Universidad Nacional Federico Villarreal

VRIN | VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

**ESCUELA UNIVERSITARIA DE POSGRADO**

# LAS DISCONTINUIDADES ASOCIADAS A LA SENSITIVIDAD EN ROCAS TIPO GRANITO – CUSCO

Línea de Investigación:

Desarrollo urbano-rural, catastro, prevención de riesgos, hidráulica y geotecnia.

Tesis para optar el Grado Académico Doctor en Ingeniería Civil


**Autor**

Esquivel Zamora Martín Washington

**Asesor**

Guevara Bendezú José Claudio

(ORCID: 0000-0003-0087-0965)


**Jurado**

Ramos Flores Miguel Angel

Cancho Zuñiga Gerardo Enrique

Tello Malpartida Omart Demetrio

**Lima - Perú**

**2022**

## DEDICATORIA

A mí querida y amada esposa, a mis queridos hijos, por su apoyo incondicional en mis aspiraciones y constante superación, que ellos son modelos de estímulo y mi vivencia de mi vida.

## AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional Federico Villarreal, a los docentes del Doctorado en Ingeniería Civil que nos impartieron enseñanzas y nos encaminaron a la investigación en ingeniería, y por su gran apoyo en el desarrollo de la tesis, en especial al Dr. José Claudio, Guevara Bendezú, asesor de la tesis.

# ÍNDICE

**I. INTRODUCCIÓN ..... 1**

**1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA ..... 1**

**1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA ..... 1**

**1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA ..... 5**

**1.3.1 Problema general ..... 5**

**1.3.2 Problemas específicos ..... 5**

**1.4 ANTECEDENTES ..... 5**

**1.4.1 Internacionales ..... 5**

1.4.1.1 Francia: ..... 5

1.4.1.2 España ..... 7

1.4.1.3 México ..... 8

1.4.1.4 Estados Unidos ..... 8

1.4.1.5 Suecia ..... 9

**1.4.2 Nacionales ..... 9**

**1.5 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN ..... 11**

**1.5.1 Teórica ..... 11**

**1.5.2 Práctica ..... 11**

**1.5.3 Metodológica ..... 12**

**1.5.4 Social ..... 12**

**1.5.5 Epistemológica ..... 12**

**1.5.6 Importancia ..... 13**

**1.6 LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN ..... 13**

**1.6.1 Espacial ..... 13**

**1.6.2 Temporal** ..... **13**

**1.6.3 Social** ..... **13**

**1.7 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN** ..... **14**

**1.7.1 Objetivo general** ..... **14**

**1.7.2 Objetivos específicos** ..... **14**

**1.8 HIPÓTESIS** ..... **14**

**1.8.1 Hipótesis General** ..... **14**

**1.8.2 Hipótesis Específica** ..... **15**

**1.8.3 Variables e Indicadores** ..... **15**

**II. MARCO TEÓRICO** ..... **17**

**2.1 MARCO CONCEPTUAL** ..... **17**

**2.1.1 Teorías generales relacionadas al tema** ..... **17**

2.1.1.1 Criterio de Hoek & Brown (1980) para macizos rocosos isótropos. ..... 17

2.1.1.2 Criterio de Borton y Choubey ..... 17

2.1.1.3 Criterio de Joisel ..... 18

2.1.1.4 Criterio de Mohr-Coulomb ..... 19

**2.1.2 Discontinuidad y sensitividad.** ..... **19**

2.1.2.1 Discontinuidades ..... 19

A. Consideraciones generales sobre el carácter discontinuo de las masas rocosas. ..... 19

B. Conceptualización de las discontinuidades. ..... 20

C. Discontinuidades y estructura de roca. ..... 20

D. Propiedades geométricas de las discontinuidades. ..... 21

E. Espaciamiento de discontinuidad y frecuencia. ..... 23

**2.1.3 Permeabilidad en las rocas** ..... **24**

**2.1.4 Flujo a través de las discontinuidades** ..... **27**

**2.1.5 Prueba de percolación radial ..... 29**

**2.1.6 Sensitividad ..... 32**

2.1.6.1 Flujo convergente. ..... 32

2.1.6.2 Flujo divergente. ..... 32

**2.1.7 La Sensitividad y la Fisuración ..... 33**

**2.1.8 Estabilidad de Taludes en obras de construcción ..... 34**

**2.2 MARCO FILOSÓFICO ..... 34**

**2.2.1 Sensibilidad en filosofía ..... 34**

**2.2.2 Filosofía Histórica del agua. ..... 36**

**2.2.3 Filosofía Ecológica del Agua ..... 37**

**2.2.4 Filosofía y Paradigma de la Geotecnia ..... 38**

**2.3 MARCO TECNOLÓGICO ..... 40**

**2.3.1 Permeámetro de Flujo Radial ..... 40**

2.3.1.1 Descripción del Equipo ..... 40

**2.4 MARCO LEGAL ..... 43**

**2.4.1 Ley N° 28611 - Ley General del Medio Ambiente en Perú ..... 43**

**2.4.2 Decreto Legislativo Nº 1055 ..... 44**

**2.5 DEFINICIONES DE TÉRMINOS ..... 44**

**III. MÉTODO ..... 47**

**3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN ..... 47**

**3.1.1 Tipo y nivel ..... 47**

3.1.1.1 Tipo ..... 47

A. De acuerdo a la orientación. ..... 47

B. De acuerdo a la teoría de contraste. ..... 47

C. De acuerdo a la direccionalidad. ..... 47

D. De acuerdo a la fuente de recolección de datos. ..... 47

E. De acuerdo a la evolución del fenómeno estudiado. ..... 47

3.1.1.2 Nivel de Investigación ..... 47

3.1.1.3 Código y Nomenclatura de la UNESCO ..... 48

**3.1.2 Diseño y Método de la Investigación. ..... 48**

3.1.2.1 Diseño ..... 48

3.1.2.2 Método. ..... 48

**3.1.3 Estrategia de prueba de hipótesis ..... 48**

**3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA ..... 49**

**3.2.1 Población ..... 49**

**3.2.2 Muestra. ..... 50**

**3.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES ..... 51**

**3.3.1 Definición y Operacionalización de Variable ..... 51**

**3.4 INSTRUMENTOS ..... 52**

**3.4.1 Instrumentos y Fuentes de Recolección de Datos ..... 52**

**3.4.2 Instrumento Geológico de la zona (IGEO). ..... 52**

**3.4.3 Instrumento de propiedades índice (IPI) ..... 52**

**3.4.4 Instrumento de Discontinuidades (IDIS). ..... 52**

**3.4.5 Instrumento de Sensitividad (ISEN). ..... 52**

**3.5 PROCEDIMIENTO ..... 53**

**3.5.1 Validación y confiablidad del instrumento ..... 53**

**3.5.2 Técnica de procesamiento de datos ..... 54**

**3.6 ANÁLISIS DE DATOS. ..... 55**

**IV. RESULTADOS ..... 56**

**4.1 CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS ..... 81**

**4.2 ANÁLISIS DE HIPÓTESIS ..... 83**

**V. DISCUSION DE RESULTADOS ..... 85**

**5.1 DISCUSIÓN ..... 85**

**VI. CONCLUSIONES ..... 87**

**VII. RECOMENDACIONES ..... 88**

**VIII. REFERENCIAS ..... 89**

**IX. ANEXOS ..... 93**

# ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Definición y Operacionalización de Variables.....51

Tabla 2 Resumen de procesamiento de casos.....54

Tabla 3 Estadísticas de fiabilidad.....54

Tabla 4 Resultados de la variación del caudal sometidos a presión con flujo convergente y Divergente: Una fisura.....56

Tabla 5 Prueba de normalidad para flujo convergente para Una fisura.....57

Tabla 6 Prueba de normalidad para flujo divergente para Una fisura.....58

Tabla 7 Resultados de la variación del caudal sometidos a presión con flujo convergente y divergente abertura 0.1mm.....59

Tabla 8 Prueba de normalidad para flujo convergente para Una abertura de 0.1 mm.....60

Tabla 9 Prueba de normalidad para flujo divergente para Una abertura de 0.1 mm.....61

Tabla 10 Resultados de la variación del caudal sometidos a presión con flujo convergente y divergente en Un espaciamiento.....62

Tabla 11 Prueba de normalidad para flujo convergente para Un espaciamiento.....63

Tabla 12 Prueba de normalidad para flujo divergente para Un espaciamiento.....64

Tabla 13 Discontinuidad de Una fisura en la variación de la presión, caudal, permeabilidad y la sensitividad.....65

Tabla 14 Discontinuidad de Dos fisuras en la variación de la presión, caudal, permeabilidad y la sensitividad.....65

Tabla 15 Discontinuidad de tres fisuras en la variación de la presión, caudal, permeabilidad y la sensitividad.....65

Tabla 16 Discontinuidades fisuras permeabilidad divergente, convergente y la sensitividad.66

Tabla 17 Medidas paramétricas de asociación de las fisuras de las discontinuidades y la sensitividad¿.....67

Tabla 18 Medidas paramétricas de asociación de las fisuras de las discontinuidades y la sensitividad.....67

Tabla 19 Discontinuidad abertura 0,1mm en la variación de la presión, caudal, permeabilidad y la sensitividad .....68

Tabla 20 Discontinuidad abertura 0,2mm en la variación de presión, caudal, permeabilidad y la Sensitividad.....68

Tabla 21 Discontinuidad abertura 0,4mm en la variación de la presión, caudal, permeabilidad y la sensitividad .....69

Tabla 22 Abertura de las discontinuidades y la sensitividad .....69

Tabla 23 Medidas parámetrias de asociación de la abertura de las discontinuidades y la sensitividad.....70

Tabla 24 Prueba estadísticas de abertura de discontinuidades asociadas a sensitividad.....70

Tabla 25 Discontinuidad Un espaciamiento la variación de la presión, caudal, permeabilidad y la sensitividad.....71

Tabla 26 Discontinuidad Un espaciamiento la variación de la presión, caudal, permeabilidad y la sensitividad.....71

Tabla 27 Discontinuidad Un espaciamiento la variación de la presión, caudal, permeabilidad y la sensitividad .....72

Tabla 28 Espaciamiento de las discontinuidades sensitividad.....72

Tabla 29 Medidas paramétricas de asociación del espaciamiento y frecuencia de las discontinuidades y la sensitividad .....73

Tabla 30 Prueba estadísticas del espaciamiento y frecuencia de las discontinuidades asociadas a la sensitividad.....73

Tabla 31 Media y Desviación Estándar de las Discontinuidades y la sensitividad.....81

Tabla 32 Las Discontinuidades asociada a los valores de la sensitividad.....82

Tabla 33 Registro de datos de tiempos flujo convergente y divergente, una fisura .....102

Tabla 34 Registro de datos de tiempos flujo convergente y divergente dos fisuras.....102

Tabla 35 Registro de datos de tiempos flujo convergente y divergente tres a más fisuras ....103

Tabla 36 Registro de datos de tiempos y presiones de flujo convergente y divergente una fisura .....122

Tabla 37 Curva de normalidad flujo convergente tiempos. Una fisura.....122

Tabla 38 Curva de normalidad flujo divergente tiempos. Una fisura .....123

Tabla 39 Registro de datos de tiempos de flujo convergente y divergente: abertura 0.1mm .....124

Tabla 40 Registro de datos de tiempos de flujo convergente y convergente: abertura 0.1mm .....125

Tabla 41 Pruebas de normalidad.....126

Tabla 42 Registro de datos de tiempos de flujo convergente y divergente: un espaciamiento .....127

Tabla 43 Pruebas de normalidad.....127

Tabla 44 Pruebas de normalidad.....128

# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Esquema de relación de variables....16

Figura 2 Esfuerzo cortante en fisura....18

Figura 3 Espaciamiento de discontinuidades y Frecuencia....23

Figura 4 Ilustración de la Permeabilidad como número de tensores....25

Figura 5 Filtración del agua a través dV de roca....26

Figura 6 Permeabilidad en las discontnuidades considerando las aberturas....28

Figura 7 Permeabilidad en las discontinuidades considerando las aberturas....28

Figura 8 Líneas de flujos desarrollados a través de la muestra....30

Figura 9 Ilustración del gasto de agua que atraviesa el anillo en el flujo divergente y convergente....30

Figura 10 Ilustración de los esfuerzos en el flujo divergente y convergente....41

Figura 11 Ilustración de los esfuerzos en el flujo divergente y convergente....43

Figura 12 Curva de normalidad flujo convergente P=50 bars caudal para Una fisura....57

Figura 13 Curva de normalidad flujo divergente P=1 bar caudal, para Una fisura....58

Figura 14 Curva de normalidad flujo convergente P=50 bars caudal para una abertura 0.1.mm....60

Figura 15 Curva de normalidad flujo divergente P=1 bars caudal para una abertura 0.1mm .61

Figura 16 Curva de normalidad flujo convergente P=50 bars caudal para un espaciamiento.63

Figura 17 Curva de normalidad flujo divergente P=1 bars caudal para un espaciamiento....64

Figura 18 Variación del caudal (Q) con la presión(P) flujo radial convergente y divergente con una fisura....75

Figura 19 Variación del caudal (Q) con la presión(P) flujo radial convergente y divergente con 0.01cm abertura....76

Figura 20 Variación del caudal (Q) con la presión(P) flujo radial convergente y divergente con un espaciamiento.....76
Figura 21 Esfuerzos en una muestra con flujo divergente (P=1.02 kg/cm2).....77
Figura 22 Esfuerzos en una muestra con flujo convergente (P=50.98 kg/cm2).....78
Figura 23 Variación de la permeabilidad convergente y divergente en las fisuras de las discontinuidades.....78
Figura 24 Variación de la permeabilidad convergente y divergente en las discontinuidades aberturas.....79
Figura 25 Variación de la permeabilidad convergente y divergente del espaciamiento y frecuencia de las discontinuidades.....80
Figura 26 Ubicación de la zona de estudio Km 107 – 122 de la vía férrea Cusco – Machupicchu .....104
Figura 27 Ubicación de la zona de estudio Km 107 – 122 de la vía férrea Cusco – Machupicchu .....105
Figura 28 Fotografía aérea de la zona de estudio Km 107 – 122.....106
Figura 29 Mapa geológico del cuadrángulo de Machupicchu.....107
Figura 30 Toma de muestra con broca NX.....108
Figura 31 Muestras de la roca tipo granito.....108
Figura 32 Muestras de roca tipo granito.....109
Figura 33 Medidas de las discontinuidades fisura y aberturas y espaciamiento.....109
Figura 34 Medidas de las discontinuidades fisura y aberturas y espaciamiento.....110
Figura 35 Medida de las discontinuidades fisura y aberturas y espaciamiento.....111
Figura 36 Medida de las discontinuidades fisura, aberturas y espaciamiento.....111
Figura 37 Esquema del equipo para evaluar la permeabilidad divergente.....112
Figura 38 Esquema del equipo para evaluar la permeabilidad convergente.....112

Figura 39 Medida de las discontinuidades fisura, aberturas y espaciamiento .....113

Figura 40 Medida de muestras de discontinuidades fisura, aberturas y espaciamiento .....113

Figura 41 Ensayo para determinar el peso específico relativo de partículas sólidas.....114

Figura 42 Microscopio para determinar dimensiones .....114

Figura 43 Discontinuidades in-situ del macizo rocoso .....115

Figura 44 Discontinuidades in-situ del macizo rocoso .....115

Figura 45 Discontinuidades in-situ del macizo rocoso .....116

Figura 46 Medida de muestras de discontinuidades fisura, aberturas y espaciamiento .....116

Figura 47 Medida de muestras de discontinuidades fisura, aberturas y espaciamiento .....117

Figura 48 Discontinuidades in-situ del macizo rocoso .....117

Figura 49 Equipo para el ensayo de permeabilidad con flujo convergente .....118

Figura 50 Muestras para el ensayo de permeabilidad con flujo divergente .....118

Figura 51 Equipo para el ensayo de permeabilidad con Flujo convergente .....119

Figura 52 Equipo para el ensayo de permeabilidad con Flujo divergente y convergente .....120

Figura 53 Foto in -situ de estudio de discontinuidades Km 112 Cusco - Machupicchu.....120

Figura 54 Foto in -situ de estudio de discontinuidades Km 112 Cusco - Machupicchu.....121

Figura 55 Medida de las discontinuidades por microscopio .....121

Figura 56 Curva de normalidad flujo convergente P=50 bars tiempos para una fisura .....123

Figura 57 Curva de normalidad flujo divergente P=1 bars tiempos para una fisura .....124

Figura 58 Curva de normalidad flujo convergente P=50 bars tiempos para abertura 0.1mm125

Figura 59 Curva normalidad flujo divergente P=1 bars tiempos una abertura 0.1mm .....126

Figura 60 Curva normalidad flujo convergente P=50 bars tiempos un espaciamiento .....128

Figura 61 Curva de normalidad flujo convergente P=50 bars tiempos para un espaciamiento .....129

# ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Instrumentos y Fuentes de Recolección de Datos ..... 93

Anexo 2: Instrumento de propiedades índice (IPI) ..... 93

Anexo 3: Instrumento de Discontinuidades (IDIS) ..... 97

Anexo 4: Instrumento de Sensitividad (ISEN) ..... 98

Anexo 5: Mapas y planos ..... 104

## RESUMEN

**El objetivo,** es analizar las discontinuidades que se asocian a la sensitividad en rocas tipo granito – Cusco. **Método**, las muestras representativas de la roca tipo granito fueron en número de nueve, distribuidas tres por cada discontinuidad, los cuales fueron sometidos a los ensayos de permeabilidad con el permeámetro de flujo radial, para hallar la permeabilidad del flujo divergente y permeabilidad del flujo convergente para diferentes presiones, se analizaron la asociación de la fisura, abertura, espaciamiento y frecuencia de las discontinuidades a través de los ensayos de la permeabilidad en condiciones de flujo divergente (Kdiv) y flujo convergente (Kcon), y para determinar la asociación de las discontinuidades con la sensitividad los datos fueron sometidos a la prueba estadística de t de Students,. **Resultados**, las discontinuidades de las fisuras se asocian a la sensitividad con un valor promedio de 4.1, las discontinuidades de las aberturas se asocian a la sensitividad con un valor promedio de 8.4, las discontinuidades del espaciamiento y frecuencia se asocian a la sensitividad con un valor promedio de 15.7. **Conclusión**, la sensitividad de la roca tipo granito obtenidas a través del flujo divergente y convergente de las discontinuidades de la fisura, abertura, espaciamiento y frecuencia son caracterizados entre ligeramente fisurada, aberturas leves y espaciamiento medio. En efecto, las discontinuidades se asocian a la sensitividad.

Palabras Clave: discontinuidades, fisuras, abertura, espaciamiento, flujo convergente, divergente, sensitividad.

# ABSTRACT

The objective is to analyze the discontinuities that are associated with sensitivity in granite type rocks - Cusco. Method, the representative samples of granite type rock were nine in number, distributed three for each discontinuity, which were subjected to permeability tests with the radial flow permeameter, to find the divergent flow permeability and convergent flow permeability for different pressures, the association of the crack, opening, spacing and frequency of the discontinuities were analyzed through the permeability tests in divergent flow (Kdiv) and convergent flow (Kcon) conditions, and to determine the association of the discontinuities with the sensitivity, the data were subjected to the statistical t-test of Students. Results, crack discontinuities are associated with sensitivity with an average value of 4.1, aperture discontinuities are associated with sensitivity with an average value of 8.4, spacing and frequency discontinuities are associated with sensitivity with an average value of 15. 7. Conclusion, the sensitivity of granite type rock obtained through divergent and convergent flow of fissure discontinuities, opening, spacing and frequency are characterized between slightly fissured, slight openings and medium spacing. Indeed, discontinuities are associated with sensitivity.

Keywords: discontinuities, cracks, opening, spacing, convergent flow, divergent flow, sensitivity

# RESUMO

O objectivo é analisar as descontinuidades associadas à sensibilidade em rochas do tipo granito - Cusco. Método, as amostras representativas das rochas do tipo granito eram nove em número, distribuídas três por cada descontinuidade, que foram submetidas a testes de permeabilidade com o permeómetro de fluxo radial, para encontrar a permeabilidade de fluxo divergente e a permeabilidade de fluxo convergente para diferentes pressões, a associação da fenda, abertura, espaçamento e frequência das descontinuidades foram analisadas através dos testes de permeabilidade sob condições de fluxo divergentes (Kdiv) e fluxo convergente (Kcon), e para determinar a associação das descontinuidades com a sensibilidade, os dados foram submetidos ao teste t dos Estudantes. Resultados, as descontinuidades de crack estão associadas à sensibilidade com um valor médio de 4,1, as descontinuidades de gap estão associadas à sensibilidade com um valor médio de 8,4, o espaçamento e as descontinuidades de frequência estão associadas à sensibilidade com um valor médio de 15. 7) Conclusão, a sensibilidade da rocha do tipo granito obtida através do fluxo divergente e convergente das descontinuidades da fissura, abertura, espaçamento e frequência são caracterizados entre fissuras ligeiramente fissuradas, aberturas ligeiras e espaçamento médio. Com efeito, as descontinuidades estão associadas à sensibilidade.

Palavras-chave: descontinuidades, fendas, fendas, espaçamento, fluxo convergente, fluxo divergente, sensibilidade

.

# I. INTRODUCCIÓN

La sensitividad es la relación de la permeabilidad divergente y convergente que se caracteriza por la magnitud de variación de la permeabilidad de la roca tipo granito al cerrarse o abrirse las discontinuidades, producto del cambio del estado de esfuerzos aplicados.

La roca que sirve de soporte en las cimentaciones de presas de concreto, puentes, taludes de roca, excavaciones (túneles) y edificios con sótanos (presencia de agua) se observa flujos de filtración de agua cuya magnitud es relacionada con la sensitividad.

En relación al granito, su resistencia y calidad dependen en gran medida de los factores de composición química y estructura, del régimen de agua y permeabilidad, de las fallas, juntas, fisuras como discontinuidades de la roca que en ocasiones se han encontrado en proyectos de construcción.

El estudio, está constituida por contenido siguiente: I, se describe la introducción, planteamiento del problema, descripción del problema, formulación del problema, objetivos, antecedentes, justificación, limitaciones, objetivos, y la hipótesis de la investigación; II, describe el marco teórico y el marco conceptual, en III, se describe el método constituido por el tipo de investigación, población y muestra, operacionalización de variables, instrumentos, procesamiento y análisis de datos; IV, se describe los resultados; en la parte V se presenta la discusión de resultados; en la parte VI y VII se presenta las conclusiones y recomendaciones, finalmente en la parte VII y IX incluye las referencias, y anexos respectivamente.

## 1.1 Planteamiento del problema

## 1.2 Descripción del problema

Las discontinuidades es el factor más importante que gobierna los esfuerzo-deformaciones y la permeabilidad de la masa rocosa. Además, la presencia de las

discontinuidades en el macizo rocoso genera inestabilidad en la cimentación de cualquier obra apoyada en rocas (presas de concreto, puentes túneles, edificaciones, taludes y otras)

Al construir una presa se modifica los estados de esfuerzos en el fondo del vaso por que se incrementa un peso vertical casi concentrada ocasiona compresión y esfuerzo y deformaciones complejas, la roca puede tener algunas discontinuidades capaces de iniciar procesos mecánicos poco conocidos o conocidos demasiado tarde, cabe señalar que se produjeron grandes desastres por la rotura de presas y que demuestra que los cimientos de roca no siempre son lo suficientemente resistentes, como es el caso de la rotura de la presa de Malpasset (Francia).

Los ingenieros son conscientes de los problemas que pueden ocurrir en el campo cuando se construye sobre masas rocosas que contienen discontinuidades (fisuras, espesor de las fisuras, espaciamiento y frecuencia). El comportamiento de la masa de roca generalmente se controla, o al menos se ve afectado, de alguna manera compleja por la presencia de las discontinuidades.

Los problemas surgen cuando el hombre perturba el sistema natural de alguna manera y no comprende completamente las posibles consecuencias de sus acciones. Existen muchas actividades de construcciones de ingeniería que deben tratar con rocas con presencia de discontinuidades (Construcción de presas de concreto, construcción de minas en tajo a cielo abierto, construcción de aislamiento de residuos tóxicos, construcción de minas subterránea, construcción subterránea-Túneles, construcción de puentes, construcción de edificaciones, construcción para confinamiento de residuos nucleares y comportamiento sísmico)

La presión hidrostática del agua de filtración en bloques rocosos, el agua se filtra en el macizo rocoso por las fisuras que limitan el bloque rocoso considerando de este modo una presión prácticamente en toda su superficie lateral.

Aunque pueden encontrarse discrepancias importantes, se acepta normalmente que la circulación de agua y otros fluidos en sólidos permeables siguen la ley de Darcy.

$$v = k\, i \qquad \textbf{( 1)}$$

Esta Ley, expresa que la velocidad de filtración “v”, definida considerando el caudal a través de una superficie total, es proporcional al gradiente “i” del potencial hidráulico.

La permeabilidad de las rocas está relacionada con el flujo de fluidos a través de los macizos rocosos que contiene discontinuidades, y las discontinuidades son trayectorias de flujo preferenciales. La permeabilidad en roca es análoga al esfuerzo y la deformación. con magnitud, dirección y un plano de preferencia, porque la permeabilidad casi siempre se considera un valor escalar en la práctica debido a que existen grandes problemas al considerar un macizo rocoso con aberturas de las fracturado, espaciamiento y frecuencias como un medio permeable efectivamente continuo (Hundson & Harrison, 2000, p. 116).

La falla de los taludes rocosos con discontinuidades diferentes, así como la estratificación con echado reducido hacia el talud, estratificación con echado elevado hacia el talud, estratificación con echado reducido hacia dentro del talud, estratificación con echado elevado hacia dentro del talud, se generan esfuerzos, deformaciones y desplazamientos, en ocasiones se separan de la superficie y se rompe (Gaziev, 1987)

En la mayoría de los casos descritos, la permeabilidad de la roca procede de las fisuras abiertas y de las pequeñas diaclasas y no de los poros uniformemente distribuidos. Esto da un carácter anisótropo a las rocas y macizos rocosos respecto a la filtración del agua, así como del comportamiento mecánico. En rocas estratificadas esto es aún más evidente. La permeabilidad se considera como una analogía al esfuerzo y deformación como un tensor simétrico k de tercer orden con nueve componentes como se indica a continuación (Hundson & Harrison, 2000, p. 116)

$$K = \begin{bmatrix} k_{xx} & k_{xy} & k_{xz} \\ k_{yx} & k_{yy} & k_{yz} \\ k_{zx} & k_{zy} & k_{zz} \end{bmatrix} \quad \textbf{(2)}$$

Por estas razones, es necesario evaluar las discontinuidades respecto a las propiedades hidráulicas y mecánicas, para observar cómo éstas afectan la estabilidad de las estructuras de obras civiles en función del tiempo.

La presencia de discontinuidades en los macizos rocosos representa planos preferentes de alteración, meteorización y fracturas que permiten el flujo del agua, que pueden producir alteraciones en su comportamiento mecánico e hidrológico del macizo rocoso (Gonzales De Vallejo, et al., 2004, p. 176).

Las presas son consideradas "instalaciones que contienen fuerzas peligrosas" dentro del derecho internacional humanitario y su rotura pueden generar en algunos casos un importante impacto sobre la población y el medio ambiente.

La rotura de presas es rara en comparación con otro tipo de instalaciones, pero son capaces de generar un daño enorme y provocar la pérdida de un gran número de vidas humanas, debido a que en los proyectos de obras existen deficiencias en considerar los riesgos que las presas pueden ocasionar la filtración del agua en la cimentación de la presa, estribos durante el proceso de construcción.

En Perú, no existen estudios sobre el tema, sin embargo, en el país y la región del Cusco se realizan diferente tipo de almacenaje de agua como son las presas y otras obras de ingeniería que están apoyadas en rocas con distintas discontinuidades donde la presa tiene la probabilidad de fallar por infiltración de las aguas a través de las discontinuidades que generan la inestabilidad por ende el colapso de la presa. Asimismo, se construye obras civiles donde las

cimentaciones están apoyadas en diferentes rocas entre ellas el granito con distintas discontinuidades.

## 1.3 Formulación del problema

### 1.3.1 Problema general

Por las razones antes descritas en el presente estudio se pretende plantear las interrogantes siguientes:

¿Cómo las discontinuidades se asocian a la sensitividad en rocas tipo granito - Cusco?

### 1.3.2 Problemas específicos

- ¿Cómo las fisuras de las discontinuidades se asocian a la sensitividad en rocas tipo granito - Cusco?
- ¿Cómo las aberturas de las discontinuidades se asocian a la sensitividad en rocas tipo granito - Cusco?
- ¿Cómo los espaciamientos y frecuencia de las discontinuidades se asocian a la sensitividad en rocas tipo granito - Cusco?
- ¿Cuál es el valor de la sensitividad en rocas tipo granito - Cusco?

## 1.4 Antecedentes

### 1.4.1 Internacionales

#### 1.4.1.1 Francia:

La presa de arco de Malpasset en el río Reyan cerca de Frejus, Francia, colapso después de cinco días de fuertes tormentas. Al fallar, la presa liberó el agua embalsada en una sola ola que barrió el estrecho valle del río hacia el mar Mediterráneo. En este desastre, más de 400 personas perdieron la vida, y parte de la ciudad de Frejus (ubicada - 7.2 km río abajo) fue destruido el 2 de diciembre de 1959.

La presa Malpasset fue uno de los ejemplos más avanzados de ingeniería de presas de hormigón en arco. Era la presa de arco de doble curva más delgada del mundo. El grosor de la presa en su base fue de 6.91 m; en su cima -1.5m. La altura de la presa era de 60.55 m.

El informe oficial sobre el colapso de la presa indica que la calidad del concreto era muy buena, que el diseño de la presa era correcto y que la construcción de la presa no mostró ningún rastro de falla. Una investigación adicional también reveló que el pilar de concreto de la presa estaba anclado con seguridad en la roca. Así que la causa del colapso tenía que estar en la roca.

La geología en el sitio era principalmente carbonífera con gneis subyacentes que emergían en el área donde se construyó la presa. En el área de los cimientos de la presa había presente una fina fisuración de los gneis. El gneis microfisurado se consideraba la principal debilidad de la roca de base.

El sitio de la presa tenía una falla impermeable que descendía oblicuamente río abajo debajo de la orilla izquierda de la presa, y otro que iba oblicuamente río arriba. Estas fallas formaban un bloque de roca diedro. Debido a la falta de drenaje, el bloque diédrico fue levantado de manera violenta por la gran presión de la supresión como si la cimentación de roca hubiera explotado. Se dijo que esta doble falla había presentado condiciones que no se habían cumplido hasta entonces.

La fuerza del empuje del arco de la presa debido a la presión hidrostática y al peso propio de la presa, en lugar de extenderse a la roca de cimentación, permaneció concentrada a una profundidad muy grande en un prisma de ancho constante, provocando altos esfuerzos de compresión en el gneis foliado, lo que hace que el gneis sea una especie de diafragma hermético en la roca de cimentación que detiene la filtración del depósito y moviliza una gran presión de supresión. Por lo tanto, el pilar izquierdo de la presa de Malpasset falló al deslizarse a lo largo de una costura continua de material débil que cubre un área grande.

Basado en los hallazgos de la investigación y las pruebas realizadas por muchos consultores, expertos y varias agencias de investigación, surgieron muchas opiniones y teorías, que la falla de la presa ocurrida, se ha debido a una serie de fases:

1. Una acumulación lenta de presión de agua en la masa del gneis fisurado y fracturadas aguas arriba de la presa.

Debido a la gran área sobre la que actuó la supresión, la fuerza de deslizamiento rompió una sección de los cimientos a lo largo de una de las fallas de roca principales

2. La abertura lenta y progresiva de un espacio de 10 mm a 20 mm a lo largo del talón de la presa y un desplazamiento progresivo del pie de la presa y la rotación de la cubierta de la presa alrededor de su cresta.

3. Se produjo un estallido de la masa rocosa en la orilla izquierda y el pilar izquierdo de concreto se deslizó, causando el colapso de la roca. Malpasset (Jumikis, 1993, pp. 408-409)

La filtración de aguas en macizos rocosos fisurados, constituyo un problema muy complejo debido a la heterogeneidad de las discontinuidades y a las confusas condiciones de límites de las corrientes de filtración, por ello los esquemas de cálculo resultan aproximados y muy criticables.

Terazghi, al analizar la causa de la falla de la presa llega a la conclusión que la falla se debió a la existencia de presiones del agua en las discontinuidades

A partir de este suceso nació la idea de ensayar rocas a pruebas de permeabilidad radial (sensitividad en rocas (Perez De Agreda, 2005; Bernaix, 1969)

#### 1.4.1.2 España

Los autores investigan en relación a los mecanismos y causas de la ruptura de la cuenca de Aznalcóllar. Esta presa sufrió desplazamientos hasta 60 m en sus 700 m de longitud, liberando 5,5 millones de $m^3$ de pirita y piroclastos estériles. Esta investigación señala que se trató de una ruptura progresiva, ocasionada la debilidad del comportamiento de las arcillas

cementadas y preconsolidadas, por la presencia de elevadas presiones porosas que se asocian a una consolidación incompleta de la cimentación de la presa. La simulación fue limitada por la necesidad de agregar el ablandamiento de los materiales del suelo. Los resultados presentados muestran que el error se habría presentado por el uso de las propiedades dúctiles, debido a ello se necesita la presencia en detalle de la respuesta frágil y predecir la superficie de falla plana y poco profunda desarrollada. La erupción de la falla originó el líquido del agua residual posterior a la presa, en consecuencia, se presentó aceleraciones por encima de 0.1 g. (Martí, 2020).

#### 1.4.1.3 México

La presa Santa Rosa (Jalisco México) donde ocurrió el mismo fenómeno, se encontró que la filtración de aguas en macizos rocosos fisurados, constituyo un problema muy complejo debido a la heterogeneidad de las discontinuidades y a las confusas condiciones de límites de las corrientes de filtración, por ello los esquemas de cálculo resultan aproximados y muy criticables (Marsal & Rezéndiz, 1983).

#### 1.4.1.4 Estados Unidos

Shelton, describe sobre los deslizamientos masivos ocurrido en junio de 1925, en relación a la afectación de valles americanos. Es que en unos minutos de corrimiento invadió el cauce del río Gross Ventre, Wyoming, EEUU, transportando 50 millones de metros cúbicos de rocas areniscas, pizarras, y calizas entre estratos. En el cual los planos de los estratos contaban con un buzamiento de 20º paralelo a la parte superficial del terreno y este deslizamiento generó en tres semanas una presa natural de una altura de 65-75 m ocasionando un embalse. En dos años no se desbordó, sin embargo, el incremento de caudales produjo un desbordamiento del embalse y estas aguas realizaron una excavación de 100 m de ancho y 30 m de profundidad. La inundación originada aguas abajo generó pérdidas de materiales y vidas

humanas, a pesar del conocimiento del riesgo que podría ocasionar esta zona de inundación (Shelton, 1966, citado en Perez De Agreda, 2005).

