



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE FACTORES GEOTÉCNICOS
QUE CAUSAN LA INESTABILIDAD DE LADERA EN LA
QUEBRADA DE QOLCOHUAYCCO, URBANIZACIÓN SANTA
ROSA, DISTRITO DE SAN SEBASTIÁN-CUSCO.

Línea de investigación: Geotecnia

Presentado por:

David Huallpa Ayte

Para optar al Título Profesional de
Ingeniero Civil

Asesor:

Ing. José Alberto Montesinos Cervantes
CUSCO – PERÚ

2019



Dedicatoria.

*A Dios, mis padres, hermanos y amigos
que me ayudaron a convertir este
estudio en una realidad...*



Agradecimientos.

A Dios por haberme creado en este mundo tan maravilloso y poder guiarme durante mi formación profesional

A la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, y a todo el cuerpo docente, por la contribución dada a mi formación profesional.

Al Ing. José Alberto Montesinos Cervantes, por el asesoramiento dado por su persona, a los Ingenieros Víctor Chacón Sánchez y Milton Merino Yépez, durante el desarrollo de esta Tesis, por el estímulo y amistad brindada. Sus conocimientos, sus orientaciones, su manera de trabajar, su persistencia, su paciencia y su motivación han sido fundamentales para mi formación como investigador, porque muchas de estas páginas estarían vacías si no hubiera sido por su constante dedicación a ayudarme y motivarme a concluir esta meta tan importante.

A mis padres Jerónimo y Rosario por su comprensión y ayuda en los momentos más difíciles. Que me enseñaron a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento.

A mis hermanas Rut, Yanira y Jhesenia por la ayuda constante, brindada en el transcurso de este estudio realizado

A mis compañeros, familiares y amigos, por las conversaciones e intercambio de ideas durante el tiempo de permanencia en el Programa Académico Profesional de Ingeniería Civil.



Resumen

La presente tesis de investigación, da a conocer los Factores Geotécnicos que causan la inestabilidad de la ladera en la quebrada de Qolcohuaycco; que comprenden una problemática para la población que reside en el Comité 4 de la Urb. Santa Rosa del Distrito de San Sebastián, provincia y departamento del Cusco, durante la época de lluvias. La investigación consistió en la obtención de dos perfiles longitudinales denominados por PL-1 y PL – 2, ubicados en la ladera derecha de la Quebrada de Qolcohuaycco y la determinación de los Parámetros Geotécnicos del suelo por cada estrato que componen dicha ladera. Los parámetros geotécnicos de los tipos de suelos hallados y obtenidos mediante los ensayos de campo y los ensayos de laboratorio fueron los siguientes: El Coeficiente de Permeabilidad (k), la Cohesión (c), El Angulo de fricción (Φ) y el Peso Específico (γ); así también se obtuvieron los datos de la variación de las dimensiones del canal formado al pie de la ladera por la erosión pluvial; obtenidos estos valores se realizó la Evaluación de la Estabilidad de la Ladera, mediante la aplicación del programa Slide V-5.0; que determino el valor del Factor de Seguridad por los métodos Spencer y Morgenstern Price, en condiciones naturales y en condiciones saturadas. De los resultados obtenidos en el Capítulo IV, se mostró que los estratos de suelos en las prospecciones con SPT N° 1 y SPT N° 2; estaban compuestos por suelos limos arcillosos con material orgánico (ML) con permeabilidad de 4.33×10^{-3} m/seg, suelos arenosos limosos (SM) con permeabilidad de 3.94×10^{-5} m/seg, suelos limos arcillosos (ML) con permeabilidad de 2.04×10^{-5} m/seg y arcillosos Limosos (CL) con permeabilidad de 5.66×10^{-7} m/seg. Así también del Análisis de Estabilidad de Taludes con el programa del Slide V-5.0, se utilizaron los valores del Angulo de fricción interna, la cohesión y el peso específico en condiciones naturales y saturadas; de donde se obtuvieron los valores del factor de seguridad por los métodos Morgenstern Price y Spencer de 1.40 y 1.41 respectivamente en el perfil longitudinal N° 1 y de 1.33 y 1.33 respectivamente para el perfil longitudinal N° 2, antes de la saturación del suelo y la erosión al pie de la ladera. Así también se obtuvieron los valores del factor seguridad de 1.39 y 1.28 en el perfil longitudinal N° 1' y de 1.28 y 1.29 en el perfil longitudinal N° 2', para un suelo saturado y suelo erosionado al pie de la ladera respectivamente. De acuerdo a los resultados obtenidos se llega a la conclusión que: el tipo de suelo, la permeabilidad, la variación de los parámetros de resistencia al corte por saturación del suelo y la erosión pluvial al pie de la ladera, son factores que influyen y pueden causar la inestabilidad de la ladera en la quebrada de Qolcohuaycco.

Palabras clave: Factores geotécnicos, inestabilidad de taludes, factor de seguridad, coeficiente de permeabilidad, erosión pluvial, parámetros de resistencia al corte, peso específico.



Abstract.

The present research thesis, announced the Geotechnical Factors that cause the instability of the hillside in the Qolcohuaycco gorge; that comprise a problem for the population that resides in the committee 4 of the Urb. Santa Rosa of the District of San Sebastián, province and department of Cusco, during the rainy season.

The investigation included the obtaining of two longitudinal profiles denoted by PL-1 and PL - 2, located on the right slope of the Quebrada de Qolcohuaycco and the determination of the Geotechnical Parameters of the soil for each stratum that make up said slope. The geotechnical parameters of the types of soils found and obtained through field tests and laboratory tests were the following: Permeability Coefficient (k), Cohesion (c), Friction Angle (Φ) and Specific Weight (γ); thus also the data of the variation of the dimensions of the channel formed at the foot of the slope by rain erosion were obtained; Once these values were obtained, the Hill Stability Assessment was carried out, through the application of the Slide V-5.0 program; that determined the value of the Safety Factor by the Spencer and Morgenstern Price methods, in natural conditions and in saturated conditions.

From the results obtained in Chapter IV, it was shown that the soil strata in the surveys with SPT No. 1 and SPT No. 2; they were composed of clay silt soils with organic material (ML) with permeability of 4.33×10^{-3} m / sec, silty sandy soils (SM) with permeability of 3.94×10^{-5} m / sec, silt soils clays (ML) with permeability of 2.04×10^{-5} m / sec and clayey clays (CL) with permeability of 5.66×10^{-7} m / sec. Likewise, from the Slope Stability Analysis with the program of Slide V-5.0, the values of the Angle of internal friction, cohesion and specific gravity in natural and saturated conditions were used; where the safety factor values were obtained by the Morgenstern Price and Spencer methods of 1.40 and 1.41 in the longitudinal profile No. 1 and 1.33 and 1.33 for the longitudinal profile No. 2, before soil saturation and foot erosion of the slope respectively. Likewise, the values of the safety factor of 1.39 and 1.28 in the longitudinal profile N° 1 and of 1.28 and 1.29 for the longitudinal profile N° 2, during soil saturation and erosion at the foot of the slope.

According to the results obtained, it is concluded that the type of soil, the permeability, the variation of the parameters of resistance to the cut by saturation of the soil and the rain erosion at the foot of the slope, are factors that influence and can cause the instability of the hillside in the Qolcohuaycco gorge.

Keywords. - Geotechnical factors, slope instability, safety factor, permeability coefficient, river erosion, cut resistance parameters, specific weight.



Introducción

Hoy en día los movimientos de ladera producidos en una quebrada, constituyen un riesgo origen natural o inducido que debe tenerse en cuenta en la planificación territorial; ello se debe a que estos movimientos de masas de suelo causan pérdidas humanas y daños materiales.

La ocurrencia de estos movimientos de remoción en masa, se hace cada vez más importante en el marco de la prevención y mitigación de desastres. Los efectos del cambio climático, debido a la degradación del medio ambiente han generado cambiantes condiciones meteorológicas, incrementando la ocurrencia de fenómenos que afectan la estabilidad en una ladera.

La inestabilidad de una ladera se debe a la acción conjunta de varios factores que perjudican la estabilidad en una ladera. Tal es el caso de la ladera de la quebrada de Qolcohuaycco, donde se observan y se suponen la acción de varios factores que generan la inestabilidad en la ladera, como: la pérdida de suelo producto de la erosión, la infiltración de agua de lluvia hacia el sub suelo, la reducción del esfuerzo cortante del suelo, la variación de la morfología del terreno, entre otros .

