyección efectuada.

## **1.8. POBLACIÓN Y MUESTRA**

### **1.8.1. Población**

En el caso de nuestra investigación, la población está conformada por la Presa de relaves de la Compañía El Porvenir MAPSAC.

### **1.8.2. Muestra**

Se tomó como referencia de estudio la Zona cimentada o inyectada por ser una muestra no probabilística intencional.

Según Dr. Jaime Pacheco define una muestra no probabilístico intencional como: “la toma de una porción de la población de cualquier manera o por razones de comodidad”.

## **1.9. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS**

### **1.9.1. Para recolectar datos**

Para la recolección de datos, se utilizaron parámetros de los métodos de inyección, listas de cotejo, datos estadísticos, permitiendo señalar el control de caudal, condiciones físicas y funcionamiento de la cancha de relave. Posteriormente ingresamos a una base de datos para su procesamiento. También se hará a través de:

- Datos bibliográficos.
- Reportes de campo.

### **1.9.2. Para analizar información**

Se utilizó los diferentes programas para los cálculos.

- Software Aplicativos:
- Procesadores de Texto (Word).
- La hoja de cálculo (El Excel).

- SPSS. (programa estadístico)
- Inyección de impermeabilidad.

## **1.10. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.10.1. Justificación**

Bien es cierto que las escorrentías producidas por las filtraciones de relaves de la metalurgia de la minera, deterioran el cuerpo estructural de las presas poco consistentes ya que el flujo constante de agua desde la interior, lava las grietas, fisuras y fracturas del macizo rocoso, dejando poco consistente la relavera y ocasionando filtraciones externas indeseadas.

Frente a esta problemática de filtraciones e inestabilidad de las presas, que afectan a la producción, su crecimiento y conociendo las variables, se realizó la investigación: “influencia del método de inyección tradicional de impermeabilización en la reducción de filtración de la presa de relave”, en donde la utilización de los indicadores, como la filtración y la exudación, por ser los aspectos más sensibles y adecuarse a la realidad minera.

Los resultados de esta investigación han permitido recomendar una atención oportuna y prioritaria, asimismo desarrollar una minería sustentable tratando de minimizar la contaminación de toda índole.

### **1.10.2. Importancia**

La utilización del método de inyección de impermeabilización es importante, porque al ejecutarla se tendrá una presa de relave más estable y se minimizará el flujo de las filtraciones, repercutiendo indirectamente en la reducción de la contaminación del medio ambiente aledaño, siendo

específicamente las aguas del río San Juan, donde desemboca las filtraciones; convirtiendo a la Compañía El Porvenir MAPSAC en una empresa amigable con el medio ambiente.

Lográndose de esta manera que la empresa minera obtenga una mayor utilidad y se podrá aplicar a otras minas a nivel regional y nacional.

### **1.11. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN**

En la presente investigación se presentaron las siguientes limitaciones:

- Ingreso a la zona de labores con un permiso especial de la empresa y por un tiempo determinado, ya que la permanencia en la zona de trabajo está restringida, por ser un lugar peligroso y se encuentra en constante operación
- La falta de apoyo por parte de algunos supervisores de área por no tener disponibilidad de tiempo.
- Al momento de obtener información de la empresa, para la toma de planos y muestras.
- No se evidencia estudios ejecutados, con anterioridad.
- Falta de equipos necesarios para el estudio, por lo que el tiempo de su ejecución ha sido prolongado.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. ANTECEDENTES DE ESTUDIO

##### 2.1.1. Antecedentes nacionales

- A. Collado, Cesar (2015) tesis pregrado *“Inyección e Infiltración en Presas de Relave. Aplicación de la Presa Las Gordas,”* perteneciente a la facultad de Ingeniería de Minas, de la Universidad Nacional de Ingeniería, realizó un estudio de un método de inyección de morteros que fue aplicado en la presa Las Gordas y el cálculo del flujo de filtraciones obtenidas en el programa de computo que utilizó donde trabajo los datos reales de la presa en su zona baja. Cuyas conclusiones indican que, el conjunto de taladros de mortero no disminuye el caudal de filtración, sino que rodea la pantalla de taladros evitando su velocidad el cual hace que las erosiones se minimicen adecuadamente en la zona baja del cuerpo arcilloso.
- B. Marcañaupa y Quispe (2012). tesis de pregrado *“Criterios Para El Diseño De La Cortina De Inyecciones De La Presa De Arranque*

*Del Depósito De Relaves Linga Del Proyecto De Expansión De La Unidad Minera Cerro Verde - Arequipa*” perteneciente a la escuela de formación profesional de Minas, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. El tesista menciona que, teniendo fundamentos de estudio de la roca de la relavera, como son las fracturas, fisuras es decir conociendo las condiciones geológicas e hidráulicas, eligió la forma adecuada de emplear una cortina para la presa de relave que trabajó. En una de sus conclusiones señala que el macizo rocoso, con elevadas tomas en los sondeos de línea de aguas arriba, fue consolidado e impermeabilizado; hasta el nivel donde la roca está fracturada y meteorizada. Asimismo, indica que la línea central del sector 4 fue extendida para ser inyectada.

#### **2.1.2. Antecedentes Internacionales**

- A. Edgar Valencia García (2013) Tesis postgrado *“Consideraciones Prácticas para el diseño de Presas con Concreto”* donde Edgar termina sus estudios en su facultad de Geología, Geofísica y Minas en la escuela de Minas Universidad Nacional Autónoma, México. Nos menciona que las Presas hoy en día causan una gran controversia para su construcción y desarrollo desde su punto de vista ambiental, social y económico ya que obligan a que se desplacen personas, se contaminen las áreas inundadas por las filtraciones y sus costos superen un promedio de 30% de lo presupuestado originalmente. Cuyas conclusiones son: Que engloba un sello de concreto dosificado infiltrado en las grietas grandes y pequeñas para una longitud total de 150 metros, la

impermeabilización realizada que consistió en tapar espacios vacíos con infiltraciones que se empleó el cemento se colocó sobre una capa formada por el mismo material. No se ha realizado mantenimiento después de la rehabilitación en el año 2000 de manera que la estanquidad del compuesto en las grietas no se ha visto comprometida y no se ha detectado fugas que contaminen la parte exterior de la Presa poniendo así segura las zonas bajas del área de trabajo.

- B. Gonzales Salas, Héctor (2007). Tesis postgrado *“Modelo de Balance Hídrico del tranque de Relaves”* perteneciente a la Facultad de Minas Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, Universidad de Chile. El objetivo general del trabajo del Tesista fue elaborar un modelo que simule el balance hídrico superficial del tanque de relaves con tal de tener una estimación de ciertos flujos relevantes y a la vez evaluar escenarios de expansión de la producción, para así poder estimar las curvas representativas empleando las dosificaciones de concreto a la relavera. Los resultados obtenidos fueron estimaciones de las filtraciones en el escenario actual y las curvas representativas de la operación hídrica de la presa. Entre los flujos que se estimaron están: Aportes por precipitación y esorrentía por transporte de la pulpa y por recuperación, salida por filtraciones, evaporación y evapotranspiración y evacuación de crecidas y tormentas intensas. También se estimó el agua retenida en las lamas, el muro y el

volumen de agua en las lagunas de aguas claras mes a mes. Con los datos obtenidos se realizó la curva de impermeabilización y solidificación.

## **2.2. BASES TEÓRICAS.**

### **2.2.1. Sustento del método de inyección tradicional en la relavera El Porvenir.**

Las actividades de impermeabilización se realizaron con el apoyo técnico profesional de la E.E. Geotécnica con una licitación obtenida previa invitación de la U.M. El Porvenir MAPSAC. Referencia: Licitación BL-02-03-05-021:” Inyecciones en el depósito de relaves UM El Porvenir, para la impermeabilización y el recrecimiento”, Atendido por el Ing. Víctor Palomero Muñoz, Gerente de Operaciones de El Porvenir, y el Ing. Alfredo Villanueva Sánchez residente de Geotécnica con carta (Carta N° PP-142ª/14 de GEOTÉCNICA SAC).

Ambas partes acuerdan realizar las actividades según funciones de Titular y Service para las Inyecciones de Impermeabilización y recrecimiento de la Presa de relave de la UM. El Porvenir MAPSAC. (Referencia Ilustración 8).

### **2.2.2. Definición de la Variable Método de inyección de impermeabilización.**

#### **2.2.2.1. Investigaciones geológicas**

Es necesario tener datos del sub suelo de la relavera para emplear el método de impermeabilización de inyecciones los datos son obtenidos en la etapa de exploración y en las etapas previas de ejecución; por ende, es importante poseer los datos de

geológicos, tectónicos de la zona a estudiar, planos de discontinuidades, buzamientos, zona de rocas muy alteradas (poca resistencia), etc.

Para obtener la información del macizo rocoso mencionada anteriormente se realizan sondeos de investigación con recuperación de testigos (perforación con diamantina). Se debe tener en cuenta aspectos netamente geológicos tales como:

- **La separación de las fisuras y/o juntas.** Características de gran interés, ya que si las fisuras están muy separadas la inyección de la lechada de cemento será más fácil, a diferencia de las fisuras poco espaciadas (rocas muy fracturadas); la inyección en las rocas muy fracturadas puede tener problemas de fugas superficiales, colapsos de los taladros, etc. Esto hace que la inyección sea más cara y posiblemente requiera de tratamientos especiales.
- **Abertura de las fisuras.** Las fisuras que se encuentran en el rango de abertura de 0.50 mm a 6 mm son fáciles de inyectar, y las fisuras mayores a 6 mm son más difícil para inyectar debido a que la lechada viaja con mayor rapidez y pueden producirse tomas excesivas, debiéndose tomar medidas adecuadas para controlarla.
- **Inclinación y buzamiento de las fisuras o discontinuidades.** Cuando la inclinación de las fisuras se encuentra entre  $0^\circ$  y  $60^\circ$ , las perforaciones verticales interceptan bien todas las fisuras inclinadas; sin embargo,

las fisuras o discontinuidades que tienen mantos inclinados cuyas perforaciones tienen que ser de la misma forma para interceptar las discontinuidades en una zona razonable.

- **Solidez de la roca in situ.** Las apreciaciones de la roca se tienen en las perforaciones, si esta es buena las perforaciones se mantendrán estables con bajo deterioro; lo contrario de un roca inestable o deteriorado, ocurrirá derrumbe en las perforaciones ocasionando en algunos casos atrapamientos de las barras de perforación. La inyección se hace más dificultosa y cara en este último caso.

#### **2.2.2.2. Clasificación geomecánica**

El macizo rocoso es un medio discontinuo, complejo, con un comportamiento geomecánica que puede ser estudiado y clasificado en función de su aptitud para distintas aplicaciones.

Las clasificaciones geomecánicas aportan índices de calidad relacionados con parámetros geomecánicas del macizo, permitiendo describir numéricamente la calidad del mismo.

- **Índice de calidad de la roca (RQD).** En 1967, Deere propuso un índice cuantitativo de la calidad de la roca basado en la recuperación de los núcleos con perforación diamantina, llamado índice de calidad de la roca (Rock Quality Designation), el cual se identifica por RQD y se define como el porcentaje representativo de la sumatoria

de longitudes de tramos de núcleos de barrenos de diamante que se recuperan en longitudes enteras  $\geq$  a 100 mm, dividida entre la longitud total barrenada. (ver *Tabla 1*).

Tabla 1 Calidad de Roca

Clase	Calidad de Roca	RMR
I	Muy buena	81 - 100
II	Buena	61 - 80
III	Regular	41 - 60
IV	Mala	21 - 40
V	Muy Mala	menor a 20

Fuente: Elaboración Propia

- **Clasificación geomecánica de Bieniawski (RMR).** El sistema de clasificación geomecánica (RMR) es independiente de la estructura a construir y se obtiene sumando los porcentajes o 'ratings' de cinco parámetros cuyas valoraciones máximas según Bieniawski (1989) son:
  - Resistencia compresiva uniaxial de la matriz rocosa*
  - Grado de fracturación del macizo (RQD)*
  - Espaciado de las discontinuidades*
  - Estado de las discontinuidades*
  - Condiciones hidrogeológicas*

El RMR se obtiene de la suma total de los cinco parámetros enumerados anteriormente (ver *Cuadro 2*).

Cuadro 2. Clasificación Geomecánica de Bieniawski

A. PARÁMETROS DE CLASIFICACIÓN									
1	Resistencia de la roca intacta (Mpa)	Ensayo de Carga Puntual	> 10	4 - 10	2 - 4	1 - 2	Compresión Simple (Mpa)		
		Ensayo de Compresión Simple	> 250	100 - 250	50 - 100	25 - 50	5 - 25	1 - 5	< 1
Valoración			15	12	7	4	2	1	0
2	RGD (%)		50 - 100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	< 25		
	Valoración			20	17	13	8	3	
3	Espaciamiento de las discontinuidades		> 2.0 m	0.5 - 2.0 m	200 - 600 mm	50 - 200 mm	< 60 mm		
	Valoración			20	15	10	5	5	
4	Estado de las discontinuidades (ver B)		Muy rugosas, discontinuas, sin separaciones, pared de roca intacta.	Ligeramente rugosas, aberturas < 1mm y pared ligeramente alterada.	Ligeramente rugosas, aberturas < 1mm y pared altamente alterada.	Superficies de falla o rellenos < 5 mm o aberturas 1-5 mm, continuas.	Relleno blando > 5 mm o abertura > 5 mm, continuas.		
			Valoración		30	25	20	10	0
5	Agua subterránea	Flujo por 10m de long. de túnel (l/min) (presión de agua en la Junta) (Esfuerzo principal mayor)	Nulo	< 10	10 - 25	25 - 125	> 125		
		Condición general	Seco	Ligeramente Húmedo	Húmedo	Gotoso	Flujo		
		Valoración		15	10	7	4	0	
B. PAUTAS PARA LA CLASIFICACIÓN DEL ESTADO DE DISCONTINUIDADES									
Longitud de discontinuidades (persistencia)		< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 30 m	> 30 m			
Valoración		6	4	2	1	0			
Separación (abertura)		Nulo	< 0.1 mm	0.1 - 1.0 mm	1 - 5 mm	> 5 mm			
Valoración		6	5	4	1	0			
Rugosidad		Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Liso	Muy liso			
Valoración		6	5	3	1	0			
Relleno		Nulo	Relleno duro < 5mm	Relleno duro > 5mm	Relleno suave < 5mm	Relleno suave > 5mm			
Valoración		6	4	2	2	0			
Meteorización		Nulo	Ligeramente meteorizada	Moderada meteorización	Altamente meteorizada	Descompuesto			
Valoración		6	5	3	1	0			
C. ORIENTACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES RESPECTO A LA EXCAVACIÓN									
Dirección y buzamiento		Muy favorable	Favorable	Medio	Desfavorable	Muy desfavorable			
Valoración	Túneles y Minas	0	-2	-3	-10	-12			
	Fundaciones	0	-2	-7	-15	-25			
	Taludes	0	-5	-25	-50	-60			

Fuente: Resistencia de Materiales de Bieniawski

### 2.2.2.3. Propiedades de la roca

En cuanto al trabajo de la parte Geotécnica, es importante determinar características geotécnicas del macizo rocoso que son:

- **Porosidad.** La porosidad (n) de un material representa un porcentaje que relaciona el volumen que ocupan los poros en un volumen unitario de la roca. En las rocas sedimentarias la porosidad puede oscilar entre 0% a 90% y

disminuye con la profundidad dependiendo del material cementante. En rocas ígneas y metamórficas la porosidad es menor al 2%, y aumenta con la meteorización (desgaste) hasta un 20% o más. Las rocas ígneas extrusivas son las menos porosas.