#### 1.4.1.5 Suecia

Nasrat, Adamo y otros, describen en relación a la Seguridad de la presa y la filtración, señalan en relación a los peligros más frecuentes de filtraciones que pueden afectar a las presas. Los casos están relacionados con el macizo rocoso de la presa en la cimentación, frecuencia, tipo de discontinuidades; y otros que se deben al material de construcción en presas. La filtración se produce con frecuencia en todas las presas, no considerándose los materiales conformados. En el cual el agua de filtración generalmente pasa a la superficie aguas abajo, generando erosión, desprendimiento e inestabilidad de la presa. Sin embargo, esta inestabilidad de la presa debido a la filtración puede ser controlado a través de sistemas de drenaje de la presa. La filtración de la presa es incrementada por las grietas ocurridas por el asentamiento de la presa de forma irregular, debido al proceso diferencial del comportamiento elástico de los materiales de cimentación (Nasrat et al., 2020)

### 1.4.2 Nacionales

Martínez y Tábara, señalan, sobre la rotura de una presa hidráulica de tierra es un evento ocasional, el estudio se realiza haciendo uso de los métodos de modelos matemáticos y el desarrollo de la tecnología y la velocidad de respuesta que facilitan el cálculo numérico de la rotura de la presa mediante una simulación del recorrido de la avenida formado aguas abajo.

La presa de Yuracmayo, ubicado en la provincia de Huarochirí, distrito de San Mateo, departamento de Lima. Esta presa es importante, para el desarrollo de la región central del Perú, debido a que regula el caudal del rio Rímac, para abastecer de agua y generar electricidad, por las características de la presa de ser grande, de gran volumen de embalse, es necesario simular escenarios de colapso, para proponer acciones de gestión de riesgo que incluya la inundación, de ocurrir serían muy catastróficos aguas abajo (Martinez & Tavera, 2017).

Asimismo, Martínez en otra publicación señala, que la Comisión Internacional de Grandes Represas (ICOLD), señala que la rotura de la presa no permite la retención del agua, cuyas causas importantes son el desbordamiento cuando el volumen de la presa es sobrepasado lo que ocasiona la inestabilidad del talud, y la tubificación por la presencia de filtración agua, ocasionado por falta de control, que se produce por los ductos enterrados y debido a presencia de los puntos de contacto con estructuras y cimentaciones. En relación a las roturas, se señala que la mayor frecuencia de roturas es en las estructuras de tierra (85 %), y en tipos de presas de gravedad (10 %), de arco (3 %) y de contrafuertes (2 %), y las que más fallas han producido son las presas con alturas de 15 y 30 metros.

La falla en una presa es catastrófica, que ocasionaron pérdida de vidas humanas, económicas, de infraestructura y culturales, debido a que los centros poblados y las grandes ciudades ubicados aguas abajo desconocen la forma de afrontar la situación, para prevenir este escenario se debe tener el mapa de zonas inundables y contar con los tiempos de llegada de la inundación, y permita determinar las zonas seguras y los tiempos de evacuación disponibles.

El Instituto Geofísico del Perú (IGP), informa que está realizando estudios para los escenarios de roturas de presas a través de modelos matemáticos, y cuenta con información de probables roturas, zonas seguras y tiempos de llegada del volumen de agua, resultados que serán de utilidad para los gobiernos regionales y su uso en la gestión del riesgo de desastres con el fin de disminuir el impacto de roturas de presas (Martínez, 2020).

Según De la Torre, en Perú, Anualmente se diseñan y construyen pequeñas y grandes represas, especialmente en sectores minero y agrícola, y se requiere el uso de criterios técnicos y económicos de calidad, para evitar accidentes e incidencias de pérdida de vidas humanas y el entorno, así como bienes materiales. Se observa que un porcentaje regular de proyectos de represas en el Perú son diseñados y construidos por profesionales que no son especialista en presas, generando el diseño y construcción de presas inadecuadas y obras hidráulicas con un

bajo grado de certeza, que conlleva a la necesidad de rediseñar los proyectos, para corregir las deficiencias, en efecto, el incremento de costos que llegar a afectar la economía del proyecto de presas.

Como consecuencia, de lo señalado anteriormente, es la falta de inclusión en los planes de estudio de formación profesional en el sistema universitario del Perú, que permita conocer los procesos constructivos de las presas (Sobrevilla, 2017).

## 1.5 Justificación de la investigación

### 1.5.1 Teórica

La sensitividad de las rocas tipo granito tiene importante repercusión en la construcción de obras civiles, así como presas, taludes, puentes y otros, el que puede incrementar el riesgo de fallar estas obras, debido a ello el estudio profundiza los conocimientos teóricos en el campo de la ingeniería civil, específicamente en las áreas prioritarias de la ingeniería geotécnica.

El estudio contribuye en profundizar aspectos relacionados a las discontinuidades y la asociación en la sensitividad de las rocas tipo granito, el cual se centró fundamentalmente en la observación del comportamiento de las fisuras, abertura, espaciamiento y frecuencia de las discontinuidades y la asociación en la sensitividad.

### 1.5.2 Práctica

La sensitividad permite comprender mejor la permeabilidad que se presentan en las discontinuidades de la roca que amenaza la inestabilidad de la estructura de toda obra con estas características, para tratar de encontrar estrategias prácticas y sencillas que ayuden a prevenir y resolver estos problemas que pueden presentarse durante el planeamiento, ejecución y evaluación de la obra.

### 1.5.3 Metodológica

La aplicación de la metodología propuesta servirá como una alternativa práctica, sencilla y de bajo costo al realizar los ensayos que permiten evaluar la sensitividad de las rocas, y otros tipos de materiales como concreto, pavimentos de concreto asfaltico.

Los resultados de la aplicación de la metodología para determinar la sensitividad asociadas por las discontinuidades en rocas tipo granito contribuirá a mejorar en el campo de la geotécnia y establecer el contacto con la realidad a través de las pruebas de simulación, que serán utilizados para realizar ajustes adecuados y tempranos en la ejecución de un proyecto de obras civiles donde intervengan la presencia de infiltración de agua.

### 1.5.4 Social

El beneficio en el aspecto social es de gran utilidad para los tomadores de decisiones, Ministerio de Medio Ambiente, Ministerio de Energía y Minas, Ministerio de Agricultura (Autoridad Nacional del agua) Gobierno Regional del Cusco, Gobiernos Locales, debido a que se debe considerar en todo proyecto de obras de ingeniería y se aplique el método del sistema de evaluación de las discontinuidades y la sensitividad en rocas.

### 1.5.5 Epistemológica

El acercamiento epistemológico de la sensitividad y las discontinuidades, se caracterizan por determinar la permeabilidad en el flujo divergente y convergente que se ven asociados por las discontinuidades de manera sistemática, en primer término se trata de indagar, examinar, descubrir, discriminar, y extraer conclusiones de los datos de la realidad física (heurística) de las discontinuidades asociadas a la sensitividad de la rocas tipo granito; en segundo término, el uso del método tendrá importante aplicación para organizar y sistematizar, ordenadamente los datos extraídos de la realidad de la rocas tipo granito, y en tercer término, construir el aporte del conocimiento generado por los dos pasos antes referidos. En este sentido, existe una actividad investigativa, una organización metodológica y una

producción de conocimiento en relación a las discontinuidades que se asocian a la sensitividad de la roca tipo granito, cuya utilidad es para los especialistas del área de geotecnia.

### 1.5.6 Importancia

La importancia de la investigación permite entender, verificar, analizar, corregir y aplicar en la supervisión del suministro, instalación, puesta en funcionamiento y capacitación de la instrumentación, para la seguridad de presas requeridas en el país (Ministerio de Agricultura y Riego, 2019). Asimismo, conocer de manera minuciosa las zonas favorables sobre las cuales se han de ejecutar dichos proyectos, y el tipo de roca en el que se cimentara una obra, así como presas, túneles, puentes, taludes, pavimentos de concreto asfaltico.

## 1.6 Limitaciones de la investigación

Las limitaciones más importantes se describen a continuación:

### 1.6.1 Espacial

La limitación espacial de la investigación donde se aplicó el estudio es en el distrito de Machupicchu sobre una formación rocosa de granito, denominada como "El Batolito de Vilcabamba (El tipo de roca de esta formación es el granito blanco y gris).

El distrito de Machu Picchu, está ubicado al Noreste de la ciudad de Cusco, con una altura de 2350 msnm con una superficie de 271.4 $Km^2$. y con distancia de 112 Km desde la ciudad de Cusco, es un distrito de la provincia de Urubamba del departamento de Cusco.

### 1.6.2 Temporal

La investigación se llevó a cabo entre el 2019 al 2021, el tiempo de duración del proceso de ensayos en laboratorio tuvo una duración de cuatro meses, debido a la naturaleza, y objetivos de la investigación.

### 1.6.3 Social

Está constituida por los actores sociales que participaran en el estudio como son: el investigador, los estudiantes como ayudantes para el trabajo campo, los técnicos de laboratorio,

para los ensayos de laboratorio, coordinación con las autoridades competentes de la Municipalidad Distrital de Machupicchu, Empresa de Generación Eléctrica Machupicchu S.A. (EGEMSA). y Gobierno Regional

## 1.7 Objetivos de la investigación

### 1.7.1 Objetivo general

Determinar las discontinuidades asociadas a la sensitividad a través del flujo divergente y convergente en rocas tipo granito - Cusco.

### 1.7.2 Objetivos específicos

- Determinar que las fisuras de las discontinuidades a través del número y longitud se asocian a la sensitividad en rocas tipo granito.
- Determinar que las aberturas de las discontinuidades según longitud se asocia a la sensitividad en rocas tipo granito.
- Determinar que los espaciamientos y frecuencia según número y longitud de intersecciones de las discontinuidades se asocian a la sensitividad en rocas tipo granito.
- Calcular la sensitividad a través de la permeabilidad del flujo divergente y del flujo convergente en rocas tipo granito.

## 1.8 Hipótesis

### 1.8.1 Hipótesis General

Las discontinuidades se asocian a la sensitividad a través del flujo divergente y convergente en rocas tipo granito -Cusco.

VI: Discontinuidades

VD: Sensitividad

### 1.8.2 Hipótesis Específica

Las fisuras según el número y longitud de las discontinuidades se asocian a la sensitividad en rocas tipo granito.

VI: Fisuras de las discontinuidades

VD: Sensitividad

Las aberturas según longitud de las discontinuidades se asocian a la sensitividad en rocas tipo granito.

VI: Abertura de las discontinuidades

VD: Sensitividad

Los espaciamientos y frecuencia según número y longitud de intersecciones de las discontinuidades se asocian a la sensitividad en rocas tipo granito.

VI: Espaciamientos y frecuencia de las discontinuidades.

VD: Sensitividad

La permeabilidad del flujo divergente y el flujo convergente determina la sensitividad.

VI. Permeabilidad del flujo divergente

Permeabilidad del flujo convergente

VD. Sensitividad

### 1.8.3 Variables e Indicadores

Variable Independiente:

Discontinuidades en rocas tipo granito:

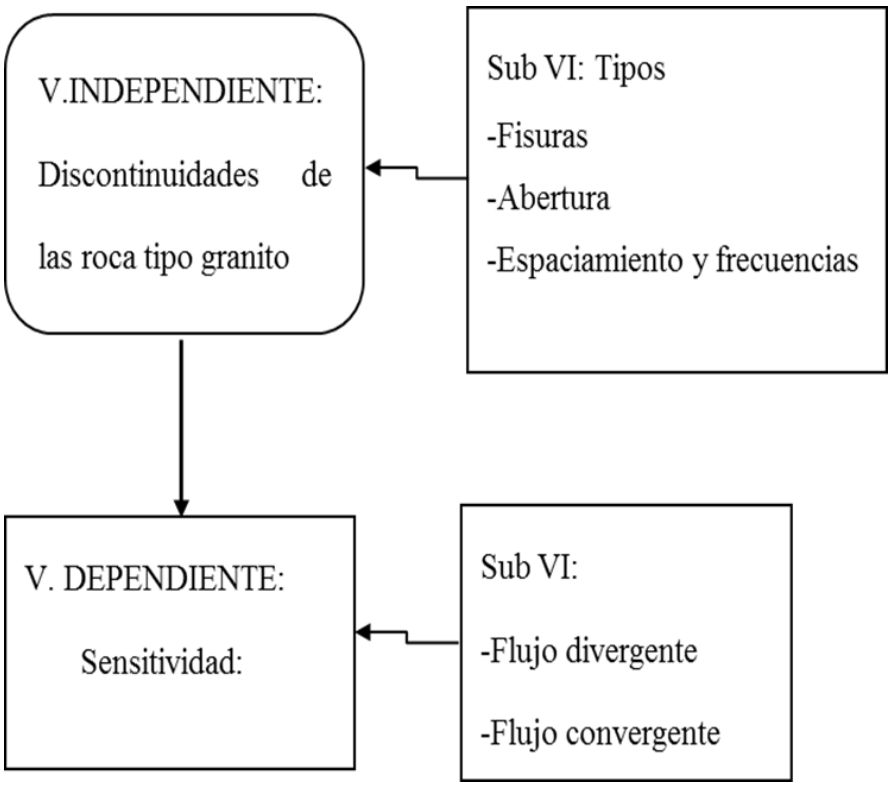
- Fisuras
- Abertura
- Espaciamiento y frecuencia

Variable Dependiente:

La Sensitividad:

**Figura 1**

***Esquema de relación de variables***




*Fuente*. Elaboración en el proceso del estudio

# II. MARCO TEÓRICO

## 2.1 Marco conceptual

### 2.1.1 Teorías generales relacionadas al tema

#### 2.1.1.1 Criterio de Hoek & Brown (1980) para macizos rocosos isótropos.

La falla en los macizos rocosos isótropos, se consideran factores que determinan la ruptura de un medio rocoso determinado en gran escala, así como la no linealidad y un nivel de esfuerzo, así mismo se toma en cuenta el estado del macizo rocoso influenciado por el tipo de roca. Este criterio fue desarrollad, para ser aplicado en macizos rocosos fracturados sin ser alterados la matriz rocosa, asumiendo que los bloques de roca están en contacto unos con otros y que la resistencia del macizo está controlada por la resistencia de las discontinuidades. La resistencia de la matriz rocosa isotrópica en condiciones triaxiales está en función de los esfuerzos principales mayor y menor $\sigma_1$ y $\sigma_3$ en la rotura, es la resistencia de la compresión no confinada de la rocosa. $m_i$ es una constante adimensional que dependen de las propiedades del macizo rocoso, del tipo de roca y de la frecuencia y características de las discontinuidades. Él se determina mediante ensayos de compresión no confinada realizadas en el laboratorio. Por tanto, la resistencia a la tracción se puede obtener haciendo $\sigma_3 = \sigma_t$ y $\sigma_1 = 0$ ). (Hundson & Harrison, 2000, pp. 110-111).

$$\sigma_t = 0.5\sigma_{ci}(m_i - \sqrt{m_i^2 + 4}) \qquad \textbf{( 3)}$$

#### 2.1.1.2 Criterio de Borton y Choubey

Considerado como criterio empírico, generado de un análisis del comportamiento de discontinuidades a través de pruebas de laboratorio para hallar la resistencia al corte en discontinuidades rugosas. Cuya expresión es la siguiente:

$$\tau\tau = \sigma_n tan\left[JRC\ log(\frac{JCS}{\sigma_n}) + \varphi_r\right] \qquad (4)$$

En donde:

τ y σn son los esfuerzos tangencial y normal efectivo sobre el plano de discontinuidad

$\varphi$, es el ángulo de rozamiento residual.

JRC es el coeficiente de rugosidad de la discontinuidad

JCS es la resistencia a la compresión de las paredes de la discontinuidad.

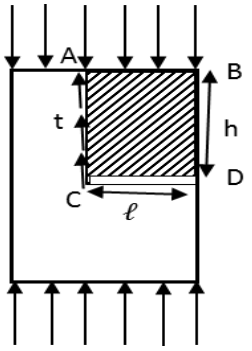
Esta asperidad y la componente geométrica representan la rugosidad.

#### 2.1.1.3 Criterio de Joisel

El análisis se basa en que la roca es un material que tiene discontinuidades (fisuras, aberturas, y frecuencia) hace uso de un espécimen de forma prismática de un material con una discontinuidad "l" perpendicular al esfuerzo normal; cuando el ancho de la grieta o discontinuidad es grande, no habrá probabilidad de cierre, zona en que los esfuerzos normales no se transmitirán normalmente a la discontinuidad. Por seguridad del equilibrio del bloque fisurado es necesario que se generen esfuerzos cortantes (t) en la cara lateral AC.

**Figura 2**

***Esfuerzo cortante en fisura***




*Fuente*. Castillo Jorge, UNAM 2018

$$\sigma = \frac{th}{l} \qquad \textbf{( 5)}$$

#### 2.1.1.4 Criterio de Mohr-Coulomb

Este tipo de falla se puede analizar también con el criterio de Joisel, supone que la falla ocurre por insuficiencia al corte. Se presenta cuando existen esfuerzos confinantes grandes comparados con la cohesión del material, definida por la siguiente Ley:

$$\tau = c + \sigma_n tan\varphi \qquad (6)$$

Donde:

τ y σn son los esfuerzos cortante y normal que operan en el plano de rotura, c y φ son parámetros de cohesión y fricción, conocidos como las propiedades mecánicas de las rocas (Jumikis, 1993, pp. 161-163)

### 2.1.2 Discontinuidad y sensitividad.

#### 2.1.2.1 Discontinuidades

***A. Consideraciones generales sobre el carácter discontinuo de las masas rocosas.*** Las discontinuidades definen un carácter discontinuo y anisótropo de los macizos rocosos que incrementa su deformación y haciéndolos más débiles lo que dificulta su evaluación del comportamiento mecánico e hidráulico en las obras de ingeniería. (Gonzales De Vallejo, et al., 2004, p. 178)

En los macizos rocosos con frecuencia se hacen presente un sistema de fracturas afectadas por una serie de discontinuidades en el cual se diferencian en las formas siguientes:

Estratificación de las juntas

Fisuras como resultado de fracturas frágiles de la roca

Fracturas de corte de las rocas.

Cuando las discontinuidades son grandes y persistentes existe la probabilidad de afectar de manera crítica la estabilidad de cualquier superficie y en la profundidad del macizo rocoso. Asimismo, la apariencia y extensión de las diversas discontinuidades son muy variadas, con características comunes, y se observa una polarización cuando se encuentran en direcciones planas (Hundson & Harrison, 2000, p. 113).

***B. Conceptualización de las discontinuidades.*** Las discontinuidades es la alteración, meteorización y fracturas, que permiten el flujo de agua. Sus características son importantes en el comportamiento mecánico e hidráulico del macizo rocoso. La orientación y la resistencia de las discontinuidades determinan la estabilidad de las excavaciones y las cimentaciones en roca. Es la presencia de discontinuidades (superficie de estratificación, juntas, espaciamiento, espesor y frecuencia) la que rompe la continuidad de las propiedades mecánicas de los bloques rocosos confiriendo al macizo un comportamiento geomecánico e hidráulico discontinuo, condicionado por la naturaleza, frecuencia, orientación de los planos de discontinuidad. Las discontinuidades y los bloques de la matriz rocosa son los que constituyen en conjunto la estructura que gobierna el comportamiento de manera global del macizo rocoso, predominando uno u otro componente en función de sus propiedades relativas y de la escala o ámbito (Gonzales De Vallejo et al., 2004, p. 177)

***C. Discontinuidades y estructura de roca.*** Durante el proceso de litificación y a lo largo de la historia geológica, se han producido periodos orogénicos y otros procesos de carga menos severos aplicados a la roca. El resultado en términos de fracturamiento de la roca es producir una estructura geométrica (a menudo muy compleja) de fracturas que forman bloques de roca, y la naturaleza compleja de una masa rocosa debido a fases sucesivas de fracturación superpuesta. Debido a que en los usos generales de la mecánica y el análisis de tensiones se supone que un material es continuo, hay rasgos geológicos tales como fallas, juntas, planos de

lecho y fisuras, todos los cuales pueden ser roturas mecánicas significativas en el continuo y se denominan "discontinuidades" para fines de ingeniería. Estas discontinuidades tienen muchas características geométricas y mecánicas que a menudo rigen el comportamiento total de la masa rocosa. Las discontinuidades tendrán ciertas formas, determinados tamaños y estarán orientadas en ciertas direcciones. Hudson y Harrison, señalan también que la configuración geométrica global de las discontinuidades en la masa rocosa se denomina estructura de roca. Por razones de ingeniería, es vital que entendamos esta estructura geométrica.

Se encuentra en la práctica que, de hecho, las discontinuidades de la roca tienen implicaciones para toda la ingeniería. Las fallas se asocian muy a menudo directamente con las discontinuidades, que son los enlaces débiles de las rocas. Uno de los aspectos más fundamentales de la ocurrencia discontinuidad es el valor medio y la distribución de los espacios entre las discontinuidades, y los índices asociados de frecuencia de la discontinuidad de la roca denominación índice de calidad de la roca (Hundson & Harrison, 2000, p. 19)

***D. Propiedades geométricas de las discontinuidades*.** Las características principales de la geometría de la masa rocosa, son los siguientes:

1. Espacio y frecuencia: el espacio es definido como la distancia entre intersecciones de discontinuidad adyacentes con la línea de barrido de medición. La frecuencia (número por unidad de distancia) es el recíproco de espaciamiento (la media de intersecciones).
2. Dirección y orientación del buzamiento / ángulo del buzamiento: asumiéndose que la discontinuidad es plana. En efecto, la dirección de buzamiento define la orientación de las discontinuidades.
3. Tamaño y la forma de las discontinuidades: La presencia, tamaño y forma de las discontinuidades: la extensión en el plano, incluyéndose factores tales como la

forma limitada por las dimensiones asociadas a sus características del macizo rocoso.

4. Rugosidad: las discontinuidades son asumidas como planas para fines de orientación y la presencia, la superficie de la discontinuidad en sí puede ser rugosa. La rugosidad de la discontinuidad se puede definir por referencia a gráficos y procedimientos matemáticas
5. Abertura: es la distancia de forma perpendicular entre las superficies de roca adyacentes de la discontinuidad. Este será un valor constante para superficies adyacentes paralelas y planas, y completamente variable para superficies adyacentes rugosas.
6. Conjunto de discontinuidad: las discontinuidades se forman por un sistema de "agrupamiento" alrededor de las orientaciones preferidas asociadas con los mecanismos de formación. Entretanto, se puede caracterizar como un conjunto de discontinuidades (discontinuidades paralelas o sub-paralelas) y el número de conjuntos que caracterizan una geometría de masa rocosa.
7. Tamaño del bloque: constituido por características geométricas de las discontinuidades, pueden estar presentes bloques de roca. En excavaciones y soporte, es importante contar con la información de datos de la distribución del tamaño promedio en una situación análoga in situ del tamaño de la distribución de la partícula de la roca, (distribución granulométrica de la roca).

***E. Espaciamiento de discontinuidad y frecuencia.*** Una línea de muestreo a través de una masa rocosa, que intercepta un número de discontinuidades. La longitud de la línea de muestreo es L metros, el número de discontinuidades que interseca es N, y, por lo tanto:

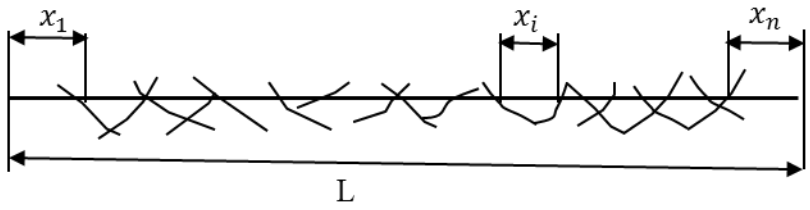
Frecuencia de discontinuidad, $\lambda = N / L$ m-1 y

Espaciamiento medio, $x = L / N$ m.

La frecuencia de discontinuidad, que es el número de fracturas por metro, es la recíproca de la separación media.

**Figura 3**

*Espaciamiento de discontinuidades y Frecuencia*




*Fuente*. Hundson & Harrison, 2000, pág. 118

Asimismo, se puede considerar la distribución individual de espaciamientos entre fracturas, denotada por xi. Cuando una muestra suficientemente grande de estos valores de espaciamientos individuales, y representar de forma gráfica y análisis exponencial. Debe observarse que la tendencia general de este histograma es que haya muchos valores de espaciado pequeños y pocos valores de espaciado muy grandes en la distribución

Utilizamos histogramas cuando hay un número finito de valores (es decir, el caso discreto) y los datos pueden ser asignados sin intervalos de clase elegidos. Al acercarse al caso

límite de un número infinito de valores de intervalos de espaciado pequeños, la gráfica tiene una tendencia a secuencia de curva expresada mediante la relación siguiente:

$$(\boldsymbol{x}) = \boldsymbol{\lambda e^{-\lambda x}} \qquad \textbf{( 7)}$$

Obsérvese que la media de esta distribución es y la desviación estándar es también. Distribución definida de un parámetro, con iguales medias y desviación estándar.

Cabe señalar, que las discontinuidades son producidas por el sentido en que se ocasionas, producto de factores mecánicos directos (Hundson & Harrison, 2000, pp. 115-138),

### 2.1.3 Permeabilidad en las rocas

La permeabilidad se relaciona con las características físicas del sólido y del fluido a través de la relación.

$$K = \frac{kD^2\gamma_w}{\mu} \qquad (8)$$

Donde D, es el diámetro efectivo de las aberturas (los poros o diaclasas) del sólido o una dimensión característica de su textura, μ la viscosidad, $\gamma_w$el peso específico del líquido y k un coeficiente físico de permeabilidad (movilidad):, siendo una magnitud sin dimensiones que depende de la geometría de los poros o diaclasas

Si se supone un conjunto de fisuras de abertura e, con caras paralelas separadas una distancia d, se obtiene la siguiente expresión para la filtración a través del conjunto:

$$k = \frac{e^3\gamma_w}{12d\mu} \qquad (9)$$

y la circulación a través de una diaclasa de espesor constante e viene expresada por:

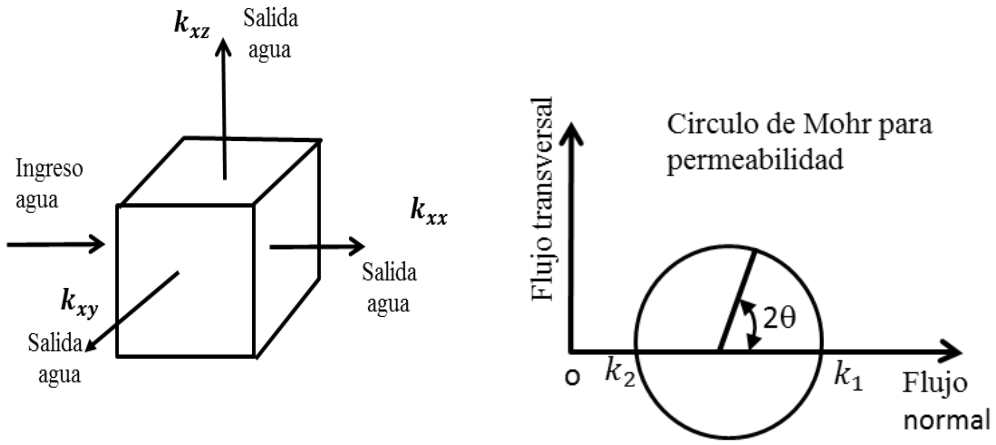
$$v = -\frac{e^2\gamma_w}{12\mu}i \qquad (10)$$

Se cree que, en la mayoría de los casos descritos, la permeabilidad de la roca procede de las fisuras abiertas y de las pequeñas diaclasas y no de los poros más uniformemente distribuidos. Esto da un carácter anisótropo a las rocas y macizos rocosos por la filtración del agua, así como del comportamiento mecánico. En rocas estratificadas esto es aún más evidente.

La permeabilidad se define, pues, por un tensor simétrico k de tercer orden con seis componentes, representado por la matriz:

**Figura 4**

*Ilustración de la Permeabilidad como número de tensores*




$$k = \begin{bmatrix} k_{xx} & k_{xy} & k_{xz} \\ k_{yx} & k_{yy} & k_{yz} \\ k_{zx} & k_{zy} & k_{zz} \end{bmatrix}$$

Matriz de la permeabilidad respecto al eje x,y,z

$$\begin{bmatrix} k_1 & 0 & 0 \\ 0 & k_2 & 0 \\ 0 & 0 & k_3 \end{bmatrix}$$

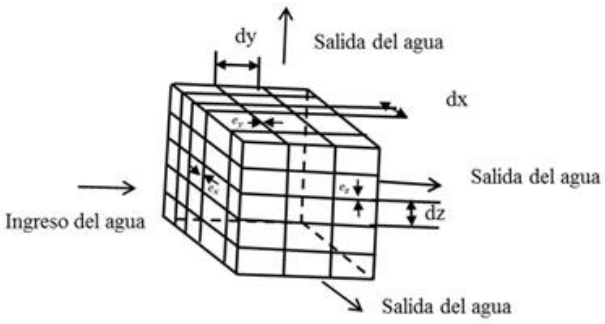
Permeabilidades principales sin flujo transversal.

Fuente: Hundson & Harrison, 2000, p. 150

Si tenemos en cuenta un cubo de una masa pequeña de roca representativa como se muestra en la Figura 4, con un volumen dv, de caras paralelas a los tres sistemas de diaclasas indicados en la roca, las cuales determinan las tres direcciones principales de anisotropía (discontinuidades y filtración de agua)

***Figura 5***

*Filtración del agua a través dV de roca*




Fuente (Zienkiewicz, 1970, pp. 76-77)

Las componentes principales de la permeabilidad en función de sus aberturas medias de las discontinuidades con separaciones medias direcciones las cuales están representada por las ecuaciones siguientes:

$$k_1 = \frac{\gamma_0}{12\mu}\left(\frac{e_y^3}{d_y} + \frac{e_z^3}{d_z}\right) \qquad (11)$$

$$k_2 = \frac{\gamma_0}{12\mu}\left(\frac{e_z^3}{d_z} + \frac{e_x^3}{d_x}\right) \qquad (12)$$

$$k_3 = \frac{\gamma_0}{12\mu}\left(\frac{e_x^3}{d_x} + \frac{e_y^3}{d_y}\right) \qquad (13)$$

Los anteriores valores de k pueden reducirse para tener en cuenta el efecto de los materiales que rellenan las diaclasas y la rugosidad de su superficie. Estos valores también

dependen de la temperatura, ya que ésta hace variar la viscosidad y posiblemente también la abertura de las discontinuidades. Así pues, la única forma de encontrar esta relación es por medio de ensayos y observaciones en cada caso particular (Zienkiewicz, 1970, pp. 64-90)

### 2.1.4 Flujo a través de las discontinuidades

Hoek y Bray (1977) describen el desarrollo de la teoría para considerar el flujo de fluidos a través de una discontinuidad sustentada en el flujo de estratificaciones lisas paralelas. La ley de Darcy puede ser expresado como:

$$Q = c\, H_L \qquad (14)$$

Donde:

c = conductancia, ($ge^3/12vL$)

$H_L$ = es la pérdida de carga (entre dos secciones finales)

Obsérvese que, en la fórmula expresada, para la conductancia, el caudal es proporcional al cubo de abertura de la discontinuidad. Por lo tanto, el caudal es altamente sensible a la variación de cambios de aberturas: una duplicidad de abertura incrementa ocho veces el caudal. Como consecuencia, una discontinuidad muy abierta a través de una masa de roca puede dominar totalmente las condiciones de la filtración del flujo de agua.

La ampliación de la expresión anterior, para la conductancia es tomar en consideración la presencia de un conjunto de discontinuidades paralelas. Esta conductividad hidráulica paralela al conjunto está dada por:

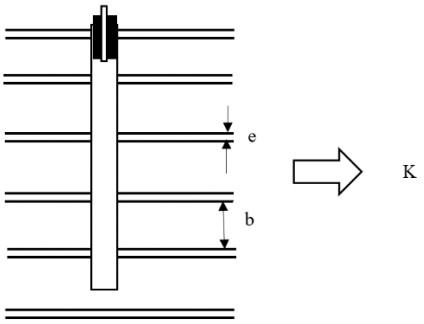
$$K = \frac{\lambda g e^3}{12v} \qquad (15)$$

La variación de K con la abertura y la frecuencia de discontinuidad para el flujo paralelo a un solo conjunto de discontinuidades se muestra en la fórmula (15) Con referencia a la

fórmula de Hoek y Bray (1977) mencionan que la permeabilidad del sistema es sensible a las aberturas de las discontinuidades. (Hundson & Harrison, 2000, pp. 151-153).

***Figura 6***

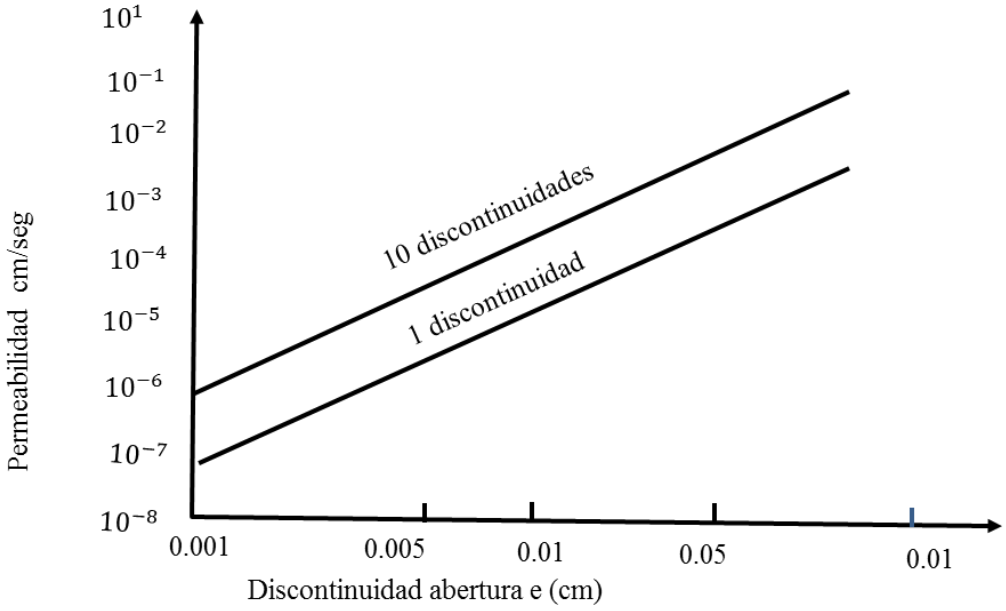
*Permeabilidad en las discontnuidades considerando las aberturas*




*Fuente*. Hundson & Harrison, 2000, pág. 153

***Figura 7***

*Permeabilidad en las discontinuidades considerando las aberturas*




Fuente. Hundson & Harrison, 2000, p. 153

### 2.1.5 Prueba de percolación radial

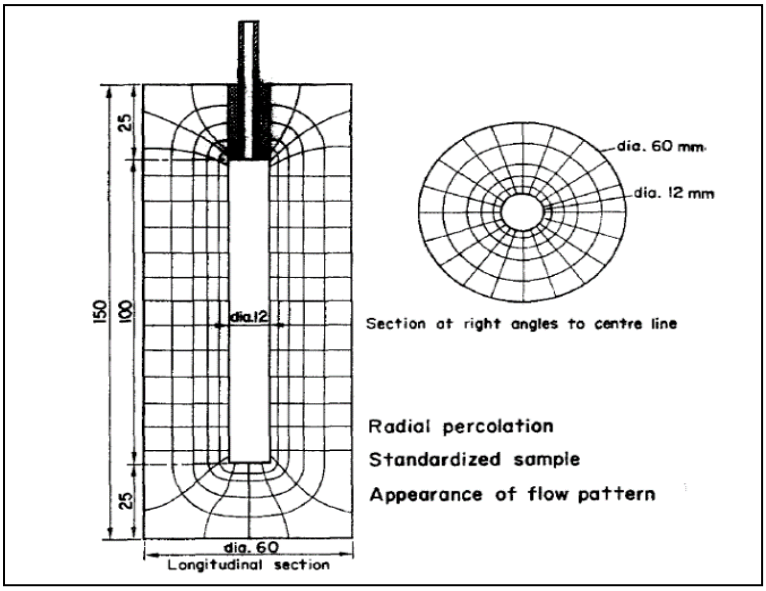
La muestra que se utilizó es una roca tipo granito cuyas características geométricas son 150 mm de longitud y 60 mm de diámetro y en el que se perforó un orificio axial de 12 mm de diámetro sobre una longitud de 125 mm. Este orificio tiene una longitud de 25 mm sin perforar y la cavidad formada permanece así en comunicación con el exterior a través de un tubo. Esta muestra se puede introducir en una celda que contiene agua y presión, la cavidad central permanece conectada a la presión atmosférica, o se puede inyectar agua a presión dentro de la muestra. El agua se filtra a través de la roca, el patrón de la red de flujo es el mismo en los dos casos. Este sistema puede definirse por una sección diametral y una sección perpendicular al eje de la muestra, si asumimos que la permeabilidad es homogénea e isotrópica.