Es así que el trabajo de investigación realizado, pretende realizar la ***Identificación y Evaluación de Factores Geotécnicos, que causan la Inestabilidad de Ladera en la Quebrada de Qolcohuaycco, Urbanización Santa Rosa, Distrito de San Sebastián-Cusco, 2016.***



INDICE

Dedicatoria..... i

Agradecimientos..... ii

Resumen..... iii

Abstract..... iv

Introducciónv

ÍNDICE DE TABLAS..... ix

ÍNDICE DE FIGURAS.xiv

Capítulo I: Planteamiento del problema1

1.1. Identificación del problema.....1

1.1.1. Descripción del problema.....1

1.2. Formulación interrogativa del problema.....5

1.2.1. Formulación interrogativa del problema general.....5

1.3. Justificación e importancia de la investigación.....6

1.3.2. Justificación Social.....6

1.3.3. Justificación por viabilidad.....7

1.3.4. Justificación por relevancia.....7

1.4. Limitaciones de la investigación.....7

1.4.1. Limitaciones geográficas.....7

1.4.2. Limitaciones para el análisis.....8

1.5. Objetivo de la investigación.....8

1.5.1. Objetivo General.....8

1.5.2. Objetivos Específicos.....8

Capítulo II: Marco Teórico10

2.1. Antecedentes de la tesis o investigación actual.....10

2.1.1. Antecedentes a Nivel nacional.....10

2.1.2. Antecedentes a Nivel Internacional.....11

2.2. Aspectos Teóricos Pertinentes.....12

2.2.1. Levantamiento topográfico.....13

2.2.2. Movimiento de Laderas14

2.2.3. Factores que influyen en la inestabilidad de un talud.....17

2.2.4. Parámetros geotécnicos que afectan la estabilidad de una ladera.....19



- 2.2.5. Resistencia al esfuerzo de corte de un suelo.20
- 2.2.6. Permeabilidad de un suelo.....23
- 2.2.7. Erosión.26
- 2.2.8. Clasificación del suelo.28
- 2.2.10. Uso del programa Slide 5.0 en el Análisis de Estabilidad de Taludes.....38
- 2.2.11. Ensayo de Penetración Estándar.....38
- 2.2.12. Ensayos De Materiales.....44
- 2.2.13. Análisis granulométrico de suelos por tamizado MTC e 107- 2000.49
- 2.2.14. Determinación del límite líquido de los suelos MTC e 110 – 2000.53
- 2.2.15. Determinación del límite plástico e índice de plasticidad MTC e 111 – 2000.57
- 2.2.16. Corte Directo MTC E 123 – 201360
- 2.3. Hipótesis.....67
 - 2.3.1. Hipótesis General.....67
 - 2.3.2. Sub Hipótesis.....67
- 2.4. Definición de Variables.....67
 - 2.4.1. Variables Independientes.67
 - 2.4.2. Variables Dependientes.....68
- 2.5. Cuadro de Operacionalización de Variables.69
- Capítulo III: Metodología70
 - 3.1. Metodología de la Investigación.....70
 - 3.1.1. Enfoque de la Investigación.70
 - 3.1.2. Nivel o alcance de la investigación.....70
 - 3.1.3. Método de la investigación.....70
 - 3.2. Diseño de la Investigación.71
 - 3.2.1. Diseño Metodológico.....71
 - 3.2.2. Diseño de Ingeniería.72
 - 3.3. Población y muestra72
 - 3.3.1. Población.....73
 - 3.3.2. Muestra.....74
 - 3.3.3. Criterios de Inclusión.75
 - 3.4. Instrumentos76
 - 3.4.1. Instrumentos metodológicos o instrumentos de recolección de datos.76



3.4.2. Instrumentos de ingeniería.	84
3.5. Procedimientos de recolección de datos.	85
3.5.1. Levantamiento topográfico.....	85
3.5.2. Granulometría de los Estratos de suelo.....	93
3.5.5. Ensayo de Corte Directo.	121
3.5.6. Ensayo de Lefranc con nivel variable, para la determinación del coeficiente de permeabilidad de un suelo.	136
3.5.7. Registro de la variación de las dimensiones del canal formado (A, B y H) al pie del talud por erosión fluvial.....	139
3.6. Procedimientos de análisis de datos.....	142
3.6.1. Levantamiento Topográfico.	142
3.6.2. Análisis granulométrico de la muestra.....	143
3.6.3. Límites de Atterberg (limite líquido y limite plástico) – (MTC E 110 – 2000).....	153
3.6.4. Clasificación de Suelos.	162
3.6.5. Ensayo de penetración estándar (SPT) – (ASTM D-1586).....	163
3.6.6. Ensayo de corte directo (MTC E 123 – 2000).....	171
3.6.7. Determinación del coeficiente de Permeabilidad (Ensayo de Lefranc con nivel variable).....	200
3.6.8. Registro de datos de la variación en las dimensiones por erosión fluvial del canal natural formado al pie del talud.	202
3.6.9. Determinación del factor de seguridad mediante el Análisis de Estabilidad de Taludes, con la aplicación del programa educativo del Slide V- 5.0.....	203
Capitulo IV: Resultados.....	209
Capítulo V: Discusión	213
Glosario.....	217
Conclusiones.	221
Recomendaciones.....	224
Referencias.....	225
Anexos.	228

**ÍNDICE DE TABLAS.**

Tabla 1: Valores del coeficiente de permeabilidad “k” en cm/seg.	24
Tabla 2: Cuadro para la clasificación de suelo, mediante el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos – SUCS.....	33
Tabla 3: Propiedades comunes de Suelos Granulares, no cohesivos.	41
Tabla 4: Propiedades comunes de Suelos Granulares, no cohesivos.	41
Tabla 5: Propiedades comunes de Suelos Granulares, no cohesivos.	42
Tabla 6: Corrección por Energía del Martillo, “n1”	43
Tabla 7: Corrección por Longitud de Barras, “n2”	43
Tabla 8: Corrección por él Toma Muestras, “n3”	44
Tabla 9: Corrección por diámetro de Perforación	44
Tabla 10: Tamaño mínimo de muestra a usar según el tamaño de partícula.	45
Tabla 11: Tamaño máximo de las partículas.	50
Tabla 12: Precisión de un operador	59
Tabla 13: Cuadro de operacionalización de una Variable	69
Tabla 14: Formato De Recolección De Datos Para Puntos Topográficos.....	77
Tabla 15: Formato De Recolección De Datos Para El Ensayo Del Contenido De Humedad (%).	78
Tabla 16: Formato de recolección de datos para determinar la granulometría del suelo.	79
Tabla 17. Formato para el registro de datos para determinar los límites de consistencia (LL y LP).	80
Tabla 18. Formato Para El Registro de Datos Del Ensayo De Penetración Estándar (SPT)...	81
Tabla 19. Formato Para La Recolección De Datos Para El Ensayo De Corte Directo.	82
Tabla 20: Formato para la recolección de datos para el Ensayo de Lefranc con Nivel Variable.	83
Tabla 21: Formato Determinación De La Erosión De Suelo En El Pie Del Ladera.	83
Tabla 22. Resultado de las coordenadas topográficas del levantamiento.....	90
Tabla 23: Granulometría de suelo del estrato N° 1.	99
Tabla 24: Límites Líquido y Plástico Del Estrato N° 1.....	105
Tabla 25: Límites Líquido y Plástico Del Estrato N° 2.....	106
Tabla 26: Límites Líquido y Plástico Del Estrato N° 3.....	107
Tabla 27: Límites Líquido y Plástico Del Estrato N° 4.....	108
Tabla 28: Límites Líquido y Plástico Del Estrato N° 5.....	109
Tabla 29: Límites Líquido y Plástico Del Estrato N° 6.....	110



Tabla 30: Limites Líquido y Plástico Del Estrato N° 7. 111

Tabla 31: Limites Líquido y Plástico Del Estrato N° 8. 112

Tabla 32: Toma de datos del Ensayo de Penetración Estándar –prospección SPT 1..... 117

Tabla 33: Toma de datos del Ensayo de Penetración Estándar –prospección SPT 1..... 118

Tabla 34: Toma de datos del Ensayo de Penetración Estándar –prospección SPT 2..... 119

Tabla 35: Toma de datos del Ensayo de Penetración Estándar –prospección SPT 2..... 120