- **Densidad y peso específico.** La densidad corresponde a la masa, por un elemento de volumen, está dentro del macizo rocoso que comprende en la mineralogía y conformación de granos que forman el macizo rocoso. El rango de la variabilidad del peso específico de las rocas es mucho mayor que el de los suelos.
- **Velocidad de ondas sísmicas.** Un método para determinar el grado de fisuración o meteorización de la roca utiliza la velocidad de ondas longitudinales y ondas transversales o de corte.

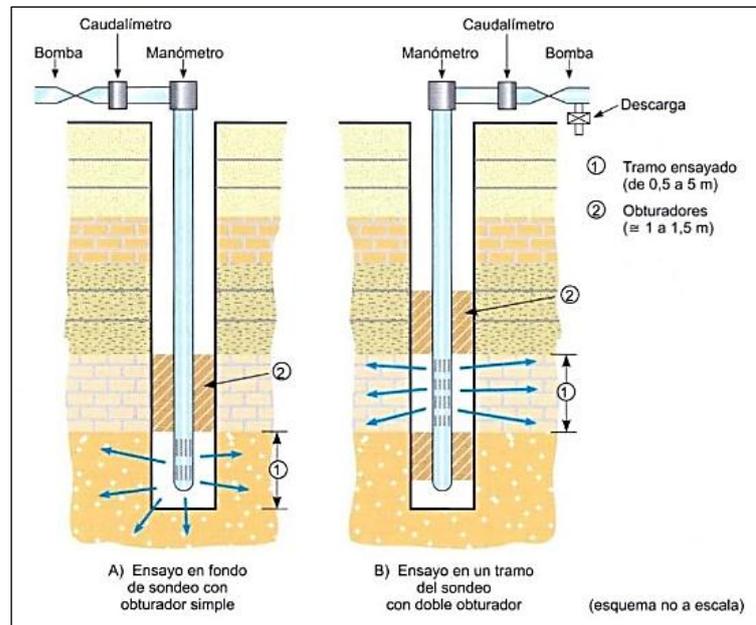
**Resistencia a la compresión.** Parámetro geotécnico más citado, se determina directamente mediante ensayos de compresión no confinada en testigos cilíndricos, e indirectamente mediante la prueba de carga obtenida (ver Figura 3).



Las pruebas estándar de medición de la permeabilidad que más se usan en las perforaciones en roca, son los llamados ensayos Lugeon.

- **El ensayo Lugeon.** Consiste en anotar los caudales absorbidos por el macizo rocoso, a presiones crecientes y después decrecientes, medidas en el manómetro. Siempre se utilizan cinco valores de presión en el siguiente orden: A8-C-B-A.

Para cada una de las presiones del ciclo de prueba se espera la estabilización del flujo hasta que llegue a un valor constante, valor que se mantendrá por 10 minutos, antes de pasar al otro valor de presión establecido en el ciclo, y se reportan los siguientes datos: profundidad del tramo de prueba, diámetro de la perforación y de la tubería, presiones en el manómetro y los correspondientes caudales constantes. (Ver Figura 4)

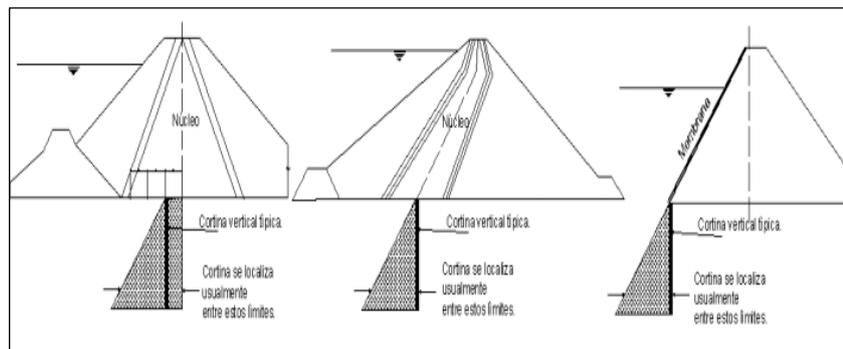


Fuente: Resistencia de Materiales de Bieniawski

Figura 4. Ensayo de LUGEON

### 2.2.2.5. Ingreso de la lechada al interior de la relavera

El volumen de la filtración está influido considerablemente por el tipo de cortina y las inyecciones toman la forma de la cortina. (Ver Figura 5).



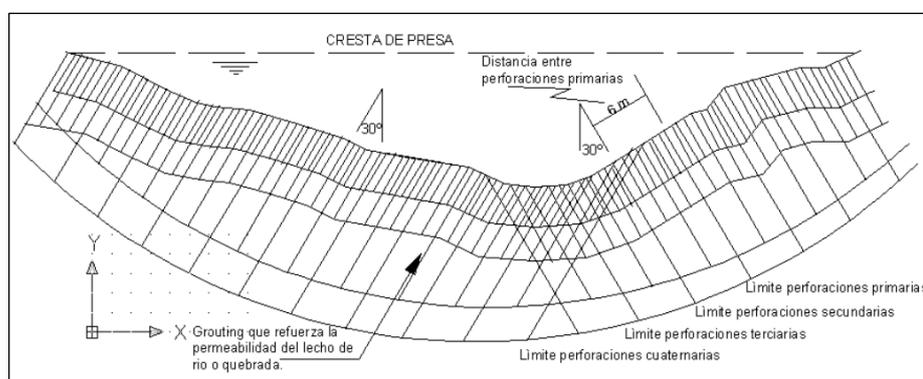
Fuente Ischy, E. Inyección de suelos (1968).

Figura 5. Colocación de cortinas de mortero debajo del macizo rocoso.

La cortina de impermeabilización puede actuar en la parte superior de la zona central de la relavera, la misma que está

conformada por un núcleo de tierra. La Figura 6, nos indica que las áreas sombreadas forman la trayectoria de la inyección desde un sentido vertical a una inclinada y esto parte al pie de la zona alta.

La zona específica de ubicación de las cortinas de mortero efectuadas a lo largo de la cimentación de la presa, es necesario también mencionar que se tiene que tener datos de la parte geológica de la zona a estudiar ya que con esos datos determinaremos el tipo de inyección y lechada a inyectar para poder impermeabilizar la relavera.



Fuente Ischy, E. Inyección de suelos (1968).

Figura 6. Distribución de perforaciones primarias, secundarias, terciarias.

#### 2.2.2.6. Principales características de la fundación.

El relave es el producto de la metalurgia de la minera conformada en su mayoría por agua, mineral y arena. Dentro del ciclo de minado el material denominado mena es transportado a la planta y los sobrantes del proceso son transportados por diferentes medios a la zona de almacenamiento de relave o relavera.

La relavera generalmente contiene concentraciones de material fino, que por gravedad se depositan al fondo de la misma, donde se asientan y se mantiene en ese lugar hasta que el líquido sea reciclado o almacenado.

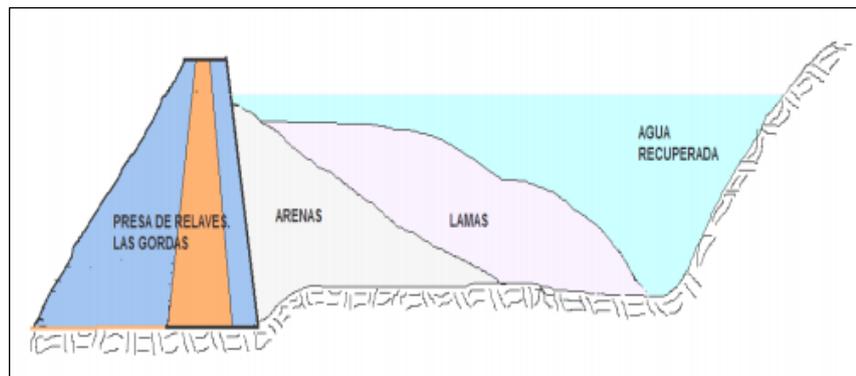
El 50% del peso de relave, está constituido por la mezcla de arenas y limos derivados del concentrado, siendo el tamaño de la arena mayor a 0.074 mm; en tanto que el tamaño de las lamas tiende a ser del tamaño del limo, pero finalmente son menores a 0.074 mm.

Se tiene un fin en cuanto a la relavera, que es de almacenar los limos que son en su totalidad el 50% del depósito, y así evitar posibles impactos ambientales. En el mundo minero existen diferentes formas de presas y el más utilizado es el de muro, construido con el desmante propio de la explotación minera, construida estrictamente con todas las consideraciones de seguridad.

Las relaveras de antaño han sido construidas sin especificaciones técnicas, por lo que han tenido desbordes y deterioros y estos a su vez produjo contaminación; por lo que la minería ha tenido que detener su laboreo por el impacto ambiental que causa un desborde del mismo por contener material con elementos químicos propios de la metalurgia en su proceso.

En la Figura 7, podemos apreciar la ubicación de los elementos que conforman una presa de relave tales como: agua recuperada, lamas, arenas, y la presa de relave en sí, la parte naranja es la

columna mayormente construida con bolones de enrocado que asegura la estabilidad de la presa de relave en su conformación.



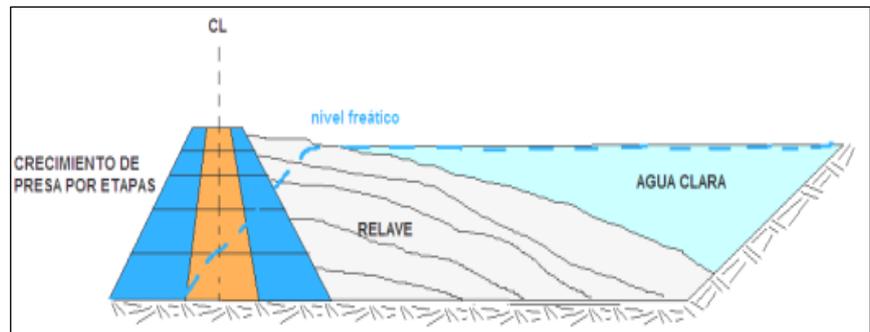
Fuente Ischy, E. Inyección de suelos (1968).

Figura 7. Disposición del material relave (arenas, lamas) y agua.

#### 2.2.2.7. *Tipos de crecimiento de presas de relave*

Estos pueden clasificarse en varios tipos, según su expansión o crecimiento, los que se describen a continuación:

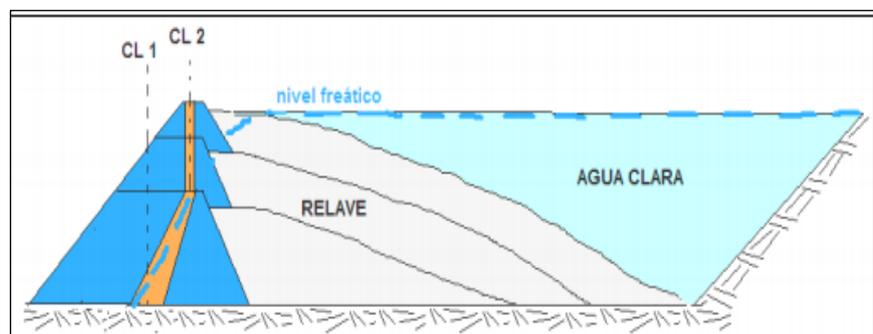
**Crecimiento línea central.** Se construye teniendo consideración en emplear un solo eje para su conformación vertical, el espejo de agua se mantiene alejado considerablemente para frenar el nivel freático y evitar erosiones superficiales que perjudicaran el almacenamiento. El material utilizado para su construcción proviene principalmente del laboreo minero, juntamente con bolones o rocas, de acuerdo a lo indicado en la Figura 8.



Fuente Ischy, E. Inyección de suelos (1968).

Figura 8. Crecimiento de presa según línea central

- **Crecimiento hacia aguas arriba.** Se sabe que la relavera se desarrolla por etapas por consiguiente en este tipo el eje se traslada hacia arriba. Ver Figura 9.

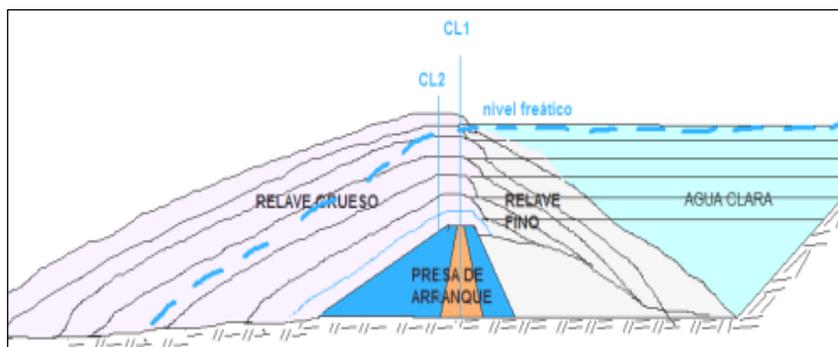


Fuente Ischy, E. Inyección de suelos (1968).

Figura 9. Crecimiento de presa según aguas arriba

- **Crecimiento hacia aguas abajo.** En este tipo de crecimiento, se realiza ubicando en diferentes direcciones el eje según se realiza las etapas de recrecimiento el material fino se ubica a lo largo del muro formando un manto de arena adyacente a la relavera. El material de planta es recolectado en un proceso de ciclo naje y en

dicha área se divide en gruesos y finos para su conformación. ver Figura 10.

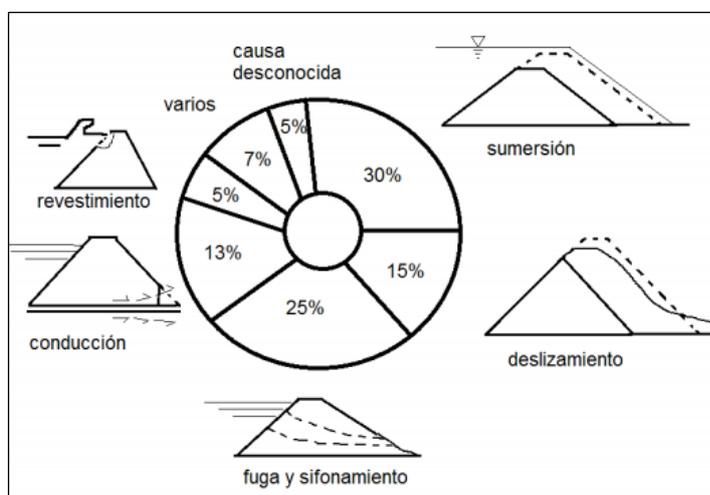


Fuente Ischy, E. Inyección de suelos (1968).