El flujo es radial sobre casi toda la altura de la muestra, de ahí el nombre de ensayo de percolación radial y es convergente cuando la presión del agua se aplica a las caras exteriores de la muestra y divergente cuando el agua está bajo presión dentro de la muestra.

El flujo en la parte central de la muestra a lo largo de una longitud $l$ igual a la de la cavidad interior, siendo desechados los extremos. También se ha comprobado que esta aproximación introduce sólo un error muy pequeño, considerando el hecho de que el estudio es principal es las variaciones de permeabilidad.

***Figura 8***

*Líneas de flujos desarrollados a través de la muestra*




*Fuente*. Bernaix, 1969

El cálculo de se realizó de la siguiente manera:

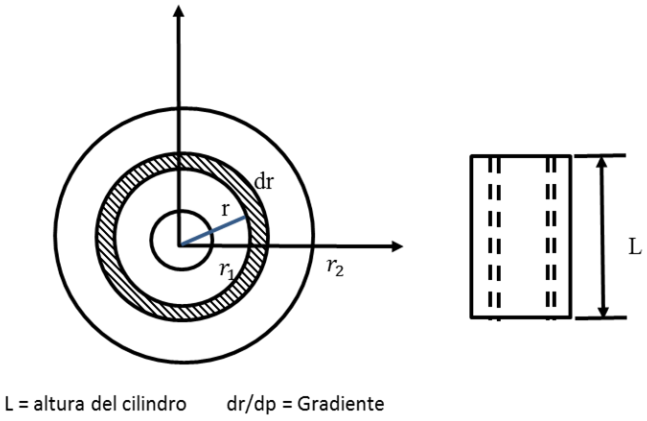
Se considera un anillo de espesor dr sobre el cual actúa una presión p

El gasto de agua que atraviesa el anillo es:

$$2\pi r L \frac{dr}{dp} K = q \qquad (16)$$

***Figura 9***

*Ilustración del gasto de agua que atraviesa el anillo en el flujo divergente y convergente*




*Fuente*. Elaboración en el proceso del estudio

Además, teniendo en cuenta de que no hay acumulación de agua dentro del espécimen de la muestra, el gasto que ingresa será igual al gasto recuperado por tanto (Bernaix, 1969, pp. 43-90)

$$\frac{2\pi L}{Q} k dp = \frac{dr}{r} \quad (17)$$

$$Q = k\left(\frac{dp}{dr}\right)(2\pi r L) \quad (18)$$

$$\int_{r_1}^{r_2} \frac{1}{r} dr = \int_{P_1}^{P_2} k \frac{2\pi L}{Q} dp \quad (19)$$

Integrando y tomando condiciones de frontera

$$k_{div} = \log\left(\frac{r_2}{r_1}\right) \frac{Q}{2\pi L p} \quad (20)$$

$$k_{conv} = \log\left(\frac{r_2}{r_1}\right) \frac{Q}{2\pi L p} \quad (21)$$

Donde:

$k_{div}$ = Permeabilidad de la roca cuando se aplica un flujo divergente

$k_{conv}$ = Permeabilidad de la roca cuando se aplica un flujo convergente

.r1 = radio interior

.r2 = radio exterior

P = presión aplicada

### 2.1.6 Sensitividad

La sensitividad caracteriza la magnitud de la variación de la permeabilidad de una roca cuando sus discontinuidades se cierran o abren debido al cambio de los esfuerzos actuantes.

Para medir los cambios de la permeabilidad se elaboran especímenes de rocas de forma cilíndrica cuyo diámetro es de 60mm, la altura es de 150 mm. con una perforación de 120 mm. en la parte central del espécimen expuestos a flujo convergente y divergente.

#### 2.1.6.1 Flujo convergente.

Al espécimen de roca tipo granito se somete a una presión hidráulica externa que generará esfuerzos de compresión y las fisuras se cierran.

#### 2.1.6.2 Flujo divergente.

Al espécimen de roca tipo granito se somete a una presión hidráulica interior que genera esfuerzos de tensión, generando que las fisuras se abran. Esta presión provocada por el flujo divergente no deberá ser muy grande, porque el espécimen puede llegar a fallar, debido a la tensión en los especímenes de la roca tipo granito.

La permeabilidad de la roca registrada con flujo divergente es mayor o igual a la registrada con el flujo convergente.

A partir de los ensayos que se efectúa, se define la sensitividad como:

La relación entre:

Kdiv = Permeabilidad de la roca, cuando en Flujo Divergente (P=1Kg/cm2)

Kcon = Permeabilidad de la roca, en Flujo convergente (P=50Kg/cm2).

$$S = \frac{K_{div.}}{K_{con.}} \qquad \textbf{( 22)}$$

Los flujos de filtración de agua cuya magnitud es relacionada con la sensitividad de la roca que sirve de soporte (cimentación de presas). Esta situación de la carga de agua induce a un movimiento de rotación de las estructuras con respecto a la profundidad de cimentación

generando esfuerzos de tensión en aguas arriba y una de compresión aguas abajo generando problemas de inestabilidad de las estructuras. Tal es caso de la presa de Malpasset (Francia) sufrió fallas por este efecto (Castilla, 1988).

> La sensitividad y la fisuración que Bernaix, señala, están íntimamente relacionados. La sensitividad en rocas porosas no fisuradas es igual a 1, y alcanzan valores de 10000 para las muy fisuradas. La permeabilidad de la roca a pequeña o gran escala depende del estado de esfuerzos por el efecto provocado por la amplitud de las fisuras, tanto microscópicas como macroscópicas al abrir o cerrar.

### 2.1.7 La Sensitividad y la Fisuración

En las rocas que tienen diferentes discontinuidades se ha establecido que la sensitividad y la fisuración están íntimamente relacionados. La sensitividad de las rocas sin discontinuidades es igual a 1 y alcanza valores de 10000 para rocas con muchas discontinuidades. Los cambios de la permeabilidad es una aplicación del estado de esfuerzo, que forma la base del concepto de fisuración, no solo permite evaluar la intensidad de fisuración de una muestra de roca, sino también interpretar los resultados de las pruebas de permeabilidad. El caudal de inyección de agua con presión p en un macizo rocoso fisurado con un comportamiento elástico, se precisa en la expresión siguiente:

$$Q=A*p^4 \qquad (23)$$

Donde:

A = constante

P = presión

En efecto, la permeabilidad del macizo rocos está determinada en base a la magnitud de la presión aplicada, debido a que produce la abertura de las fisuras en ella las discontinuidades previamente existentes en su contexto (Bernaix, 1969).

### 2.1.8 Estabilidad de Taludes en obras de construcción

La Estabilidad de Taludes en obras de construcción en ingeniería Civil, considerando el comportamiento de las laderas o declives del terreno a los efectos geodinámica externa.

Los deslizamientos constituyen un problema de importancia en varios sectores del territorio nacional debido a que la morfología que presenta es sumamente accidentada, estos deslizamientos se localizan mayormente en la cordillera andina (valles interandinos), en los distintos tipos de afloramientos rocosos; sus manifestaciones destructivas se extienden a la construcción de obras de ingeniería

Los efectos de inestabilidad de taludes producen paralizaciones parcial o total de las obras, dando lugar desembolso de grandes sumas de dinero en su rehabilitación, lo que en suma viene representar un retraso al desarrollo socioeconómico del país.

Estos fenómenos (deslizamientos y derrumbes), se desarrollan generalmente por causas de cortes en taludes de carreteras (rotura de equilibrio) y taludes naturales por la fuerte pendiente del terreno (gravedad) y condiciones climáticas.

Para controlar e impedir estos procesos geodinámicos, es de esperar que, en un futuro, se tome mayor interés en el estudio de los deslizamientos y derrumbes, que ocurren mayormente en las regiones de la sierra y selva peruana comprometiendo la seguridad y estabilidad de todas las obras de ingeniería y por ende de las poblaciones que generalmente se ubican en áreas de influencia de estos fenómenos naturales (Taype Ramos, 2008).

La resistencia de macizo rocoso según las discontinuidades influye en la estabilidad del macizo, es preciso considerar la resistencia de las estructuras de las discontinuidades.

## 2.2 Marco filosófico

### 2.2.1 Sensibilidad en filosofía

a) **Platón** (IV a. C.) existen dos realidades, una de orden superior el a) Platón (IV a. C) Existen realidades, una de orden superior, el mundo de las ideas, y otra de orden

inferior, el mundo sensible. El cambio se genera en el segundo, el mundo existe a través de realidad verdadera, el mundo de las esencias o entidades ideales. El mundo de las opiniones tiene similares características que el Ser de lo mención Parménides, excepto que hay varias ideas ordenadas jerárquicamente. A la altura del mundo ideal está la idea del Bien.

b) **Aristóteles (IV. a. C)**: Existe una sola realidad, la realidad concreta, no hay esencias ni ideas separadas de las cosas reales.

La realidad viene a ser la sustancia y sus accidentes. La propia estructura de la sustancia (materia y forma / potencia y acto) expone el cambio (cambio del Ser potencial al Ser en acción, por lo tanto, nada viene de la nada, además lo que era antes estaba en potencial: un niño es un adulto potencialmente, por lo que su mudanza ya ha sido proyectada, ya "se fue", de alguna manera). Así como toda la realidad se manejó por la idea del Bien en Platón, Aristóteles sostiene como causa última de la realidad el Primer motor inmóvil, en el que casi dos milenios después Santo Tomás reconocerá a Dios. Sin embargo, el primer motor inmóvil no es el descubridor de la naturaleza, sino parte de la naturaleza, su parte superior: pensamiento que es pensamiento, forma pura sin materia, es el fin hacia el que todo se encaminan. Ante la irrupción de la multiplicidad y el cambio, el Primer motor inamovible es único y eterno, en él todos los cambios y la aparente diversidad natural se resuelven más allá del espacio y el tiempo (Wikifilosofia, 2014).

**c) Emmanuel Kan**

Esta filosofía kantiana, designa la facultad para tener sensaciones; aunque no es muy exacto, podemos identificarla con la percepción. La Sensibilidad se divide en Sensibilidad interna y Sensibilidad externa; la Sensibilidad interna es la percepción interna, es decir la capacidad para tener un conocimiento inmediato, directo, de la propia vida psíquica, como cuando sabemos que estamos tristes o que estamos recordando o pensando; la sensibilidad

externa es la percepción externa, es decir la capacidad para tener un conocimiento inmediato de los objetos físicos, como cuando vemos una mesa o escuchamos una canción. “El espacio y el tiempo son formas a priori de la sensibilidad externa, y el tiempo es la forma a priori de la Sensibilidad interna” (Echegoyen Olleta, 2015).

¿Qué tiene? Energía, la vida en su ser profundo es, por tanto, espiritual a imagen y semejanza del alma humana, como un ser dotado de inteligencia. Justamente como Platón (Idea), en gran medida Aristóteles (Primer motor todavía) y Plotino (Uno) en la antigüedad, los filósofos cristianos medievales (Dios) y en la modernidad concibieron el idealismo absoluto de Hegel, es el Espíritu absoluto (Wikifilosofia, 2014).

### 2.2.2 Filosofía Histórica del agua.

En cuanto a la filosofía histórica del agua a lo largo de la historia humana, está Tales de Mileto, uno de los siete sabios griegos que afirmó que el agua es la sustancia última, el Arje, del cosmos en el que todo está hecho de agua. Empédocles, un filósofo de la antigua Grecia, planteó la hipótesis de que el agua, junto con el fuego, la tierra y el aire, es uno de los cuatro elementos clásicos y se consideraba la sustancia básica del universo. Según la teoría de los cuatro humores, el agua está relacionada con la baba. En la filosofía tradicional china, que se remonta a miles de años hasta el presente, el agua es uno de los cinco elementos junto con la tierra, el fuego, la madera y el metal. En la mitología griega y romana, Peneo era el dios del río, uno de los tres mil ríos o, a veces, entre los tres mil de Oceanía. En el islam, fuente de vida es el agua, porque toda vida o todo ser viviente está constituido de agua. También debemos enfatizar que la historia mundial de la población humana muestra que las civilizaciones primitivas florecieron en áreas favorables a la agricultura, como las cuencas de los ríos. Este es el caso de la cultura mesopotámica, que se considera la cuna de la civilización humana. En Egipto, una civilización gloriosa que dependía completamente del Nilo y sus inundaciones periódicas. Diferentes grandes ciudades y capitales de países como Rotterdam, Londres,

Montreal, París, New Yong, Buenos Aires, Lima, Shanghai, Tokio, Chicago o Hong Kong deben su riqueza a la conexión con una gran vía fluvial que incentivó su crecimiento. y su riqueza. Entretanto, a través de la historia en el mundo las áreas desérticas y escasez del agua de África, tuvieron muchas limitaciones en su desarrollo, debido a que consideran que el agua es un componente de purificación (Hernandez Huaripaucar, 2016)

### 2.2.3 Filosofía Ecológica del Agua

El agua forma parte del contexto en que los seres vivos se encuentran, y forma parte de nuestros sentimientos y emociones, como los recuerdos de los primeros años de vida, la naturaleza, el paisaje, la cultura, los ríos y las personas con quienes socialmente vivimos. La interacción entre el hombre y el agua se relaciona con amplio sentido de la belleza, la armonía de la naturaleza, de la tierra, los pueblos, y la calidad de vida. El recurso agua es un elemento vital del ambiente, desde un punto de vista ecológico a nivel del mundo, como un componente de la biodiversidad, que permite la existencia y el sentido de vida. En consecuencia, la dimensión ambiental en el contexto de la ecología debe ser considerado como uno de los importantes ejes transversales en el proceso de desarrollo cultural de las poblaciones.

Los ciclos naturales de la estabilidad del agua favorecen la circulación y renovación de todos los recursos naturales, como factor condicionante del manejo adecuado de factores del impacto ambiental, que permite la sostenibilidad y suministro de los recursos para la población, en el momento y en el futuro, que determina la necesidad de una adecuada aplicación de las Políticas de Gestión y Conservación Ambiental para garantizar el futuro de las poblaciones que dependen del suministro permanente de los recursos naturales necesarios para la supervivencia. En su implementación, se trata de comprometer la participación de cada ciudadano, residente o miembro de la comunidad en las acciones necesarias para mejorar la realidad ambiental, y capacitarlos para que participen efectivamente en la implementación de cada una de las acciones ambientales requeridas. Con el aumento de la población mundial y la explosión

demográfica de los países pobres, la accesibilidad del agua potable se ha incrementado de manera significativa en la superficie de la tierra (Hernández Montar, 2016). La FAO, asume que, de cada cinco países en vías de desarrollo, Un país presentará problemas de escasez de agua ante del 2030 (FAO, 2003)

### 2.2.4 Filosofía y Paradigma de la Geotecnia

La Geotecnia es una ciencia que incluye a la geología, mecánica de suelo y la mecánica de rocas, la geotecnia es responsable en el diseño y los procesos de construcción. La Geotecnia considera el diseño de las cimentaciones, el diseño y construcción de vías de transporte, análisis de estabilidad de presas, estabilidad de taludes, diseño de muros y excavaciones, articulado con las discontinuidades de las rocas y la sensibilidad es primordial porque en las actividades antes indicadas de la geotecnia se debe encontrar fundamentalmente la respuesta del macizo rocosos o suelo ante la presencia de cargas en diferentes direcciones las cuales ocasionan diferentes cambios en el estado de esfuerzos o presiones de los fluidos. Esta unión de los esfuerzos y deformaciones le proporcionara un perfil característico, que le diferencia de otras áreas de conocimiento relacionadas con el medio geológico. Por consiguiente, en el centro de la geotecnia se ubican la Mecánica de Suelos y la Mecánica de Rocas, estas disciplinas sostienen importantes bases científicas en la geotecnia.

La aplicación de la geotécnica viene desde la antigüedad, conjuntamente de la construcción de obras, así como estructuras y monumentos, constituye los fundamentos teóricos del comportamiento mecánico de los materiales haciendo uso de los modelos matemáticos para el diseño de obras. Tal es el caso de la construcción de presas, túneles, y otras obras de ingeniería antes de que se conocieran los términos mecánica de suelos y mecánica de rocas, es así que se desarrollaron las primeras conferencias internacionales sobre estas teorías en el escenario emergente (en 1936, en Harvard, en el caso de Mecánica dos Solos, y en 1966, en Lisboa, en el caso de Mecánica das Rochas). Se construyeron presas y carreteras,

puentes catedrales, y canales sin haberse desarrollado aún todavía los principios que fundamentan el comportamiento mecánico de suelos y rocas. En consecuencia, el desarrollo de las normas técnicas, basadas en la experiencia acumulada en estas obras, representan mayor antigüedad que el desarrollo de teorías que tradicionalmente se avalan, como también la observa de los proyectos de construcción de obras en general. En geotecnia, los proyectos deben considerar dos requisitos importantes:

1. Garantizar la estabilidad de la obra.

2. Las deformaciones o movimientos en servicio deben estar en un margen de seguridad aceptable.

El primer requisito sobre la estabilidad de la obra es orientar al estudio de las condiciones de falla, en primer término, asegurar la estabilidad significa aplicar lo proyectado, y se encuentre en condiciones lejanos a producirse el colapso y que el rango de la distancia de la rotura esté de manera específica dentro del concepto del Factor de Seguridad. El segundo requisito, sobre las deformaciones o movimientos en servicio deben estar en un margen de seguridad aceptable, requiere conocer el terreno en relación a la rigidez, las cargas y otras alteraciones en el estado inicial del suelo.

La predicción debe ser desarrolladas a partir del comportamiento de los suelos y rocas, estos dos requisitos, orientan a investigar, por una parte, los esfuerzos del suelo y roca, y por otra parte la deformabilidad, que permite evaluar el comportamiento mecánico e hidráulico del terreno.

Con base a la experiencia de la presa Malpasset, da origen la necesidad vital de evaluar y controlar la presión del agua en el fondo de la cimentación de las presas, y la dirección del comportamiento de la presión del agua. Esta experiencia ha enseñado la forma del proceso de cómo colocar las pantallas de impermeabilización (presión hidrostática) en direcciones que no afecten la estabilidad de los macizos rocosos. Asimismo, esta experiencia crea la necesidad de

colocar pantallas de drenaje aguas abajo, y deben estar controlados mediante la instalación de piezómetros, para obtener información de la presión de agua en la cimentación. Finalmente, se requiere de estudios geológicos detallados en el entorno de soporte de la presa.

Los cambios de los contenidos de agua en las rocas, están controlados a su vez por el proceso de filtración generan problemas importantes en el diseño y construcción geotécnico, paralelo a ello la innovación en los programas de cálculo geotécnico de utilidad general generó cambios progresivos en la aplicación de modelos matemáticos. Actualmente, las empresas de consultoría geotécnica utilizan programas de computación.

Los modelos de esfuerzo deformación en rocas y suelos son las determinantes, para una representación avanzada del suelo y roca

Señala a Pérez De Agreda, de la Universidad Politécnica de Madrid, son principalmente tres paradigmas notables de la mecánica de suelos, “ley de resistencia a esfuerzo cortante de Coulomb, tensiones efectivas de Terzaghi, 1936 y el modelo de estado crítico, 1968” valiéndose de este el trayecto histórico para estudiar ocurrencias de catástrofes (comprendiendo por catástrofe algo no previsto) generados por la falta de prevención de riesgos que constituyeron estos tres paradigmas (Montalar, 2010).

## 2.3 Marco tecnológico

En el presente estudio se hará uso de un equipo tecnológico denominado Permeámetro de Flujo Radial.

### 2.3.1 Permeámetro de Flujo Radial

#### 2.3.1.1 Descripción del Equipo

El equipo se utilizó fundamentalmente para realizar las pruebas de permeabilidad radial (convergente y divergente) en roca tipo granito, las cuales también pueden ser usados para

otros tipos materiales con el concreto y concreto asfaltico el equipo está constituido básicamente por dos partes:

**Celda de presión convergente.**

La celda de presión convergente es la aquella que soporta altas presiones (presión hidráulica exterior) en esta celda se colocaran los especímenes de roca la que soportaran las presiones hidrostáticas exteriores (flujo de agua convergente). Este equipo está constituido por dos placas circulares, con elementos de ajuste y controles de volúmenes de agua.

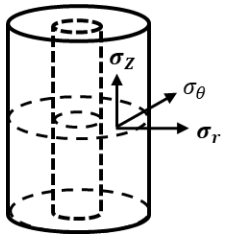
**Celda de presión divergente.**

Es aquella que soporta bajas presiones (presión hidráulica interiores) en esta celda se colocaron los especímenes de roca que son las que soportan las presiones hidrostáticas interiores (flujo de agua divergente). Este equipo está constituido por dos placas circulares, con elementos de ajuste y controles de volúmenes de agua.

Al examinar el campo de tensiones efectivas en la parte central de la muestra en estudio, el comportamiento es cuando se somete a dicho flujo, bajo el supuesto de que las propiedades mecánicas de la roca son homogéneas e isotrópicas. La muestra es un cilindro de revolución, constituido por tres esfuerzos:

***Figura 10***

*Ilustración de los esfuerzos en el flujo divergente y convergente*




*Fuente*. Elaboración en el proceso del estudio

$$\sigma_r = \frac{P}{2(1-\mu)}\left[\frac{R_2^2 log\frac{R_2}{r} + R_1^2 log\frac{r}{R_1}}{(R_2^2 - R_1^2) log\frac{R_2}{R_1}} - \frac{R_1^2 R_2^2}{(R_2^2 - R_1^2) r^2}\right] \quad \textbf{( 24)}$$

$$\sigma_\theta = \epsilon \frac{P}{2(1-\mu)} \left[ \frac{R_2^2 log \frac{R_2}{r} + R_1^2 log \frac{r}{R_1}}{(R_2^2 - R_1^2) log \frac{R_2}{R_1}} + \frac{R_1^2 R_2^2}{(R_2^2 - R_1^2) r^2} + \frac{1-2\mu}{log \frac{R_2}{R_1}} \right] \quad \textbf{( 25)}$$

$$\sigma_{z=\epsilon 0.30P} \quad \textbf{( 26)}$$

Donde:

$\sigma_r$ = esfuerzo radial

$\sigma_\theta$ = esfuerzo tangencial

$\sigma_z$ = esfuerzo longitudinal

$\mu$ = relación Poisson

$\epsilon$ =+1 flujo radial convergente

$\epsilon$ =-1 flujo radial divergente

$R_1$=$r_1$= radio interior

$R_2$=$r_2$=radio exterior

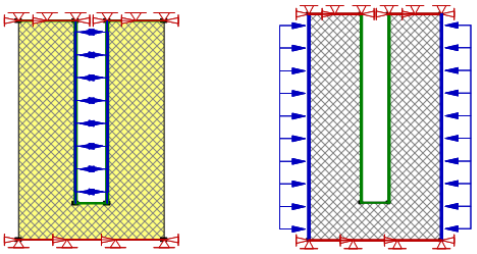
Son los principales esfuerzos en cualquier punto de la muestra.

A partir de los datos del Permeámetro de Flujo Radial convergente y divergente se determinaron las permeabilidades convergentes y divergentes y se utilizó un Programa en Excel, que permitió evaluar la permeabilidad del espécimen de roca.

Con base a los datos obtenidos de la permeabilidad divergente y convergente se procedió a simular en la realidad el comportamiento de las discontinuidades a través de esfuerzos de tensión.

***Figura 11***

*Ilustración de los esfuerzos en el flujo divergente y convergente*




*Fuente*. Elaboración en el proceso del estudio

Las pruebas de ensayo se realizaron con el equipo de Permeámetro de Flujo Radial, en el Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco.

## 2.4 Marco legal

### 2.4.1 Ley N° 28611 - Ley General del Medio Ambiente en Perú

Artículo 7°. - Del carácter de orden público de las normas ambientales 7.1 Las normas ambientales, incluyendo las normas en materia de salud ambiental y de conservación de la diversidad biológica y los demás recursos naturales son de orden público. Es nulo todo pacto en contra de lo establecido en dichas normas legales. 7.2 El diseño, aplicación, interpretación e integración de las normas señaladas en el párrafo anterior, de carácter nacional, regional y local, se realizan siguiendo los principios, lineamientos y normas contenidas en la presente Ley y, en forma subsidiaria, en los principios generales del derecho.

Artículo 24°. - Del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental 24.1 Toda actividad humana que implique construcciones, obras, servicios y otras actividades, así como las políticas, planes y programas públicos susceptibles de causar impactos ambientales de carácter significativo, está sujeta, de acuerdo a ley, al Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental – SEIA, el cual es administrado por la Autoridad Ambiental Nacional. La

ley y su reglamento desarrollan los componentes del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental.

24.2 Los proyectos o actividades que no están comprendidos en el Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental, deben desarrollarse de conformidad con las normas de protección ambiental específicas de la materia.

Artículo 25°. - De los Estudios de Impacto Ambiental Los Estudios de Impacto Ambiental – EIA, son instrumentos de gestión que contienen una descripción de la actividad propuesta y de los efectos directos o indirectos previsibles de dicha actividad en el medio ambiente físico y social, a corto y largo plazo, así como la evaluación técnica de los mismos. Deben indicar las medidas necesarias para evitar o reducir el daño a niveles tolerables e incluirá un breve resumen del estudio para efectos de su publicidad. La ley de la materia señala los demás requisitos que deban contener los EIA.

### 2.4.2 Decreto Legislativo Nº 1055

Artículo 32.- Del Límite Máximo Permisible 32.1 El Límite Máximo Permisible - LMP, es la medida de la concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su determinación corresponde al Ministerio del Ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por el Ministerio del Ambiente y los organismos que conforman el Sistema Nacional de Gestión Ambiental. Los criterios para la determinación de la supervisión y sanción serán establecidos por dicho Ministerio (Decreto Lejislativo Nº 1055, 2017)

## 2.5 Definiciones de términos

- **Abertura.** la distancia perpendicular entre la roca adyacente superficies de la discontinuidad. Este será un valor constante para superficies adyacentes planas y paralelas, un valor variable linealmente para superficies adyacentes no paralelas pero

planas, y completamente variable para superficies adyacentes rugosas (Hundson & Harrison, 2000, p. 117)

- **Discontinuidades.** Es la existencia de discontinuidades en una masa de roca lo que convierte a la mecánica de rocas en un tema único. La palabra discontinuidad denota cualquier separación en el continuo de la roca que tiene efectivamente cero resistencias a la tracción y se usa sin ninguna connotación genética (Hundson & Harrison, 2000, p. 113)
- **Espaciamiento y frecuencia** el espaciado es la distancia entre las intersecciones de discontinuidad adyacentes con la línea de exploración de medición. La frecuencia, es el número por unidad de distancia, es el recíproco del espaciado, es decir, la media de estas distancias de intersección (Hundson & Harrison, 2000, p. 116)
- **Estratificación**. Es cuando un material en una disposición de planos aproximadamente paralelos que se encuentra separados entre ellos
- **Fisuras**. Es una hendidura en una roca ocasionada por su formación de la roca, pueden ir también como resultado de las de las fuerzas tectónicas.
- **Frecuencia de discontinuidad**. Es el número de fracturas por metro, es la recíproca de la separación media (relación entre el número de discontinuidades que intercepta y la longitud de la línea de muestra.
- **Roca**. Es un agregado sólido, formado por uno o varios minerales que se encuentran ocupando grandes extensiones de la corteza terrestre (Hundson & Harrison, 2000, p. 16).
- **Rocas Tipo Granito**. Es una roca ígnea se compone esencialmente de feldespatos, cuarzo y mica. El feldespato generalmente ortosa u ortoclasa. Su textura granítica se extiende, por lo general, entre tamaños de grano de medio a grueso. El color del granito depende, en general del color del feldespato predominante y puede

extenderse desde el blanco al gris oscuro terrestre (Hundson & Harrison, 2000, p. 117)

- **Rugosidad**. Aunque se supone que las discontinuidades son planas a los efectos del análisis de orientación y persistencia, la superficie de la discontinuidad en sí puede ser rugosa. La rugosidad de discontinuidad puede definirse por referencia a gráficos estándar o matemáticamente (Hundson & Harrison, 2000, p. 117).
- **Sensitividad de la roca**. El concepto de sensitividad de una muestra de roca se establece analizando la variación de su permeabilidad al agua en función al estado de esfuerzo aplicado (Marsal & Rezéndiz, 1983, p. 272).

# III. MÉTODO

## 3.1 Tipo de investigación

### 3.1.1 Tipo y nivel

#### 3.1.1.1 Tipo

***A. De acuerdo a la orientación.*** Aplicada, debido a la naturaleza del estudio, tiene una orientación con un enfoque científico, las variables como fenómeno de estudio serán operadas en la realidad.

***B. De acuerdo a la teoría de contraste.*** Experimental, debido a que los datos fueron obtenidos por observación de fenómenos condicionados por el investigador sobre las variables de las discontinuidades y se esperó la respuesta de la variable de sensitividad.

***C. De acuerdo a la direccionalidad.*** Prospectiva, debido a que la información fue generada según el comportamiento de las discontinuidades que determinan la sensitividad durante el proceso experimental.

***D. De acuerdo a la fuente de recolección de datos.*** Prolectiva, porque los datos fueron generados de acuerdo a los criterios decididos por el investigador durante la manipulación de las variables de las discontinuidades y la sensitividad, que fueron realizadas después de la planeación del proyecto.

***E. De acuerdo a la evolución del fenómeno estudiado.*** Transversal, debido a que el comportamiento de las variables de las discontinuidades se midió en un momento durante la experimentación.

#### 3.1.1.2 Nivel de Investigación

**Explicativo** (Nivel IV), debido a que se analizó la asociación causal de variables de las discontinuidades en la sensitividad en rocas tipo granito como efecto.

#### 3.1.1.3 Código y Nomenclatura de la UNESCO

Campo : Ciencias y las tecnologías

Disciplina : 33 Ciencias tecnológicas

Sub disciplina : 3305 Tecnología de la construcción

Línea : 07 Presas

### 3.1.2 Diseño y Método de la Investigación.

#### 3.1.2.1 Diseño.

**Experimental** (Pruebas de Ensayos en laboratorio), debido a que el comportamiento de las variables de las discontinuidades fue manipulado por el investigador, con cuyos resultados se determinará el flujo divergente y flujo convergente, con estos flujos se determinó la permeabilidad (Kdiv y Kcon) los que fueron asociados a la sensitividad de la roca tipo granito.

#### 3.1.2.2 Método.

**Experimental,** debido a que se planifico las mediciones de las discontinuidades antes del proceso de experimentación, y en el mismo proceso de experimentación se levantó la información mediante la recolección de datos experimentales, para ser procesados, y explicar el proceso de las discontinuidades y su asociación con la sensitividad de las rocas tipo granito.

**Explicativo,** debido a que se analizó las variables de las discontinuidades que se asociaron a la sensitividad, de las rocas tipo granito.

### 3.1.3 Estrategia de prueba de hipótesis

Para la prueba de hipótesis se contrasto las variables independientes de las discontinuidades con las variables dependientes de la sensitividad, variables que fueron sometidos a la pruebas estadísticas como la T de Student, debido a que el tamaño de la muestra

es menor a 30, prueba estadística que permitió contrastar la hipótesis donde las variables de las discontinuidades se asociaron a la sensitividad, en este caso la hipótesis fue aceptada con un nivel de confianza del 95%, y el 5% del nivel de significancia o de error.

En consecuencia, se analizó cómo las discontinuidades se asocian a la sensitividad, a través de la información y experimentación obtenidos mediante ensayos de laboratorio, se contrasto la asociación de las discontnuidades y la sensitividad bajo las condiciones de la permeabilidad del flujo divergente y flujo convergente.

## 3.2 Población y muestra

### 3.2.1 Población

La población total es de 10 (N) especímenes de rocas tipo granito ubicadas en el distrito de Machupicchu - Cusco, para la ubicación de las zonas donde se extrajeron los especímenes de las rocas tipo granito del Km. 107 Km 112 y Km 122 de la vía Cusco - Machupicchu, se realizaron a través de los criterios de inclusión y exclusión.

**Criterios de Inclusión:**

- Las rocas con características de inalteradas
- El tipo de estratificación, con echados
- Las rocas con presencia de fisuras
- La muestra debe estar ubicada en la jurisdicción del distrito de Machupicchu, entre el Km. 107 al Km 122.

**Criterios de Exclusión:**

- Rocas con características de alteradas
- El tipo de estratificación con no echado
- Las rocas que no cuenten con fisuras

- Rocas tipo granito que no se encuentre dentro de la jurisdicción del distrito de Machupicchu.

El procedimiento para la selección de la zona para la toma de muestras fue de dos tipos:

1) Visita de la zona de estudio

2) Evaluación a través de los criterios de inclusión y exclusión.