Tabla 36: Ensayo de Corte directo de la muestra 01 (Estrato N°1)..... 124

Tabla 37: Ensayo de Corte directo de la muestra 02 (Estrato N°1)..... 125

Tabla 38: Ensayo de Corte directo de la muestra 03 (Estrato N°1)..... 126

Tabla 39: Ensayo de Corte directo de la muestra 01 (Estrato N°2)..... 127

Tabla 40: Ensayo de Corte directo de la muestra 02 (Estrato N°2)..... 128

Tabla 41: Ensayo de Corte directo de la muestra 03 (Estrato N°2)..... 129

Tabla 42: Ensayo de Corte directo de la muestra 01 (Estrato N°3)..... 130

Tabla 43: Ensayo de Corte directo de la muestra 02 (Estrato N°3)..... 131

Tabla 44: Ensayo de Corte directo de la muestra 03 (Estrato N°3)..... 132

Tabla 45: Ensayo de Corte directo de la muestra 01 (Estrato N° 4)..... 133

Tabla 46: Ensayo de Corte directo de la muestra 02 (Estrato N°4)..... 134

Tabla 47: Ensayo de Corte directo de la muestra 03 (Estrato N°4)..... 135

Tabla 48: Toma de datos durante el ensayo de Lefranc con carga variable. 139

Tabla 49: Toma de datos de la variación de las dimensiones por Erosión Fluvial del canal natural formado al pie del talud. 142

Tabla 50: Granulometría de suelo del estrato N° 1. 145

Tabla 51: Granulometría de suelo del estrato N° 2. 146

Tabla 52: Granulometría de suelo del estrato N° 3. 147

Tabla 53: Granulometría de suelo del estrato N° 4. 148

Tabla 54: Granulometría de suelo del estrato N° 5. 149

Tabla 55: Granulometría de suelo del estrato N° 6. 150

Tabla 56: Granulometría de suelo del estrato N° 7. 151

Tabla 57: Granulometría de suelo del estrato N° 8. 152

Tabla 58: Determinación de los Limites Líquido y Plástico Del Estrato N° 1. 154

Tabla 59: Determinación de los Limites Líquido y Plástico Del Estrato N° 2. 155

Tabla 60: Determinación de los Limites Líquido y Plástico Del Estrato N° 3. 156

Tabla 61: Determinación de los Limites Líquido y Plástico Del Estrato N° 4. 157

Tabla 62: Determinación de los Limites Líquido y Plástico Del Estrato N° 5. 158



Tabla 63: Determinación de los Límites Líquido y Plástico Del Estrato N° 6. 159

Tabla 64: Determinación de los Límites Líquido y Plástico Del Estrato N° 7. 160

Tabla 65: Determinación de los Límites Líquido y Plástico Del Estrato N° 8. 161

Tabla 66: Clasificación de Suelos por el método SUCS, de los Estratos N° 1 al N° 8.. 163

Tabla 67: Determinación del N 30spt, del Ensayo de Penetración Estándar –Prospección SPT 1. 164

Tabla 68: Determinación del N 30spt, del Ensayo de Penetración Estándar –Prospección SPT 1. 165

Tabla 69: Determinación del N 30spt, del Ensayo de Penetración Estándar –Prospección SPT 2. 166

Tabla 70: Determinación del N 30spt, del Ensayo de Penetración Estándar –Prospección SPT 2. 167

Tabla 71: Factores de Correcciones del Ensayo de Penetración Estándar –Prospección SPT 1. 168

Tabla 72: Factores de Correcciones del Ensayo de Penetración Estándar –Prospección SPT 2. 168

Tabla 73: Determinación de Parámetros Geotécnicos mediante el uso de correlaciones del Ensayo de Penetración Estándar – Prospección SPT 1. 169

Tabla 74: Determinación de Parámetros Geotécnicos mediante el uso de correlaciones del Ensayo de Penetración Estándar – Prospección SPT 2. 169

Tabla 75: Determinación de Gs y γ_s mediante la aplicación de fórmulas Matemáticas de la Mecánica de Suelos en la Prospección SPT 1..... 170

Tabla 76: Determinación de Gs y γ_s mediante la aplicación de fórmulas Matemáticas de la Mecánica de Suelos en la Prospección SPT 2..... 170

Tabla 77: Ensayo de Corte directo de la muestra 01 (Estrato N°1)..... 172

Tabla 78: Ensayo de Corte directo de la muestra 02 (Estrato N°1)..... 173

Tabla 79: Ensayo de Corte directo de la muestra 03 (Estrato N°1)..... 174

Tabla 80: Determinación del Angulo de fricción Interna y la Cohesión del suelo del Estrato N° 1..... 175

Tabla 81: Ensayo de Corte directo de la muestra 01 (Estrato N°2)..... 176

Tabla 82: Ensayo de Corte directo de la muestra 02 (Estrato N°2)..... 177

Tabla 83: Ensayo de Corte directo de la muestra 03 (Estrato N°2)..... 178

Tabla 84: Determinación del Angulo de fricción Interna y la Cohesión del suelo del Estrato N° 2..... 179



Tabla 85: Ensayo de Corte directo de la muestra 01 (Estrato N°1)..... 180

Tabla 86: Ensayo de Corte directo de la muestra 02 (Estrato N°3)..... 181

Tabla 87: Ensayo de Corte directo de la muestra 03 (Estrato N°3)..... 182

Tabla 88: Determinación del Angulo de fricción Interna y la Cohesión del suelo del Estrato N° 3..... 183

Tabla 89: Ensayo de Corte directo de la muestra 01 (Estrato N° 4)..... 184

Tabla 90: Ensayo de Corte directo de la muestra 02 (Estrato N°4)..... 185

Tabla 91: Ensayo de Corte directo de la muestra 03 (Estrato N°4)..... 186

Tabla 92: Determinación del Angulo de fricción Interna y la Cohesión del suelo del Estrato N° 4..... 187

Tabla 93: Ensayo de Corte directo de la muestra 01 (Estrato N°1 - Saturado)..... 188

Tabla 94: Ensayo de Corte directo de la muestra 02 (Estrato N°1 - Saturado)..... 189

Tabla 95: Ensayo de Corte directo de la muestra 03 (Estrato N°1- Saturado)..... 190

Tabla 96: Determinación del Angulo de fricción Interna y la Cohesión del suelo del Estrato N° 1- Saturado..... 191

Tabla 97: Ensayo de Corte directo de la muestra 01 (Estrato N°2 - Saturado)..... 192

Tabla 98: Ensayo de Corte directo de la muestra 02 (Estrato N°2 - Saturado)..... 193

Tabla 99: Ensayo de Corte directo de la muestra 03 (Estrato N°2 - Saturado)..... 194

Tabla 100: Determinación del Angulo de fricción Interna y la Cohesión del suelo del Estrato N° 2 - Saturado..... 195

Tabla 101: Ensayo de Corte directo de la muestra 01 (Estrato N°3 - Saturado)..... 196

Tabla 102: Ensayo de Corte directo de la muestra 02 (Estrato N°3 - Saturado)..... 197

Tabla 103: Ensayo de Corte directo de la muestra 03 (Estrato N°3 - Saturado)..... 198

Tabla 104: Determinación del Angulo de fricción Interna y la Cohesión del suelo del Estrato N° 3 - Saturado..... 199

Tabla 105: Cuadro resumen de los valores de Cohesión y Angulo de fricción interna en condiciones normales y saturadas de la prospección SPT N° 1, respectivamente..... 200

Tabla 106: Cuadro resumen de los valores de Cohesión y Angulo de fricción interna en condiciones normales y saturadas de la prospección SPT N° 2, respectivamente..... 200

Tabla 107: Determinación del Coeficiente de Permeabilidad (K en m/seg)..... 201

Tabla 108: Variación de las dimensiones por Erosión Fluvial del canal natural formado al pie del talud..... 202

Tabla 109: Resultados del Factor de Seguridad, de los perfiles longitudinales..... 208



Tabla 110: Resultados de la clasificación por el Sistema de Clasificación Unificada de Suelo (SUCS) de los estratos a diferentes profundidades.209

Tabla 111: Resultados de la clasificación por el Sistema de Clasificación Unificada de Suelo (SUCS) de los estratos a diferentes profundidades.209

Tabla 112: Cuadro resumen de resultados de los parámetros geotécnicos de la prospección SPT N° 1.210