Figura 10. Crecimiento hacia aguas abajo.

### 2.2.2.8. Presas y sus tipos de fallas

Según Carrillo, A., define a “Las relaveras como las construcciones más delicadas y peligrosas en el desarrollo de la minería. El diseño, control y su mantenimiento atenúan las fallas y las fases de construcción concluyen a un fin exitoso en la construcción de este”, M. de la Torre señala en la Figura 11 las estadísticas de colapso de presas tierra.



Fuente: Miguel De la Torre, UNI

Figura 11. Estadística de colapsos de presas de tierra.

### **2.2.2.9. *Métodos de impermeabilización***

El Ing. Hernán Fernández, inyecciones de suelos y rocas, de la Universidad nacional de Cajamarca, nos detalla los conceptos y su diferencia de los 2 métodos de Inyecciones. Existen varios métodos de impermeabilización con un fin común que es determinar el momento en el que debe concluir la inyección de un tramo en un taladro, para lo cual es imprescindible el análisis de algunos criterios, siendo los principales, las fracturas, fisura, aberturas entre otros; criterios permite elegir el método más adecuado

### **2.2.2.10. *Método Tradicional***

El método tradicional exige la definición de la presión de inyección y el uso de lechadas en diferentes proporciones de agua cemento, para lograr que cada vez sean más espesas, lo cual se obtiene con relaciones cada vez menores y de forma progresiva (2:1, 1:1, 0.8:1, 0.67:1).

Este método es el más utilizado por actuar en todo tipo de rocas permitiendo mayor dinamismo en su empleo, actúa predispuesto con todos los aditivos para tener propiedades de fusión con los tipos de rocas que se presenten, se pueden emplear con dosificaciones variadas. Los criterios que se toman son los siguientes:

- Actúa en diferentes longitudes según los taladros.
- Actúan bajo grandes presiones y mezclas muy fluidas y se aplican en rocas difíciles o con muchas fracturas.

- Se eligen distintos tipos de mezclas, siendo importante definir para cada una de ellas las absorciones máximas para cerrar (rechazo).
- Definidas la geología del terreno solo en este método se aplica la bentonita cuando las condiciones geológicas requieren de fluidez, característica que la bentonita posee.

#### **2.2.2.11. Método GIN**

El método de inyectado de impermeabilización GIN (Grouting Intensity Number), es empleado en masas rocosas homogéneas, es decir en rocas parejas con pocas fisuras. Sus características son:

- En el proceso se inyecta de una sola forma (relación agua: cemento) con un solo aditivo plastificante, para incrementar la penetrabilidad.
- Se utiliza únicamente cemento a diferencia del método tradicional que utiliza bentonita.
- Es utilizada en macizos rocosos que contienen aberturas constantes y homogéneas, por tener una viscosidad baja.
- En el diagrama de presión y volumen (por metro de intervalo inyectado) el final de la trayectoria de inyectado se intercepta a una de las curvas de volumen limitante, intensidad de inyectado o presión limitante

Bajo estos criterios y condiciones indiscutiblemente se eligió el método tradicional por semejar soluciones a la tipología del

terreno donde se va a realizar las inyecciones de impermeabilización.

El método tradicional es aplicado en rocas con gran fracturamiento la cual nos servirá de gran apoyo en la busca de nuestros resultados el de minimizar el flujo de filtración externa de la presa de relave el Porvenir MAPSAC.

## **2.3. Definición de términos básicos**

### **2.3.1. Cimentación por inyecciones**

Robert C. (1999), refiere que la cimentación por inyección es "un elemento de unión que se realiza de acuerdo a las características del terreno; por lo que se requiere realizar un estudio global de la tierra para poder realizar la correcta cimentación".

Rodríguez R. (2001) dice que: Deben situarse de un modo adecuado para impedir los daños producidos por heladas, cambios de volumen, socavaciones, movimientos de nivel freático, daños producidos por futuras construcciones, etc.

Deben ser estables: vuelco, deslizamiento, hundimiento, estabilidad general del conjunto, diseño estructural adecuado.

Deben ofrecer una seguridad aceptable y suficiente al menor coste posible y utilizando recursos de manera apropiada.

### **2.3.2. Clasificación geomecánica de Bieniawski (RMR)**

El sistema de clasificación geomecánica (RMR) es independiente de la estructura a construir y se obtiene sumando los porcentajes o "ratings" de cinco parámetros cuyas valoraciones máximas según Bieniawski (1989) son:

- Resistencia compresiva uní axial de la matriz rocosa.
- Grado de fractura miento del macizo (RQD).
- Espacio de las discontinuidades.
- Estado de las discontinuidades.
- Condiciones Hidrogeológicas.

### **2.3.3. Densidad**

La densidad es la magnitud que refleja el vínculo que existe entre la masa de un cuerpo y su volumen. En el Sistema Internacional, la unidad de densidad es el kilogramo por metro cúbico (conocido por el símbolo  $\text{kg/m}^3$ ).

### **2.3.4. Exudación**

La exudación son brotes líquidos o gaseosos que a través de la temperatura y almacenamiento de agua de diferente tipo relucen superficialmente en cantidades mínimas, en construcción se le denomina sangría el cemento por su composición y temperatura tiende a realizar brotes si no se le contrarresta con aditivos.

### **2.3.5. Filtraciones.**

La Filtración son emanaciones líquidas no deseadas que surgen bajo presiones de diferente índole que emergen a través de espacios vacíos.

### **2.3.6. Fluidéz**

La fluidez es la capacidad de los fluidos (líquidos y/o gases) de poder pasar por cualquier orificio o agujero, independientemente del tamaño, siempre que el recipiente en que se encuentra esté a igual o inferior.

### **2.3.7. Ganga**

La Ganga es el material no utilizable de un proceso de explotación minera tales como el desmonte, dicho material no tiene valor económico extraído principalmente de las labores de desarrollo. Ref.; Amstutz, G. C. (1971). Glossary of Mining Geology,

### **2.3.8. Índice de la calidad de la roca (RQD)**

En 1967, Deere propuso un Índice cuantitativo de la calidad de la roca basado en la recuperación de los núcleos con perforación diamantina, llamado índice de la calidad de la roca (Rock Quality Designation) el cual se identifica por RQD y se define como el porcentaje representativo de la sumatoria de longitudes de tramos de núcleos de barrenos de diamante que se recuperan en longitudes enteras mayor igual a 100 mm. Dividida entre la longitud total barrenada.

### **2.3.9. Impermeabilización.**

Es la protección contra efectos que el agua pueda causar con la capacidad de ser anticorrosiva tiene el objetivo de no dejar pasar el agua e impedir su paso para efectos colaterales que el agua pueda causar.

### **2.3.10. Lechada**

Se definen la lechada de cemento, como la pasta muy fluida de cemento y agua, y eventualmente adiciones, utilizada principalmente para inyecciones de terrenos, cimientos, túneles, etc.

### **2.3.11. Método tradicional de inyección**

El método tradicional de inyección de lechada de cemento consiste en consiste a diferencia de método GIN en el uso de diferentes dosificaciones de lechada, se tubo pruebas en relación agua cemento posteriormente

menores en campo (1:1, 0.9:1, 0.8:1, 0.7:1). Puedo mencionar también que los volúmenes de lechada recolectadas de los taladros tienen lugar a variar las mezclas. El método tradicional a diferencia del método GIN se utiliza en todo tipo de roca.

#### **2.3.12. Medio Inyectables**

Los trabajos de inyección tienen por objetivo impermeabilizar o consolidar los cuerpos sólidos porosos y permeables, tales como rocas fisuradas, arenas y gravas o aluviones. Para alcanzar estos resultados se inyecta a través de las perforaciones un mortero de inyección o mezcla a una presión dada.

#### **2.3.13. Rechazo**

Rechazo es la no aceptación de una mezcla de lechada especificada a la presión de inyección máxima permitida; por ejemplo: la reducción del flujo de inyección a menos de 0.5 litros por minuto en mediciones consecutivas de 5 minutos a la máxima presión de inyección permisible, o la inyección de más de 1 00 bolsas de cemento (peso seco de cada bolsa igual a 45 kg).

#### **2.3.14. Sedimentación**

La Sedimentación actúa con la gravedad que realiza la remoción de pequeñas partículas en forma muy natural hacia una base determinada de rocas.

#### **2.3.15. Toma**

Es la cantidad de lechada de cemento inyectado en un tramo, esta expresado en kilogramo por metro lineal (kg/m).

### **2.3.16. Tramo**

En el estudio realizado podemos definir que un tramo es una parte inyectada de una perforación, que pudo elegirse bajo el marco de condición de su entorno antes o después de la perforación, y ese utiliza con el fin de evaluar y seleccionar datos de agua y/o inyecciones.

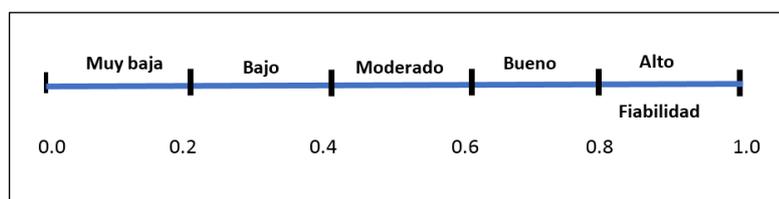
## CAPÍTULO III

### CONFIABILIDAD Y VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO

En cuanto a la determinación de la validez y confiabilidad se usó el enunciado de Alfa de Cronbach. Así mismo la herramienta software SPSS versión 25.

#### 3.1. ALFA DE CRONBACH

Valorizado como índice cuyo valor varía entre cero a uno, se trata de un índice de consistencia interna que toma valores de cero a la unidad ver Figura 12.



Fuente: Elaboración propia

Figura 12. Índice de consistencia

Alfa de Cronbach sirve para comprobar el instrumento que se está evaluando y que produce resultados consistentes y coherentes. Alfa es por tanto un

coeficiente de correlación al cuadrado que, a grandes rasgos, mide la homogeneidad de las preguntas promediando todas las correlaciones entre todos los ítems para ver que, efectivamente, se parecen.

$$\alpha = \frac{k}{K-1} \left\{ 1 - \frac{\sum S_i^2}{S^2} \right\}$$

**Dónde:**

**$\alpha$ :** Coeficiente de Alfa de Cronbach

**K:** El número de ítems

**$S^2_i$ :**  $\sum$  Sumatoria de Varianzas de los Ítems

**$S^2_T$ :** Varianza de la suma de los Ítems

El total de datos analizados se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Número de muestras

		<b>N</b>	<b>%</b>
<b>Casos</b>	Válido	3	75.0
	Excluido <sup>a</sup>	1	25.0
	Total	4	100.0

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 3 mostramos las estadísticas de datos utilizados para la investigación, se obtuvieron las medias y las desviaciones de los ítems evaluados.

Tabla 3. Estadística de los elementos evaluados

	<b>Media</b>	<b>Desv. Desviación</b>	<b>N</b>
<b>Permeabilidad Antes de la cortina de inyección</b>	3.90000	2.913760	3
<b>Permeabilidad Después de la cortina de inyección</b>	1.46667	1.123981	3
<b>Volumen de Exudación Antes de la cortina de inyección</b>	4.66667	1.527525	3
<b>Volumen de Exudación Después de la cortina de inyección</b>	38.02767	10.958052	3
<b>Volumen de Filtración Antes de la cortina de inyección</b>	3.16800	2.174352	3
<b>Volumen de Filtración Después de la cortina de inyección</b>	0.80640	0.520794	3

Fuente: Elaboración propia

Se realizaron los cálculos con la utilización del Software SPSS para la obtención del índice de Alfa de Cronbach como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Estadísticas de Fiabilidad

<b>Alfa de Cronbach</b>	<b>N de elementos</b>
0.143	6

Fuente: Elaboración propia

Por tanto, si relacionamos este resultado 0.143 con el índice de alfa de Cronbach decimos que el instrumento es buena confiabilidad.

### 3.2. ANALISIS CUANTITATIVO DE LAS VARIABLES

Continuación se muestra todo el proceso realizado durante la ejecución del estudio.

### **3.2.1. Caso aplicativo presa de relave el porvenir MAPSAC**

La Presa de Relaves “El Porvenir” está ubicada al Este del Perú, en el Distrito de Yanacancha, Provincia de Cerro de Pasco, Departamento de Pasco, con una altitud promedio de 3,900 a 4,300 msnm, quebrada Lloclla. El acceso se realiza empleando la carretera central desde Lima hasta la localidad de Cerro de Pasco. En ambas zonas de la relavera se encontró material rocoso tales como arcillas en el núcleo impermeable y en las fracturas. El proceso identificado es realizar las inyecciones previo estudio del área geológicamente se origina el tipo de lechada a emplear en congruencia con las presiones de inyección para luego recolectar las filtraciones principalmente en la zona de base de roca o base de pie donde se encontró mayor flujo de agua contaminada y por último se realiza una comparación técnica de filtraciones, Permeabilidad y Exudación antes y después estimada para discusión de resultados.

### **3.2.2. Datos geológicos del sitio.**

La data Geológica recolectada del área, fue una información de alta importancia, porque ha permitido conocer las cualidades del macizo rocoso como el: RMR, RQD, que comprenden las condiciones Geotécnicas (fisuras, continuidad, relleno, alteración), datos que sirvieron para el diseño de la cortina de inyección para la impermeabilización.

En forma resumida podemos decir que el área analizada tiene predominancia roca sedimentaria y estas rocas por su tipología son medianamente fracturadas; entre ellas encontramos: lutitas, cuarcitas, limonita, caliza estas rocas son afectadas por varios tipos de

discontinuidades, también presenta un buzamiento de inclinación de 55° a 65° (subvertical) en dirección principalmente al Este (azimut 150).

Se aprecia en la zona izquierda una meteorización más definida, por todo lo contrario en la zona derecha en donde el macizo rocoso tiene menos fracturas, pero se observó que persisten las alteraciones. (Ver Tabla 5.)

Tabla 5. Resumen de la clasificación Geomecánica – estaciones Geomecánica

Estación Geomecánica	RQD	Calidad del Maciso	RMR ajustado	Calidad de Maciso
EG-1	MF/M	Muy Fracturado	15	Muy Mala
EG-2	MF/M	Muy Fracturado	18	Muy Mala
EG-3	F/R	Fracturado/Regular	30	Mala
EG-4	F/R	Fracturado/Regular	32	Mala
EG-5	F/R	Fracturado/Regular	25	Mala

Fuente: Elaboración Propia

### 3.2.3. Datos de impermeabilidad del área de influencia

Se identificó valores de impermeabilidad por encima de los 20 metros de la zona superior perforada y es un valor que nos indica que hay bastante fractura, por el mismo hecho que existe también precipitaciones que atacan mayormente esa zona. Se observa también algunas excepciones a la creciente en los taladros adyacentes en las fallas donde la roca es muy fracturada, varios puntos de cruces de fallas cuyo conjunto de juntas alteran la zona demostrando o dándonos un valor bajo en el RQD, denominadas zonas de rocas meteorizadas.