### 3.2.2 Muestra.

Para determinar el tamaño de la muestra (n) en trabajo de campo de los especímenes de roca tipo granito, se hizo uso de la fórmula siguiente:

$$n = \frac{Z^2 pqN}{e^2(N-1) + Z^2 pq} \qquad \textbf{(27)}$$

n=Tamaño de la muestra

N= tamaño de la población (10)

P= probabilidad de que la hipótesis sea verdadera (0.95)

q= = (1-p) probabilidad de no ocurrencia de la hipótesis (0.5)

z= Nivel de confianza 0.95 = 1.96

e= Margen de error (0.05)

Del total de población de especímenes de rocas tipo granito, el tamaño de la muestra fue en número de nueve (n=09) muestras de rocas tipo granito

## 3.3 Operacionalización de variables

### 3.3.1 Definición y Operacionalización de Variable

**Tabla 1**

***Definición y Operacionalización de Variables***

| Variables | Definición conceptual | Definición operacional | Indicador |
|---|---|---|---|
| Dependiente: Sensitividad | Sensitividad de un especímen de roca se determina cuando se analiza la variabilidad de la permeabilidad en situaciones de cerrarse o abrirse las discontinuidades bajo la aplicación del efecto de una modificación del estado de esfuerzos (Bernaix, 1969). | Los valores de sensitividad de un especímen de roca es determinada por los flujos divergentes y convergentes | Permeabilidad:<br>Tipo de flujo<br><br>-Divergente<br>Kdiv = Permeabilidad de la roca cuando se aplica<br>Flujo divergente<br>(P=1Kg/cm2)<br><br>-Convergente<br>Kcon = Permeabilidad de la Roca, cuando se aplica<br>Flujo convergente<br>(P=50Kg/cm2)<br><br>$S=\frac{K_{div.}}{K_{con.}}$ |
| V.Independiente: Discontinuidades | Es la existencia de discontinuidades en una masa de roca lo que convierte a la mecánica de rocas en un tema único. La discontinuidad denota cualquier separación en el continuo de la roca que tiene cero resistencias a la tracción y se usa sin ninguna connotación genética (Hudson y Harrison, 2000) | Las discontinuidades serán obtenidas mediante el número de fisuras y longitud.<br><br>La abertura a través de la longitud de las aberturas.<br><br>El espaciamiento y frecuencia a través de la distancia, intersección, número de discontinuidades. | • **Fisuras:**<br>- Número de fisuras<br>- Longitud(cm)<br><br>• **Abertura**(cm):<br><br>Longitud(cm)<br><br>• **Espaciamiento y frecuencia:**<br>Número.<br>Longitud de intersección(cm) |

## 3.4 Instrumentos

### 3.4.1 Instrumentos y Fuentes de Recolección de Datos

Tomando en cuenta los objetivos y propósitos de la investigación, y la metodología determinada, así como el método descriptivo, analítico o causal, con un diseño de investigación experimental (Hernández Sampiere & Mendoza Torres, 2019, pp. 224-294).

Los instrumentos que se utilizaron son los siguientes:

### 3.4.2 Instrumento Geológico de la zona (IGEO).

El instrumento fue aplicado en campo, constituido por un formato donde se registró las características geológicas locales del Km. 107 al Km 112 de la vía férrea Cusco - Machupicchu, tomando en consideración los criterios siguientes: ubicación, dirección del echado y echado de las discontinuidades varían entre 90/45, 70/45 y 50/60.

### 3.4.3 Instrumento de propiedades índice (IPI)

Este instrumento fue aplicado en laboratorio, con el propósito de determinar las propiedades índice y mecánica de la roca tipo granito, que generó datos de contenidos de agua, del peso específico relativo de las partículas sólidas, peso unitario, porosidad, relación de vacíos y alteración de la roca.

### 3.4.4 Instrumento de Discontinuidades (IDIS).

Constituido por un formato de recolección de datos en relación a las discontinuidades constituido por las variables de fisuras, abertura, espaciamiento y frecuencia de la roca tipo granito.

### 3.4.5 Instrumento de Sensitividad (ISEN).

El presente instrumento está constituido por un formato de recolección de datos en relación a la sensitividad, donde se obtuvo información en relación al volumen, tiempo, y presión para determinar el flujo divergente y flujo convergente de las discontinuidades de las rocas tipo granito.

## 3.5 Procedimiento

El levantamiento de la información se realizó en tres etapas:

1) La recolección de información geológica de la zona de estudio.

2) Se tomaron las muestras representativas, para evaluar las propiedades índices y mecánicas de las rocas tipo granito.

3) Los ensayos se realizaron en el laboratorio de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco. Las muestras de roca fueron evaluadas en relación las fisuras, espaciamiento y frecuencias, y el espesor de las discontinuidades. Estas muestras de rocas fueron sometidos a experimentación, para hallar los esfuerzos y la permeabilidad divergente y convergente de la roca tipo granito.

### 3.5.1 Validación y confiablidad del instrumento

Los instrumentos fueron sometidos a dos tipos de validez y se detallan a continuación:

**Validez Interna**. Se realizó a través de la prueba piloto en laboratorio, previa a la ejecución del experimento que permitió realizar ajustes necesarios y oportunos en relación a la estructura y contenido de los instrumentos de recolección de la información para garantizar la calidad del experimento, los datos fueron controlados y manipulados rigurosamente para que los resultados sean altamente confiables. Se adjunta la validación del instrumento por juicio de expertos (anexo)

**Validez externa:** se hizo uso de la validez de contenido y validez de estructura de los resultados, a través de la revisión de la literatura en relación al tema.

**Confiablidad.** Para medir el grado de confiabilidad del instrumento, se realizó a través del Alfa de Cronbach:

**Tabla 2**

***Resumen de procesamiento de casos***

| | | N | % |
|---|---|---|---|
| Casos | Válido | 9 | 100,0 |
| | Excluido[a] | 0 | ,0 |
| | Total | 9 | 100,0 |

a. La eliminación por lista se basa en todas las variables del procedimiento.

**Tabla 3**

***Estadísticas de fiabilidad***

| Alfa de Cronbach | N de elementos |
|---|---|
| ,827 | 9 |

Resultado altamente confiable

### 3.5.2 Técnica de procesamiento de datos

Los datos fueron procesados a través del procedimiento siguiente:

**Clasificación.** Los datos fueron clasificados según el tipo de instrumento, tomando en consideración las escalas de medición de las variables independientes de las discontinuidades, por tipo de discontinuidades. Finalmente, las variables de la sensitividad, a través de las subvariables de flujos divergentes y convergentes.

**Registro.** Se registraron todos los datos de acuerdo a la clasificación de las variables.

**Tabulación.** Los datos se tabularon electrónicamente para obtener información preliminar de todas las variables.

**Codificación.** Los símbolos de los datos fueron codificados de manera numérica todas las variables, las dimensiones y finalmente los indicadores de cada variable.

Los datos fueron procesados mediante hojas de cálculo en Excel, para calcular el caudal, la permeabilidad y sensitividad. Para determinar las discontinuidades asociadas a la sensitividad se procesaron mediante el Paquete Estadístico SPSS versión 24, los que fueron sometidos a pruebas matemáticas y estadísticas, previa codificación de todas las variables.

### 3.6 Análisis de datos.

A todas las variables se hallaron las frecuencias simples y acumuladas, media, mediana, desviación estándar, y desviación media.

Para evaluar cómo las discontinuidades tales como, fisuras, espaciamiento y frecuencia, y espesor de las discontinuidades, para hallar los esfuerzos y la permeabilidad divergente y convergente de la roca tipo granito, los que permitieron obtener la sensitividad, datos que fueron obtenidos a través de los ensayos de laboratorio, así mismo se analizaron cuáles de las discontinuidades son las que más se asocia a los valores de la sensitividad en condiciones de flujo divergente y convergente de las rocas tipo granito.

El análisis estadístico, se realizó a través del uso de las herramientas matemáticas y estadísticas paramétricas: las paramétricas hallarán las frecuencias simples y acumuladas, la media, la mediana, desviación estándar de todas las variables. Asimismo, se hallaron los esfuerzos radiales, tangenciales y longitudinales.

La sensitividad se calculó a través de las formula del S con los valores de K divergente y K convergente.

Se hizo uso de la prueba estadística de la T de Student, para obtener resultados de la relación causal de las discontinuidades que se asocia a la sensitividad de la roca tipo granito, con un nivel de confianza del 95%, y el 5% del nivel de significancia que permitió aceptar o rechazar la hipótesis general planteada.

# IV. RESULTADOS

En la presente Tabla 4, se muestra la variación del caudal sometidos a presión con flujo convergente y divergente en una fisura, cuyos hallazgos más importantes se ubican que el caudal para una presión de 50 bares alcanza un valor promedio de 0,888 $cm^3/s$, y para una presión de 1 bar, alcanza el valor de 0,064 $cm^3/s$.

**Tabla 4**

***Resultados de la variación del caudal sometidos a presión con flujo convergente y Divergente: Una fisura***

| Condición | Flujo convergente | | | | | Flujo divergente | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Presión (bar) | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 1 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 |
| | 0,386 | 0,581 | 0,727 | 0,775 | 0,890 | 0,065 | 0,194 | 0,659 | 1,506 | 2,841 | 4,545 |
| | 0,387 | 0,585 | 0,728 | 0,779 | 0,887 | 0,063 | 0,193 | 0,654 | 1,511 | 2,778 | 4,505 |
| | 0,384 | 0,580 | 0,725 | 0,773 | 0,886 | 0,064 | 0,190 | 0,656 | 1,497 | 2,793 | 4,587 |
| $Q(cm^3/s)$ | 0,389 | 0,583 | 0,724 | 0,778 | 0,888 | 0,062 | 0,195 | 0,657 | 1,502 | 2,825 | 4,545 |
| | 0,388 | 0,584 | 0,725 | 0,779 | 0,892 | 0,063 | 0,192 | 0,658 | 1,506 | 2,793 | 4,386 |
| | 0,385 | 0,582 | 0,729 | 0,784 | 0,889 | 0,065 | 0,194 | 0,659 | 1,515 | 2,809 | 4,464 |
| | 0,383 | 0,579 | 0,726 | 0,777 | 0,885 | 0,066 | 0,191 | 0,660 | 1,506 | 2,857 | 4,425 |
| $Q(cm^3/s)$ Prom. | 0,386 | 0,582 | 0,726 | 0,778 | 0,888 | 0,064 | 0,193 | 0,658 | 1,506 | 2,814 | 4,494 |
| Desv.stand | 0,002 | 0,002 | 0,002 | 0,003 | 0,002 | 0,001 | 0,002 | 0,002 | 0,006 | 0,029 | 0,072 |

Fuente: Elaboración en el proceso del estudio

La siguiente Tabla 5, trata de la prueba de normalidad de la distribución de datos según la prueba de Shapiro-Will, respecto a la variación del caudal sometidos a presión con flujo convergente en Una fisura, encontrándose que los datos tienen una distribución normal con un nivel de significancia >0,05.

**Tabla 5**

***Prueba de normalidad para flujo convergente para Una fisura***

**Pruebas de normalidad**

| Presión flujo convergente caudal Q (Una fisura) | Kolmogorov-Smirnov[a] | | | Shapiro-Wilk | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Estadístico | gl | Sig. | Estadístico | gl | Sig. |
| P=10 bars | 0,108 | 7 | ,200* | 0,978 | 7 | 0,949 |
| P=20 bars | 0,189 | 7 | ,200* | 0,952 | 7 | 0,752 |
| P=30 bars | 0,264 | 7 | 0,149 | 0,887 | 7 | 0,262 |
| P=40 bars | 0,214 | 7 | ,200* | 0,943 | 7 | 0,663 |
| P=50 bars | 0,191 | 7 | ,200* | 0,955 | 7 | 0,772 |

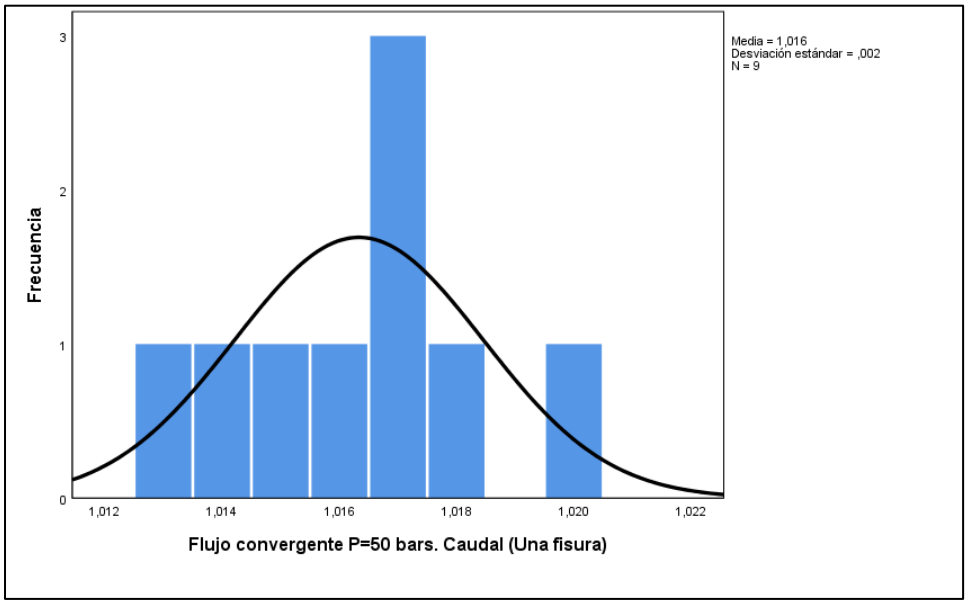
*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración en el proceso del estudio

**Figura 12**

*Curva de normalidad flujo convergente P=50 bars caudal para Una fisura*




*Fuente*. Elaboración en el proceso del estudio.

La Tabla 6, trata de la prueba de normalidad de la distribución de datos según la prueba de Shapiro-Will, respecto a la variación del caudal sometidos a presión con flujo divergente en Una fisura, encontrándose que los datos tienen una distribución normal con un nivel de significancia >0,05.

**Tabla 6**

***Prueba de normalidad para flujo divergente para Una fisura***

**Pruebas de normalidad**

| Presión flujo divergente caudal Q (Una fisura) | Kolmogorov-Smirnov[a] | | | Shapiro-Wilk | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Estadístico | gl | Sig. | Estadístico | gl | Sig. |
| P=1 bars | 0,172 | 7 | ,200* | 0,967 | 7 | 0,873 |
| P=2 bars | 0,191 | 7 | ,200* | 0,955 | 7 | 0,772 |
| P=4 bars | 0,183 | 7 | ,200* | 0,945 | 7 | 0,686 |
| P=6 bars | 0,224 | 7 | ,200* | 0,958 | 7 | 0,805 |
| P=8 bars | 0,194 | 7 | ,200* | 0,951 | 7 | 0,742 |
| P=10 bars | 0,189 | 7 | ,200* | 0,957 | 7 | 0,79 |

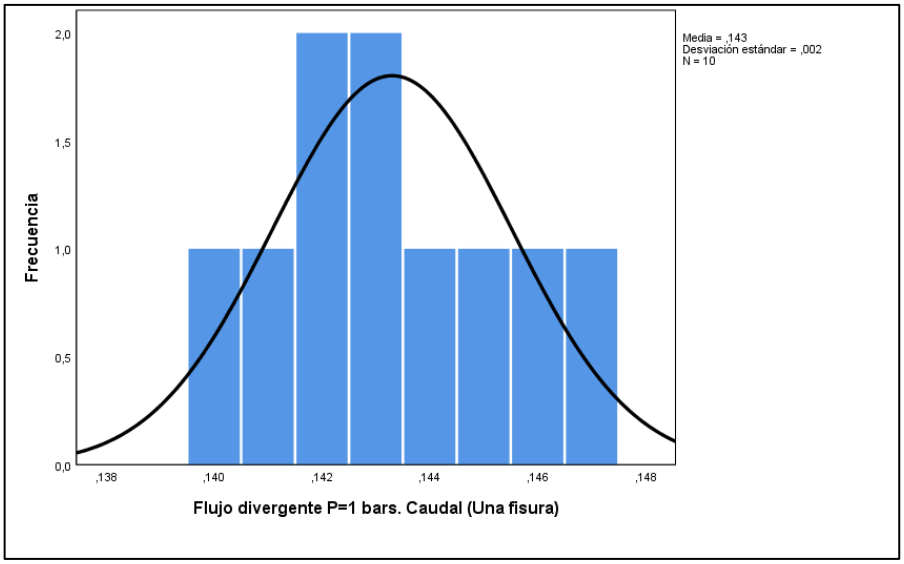
*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración en el proceso del estudio

***Figura 13***

*Curva de normalidad flujo divergente P=1 bar caudal, para Una fisura*




*Fuente*. Elaboración en el proceso del estudio.

La Tabla 7, se muestra la variación del caudal sometidos a presión con flujo convergente y divergente con Una abertura 0.1 mm. los hallazgos más importantes se ubican que el caudal para una presión de 50 bares alcanza un valor promedio de 1,016 $cm^3/s$, y para una presión de 1 bar, alcanza el valor de 0,143 $cm^3/s$.

**Tabla 7**

***Resultados de la variación del caudal sometidos a presión con flujo convergente y divergente abertura 0.1mm***

| Condición | | | Flujo convergente | | | Flujo divergente | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Presión (bar) | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 1 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 |
| | 0,31 | 0,495 | 0,729 | 0,89 | 1,017 | 0,141 | 0,324 | 0,776 | 1,511 | 2,778 | 5,882 |
| | 0,312 | 0,494 | 0,73 | 0,892 | 1,015 | 0,143 | 0,325 | 0,775 | 1,502 | 2,747 | 5,814 |
| | 0,315 | 0,493 | 0,729 | 0,888 | 1,017 | 0,142 | 0,322 | 0,778 | 1,506 | 2,857 | 5,882 |
| | 0,313 | 0,494 | 0,728 | 0,89 | 1,014 | 0,145 | 0,324 | 0,773 | 1,497 | 2,809 | 5,952 |
| $Q(cm^3/s)$ | 0,311 | 0,496 | 0,727 | 0,89 | 1,013 | 0,144 | 0,323 | 0,778 | 1,502 | 2,762 | 6,098 |
| | 0,316 | 0,496 | 0,729 | 0,887 | 1,018 | 0,142 | 0,327 | 0,78 | 1,493 | 2,841 | 5,747 |
| | 0,314 | 0,497 | 0,727 | 0,893 | 1,016 | 0,14 | 0,325 | 0,779 | 1,515 | 2,793 | 5,952 |
| | 0,317 | | 0,728 | 0,891 | 1,017 | 0,143 | 0,323 | 0,775 | 1,488 | 2,874 | 6,173 |
| | 0,312 | | 0,729 | 0,887 | 1,02 | 0,146 | 0,324 | 0,773 | 1,479 | 2,825 | 5,747 |
| | 0,314 | | 0,726 | 0,889 | | 0,147 | 0,326 | 0,774 | 1,511 | 2,732 | 5,682 |
| $Q(cm^3/s)$ $\bar{X}$. | 0,313 | 0,495 | 0,728 | 0,89 | 1,016 | 0,143 | 0,324 | 0,776 | 1,5 | 2,802 | 5,893 |
| DESV.STAND | 0,002 | 0,001 | 0,001 | 0,002 | 0,002 | 0,002 | 0,001 | 0,003 | 0,011 | 0,048 | 0,157 |

*Fuente.* Elaboración en el proceso del estudio

La Tabla 8, trata de la prueba de normalidad de la distribución de datos según la prueba de Shapiro-Will, respecto a la variación del caudal sometidos a presión con flujo convergente con Una abertura de 0.1 mm, encontrándose que los datos tienen una distribución normal con un nivel de significancia >0,05.

**Tabla 8**

*Prueba de normalidad para flujo convergente para Una abertura de 0.1 mm*

**Pruebas de normalidad**

| Presión flujo convergente caudal Q (Abertura 0.1mm) | Kolmogorov-Smirnov[a] | | | Shapiro-Wilk | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Estadístico | gl | Sig. | Estadístico | gl | Sig. |
| P=10 bars | 0,108 | 7 | ,200* | 0,978 | 7 | 0,949 |
| P=20 bars | 0,189 | 7 | ,200* | 0,952 | 7 | 0,752 |
| P=30 bars | 0,264 | 7 | 0,149 | 0,887 | 7 | 0,262 |
| P=40 bars | 0,214 | 7 | ,200* | 0,943 | 7 | 0,663 |
| P=50 bars | 0,191 | 7 | ,200* | 0,955 | 7 | 0,772 |

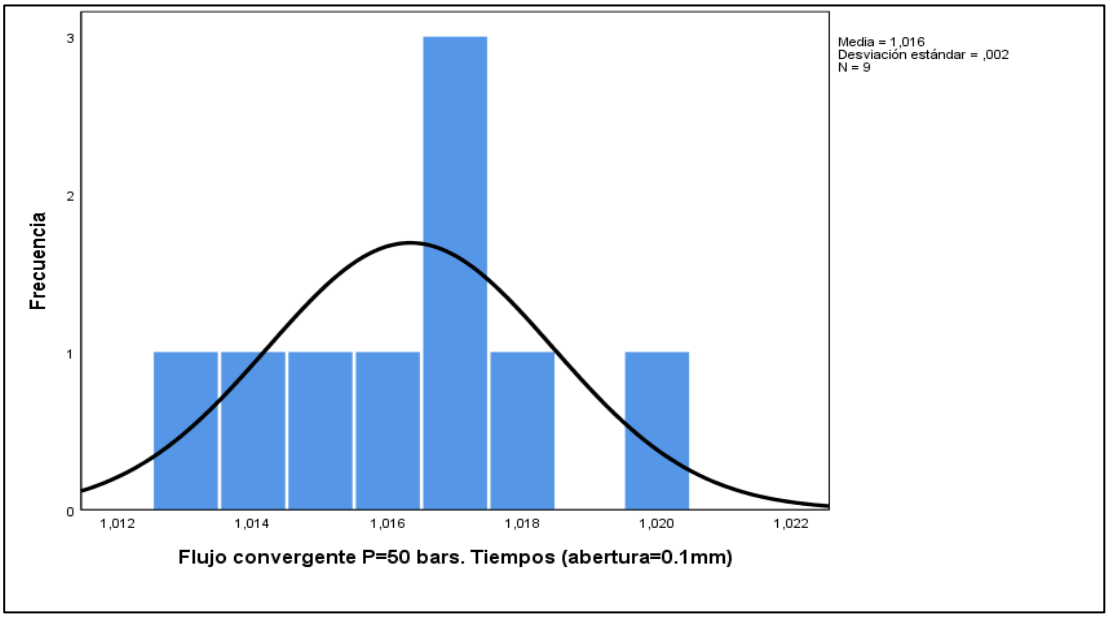
*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

*Fuente*. Elaboración en el proceso del estudio

***Figura 14***

*Curva de normalidad flujo convergente P=50 bars caudal para una abertura 0.1.mm*




*Fuente.* Elaboración en el proceso del estudio

La Tabla 9, trata de la prueba de normalidad de la distribución de datos según la prueba de Shapiro-Will, respecto a la variación del caudal sometidos a presión con flujo divergente con Una abertura de 0.1 mm, encontrándose que los datos tienen una distribución normal con un nivel de significancia >0,05.

**Tabla 9**

*Prueba de normalidad para flujo divergente para Una abertura de 0.1 mm*

**Pruebas de normalidad**

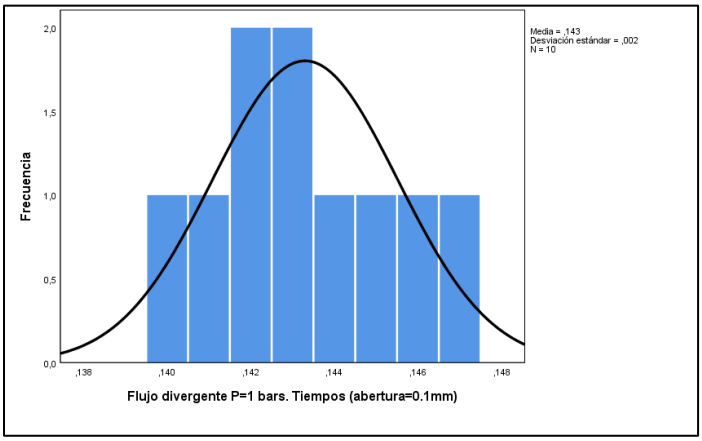
| Presión flujo convergente caudal Q (Abertura 0.1mm) | Kolmogorov-Smirnov[a] | | | Shapiro-Wilk | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Estadístico | gl | Sig. | Estadístico | gl | Sig. |
| P=1 bars | 0,154 | 10 | ,200* | 0,973 | 10 | 0,915 |
| P=2 bars | 0,18 | 10 | ,200* | 0,966 | 10 | 0,854 |
| P=4 bars | 0,175 | 10 | ,200* | 0,925 | 10 | 0,403 |
| P=6 bars | 0,156 | 10 | ,200* | 0,956 | 10 | 0,734 |
| P=8 bars | 0,098 | 10 | ,200* | 0,97 | 10 | 0,894 |
| P=10 bars | 0,153 | 10 | ,200* | 0,949 | 10 | 0,66 |

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.
a. Corrección de significación de Lilliefors

*Fuente.* Elaboración en el proceso del estudio

***Figura 15***

*Curva de normalidad flujo divergente P=1 bars caudal para una abertura 0.1mm*




*Fuente***.** Elaboración en el proceso del estudio

En la Tabla 10, se muestra la variación del caudal sometidos a presión con flujo convergente y divergente con Un espaciamiento, entre los hallazgos más importantes se ubican que el caudal para una presión de 50 bares alcanza un valor promedio de 1,720 $cm^3/s$, y para una presión de 1 bar, alcanza el valor de 0,483 $cm^3/s$.

**Tabla 10**

***Resultados de la variación del caudal sometidos a presión con flujo convergente y divergente en Un espaciamiento***

| Condición | Flujo convergente | | | | | Flujo divergente | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Presión (bar) | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 1 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 |
| | 0,967 | 1,157 | 1,311 | 1,379 | 1,718 | 0,482 | 1,008 | 2,304 | 4,717 | 6,849 | 9,091 |
| | 0,97 | 1,161 | 1,307 | 1,377 | 1,721 | 0,483 | 1,012 | 2,326 | 4,63 | 6,944 | 9,259 |
| | 0,966 | 1,156 | 1,314 | 1,383 | 1,706 | 0,482 | 1,01 | 2,358 | 4,587 | 6,757 | 10 |
| | 0,97 | 1,16 | 1,312 | 1,379 | 1,724 | 0,487 | 1,008 | 2,315 | 4,673 | 6,944 | 9,434 |
| Q($cm^3$/seg) | 0,969 | 1,153 | 1,309 | 1,381 | 1,718 | 0,486 | 1,004 | 2,304 | 4,545 | 6,849 | 9,804 |
| | 0,966 | 1,157 | 1,311 | 1,374 | 1,715 | 0,481 | 1,01 | 2,326 | 4,762 | 6,849 | 9,259 |
| | 0,965 | 1,152 | 1,316 | 1,381 | 1,706 | 0,484 | 1,014 | 2,336 | 4,673 | 6,579 | 9,615 |
| | 0,963 | 1,155 | 1,311 | 1,377 | 1,709 | 0,485 | 1,012 | 2,304 | 4,63 | 6,667 | 9,434 |
| | 0,964 | 1,159 | 1,307 | 1,379 | 1,712 | 0,484 | 1,006 | 2,294 | 4,808 | 7,042 | 9,091 |
| | 0,968 | 1,156 | 1,305 | 1,376 | | 0,485 | 1,018 | 2,326 | 4,762 | 6,944 | 8,772 |
| Q($cm^3$/seg) $\bar{X}$ | 0,967 | 1,157 | 1,31 | 1,379 | 1,714 | 0,483 | 1,1 | 2,472 | 4,799 | 6,948 | 9,433 |
| Desv. Stand | 0,0024 | 0,0028 | 0,0033 | 0,0026 | 0,0065 | 0,0019 | 0,004 | 0,019 | 0,0837 | 0,1407 | 0,3637 |

Fuente: Elaboración en el proceso del estudio

En la Tabla 11, se muestra la prueba de normalidad de la distribución de datos según la prueba de Shapiro-Will, respecto a la variación del caudal sometidos a presión con flujo convergente con Un espaciamiento, encontrándose que los datos tienen una distribución normal con un nivel de significancia >0,05.

**Tabla 11**

***Prueba de normalidad para flujo convergente para Un espaciamiento***

**Pruebas de normalidad**

| | Kolmogorov-Smirnov[a] | | | Shapiro-Wilk | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Estadístico | gl | Sig. | Estadístico | gl | Sig. |
| P=10 bars | 0,159 | 9 | ,200* | 0,93 | 9 | 0,481 |
| P=20 bars | 0,123 | 9 | ,200* | 0,966 | 9 | 0,86 |
| P=30 bars | 0,182 | 9 | ,200* | 0,94 | 9 | 0,58 |
| P=40 bars | 0,183 | 9 | ,200* | 0,959 | 9 | 0,792 |
| P=50 bars | 0,158 | 9 | ,200* | 0,939 | 9 | 0,57 |

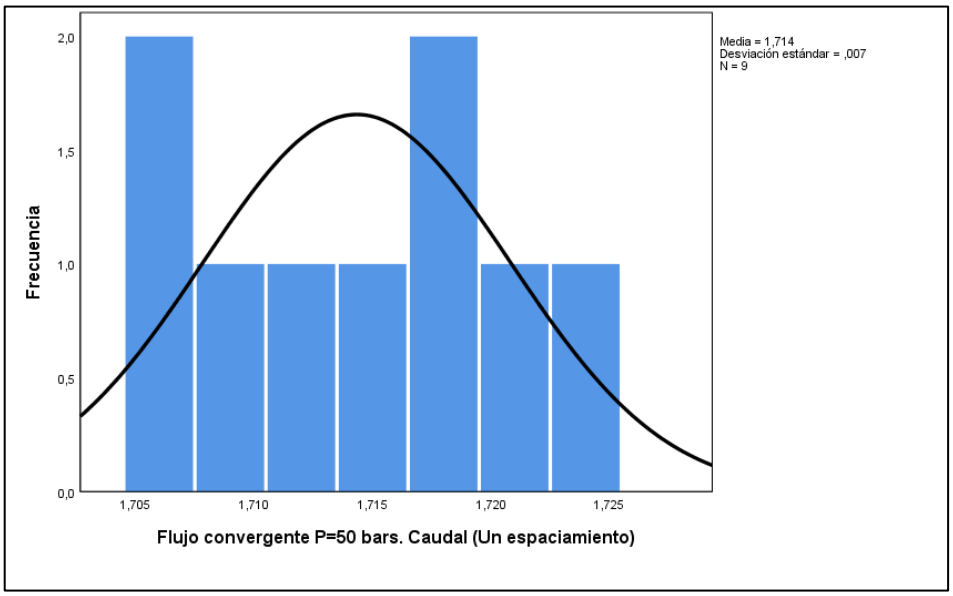
*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración en el proceso del estudio

***Figura 16***

*Curva de normalidad flujo convergente P=50 bars caudal para un espaciamiento*




*Fuente*. Elaboración en el proceso del estudio

En la Tabla 12, se muestra la prueba de normalidad de la distribución de datos según la prueba de Shapiro-Will, respecto a la variación del caudal sometidos a presión con flujo divergente con Un espaciamiento, encontrándose que los datos tienen una distribución normal con un nivel de significancia >0,05.

**Tabla 12**

***Prueba de normalidad para flujo divergente para Un espaciamiento***

**Pruebas de normalidad**

| | Kolmogorov-Smirnov[a] | | | Shapiro-Wilk | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Estadístico | gl | Sig. | Estadístico | gl | Sig. |
| P=1 bars | 0,14 | 10 | ,200* | 0,969 | 10 | 0,883 |
| P=2 bars | 0,128 | 10 | ,200* | 0,978 | 10 | 0,951 |
| P=4 bars | 0,189 | 10 | ,200* | 0,928 | 10 | 0,428 |
| P=6 bars | 0,14 | 10 | ,200* | 0,969 | 10 | 0,885 |
| P=8 bars | 0,219 | 10 | 0,192 | 0,936 | 10 | 0,504 |
| P=10 bars | 0,137 | 10 | ,200* | 0,979 | 10 | 0,96 |

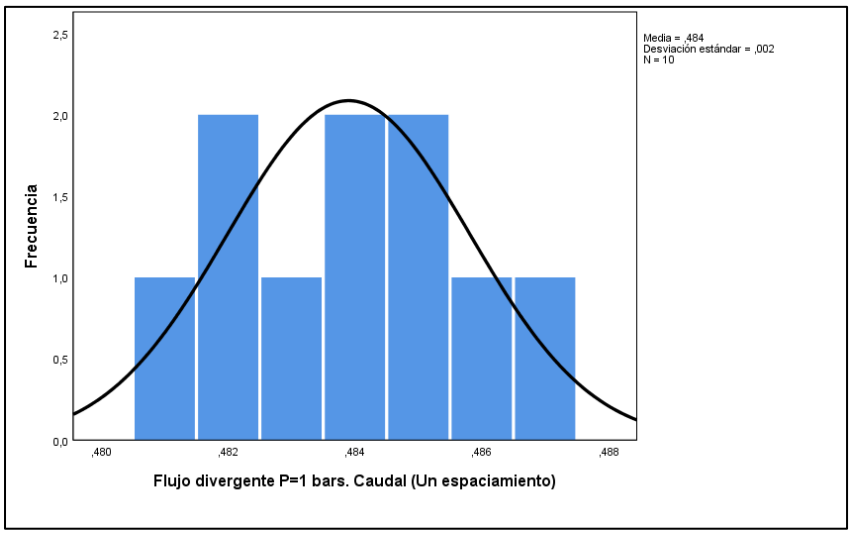
*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración en el proceso del estudio

***Figura 17***

*Curva de normalidad flujo divergente P=1 bars caudal para un espaciamiento*




*Fuente*. Elaboración en el proceso del estudio

**Tabla 13**

***Discontinuidad de Una fisura en la variación de la presión, caudal, permeabilidad y la sensitividad***

| Caracteisticas de la muestra | L(cm) | 10 | $r_2$(cm) | 2,75 | $r_1$(cm) | 0,6 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Condición | Flujo convergente | | | | | Flujo divergente | | | | | |
| P(kg/cm$^2$) | 10,20 | 20,39 | 30,59 | 40,79 | 50,98 | 1,02 | 2,04 | 4,08 | 6,12 | 8,16 | 10,20 |
| Q(cm$^3$/s) | 0,386 | 0,582 | 0,726 | 0,778 | 0,888 | 0,064 | 0,193 | 0,658 | 1,506 | 2,814 | 4,494 |
| K (cm/s) | 3,98E-04 | 3,00E-04 | 2,50E-04 | 2,01E-04 | 1,83E-04 | 6,62E-04 | 9,94E-04 | 1,70E-03 | 2,59E-03 | 3,63E-03 | 4,64E-03 |
| Sensitividad | | | | | 3,6 | | | | | | |

*Fuente.* Elaboración en el proceso del estudio

**Tabla 14**

***Discontinuidad de Dos fisuras en la variación de la presión, caudal, permeabilidad y la sensitividad.***

| Caracteisticas de la muestra | L(cm) | 10 | $r_2$(cm) | 2,75 | $r_1$(cm) | 0,6 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Condición | Flujo convergente | | | | | Flujo divergente | | | | | |
| P(kg/cm2) | 10,20 | 20,39 | 30,59 | 40,79 | 50,98 | 1,02 | 2,04 | 4,08 | 6,12 | 8,16 | 10,20 |
| Q(cm3/s) | 0,364 | 0,472 | 0,669 | 0,854 | 0,931 | 0,076 | 0,175 | 0,503 | 1,155 | 2,323 | 4,422 |
| K (cm/s) | 3,75E-04 | 2,43E-04 | 2,30E-04 | 2,20E-04 | 1,92E-04 | 7,82E-04 | 9,02E-04 | 1,30E-03 | 1,99E-03 | 3,00E-03 | 4,56E-03 |
| Sensitividad | | | | | 4,1 | | | | | | |

*Fuente.* Elaboración en el proceso del estudio

**Tabla 15**

***Discontinuidad de tres fisuras en la variación de la presión, caudal, permeabilidad y la sensitividad***

| Caracteisticas de la muestra | L(cm) | 10 | $r_2$(cm) | 2,75 | $r_1$(cm) | 0,6 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Condición | Flujo convergente | | | | | Flujo divergente | | | | | |
| P(kg/cm2) | 10,20 | 20,39 | 30,59 | 40,79 | 50,98 | 1,02 | 2,04 | 4,08 | 6,12 | 8,16 | 10,20 |
| Q(cm3/s) | 0,340 | 0,464 | 0,613 | 0,775 | 0,885 | 0,084 | 0,213 | 0,659 | 1,497 | 2,843 | 4,388 |
| K (cm/s) | 3,51E-04 | 2,39E-04 | 2,11E-04 | 2,00E-04 | 1,83E-04 | 8,66E-04 | 1,10E-03 | 1,70E-03 | 2,57E-03 | 3,67E-03 | 4,53E-03 |
| Sensitividad | | | | | 4,7 | | | | | | |

*Fuente.* Elaboración en el proceso del estudio

**Tabla 16**

***Discontinuidades fisuras permeabilidad divergente, convergente y la sensitividad***

| Discontinuidades fisuras | Permeabilidad | | Sensitividad |
|---|---|---|---|
| | Kdiv cm/s | Kcon cm/s | S |
| Una fisura | 6,62E-04 | 1,83E-04 | 3,6 |
| Dos fisuras | 7,80E-04 | 1,91E-04 | 4,1 |
| Tres a más | 8,72E-04 | 1,83E-04 | 4,7 |
| $\bar{x}$ | 7,73E-04 | 1,86E-04 | 4,1 |

*Fuente*. Elaboración en el proceso del estudio

En las Tablas 13, 14, 15, y 16, se demuestra la permeabilidad divergente y la permeabilidad convergente para las discontinuidades de las fisuras de las rocas tipo granito, evidenciándose que la discontinuidad de una fisura, según la permeabilidad divergente tiene 6,62E-04 cm/s y la permeabilidad convergente tiene 1,83E-04 cm/s. obteniéndose una sensitividad de 3,6; con dos fisuras la permeabilidad divergente tiene 7,80E-04 cm/s y la permeabilidad convergente tiene 1,91E-04 cm/s; obteniéndose una sensitividad de 4,1; y para tres o más fisuras según la permeabilidad divergente tiene 8,72E-04 cm/s y la permeabilidad convergente tiene 1,83E-04 cm/s. obteniéndose una sensitividad de 4,7. En promedio las fisuras según la permeabilidad divergente tienen 7,73E-04 cm/s. y la permeabilidad convergente tiene 1,86E-04 cm/s obteniéndose en promedio una sensitividad de la roca tipo granito de 4,1.