Tabla 113: Cuadro resumen de resultados de los parámetros geotécnicos de la prospección SPT N° 2.211

Tabla 114: Resultados del Factor de Seguridad, de los perfiles longitudinales.212

Tabla 115: Cuadro según la importancia e influencia de Factores Geotécnicos.215



ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1. Ubicación De La Quebrada de Qolcohuaycco.2

Figura 2. Zona de deslizamientos de laderas.3

Figura 3. Inicio de la quebrada de Qolcohuaycco.4

Figura 4. Erosión de suelo producido por precipitaciones pluviales en la quebrada de Qolcohuaycco.....4

Figura 5. Viviendas ubicadas en la parte baja de la quebrada de Qolcohuaycco.....5

Figura 6. Clasificación general de los movimientos de ladera.....15

Figura 7. Factores que afectan la susceptibilidad a la erosión de los taludes y laderas.19

Figura 8. Diagrama de esfuerzo deformación y Angulo de fricción.23

Figura 9. Ensayo de Lefranc con nivel variable, Subida inicial y medida de descensos.26

Figura 10. Procesos de erosión.....27

Figura 11. Fuerzas del Método de Spencer.....35

Figura 12. Figuras utilizadas por Morgenstern – Price.....37

Figura 13. Métodos de cálculo para el análisis de estabilidad de un talud.37

Figura 14. Procesos de erosión.....39

Figura 15. Procesos de erosión.....40

Figura 16. Aparato manual para límite líquido.55

Figura 17. Esquema del ensayo del corte sencillo y del corte doble.60

Figura 18. Dispositivo para el ensayo de corte directo.....61

Figura 19.- Diagrama del flujo de Ingeniera.....72

Figura 20. Ubicación de la zona de estudio.73

Figura 21. Tamaño mínimo de muestra a usar según el tamaño de partícula.73

Figura 22. Talud derecho de la quebrada de Qolcohuaycco.74

Figura 23. : Estación total TS-06.....86

Figura 24 : Radios de comunicación (walkie talkie).86

Figura 25: Prismas de topografía.....87

Figura 26 : Sistema de posicionamiento global - GPS.87

Figura 27: Libreta de apuntes.....88

Figura 28. Polígono De Apoyo Para Realizar El Levantamiento De La Quebrada De Qolcohuaycco.....88

Figura 29. Establecimiento De Estacas Para La Ubicación De Vértices.....89

Figura 30. Levantamiento Topográfico Desde El Vértice “C” Del Polígono De Apoyo.....89

Figura 31 : Balanza con precisión de 2 decimales.93



Figura 32 : Juego de tamices.....94

Figura 33 : recipientes para el secado de muestras.94

Figura 34. Cuarteo del suelo del estrato N° 1.95

Figura 35. Recojo del material seleccionado por cuarteo del estrato N° 1.....95

Figura 36. Lavado De La Muestra de suelo del estrato N°4, a Través De La Malla N° 200...96

Figura 37. Muestra seca, sacado después de las 24 horas del horno.....96

Figura 38. Tamizado Manual De La Muestra de suelo en estrato N°3.....97

Figura 39. Registro del peso retenido en cada malla del estrato N°3.....97

Figura 40. Tamizado de la muestra de suelo estrato N° 5.....98

Figura 41. Registro del peso retenido en cada malla del estrato N° 5.98

Figura 42. Estación total TS-06.....100

Figura 43. Preparación De La Pasta De Suelo.101

Figura 44. Obtención De La Superficie Uniforme En La Taza De Bronce A 1 Cm De Profundidad Aproximado.101

Figura 45. División de la superficie del suelo mediante el Acanalador.102

Figura 46. Colocación de la muestra de Suelo al recipiente después de realizar el Ensayo..102

Figura 47. Mezclado De La Muestra.....103

Figura 48. Moldeo De La Muestra Sobre La Superficie De Vidrio.....103

Figura 49. Desmoronamiento De La Muestra Sobre La Superficie De Vidrio.....104

Figura 50. Colocación e instalación del martinete de 140 lbs.113

Figura 51. Barras de perforación utilizadas para las prospecciones SPT 1 y SPT 2.....113

Figura 52. Uso de la soga para levantar el martinete de 140 lbs.....114

Figura 53. Armado y colocado del trípode de SPT, para la ejecución del ensayo.....114

Figura 54. Ubicamos en el punto de investigación.115

Figura 55. Colocación de martillo en posición guiada por la tubería de perforación.115

Figura 56. Marcación del tubo de perforación cada 15 cm.116

Figura 57. Extracción de muestra de suelo con Posteadora Fuente: Elaboración Propia.....121

Figura 58. Investigador preparando y tallando la muestra para colocar en la caja de Cizalladura.....122

Figura 59. Verificación Y Calibración Del Aparato.....122

Figura 60. Colocación de muestra de suelo en la caja de corte.....123

Figura 61. Posteadora para realizar el agujero de 3'.136

Figura 62. Herramientas utilizadas durante el ensayo (tubo de acero cribado de 3", flexómetro, cronometro y agua).....136



Figura 63. Excavación mediante posteadora agujero N° 1.137

Figura 64. Colocación de la tubería de acero cribada de 3' en el agujero N° 2.137

Figura 65. Relleno de agua en la tubería cribada de acero de 3'138

Figura 66. Herramientas y materiales para registro de datos de suelo erosiona en el talud. 140

Figura 67. Preparación y medición de las varillas de acero de 3/8".140

Figura 68. Etiquetado y marcado en las varillas de acero de 3/8".141

Figura 69. Etiquetado y marcado en las varillas de acero de 3/8".141

Figura 70. Determinación del factor de seguridad del perfil longitudinal PL1, mediante el método de análisis Morgenstern del programa Slide V.5.....204

Figura 71. Determinación del factor de seguridad del perfil longitudinal PL1, mediante el método de análisis Spencer del programa Slide V.5.204

Figura 72. Determinación del factor de seguridad del perfil longitudinal PL2, mediante el método de análisis Morgenstern del programa Slide V.5.....205

Figura 73. Determinación del factor de seguridad del perfil longitudinal PL2, mediante el método de análisis Spencer del programa Slide V.5.205

Figura 74. Determinación del factor de seguridad del perfil longitudinal PL1', mediante el método de análisis Morgenstern del programa Slide V.5.....206

Figura 75. Determinación del factor de seguridad del perfil longitudinal PL1', mediante el método de análisis Spencer del programa Slide V.5.206

Figura 76. Determinación del factor de seguridad del perfil longitudinal PL2', mediante el método de análisis Morgenstern del programa Slide V.5.....207

Figura 77. Determinación del factor de seguridad del perfil longitudinal PL2', mediante el método de análisis Spencer del programa Slide V.5.207



Capítulo I: Planteamiento del problema

1.1. Identificación del problema.

1.1.1. Descripción del problema.

En febrero del 2012, la quebrada de Qolcohuaycco de la Urb. Santa Rosa del Distrito de San Sebastián, provincia y departamento del Cusco, se produjo un deslizamiento de gran magnitud, que puso en peligro a los habitantes de la parte baja de la quebrada de Qolcohuaycco. La ladera en estudio se encuentra ubicada geomorfológicamente, a nivel local en la depresión Cusco y a nivel regional en el Altiplano, sin embargo, el rasgo más relevante y condicionante para el movimiento de masas es el tipo de suelos los cuales están constituidos por limos y arenas que a simple vista no son consolidados y son de baja compacidad. Otro de los problemas de orden técnico es la accesibilidad a la zona de estudio para la realización de tomas de muestras mediante apertura de calicatas, debido a que desde el mes de octubre del año 2016 la Junta Directiva de la Asociación pro- vivienda Santa Rosa, hasta la fecha ha prohibido cualquier tipo de movimiento de masa como excavaciones y otros relacionados en la ladera derecha de la quebrada de Qolcohuaycco.

Las intensas precipitaciones pluviales y la acción de algunos factores como la Erosión Pluvial incrementan la pérdida del suelo y a su vez estas vienen generando, significativas pérdidas de suelos, arrastre de material (lodo y piedras) hacia las partes bajas de la Quebrada de Qolcohuaycco; generando temor e inseguridad de las personas ante la potencial ocurrencia de un nuevo deslizamiento.