En la Tabla 6 , se observa tramos que poseen una permeabilidad mayor a 25 lugeon o 10 lugeon. De esa forma se halló la profundidad de los taladros de inyecciones para su impermeabilización.

Tabla 6. Permeabilidad registrada según el tipo de roca - Presa de relave.

Formación	Permeabilidades (lugeon)		
<b>Dorita y Graneodorita U-B</b>	Hasta 15 m	8.50 - 28.48 cm/s	De 15m a 40 m Mas de 40 m
			10 cm/s 0.23 cm/s
<b>Fallas U-C</b>	Hasta 15 m		De 15m a 40m Mas de 40 m
	45.10 - 240.50 cm/s		3.10 cm/s 3.80 cm/s.
<b>Toba riolitica U-A</b>	Hasta 20 m		De 20 a 40m Mas de 40 m
	75.95 cm/s		38.46 cm/s 76.92 cm/s
<b>Ceniza</b>			4.62 cm/s

Fuente: Ensayos de laboratorio Geotecnia Milpo.

### 3.2.4. Número de puntos de filtración.

Se ha identificado externamente cinco puntos bien definidos de filtración externa que varían en cuanto a su caudal de afluentes según la ubicación y nos define la gran necesidad de contrarrestar estas filtraciones, identificamos externamente según las partes del cuerpo de la presa de relave teniendo mayor concentración de caudal aguas abajo (enrocado), los cuales se detallan en la Tabla 7 , conjuntamente con su filtración.

Tabla 7. Número de puntos de filtración externa de la Presa.

Puntos de Monitoreo	Filtración m <sup>3</sup> /min.
<b>Dique de pie o enrocado</b>	3m <sup>3</sup> /min.
<b>Dique de contención</b>	1.5 m <sup>3</sup> /min.
<b>Dique de arranque (enrocado)</b>	1.5 m <sup>3</sup> /min.
<b>Dique intermedio</b>	1 m <sup>3</sup> /min.

Fuente: Ensayos de laboratorio Geotecnia Milpo

### 3.2.5. Equipo de perforación

Para la ejecución de las perforaciones de los sondajes para inyección en diámetro HQ3 se empleó una (01) perforadora a rotación marca BOART LONGYEAR, modelo 38, lo cual garantizó buenos acabados en las paredes de los huecos y la estabilización de las paredes de la

perforación en los tramos de cobertura de suelo se logró mediante la colocación de tubería metálica (casing), como se observa en la Fuente:

Elaboración Propia

*Figura 13.*



Fuente: Elaboración Propia

Figura 13. Equipo de perforación Boart Longyear

### **3.2.6. Equipo para las inyecciones**

El equipo para las inyecciones tuvo la capacidad de proveer una dosificación y mezclado efectivo, manteniendo las mezclas en suspensión, suministrando y bombeando la mezcla dentro de los huecos en forma continua, con flujo sin interrupciones y a cualquier presión dentro de los límites de presión especificada, (Ver Figura 14).

El equipo de inyección empleado en los trabajos fue el siguiente:

- Bomba de caudal continuo o helicoidal, marca SEEPEX de 30 bares de capacidad.

- Mezclador de alta turbulencia hechizo (similar CEMIX 402 de ATLAS COPCO).
- Agitador de baja rotación hechizo (similar CEMAG 401 de ATLAS COPCO).
- Registro computarizado en tiempo real hechizo (desarrollado por GEOTECNIA PERUANA S.R.L.).



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 14. Equipo para las inyecciones

### 3.2.7. Tuberías y accesorios metálicos

Las tuberías para conducir la mezcla desde la planta de tratamiento al hueco a ser inyectado, las mangueras, obturadores y accesorios para conexiones que se emplearon durante el trabajo fueron capaces de resistir la presión máxima especificada para la inyección, así como para evitar la sedimentación de la mezcla o taponamiento por el cemento (Conjunto de accesorios y tubería, dentro de lo que se encuentra tubería de 1" de

diámetro SCH80, packer neumático tipo BIMBAR, manómetros analógicos y conexiones diversas).

### 3.2.8. Elaboración de la lechada

Los materiales empleados para la elaboración de la lecha se muestran en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Componentes de la lechada utilizada

<b>Cemento</b>	El cemento usado en la inyección fue cemento Portland Andino V de 42.5 kg
<b>Bentonita</b>	La bentonita empleada (93% de sus partículas pasa a través de la malla 200 - bentonita de sodio). Siendo el material empleado STAR-GEL XTRA (Hi-Yield Bentonita), de la marca NORTHSTAR FLUID SOLUTIONS,
<b>Súper-plastificante</b>	Se empleó EUCO 37® - Reductor de Agua de Alto Rango – Súper-plastificante
<b>Agua</b>	Agua limpia cuyo pH obtenido es de 7, visualmente libre de sustancias orgánicas

Fuente: Elaboración Propia

### 3.2.9. Ensayos ejecutados en laboratorio de campo

Se realizaron pruebas de laboratorio para definir la mezcla adecuada, estos ensayos fueron realizados por el CONTRATISTA bajo la supervisión y dirección de ARTH GROUTING, ejecutándose pruebas con la mezcla en estado fluido e inmediatamente posterior a su preparación. Para la preparación de las mezclas, los productos utilizados como el agua, cemento y aditivos, fueron agitados en mezcladoras de laboratorio, siendo necesario para ello ejecutar el batido por un período de (2) dos minutos, tiempo definido como estándar para el total de las mezclas que fueron ensayadas en laboratorio, asimismo este tiempo se empleó durante la preparación de las mezclas en la planta de inyección y

durante las pruebas de inyectabilidad In-Situ. Los ensayos realizados para caracterización de la mezcla son:

- Fluidez Marsh (seg/qt)
- Cohesión por métodos de campo (g/cm<sup>2</sup>)
- Factor de sedimentación o exudación (%)
- Densidad de las mezclas (gr/cm<sup>3</sup>)

Los resultados de estos ensayos fueron interpretados por el Especialista en grouting y permitieron obtener las curvas de inyectabilidad, determinación del tiempo adecuado entre etapas sucesivas de inyección

#### **3.2.10. Diseños de mezcla ensayados**

Las dosificaciones de las mezclas fueron ajustadas de acuerdo con sus características geológicas, las cuales fueron estudiadas en el laboratorio de campo. En la Tabla 8 se muestra un resumen de las pruebas de laboratorio que fueron realizadas en el proyecto, aquí se presentan las proporciones agua : sólidos, con relación al peso del cemento, la dosificación empleada, los porcentajes de los aditivos y los resultados de las pruebas de laboratorio obtenidos; cabe indicar que la variación de aditivos y dosificaciones agua : sólidos han sido exclusivamente para la definición de un diseño de mezcla que presente las mejores características geológicas. De los (34) diseños de mezclas ensayados en laboratorio de campo, se han descartado varias mezclas no aptas para la inyección por su elevada viscosidad.

Tabla 8. Diseño de mezclas en laboratorio

Ítem	Nomenclatura de Mezcla en Campo	Nro. Diseño en Laboratorio	Dosificación Agua/Sólidos	Bentonita (%)	Fluidificante (%)	Fluidez Marsh (seg/qt)	Factor de sedimentación (%)
1	A	29	0.7:1	0.5	0.83	31.21	0.8
2	B	4	0.6:1	-	1.19	31.27	1
3	C	14	0.6:1	-	-	35.48	2
4	D	24	0.6:1	0.5	-	40.52	0
5	E	25	0.6:1	0.75	-		

Fuente: Elaboración Propia

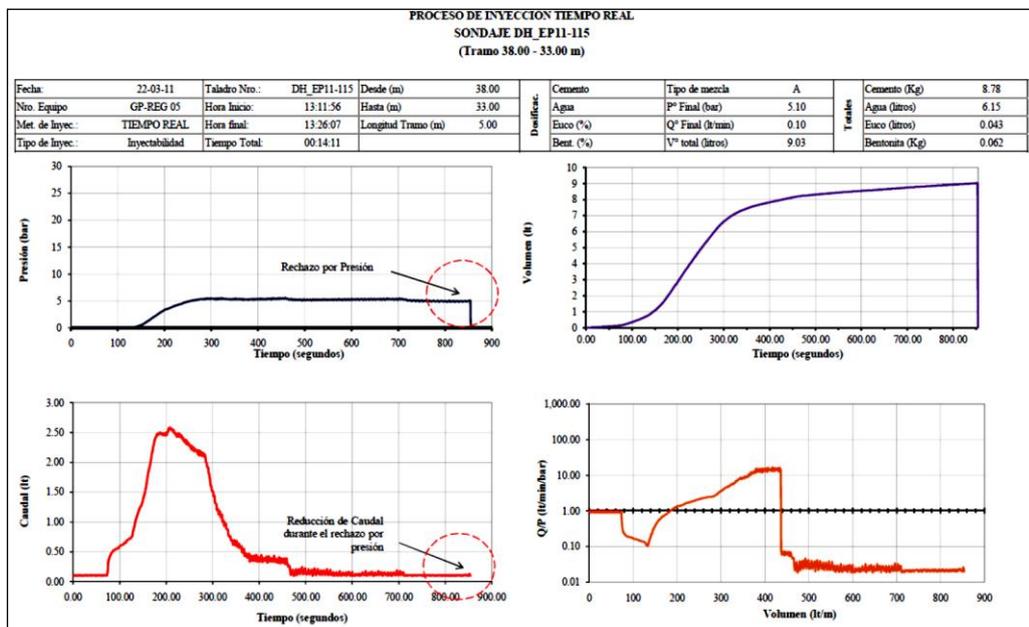
Los ensayos de laboratorio permitieron definir las mezclas que fueron empleadas en las pruebas de inyectabilidad, así como también conocer las características geológicas, permitiendo realizar durante el desarrollo del proceso los ajustes adecuados en los casos que fue necesario, de tal modo los Diseño “A” y Nro.24 fueron elegidos como mezclas óptimas para ser usados en las pruebas de inyectabilidad por poseer las características reológicas ( es el estudio de la deformación y el fluir de la materia). Y que fueron indicadas en los lineamientos de las pruebas de inyectabilidad y su uso estuvo dirigido a lograr el cierre paulatino en el caso que se presentasen tomas elevadas, mediante el engrosamiento de la mezcla durante el proceso de inyección. Se aprecia también el porcentaje de aditivos según mezcla y la dosificación agua solido según los tramos evaluados presión y aberturas.

### 3.2.11. Desarrollo de la prueba de inyectabilidad

El análisis de inyección nos sirvió para conocer el comportamiento del medio ante el proceso de la inyección en los diferentes tramos de los sondeos considerados para dichas pruebas. Esta información se emplea para ajustar los parámetros de inyección como son la presión y el

volumen con miras a un futuro tratamiento o al mismo tiempo determinar la resistencia que opone el medio a ser inyectado; en ambos casos, ver

Gráfico 1.



Fuente: Área Mina Unidad Miera El Porvenir

Gráfico 1. Pruebas de inyectabilidad

### 3.3. EJECUCIÓN DE LA INYECCIÓN EN LA PRESA DE RELAVES

#### Lavado con agua a presión

Antes de iniciar las inyecciones se procedió al completo lavado del taladro usando agua a presión a través de un tubo de diámetro aproximadamente igual a la mitad del diámetro de la perforación y que se extendió hasta el fondo del mismo, con la finalidad de que toda la roca descompuesta y todo el material blando que se encontrase en las grietas fuera lavado con agua a presión y remover todo material que sea posible.

Los sondajes se lavaron por un período de tiempo suficiente para remover el relleno de las fracturas; esto se determinó por el color del agua al salir a la superficie.

### **Proceso de inyección**

La metodología de inyección para la operación fue de manera ascendente, en el caso específico de este Estudio, los sondajes en donde se realizó las pruebas de inyectabilidad se encuentran equidistantes entre sí (como lo hemos mencionado anteriormente el sondaje DH\_EP11-115 se encuentra ubicado hacia aguas abajo de la presa – pie de presa, mientras que el sondaje DH\_EP11-118 se encuentra en el estribo izquierdo de la presa existente – corona de presa).

### **Método de inyección**

Los tramos de cada uno de los sondajes fueron inyectados hasta que se obtuvo el rechazo. Se obturó y realizó la prueba de inyectabilidad en los mismos tramos donde se realizó cada prueba de permeabilidad para poder realizar un análisis de resultados en un medio conocido y que estos sean a su vez comparativos, en tramos de 5 metros aproximadamente cada uno. El proceso de inyección se realizó desde el tramo más profundo hacia arriba hasta un tramo próximo al contacto suelo roca para cada uno de los sondajes y la ubicación del revestimiento metálico instalado para estabilizar las paredes del pozo y que no ingrese material suelto hacia la parte baja en los tramos inferiores.

La inyección de la lechada se realizó por el control de presión, la lechada se inyectó a un caudal entre 10 a 15 litros / minuto o menor hasta que alcanzó su presión de rechazo designado previamente para cada tramo. El caudal se redujo progresivamente para mantener la presión designada con la inyección continua hasta el rechazo.

Las presiones manométricas de inyección máximas alcanzadas y estimadas para cada tramo fueron medidas en la boca del sondaje teniendo en

consideración el punto medio del tramo de inyección y la corrección realizada por la inclinación de los sondajes de  $-45^\circ$ ; siendo registradas en tiempo real.

En el caso del sondaje DH\_EP11-118 (primer sondaje inyectado), se inyectó desde el fondo del pozo en 80.05 metros hasta una profundidad de 19.00 metros, teniendo corrección de tramo en profundidad de 80 m. Se tuvo una corrección por factores intrínsecos a los 54 m por que se debería tener solo una presión de 22 bares y se tuvo 31.32 bares, corrigiéndolo en el tramo ya mencionado, ver Tabla 9.

Tabla 9. Presiones de inyección sondaje DH\_EP11-118

<b>Tramo (m)</b>	<b>Corrección punto medio de tramo (m)</b>	<b>Presión Manométrica (bares)</b>	<b>Presión Efectiva en el Tramo Inyectado (bares)</b>
19.00 – 24.00	15.2	6	8.58
24.00 – 29.00	18.74	8	11.19
29.00 – 34.00	22.74	10	13.87
34.00 – 39.00	25.81	12	16.39
39.00 – 44.00	29.34	12	16.99
44.00 – 49.00	32.88	14	19.59
49.00 – 54.00	36.42	16	22.19
54.00 – 59.00	40.02	18	24.8
59.00 – 64.00	43.49	18	25.39
64.00 – 69.00	47.02	20	27.99
69.00 – 74.00	50.56	20	28.6
74.00 – 80.05	54.82	22	31.32

Fuente: Empresa CESEL S.A

En el caso del sondaje DH\_EP11-115 (segundo sondaje inyectado), se realizaron pruebas de inyectabilidad desde el fondo del pozo en 62.95 metros hasta una profundidad de 33.00 metros, ver Tabla 10.