**Tabla 17**

***Medidas paramétricas de asociación de las fisuras de las discontinuidades y la sensitividad¿***

| Permeabilidad Sensitividad | N | Media | Desv. Desviación | Desv. Error promedio |
|---|---|---|---|---|
| Kdiv. | 3 | 7,73E-04 | 1,03E-04 | 5,93E-05 |
| Kcon. | 3 | 1,86E-04 | 4,16E-06 | 2,40E-06 |
| Sensitividad (S) | 3 | 4,143 | 0,538 | 0,311 |

*Fuente.* Elaboración en el proceso del estudio

En la Tabla 17, trata sobre medidas de tendencia central de las fisuras de las discontinuidades asociadas a la sensitividad, encontrándose que en el flujo divergente tiene una media de 7,73E-04, una Desviación estándar de 1,03E-04; en el flujo convergente tiene una media de 1,86E-04, una Desviación estándar de 4,16E-04; la sensitividad tiene una media de 4,143, una Desviación estándar de 0,538.

**Tabla 18**

***Medidas paramétricas de asociación de las fisuras de las discontinuidades y la sensitividad***

| Fisuras | Valor de prueba = 0 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | t | gl | Sig. (bilateral) | Diferencia de medias | 95% de intervalo de confianza de la diferencia | |
| | | | | | Inferior | Superior |
| Kdiv. | 13,039 | 2 | 0,006 | 7,73E-04 | 5,18E-04 | 1,03E-03 |
| Kcon. | 69,625 | 2 | 0 | 1,86E-04 | 1,74E-04 | 1,97E-04 |
| S | 12,737 | 2 | 0,006 | 4,16633 | 2,7589 | 5,5737 |

*Fuente.* Elaboración en el proceso del estudio

En la Tabla 18, se describe las discontinuidades de las fisuras asociadas a la sensitividad de la roca tipo granito, cuyo hallazgo del K divergente de la permeabilidad de las fisuras, la diferencia de las medias tiene un valor de 7,73E-04, y un nivel de significancia para Kdiv. P = 0,006.

El K convergente de la permeabilidad de las fisuras tiene una diferencia de medias de 1,86E-04, y nivel de significancia P = 0,000.

En efecto, se demuestra que las fisuras del K convergente y K divergente se asocian a la sensitividad de la roca tipo granito, debido a que el P=0,006<0,05, y la P=0,000<0,05, respectivamente se encuentra dentro del nivel de aceptación.

En consecuencia, se rechaza la Ho, y se acepta la hipótesis planteada en el estudio que las fisuras según número (cantidad) y longitud de las discontinuidades se asocian a la sensitividad en rocas tipo granito, con un nivel de confianza del 95% $\alpha = 0,05$

**Tabla 19**

***Discontinuidad abertura 0,1mm en la variación de la presión, caudal, permeabilidad y la sensitividad***

| Geometría | | | | L(cm) 10 | | $r_2$(cm) 2,75 | | $r_1$(cm) 0,6 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Condición | Flujo convergente | | | | | Flujo divergente | | | | | |
| P(kg/cm2) | 10,20 | 20,39 | 30,59 | 40,79 | 50,98 | 1,02 | 2,04 | 4,08 | 6,12 | 8,16 | 10,20 |
| Q(cm3/s) | 0,313 | 0,495 | 0,728 | 0,890 | 1,016 | 0,143 | 0,324 | 0,776 | 1,500 | 2,802 | 5,893 |
| K (cm/s) | 3,23E-04 | 2,55E-04 | 2,51E-04 | 2,30E-04 | 2,10E-04 | 1,48E-03 | 1,67E-03 | 2,00E-03 | 2,58E-03 | 3,61E-03 | 6,08E-03 |
| Sensitividad | | | | | 7,0 | | | | | | |

*Fuente*. Elaboración en el proceso del estudio

**Tabla 20**

***Discontinuidad abertura 0,2mm en la variación de presión, caudal, permeabilidad y la Sensitividad***

| Geometría | | | | L(cm) 10 | | $r_2$(cm) 2,75 | | $r_1$(cm) 0,6 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Condición | Flujo convergente | | | | | Flujo divergente | | | | | |
| P(kg/cm2) | 10,20 | 20,39 | 30,59 | 40,79 | 50,98 | 1,02 | 2,04 | 4,08 | 6,12 | 8,16 | 10,20 |
| Q(cm3/s) | 0,414 | 0,471 | 0,670 | 0,859 | 1,068 | 0,182 | 0,425 | 1,012 | 1,877 | 2,875 | 4,430 |
| K (cm/s) | 4,27E-04 | 2,43E-04 | 2,30E-04 | 2,22E-04 | 2,20E-04 | 1,88E-03 | 2,19E-03 | 2,61E-03 | 3,23E-03 | 3,71E-03 | 4,57E-03 |
| Sensitividad | | | | | 8,5 | | | | | | |

*Fuente*. Elaboración en el proceso del estudio

**Tabla 21**

***Discontinuidad abertura 0,4mm en la variación de la presión, caudal, permeabilidad y la sensitividad***

| Geometría | | | L(cm) 10 | | $r_2$(cm) 2,75 | $r_1$(cm) 0,6 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Condición | Flujo convergente | | | | | Flujo divergente | | | | | |
| P(kg/cm2) | 10,20 | 20,39 | 30,59 | 40,79 | 50,98 | 1,02 | 2,04 | 4,08 | 6,12 | 8,16 | 10,20 |
| Q(cm3/s) | 0,414 | 0,472 | 0,671 | 0,861 | 1,016 | 0,194 | 0,406 | 0,812 | 1,744 | 2,703 | 4,438 |
| K (cm/s) | 4,27E-04 | 2,44E-04 | 2,31E-04 | 2,22E-04 | 2,10E-04 | 2,00E-03 | 2,10E-03 | 2,09E-03 | 3,00E-03 | 3,49E-03 | 4,58E-03 |
| Sensitividad | | | | | 9,5 | | | | | | |

*Fuente*. Elaboración en el proceso del estudio

**Tabla 22**

***Abertura de las discontinuidades y la sensitividad***

| Discontinuidad abertura (mm) | Permeabilidad Kdiv cm/s | Kcon cm/s | Sensitividad S |
|---|---|---|---|
| 0,1 | 1,45E-03 | 2,10E-04 | 7,0 |
| 0,2 | 1,85E-03 | 2,20E-04 | 8,5 |
| 0,4 | 1,97E-03 | 2,10E-04 | 9,5 |
| $\bar{x}$ | 1,76E-03 | 2,13E-04 | 8,4 |

*Fuente*. Elaboración en el proceso del estudio

Las Tablas 19, 20, 21, y 22, demuestra el K divergente y K convergente para las discontinuidades de las aberturas de las rocas tipo granito, encontrándose que la discontinuidad de la abertura de 0.1 mm, se obtiene el K divergente de 1,450E-03 cm/s. y un K convergente de 2,10E-0 cm/seg. obteniéndose una sensitividad de 7.00; con 0,2 mm. obteniéndose el K divergente de 1,850 E-0 cm/seg. y el K convergente el 2,20 E-0cm/seg; hallándose una sensitividad de 8,5; y para 0,4 mm. el K divergente tiene 1,97 E-0 cm/s y K convergente tiene 2,10 E-0 cm/s. con una sensitividad de 9,5. Asimismo, la media de la abertura según el K divergente tiene 1,76 E-0cm/seg. y K convergente tiene un valor 2,13 E-0 cm/seg. con una sensitividad media de 8,4 (Tabla 7).

**Tabla 23**

***Medidas parámetrias de asociación de la abertura de las discontinuidades y la sensitividad***

| Aberturas | N | Media | Desv. Desviación | Desv. Error promedio |
|---|---|---|---|---|
| Kdiv. | 3 | 1,76E-03 | 2,72E-04 | 1,57E-04 |
| Kcon. | 3 | 2,14E-04 | 5,13E-06 | 2,96E-06 |
| Sensitividad | 3 | 8,1867 | 1,1908 | 0,6875 |

*Fuente.* Elaboración en el proceso del estudio

**Tabla 24**

***Prueba estadísticas de abertura de discontinuidades asociadas a sensitividad***

| Aberturas | Valor de prueba = 0 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | t | gl | Sig. (bilateral) | Diferencia de medias | 95% de intervalo de confianza de la diferencia | |
| | | | | | Inferior | Superior |
| Kdiv. | 11,175 | 2 | 0,008 | 1,76E-03 | 1,08E-03 | 2,43E-03 |
| Kcon. | 72,343 | 2 | 0 | 2,14E-04 | 2,02E-04 | 2,27E-04 |
| Sensitividad | 11,908 | 2 | 0,007 | 8,187 | 5,229 | 11,145 |

*Fuente.* Elaboración en el proceso del estudio

Las Tablas 23 y 24, demuestra en relación a las discontinuidades de las aberturas asociadas a la sensitividad de la roca tipo granito, se encontró que la permeabilidad divergente de las aberturas que tiene una media de 1,76E-03 cm/s, una desviación estándar de 2,72E-04 cm/s una media de error estándar de 0,157, y un nivel de significancia P= 0,008.

En relación al K convergente de la permeabilidad de las aberturas tiene una media de 0,214, una Desviación estándar de 0,005, una media de error estándar de 0,003y un nivel de significancia $\alpha = 0{,}000$.

En efecto, se demuestra que la abertura del K divergente y K convergente se asocian a la sensitividad de la roca tipo granito, debido a que el P=0,008<0,05, y la P=0,000<0,05, respectivamente se encuentra dentro del nivel de aceptación.

En consecuencia, se rechaza la Ho, y se acepta la hipótesis planteada en el estudio que las aberturas según número (cantidad) y longitud de las discontinuidades se asocian a la sensitividad en rocas tipo granito, con un nivel de confianza al 95% y un $\alpha = 0,05$

**Tabla 25**

***Discontinuidad Un espaciamiento la variación de la presión, caudal, permeabilidad y la sensitividad***

| Geometría | | | L(cm) 10 | | $r_2$(cm) 2,75 | | $r_1$(cm) 0,6 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Condición | Flujo convergente | | | | | Flujo divergente | | | | | |
| P(kg/cm2) | 10,20 | 20,39 | 30,59 | 40,79 | 50,98 | 1,02 | 2,04 | 4,08 | 6,12 | 8,16 | 10,20 |
| Q(cm3/s) | 0,967 | 1,157 | 1,310 | 1,379 | 1,714 | 0,484 | 1,010 | 2,319 | 4,679 | 6,842 | 9,376 |
| K (cm/s) | 9,97E-04 | 5,97E-04 | 4,51E-04 | 3,56E-04 | 3,54E-04 | 4,99E-03 | 5,21E-03 | 5,98E-03 | 8,04E-03 | 8,82E-03 | 9,67E-03 |
| Sensitividad | | | | | 14,1 | | | | | | |

*Fuente*. Elaboración en el proceso del estudio

**Tabla 26**

***Discontinuidad Un espaciamiento la variación de la presión, caudal, permeabilidad y la sensitividad***

| Geometría | | | L(cm) 10 | | $r_2$(cm) 2,75 | | $r_1$(cm) 0,6 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Condición | Flujo convergente | | | | | Flujo divergente | | | | | |
| P(kg/cm2) | 10,20 | 20,39 | 30,59 | 40,79 | 50,98 | 1,02 | 2,04 | 4,08 | 6,12 | 8,16 | 10,20 |
| Q(cm3/s) | 0,968 | 1,109 | 1,584 | 1,959 | 2,406 | 0,752 | 1,895 | 4,611 | 9,040 | 14,166 | 19,789 |
| K (cm/s) | 9,98E-04 | 5,72E-04 | 5,45E-04 | 5,05E-04 | 4,97E-04 | 7,76E-03 | 9,78E-03 | 1,19E-02 | 1,55E-02 | 1,83E-02 | 2,04E-02 |
| Sensitividad | | | | | 15,6 | | | | | | |

Fuente. Elaboración en el proceso del estudio

**Tabla 27**

***Discontinuidad Un espaciamiento la variación de la presión, caudal, permeabilidad y la sensitividad***

| Geometría | | | L(cm) 10 | | $r_2$(cm) 2,75 | $r_1$(cm) 0,6 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Condición | Flujo convergente | | | | | Flujo divergente | | | | | |
| P(kg/cm2) | 10,20 | 20,39 | 30,59 | 40,79 | 50,98 | 1,02 | 2,04 | 4,08 | 6,12 | 8,16 | 10,20 |
| Q(cm3/s) | 1,393 | 1,758 | 2,201 | 2,738 | 2,836 | 0,977 | 2,341 | 5,840 | 14,441 | 22,281 | 37,492 |
| K (cm/s) | 1,44E-03 | 9,07E-04 | 7,57E-04 | 7,06E-04 | 5,85E-04 | 1,01E-02 | 1,21E-02 | 1,51E-02 | 2,48E-02 | 2,87E-02 | 3,87E-02 |
| Sensitividad | | | | | 17,2 | | | | | | |

*Fuente*. Elaboración en el proceso del estudio

**Tabla 28**

***Espaciamiento de las discontinuidades sensitividad***

| Discontinuidad espaciamiento | Permeabilidad Kdiv cm/s | Kcon cm/s | Sensitividad S |
|---|---|---|---|
| Un espaciamiento | 4,98E-03 | 3,55E-04 | 14,1 |
| Dos espaciamientos | 7,69E-03 | 4,89E-04 | 15,6 |
| Tres espaciamientos | 1,00E-02 | 5,80E-04 | 17,2 |
| $\bar{x}$ | 7,56E-03 | 4,75E-04 | 15,7 |

*Fuente.* Elaboración en el proceso del estudio

En las Tablas 25, 26, 27 y 28, se demuestra en relación a la discontinuidad de espaciamiento y frecuencia, evidenciándose para Un espaciamiento el K divergente tiene 4,98E-03 el K convergente tiene de 3,55E-04cm/s. obteniéndose una sensitividad de 14,1; con Dos espaciamientos se tiene el K divergente de 7,69E-03 cm/s. y el K convergente el 4,89E-04 cm/s; hallándose una sensitividad de 15,6; y para Tres o más espaciamientos, el K divergente tiene 1,00E-02 cm/seg y K convergente tiene 5,80E-04 cm/s. con una sensitividad de 17, 2. Asimismo, la media del espaciamiento según el K divergente tiene 7,556 E-03cm/s. y K convergente tiene un valor 4,75E-04 cm/seg. con una sensitividad media de 15,7 (Tabla 10).

**Tabla 29**

***Medidas paramétricas de asociación del espaciamiento y frecuencia de las discontinuidades y la sensitividad***

| Espaciamiento | N | Media | Desv. Desviación | Desv. Error promedio |
|---|---|---|---|---|
| Kdiv. | 3 | 7,56E-03 | 2,51E-03 | 1,45E-03 |
| Kcon. | 3 | 4,75E-04 | 1,13E-04 | 6,53E-05 |
| Sensitividad | 3 | 15,7 | 1,606 | 0,927 |

*Fuente*. Elaboración en el proceso del estudio

**Tabla 30**

***Prueba estadísticas del espaciamiento y frecuencia de las discontinuidades asociadas a la sensitividad***

| Espaciamiento y frecuencia | Valor de prueba = 0 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | t | gl | Sig. (bilateral) | Diferencia de medias | 95% de intervalo de confianza de la diferencia | |
| | | | | | Inferior | Superior |
| Kdiv. | 5,209 | 2 | 0,035 | 7,56E-03 | 1,31E-03 | 1,38E-02 |
| Kcon. | 7,264 | 2 | 0,018 | 4,75E-04 | 1,94E-04 | 7,56E-04 |
| Sensitividad | 16,9 | 2 | 0,003 | 15,66 | 11,67 | 19,65 |

*Fuente*. Elaboración en el proceso del estudio

En las Tablas 29 y 30, se demuestra las estadísticas del espaciamiento y frecuencia de las discontinuidades asociadas a la sensitividad de la roca tipo granito, en el cual se evidencia que el K divergente de la permeabilidad de los espaciamiento y frecuencia tiene una media de 7,556, una desviación estándar de 2,513, una media de error estándar de 1,451 y un nivel de significancia P = 0,035.

El K convergente de la permeabilidad del espaciamiento y frecuencia, tiene una media de 0,475, una desviación estándar de 0,113, una media de error estándar de 0,065 y un nivel de significancia P = 0,018.

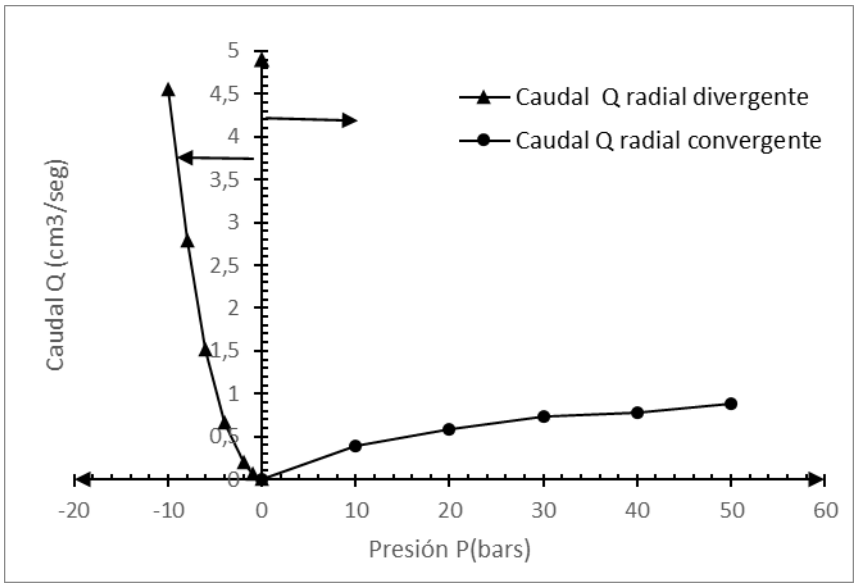
En efecto, se demuestra que las espaciamiento y frecuencias del K convergente y K divergente se asocian a la sensitividad de la roca tipo granito, debido a que el P=0,035<0,05, y la P=0,018<0,05, respectivamente, se encuentra dentro del nivel de aceptación.

En consecuencia, se rechaza la Ho, y se acepta la hipótesis planteada en el estudio que el espaciamiento y frecuencia según número (cantidad) y longitud de las discontinuidades se asocian a la sensitividad en rocas tipo granito, con un nivel de confianza al 95% y un $\alpha = 0,05$ (Tabla N° 11 y 12).

En la Figura 18, se observa la variación del caudal para un flujo divergente con en forma ascendente debido a que en el interior de muestra se generan esfuerzos de tensión y las discontinuidades para fisuras tienden abrirse por consiguiente el caudal ve incrementa, para el caso flujo convergente se genera esfuerzos de compresión y las fisuras tiende a cerrase por tanto el caudal disminuye.

***Figura 18***

*Variación del caudal (Q) con la presión(P) flujo radial convergente y divergente con una fisura*

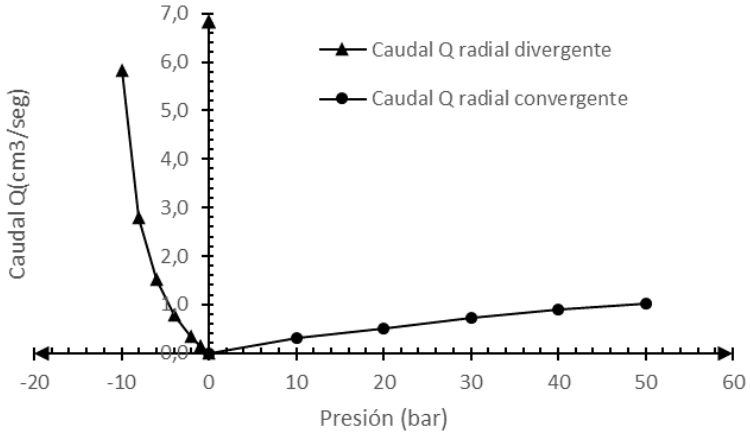



*Fuente*. Elaboración en el proceso del estudio

En la Figura 19, se observa la variación del caudal para un flujo divergente con en forma ascendente, debido a que en el interior de muestra se generan esfuerzos de tensión y las discontinuidades para la abertura 0,02cm tienden abrirse por consiguiente el caudal se ve incrementa, para el caso flujo convergente se genera esfuerzos de compresión y la abertura tiende a cerrase por tanto el caudal disminuye.

**Figura 19**

*Variación del caudal (Q) con la presión(P) flujo radial convergente y divergente con 0.01cm abertura*

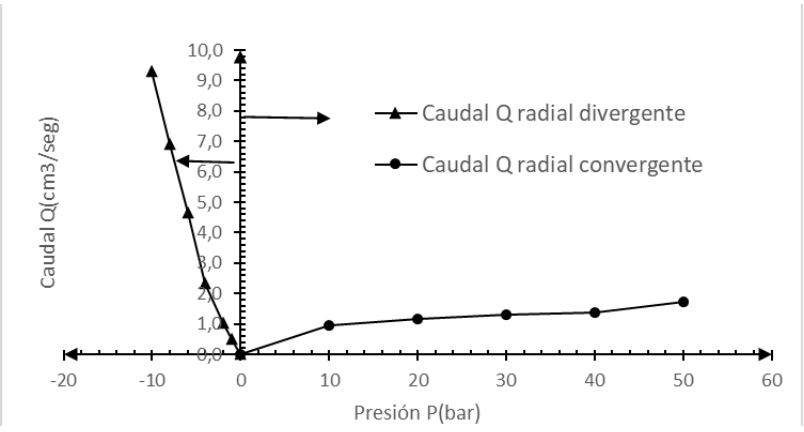



*Fuente*. Elaboración en el proceso del estudio

En la Figura 20, se observa la variación del caudal para un flujo divergente con en forma ascendente debido a que en el interior de muestra se generan esfuerzos de tensión y las discontinuidades para un espaciamiento tienden abrirse por consiguiente el caudal se ve incrementa, para el caso flujo convergente se genera esfuerzos de compresión y las discontinuidades tiende a cerrase por tanto el caudal disminuye.

**Figura 20**

*Variación del caudal (Q) con la presión(P) flujo radial convergente y divergente con un espaciamiento*

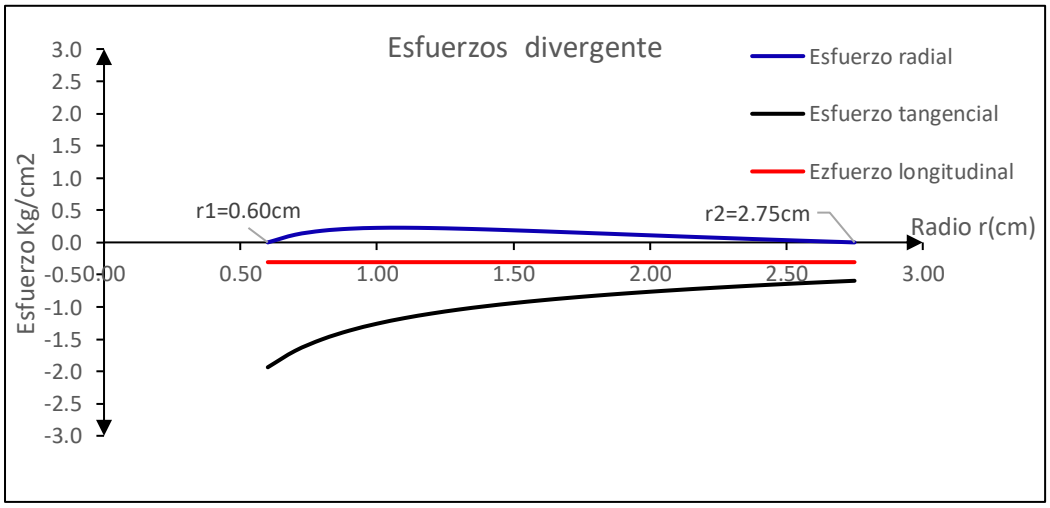



*Fuente*. Elaboración en el proceso del estudio

En la Figura 21, se observa la variación de los esfuerzos radial, tangencial y longitudinal en parte central de la muestra, para un r=1.20cm el esfuerzo radial alcanza un valor 0.23kg/cm$^2$ y el esfuerzo tangencial tiene un valor -1.17kg/cm$^2$ y esfuerzo tangencial de -0.31kg/cm$^2$ debido a que en el interior de muestra se generan esfuerzos de tensión y las discontinuidades tienden abrirse por consiguiente la permeabilidad aumenta, para el caso flujo convergente se genera esfuerzos de compresión en la muestra y las discontinuidades tiende a cerrase por tanto la permeabilidad disminuye.

**Figura 21**

*Esfuerzos en una muestra con flujo divergente (P=1.02 kg/cm2)*

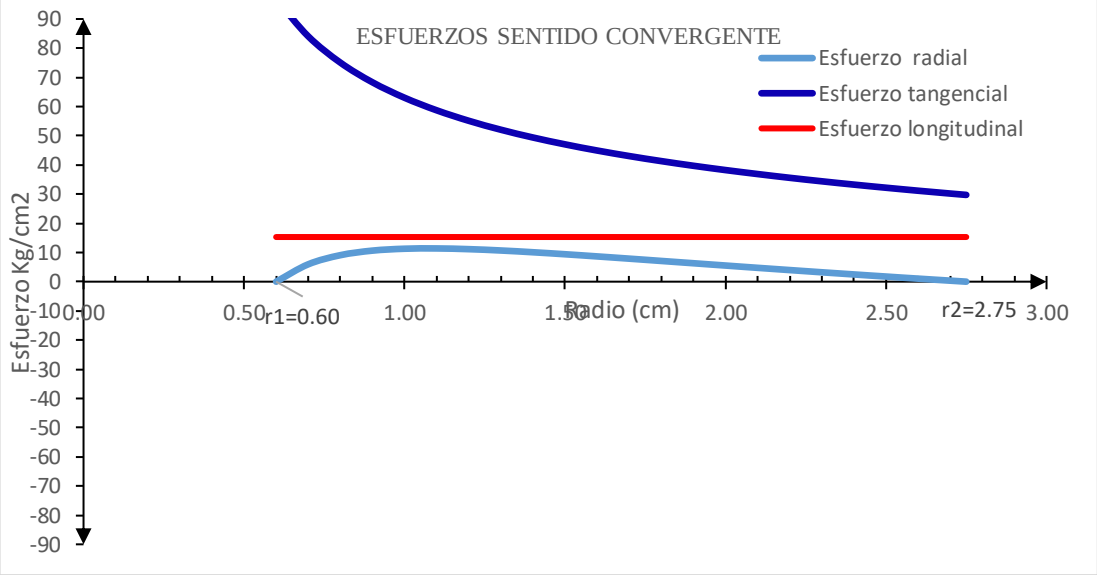



*Fuente.* Elaboración en el proceso del estudio

En la Figura 22, se observa la variación de los esfuerzos radial, tangencial y longitudinal en parte central de la muestra, para un r=1.20cm el esfuerzo radial alcanza un valor 11.14kg/cm$^2$ y el esfuerzo tangencial tiene un valor 55.13kg/cm$^2$ y esfuerzo tangencial de 15.29kg/cm$^2$ debido a que en el interior de muestra se generan esfuerzos de compresión en la muestra y las discontinuidades tiende a cerrase por tanto la permeabilidad disminuye.

**Figura 22**

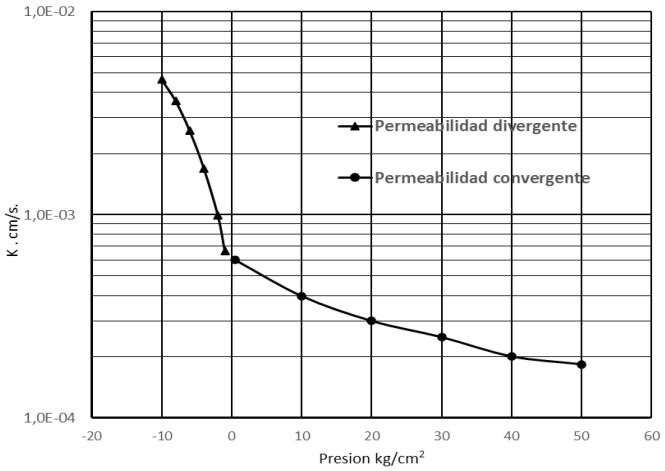
*Esfuerzos en una muestra con flujo convergente (P=50.98 kg/cm2)*




*Fuente. Elaboración en el proceso del estudio*

***Figura 23***

*Variación de la permeabilidad convergente y divergente en las fisuras de las discontinuidades*

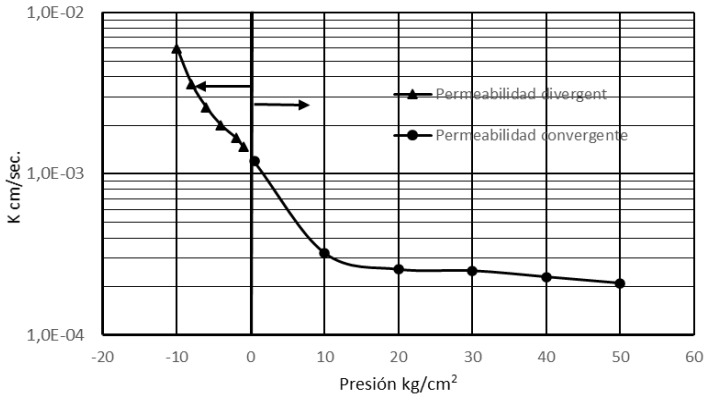



*Fuente*. Elaboración en el proceso del estudio

En la Figura 23, demuestra la variación de la permeabilidad convergente y divergente en las fisuras de las discontinuidades con la presión del agua entre 10 al 50 kg/cm$^2$. con una presión de 10 kg/cm$^2$ de agua con flujo convergente la permeabilidad alcanza un valor de 3,98E-04cm/s. con una presión de 20 kg/cm$^2$ de agua con flujo convergente la permeabilidad alcanza un valor de 3.00E-04cm/s; con una presión de 30 kg/cm$^2$ de agua con flujo convergente la permeabilidad alcanza un valor de 2.50E-04cm/s con la presión de 40 kg/cm$^2$ de agua con flujo convergente la permeabilidad alcanza un valor de 2.01E-04cm/s con una presión de 50.98 kg/cm$^2$ de agua con flujo convergente, la permeabilidad alcanza un valor de 1.83E-04cm/s. con una presión aplicada de 1.02 kg/cm$^2$ de agua con flujo divergente la permeabilidad alcanza un valor de 6.62E-04cm/s. Cuando los esfuerzos divergentes crecen las discontinuidades de la roca tiende abrir y por tanto se incrementa la permeabilidad, y cuando los esfuerzos divergentes convergente crecen las discontinuidades tiende a cerrase, y la permeabilidad, y curva permite a establecer una relación de la sensitividad entre permeabilidad divergente y convergente alcanzado un valor 3.6 para una fisura

***Figura 24***

*Variación de la permeabilidad convergente y divergente en las discontinuidades aberturas*

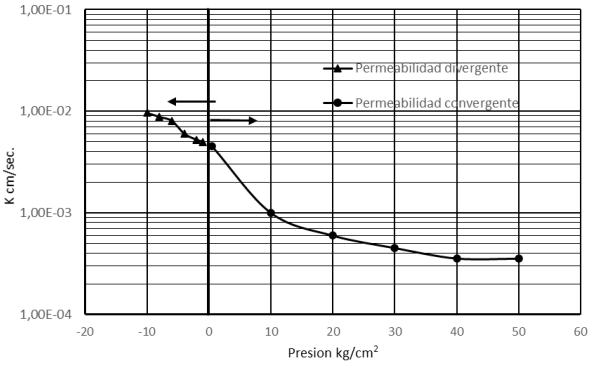



*Fuente*. Elaboración en el proceso del estudio

En la Figura 24, demuestra la variación de la permeabilidad convergente y divergente en las aberturas de las discontinuidades con la presión del agua entre 10 al 50 kg/cm$^2$. con una presión de 10 kg/cm$^2$ de agua con flujo convergente la permeabilidad alcanza un valor de 3,23E-04cm/s. con una presión de 20 kg/cm$^2$ de agua con flujo convergente la permeabilidad alcanza un valor de 2.55E-04cm/s; con una presión de 30 kg/cm$^2$ de agua con flujo convergente la permeabilidad alcanza un valor de 2.51E-04cm/s con la presión de 40 kg/cm$^2$ de agua con flujo convergente la permeabilidad alcanza un valor de 2.30E-04cm/s con una presión de 50.98 kg/cm$^2$ de agua con flujo convergente, la permeabilidad alcanza un valor de 2.10E-04cm/s. con una presión aplicada de 1.0 kg/cm$^2$ de agua con flujo divergente la permeabilidad alcanza un valor de 1.48E-03cm/s. Cuando los esfuerzos divergentes crecen las discontinuidades de la roca tiende abrirse y por tanto se incrementa la permeabilidad, y cuando los esfuerzos convergentes crecen las discontinuidades tiende a cerrase, y la permeabilidad, y la curva permite establecer una relación de la sensitividad entre permeabilidad divergente y convergente alcanzado un valor 7.0 para Una abertura 0.1mm

***Figura 25***

*Variación de la permeabilidad convergente y divergente del espaciamiento y frecuencia de las discontinuidades*




*Fuente.* Elaboración en el proceso del estudio

En la Figura 25, demuestra la variación de la permeabilidad convergente y divergente en las fisuras de las discontinuidades con la presión del agua entre 10 al 50 kg/cm$^2$. con una presión de 10 kg/cm$^2$ de agua con flujo convergente la permeabilidad alcanza un valor de 9,97E-04cm/s. con una presión de 20 kg/cm$^2$ de agua con flujo convergente la permeabilidad alcanza un valor de 5,97E-04cm/s; con una presión de 30 kg/cm$^2$ de agua con flujo convergente la permeabilidad alcanza un valor de 4.51E-04cm/s con la presión de 40 kg/cm$^2$ de agua con flujo convergente la permeabilidad alcanza un valor de 3,56E-04cm/s con una presión de 50.98 kg/cm$^2$ de agua con flujo convergente, la permeabilidad alcanza un valor de 3.54E-04cm/s. con una presión aplicada de 1.0 kg/cm$^2$ de agua con flujo divergente la permeabilidad alcanza un valor de 4.99E-03cm/s. Cuando los esfuerzos divergentes crecen las discontinuidades de la roca tiende abrir y por tanto se incrementa las permeabilidades, y cuando los esfuerzos divergentes convergente crecen las discontinuidades tiende a cerrase, y la permeabilidad, y curva permite a establecer una relación de la sensitividad entre permeabilidad divergente y convergente alcanzado un valor 14.1 para Un espaciamiento.