En este contexto la presente tesis pretende realizar la identificación y evaluación de los factores geotécnicos que pueden ser identificados y evaluados y otros que la investigación determine, que factores causan la inestabilidad del talud derecho de la quebrada de Qolcohuaycco que se encuentra ubicada en la ladera del mismo nombre. Así también brindar alternativas de estabilidad del talud en mención para prevenir un potencial deslizamiento futuro.

1.1.1.1. Ubicación geográfica.

El lugar, las coordenadas geográficas y las coordenadas UTM, donde se desarrollará la tesis, son las siguientes:

- Lugar: APV Urbanización Santa Rosa.
- Distrito: San Sebastián.
- Provincia: Cusco.
- Departamento: Cusco.
- Coordenadas Geográficas (grados, minutos y segundos):
 - 13°31'41.16" latitud Sur
 - 71°55'7.84" longitud Oeste.
- Coordenadas UTM (WGS84):
 - Zona 19 L
 - X: 184047.46 m E.
 - Y: 8502549.83 m S.

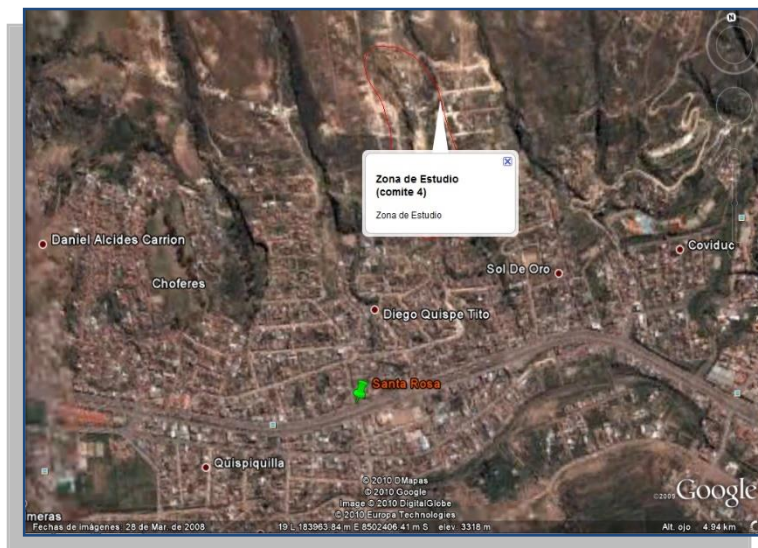


Figura 1. Ubicación De La Quebrada de Qolcohuaycco.

Fuente: Google Earth.

La zona de estudio se encuentra ubicada al sur-este de la ciudad del Cusco, en la A.P.V. Santa Rosa del Comité 4, del distrito de San Sebastián, provincia y departamento del Cusco. A una altitud aproximada de 3318 m.s.n.m. y un área de 900 metros cuadrados aproximadamente.

La zona colinda por el norte con la A.P.V. Villa Progreso por el norte, por el sur con la A.P.V. Tres Cruces y por el este con la A.P.V. San Miguel.

1.1.1.2. **Ámbito de Influencia Teórica.**

El trabajo de investigación, se realizó dentro del área de la ingeniería Geotécnica; debido a que se determinaron algunas propiedades físicas mecánicas e hidráulicas de los suelos que se encuentran en la zona de estudio. La determinación de las características de origen de formación de los suelos y la influencia de la topografía en estos movimientos de masas, servirán para poder realizar la identificación y evaluación de los factores que causan la inestabilidad del talud en la quebrada de Qolcohuaycco.

La obtención de los parámetros físico mecánico de los suelos que se determinarán mediante ensayos de laboratorio, ensayos de campo, correlaciones técnicas y la información que se tomó en consideración para el desarrollo de la investigación fueron: libros, el internet, artículos, revistas, publicaciones, entre otros.



Figura 2. Zona de deslizamientos de laderas.

1.1.1.3. **Descripción de la Situación Actual.**

Diagnóstico de la situación actual de la quebrada de Qolcohuaycco.

La ladera de la quebrada de Qolcohuaycco, presenta una topografía muy accidentada donde es evidente una pendiente promedio del orden del 56% (dato topográfico), que la hace muy vulnerable al deslizamiento.

En la época de lluvias, la quebrada de Qolcohuaycco actúa como un colector de aguas proveniente de las lluvias; originando un cauce de agua en todo el tramo del pie del talud, que

ocasiona factores desestabilizantes en el talud derecho, como: la erosión y el deslizamiento de pequeñas masas de suelo.

Es importante señalar que la población del Comité 4 de la Urb. Santa Rosa del distrito de San Sebastián, se encuentra asentada en la parte baja de la quebrada en estudio exponiéndola a un alto grado de peligrosidad y vulnerabilidad física y económica a futuro.

Durante la inspección de la zona en época de lluvias (enero – marzo del 2016), se puso de manifiesto la saturación de suelos que están relacionados con las caídas de bloques y deslizamientos aislados vistos en la inspección de campo.

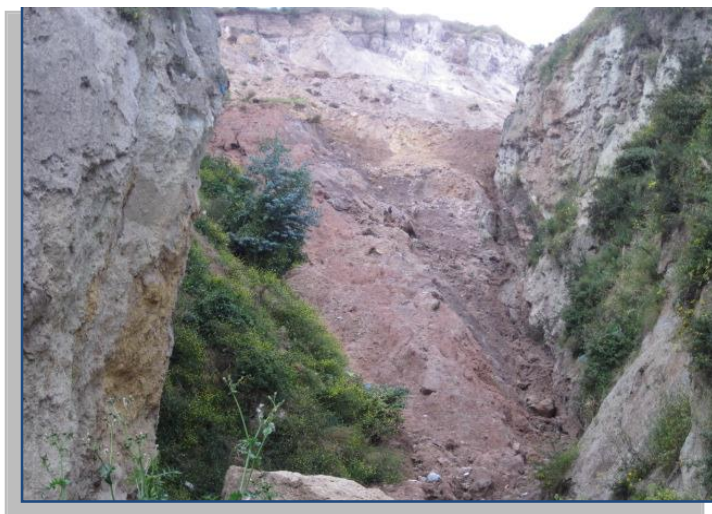


Figura 3. Inicio de la quebrada de Qolcohuaycco.



Figura 4. Erosión de suelo producido por precipitaciones pluviales en la quebrada de Qolcohuaycco.

En la parte baja de la quebrada de Qolcohuaycco, se encuentran viviendas de adobe y de concreto armado, todas estas habitadas por personas.



Figura 5. Viviendas ubicadas en la parte baja de la quebrada de Qolcohuaycco.

1.2. Formulación interrogativa del problema.

1.2.1. Formulación interrogativa del problema general.

El problema general de este trabajo de investigación, es el potencial movimiento de masas, en especial en el talud derecho de la quebrada de Qolcohuaycco, ubicada en la ladera del mismo nombre y por consiguiente se planteó la siguiente interrogante:

¿Cuáles son los Factores Geotécnicos que causarán la inestabilidad de la ladera derecha de la quebrada de Qolcohuaycco?

1.2.2. Formulación interrogativa de los problemas específicos.

Del mismo modo, y para profundizar la identificación y evaluación, consideramos las siguientes interrogantes, como problemas específicos:

- **Problema Específico N° 1:** ¿Cuáles serán los parámetros de resistencia al corte de los suelos en condiciones saturadas, que influirán en la inestabilidad de la ladera derecha de la quebrada de Qolcohuaycco?
- **Problema Específico N° 2:** ¿Cuáles son los valores de la Permeabilidad de los tipos de suelos presentes en la ladera derecha de la quebrada de Qolcohuaycco, que influirán en la saturación del suelo durante las precipitaciones pluviales?



- **Problema Específico N° 3:** ¿Cuál será el incremento de la altura de la ladera derecha de la Quebrada de Qolcohuaycco generada por la erosión pluvial al pie de la ladera; que influirá en su inestabilidad?
- **Problema Específico N° 4:** ¿Las intensas y duraderas Precipitaciones Pluviales generara una zona de saturación del suelo, en la ladera derecha de la quebrada de Qolcohuaycco?
- **Problema Específico N° 5:** ¿Cuál será el Potencial de Deslizamiento que presente la ladera derecha de la quebrada de Qolcohuaycco, frente a las intensas y duraderas precipitaciones pluviales?