Tabla 10. Presiones de inyección sondaje DH\_EP11-115

<b>Tramo (m)</b>	<b>Corrección punto medio de tramo (m)</b>	<b>Presión Manométricas (bares)</b>	<b>Presión Efectiva en el Tramo Inyectado (bares)</b>
33.00 – 38.00	25.1	12	16.27
38.00 – 43.00	28.64	12	16.87
43.00 – 48.00	32.17	14	19.47
48.00 – 53.00	35.71	16	22.07
53.00 – 58.00	39.24	16	22.67
58.00 – 62.95	42.76	18	25.27

Fuente: Empresa CESEL S.A

Para determinar las presiones de inyección, se ha considerado la profundidad de cada tramo dentro del sondaje con relación a la sobrecarga hidráulica máximo proyectada para el futuro recrecimiento de la presa de relaves, presión de pruebas de inyección a considerarse de 2 a 3 veces sobre la carga hidráulica proyectada (Ref. G. Lombardi 2001). Durante el desarrollo de los trabajos no se presentaron fugas de mezcla a la superficie, ni comunicación entre tramos de inyección.

### **3.4. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS**

#### **3.4.1. Análisis de resultados del volumen de filtración por acción de la impermeabilización (antes y después)**

En base al cuadro de datos de Flujo de Filtración obtenida en los puntos de monitoreo, se logra valores con tendencia a resultados esperados post-inyección de cortinas básicamente el relave depositado realiza una presión interna factorial la cual las inyecciones de impermeabilización va reducir considerablemente el paso de los afluentes por las fisuras o aberturas identificadas en los taladros, teniendo que la base de la relavera es de mayor extensión se obtuvo una reducción

considerable de la filtración en dicha zona es decir en la base de la relavera.

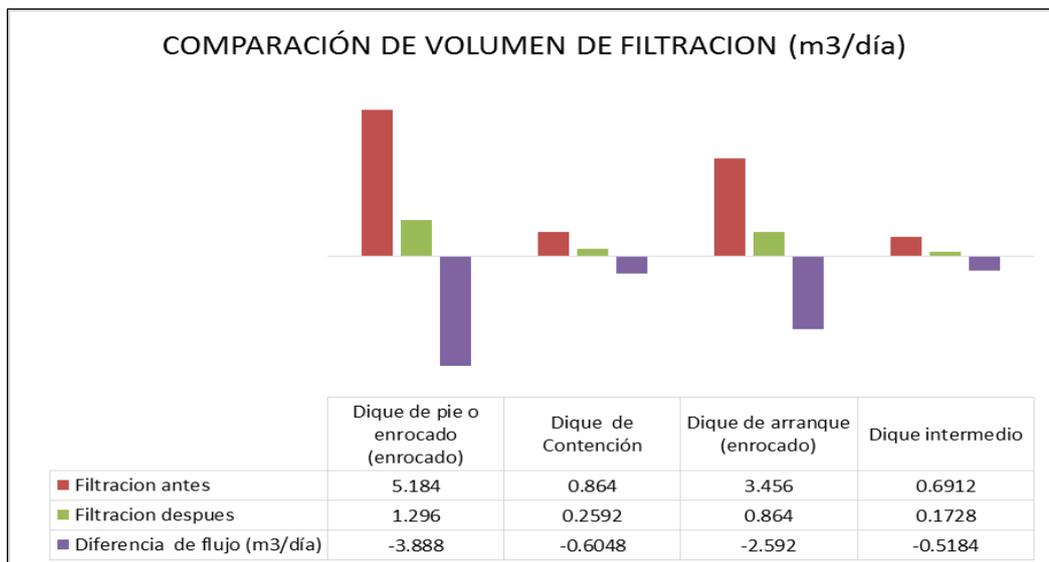
Por lo tanto, se observa en la Tabla 11, la comparación del volumen de filtración. Bajo los datos presentados, se tenía un volumen de 10.1952 m<sup>3</sup>/día, con lo cual demandaba que la poza de recepción colapsara en casi un día, teniendo que recircular el agua captada de los cuatro puntos de monitoreo hacia la presa de relave. Apreciando la misma Tabla 11, podemos mencionar que el volumen de agua captado, se redujo en un 75% por lo que la poza de captación actualmente se llena en 3 días, debido a una baja de la filtración obtenida gracias a la impermeabilización de cortinas de inyección realizada, teniendo sólo 2.592 m<sup>3</sup>/día, siendo un resultado esperado, considerando que existe en la zona gran cantidad de precipitaciones fluviales.

Tabla 11. Flujo antes y después de la cortina de Inyección

Puntos de Monitoreo	Antes	Después	Diferencia de flujo (m3/día)	Porcentaje de Reducción (%)
	Flujo - Filtración (m3/día)	Flujo - Filtración (m3/día)		
Dique de pie o enrocado	5.184	1.296	-3.888	-75%
Dique de Contención	0.864	0.2592	-0.6048	-70%
Dique de arranque (enrocado)	3.456	0.864	-2.592	-75%
Dique intermedio	0.6912	0.1728	-0.5184	-75%
<b>Total</b>	<b>10.1952</b>	<b>2.592</b>	<b>-7.6032</b>	<b>-74%</b>

Fuente: Elaboración Propia.

Como observamos finalmente en el Gráfico 2 la filtración obtenida tiene una diferencia esperada gracias a la impermeabilización en los cuatro puntos de toma.



Fuente: Elaboración Propia.

Gráfico 2. Comparación de Volumen de Flujo antes y después

Describiremos entonces los puntos de recolección de las filtraciones de la relavera.

- **Dique de Enrocado o de pie;** Cota de embalse 4245, en esta zona se obtuvo una reducción de la permeabilidad de 2.7 de un 3.2 cm/s, inicialmente se tuvo un volumen de filtración de 5.184 m<sup>3</sup>/día realizado la cortina se tiene ahora 1.296 m<sup>3</sup>/días, dando un resultado favorable.
- **Dique de Contención;** Cota de embalse 4273, en esta zona se obtuvo una reducción de la permeabilidad de 0.5 de un 7.1 cm/s, inicialmente se tuvo un flujo de filtración de 0.864 m<sup>3</sup>/día realizado la cortina se tiene 0.259 m<sup>3</sup>/día, dando un resultado favorable.
- **Dique de Arranque;** Cota de embalse 4247, en esta zona se obtuvo una reducción de la permeabilidad de 0.5 de un 7.1 cm/s, inicialmente se tuvo un flujo de filtración de 3.456 m<sup>3</sup>/día realizado la cortina se tiene 0.864 m<sup>3</sup>/día, dando un resultado favorable.

- **Dique Intermedio;** Cota de embalse 4265, en esta zona se obtuvo una reducción de la permeabilidad de 1.2 de un 1.4 cm/s, inicialmente se tuvo un flujo de filtración de 0.691 m<sup>3</sup>/día realizado la cortina se tiene 0.172 m<sup>3</sup>/día, dando un resultado favorable.

### 3.4.2. Análisis de resultados de permeabilidad por acción de la impermeabilización

Se tiene tres unidades hidrogeológicas en roca bien diferenciadas definidas por la data recolectada en campo, perforaciones, pruebas hidráulicas y otros:

- La que contienen rocas tales como limolitas, lutaceas y limolitas carbonosas ubicadas en la zona derecha que denominaremos unidad Hidrogeológica A.
- Las comprendidas por rocas como la granodiorita, granodiorita secundaria de 6 metros de ancho aproximadamente ubicado en la zona izquierda que denominaremos unidad Hidrogeológica B.
- Las areniscas y cuarzosas estarán comprendidas en la unidad Hidrogeológica C.

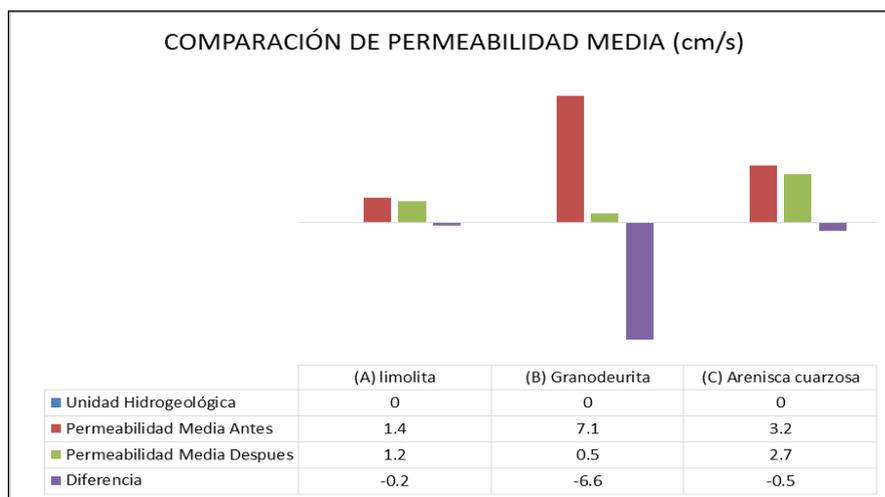
En la Tabla 12 observaremos una diferencia satisfactoria de la permeabilidad en sus tres unidades antes y después de realizar las inyecciones de impermeabilización de la relavera.

Tabla 12. Permeabilidad Antes y Después de la cortina de Inyección

N°	Unidad Hidrogeológica	Profundidad	Antes	Después	Diferencia
			Permeabilidad Media (cm/s)	Permeabilidad Media (cm/s)	
1	(A) limolita	de 15 a 40 m	1.4	1.2	-0.2
2	(B) Granodiorita	de 15 a 40 m	7.1	0.5	-6.6
3	(C) Arenisca cuarzosa	de 15 a 40 m	3.2	2.7	-0.5

Fuente: Elaboración Propia.

En el Gráfico 3 se observa una baja sustancial de permeabilidad media en las 3 unidades de evaluación.



Fuente: Elaboración Propia.

Gráfico 3. Comparación de Permeabilidad Media

- En la unidad A hidrogeológica, comprendida en el área de **Sondaje DH\_EP11-115 (Tramo 62.95 - 58.00 m)** cuya permeabilidad inicial era de 1.4 cm/s; luego de realizar la Inyección tradicional se obtuvo 1.2 cm/s, teniendo una diferencia de 0.2 cm/s de permeabilidad.
- En la Unidad B hidrogeológica, comprendida en el área de sondaje **DH\_EP11-118 (Tramo 80.05 - 74.00 m)** cuya permeabilidad inicial era de 7.1 cm/s; luego de realizar la Inyección tradicional se obtuvo 0.5 cm/s, teniendo una diferencia de 6.6 cm/s de permeabilidad.
- En la unidad hidrogeológica C, comprendida en el área de **sondaje (Tramo 34.00 - 29.00 m)** cuya permeabilidad inicial era de 3.2 cm/s; luego de realizar la Inyección tradicional se obtuvo 2.7 cm/s, teniendo una diferencia de 0.5 cm/s de permeabilidad.

Cabe mencionar que se obtuvo resultados satisfactorios acorde con el estándar de la minera el Porvenir MAPSAC, concluyendo que el inyectado es satisfactorio.

### **3.4.3. Análisis de resultados de volumen de exudación por acción de impermeabilización.**

Se calculó el volumen total originado por acción de la exudación mediante un método y así tener como REFERENCIA, dichos volúmenes de exudación que fueron derivados en su totalidad hacia la zona de fundación evitando contribuya a las filtraciones externas de la presa de relave la cual queremos disminuir para lo cual se tuvo tres consideraciones:

- Se dejó una luz sin inyectar en la parte superior terminal del taladro (1 metro).
- Se originó una poza superior para almacenar el volumen recolectado por exudación.
- Se aplicó a los 158 taladros.

Para el cálculo del volumen se dividió en tres tramos como son:

#### ***3.4.3.1. Primer tramo que consta de 48 taladros***

En el primer tramo, se hicieron 48 perforaciones con taladros primarios, cuyo promedio del volumen acumulado de exudación es de 0.59 litros, como se indica en la Tabla 13.

Tabla 13. Cálculo de volumen de taladros Primarios por exudación.

Tiempo (min)	Volumen Parcial Exudación (ml)	Volumen acumulado de Exudación (ml)	Velocidad de Exudación (min/cm)	Area de acumulación (1.6 litros max)
0	0	0	0	0
10	507	507	0.7	507
10	509	516	0.9	520
10	510	526	1	523
10	512	538	1.2	534
30	524	562	0.8	544
30	516	578	0.53	551
30	514	592	0.47	560
30	504	596	0.13	588
30	0	596	0	596
<b>Total</b>		<b>litros 0.59</b>		

Fuente: Elaboración Propia.

En consecuencia, por los 48 taladros primarios se obtuvo 28.32 litros de exudación contaminado.

#### 3.4.3.2. Segundo tramo que consta de 48 taladros

En el segundo tramo, igualmente se hicieron 48 perforaciones con taladros secundarios, cuyo promedio del volumen acumulado de exudación es de 0.703 litros, como se indica en la Tabla 14

Tabla 14. Cálculo de volumen de taladros Secundarios por exudación

Tiempo (min)	Volumen Parcial Exudación (ml)	Volumen acumulado de Exudación (ml)	Velocidad de Exudación (min/cm)	Area de acumulación (1.6 litros max)
0	0	0	0	0
10	601	601	0.9	601
10	605	616	1	620
10	618	620	1.6	622
30	630	635	1.8	638
30	633	641	0.9	645
30	640	649	1.5	646
30	600	685	1.7	668
35	598	703	1.5	689
35	0	703	0	703
<b>Total</b>		<b>litros 0.703</b>		

Fuente: Elaboración Propia.

En los 48 taladros secundarios se obtuvo 35.853 litros de exudación contaminada.

### 3.4.3.3. Tercer tramo que consta de 62 taladros

En el tercer tramo, se hicieron 62 perforaciones con taladros terciarios, cuyo promedio del volumen acumulado de exudación es de 0.805 litros, como se indica en la Tabla 15.

Tabla 15. Cálculo de volumen de taladros Terciarios por exudación

Tiempo (min)	Volumen Parcial Exudación (ml)	Volumen acumulado de Exudación (ml)	Velocidad de Exudación (min/cm)	Area de acumulación (1.6 litros max)
0	0	0	0	0
10	705	705	1.9	705
10	712	711	0.5	709
30	719	725	1	715
30	726	733	1.6	730
30	736	740	1.6	739
30	730	769	0.78	746
30	727	781	1.55	775
30	720	805	1.2	797
30	0	805	0	805
<b>Total</b>		<b>litros 0.805</b>		

Fuente: Elaboración Propia.

En los 62 taladros terciarios se obtuvo 49.91 litros de exudación contaminado. En la Tabla 16 se detallan los resultados en forma global.

Tabla 16. Volumen total de Exudación antes y después de la cortina de Inyección

Taladros	Antes		Después	
	Cantidad	Volumen acumulado de Exudación (l)	Cantidad	Volumen acumulado de Exudación (l)
Primarios	0	0	48	28.32
Secundarios	0	0	48	35.853
Terciarios	0	0	62	49.91
<b>Total</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>158</b>	<b>114.083</b>

Fuente: Elaboración Propia.