## 4.1 Contrastación de hipótesis

**Tabla 31**

***Media y Desviación Estándar de las Discontinuidades y la sensitividad***

| Discontinuidades | N | Media | Desv. Desviación | Desv. Error promedio |
|---|---|---|---|---|
| Fisuras: | | | | |
| Kdiv. | 3 | 7,73E-04 | 1,03E-04 | 5,93E-05 |
| Kcon. | 3 | 1,86E-04 | 4,62E-06 | 2,67E-06 |
| Sensitividad. | 3 | 4,166 | 0,567 | 0,327 |
| Aberturas: | | | | |
| Kdiv. | 3 | 1,76E-03 | 2,72E-04 | 1,57E-04 |
| Kcon. | 3 | 2,14E-04 | 5,13E-06 | 2,96E-06 |
| Sensitividad. | 3 | 8,187 | 1,191 | 0,688 |
| Espaciamiento: | | | | |
| Kdiv. | 3 | 7,56E-03 | 2,51E-03 | 1,45E-03 |
| Kcon. | 3 | 4,75E-04 | 1,13E-04 | 6,53E-05 |
| Sensitividad. | 3 | 15,663 | 1,606 | 0,927 |

Fuente: Elaboración en el proceso del estudio

**Tabla 32**

***Las Discontinuidades asociada a los valores de la sensitividad***

| Discontinuidades | Valor de prueba = 0,05 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | t | gl | Sig. (bilateral) | Diferencia de medias | 95% de intervalo de confianza de la diferencia | |
| | | | | | Inferior | Superior |
| Fisuras: | | | | | | |
| Kdiv. | 13,039 | 2 | 0,006 | 7,73E-04 | 5,18E-04 | 1,03E-03 |
| Kcon. | 69,625 | 2 | 0 | 1,86E-04 | 1,74E-04 | 1,97E-04 |
| Sensitividad. | 12,737 | 2 | 0,006 | 4,166 | 2,759 | 5,574 |
| Aberturas: | | | | | | |
| Kdiv. | 11,175 | 2 | 0,008 | 1,76E-03 | 1,08E-03 | 2,43E-03 |
| Kcon. | 72,343 | 2 | 0 | 2,14E-04 | 2,02E-04 | 2,27E-04 |
| Sensitividad. | 11,908 | 2 | 0,007 | 8,187 | 5,229 | 11,145 |
| Espaciamientos: | | | | | | |
| Kdiv. | 5,209 | 2 | 0,035 | 7,56E-03 | 1,31E-03 | 1,38E-02 |
| Kcon. | 7,264 | 2 | 0,018 | 4,75E-04 | 1,94E-04 | 7,56E-04 |
| Sensitividad. | 16,895 | 2 | 0,003 | 15,663 | 11,674 | 19,652 |

Nivel de significancia (P<0.05)

Fuente: Elaboración en el proceso del estudio

En la Tabla 31, se demuestra la contratación de la hipótesis del estudio, a través de las pruebas estadísticas: en las fisuras de la permeabilidad divergente y convergente de las discontinuidades, la media se encuentra entre 0,186E-04 a 7,73E-04, con una desviación estándar entre 1,03E-04 a 4,62E-06, y la media de error estándar se halla entre 2,67E-06 a 5,93E-05; y la sensitividad con una media de 4,166, la desviación estándar de 0,567, y la desviación error promedio de 0,327. En la abertura de la permeabilidad divergente y convergente de las discontinuidades, la media se encuentra entre 1,76E-03 a 2,14E-04, con una desviación estándar entre 2,72E-04 a 5,13E-06, y la media de error estándar se halla entre 1,57E-04 a 2,96E-06; y la sensitividad con una media de 8,187, la desviación estándar de 1,191, y la desviación error promedio de 0,688. En el espaciamiento de la permeabilidad divergente y convergente de las

discontinuidades, la media se encuentra entre 7,56E-03 a 4,75E-04, con una desviación estándar entre a 2,51E-03 a 1,13E-04, y la media de error estándar se encuentra entre 1,45E-03 a 6,53E-05. La sensitividad con una media de 15,663, la desviación estándar de 1,606 y la desviación error promedio de 0,927.

En la Tabla 32, se observa que, en las fisuras de la permeabilidad divergente de las discontinuidades, el intervalo de confianza al 95 % se halla entre 5,18E-04 a 1,03E-03, con un valor de t de 13,039; y en las fisuras de la permeabilidad convergente de las discontinuidades, el intervalo de confianza al 95 % se halla entre 1,74E-04 a 1,97E-04, con un valor de t de 69,625.

En la sensitividad, el intervalo de confianza al 95 % se halla entre 2,759 a 5,574, con un valor de t de 12,737.

En las aberturas de la permeabilidad divergente de las discontinuidades, el intervalo de confianza al 95 % se halla entre 1,08E-03 a 2,43E-03, con un valor de t de 11,175; y en las aberturas de la permeabilidad convergente de las discontinuidades, el intervalo de confianza al 95 % se halla entre 2,02E-04 a 2,27E-04, con un valor de t de 72,343. En la sensitividad, el intervalo de confianza al 95 % se halla entre 5,229 a 11,145, con un valor de t, de 11,908.

En el espaciamiento de la permeabilidad divergente de las discontinuidades, el intervalo de confianza al 95 % se halla entre 1,31E-03 a 1,38E-02, con un valor de t, de 5,209; y en el espaciamiento de la permeabilidad convergente de las discontinuidades, el intervalo de confianza al 95 % se halla entre 1,94E-04 a 7,56E-04, con un valor de t, de 7,264.

En la sensitividad, el intervalo de confianza al 95 % se halla entre 11,674 a 19,652, con un valor de t de 16,895.

## 4.2 Análisis de hipótesis

En Tabla 32, se demuestra la contrastación de la hipótesis del estudio, a través de las pruebas estadísticas: las fisuras de las discontinuidades para la permeabilidad divergente se obtuvo un valor de t=13,039 con un nivel de significancia de $\alpha$ =0,006, y para la permeabilidad

convergente se obtuvo un valor de t=69,625 con un nivel de significancia de P=0,000, siendo (P<0,05). En la sensitividad se halló un valor de t =12,737, con un nivel de significancia de P= 0.006 siendo menor que α (P< 0.05)

Las discontinuidades de las aberturas en la permeabilidad divergente se halló un valor de t =11,175 con un nivel de significancia P= 0.008 siendo menor que α= 0.05 (P< 0.05).

Las discontinuidades de las aberturas en la permeabilidad convergente se halló un valor de t =72,343 con un nivel de significancia calculado de P=0.000 siendo menor que α= 0.05 (P< 0.05). En la sensitividad se halló un valor de t =11,908, con un nivel de significancia calculado de P=0.007 siendo menor que α= 0.05 (P< 0.05).

Las discontinuidades del espaciamiento en la permeabilidad divergente se halló un valor de t =5,209 con un nivel de significancia calculado de P= 0.035 siendo menor que α= 0.05 (P< 0.05).

Las discontinuidades del espaciamiento en la permeabilidad convergente se halló un valor de t =7,264 con un nivel de significancia calculado de P=0.018 siendo menor que α= 0.05 (P< 0.05). En la sensitividad se halló un valor de t =11,916, con un nivel de significancia calculado de P=0.003 siendo α = 0.05 (P< 0.05).

En efecto, las fisuras, la abertura, el espaciamiento de las discontinuidades se encuentran asociadas a la sensitividad de las rocas tipo granito, con un nivel de confianza del 95 %, y un nivel de significancia de α=0.05, siendo los valores de prueba de significancias calculadas menores de α<0.05 (P<0.05) por tanto, la hipótesis nula se rechaza y se acepta la hipótesis planteada.

# V. DISCUSION DE RESULTADOS

## 5.1 Discusión

**S**on muy escasos los estudios, para analizar la relación de asociación entre las discontinuidades y los valores de la sensitividad. El análisis en relación a las discontinuidades con presiones de agua consideradas entre 1 kg/cm$^2$ al 50 kg/cm$^2$, se sometieron a prueba las discontinuidades como son las fisuras, aberturas, espaciamiento y frecuencia, cuyos resultados de los flujos convergentes hacen que se cierren las discontinuidades y las divergentes hacen que se abran las discontinuidades, en consecuencia, se altera el comportamiento mecánico de las rocas tipo granito, generando inestabilidad. Al contrastar con la investigación iniciada tras la rotura de la presa de Malpasset señalada por Perez De Agreda E. explica, sobre el colapso de la presa, a pesar que la calidad del concreto era muy buena, el diseño de la presa era correcto, y que la construcción de la presa no mostró ningún rastro de falla, Asimismo, señala que investigaciones adicionales también revelaron que el pilar de concreto de la presa estaba anclado con seguridad en la roca. En efecto, la causa del colapso tenía que estar en la roca. Encontrándose que la presión ejercida por el agua entre las discontinuidades generó la falla de la presa, resultados similares obtenidos mediante los ensayos para explicar el fenómeno de la sensitividad de las rocas tipo granito realizados en el presente estudio.

Al realizar el análisis a partir de los resultados de los ensayos de permeabilidad del flujo convergente, la permeabilidad tiende a disminuir al aumentar la presión, lo cual tiene sentido, cuando aumenta la presión, las fisuras que presentaron las discontinuidades se cierran, al contrastar con lo señalado por Agreda, Jumikis (1983), al analizar que la acumulación lenta de presión de agua en la masa de roca fisurado y fracturadas aguas arriba de la presa, es debido a la gran área sobre la que actuó la supresión, la fuerza de deslizamiento pudo romper una sección de los cimientos a lo largo de una de las fallas de roca, debido a la gran área sobre la que actuó la supresión, la fuerza de deslizamiento pudo romper una sección de los cimientos a lo largo

de una de las fallas de roca principales, análisis congruente con los resultados de los ensayos obtenidos en el estudio, al simular en las condiciones reales del estudio.

En relación al caudal de la presión de agua tiende a aumentar. En el ensayo de permeabilidad divergente, la permeabilidad aumenta al incrementar la presión, debido a que las fisuras se abren, y el caudal tiende a aumentar, análisis congruente en la literatura en relación a la presa Santa Rosa en México por Marshal, y Reséndiz, (1983) que la filtración de aguas en macizos rocosos fisurados, fue un problema muy complejo, debido a la heterogeneidad de las discontinuidades y a las confusas condiciones de límites de las corrientes de filtración. Asimismo, según Shelton (1966) en su estudio señala en relación a una inundación aguas abajo que generó importantes pérdidas de vidas humanas y materiales a partir de los resultados de simulación de la permeabilidad divergente, la permeabilidad aumenta al incrementar la presión cuando las fisuras se abren, y el caudal tiende a aumentar. Además, en la falla de la presa de Malpazet, Terzaghi, señala que la falla se debió a la existencia de presiones del agua en las discontinuidades, congruente con los resultados del estudio que la presión del agua en las discontinuidades son las que se asocian al sensitividad.

En relación al espaciamiento y frecuencia de las discontinuidades el caudal del agua aumenta, haciéndose más permeable el flujo, generando que el caudal sea extremadamente más sensible, similar al análisis de Nasrat Adamo (2020), sobre el agua filtrada en las presas generan erosión, por tanto, inestabilidad en la presa. En efecto, las fisuras, abertura, espaciamiento y frecuencia de las discontinuidades se encuentran asociadas a la sensitividad.

En consecuencia, las discontinuidades se encuentran asociadas a la sensitividad de la roca tipo granito, quedando demostrada la hipótesis planteada en la investigación.

Entretanto, se propone investigar el cambio de temperatura de la roca ocasionado por el almacenamiento del agua y la presión que ejerce sobre ella, para evitar la alteración de la roca.

# VI. CONCLUSIONES

- Las discontinuidades de las fisuras están asociadas a la sensitividad, siendo relevante que la roca tipo granito se encuentra ligeramente fisurada y se altera con la presión hidrostática del caudal del agua.
- Las discontinuidades de las aberturas están asociadas a la sensitividad siendo relevante que la roca se encuentra con aberturas leves, y se altera con la presión hidrostática del caudal del agua.
- Las discontinuidades de los espaciamientos y frecuencias están asociadas a la sensitividad siendo relevante que la roca es de calidad media y se altera con la presión hidrostática del caudal del agua
- Las discontinuidades de las fisuras, aberturas, y espaciamientos se encuentran asociadas a la sensitividad de la roca tipo granito debido al incremento de las discontinuidades se incrementa la sensitividad.

# VII. RECOMENDACIONES

- En las construcciones de obras civiles apoyadas en rocas, deben llevarse a cabo estudios de las discontinuidades principalmente en las fisuras, aberturas y espaciamientos y su relación con la sensitividad para evitar las fallas en las obras antes de cumplir su vida útil.
- Motivar el desarrollo de investigaciones en relación a la sensitividad con el fin de evitar el incremento del deterioro de las discontinuidades por el efecto de la presión del agua, que ocasionan fallas en las estructuras de las presas, puentes, taludes, túneles, edificios, y centrales nucleares, y viviendas especialmente en los asentamientos humanos ubicados en laderas, y poblaciones vulnerables el que implica un tema de importancia científica y tecnológica del conocimiento e importancia del impacto técnico científico, ambiental, social y económico.
- La continuidad de la investigación para responder la interrogante ¿Cuál es la influencia de los rellenos en las discontinuidades a través de un análisis de flujo tridimensional considerando la anisotropía en rocas?

# VIII. REFERENCIAS


Ampuero Cay, S. (2012). *Mejoramiento de Cimentaciones en Suelos y Rocas Aplicando las Técnicas de Grouting*. Universidad Nacional de Ingeniería.

Bernaix, J. (1969). New Laboratory Methods of Estudying The Mecahnical Properties of Rock. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci., 6*, 43-90.

Blanch, J. M. (2000). Visión del Agua y la Naturaleza Estrategia Mundial para la Conservación y Manejo Sostenible de Recursos Hídricos en el Siglo XXI. *Unión Mundial para la Naturaleza*, 5-6.

Castilla, J. (1988). *Mecánica de Rocas.* UNAM.

Davila Madrid, M. (2015). *Estudio de Estabilidad Frente a Rotura por Macizos rocosos y discontinuidad en presas de Gravedad.* Universidad Politécnico de Madrid.

Decreto Lejislativo Nº 1055. (28 de febrero de 2017). Obtenido de: Exposición de motivos. Concordancias: D.S. Nº 002-2009-MINAM.

E, H. (1977). *Rock Slope Engineering. Institution of Mining and Metallurgy*. London.

Echegoyen Olleta, J. (2015). *Filosofía Medieval y Moderna*. Obtenido de https://www.google.com/search?q=javier+echegoyen+olleta+historia+de+la+filosof%C3%ADa&rlz=1C1CHBF_esPE916PE916&oq=&aqs=chrome.0.69i59i450l8.39063j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8

Esquivel Zamora, M. W. (2013). *Mecanica de Rocas.* Cusco.

FAO. (2003). *No hay crisis mundial de agua, pero muchos países en vías de desarrollo tendrán que hacer frente a la escasez de recursos hídricos.* Tokio. Obtenido de http://www.fao.org/spanish/newsroom/news/2003/15254-es.html

Gaziev, E. (s.f.). *Estabilidad de los Macizos Rocosos y Metodos de Estabilizacion Serie del Instituto de Ingenieria N° D-21, 1984.*

Gaziev, E. G. (1987). *Estabilidad de los Macizos Rocosos y Métodos de Estabilización.* Instituto de Ingeniería de la UNAM.

Gomez M., M. (2009). *Metodología de la investigación Científica.* Editorial Brujas.

Gonzales De Vallejo, L., Ferrer, M., Otoño, L., & Oteo, C. (2004). *Ingeniería Geológica.* Prentice Hall.

Hernandez Huaripaucar, E. M. (2016). *Filosofía del agua.* Perú. Slideshare. Obtenido de https://es.slideshare.net/edgarhernandez331/filosofa-del-agua

Hernández Montar, E. (2016). *Filosofía del Agua.* Ica: Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica.

Hernández Sampiere, R., & Mendoza Torres, C. P. (2019). *Metodología de la investigación.* McGraw Hill.

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & y Baptista Lucio, P. (2006). *Metodología de la Investigación.* McGraw Hill.

Hoek, E., & Bray, J. (1977). *Rock Slope Emgineering Institution of Mining and Metallrgy.* London.

Hudson, J., & Harrison , J. (2000). *Engineering Rock Mechanics.* Pergamon.

Hundson, J., & Harrison, J. (2000). *Engineering Rock Mechanics.* Pergamon.

Hundson, J., & Harrison, J. P. (2000). *Engineering Rock Mechanics.* Pergamon.

Jumikis, A. (1993). *Rock Mechanics.* New Jersey: Trans Tech Publications.

Marsal, R., & Rezéndiz, D. (1983). *Presas de tierra y enrocamientos.* Limusa.

Marsal, R., & Rezéndiz, D. (1983). *Presas de tierra y enrrocamiento* (2da reimpresión ed.). Limusa.

Martí, J. R. (2020). Interpretation of the Failure of the Aznalcóllar (Spain) Tailings Dam. Mine Water Environ. *Springer.com/search?facet-discipline=%22Engineering%22,* 1-6. Obtenido de https://doi.org/10.1007/s10230-020-00712-8

Martínez, J. (2020). *¿Qué sabemos sobre las roturas de presas?* Instituto Geofísico del Perú, Ministerio del Ambiente. gob.pe/institucion/igp/noticias/85424-que-sabemos-sobre-las-roturas-de-represas

Martinez, J. C., & Tavera, H. M.–L. (2017). Modelado numérico de ruptura de presa de tierra y estimación del peligro de inundación de presa Yuracmayo – Lima. *Ministerio del Ambiente, Instituto Geofísico del Perú*. Obtenido de https://scts.igp.gob.pe/node/613

Melentijevic, S. (2005). *Resistencia de Macizo Rocoso.* [Tesis Doctoral].

Ministerio de Agricultura y Riego. (21 de abril de 2019). Proyecto gestión integrada de recursos hídricos en diez cuencas. *El Comercio*, p. 21.

Montalar, E. (2010). Nueva Instrucción de Acciones en Puentes de Carreteras. *Geotécnia Ingeniería* (p. 7). Madrid: IAP-11.

Nasrat Adamo, N. A.-A. (10 de July de 2020). Dam Safety Problems Related to Seepage. *Journal of Earth Sciences and Geotechnical Engineering, Scientific Press International Limited, 10*(6), 191-239. Obtenido de : https://www.researchgate.net/publication/342329857

Perez De Agreda, E. (2005). Las Catástrofes y el Progreso de la Geotécnia. *Sesión Inagural del Año de la Academia* (pp. 6-10). Impreso España.

Perez De Agreda, E. (2005). *Las Catastrofes y el Progreso de la Geotecnia, Madrid: Real Academia de Ingenieria.* Inagural del Año de la Academia.

Ramírez Orangoyen, P., & Alejano Monge, A. (2004). *Mecánica de Rocas fundamentos e Ingeniería de Taludes* . Universidad Politécnica de Madrid.

Shelton, J. (1966). *Geology Ilustrated.* San Francisco: W.H. Freeman and Company.

Soborza, V., Villalobos, F., & King, R. (2011). Estudio de la Estabilidad de Taludes en roca meteorizada en formación quiriquina. *Obras y Proyectos 9*, 38-48.

Sobrevilla, M. D. (2017). Lecciones aprendidas de las fallas de las presas. *Comite Peruano de Grandes Presas (Boletin-N°2-81)*. Obtenido de https://docplayer.es/58334922-Boletin-no-2-81-comite-peruano-de-grandes-presas-julio-agosto-2017.html

Taype Ramos, V. (2008). *Estabiliadad de Taludes en Obras de Ingeniería Civil*. Instituto Geológico Minero Metalúrgico INGEMMET.

Vallejo, L. G., Ferrer, M., Otoño, L., & Oteo, C. (2004). *Ingeniería Geológica.* Prentice Hall.

Vega Lupa, D. A. (s.f.). *Evaluación geológica y geotécnica para el estudio de factibilidad de la construcción de la presa Totoraccocha provincia de Acobamba, departamento de Huancavelica*. [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.

Wikifilosofia. (18 de Julio de 2014). *Definición de Sensibilidad en Filosofía*. Obtenido de https://www.wikifilosofia.net/definicion-de-sensibilidad-en-filosofia/

Zienkiewicz, S. (1970). *Mecánica de Rocas en la Ingeniería Práctica* . Blume.

# IX. ANEXOS

## *Anexo 1: Instrumentos y Fuentes de Recolección de Datos*

**ANEXO 01 Instrumentos y fuentes de recolección de datos**
**UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL**
**ESCUELA UNIVERSITARIA DE POST GRADO DOCTORADO EN INGENIERÍA CIVIL**
"Las discontinuidades asociadas a la sensitividad en rocas tipo granito – Cusco"

**1. Instrumento geológico de la zona (IGEO)***

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ubicación de la zona: | | | | | | | | | |
| Descripción de la roca: | | | | | | Tipo roca: | | | |
| Fecha: | | | | | | | | | |
| Ubicación: | | | | | | | | | |
| Plano definido | Angulo | Angulo | Angulo | Angulo | Angulo | Angulo | Angulo | Angulo | Angulo |
| Dirección del echado medido en sentido de las manecillas de reloj a partir del norte. | | | | | | | | | |
| Angulo del echado | | | | | | | | | |
| Definición del rumbo (N-S-E-W) | | | | | | | | | |
| Observaciones: | | | | | | | | | |

*Instrumento geológico

## *Anexo 2: Instrumento de propiedades índice (IPI)*

UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL
ESCUELA UNIVERSITARIA DE POST GRADO DOCTORADO EN INGENIERÍA CIVIL
"Las discontinuidades asociadas a la sensitividad en rocas tipo granito – Cusco"

**2. Contenido de agua en la roca (IPI)***
**3.**

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ubicación de la zona: | | | | | | | | | |
| Descripción de la roca: | | | | | | | Tipo roca: | | |
| Fecha: | | | | | | | | | |
| Ubicación | | | | | | | | | |
| Capsula n° | | | | | | | | | |
| Peso capsula(gr) | | | | | | | | | |
| Peso de capsula + roca humedad (gr) | | | | | | | | | |
| Peso de capsula + roca seca (gr) | | | | | | | | | |
| Peso del agua (gr) | | | | | | | | | |
| Peso de la roca seca (gr) | | | | | | | | | |
| Contenido de agua de la roca (%) | | | | | | | | | |

*Instrumento de propiedades índice

**3. Peso especifico relativo de partículas solidas de roca (IPI)***

| Ubicación de la zona: | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Descripcion de la roca: | | | | | | | Tipo roca: | | |
| Fecha | | | | | | | | | |
| Muestra | | | | | | | | | |
| Peso de frasco +agua Wfw(gr) | | | | | | | | | |
| Peso de muestra de roca seca (pasa Malla 200) | | | | | | | | | |
| Peso de frasco + P.agua+ P.muestra roca seca(Wfwsr) | | | | | | | | | |
| $Ss.r = \frac{Wsr}{Wsr+Wfw-Wfwsr}$ | | | | | | | | | |

*Instrumento de propiedades índice

**4. Peso volumétrico de la roca (IPI)***

| Ubicación de la zona: | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Descripción de la roca: | | | | | | | Tipo roca: | | |
| Fecha | | | | | | | | | |
| Muestra | | | | | | | | | |
| Altura (cm) | | | | | | | | | |
| Diámetro superior(cm) | | | | | | | | | |
| Peso de la muestra(gr) | | | | | | | | | |
| Área de muestra($cm^2$) | | | | | | | | | |
| Volumen de la muestra($cm^3$) | | | | | | | | | |
| Peso Volumétrico roca $g_{mr}$ ($gr/cm^3$) | | | | | | | | | |
| Contenido de agua de la roca(%) | | | | | | | | | |
| Peso Volumétrico seco roca $g_{dr}$ ($gr/cm^3$) | | | | | | | | | |

*Instrumento de propiedades índice

**5. Relación de vacíos y porosidad de roca (IPI)***

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ubicación de la zona: | | | | | | | | | |
| Descripción de la roca: | | | | | | | Tipo roca: | | |
| Fecha | | | | | | | | | |
| Muestra No | | | | | | | | | |
| Altura (cm) | | | | | | | | | |
| Diámetro superior(cm) | | | | | | | | | |
| Diámetro medio(cm) | | | | | | | | | |
| Diámetro inferior(cm) | | | | | | | | | |
| Volumen de la muestra Vm(cm3) | | | | | | | | | |
| Peso seco muestra can(gr) | | | | | | | | | |
| Contenido de agua muestra(%) | | | | | | | | | |
| Peso de solidos muestra Ws(gr) | | | | | | | | | |
| Peso especifico relativo partículas solidas | | | | | | | | | |
| Relación de vacíos. e | | | | | | | | | |
| Porosidad | | | | | | | | | |

*Instrumento de propiedades índice

**6. Alteracion de la roca (IPI)***

| Ubicación de la zona : | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Descripción de la roca:<br>Tipo de roca: | | | | | | | |
| Fecha: | | | | | | | |
| Hora inicio | Tiempo transcurrido segundos | Tiempo transcurrido minutos | Tiempo sumergido horas | Peso muestra seco gr | Peso muestra sumergida gr | Grado de alteracion | Alteracion % |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |

*Instrumento de propiedades indice

## 7. Compresión no confinada en especímenes de roca

| Ubicación de la zona : | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Descripción de la roca: | | | | | |
| Tipo de roca: | | | | | |
| Fecha: | | | | | |
| Características de la muestra | | | | | |
| Muestra N° | Diámetro muestra (cm) | Longitud muestra (cm) | Peso de la muestra (gr) | Volumen muestra ($cm^3$) | Densidad ($gr/cm^3$) |
| | | | | | |
| | | | | | |
| Deformación mm | Deformación unitaria | Carga Kg | Area $cm^2$ | Resistencia compresión ($Kg/cm^2$) | Resistencia compresión (Mpa) |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

## 8. Ensayo de compresión triaxial espécimen de roca

| Ubicación de la zona : | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Descripción de la roca: | | | | | | |
| Tipo de roca: | | | | | | |
| Fecha: | | | | | | |
| Muestra N° | Peso de la muestra (gr) | Diámetro muestra (cm) | Longitud muestra (cm) | Carga (kN) | $\sigma_1$ (esfuerzo de falla) (Mpa) | Densidad $g/cm^3$ |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |

***Anexo 3:*** *Instrumento de Discontinuidades (IDIS)*

**INSTRUMENTO No 3**
**DISCONTINUIDADES DE ROCA (IDIS)**
**UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL**
**ESCUELA UNIVERSITARIA DE POST GRADO DOCTORADO EN INGENIERIA CIVIL**

"Las discontinuidades asociadas a la sensitividad en rocas tipo granito – Cusco"

1. Discontinuidades de la roca (IDIS)*

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ubicación de la zona: | | | | | | | | | |
| Descripción de la roca: | | | | | | | Tipo roca: | | |
| Fecha | | | | | | | | | |
| Muestra No | | | | | | | | | |
| Altura (cm) | | | | | | | | | |
| Diámetro medio (cm) | | | | | | | | | |
| Numero fisuras | | | | | | | | | |
| Longitud (cm) | | | | | | | | | |
| Abertura (cm) | | | | | | | | | |
| Longitud(cm) | | | | | | | | | |
| Numero de espaciamiento | | | | | | | | | |
| Longitud del espaciamiento (cm) | | | | | | | | | |

*Instrumento discontnuidades

***Anexo 4: Instrumento de Sensitividad (ISEN)***

INSTRUMENTO No 4
UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL
ESCUELA UNIVERSITARIA DE POST GRADO DOCTORADO EN INGENIERIA CIVIL
"Las Discontinuidades asociadas a la sensitividad en rocas tipo granito – Cusco"

**1. Sensitividad tiempo presión (ISEN)***

| Muestra N° | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Condición | Flujo convergente Volumen($cm^3$) | | | | | Flujo divergente Volumen($cm^3$) | | | | | |
| Presión (bar) | | | | | | | | | | | |
| Tiempo(s) | | | | | | | | | | | |

(ISEN)*Instrumento de sensitividad

**2. Sensitividad caudal presión (ISEN)***

| Muestra N° | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Condición | Flujo convergente | | | | | Flujo divergente | | | | | |
| Presión (bar) | | | | | | | | | | | |
| Caudales($cm^3/s$) | | | | | | | | | | | |

(ISEN)*Instrumento de sensitividad

**ANEXO 01 Instrumentos y fuentes de recolección de datos**

UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL

ESCUELA UNIVERSITARIA DE POST GRADO DOCTORADO EN INGENIERÍA CIVIL

"Las discontinuidades asociadas a la sensitividad en rocas tipo granito – Cusco"

**1. Instrumento geológico de la zona (IGEO)***

| Ubicación de la zona : Km 107, Km 112 y Km 122 de la vía Férrea Cusco-Machupicchu-Central Hidroeléctrica Distrito de Machupicchu | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Descripción de la roca: Roca de textura fanerítica, rugosa (cuarzo, feldespato mic | | | | | | Tipo roca:granito | | | |
| Fecha: 10/11/2020 | | | | | | | | | |
| Ubicación: | Km 107 | | | Km 112 | | | Km 122 | | |
| Plano definido | Angulo | Angulo | Angulo | Angulo | Angulo | Angulo | Angulo | Angulo | Angulo |
| Dirección del echado medido en sentido de las manecillas de reloj a partir del norte. | 120° | 130° | 120 | 120° | 130° | 120 | 120° | 130° | 120 |
| Angulo del echado | 50° | 60° | 50° | 70 | 60 | 50° | 60 | 50° | 50° |
| Definición del rumbo (N-S-E-W) | N 45 O | N 50 O | N 45 O | N 45 E | N 50 E | N 45 E | N 45 E | N 50 E | N 45 E |
| Observaciones:<br>Roca tipo granito presenta discontinuidades (fisuras , aberturas) color blanco presencia de micas | | | | | | | | | |

*Instrumento geológico

UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL

ESCUELA UNIVERSITARIA DE POST GRADO DOCTORADO EN INGENIERIA CIVIL

"Las discontinuidades asociadas a la sensitividad en rocas tipo granito - Cusco"

**2. Contenido de agua en la roca (IPI)***

| Ubicación de la zona : Km 107, Km 112 y Km 122 de la vía Férrea Cusco-Machupichu-Hidroeléctrica, Distrito de Machupichu | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Descripción de la roca: Roca de textura fanerítica, rugosa (cuarzo, feldespato micas) | | | | | | | Tipo roca: granito | | |
| Fecha: 07/01/2020 | | | | | | | | | |
| Ubicación | Km 107 | | | Km 112 | | | Km 122 | | |
| Capsula No | C-1 | C-2 | C-3 | C-4 | C-5 | C-6 | C-7 | C-8 | C-9 |
| Peso capsula(gr) | 27,66 | 26,54 | 27,44 | 27,48 | 26,97 | 27,21 | 27,27 | 26,27 | 27,47 |
| Peso de capsula + roca humedad (gr) | 829,9 | 863,7 | 863,7 | 894,28 | 865,3 | 735,77 | 884,06 | 719,9 | 686,09 |
| Peso de capsula + roca seca (gr) | 829,01 | 862,9 | 862,6 | 893,41 | 864,6 | 734,93 | 883,03 | 719,1 | 685,28 |
| Peso del agua (gr) | 0,87 | 0,84 | 1,12 | 0,87 | 0,73 | 0,84 | 1,03 | 0,762 | 0,81 |
| Peso de la roca seca (gr) | 801,4 | 836,4 | 835,2 | 865,93 | 837,6 | 707,72 | 855,76 | 692,8 | 657,81 |
| Contenido de agua de la roca(%) | 0,109 | 0,100 | 0,134 | 0,100 | 0,087 | 0,119 | 0,120 | 0,110 | 0,123 |

*Instrumento de propiedades indice

UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL
ESCUELA UNIVERSITARIA DE POST GRADO DOCTORADO EN INGENIERÍA CIVIL
"Las discontinuidades asociadas a la sensitividad en rocas tipo granito – Cusco"

**3. Peso especifico relativo de particulas solidas de la roca (IPI)***

| Ubicación de la zona : Km 107, Km 112 y Km 122 de la vía Férrea Cusco-Machupicchu-Central Hidroeléctrica, Distrito de Machupicchu | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Descripción de la roca: Roca de textura fanerítica, rugosa (cuarzo, feldespato micas) | | | | | | | Tipo roca: granito | | |
| Fecha: 23/01/2020 | | | | | | | | | |
| Ubicación | Km 107 | | | Km 112 | | | Km 122 | | |
| Muestra n.° | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| Peso de frasco +agua Wfw(gr) | 647,53 | 641,1 | 646,62 | 648,53 | 647,53 | 648,53 | 647,53 | 648,53 | 648,53 |
| Peso de muestra de roca seca (pasa Malla 200) | 100 | 144,09 | 157,26 | 280,78 | 100 | 280,78 | 100 | 280,78 | 280,78 |
| Peso de frasco + P.agua+ P.muestra roca seca(Wfwsr) | 709,77 | 730,53 | 744,87 | 823,11 | 709,77 | 823,15 | 709,77 | 823,15 | 823,15 |
| $Ss.r = \frac{Wsr}{Wsr+Wfw-Wfwsr}$ | 2,648 | 2,636 | 2,665 | 2,644 | 2,648 | 2,645 | 2,648 | 2,645 | 2,645 |