1.3. Justificación e importancia de la investigación.

1.3.1. Justificación técnica.

Esta investigación pretende, identificar aquellos factores geotécnicos (parámetros geotécnicos, sujetos a variación de sus valores correspondientes, por la presencia de agua infiltrada de lluvia) que pueden ser los causantes de la inestabilidad del talud derecho de la quebrada de Qolcohuaycco en época de lluvias, para luego evaluar la estabilidad del talud frente a estos factores, mediante la determinación del factor de seguridad obtenido del análisis de estabilidad del talud. La investigación realizada pretende dar un gran aporte a la rama de la geotecnia en el campo de la Ingeniería Civil, para conocer la variación e influencia de los parámetros geotécnicos por la infiltración de agua de lluvia, hacia el interior del suelo, en aquellos taludes con características similares a la del talud en estudio.

La investigación cuenta con la instrumentación geotécnica en campo y laboratorio que se puede aplicar para la determinación de estos factores geotécnicos, como ensayos de SPT y sus respectivas correlaciones.

Finalmente la Ingeniería Geotécnica cuenta con las teorías y modelamientos geotécnicos aplicados a esta rama, como el programa de Slide V-05, que determina el factor de seguridad de un talud en condiciones saturadas y no saturadas.

1.3.2. Justificación Social.

Siendo el Cusco una región que forma parte del sur andino del Perú, está sometida a una gran variabilidad climática la cual se ha agravado en las últimas dos décadas como consecuencia del proceso de calentamiento global; en donde se producen diversos fenómenos naturales con



distinta potencialidad destructiva y nivel de recurrencia, que constituyen peligros para la población y sus medios de vida; tales eventos como las granizadas y la intensas precipitaciones, que van ocasionando la inestabilidad en taludes, deslizamientos de laderas, inundaciones, huaycos, colapso de viviendas, entre otros que vulneran los emplazamientos urbanos en el comité 4 de la urbanización santa rosa del distrito de San Sebastián provincia y departamento del Cusco y dar parte de una solución, a una problemática local.

Tal es el caso del talud derecho en la quebrada de Qolcohuaycco, de la ladera del mismo nombre; donde se presentó un deslizamiento, en una parte del talud mencionado. Quedando en la actualidad, vulnerable a presentar un nuevo deslizamiento, producto de la acción conjunta de factores que provocan la inestabilidad en un talud.

1.3.3. Justificación por viabilidad.

La tesis de investigación reúne las características, condiciones técnicas y operativas que aseguran el cumplimiento de los objetivos planteados y el desarrollo correcto de la tesis de investigación. Dicho esto, la investigación dispone de acceso a la zona del lugar en estudio y cuenta con la disponibilidad de la información necesaria para realizar dicha investigación.

1.3.4. Justificación por relevancia.

Debido al deslizamiento ocurrido en el año 2010, de una parte del talud derecho de la quebrada de Qolcohuaycco, ubicada en la ladera del mismo nombre, es importante identificar y evaluar aquellos factores que vulneran la estabilidad en dicho talud; ya que este deslizamiento ocurrido, da indicio a la posible ocurrencia de un nuevo deslizamiento de potenciales secuelas de daños a infraestructura y de riesgo a la población circundante al área de estudio.

Es importante también realizar esta tesis de investigación, porque nos permite conocer el grado de riesgo a deslizamiento por movimiento de masas en el comité 4 de la urbanización santa rosa del distrito de San Sebastián provincia y departamento del Cusco y dar parte de una solución, a una problemática local.

1.4. Limitaciones de la investigación.

1.4.1. Limitaciones geográficas.

- La investigación se realizó geográficamente en la ciudad del Cusco, con las siguientes coordenadas UTM y geográficas.



- Coordenadas Geográficas (grados, minutos, segundos):
 - 13°31'41.16" latitud Sur
 - 71°55'7.84" longitud Oeste.
- Coordenadas UTM (WGS84):
 - Zona 19 L
 - X: 184047.46 m E.
 - Y: 8502549.83 m S.

1.4.2. Limitaciones para el análisis.

- Se limita a realizar ensayos de campo que no vulneren la estabilidad del talud en estudio.
- Se consideró la erosión pluvial, más no la erosión eólica.
- No se realizaron calicatas para la toma y extracción de muestras en la Quebrada de Qolcohuaycco, debido a que la Asociación Pro vivienda Santa Rosa, lo prohíbe.
- Se realizaron Ensayos de Penetración Estándar (SPT), para utilizar sus correspondientes correlaciones en la tipología de suelos.
- Los ensayos de laboratorio se realizaron en la Universidad Andina del Cusco.
- Los equipos de topografía y SPT
- El registro de datos del canal, se realizó en la época de lluvias en el mes de marzo del 2017.
- Los métodos de análisis de estabilidad del talud para determinar el factor de seguridad con el programa Slide V- 05, fueron los de Morgenstern Price y de Spencer.
- Se limita al periodo enero del 2016 a setiembre de 2018.

1.5. Objetivo de la investigación.

1.5.1. Objetivo General.

Identificar y Evaluar cuáles son los factores geotécnicos que causan la inestabilidad de la ladera derecha en la quebrada de Qolcohuaycco.

1.5.2. Objetivos Específicos.

- **Objetivo Específico N° 1:** Determinar los Parámetros de Resistencia al Corte de los Suelos en condiciones saturadas, que influyen en la inestabilidad de la ladera derecha de la quebrada de Qolcohuaycco.



- **Objetivo Especifico N° 2:** Determinar los valores de la Permeabilidad de los tipos de suelos presentes en la ladera derecha de la quebrada de Qolcohuaycco, que influyen en la saturación del suelo durante las precipitaciones pluviales.
- **Objetivo Especifico N° 3:** Determinar el incremento de la altura en la ladera derecha de la Quebrada de Qolcohuaycco generada por la erosión pluvial al pie de la ladera, que influye en su inestabilidad.
- **Objetivo Especifico N° 4:** Comprobar si las intensas y duraderas precipitaciones pluviales generan la saturación del suelo, en la ladera derecha de la quebrada de Qolcohuaycco.
- **Objetivo Especifico N° 5:** Realizar el análisis de la ladera derecha de la quebrada de Qolcohuaycco mediante el programa Slide V-5.0, para demostrar el potencial de deslizamiento de la ladera analizada.



Capítulo II: Marco Teórico

2.1. Antecedentes de la tesis o investigación actual.

2.1.1. Antecedentes a Nivel nacional.

Título: “Diseño de Obras De Estabilización de Taludes de los Asentamientos Humanos de Torrechayoc y Huayna Picchu.

Autor: Cauna Quispe Carlos Eusebio.

Institución: Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

Año: 2016

Descripción:

La mencionada tesis tiene como objetivo general, desarrollar un estudio bien definido, adoptando modelos y procedimientos a las condiciones locales, para estabilizar el terreno que se encuentra en proceso de desestabilización en el área de estudio, no alterando las condiciones de equilibrio existente ni abusando de la naturaleza, esto quiere decir que los principios de conservación ecológica son también válidos para la conservación del equilibrio. Finalmente concienciar y capacitar a toda la población respecto a la gravedad de los fenómenos de inestabilidad orientándolos a no construir sus viviendas en zonas riesgosas.

El aporte de la tesis, tiene como finalidad determinar el factor de seguridad natural del terreno inestable, previo análisis de la información general de la zona, luego se determinará el factor de seguridad con obras de estabilización (según se asuma), para su respectiva evaluación.

El presente trabajo de Investigación buscará soluciones a la problemática de los terrenos inestables; para lograr tal objetivo se tomó las siguientes recomendaciones:

- En base a los estudios geotécnicos y al análisis de los taludes deslizantes, analizados por los métodos Janbú, Spencer, Morgenterns Price; se obtuvo como resultados factores de seguridad menores a la unidad, lo cual hay incidencia de los deslizamientos de masa de tierra, y aun cuando con la presencia del agua.
- Entonces se analizó con otras propuestas, por los métodos Janbú, Spencer, Morgenterns Price, para dar solución a los diferentes taludes estudiados.

Título: “Análisis retrospectivo y prospectivo secuencial de deslizamiento de laderas en la ciudad universitaria de la universidad nacional de Huancavelica”

Autor: Espinoza Huamán Iván y Rivera Casavilca Isaías.

Institución: Universidad Nacional de Huancavelica.

Año: 2018

**Descripción:**

Para los análisis de estabilidad fueron usados cuatro métodos de equilibrio límite, el de Fellenius, Bishop Simplificado, Janbu Simplificado y Spencer, usando como medio de verificación el programa de análisis de estabilidad de taludes denominado Slide V 5.0.