Podemos concluir entonces que, el volumen total en litros captado en la poza auxiliar de líquido contaminado, producto de la exudación por la inyección de los taladros donde se empleó material acuoso y aditivos químicos, fue de 114.08 litros = 0.114 m<sup>3</sup> de líquido de exudación contaminado que fueron recolectados en su totalidad y recirculado a la zona de fundación evitando que filtre externamente y contamine los lagos y ríos exteriores.

### 3.5. PRUEBA DE NORMALIDAD

Dicha prueba se efectuó con el uso del software SPSS versión 25 para las variables en estudio como se muestran en la Tabla 17 correspondiente al ítem Volumen de filtración antes y después de la cortina de inyección.

#### Matriz para el SPSS

La data utilizada para el desarrollo del SPSS fueron las variables principales en su diferencia de antes y después, los mismos que se muestran en la Tabla 17, Tabla 18, Tabla 19, Tabla 20 y Tabla 21.

Tabla 17. Datos de filtración

Punto de monitoreo	Flujo de filtración			
	Antes		Después	
	Fecha	Flujo (m3)	Fecha	Flujo (m3)
<b>Dique de Pie</b>	01/07/2018	5.10	01/11/2018	1.29
	04/07/2018	5.21	02/11/2018	1.30
	09/07/2018	5.26	03/11/2018	1.33
	13/07/2018	5.20	04/11/2018	1.30
	17/07/2018	5.29	05/11/2018	1.28
	22/07/2018	5.23	06/11/2018	1.25
	29/07/2018	5.00	07/11/2018	1.27
	<b>Promedio</b>		5.18	
<b>Dique de Contención</b>	05/08/2018	0.84	09/11/2018	0.20
	09/08/2018	0.87	10/11/2018	0.24
	14/08/2018	0.86	11/11/2018	0.28
	18/08/2018	0.89	12/11/2018	0.25
	20/08/2018	0.86	13/11/2018	0.24
	23/08/2018	0.86	14/11/2018	0.29
	28/08/2018	0.86	15/11/2018	0.25
	<b>Promedio</b>		0.86	
<b>Dique de Arranque</b>	03/09/2018	3.44	17/11/2018	0.85
	06/09/2018	3.45	18/11/2018	0.90
	10/09/2018	3.46	19/11/2018	0.80
	12/09/2018	3.46	20/11/2018	0.86
	18/09/2018	3.45	21/11/2018	0.89
	23/09/2018	3.45	22/11/2018	0.88
	27/09/2018	3.45	23/11/2018	0.87
	<b>Promedio</b>		3.45	
<b>Dique Intermedio</b>	05/10/2018	0.71	24/11/2018	0.15
	11/10/2018	0.75	25/11/2018	0.17
	15/10/2018	0.63	26/11/2018	0.18
	19/10/2018	0.65	27/11/2018	0.16
	23/10/2018	0.70	28/11/2018	0.17
	24/10/2018	0.67	29/11/2018	0.18
	29/10/2018	0.68	30/11/2018	0.19
	<b>Promedio</b>		0.68	

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 18. Data de permeabilidad

Unidad Hidrogeológica	Permeabilidad Media					
	Antes			Después		
	Fecha	Profundidad (m)	Permeabilidad (cm/s)	Fecha	Profundidad (m)	Permeabilidad (cm/s)
1(A) Limolita	01/07/2018	15	1.5	01/11/2018	15	1.3
	04/07/2018	20	1.4	02/11/2018	20	1.2
	09/07/2018	22	1.7	03/11/2018	22	1.5
	13/07/2018	29	1.2	04/11/2018	29	1.4
	17/07/2018	32	1.2	05/11/2018	32	1.2
	22/07/2018	38	1.5	06/11/2018	38	1.1
	29/07/2018	40	1.7	07/11/2018	40	1.0
	Promedio			1.5		
2(B) Granodiorita	05/08/2018	15	7.5	09/11/2018	15	0.3
	09/08/2018	18	7.4	10/11/2018	18	0.2
	14/08/2018	20	7.2	11/11/2018	20	0.5
	18/08/2018	21	7.0	12/11/2018	21	0.7
	20/08/2018	35	6.9	13/11/2018	35	0.6
	23/08/2018	39	6.8	14/11/2018	39	0.4
	28/08/2018	40	6.9	15/11/2018	40	0.8
	Promedio			7.1		
3(C) Arenisca Cuarzosa	03/09/2018	15	3.1	17/11/2018	15	2.9
	06/09/2018	16	3.4	18/11/2018	16	2.7
	10/09/2018	19	3.5	19/11/2018	19	2.8
	12/09/2018	22	3.2	20/11/2018	22	2.5
	18/09/2018	25	3.1	21/11/2018	25	2.7
	23/09/2018	35	3.0	22/11/2018	35	2.8
	27/09/2018	40	3.1	23/11/2018	40	2.8
	Promedio			3.2		

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 19. Data de exudación primer tramo.

<b>Exudación taladros primarios</b>		
<b>N de taladro</b>	<b>Profundidad (m)</b>	<b>Volumen (ml)</b>
Taladro 1	35	0.58
Taladro 2	34	0.56
Taladro 3	35	0.59
Taladro 4	36	0.57
Taladro 5	34	0.58
Taladro 6	35	0.59
Taladro 7	36	0.56
Taladro 8	34	0.57
Taladro 9	34	0.60
Taladro 10	35	0.58
Taladro 11	34	0.59
Taladro 12	34	0.59
Taladro 13	36	0.59
Taladro 14	37	0.56
Taladro 15	33	0.57
Taladro 16	35	0.58
Taladro 17	34	0.55
Taladro 18	35	0.60
Taladro 19	36	0.61
Taladro 20	33	0.59
Taladro 21	34	0.59
Taladro 22	35	0.61
Taladro 23	35	0.62
Taladro 24	34	0.60
Taladro 25	34	0.59
Taladro 26	36	0.58
Taladro 27	34	0.59
Taladro 28	34	0.63
Taladro 29	34	0.61
Taladro 30	35	0.59
Taladro 31	36	0.62
Taladro 32	33	0.59
Taladro 33	35	0.58
Taladro 34	36	0.63
Taladro 35	32	0.61
Taladro 36	33	0.60
Taladro 37	34	0.58
Taladro 38	33	0.55
Taladro 39	34	0.58
Taladro 40	36	0.60
Taladro 41	36	0.59
Taladro 42	33	0.61
Taladro 43	32	0.57
Taladro 44	33	0.58
Taladro 45	35	0.60
Taladro 46	35	0.59
Taladro 47	35	0.60
Taladro 48	33	0.57
<b>Total</b>		28.27 litros
		0.59

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 20. Data de exudación segundo tramo.

<b>Exudación taladros secundarios</b>		
<b>N de taladro</b>	<b>Profundidad (m)</b>	<b>Volumen (ml)</b>
Taladro 1	35	0.69
Taladro 2	34	0.71
Taladro 3	35	0.73
Taladro 4	36	0.58
Taladro 5	34	0.57
Taladro 6	35	0.70
Taladro 7	36	0.71
Taladro 8	34	0.70
Taladro 9	34	0.59
Taladro 10	35	0.68
Taladro 11	34	0.75
Taladro 12	34	0.74
Taladro 13	36	0.73
Taladro 14	37	0.72
Taladro 15	33	0.70
Taladro 16	35	0.71
Taladro 17	34	0.70
Taladro 18	35	0.67
Taladro 19	36	0.73
Taladro 20	33	0.71
Taladro 21	34	0.67
Taladro 22	35	0.70
Taladro 23	35	0.70
Taladro 24	34	0.69
Taladro 25	34	0.71
Taladro 26	36	0.74
Taladro 27	34	0.72
Taladro 28	34	0.67
Taladro 29	34	0.69
Taladro 30	35	0.70
Taladro 31	36	0.67
Taladro 32	33	0.69
Taladro 33	35	0.70
Taladro 34	36	0.67
Taladro 35	32	0.69
Taladro 36	33	0.70
Taladro 37	34	0.75
Taladro 38	33	0.64
Taladro 39	34	0.64
Taladro 40	36	0.69
Taladro 41	36	0.70
Taladro 42	33	0.68
Taladro 43	32	0.71
Taladro 44	33	0.74
Taladro 45	35	0.65
Taladro 46	35	0.69
Taladro 47	35	0.67
Taladro 48	33	0.72
<b>Total</b>		35.8 litros
		0.70

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 21. Data de Exudación tercer tramo

<b>Exudación taladros tercerarios</b>		
<b>N de taladro</b>	<b>Profundidad (m)</b>	<b>Volumen (ml)</b>
Taladro 1	35	0.79
Taladro 2	34	0.76
Taladro 3	35	0.80
Taladro 4	36	0.82
Taladro 5	34	0.81
Taladro 6	35	0.80
Taladro 7	36	0.78
Taladro 8	34	0.77
Taladro 9	34	0.81
Taladro 10	35	0.85
Taladro 11	34	0.84
Taladro 12	34	0.76
Taladro 13	36	0.78
Taladro 14	37	0.79
Taladro 15	33	0.80
Taladro 16	35	0.79
Taladro 17	34	0.81
Taladro 18	35	0.82
Taladro 19	36	0.83
Taladro 20	33	0.89
Taladro 21	34	0.74
Taladro 22	35	0.76
Taladro 23	35	0.81
Taladro 24	34	0.79
Taladro 25	34	0.79
Taladro 26	36	0.75
Taladro 27	34	0.80
Taladro 28	34	0.81
Taladro 29	34	0.79
Taladro 30	35	0.81
Taladro 31	36	0.79
Taladro 32	33	0.81
Taladro 33	35	0.83
Taladro 34	36	0.84
Taladro 35	32	0.80
Taladro 36	33	0.80
Taladro 37	34	0.81
Taladro 38	33	0.83
Taladro 39	34	0.78
Taladro 40	36	0.76
Taladro 41	36	0.81
Taladro 42	33	0.80
Taladro 43	32	0.80
Taladro 44	33	0.78
Taladro 45	35	0.83
Taladro 46	35	0.79
Taladro 47	35	0.79
Taladro 48	33	0.80
Taladro 49	33	0.79
Taladro 50	35	0.88
Taladro 51	33	0.84
Taladro 52	35	0.85
Taladro 53	38	0.79
Taladro 54	32	0.80
Taladro 55	34	0.89
Taladro 56	38	0.65
Taladro 57	35	0.82
Taladro 58	33	0.76
Taladro 59	35	0.79
Taladro 60	34	0.78
Taladro 61	37	0.80
Taladro 62	37	0.82
<b>Total</b>		49.9 litros
		0.80

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 22. Matriz para el desarrollo del SPSS.

Flujo m3/día		Permiabilidad cm/s		Exudación litros	
Antes	Despues	Antes	Despues	Antes	Despues Acumulado
5.18	1.29	1.4	1.2	0	28.32
0.86	0.25	7.1	0.5	0	35.85
3.45	0.86	3.2	2.7	0	49.91
0.69	0.17				

Fuente: Elaboración propia.

Bajo los datos adquiridos se aplicó la prueba de normalidad tomando como referencia el antes y después de las tres variables importantes que nos van a dar estadísticamente una prueba de regularidad que se demostraremos en la siguiente Tabla 23.

Tabla 23. Prueba de Normalidad volumen de filtración

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
<b>Volumen de Filtración Antes de la cortina de inyección</b>	0.282	4		0.881	4	0.343
<b>Volumen de Filtración Después de la cortina de inyección</b>	0.268	4		0.903	4	0.444

Fuente: Elaboración propia SPSS

En la Tabla 24 se muestra el antes y después de los datos correspondientes al ítem de la permeabilidad.

Tabla 24. Prueba de Normalidad permeabilidad

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
<b>Permeabilidad Antes de la cortina de inyección</b>	0.262	3		0.957	3	0.600
<b>Permeabilidad Después de la cortina de inyección</b>	0.260	3		0.958	3	0.605

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 25 se muestra los datos de la prueba de normalidad, correspondientes al ítem Volumen de Exudación antes y posteriormente a nuestra cortina ya inyectada.

Tabla 25. Prueba de Normalidad volumen de exudación

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
<b>Volumen de Exudación Antes de la cortina de inyección</b>	0.253	3		0.964	3	0.637
<b>Volumen de Exudación Después de la cortina de inyección</b>	0.245	3		0.970	3	0.670

Fuente: Elaboración propia SPSS

## CAPÍTULO IV

### PROCESO DE CONTRASTE DE HIPÓTESIS

Para la ejecución de la prueba de hipótesis se tendrá en cuenta los siguientes datos consignados en la Tabla 26.

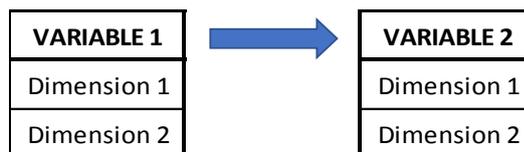
Tabla 26 Datos para la contratación de Hipótesis

Margen de error	Confiabilidad	Valor Crítico	Gado de libertad
0.05	95%	(+/-) 2.35	3

Fuente: Elaboración propia

#### 4.1. PRUEBA DE HIPÓTESIS GENERAL

En la Figura 15, apreciamos la relación que existe entre la variable independiente con la variable dependiente.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 15 Dimensión de Hipótesis General

- **Hipótesis Alternativa**

“El método de inyección tradicional de impermeabilización reduce la filtración de la presa de relave, El Porvenir MAPSAC 2018.”

- **Hipótesis Nula**

“El método de inyección tradicional de impermeabilización no reduce la filtración de la presa de relave, El Porvenir MAPSAC 2018.”

Se ha utilizado la tabla de Shapiro Wilk, porque solo se analizó 4 muestras resumidas, cuyos valores obtenidos se muestran a continuación en la Tabla 27.

Tabla 27. Resumen de procesamiento de casos

	Casos					
	Incluido		Excluido		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
<b>Volumen de Filtración Antes de la cortina de inyección</b>	4	100.0%	0	0.0%	4	100.0%
<b>Volumen de Filtración Después de la cortina de inyección</b>	4	100.0%	0	0.0%	4	100.0%

Fuente: Elaboración propia SPSS

La data estadística obtenidos con el programa SPSS, se muestran en la Tabla 28, donde el volumen de filtración antes de la cortina de inyección en promedio fue de 2.55 m<sup>3</sup>.

Tabla 28. Descripción de datos de volumen de filtración

		Estadístico	Desv. Error	
<b>Volumen de Filtración Antes de la cortina de inyección</b>	Media	2.548800	1.0823015	
	95% de intervalo de confianza para la	Límite inferior	-0.895567	
	Límite superior	5.993167		
	Media recortada al 5%	2.505600		
	Mediana	2.160000		
	Varianza	4.686		
	Desv. Desviación	2.1646031		
	Mínimo	0.6912		
	Máximo	5.1840		
	Rango	4.4928		
	Rango intercuartil	4.0176		
	Asimetría	0.516	1.014	
	Curtosis	-3.044	2.619	
	<b>Volumen de Filtración Después de la cortina de inyección</b>	Media	0.648000	0.2651321
		95% de intervalo de confianza para la	Límite inferior	-0.195769
Límite superior		1.491769		
Media recortada al 5%		0.638400		
Mediana		0.561600		
Varianza		0.281		
Desv. Desviación		0.5302642		
Mínimo		0.1728		
Máximo		1.2960		
Rango		1.1232		
Rango intercuartil		0.9936		
Asimetría		0.519	1.014	
Curtosis		-2.861	2.619	

Fuente: Elaboración propia SPSS

El resultado obtenido en la correlación de variables de Pearson es  $r = 0.99$ , corresponde a una correlación positiva alta, según se puede apreciar en la Tabla 29.