*Instrumento de propiedades índice

UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL
ESCUELA UNIVERSITARIA DE POST GRADO DOCTORADO EN INGENIERÍA CIVIL
"Las discontinuidades asociadas a la sensitividad en rocas tipo granito – Cusco"

**4 . Peso volumétrico de la roca (IPI)***

| Ubicación de la zona : Km 107, Km 112 y Km 122 de la vía Férrea Cusco-Machupicchu-Central Hidroeléctrica Distrito de Machupicchu | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Descripción de la roca: Roca de textura fanerítica, rugosa (cuarzo, feldespato micas) | | | | | | | Tipo roca: granito | | |
| Fecha: 14/01/2020 | | | | | | | | | |
| Ubicación | Km 107 | | | Km 112 | | | Km 122 | | |
| Muestra n.° | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| Altura (cm) | 14,20 | 13,90 | 13,70 | 14,30 | 14,19 | 14,31 | 14,11 | 14,20 | 14,63 |
| Diámetro superior(cm) | 5,50 | 5,50 | 5,50 | 5,50 | 5,50 | 5,50 | 5,50 | 5,50 | 5,50 |
| Peso de la muestra(gr) | 856,79 | 838,37 | 830,10 | 866,80 | 856,79 | 862,48 | 857,01 | 850,49 | 878,99 |
| Área de muestra(cm2) | 23,76 | 23,76 | 23,76 | 23,76 | 23,76 | 23,76 | 23,76 | 23,76 | 23,76 |
| Volumen de la muestra(cm3) | 337,32 | 330,20 | 325,53 | 339,79 | 337,19 | 339,96 | 335,16 | 337,36 | 347,56 |
| Peso Volumetrico roca $g_{mr}$(gr/cm$^3$) | 2,540 | 2,539 | 2,550 | 2,551 | 2,541 | 2,537 | 2,557 | 2,521 | 2,529 |
| Contenido de agua de la roca(%) | 0,12 | 0,10 | 0,13 | 0,10 | 0,09 | 0,10 | 0,12 | 0,11 | 0,12 |
| Peso Volumetrico seco roca$g_{dr}$(gr/cm$^3$) | 2,537 | 2,536 | 2,547 | 2,548 | 2,539 | 2,534 | 2,554 | 2,518 | 2,526 |

*Instrumento de propiedades indice

UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL
ESCUELA UNIVERSITARIA DE POST GRADO DOCTORADO EN INGENIERÍA CIVIL
"Las discontinuidades asociadas a la sensitividad en rocas tipo granito – Cusco"

**5. Relacion de vacíos y porosidad de de roca (IPI)***

| Ubicación de la zona : Km 107, Km 112 y Km 122 de la vía Férrea Cusco-Machupicchu-Central Hidroeléctrica Distrito de Machupicchu | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| D descripción de la roca: Roca de textura fanerítica, rugosa (cuarzo, feldespato micas) | | | | | | | Tipo roca: granito | | |
| Fecha: 28/01/2020 | | | | | | | | | |
| Ubicación | Km 107 | | | Km 112 | | | Km 122 | | |
| Muestra n.° | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| Altura (cm) | 14,2 | 13,9 | 13,7 | 14,3 | 14,2 | 12 | 14,4 | 14,2 | 11,30 |
| Diámetro superior(cm) | 5,5 | 5,5 | 5,5 | 5,5 | 5,5 | 5,5 | 5,5 | 5,5 | 5,5 |
| Diámetro medio(cm) | 5,5 | 5,5 | 5,5 | 5,5 | 5,5 | 5,5 | 5,5 | 5,5 | 5,5 |
| Diámetro inferior(cm) | 5,5 | 5,5 | 5,5 | 5,5 | 5,5 | 5,5 | 5,5 | 5,5 | 5,5 |
| Volumen de la muestra Vm(cm3) | 337,37 | 330,24 | 325,49 | 339,74 | 337,37 | 285,10 | 342,12 | 337,37 | 268,47 |
| Peso seco muestra can(gr) | 856,79 | 838,37 | 830,1 | 866,88 | 856,79 | 708,56 | 857,01 | 850,49 | 678,99 |
| Contenido de agua muestra(%) | 0,119 | 0,100 | 0,134 | 0,100 | 0,087 | 0,119 | 0,120 | 0,110 | 0,123 |
| Peso de solidos muestra Ws(gr) | 855,77 | 837,53 | 828,99 | 866,01 | 856,05 | 707,72 | 855,98 | 849,56 | 678,16 |
| Peso especifico relativo partículas solidas | 2,648 | 2,636 | 2,665 | 2,644 | 2,648 | 2,645 | 2,648 | 2,645 | 2,646 |
| Relación de vacíos. e | 0,044 | 0,039 | 0,046 | 0,037 | 0,044 | 0,066 | 0,058 | 0,050 | 0,047 |
| Porosidad(%) | 4,21 | 3,79 | 4,43 | 3,59 | 4,18 | 6,15 | 5,51 | 4,79 | 4,53 |

*Instrumento de propiedades indice

**UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL**
**ESCUELA UNIVERSITARIA DE POST GRADO DOCTORADO EN INGENIERIA CIVIL**
"Las discontinuidades asociadas a la sensitividad en rocas tipo granito – Cusco"

6. Determinacion grado de alteracion de la roca (IPI)*

| Ubicación de la zona : Km 107, Km 112 y Km 122 de la vía Férrea Cusco-Machupichu-Hidroeléctrica | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Descripción de la roca: Roca de textura fanerítica, rugosa (cuarzo, feldespato micas)<br>Tipo de roca: granito | | | | | | | |
| Fecha: 19/04/2021 | | | | | | | |
| Hora inicio | Tiempo transcurrido días | Tiempo transcurrido minutos | Tiempo sumergido horas | Peso muestra seco gr | Peso muestra sumergida gr | Grado de alteracion | Alteracion % |
| 8.00 am | 19/04/2021 | 0,5 | 0,008 | 178,66 | 179,08 | 0,002 | 0,24 |
| | | 1 | 0,02 | | 179,14 | 0,003 | 0,27 |
| 9.00am | | | 1 | | 179,42 | 0,004 | 0,43 |
| | | | 1,5 | | 179,43 | 0,004 | 0,43 |
| 10.00am | | | 2 | | 179,52 | 0,005 | 0,48 |
| 11.00am | | | 3 | | 179,56 | 0,005 | 0,50 |
| 6.00pm | | | 10 | | 179,62 | 0,005 | 0,54 |
| 8.00am | 20/04/2021 | | 24 | | 179,64 | 0,005 | 0,57 |
| 8.00am | 21/04/2021 | | 48 | | 179,7 | 0,006 | 0,58 |
| 8.00am | 23/04/2021 | | 96 | | 179,72 | 0,006 | 0,59 |
| 8.00am | 24/04/2021 | | 120 | | 179,72 | 0,006 | 0,59 |
| 8.00am | 17/05/2021 | | 384 | | 179,73 | 0,006 | 0,60 |

*=Instrumento de propiedades índice

**Tabla 33**

***Registro de datos de tiempos flujo convergente y divergente, una fisura***

| Condición | Flujo convergente | | | | | Flujo divergente | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Volumen ($cm^3$) | 10 | | | | | 5 | | | | | |
| Presión (bar) | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 1 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 |
| | 25,91 | 17,21 | 13,76 | 12,9 | 11,24 | 76,92 | 25,77 | 7,59 | 3,32 | 1,76 | 1,1 |
| | 25,84 | 17,09 | 13,74 | 12,84 | 11,27 | 79,37 | 25,91 | 7,65 | 3,31 | 1,8 | 1,11 |
| | 26,04 | 17,24 | 13,79 | 12,94 | 11,29 | 78,13 | 26,32 | 7,62 | 3,34 | 1,79 | 1,09 |
| Tiempo (s) | 25,71 | 17,15 | 13,81 | 12,85 | 11,26 | 80,65 | 25,64 | 7,61 | 3,33 | 1,77 | 1,1 |
| | 25,77 | 17,12 | 13,79 | 12,84 | 11,21 | 78,13 | 26,04 | 7,6 | 3,32 | 1,79 | 1,14 |
| | 25,97 | 17,18 | 13,72 | 12,76 | 11,25 | 76,92 | 25,77 | 7,59 | 3,3 | 1,78 | 1,12 |
| | 26,11 | 17,27 | 13,77 | 12,87 | 11,3 | 75,76 | 26,18 | 7,58 | 3,32 | 1,75 | 1,13 |

**Tabla 34**

***Registro de datos de tiempos flujo convergente y divergente dos fisuras***

| Condición | Flujo convergente | | | | | Flujo divergente | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Volumen ($cm^3$) | 10 | | | | | 5 | | | | | |
| Presión (bar) | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 1 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 |
| | 27,7 | 21,28 | 14,95 | 11,76 | 10,72 | 65,79 | 28,74 | 9,94 | 4,33 | 2,17 | 1,12 |
| | 27,62 | 21,32 | 14,97 | 11,75 | 10,74 | 69,44 | 28,57 | 9,92 | 4,32 | 2,14 | 1,11 |
| | 27,4 | 21,14 | 15,04 | 11,72 | 10,76 | 67,57 | 28,25 | 9,98 | 4,35 | 2,15 | 1,13 |
| | 27,78 | 21,05 | 14,95 | 11,74 | 10,75 | 70,42 | 28,57 | 9,94 | 4,36 | 2,16 | 1,1 |
| Tiempo (s) | 27,55 | 21,41 | 15,02 | 11,68 | 10,73 | 67,57 | 28,9 | 9,96 | 4,34 | 2,15 | 1,15 |
| | 27,47 | 21,37 | 14,88 | 11,67 | 10,79 | 66,67 | 28,09 | 9,94 | 4,3 | 2,15 | 1,13 |
| | 27,32 | 21,19 | 14,97 | 11,7 | 10,71 | 64,94 | 28,57 | 9,9 | 4,33 | 2,16 | 1,17 |
| | 27,4 | 21,1 | 14,9 | 11,66 | | 68,49 | 29,24 | 9,94 | 4,34 | 2,15 | 1,13 |
| | 27,25 | 20,92 | 14,93 | 11,71 | | 64,1 | 28,74 | 9,86 | 4,31 | 2,15 | 1,12 |
| | 27,55 | 21,23 | 14,97 | 11,72 | | 68,49 | 28,41 | 9,96 | 4,3 | 2,15 | 1,15 |

**Tabla 35**

***Registro de datos de tiempos flujo convergente y divergente tres a más fisuras***

| Condición | Flujo convergente | | | | | Flujo divergente | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Volumen ($cm^3$) | 10 | | | | | 5 | | | | | |
| Presión (bar) | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 1 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 |
| | 29,33 | 21,55 | 16,37 | 12,89 | 11,33 | 58,82 | 23,47 | 7,56 | 3,32 | 1,71 | 1,10 |
| | 29,5 | 21,60 | 16,26 | 12,85 | 11,34 | 60,98 | 23,7 | 7,62 | 3,31 | 1,74 | 1,13 |
| | 29,41 | 21,51 | 16,39 | 12,95 | 11,3 | 61,73 | 23,58 | 7,52 | 3,34 | 1,75 | 1,12 |
| | 29,24 | 21,55 | 16,34 | 12,9 | 11,29 | 57,47 | 23,36 | 7,6 | 3,32 | 1,76 | 1,17 |
| Tiempo (s) | 29,15 | 21,60 | 16,23 | 12,85 | 11,35 | 60,24 | 23,47 | 7,59 | 3,38 | 1,77 | 1,16 |
| | 29,59 | 21,69 | 16,29 | 12,92 | 11,3 | 59,52 | 23,15 | 7,67 | 3,36 | 1,75 | 1,18 |
| | 29,67 | 21,55 | 16,31 | 12,94 | 11,31 | 58,14 | 23,36 | 7,55 | 3,37 | 1,79 | 1,12 |
| | 29,41 | 21,65 | 16,21 | 12,92 | 11,27 | 59,52 | 23,26 | 7,54 | 3,34 | 1,74 | 1,15 |
| | 29,50 | 21,46 | 16,31 | 12,9 | 11,26 | 58,82 | 23,58 | 7,58 | 3,35 | 1,72 | 1,13 |
| | 29,07 | 21,41 | 16,31 | 12,9 | | 60,98 | 23,47 | 7,6 | 3,33 | 1,78 | 1,14 |

## *Anexo 5: Mapas y planos*

### *Figura 26*

*Ubicación de la zona de estudio Km 107 – 122 de la vía férrea Cusco – Machupicchu*

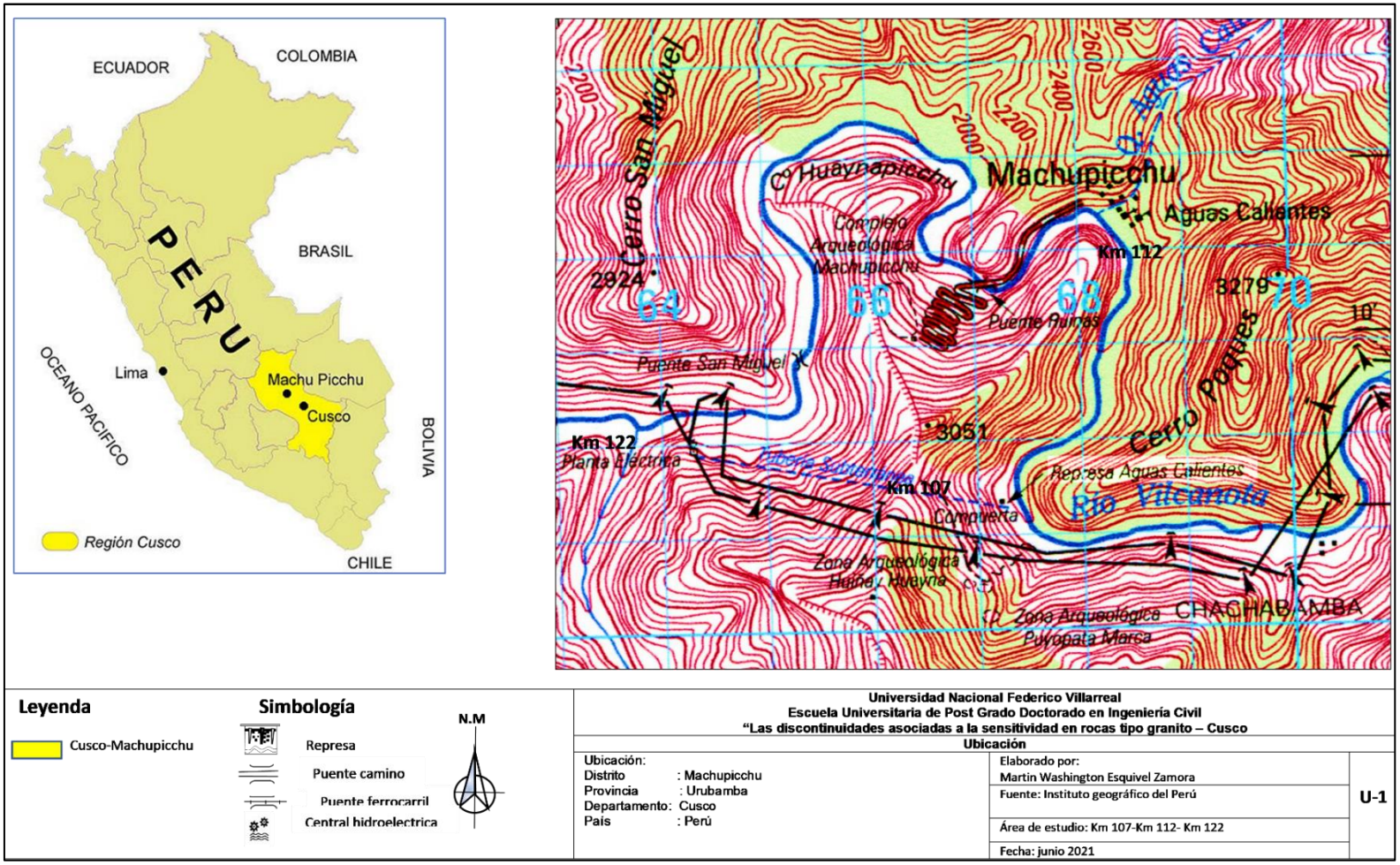


***Figura 27***

*Ubicación de la zona de estudio Km 107 – 122 de la vía férrea Cusco – Machupicchu*

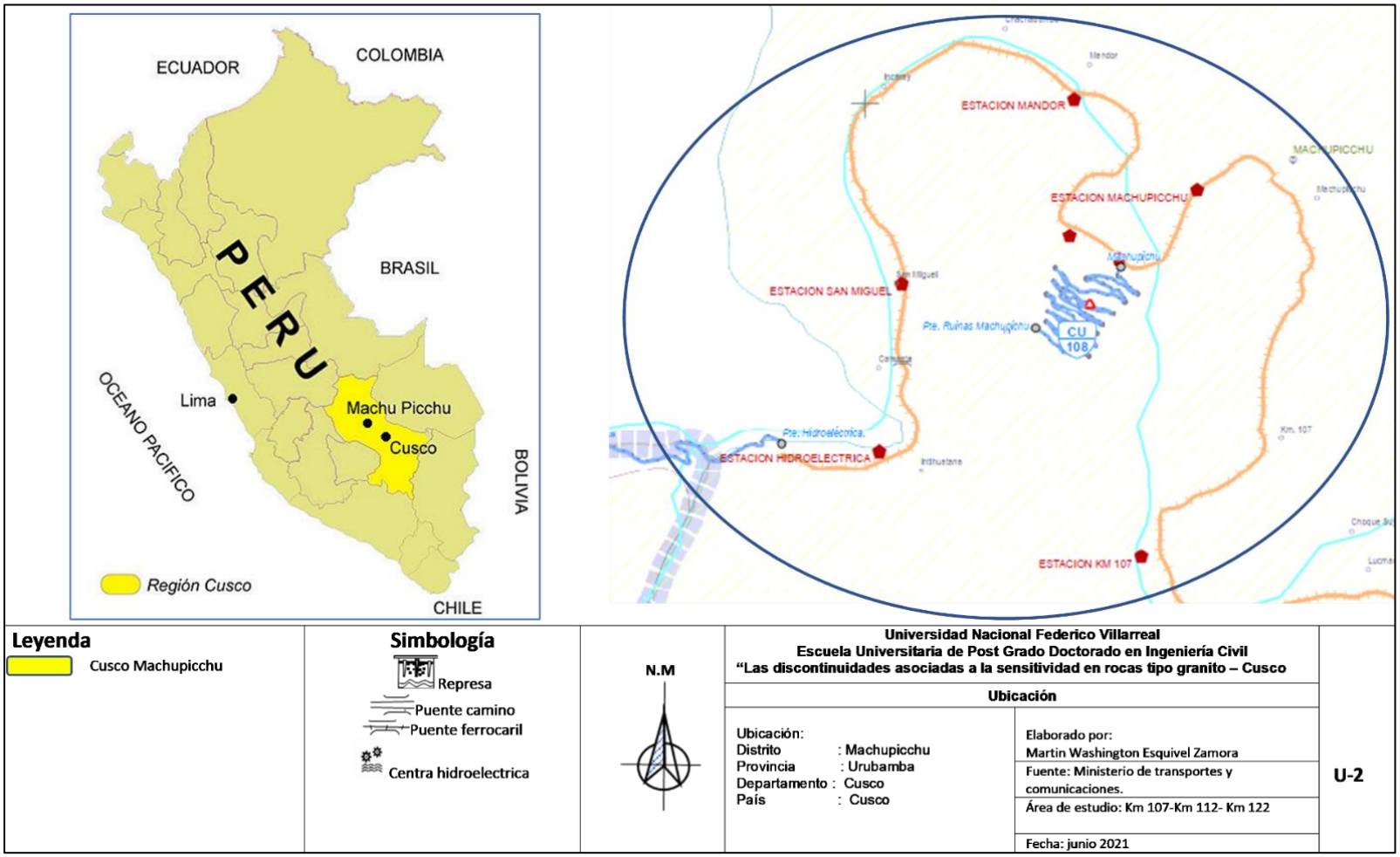
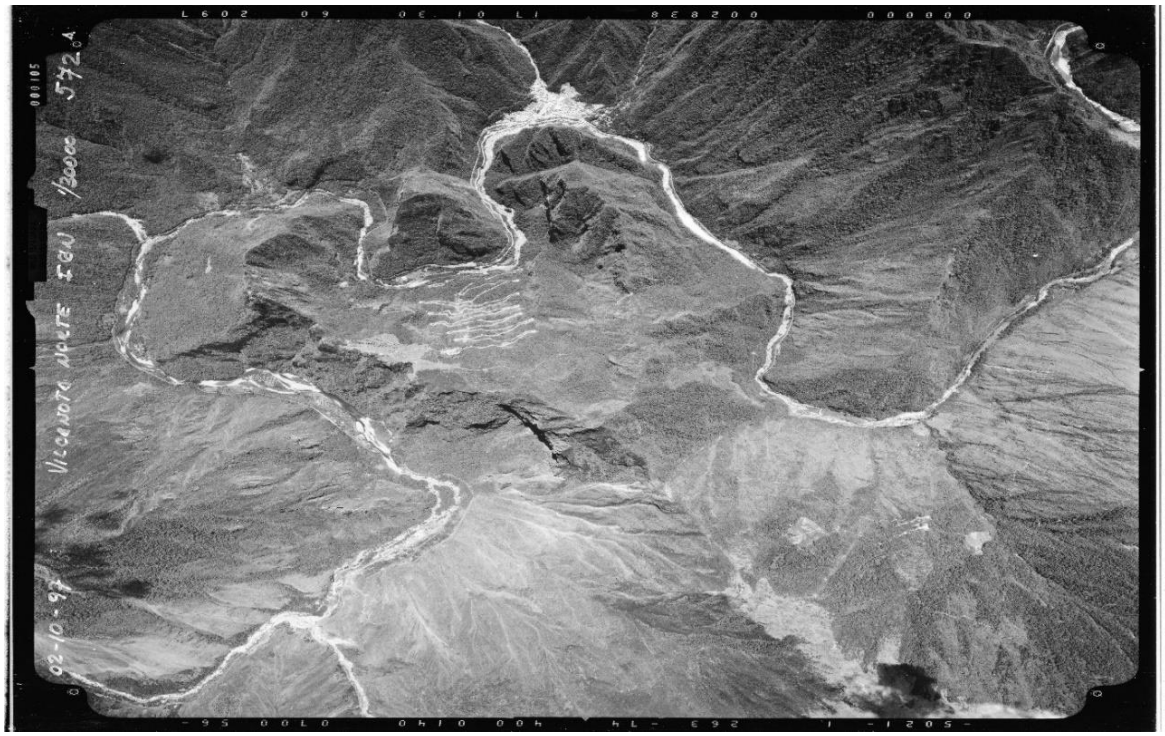


***Figura 28***

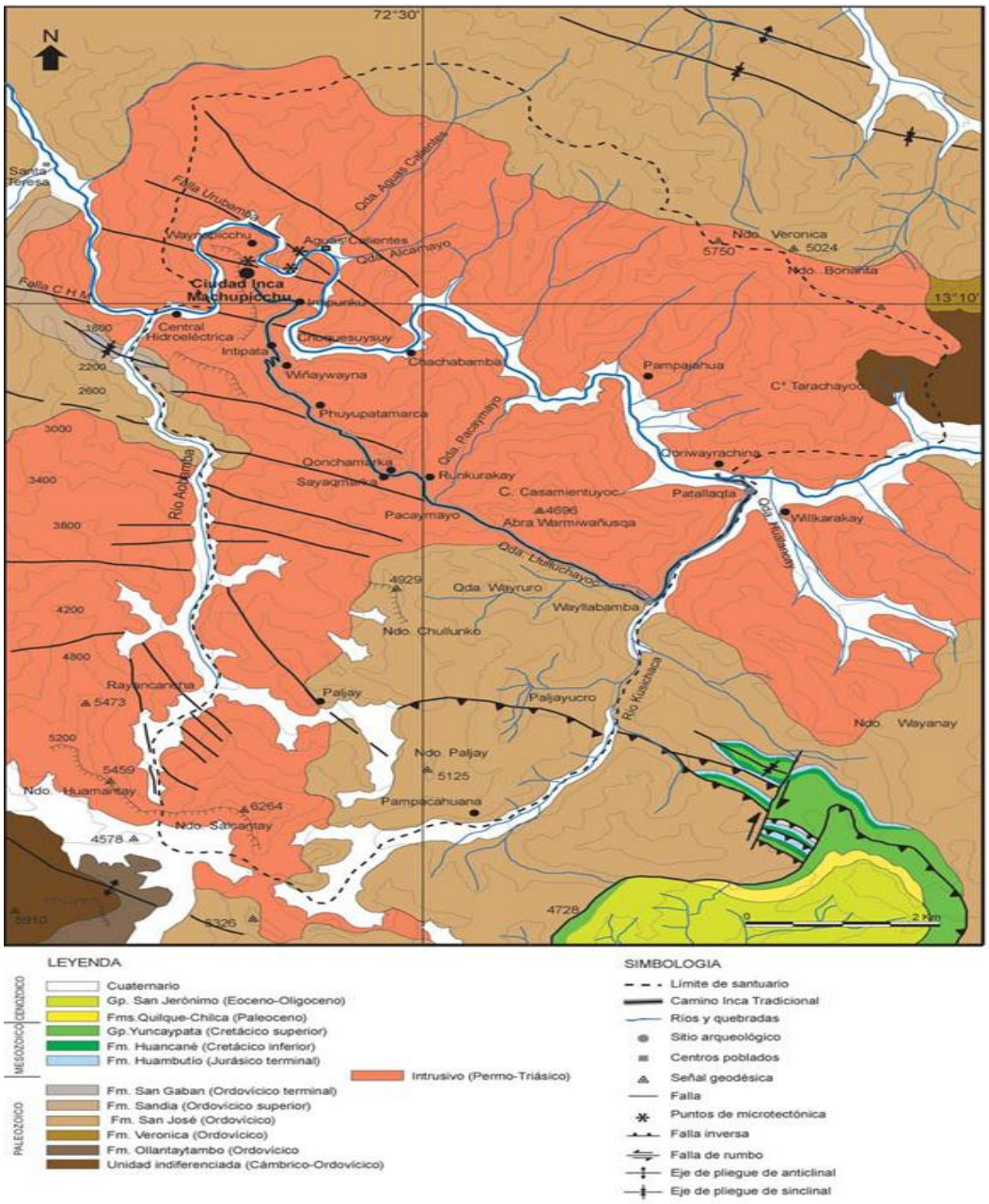
*Fotografía aérea de la zona de estudio Km 107 – 122*



*Fuente*. Instituto Geográfico Nacional

***Figura 29***

*Mapa geológico del cuadrángulo de Machupicchu*




*Fuente*. Ingemet Geología de los cuadrángulos de Quillabamba y Machu Picchu, hojas: 26-q y 27-q – (Boletín A 127)