El análisis de estabilidad de ladera realizado antes de concebir el proyecto en terreno natural, con parámetros obtenidos in situ, se obtiene como resultado un $FS = 1.379$ (Bishop Simplified), El factor de seguridad en este caso es mayor que 1 ($FS > 1$) entonces el talud es estable en ese momento. Ahora realizando un análisis de estabilidad con valores de análisis retrospectivo no saturado, obtenidos en el primer deslizamiento y segundo deslizamiento, se obtiene como resultado un $FS = 1.369$ y $FS = 1.262$ (Bishop Simplified) respectivamente, El factor de seguridad en este caso es mayor que 1 ($FS > 1$) entonces el talud es estable en ese momento. Y por último se realizó también Análisis de estabilidad con valores de análisis retrospectivo saturado, obtenidos en el primer deslizamiento y segundo deslizamiento, se obtiene como resultado un $FS = 1.113$ y $FS = 1.110$ (Bishop Simplified) respectivamente, El factor de seguridad en este caso es mayor que 1 ($FS > 1$) entonces el talud es estable también en ese momento. Observándose todos los análisis de estabilidad realizados concluimos que la ladera donde se iba a construir la infraestructura académica era estable en todo sentido para esta primera etapa.

2.1.2. Antecedentes a Nivel Internacional.

Título: “Análisis de estabilidad de ladera en el cerro del Mesón de Poza Rica”

Autor: Garibay Pérez Andrés.

Institución: Universidad Nacional de Costa Rica.

Año: 2016

Descripción:

Esta tesis nos muestra las siguientes conclusiones:

El suelo que conforma las laderas en el Ejido Cerro del Mesón presenta una baja resistencia al cortante, la cual se considera como la detonante de este deslizamiento, un factor muy importante para favorecer la inestabilidad de esta zona son las lluvias que ocurren prácticamente todo el año, las cuales satura al suelo al penetrarle el agua por las grietas que contiene dicho material a lo largo de toda su masa debido a la erosión.

En las visitas a la zona de estudio se pudo observar que el suelo retenía gran cantidad de agua, aunque las lluvias ya tenían días de haber ocurrido. Al contener una gran cantidad de agua



dentro del talud, se disminuye su cohesión y su resistencia al corte, esto se confirmó en laboratorio al realizar la prueba triaxial (UU) con especímenes a diferentes grados de humedad.

Las determinaciones de los factores internos del suelo a través de pruebas de laboratorio permitieron crear modelos geotécnicos idealizados de deslizamiento, los cuales se consideraron isotrópicos y homogéneos, los cuales fueron sometidos a un análisis de estabilidad, donde se pudo conocer el comportamiento del suelo a diferentes grados de humedad, esto para simular en laboratorio lo que puede ocurrir en tiempos de lluvia.

El FS obtenido es de gran ayuda para establecer criterios geométricos en la remediación de este deslizamiento, así como también se puede determinar la obra correcta para solucionar esta problemática.

2.2. Aspectos Teóricos Pertinentes.

Según el autor (Suárez Díaz, 1998, pág. 39) nos dice: “Para encontrar las causas y mecanismos de falla y poder cuantificar los parámetros que determinan la estabilidad de un talud, diagnosticar y diseñar las obras de estabilización se recomienda realizar un estudio que incluye las siguientes etapas”:

- Reconocimiento e identificación del sitio.
- Análisis de la información existente.
- Estudio de las características superficiales del sitio que permitan la caracterización topográfica y geotécnica.
- Investigación de campo que incluye sondeos, toma de muestras, y ensayos in situ para cuantificar los parámetros del suelo.
- Investigación de Laboratorio.
- Análisis de la información obtenida, modelación matemática y diseño. (Suárez Díaz, 1998, pág. 40)

En tal sentido para realizar el análisis de estabilidad de un talud y conocer que parámetros geotécnicos son las causas que originan o inducen la falla del talud se debe de tomar en cuenta las etapas mencionadas anteriormente.



2.2.1. Levantamiento topográfico.

La Topografía tiene un amplio campo de aplicación, haciendo de ella necesaria e importante para la proyección y ejecución de diversas obras de ingeniería; como ejemplo el diseño y evaluación de taludes artificiales y naturales, entre otros.

Según (Gámez Morales, 2015 , pág. 10), nos dice que: “la topografía se encarga de medir extensiones de tierra tomado los datos para su representación gráfica en un plano en escala, sus formas y accidentes”.

Los tipos de levantamientos, son los topográficos y geodésicos; el primero se puede realizar en terrenos o superficies reducidas y se puede no considerar la curvatura terrestre. Y el segundo es aplicable a extensiones de terreno o superficies bastantes grandes.

Un levantamiento topográfico, comprende realizar dos etapas. La primera es la de campo que consiste en la extracción de datos obtenidos de un teodolito o estación total y la segunda la de gabinete que consiste en el procesamiento de los datos para así obtener las características topográficas del terreno mediante un dibujo de lo levantado.

La Topografía se divide en dos grandes partes: la Planimetría y Altimetría

“La Planimetría estudia los instrumentos y métodos para proyectar sobre una superficie plana horizontal, la exacta posición de los puntos más importantes del terreno y construir de esa manera una figura similar al mismo; mientras que la Altimetría tiene en cuenta la diferencia de nivel existente entre los diferentes puntos del terreno con respecto a una superficie de referencia, generalmente corresponde al nivel medio del mar” (Gámez Morales, 2015 , pág. 13). Entre los trabajos que realiza la planimetría tenemos: cálculo de superficie, división de terrenos en parcelas, replanteo de líneas viejas o destruidas, construcción de planos de terrenos, etc.

La expresión topográfica de un terreno en función de las características físicas de los materiales que lo constituyen, de la estructura geológica, la erosión y otros elementos. Se puede distinguir así:

- El relieve.
- La forma de la superficie.
- Las pendientes.
- Las elevaciones relativas.



2.2.1.1. Levantamiento con Estación Total.

La estación total es un instrumento que integra en un sólo equipo las funciones realizadas por el teodolito electrónico, un medidor electrónico de distancias y un microprocesador para realizar los cálculos que sean necesarios para determinar las coordenadas rectangulares de los puntos del terreno. (Pachas L, 2009, pág. 35)

Entre las operaciones que puede realizar una Estación Total puede mencionarse:

La obtención de promedios de mediciones múltiples angulares y de distancias, corrección electrónica de distancias por constantes de prisma, presión atmosférica y temperatura, correcciones por curvatura y refracción terrestre, reducción de la distancia inclinada a sus componentes horizontal y vertical así como el cálculo de coordenadas de los puntos levantados. (Pachas L, 2009, pág. 35)

La Estación Total es utilizada tanto en levantamientos topográficos planimétricos y/o altimétricos. Los levantamientos topográficos con este aparato y/o instrumento según la experiencia de varios profesionales son rápidos y precisos, en cuanto a la descarga de datos obtenidos de campo están libres de error, los cálculos se hacen a través del software y el dibujo es asistido por computadora respectivamente, lo cual garantiza una presentación final, el plano topográfico, en un formato claro, pulcro y que cumple con las especificaciones técnicas requeridas. (Pachas L, 2009, pág. 36)