Tabla 29. Prueba de correlación volumen de filtración.

		Volumen de Filtración Antes de la cortina de inyección	Volumen de Filtración Después de la cortina de inyección
<b>Volumen de Filtración Antes de la cortina de inyección</b>	Correlación de Pearson	1	,999
	Sig. (bilateral)		0.001
	N	4	4
<b>Volumen de Filtración Después de la cortina de inyección</b>	Correlación de Pearson	,999**	1
	Sig. (bilateral)	0.001	
	N	4	4

Fuente: Elaboración propia SPSS

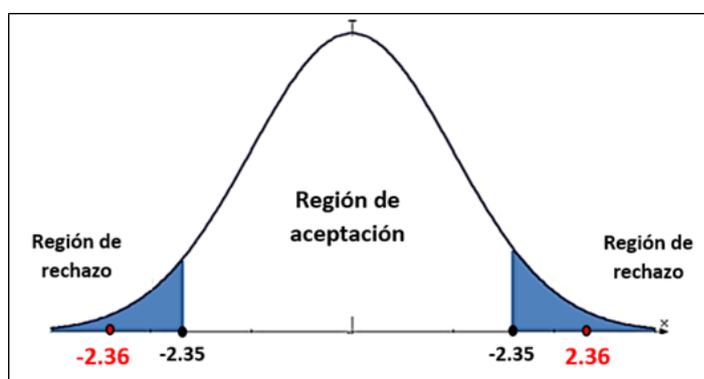
También se realizó la prueba de muestras emparejadas como se detallan en la Tabla 30, obteniéndose el valor de  $t = 2.36$ , con 3 grados de libertad.

Tabla 30. Prueba muestras emparejadas volumen de filtración

	Diferencias emparejadas					t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior			
Par 1 Volumen de Filtración Antes de la cortina de inyección - Volumen de Filtración Después de la cortina de inyección	1.901	1.635	0.817	-0.700	4.502	2.360	3	0.103

Fuente: Elaboración propia SPSS

Los datos obtenidos fueron analizados dentro de la Campana de Gauss como se muestran en la Gráfico 4.



Fuente: Elaboración propia SPSS

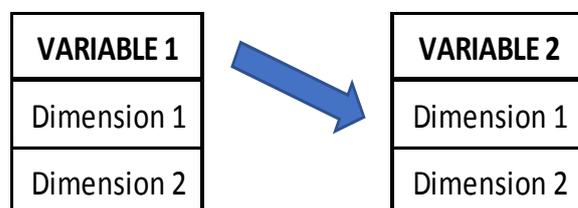
Gráfico 4. Curva de Gauss hipótesis general.

**Conclusión de cálculo estadístico de la hipótesis:** Como la variable de Pearson  $r = 0.99$  corresponde a una correlación positiva alta y con un valor de  $t = 2.36$  con 3 grados de libertad se obtuvo un valor crítico de 2.35, se observa que el valor obtenido está en el área de rechazo, por lo tanto se descarta la hipótesis nula, concluyendo con la aceptación de la hipótesis alterna: “El método de inyección tradicional de impermeabilización reduce la filtración de la presa de relave, El Porvenir MAPSAC 2018.”

## 4.2. PRUEBA DE HIPÓTESIS ESPECÍFICA

### Hipótesis específica 1

En la Figura 16, se muestra la relación entre la variable independiente con la dimensión 1 de la variable dependiente.



Fuente: Elaboración propia

Figura 16 Dimensión de Hipótesis Especifica 1

- **Hipótesis Alterna**

“El método de inyección tradicional de impermeabilización influye en la reducción del flujo en la presa de relave, El Porvenir MAPSAC 2018.”

- **Hipótesis Nula**

“El método de inyección tradicional de impermeabilización no influye en la reducción del flujo de la presa de relave, El Porvenir MAPSAC 2018.”

Luego de realizar los análisis correspondientes con el programa SPSS se obtuvieron los datos consignados en la Tabla 31.

Tabla 31. Resumen de procesamiento de casos hipótesis 1

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Permeabilidad Antes de la cortina de inyección	0.262	3		0.957	3	0.600
Permeabilidad Después de la cortina de inyección	0.260	3		0.958	3	0.605

Fuente: Elaboración propia SPSS

La data estadística obtenidos con el programa SPSS, se muestran en la *Tabla 32*, donde la permeabilidad antes de la cortina de inyección en promedio fue de 3.90 cm/s.

Tabla 32. Descripción de datos de permeabilidad

		Estadístico	Desv. Error
<b>Permeabilidad Antes de la cortina de inyección</b>	Media	3.90000	1.682260
	95% de in Limite inferior	-3.33818	
	Limite superior	11.13818	
	Media recortada al 5%		
	Mediana	3.20000	
	Varianza	8.490	
	Desv. Desviación	2.913760	
	Mínimo	1.400	
	Máximo	7.100	
	Rango	5.700	
	Rango intercuartil		
	Asimetría	1.019	1.225
	Curtosis		
	<b>Permeabilidad Después de la cortina de inyección</b>	Media	1.46667
95% de in Limite inferior		-1.32546	
Limite superior		4.25879	
Media recortada al 5%			
Mediana		1.20000	
Varianza		1.263	
Desv. Desviación		1.123981	
Mínimo		0.500	
Máximo		2.700	
Rango		2.200	
Rango intercuartil			
Asimetría		1.008	1.225
Curtosis			

Fuente: Elaboración propia SPSS

Calculamos la variable de Pearson  $r = -0.502$ , corresponde a una correlación negativa moderada como se muestran en la *Tabla 33*.

Tabla 33 Prueba correlación entre Permeabilidad.

		Permeabilidad Antes de la cortina de inyección	Permeabilidad Después de la cortina de inyección
<b>Permeabilidad Antes de la cortina de inyección</b>	Correlación de Pearson	1	-0.502
	Sig. (bilateral)		0.665
	N	3	3
<b>Permeabilidad Después de la cortina de inyección</b>	Correlación de Pearson	-0.502	1
	Sig. (bilateral)	0.665	
	N	3	3

Fuente: Elaboración propia SPSS

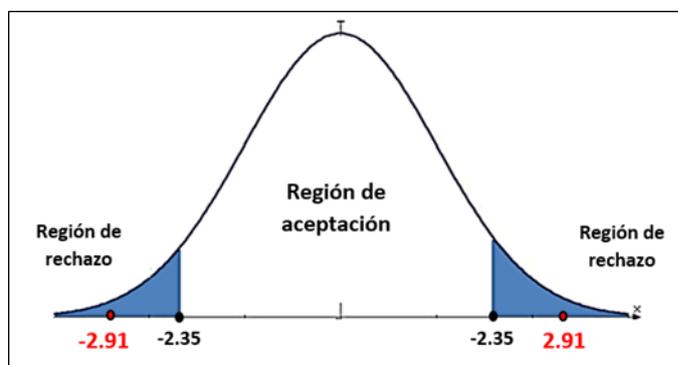
También se realizó la prueba de muestras emparejadas como se detallan en la Tabla 34, obteniéndose el valor de  $t = 2.910$ , con 3 grados de libertad.

Tabla 34 Prueba Muestras emparejadas de Permeabilidad.

	Diferencias emparejadas					t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior			
Par 1 Permeabilidad Antes de la cortina de inyección - Permeabilidad Después de la cortina de inyección	2.433	3.612	2.085	-6.538	11.405	2.910	3	0.364

Fuente: Elaboración propia SPSS

Los datos obtenidos fueron analizados dentro de la Campana de Gauss como se muestran en la *Gráfico 5*.



Fuente: Elaboración propia SPSS

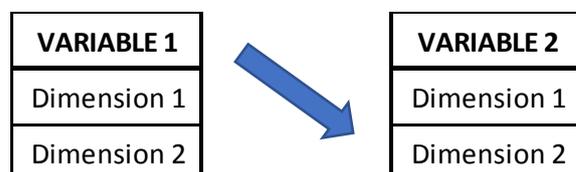
Gráfico 5. Curva de Gauss hipótesis específica 1

**Conclusión estadística de la hipótesis:** Como la variable de Pearson  $r = -0.502$  corresponde a una correlación negativa moderada y con un valor de  $t = 2.91$  con 3 grados de libertad se obtiene un valor crítico de 2.35, se observa que el valor obtenido está en el área de rechazo, por lo tanto se descarta la hipótesis nula, concluyendo con la aceptación de la hipótesis alterna: “El método de inyección tradicional

de impermeabilización reduce el flujo en la presa de relave, El Porvenir MAPSAC 2018.”

### Hipótesis específica 2

En la Figura 17, se observa la relación entre la variable independiente con la dimensión 2 de la variable dependiente.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 17 Dimensión de Hipótesis Específica 2

- **Hipótesis Alterna**

“El método de inyección tradicional de impermeabilización influye positivamente en la reducción de la exudación en la presa de relave, El Porvenir MAPSAC 2018”

- **Hipótesis Nula**

“El método de inyección tradicional de impermeabilización no influye positivamente en la reducción de la exudación en la presa de relave, El Porvenir MAPSAC 2018”

Luego de realizar los análisis correspondientes con el programa SPSS se obtuvieron los datos consignados en la Tabla 35.

Tabla 35. Resumen de procesamiento de casos hipótesis 2

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Volumen de Exudación Antes de la cortina de inyección	0.253	3		0.964	3	0.637
Volumen de Exudación Después de la cortina de inyección	0.245	3		0.970	3	0.670

Fuente: Elaboración propia SPSS

La data estadística obtenidos con el programa SPSS, se muestran en la Tabla 36, donde la exudación antes de la cortina de inyección en promedio fue de 4.667.

Tabla 36. Descripción datos de exudación

			Estadístico	Desv. Error
<b>Volumen de Exudación Antes de la cortina de inyección</b>	Media		4.6667	0.88192
	95% de intervalo de confianza	Límite inferior	0.8721	
		Límite superior	8.4612	
	Media recortada al 5%			
	Mediana		5.0000	
	Varianza		2.333	
	Desv. Desviación		1.52753	
	Mínimo		3.00	
	Máximo		6.00	
	Rango		3.00	
	Rango intercuartil			
	Asimetría		-0.935	1.225
	Curtosis			
<b>Volumen de Exudación Después de la cortina de inyección</b>	Media		38.0277	6.32663
	95% de intervalo de confianza	Límite inferior	10.8064	
		Límite superior	65.2490	
	Media recortada al 5%			
	Mediana		35.8530	
	Varianza		120.079	
	Desv. Desviación		10.95805	
	Mínimo		28.32	
	Máximo		49.91	
	Rango		21.59	
	Rango intercuartil			
	Asimetría		0.858	1.225
	Curtosis			

Fuente: Elaboración propia SPSS

Calculamos la variable de Pearson  $r = 0.485$ , corresponde a una correlación positiva moderada, como se muestra en la Tabla 37.

Tabla 37. Prueba correlación entre Volumen de Exudación

		Volumen de Exudación Antes de la cortina de inyección	Volumen de Exudación Después de la cortina de inyección
<b>Volumen de Exudación Antes de la cortina de inyección</b>	Correlación de Pearson	1	0.485
	Sig. (bilateral)		0.678
	N	3	3
<b>Volumen de Exudación Después de la cortina de inyección</b>	Correlación de Pearson	0.485	1
	Sig. (bilateral)	0.678	
	N	3	3

Fuente: Elaboración propia SPSS

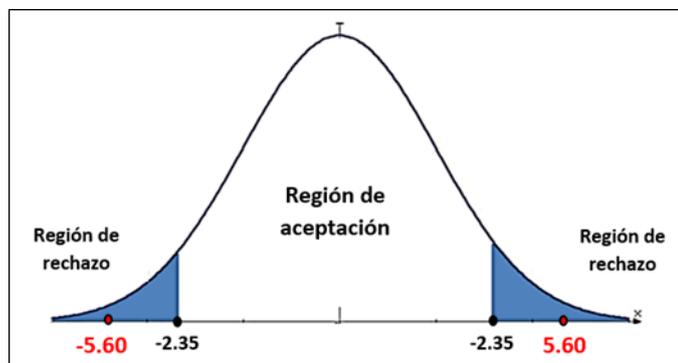
También se realizó la prueba de muestras emparejadas como se detallan en la Tabla 38, obteniéndose el valor de  $t = -5.608$ , con 3 grados de libertad.

Tabla 38. Prueba de Muestras emparejadas de Volumen de Exudación

	Diferencias emparejadas					t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desv. Desviación n	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior			
Par 1 Volumen de Exudación Antes de la cortina de inyección - Volumen de Exudación Después de la cortina de inyección	-33.361	10.304	5.949	-58.959	-7.763	-5.608	3	0.030

Fuente: Elaboración propia SPSS

Los datos obtenidos fueron analizados dentro de la Campana de Gauss como se muestran en el Gráfico 6.



Fuente: Elaboración propia SPSS

Gráfico 6. Curva de Gauss hipótesis específica 2

**Conclusión estadística de la hipótesis:** Como la variable de Pearson  $r = 0,485$ , corresponde a una correlación positiva moderada y con un valor de  $t = -5.60$  con 3 grados de libertad se obtiene un valor crítico de 2.35, se observa que el valor obtenido está en el área de rechazo, por lo tanto se descarta la hipótesis nula, concluyendo con la aceptación de la hipótesis alternativa: “El método de inyección tradicional de impermeabilización influye positivamente en la reducción de la exudación en la presa de relave, El Porvenir MAPSAC 2018”

## **CAPÍTULO V**

### **DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

Esta investigación tuvo como propósito reducir el flujo de filtración de la presa de relave en los cuatro puntos identificados, se pretendió examinar cuáles son aquellas causas que más se presentaron en el problema estudiado, cómo se manifestaron en el caudal y el flujo de las filtraciones, por volumen y cuál era la prevalencia del estudio. Además, se identificaron aquellos factores asociados a la permeabilidad como la geología del terreno.

En principio la poza de recepción demandaba un colapso, pues se tenía un volumen de 10.1952 m<sup>3</sup>/día, con lo cual el volumen posterior se redujo a un 75% y lo que inicialmente la poza de captación se llenaba en un día, ahora se llena en 3 días, resultado esperado bajo las condiciones que presentaba la relavera, por acciones del método tradicional de inyección de lechada de cemento. Realizada la impermeabilización se obtuvo solo 2.592 m<sup>3</sup>/día, valor que nos permitió a controlar más los flujos contaminados de la relavera, para tener una relación acorde con el medio ambiente.