***Figura 30***

*Toma de muestra con broca NX*

***Figura 31***

*Muestras de la roca tipo granito*

***Figura 32***

*Muestras de roca tipo granito*

***Figura 33***

*Medidas de las discontinuidades fisura y aberturas y espaciamiento*

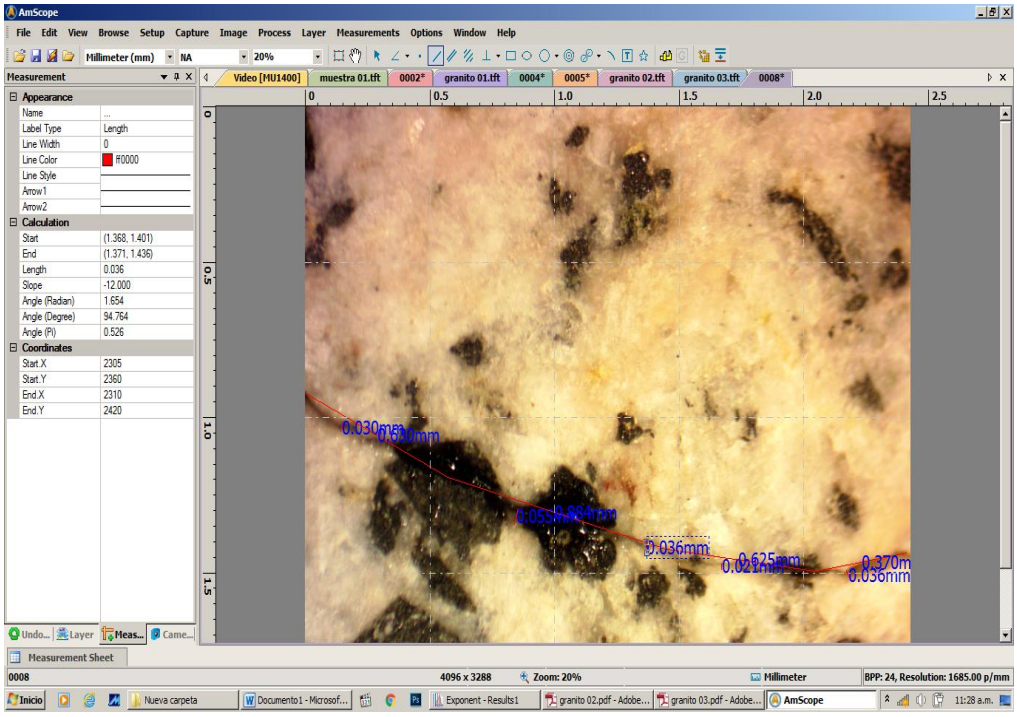


***Figura 34***

*Medidas de las discontinuidades fisura y aberturas y espaciamiento*

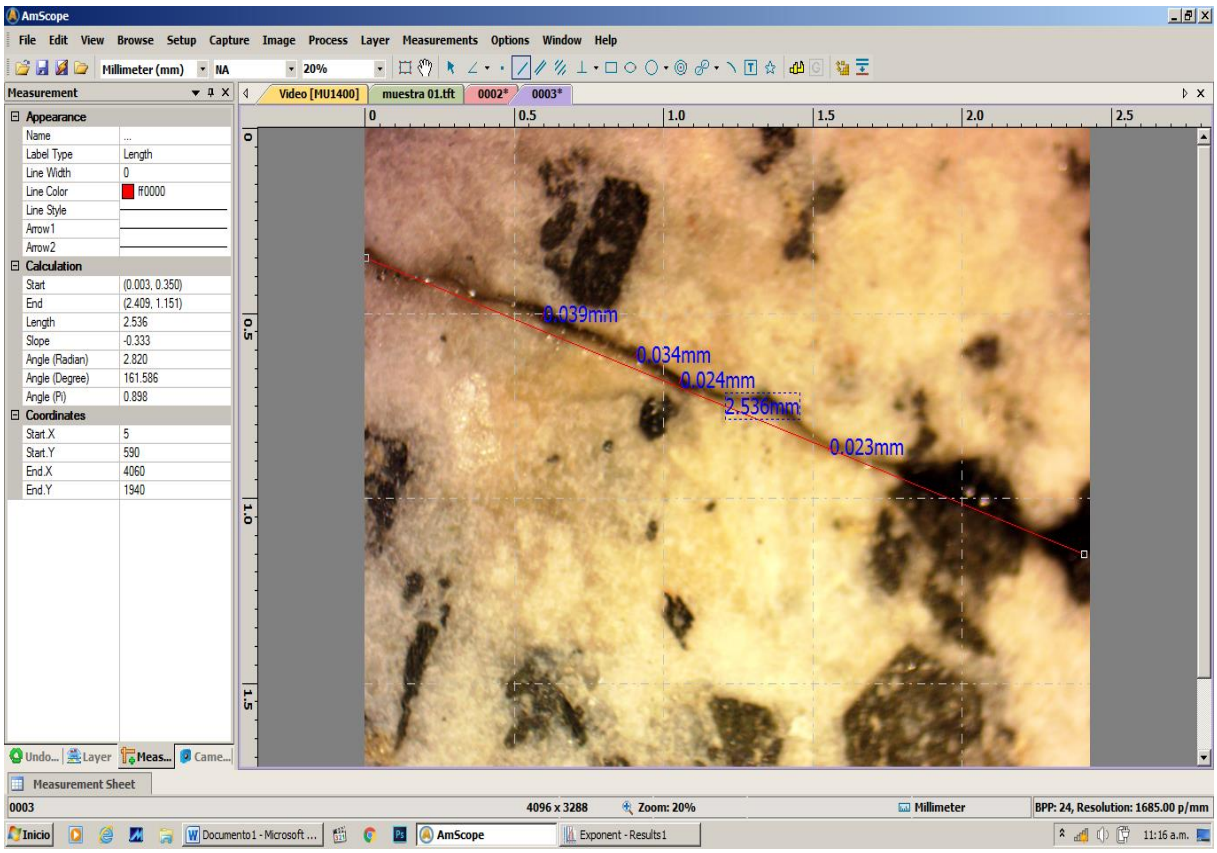


***Figura 35***

*Medida de las discontinuidades fisura y aberturas y espaciamiento*

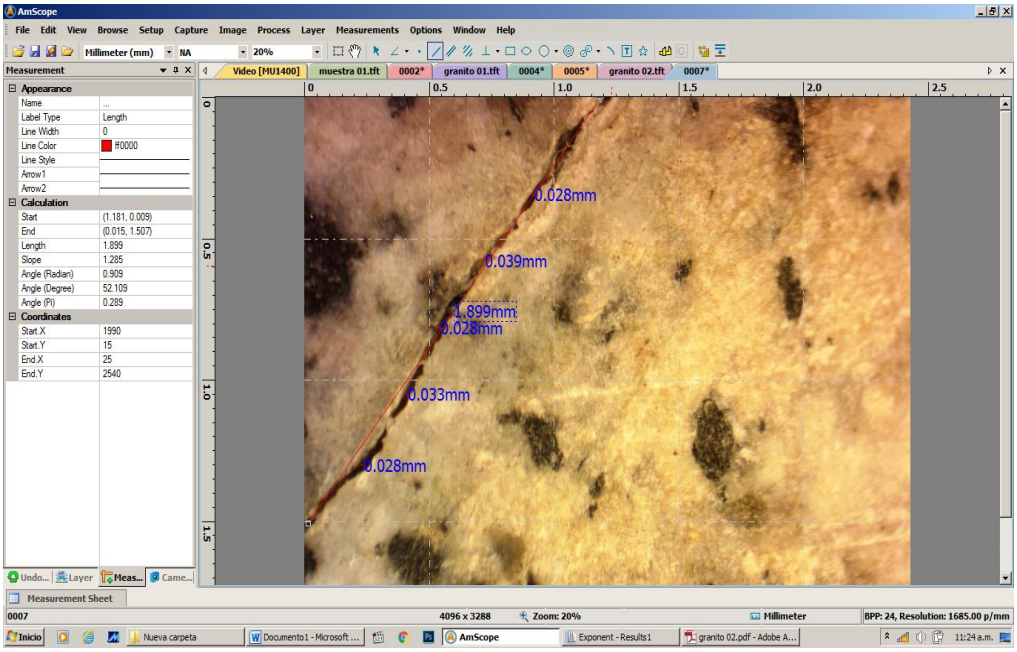



***Figura 36***

*Medida de las discontinuidades fisura, aberturas y espaciamiento*

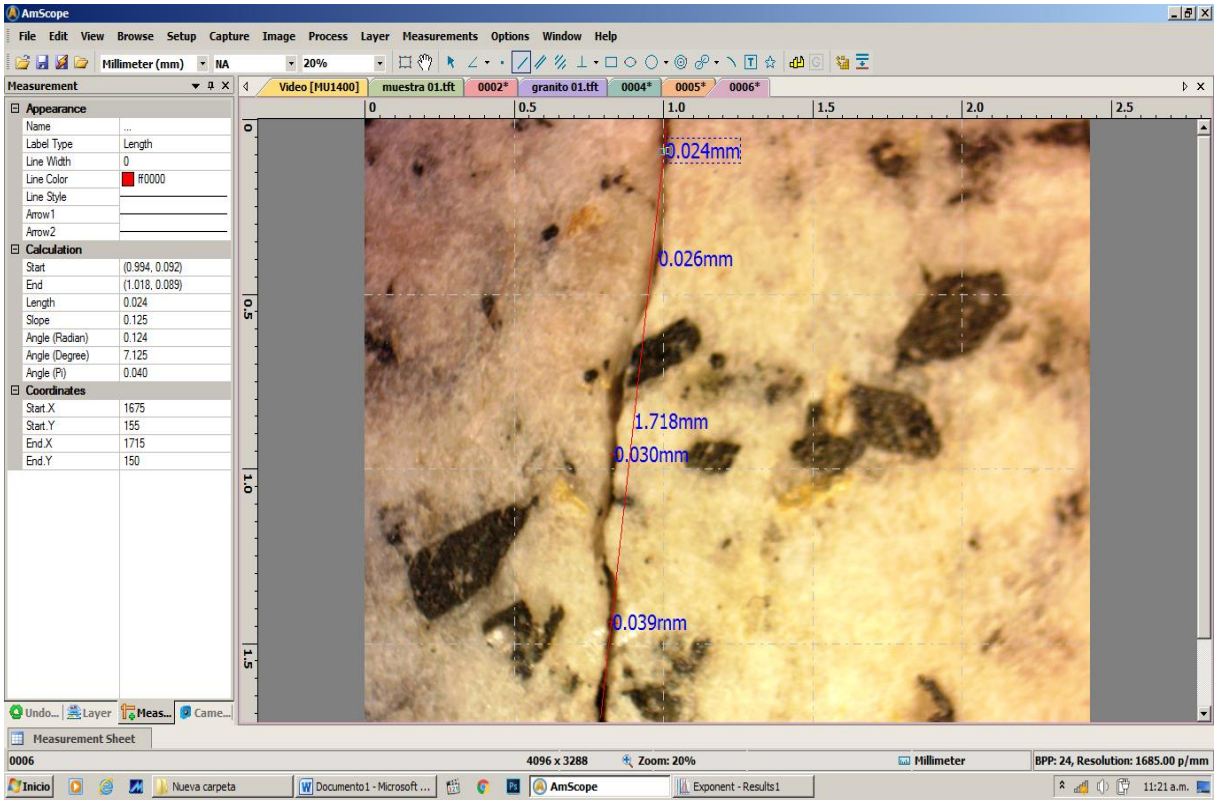


***Figura 37***

*Esquema del equipo para evaluar la permeabilidad divergente*

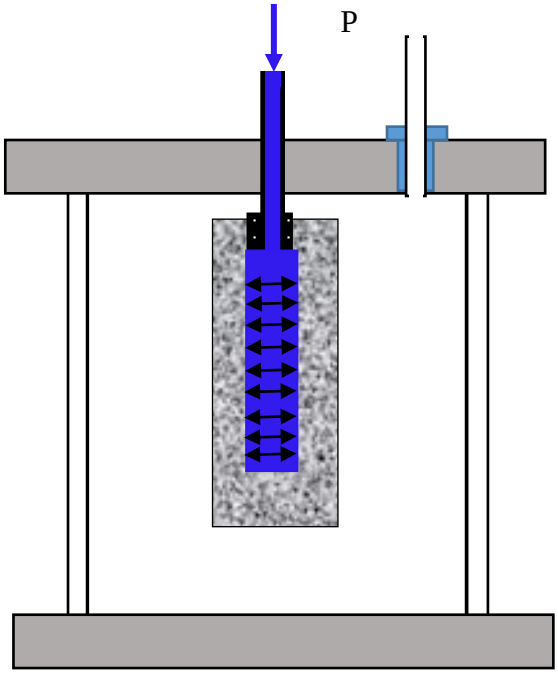



***Figura 38***

*Esquema del equipo para evaluar la permeabilidad convergente*

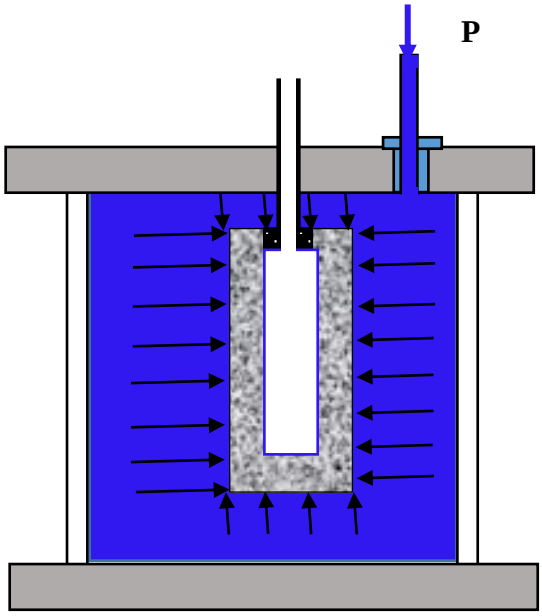


***Figura 39***

*Medida de las discontinuidades fisura, aberturas y espaciamiento*

***Figura 40***

*Medida de muestras de discontinuidades fisura, aberturas y espaciamiento*

***Figura 41***

*Ensayo para determinar el peso específico relativo de partículas sólidas*

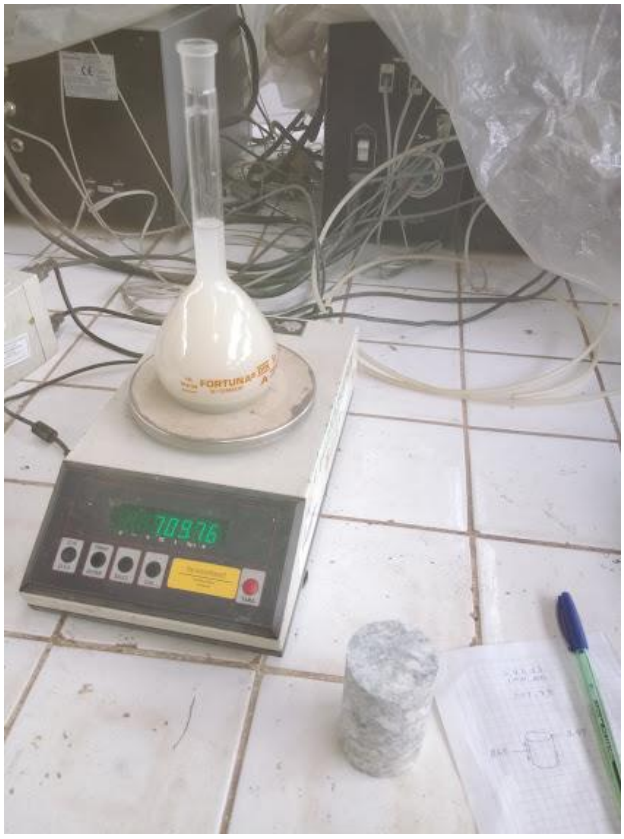


***Figura 42***

*Microscopio para determinar dimensiones*

***Figura 43***

*Discontinuidades in-situ del macizo rocoso*

***Figura 44***

*Discontinuidades in-situ del macizo rocoso*

***Figura 45***

*Discontinuidades in-situ del macizo rocoso*

***Figura 46***

*Medida de muestras de discontinuidades fisura, aberturas y espaciamiento*

***Figura 47***

*Medida de muestras de discontinuidades fisura, aberturas y espaciamiento*

***Figura 48***

*Discontinuidades in-situ del macizo rocoso*

***Figura 49***

*Equipo para el ensayo de permeabilidad con flujo convergente*

***Figura 50***

*Muestras para el ensayo de permeabilidad con flujo divergente*

***Figura 51***

*Equipo para el ensayo de permeabilidad con Flujo convergente*

***Figura 52***

*Equipo para el ensayo de permeabilidad con Flujo divergente y convergente*

***Figura 53***

*Foto in -situ de estudio de discontinuidades Km 112 Cusco - Machupicchu*

***Figura 54***

*Foto in -situ de estudio de discontinuidades Km 112 Cusco - Machupicchu*

***Figura 55***

*Medida de las discontinuidades por microscopio*

**Tabla 36**

***Registro de datos de tiempos y presiones de flujo convergente y divergente una fisura***

| Condición | Flujo convergen | | | | | Flujo divergente | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Volumen ($cm^3$) | 10 | | | | | 5 | | | | |
| Presión (bars) | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 1 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 |
| | 25,91 | 17,2 | 13,76 | 12,90 | 11,24 | 76,9 | 25,77 | 7,59 | 3,32 | 1,76 | 1,10 |
| | 25,84 | 17,1 | 13,74 | 12,84 | 11,27 | 79,4 | 25,91 | 7,65 | 3,31 | 1,8 | 1,11 |
| | 26,04 | 17,2 | 13,79 | 12,94 | 11,29 | 78,1 | 26,32 | 7,62 | 3,34 | 1,79 | 1,09 |
| Tiempo (s) | 25,71 | 17,2 | 13,81 | 12,85 | 11,26 | 80,7 | 25,64 | 7,61 | 3,33 | 1,77 | 1,1 |
| | 25,77 | 17,1 | 13,79 | 12,84 | 11,21 | 78,1 | 26,04 | 7,6 | 3,32 | 1,79 | 1,14 |
| | 25,97 | 17,2 | 13,72 | 12,76 | 11,25 | 76,9 | 25,77 | 7,59 | 3,3 | 1,78 | 1,12 |
| | 26,11 | 17,3 | 13,77 | 12,87 | 11,30 | 75,76 | 26,18 | 7,58 | 3,32 | 1,75 | 1,13 |

*Fuente.* Elaboración en el proceso del estudio

**Tabla 37**

***Curva de normalidad flujo convergente tiempos. Una fisura***

*Pruebas de normalidad*

| Flujo convergente tiempos: Una fisura | Kolmogorov-Smirnov[a] | | | Shapiro-Wilk | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Estadístico | gl | Sig. | Estadístico | gl | Sig. |
| P=10 bars | 0,115 | 7 | ,200* | 0,977 | 7 | 0,944 |
| P=20 bars | 0,108 | 7 | ,200* | 0,978 | 7 | 0,949 |
| P=30 bars | 0,182 | 7 | ,200* | 0,968 | 7 | 0,88 |
| P=40 bars | 0,237 | 7 | ,200* | 0,956 | 7 | 0,784 |
| P=50 bars | 0,123 | 7 | ,200* | 0,979 | 7 | 0,956 |

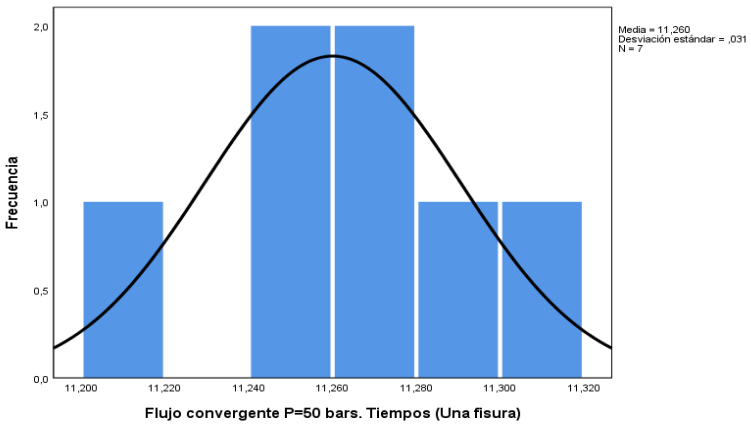
*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

*Fuente*. Elaboración en el proceso del estudio

**Figura 56**

*Curva de normalidad flujo convergente P=50 bars tiempos para una fisura*




*Fuente*. Elaboración en el proceso del estudio

**Tabla 38**

***Curva de normalidad flujo divergente tiempos. Una fisura***

*Pruebas de normalidad*

| Flujo divergente tiempos: Una fisura | Kolmogorov-Smirnov[a] | | | Shapiro-Wilk | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Estadístico | gl | Sig. | Estadístico | gl | Sig. |
| P=1 bars | 0,179 | 7 | ,200* | 0,963 | 7 | 0,846 |
| P=2 bars | 0,194 | 7 | ,200* | 0,953 | 7 | 0,758 |
| P=4 bars | 0,175 | 7 | ,200* | 0,915 | 7 | 0,429 |
| P=6 bars | 0,214 | 7 | ,200* | 0,96 | 7 | 0,819 |
| P=8 bars | 0,191 | 7 | ,200* | 0,955 | 7 | 0,772 |
| P=10 bars | 0,191 | 7 | ,200* | 0,955 | 7 | 0,772 |

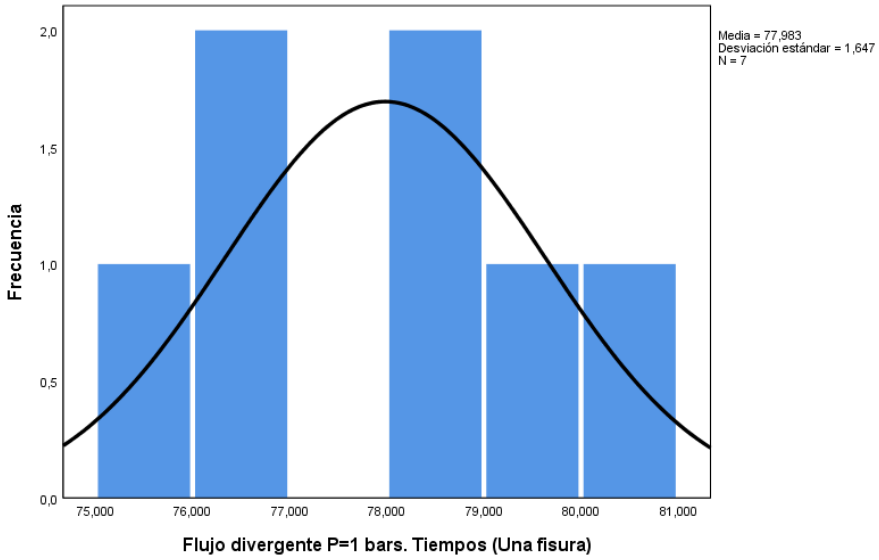
*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

*Fuente*. Elaboración en el proceso del estudio

***Figura 57***

*Curva de normalidad flujo divergente P=1 bars tiempos para una fisura*




*Fuente.* Elaboración en el proceso del estudio

**Tabla 39**

***Registro de datos de tiempos de flujo convergente y divergente: abertura 0.1mm***

| Condición | Flujo convergente | | | | | Flujo divergente | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Volumen ($cm^3$) | 10 | | | | | 5 | | | | | |
| Presión (bar) | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 1 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 |
| | 32,26 | 20,2 | 13,72 | 11,24 | 9,83 | 35,46 | 15,43 | 6,44 | 3,31 | 1,8 | 0,85 |
| | 32,05 | 20,24 | 13,7 | 11,21 | 9,85 | 34,97 | 15,38 | 6,45 | 3,33 | 1,82 | 0,86 |
| | 31,75 | 20,28 | 13,72 | 11,26 | 9,83 | 35,21 | 15,53 | 6,43 | 3,32 | 1,75 | 0,85 |
| | 31,95 | 20,24 | 13,74 | 11,24 | 9,86 | 34,48 | 15,43 | 6,47 | 3,34 | 1,78 | 0,84 |
| Tiempo (s.) | 32,15 | 20,16 | 13,76 | 11,24 | 9,87 | 34,72 | 15,48 | 6,43 | 3,33 | 1,81 | 0,82 |
| | 31,65 | 20,16 | 13,72 | 11,27 | 9,82 | 35,21 | 15,29 | 6,41 | 3,35 | 1,76 | 0,87 |
| | 31,85 | 20,12 | 13,76 | 11,2 | 9,84 | 35,71 | 15,38 | 6,42 | 3,3 | 1,79 | 0,84 |
| | 31,55 | | 13,74 | 11,22 | 9,83 | 34,97 | 15,48 | 6,45 | 3,36 | 1,74 | 0,81 |
| | 32,05 | | 13,72 | 11,27 | 9,8 | 34,25 | 15,43 | 6,47 | 3,38 | 1,77 | 0,87 |
| | 31,85 | | 13,77 | 11,25 | | 34,01 | 15,34 | 6,46 | 3,31 | 1,83 | 0,88 |

*Fuente.* Elaboración en el proceso del estudio

**Tabla 40**

***Registro de datos de tiempos de flujo convergente y convergente: abertura 0.1mm***

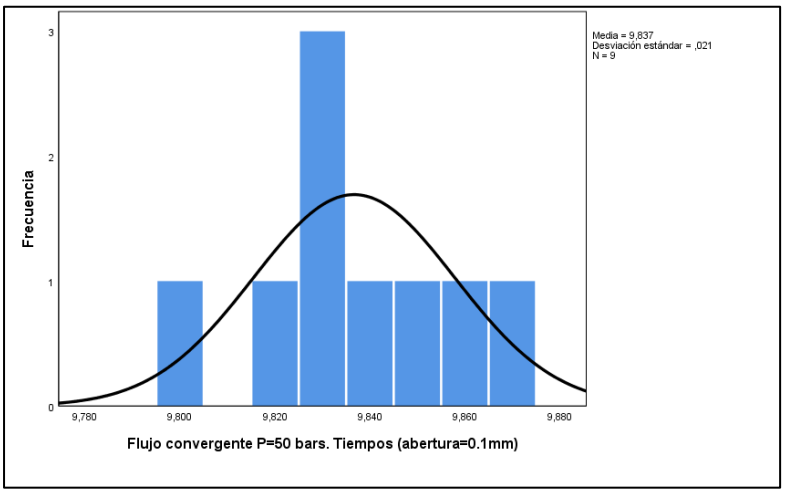
| Flujo convergente tiempo (abertura 0.01cm) | Pruebas de normalidad | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Kolmogorov-Smirnov[a] | | | Shapiro-Wilk | | |
| | Estadístico | gl | Sig. | Estadístico | gl | Sig. |
| P=10 bars | 0,108 | 7 | ,200* | 0,980 | 7 | 0,960 |
| P=20 bars | 0,189 | 7 | ,200* | 0,952 | 7 | 0,752 |
| P=30 bars | 0,264 | 7 | 0,149 | 0,887 | 7 | 0,262 |
| P=40 bars | 0,26 | 7 | 0,167 | 0,923 | 7 | 0,491 |
| P=50 bars | 0,191 | 7 | ,200* | 0,955 | 7 | 0,772 |

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.
a. Corrección de significación de Lilliefors

*Fuente.* Elaboración en el proceso del estudio

***Figura 58***

*Curva de normalidad flujo convergente P=50 bars tiempos para abertura 0.1mm*




*Fuente*. Elaboración en el proceso del estudio

**Tabla 41**

***Pruebas de normalidad***

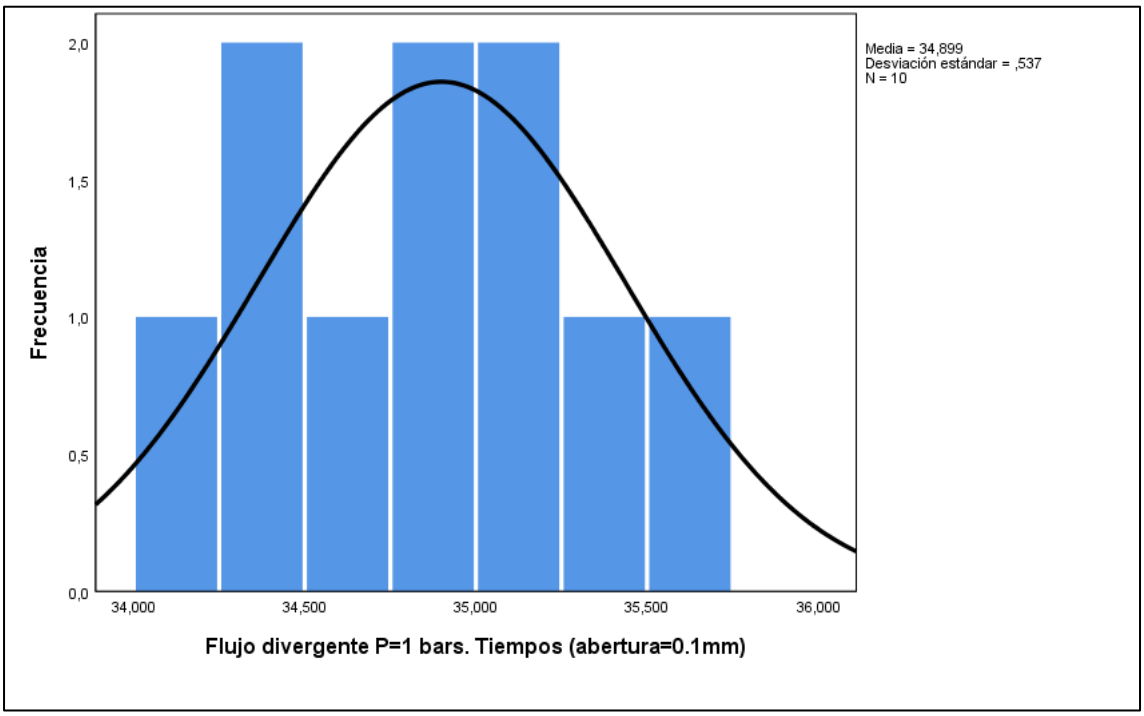
| Pruebas de normalidad | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Flujo divergente tiempo (abertura 0.1mm) | Kolmogorov-Smirnov[a] | | | Shapiro-Wilk | | |
| | Estadístico | gl | Sig. | Estadístico | gl | Sig. |
| P=1 bars | 0,153 | 10 | ,200* | 0,974 | 10 | 0,927 |
| P=2 bars | 0,172 | 10 | ,200* | 0,971 | 10 | 0,896 |
| P=4 bars | 0,136 | 10 | ,200* | 0,95 | 10 | 0,667 |
| P=6 bars | 0,148 | 10 | ,200* | 0,96 | 10 | 0,783 |
| P=8 bars | 0,096 | 10 | ,200* | 0,97 | 10 | 0,892 |
| P=10 bars | 0,143 | 10 | ,200* | 0,955 | 10 | 0,732 |

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.
a. Corrección de significación de Lilliefors

*Fuente*. Elaboración en el proceso del estudio

**Figura 59**

*Curva normalidad flujo divergente P=1 bars tiempos una abertura 0.1mm*




*Fuente.* Elaboración en el proceso del estudio

**Tabla 42**

***Registro de datos de tiempos de flujo convergente y divergente: un espaciamiento***

| Condición | Flujo convergente | | | | | Flujo divergente | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Volumen ($cm^3$) | 10 | | | | | 5 | | | | | |
| Presión (bar) | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 1 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 |
| | 10,34 | 8,64 | 7,63 | 7,25 | 5,82 | 10,37 | 4,96 | 2,17 | 1,06 | 0,73 | 0,55 |
| | 10,31 | 8,61 | 7,65 | 7,26 | 5,81 | 10,35 | 4,94 | 2,15 | 1,08 | 0,72 | 0,54 |
| | 10,35 | 8,65 | 7,61 | 7,23 | 5,86 | 10,37 | 4,95 | 2,12 | 1,09 | 0,74 | 0,5 |
| | 10,31 | 8,62 | 7,62 | 7,25 | 5,8 | 10,27 | 4,96 | 2,16 | 1,07 | 0,72 | 0,53 |
| Tiempo (s) | 10,32 | 8,67 | 7,64 | 7,24 | 5,82 | 10,29 | 4,98 | 2,17 | 1,1 | 0,73 | 0,51 |
| | 10,35 | 8,64 | 7,63 | 7,28 | 5,83 | 10,4 | 4,95 | 2,15 | 1,05 | 0,73 | 0,54 |
| | 10,36 | 8,68 | 7,6 | 7,24 | 5,86 | 10,33 | 4,93 | 2,14 | 1,07 | 0,74 | 0,52 |
| | 10,38 | 8,66 | 7,63 | 7,26 | 5,85 | 10,31 | 4,94 | 2,17 | 1,08 | 0,75 | 0,53 |
| | 10,37 | 8,63 | 7,65 | 7,25 | 5,84 | 10,33 | 4,97 | 2,18 | 1,04 | 0,71 | 0,55 |
| | 10,33 | 8,65 | 7,66 | 7,27 | | 10,31 | 4,91 | 2,15 | 1,05 | 0,72 | 0,57 |

*Fuente.* Elaboración en el proceso del estudio

**Tabla 43**

***Pruebas de normalidad***

| **Pruebas de normalidad** | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Flujo convergente tiempo | Kolmogorov-Smirnov[a] | | | Shapiro-Wilk | | |
| (Un espaciamiento) | Estadístico | gl | Sig. | Estadístico | gl | Sig. |
| P=10 bars | 0,159 | 9 | ,200* | 0,93 | 9 | 0,481 |
| P=20 bars | 0,132 | 9 | ,200* | 0,98 | 9 | 0,963 |
| P=30 bars | 0,193 | 9 | ,200* | 0,939 | 9 | 0,575 |
| P=40 bars | 0,197 | 9 | ,200* | 0,942 | 9 | 0,601 |
| P=50 bars | 0,158 | 9 | ,200* | 0,939 | 9 | 0,570 |

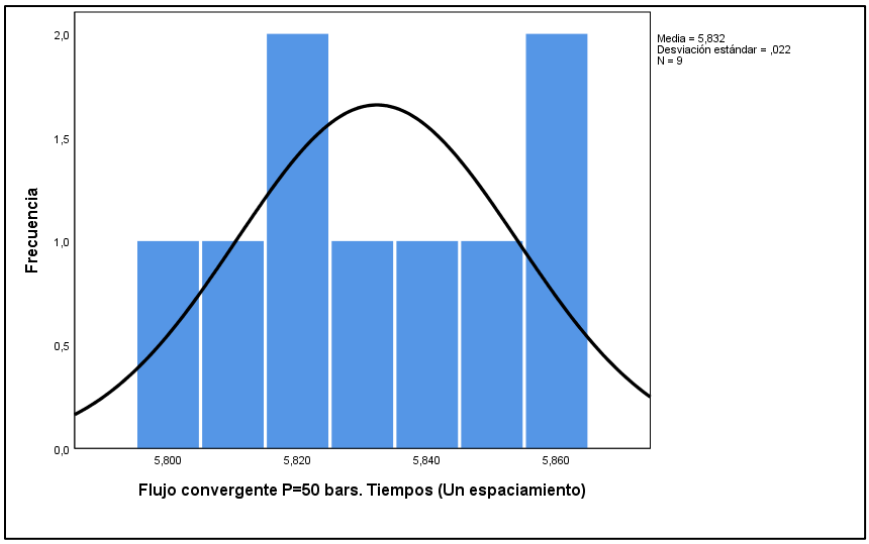
*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

*Fuente*. Elaboración en el proceso del estudio

**Figura 60**

*Curva normalidad flujo convergente P=50 bars tiempos un espaciamiento*




*Fuente*. Elaboración en el proceso del estudio

**Tabla 44**

***Pruebas de normalidad***

*Pruebas de normalidad*

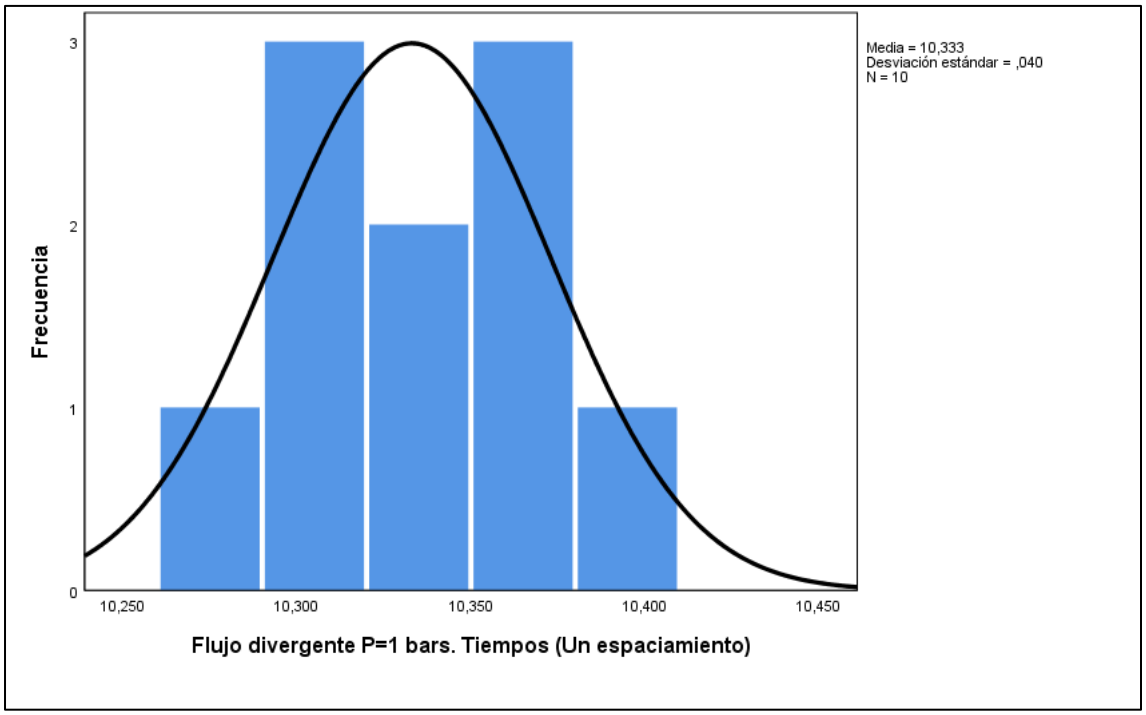
| Flujo divergente tiempo Un espaciamiento | Kolmogorov-Smirnov[a] | | | Shapiro-Wilk | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Estadístico | gl | Sig. | Estadístico | gl | Sig. |
| P=1 bars. | 0,130 | 10 | ,200* | 0,977 | 10 | 0,949 |
| P=2 bars | 0,128 | 10 | ,200* | 0,978 | 10 | 0,951 |
| P=4 bars | 0,185 | 10 | ,200* | 0,932 | 10 | 0,463 |
| P=6 bars | 0,14 | 10 | ,200* | 0,969 | 10 | 0,883 |
| P=8 bars | 0,174 | 10 | ,200* | 0,952 | 10 | 0,691 |
| P=10 bars | 0,123 | 10 | ,200* | 0,981 | 10 | 0,971 |

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.
a. Corrección de significación de Lilliefors

*Fuente*. Elaboración en el proceso del estudio

**Figura 61**

*Curva de normalidad flujo convergente P=50 bars tiempos para un espaciamiento*




*Fuente.* Elaboración en el proceso del estudio

**MATRIZ DE CONSISTENCIA**

**LAS DISCONTNUIDADES ASOCIADAS A LA SENSITIVIDAD EN ROCAS TIPO-GRANITO**

**AUTOR: MARTIN WASHINGTON ESQUIVEL ZAMORA**

| PROBLEMA | OBJETIVOS | HIPÓTESIS | VARIABLES | INDICADORES | METODOLOGIA |
|---|---|---|---|---|---|
| **Problema General**<br>¿Cómo las discontinuidades se asocian a la sensitividad en rocas tipo granito - Cusco? | **Objetivo general**:<br>Determinar las discontinuidades asociadas a la sensitividad a través del flujo divergente y convergente en rocas tipo granito - Cusco. | **Hipótesis General**:<br>Las discontinuidades se asocian a la sensitividad a través del flujo divergente y convergente en rocas tipo granito - Cusco. | **V. Dependiente:**<br>Sensitividad | Kdiv = Permeabilidad de la Roca, cuando se aplica Flujo Divergente (P=1Kg/cm2)<br>Kcon = Permeabilidad de la Roca, cuando se aplica Flujo convergente (P=50Kg/cm2)<br>$S = \frac{K_{div}}{K_{con}}$ | **Tipo de Investigación**<br>**Aplicada**, debido a la naturaleza de la investigación, tiene una orientación de un enfoque científico, que las variables como fenómeno de estudio serán operados en la realidad.<br><br>**Explicativo**, porque explica la relación causal de las variables, de las diferentes discontinuidades que se asocian a la sensitividad.<br><br>**Experimental**, debido a que los datos fueron manipulados por el investigador en condiciones controladas de observación de fenómenos de variables de las discontinuidades para ser asociados a la sensitividad.<br>**Nivel de Investigación:**<br><br>**Explicativo (NIVEL IV)**, debido a que se analizará la asociación causal de las variables de las discontinuidades en la sensitividad como efecto. |
| **Problema Especifico** | **Objetivos Específicos** | **Hipótesis Específicas** | **V. Independiente: Discontinuidades** | | |
| ¿Cómo las fisuras de las discontinuidades se asocian a la sensitividad en rocas tipo granito? | Determinar que las fisuras de las discontinuidades a través del número y longitud se asocian a la sensitividad. | Las fisuras según el número y longitud de las discontinuidades se asocian a la sensitividad en rocas tipo granito | Fisuras | • Fisuras:<br>Número<br>Longitud: cm | |
| ¿Cómo las aberturas de las discontinuidades se asocian a la sensitividad en rocas tipo granito? | Determinar que las aberturas de las discontinuidades según longitud se asocian a la sensitividad. | Las aberturas según longitud de las discontinuidades se asocian a la sensitividad en rocas tipo granito | Abertura | • Aberturas: cm<br>Longitud: cm | |
| ¿Cómo los espaciamientos y frecuencia de las discontinuidades se asocian a la sensitividad en rocas tipo granito? | Determinar que los espaciamientos y frecuencia según número y longitud de intersecciones de las discontinuidades se asocian a la sensitividad. | - Los espaciamientos y frecuencia según número y longitud de intersecciones de las discontinuidades se asocian a la sensitividad en rocas tipo granito | Espaciamiento y Frecuencia | • Espaciamiento y frecuencia:<br>Número<br>Longitud: cm<br>$\lambda = N/L\ m^{-1}$<br>x=L/N m. | |
| ¿Cuál es la sensitividad en rocas tipo granito? | Calcular la sensitividad a través de la permeabilidad del flujo divergente y del flujo convergente en rocas tipo granito. | La permeabilidad del flujo divergente y el flujo convergente determina la sensitividad. | Flujo Divergente<br>Flujo Convergente | Permeabilidad: cm/seg | |