Para realizar la prueba de contrastación de la hipótesis general, se hicieron pruebas de inyectabilidad en cada uno de los tramos donde se realizó las pruebas de permeabilidad para poder realizar un análisis de resultados en un medio conocido y que estos sean a su vez comparativos, en tramos de 5 metros aproximadamente cada una. Las actividades de inyección se realizó desde la zona más baja y aguas arriba, donde se apreciaba contacto roca y relavera, constituyéndose en la zona más crítica a cimentar.

En base a la presión se calculó la dosis de lechada con un caudal entre 10 a 15 l/m o menor a este dato; hasta que alcanzó su presión de rechazo para cada tramo. Los datos alcanzados y estimados para cada tramo, fueron medidos en la boca del sondaje teniendo en consideración el punto medio del tramo de inyección y la corrección realizada por la inclinación de los sondajes de  $-45^\circ$ ; siendo registradas en tiempo real.

Apreciando el sondaje DH\_EP11-118, se inyectó desde el fondo del pozo en 80.05 m hasta una profundidad de 19.00 m, teniendo corrección de tramo en profundidad de 80 m, corrección por factores intrínsecos a los 54 m, ya que se debería tener sólo una presión de 22 bares y se tuvo 31.32 bares.

Es necesario realizar una impermeabilización de cualquier presa de relave ya que las filtraciones dificulta la estabilidad del mismo por tal motivo concluimos satisfactoriamente que se dio la importancia del caso a la presa de relave del Porvenir y ahora se puede controlar satisfactoriamente sus filtraciones y hasta su recrecimiento posterior.

Los volúmenes de exudación fueron derivados en su totalidad hacia la zona de fundación, evitando que contribuya a las filtraciones externas de la presa de relave, las que fueron reducidas en base a tres acciones referenciales:

- Se dejó una luz sin inyectar en la parte superior terminal del taladro (1 m).

- Se originó una poza superior para almacenar el volumen recolectado por exudación.
- Se aplicó a los 158 taladros, para el cálculo del volumen se dividió en tres tramos como son: la cortina A, B y C (48, 48 y 62 taladros respectivamente).

En los 48 taladros primarios se obtuvo 28.32 litros de exudación contaminado producto de los taladros realizados.

En los 48 taladros secundarios se obtuvo 35.853 litros de exudación contaminado producto de los taladros realizados.

En los 62 taladros terciarios se obtuvo 49.91 litros de exudación contaminado producto de los taladros realizados.

Comparando con los antecedentes, Marcañaupa y Quispe en su tesis titulado “Criterios para el diseño de cortina de inyecciones de la presa de arranque del depósito de relaves Linga del proyecto de expansión de la Unidad Minera Cerro Verde. Arequipa” donde menciona, que el macizo rocoso, con elevadas tomas en los sondeos de línea de aguas arriba, fue consolidado e impermeabilizado; hasta el nivel donde la roca está fracturada y meteorizada con el método de inyección de impermeabilización, podemos considerar que los resultados del actual proyecto son los esperados y en ambos casos se redujeron más del 50% del caudal de filtración; gracias al método de inyección que se empleó lo cual es un aliciente satisfactorio.

Se concluye finalmente que, el volumen total en litros captado en la poza auxiliar de líquido contaminado, producto de la exudación por la inyección de los taladros donde se empleó material acuoso y aditivos químicos, fue de 114.08 l = 0.11408 m<sup>3</sup> de líquido de exudación contaminado que fueron recolectados en su totalidad y recirculados a la zona de fundación evitando que filtre externamente y contamine los lagos y ríos exteriores.

## CONCLUSIONES

1. Se ha comprobado que, con el método de inyección tradicional de impermeabilización de la presa de relave, se redujo el volumen de agua captado en un 75% por lo que la poza de captación se llena en 3 días, dando lugar a una baja de filtración que se obtuvo gracias a la impermeabilización de cortinas de inyección, teniéndose sólo 2.592 m<sup>3</sup>/día, resultado esperado en el estudio, considerando además que existe en la zona gran cantidad de precipitaciones fluviales.
2. El método de inyección tradicional de impermeabilización ha influido en la reducción de permeabilidad de la presa de relave en los siguientes tramos:
  - En la unidad A hidrogeológica, comprendida en el área de Sondaje DH\_EP11-115 (Tramo 62.95 - 58.00 m) cuya permeabilidad inicial era de 1.4 cm/s; luego de realizar la inyección tradicional se obtuvo 1.2 cm/s, teniendo una diferencia de 0.2 cm/s de permeabilidad.
  - En la Unidad B hidrogeológica, comprendida en el área de sondaje DH\_EP11-118 (Tramo 80.05 - 74.00 m) cuya permeabilidad inicial era de 7.1 cm/s; luego de realizar la inyección tradicional se obtuvo 0.5 cm/s, teniendo una diferencia de 6.6 cm/s de permeabilidad.
  - En la unidad hidrogeológica C, comprendida en el área de sondaje (Tramo 34.00 - 29.00 m) cuya permeabilidad inicial era de 3.2 cm/s; luego de realizar la inyección tradicional se obtuvo 2.7 cm/s, teniendo una diferencia de 0.5 cm/s de permeabilidad.

Los resultados obtenidos estuvieron acorde con el estándar de la minera el Porvenir MAPSAC, concluyendo que el inyectado ha sido satisfactorio.

3. El volumen total en litros captado en la poza auxiliar de líquido contaminado, producto de la exudación por la inyección de los taladros donde se empleó material acuoso y aditivos químicos, fue de 114.08 litros = 0.11408 m<sup>3</sup> que fueron recolectados en su totalidad y recirculado a la zona de fundación evitando que filtre externamente y contamine los lagos y ríos exteriores.
4. Los resultados que se obtuvo en cuanto a la emanación de afluentes son de 0.5%, (inicialmente eran de 5% a 8%), según registros tomados a 2 meses de la implementación de los taladros de inyección, para la impermeabilización de la presa de relave de El Porvenir MAPSAC - MILPO, lo cual es un aliciente efectivo.

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda mantener un reporte de registro de tomas y reporte gráfico actualizados diariamente en campo, ya que ello permitirá una visión clara del comportamiento de las inyecciones en las fundaciones y plantear soluciones rápidas ante algún problema.
2. Para que una cimentación sea adecuada se debe fijar primero cuál es el tipo de suelo, si éste es arenoso o está en el agua, fango o si es un terreno vegetal, etc.
3. Se recomienda instalar los puntos de convergencia para monitorear los movimientos del subsuelo por tener cercanía a las labores mineras subterráneas.
4. Se sugiere también que, según la dimensión de la presa a evaluar, las presiones de las cortinas de inyección conjuntamente con la evaluación geológica, geotécnica e hidrogeológica, se realice estudios de permeabilidad para contar con datos referenciales para poder determinar qué tipo de inyección se va a utilizar.

**BIBLIOGRAFÍA**

- Agreda, C. (1996). *Operaciones mineras Unitarias de perforacion y voladura de rocas*.
- Ames Lara, V. (2012). *Perforacion y Volaadura de Rocas I*.
- Arocutipa, F. (2015). *Tesis titulado: "Alternativa de Construcción de Chimeneas con el Sistema Plataforma y Escalera Metálica P.E.M Vs. Convencional con puntales de madera, E.E. AESA S.A.C Mina San Rafael"*. Arequipa, Perú.: Facultad de Geología, Geofísica y Minas Escuela Profesional de Ingeniería de Minas. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- ATR Contratista, S. (2008). *Gestion de Seguridad y salud*.
- Bernaola Alonso, J., Castilla Gómez, J., & Herrera Herbert, J. (2013). *Perforación y voladura de rocas en minería*.
- Carranza, J. (2015). *Tesis: "Mejoramiento en el diseño de chimeneas en minería subterránea con el uso del sistema P.E.M. en la unidad de producción minera Troy S.A.C"*. Perú.
- Contratista, A., & S.A.C. (Enero 2008). *Especificaciones técnicas en la ejecución de chimeneas con el sistema PEM*.
- EXSA. (2014). *Manual Practico de Voladura*. Lima.
- Hoek, & Brown. (1985). *Excavaciones subterranas de roca*. Me Graw Hill.
- Lopez Jimeno, C., Lopez Jimeno, E., Ortiz de Urbina, F., & Pernia Llera, J. (2011). *Manual de Perforacion y Voladura de Rocas*. Instituto Geologico Minero España.
- Lopez, J. (2009). *Manual de perforacion y voladura de rocas*.
- Marcañaupa, R. y. (2012). *Tesis titulado: "Implementación de chimeneas con el sistema de plataformas y escaleras metálicas en la unidad de producción Mallay en la*

*Cía. de minas Buenaventura S.A.A* . Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Huancavelica.

Taípe, A. (2003). *Convención minera “Especificación Técnicas De Chimeneas Con El Sistema P.E.M.”. Se mostró que la ejecución de chimeneas con el sistema P.E.M.*

Taípe, A. (2004). *Encuentro nacional de contratistas Mineros. "Calidad y seguridad para una mejor productividad"*.

Taípe, A. (2008). *Chimeneas con el sistema PEM.*

Victor, A., & Gilmar, L. (2006). *Perforacion y voladura de rocas.*

**ANEXOS**

Ilustración 1. Equipos de Perforación



Ilustración 2. Proceso de Inyección de lechada



Ilustración 3. Componentes de la Lechada



Ilustración 4. Proceso de inyectado Lechada



Ilustración 5. Presa de Relave El Porvenir



Ilustración 6. Área de Inyección de Cemento



*Ilustración 7. Autorización para uso de datos*



---

**CARTA PARA AUTORIZACIÓN DE USO DE INFORMACION**

Lima, 07 de julio de 2018

Señores:  
**UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS**  
Mg. Gladys LAZO CAMPOSANO

Por medio de la presente autorizo al Bach. Luis Alberto QUITO CARLOS para el uso de la información necesaria, así como de las estadísticas relacionadas a la empresa GEOTECNICA

El Bach. Luis Alberto QUITO CARLOS podrá usar las informaciones y estadísticas para los fines de su proyecto de tesis. En tanto no se haga mal uso de la información.

Expido el presente consentimiento de conformidad con las disposiciones legales vigentes sobre los Derechos de Autor.

Atentamente,



---

Ing. Edilberto TELADA HUAMAN  
Gerente General – GEOTECNICA

## Ilustración 8. Justificación técnica por la compañía

Compañía Minera Milpo S.A.A.  
Av. San Borja Norte 523, San Borja,  
Lima 41 - Perú  
t (51 1) 710 5500  
f (51 1) 710 5500 Anexo 4491  
www.milpo.com



**MILPO**  
El Porvenir

San Borja, 31 de julio de 2014.

Señores  
**GEOTÉCNICA SAC**  
Calle Arquímedes 140 Urb. La Campiña, Chorrillos  
Lima

Presente.-

Atención: Ing. Víctor Palomero Muñoz.  
Gerente de Operaciones

**Referencia: Licitación BL-02-03-05-021: "Inyecciones para el Recrecimiento del depósito de Relaves – UM El Porvenir"**

De nuestra consideración:



Por medio del presente, tenemos a bien hacer de su conocimiento que la Oferta Técnico - Económica presentada, mediante Carta N° PP-142A/14 de fecha 25 de julio del 2014, para la Ejecución del servicio de la referencia de la presente carta ha sido aceptada.

En tal sentido detallamos los términos y condiciones de carácter general.



**Condiciones Generales:**

- 1) La modalidad de contratación está basado en el modelo de Precios Unitarios (PU).
- 2) Las tarifas acordadas son las siguientes, para mayor detalle ver el Anexo 1 (Carta N° PP-142A/14 de GEOTÉCNICA SAC):

TOTAL COSTO DIRECTO				774,062.93
GASTOS GENERALES	%	20.48188		158,542.62
UTILIDAD	%	9.00000		69,665.66
<b>COSTO TOTAL SIN IGV</b>				<b>1,002,271.21</b>

Las tarifas están expresadas en Dólares Americanos y no incluyen el impuesto general a las ventas (IGV).

- 3) Forma de Pago:  
20% de Adelanto y el saldo con valorizaciones mensuales con Factura a 30 días.
- 4) Los alcances y servicios a prestar son bajo las siguientes condiciones:
  - Plazo: 90 días,
  - El propuesta contempla para la ejecución del servicio: Perforación Rotativa, Rotopercusiva, Inyecciones de concreto y aditivos y Ensayos de Permeabilidad y control para el recrecimiento del depósito de relaves en la UM El Porvenir.
  - Horario: Doble turno.
- 5) La tarifa incluye:
  - Mano de Obra para la ejecución del servicio incluyendo las leyes y beneficios sociales del personal destacado.
  - SCTR de seguros y pensiones del personal asignado a la prestación del servicio,





Página 1 de 2

## Ilustración 9. Matriz de Consistencia

MATRIZ DE CONSISTENCIA						
<b>TITULO :</b> "INFLUENCIA DEL METODO - INYECCIÓN TRADICIONAL DE IMPERMEABILIZACIÓN EN LA REDUCCION DE FILTRACIÓN - PRESA DE RELAVE EL PORVENIR MAPSAC - 2018."						
<b>BACHILLER :</b> QUITO CARLOS, Luis Alberto						
Problema principal	Objetivo general.	Hipótesis general.	Variable independiente	Dimensiones	Indicadores	Método de investigación
¿Influye el método de inyección tradicional de impermeabilización en la reducción de filtración de la presa de relave, El Porvenir MAPSAC 2018?	Comprobar que el método de inyección tradicional de impermeabilización influye en la reducción de filtración de la presa de relave, El Porvenir MAPSAC 2018	El método de inyección tradicional de impermeabilización reduce la filtración de la presa de relave, El Porvenir MAPSAC 2018?	Método de inyección de impermeabilización	Macizo rocoso	RMR	En la presente tesis se utilizó la metodología <i>Científica Analítico, es de tipo Experimental</i> y nivel <i>Descriptivo correlacional</i>
					RQD	
				Permeabilidad	cm/s	
					Numero de puntos de filtración (unid)	
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis Específico	Variable dependiente	Dimensiones	Indicadores	<b>Población:</b> Esta conformada por la Presa de relaves de la Compañía El Porvenir MAPSAC
¿De que manera influye el método de inyección tradicional de impermeabilización en la reducción de filtración de la presa de relave, El Porvenir MAPSAC 2018?	Establecer de que manera influye el método de inyección tradicional de impermeabilización en la reducción del flujo de la presa de relave, El Porvenir MAPSAC 2018	El método de inyección tradicional de impermeabilización influye en la reducción del flujo de la presa de relave, El Porvenir MAPSAC 2018	Filtración de la presa de relave	Flujo	Volumen (m3)	
					Caudal (cm/s)	
¿De que manera influye el método de inyección tradicional de impermeabilización en la reducción de la exudación por filtración en la presa de relave, El Porvenir MAPSAC 2018?	Establecer de que manera influye el método de inyección tradicional de impermeabilización en la reducción de la exudación en la presa de relave, El Porvenir MAPSAC 2018	El método de inyección tradicional de impermeabilización influye positivamente en la reducción de la exudación en la presa de relave, El Porvenir MAPSAC 2018		Exudación	Volumen (m3)	<b>Muestra:</b> la muestra esta dada por la Zona cimentada o inyectada