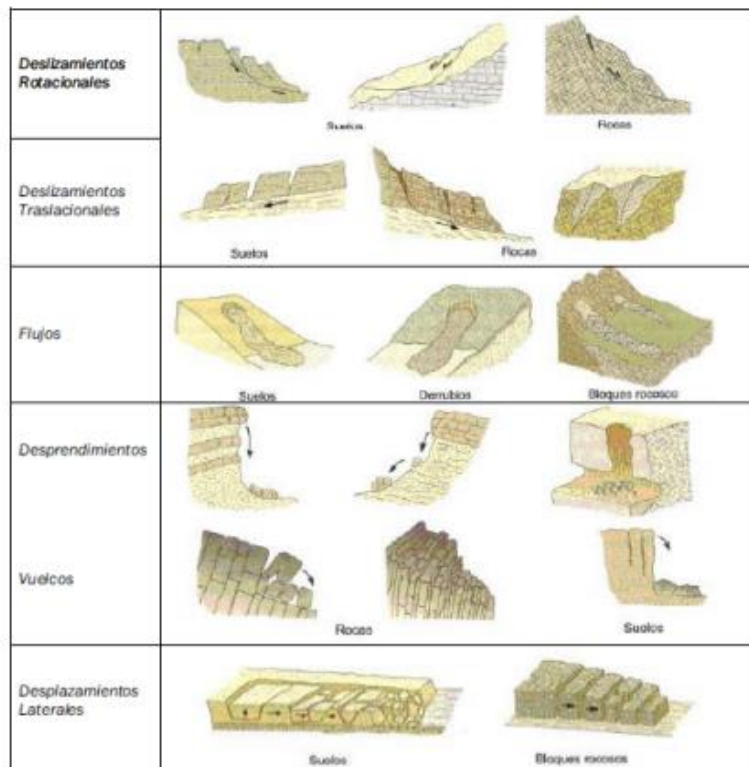
2.2.2. Movimiento de Laderas

Según el autor (Varnes, 1978), se entiende como movimiento de ladera “slope movement” al movimiento de una masa de roca, suelo o derrubios, de una ladera en sentido descendente. Los tipos, actividades y definiciones de movimientos de ladera son definidos por la Commission of Landslides que forma parte de la Asociación Internacional de Ingeniería Geológica (IAEG). Soeters y van Westen (1996) formularon que los procesos de inestabilidad de laderas son el producto de las condiciones locales geomorfológicas, hidrológicas y geológicas, las cuales pueden verse modificadas por los procesos geodinámicos, vegetación, usos del suelo y actividades humanas y por la frecuencia e intensidad de las precipitaciones y de la sismicidad de la zona.

2.2.2.1. Clasificación de movimientos de laderas

Realizar la clasificación de los diferentes movimientos de masas existentes en una ladera permitirá la identificación y descripción de las masas o cuerpos que están en movimiento relativo. La clasificación según Varnes (1978) es una de las más completas y las más utilizadas que existen actualmente, la cual se basa principalmente en características geomorfológicas (Figura 3). A continuación, se describe cada tipo englobado en esta clasificación.

Figura 6. Clasificación general de los movimientos de ladera.



Fuente: (Luis I. González de Vallejo, 2002)

- **Deslizamientos.-** En este tipo de movimiento de ladera, el desplazamiento del terreno se produce sobre una o varias superficies de rotura bien definidas. La masa generalmente se desplaza en conjunto, comportándose como una unidad, prácticamente sin deformación interna en su recorrido. La velocidad es variable y a menudo implica desplazamiento de grandes volúmenes. En función de la geometría de la superficie de rotura se diferencian entre:



Deslizamiento rotacional: la superficie de rotura es de forma cóncava y se producen generalmente en materiales homogéneos o en macizos rocosos muy fracturados y se suelen diferenciar por una inclinación contrapendiente de la cabecera.

Deslizamiento traslacional: la superficie es un plano con una inclinación más o menos constante y suelen producirse sobre materiales heterogéneos con superficies de discontinuidad bien definidas.

Deslizamientos compuestos: movimientos de ladera que tienen una superficie de rotura con una geometría mixta.

- **Desprendimientos:** Corresponden al rápido movimiento de una masa de cualquier tamaño de roca o de suelo en forma de bloques aislados o material masivo. Los desplazamientos se producen por caída libre, son típicos en macizos rocosos y generalmente están asociados a las discontinuidades. Requieren una topografía con escarpes o pendientes muy fuertes y se caracterizan por la acumulación de bloques de tamaño variable en el pie de la ladera.
- **Flujos:** En ellos se producen movimientos relativos de las partículas o bloques pequeños dentro de una masa que se mueve o desliza sobre una superficie de falla. Según Varnes (1978), estos movimientos tienen en común la deformación interna y continua del material, y ausencia de una superficie neta de desplazamiento. En algunos casos la superficie de rotura se puede asimilar a toda una franja de deformación. Las diferencias estriban en el material implicado, su contenido en agua y la velocidad de desarrollo, de lenta (reptación) a súbita (flujos de rocas). Los más comunes son:

Movimientos en suelo: flujos de tierra o barro.

Flujos de derrubios (debris flow): movimientos que engloban a fragmentos rocosos, bloques, cantos y gravas en una matriz fina de arena, limo y arcilla (en general los gruesos representan un porcentaje superior al 50%). Este tipo de movimientos tienen lugar en laderas cubiertas por material no consolidado y donde la humedad del suelo suele ser el factor desencadenante principal del proceso. Se trata de movimientos muy rápidos.

- **Desplazamientos laterales:** movimiento de bloques rocosos o masas de suelo muy coherente sobre un material blando y deformable. Como consecuencia de esta diferencia entre el material suprayacente y el infrayacente, se produce la fragmentación de las capas



superiores. Los bloques se desplazan lateral y lentamente a favor de pendientes muy bajas. No son movimientos frecuentes y suelen ser bastante extensos.

- **Movimientos complejos:** resultan de la combinación de dos o más tipos de movimientos elementales descritos anteriormente. Estos movimientos alcanzan generalmente gran tamaño, afectando a veces a laderas completas.

2.2.3. Factores que influyen en la inestabilidad de un talud.

Para realizar una evaluación de la inestabilidad de un talud por la ocurrencia de una falla, se debe de conocer los factores o causas que originan este problema.

En la publicación, Inestabilidad de laderas naturales (Alcántara Ayala Irasema, 2001), afirma también que:” Los procesos que ocasionan la inestabilidad de las laderas están determinados por dos tipos de factores; externos e internos. Los factores externos ocasionan un incremento en los esfuerzos o acciones que se dan en una ladera, es decir, producen una mayor concentración de las fuerzas motoras o actuantes, mientras que los factores internos reducen la resistencia de los materiales, en otras palabras, disminuyen la concentración. (pág. 9)

Los factores que influyen en la inestabilidad de taludes se pueden separar, según el autor (Ochoa Quispe, 2016, pág. 22), en dos grandes grupos los factores internos y factores externos.

Los factores internos, condicionan las diferentes tipologías de deslizamiento, los mecanismos y modelos de rotura. Dentro de ellos se encuentran características intrínsecas, relativas a las propiedades del material y a su resistencia y las características extrínsecas relacionadas con la morfología y condiciones ambientales a la que está sometida el talud y los factores externos actúan sobre el material y dan lugar a modificaciones en las condiciones iniciales de las laderas, provocando o desencadenando las roturas debido a las variaciones que ejercen en el estado de equilibrio. Tres tipos de acciones se incluyen: la infiltración de agua en el terreno, las vibraciones, entre otros. (Ochoa Quispe, 2016, pág. 23)

Según el libro de (Suárez Díaz, 1998) nos dice: La ocurrencia de una falla obedece a un proceso, el cual comprende una gran cantidad de factores que incluyen:

- Las condiciones originales de la ladera. - Estas condiciones determinan una susceptibilidad al deterioro, a la acción de los factores detonantes y al fallamiento; estos pueden ser: La



topografía, geología y características de los materiales y perfiles, condiciones ambientales generales, cobertura vegetal.

- Los factores de deterioro. - estos factores modifican lentamente las condiciones originales cuyo resultado es una disminución en la resistencia al cortante del material.
- Los factores detonantes. - El resultado es un aumento en los esfuerzos de cortante. Estos esfuerzos aumentan a lo largo de la superficie de falla hasta que ocurre el movimiento. En el fenómeno de detonación actúan una serie compleja de procesos los cuales, en ocasiones, se traslapan con los factores de deterioro

El Fallamiento. - El proceso de fallamiento después de que interviene el factor detonante es un fenómeno generalmente físico, en el cual las condiciones de esfuerzo y deformación juegan un papel preponderante. Las fallas en la mayoría de los casos no ocurren en forma repentina, sino que toman un tiempo, el cual puede durar de minutos a años. (Suárez Díaz, 1998, pág. 12).

Los movimientos de ladera causados por lluvias están relacionados con el volumen, intensidad y distribución de dichas precipitaciones. Cuando la precipitación cae sobre una ladera, un porcentaje de ella es interceptado por la vegetación, otro se infiltra en el suelo o se almacena en las depresiones para luego infiltrarse. El proceso de infiltración continúa, aún después del cese de las lluvias y en algún momento pueden crearse condiciones críticas, ya que la humedad del suelo y la posición del nivel freático han aumentado, incrementando la presión de poros, disminuyendo los esfuerzos efectivos y, por tanto, la resistencia al esfuerzo cortante. Es entonces cuando se pueden alcanzar los umbrales de inestabilidad que disparan el movimiento de una parte o toda la ladera.

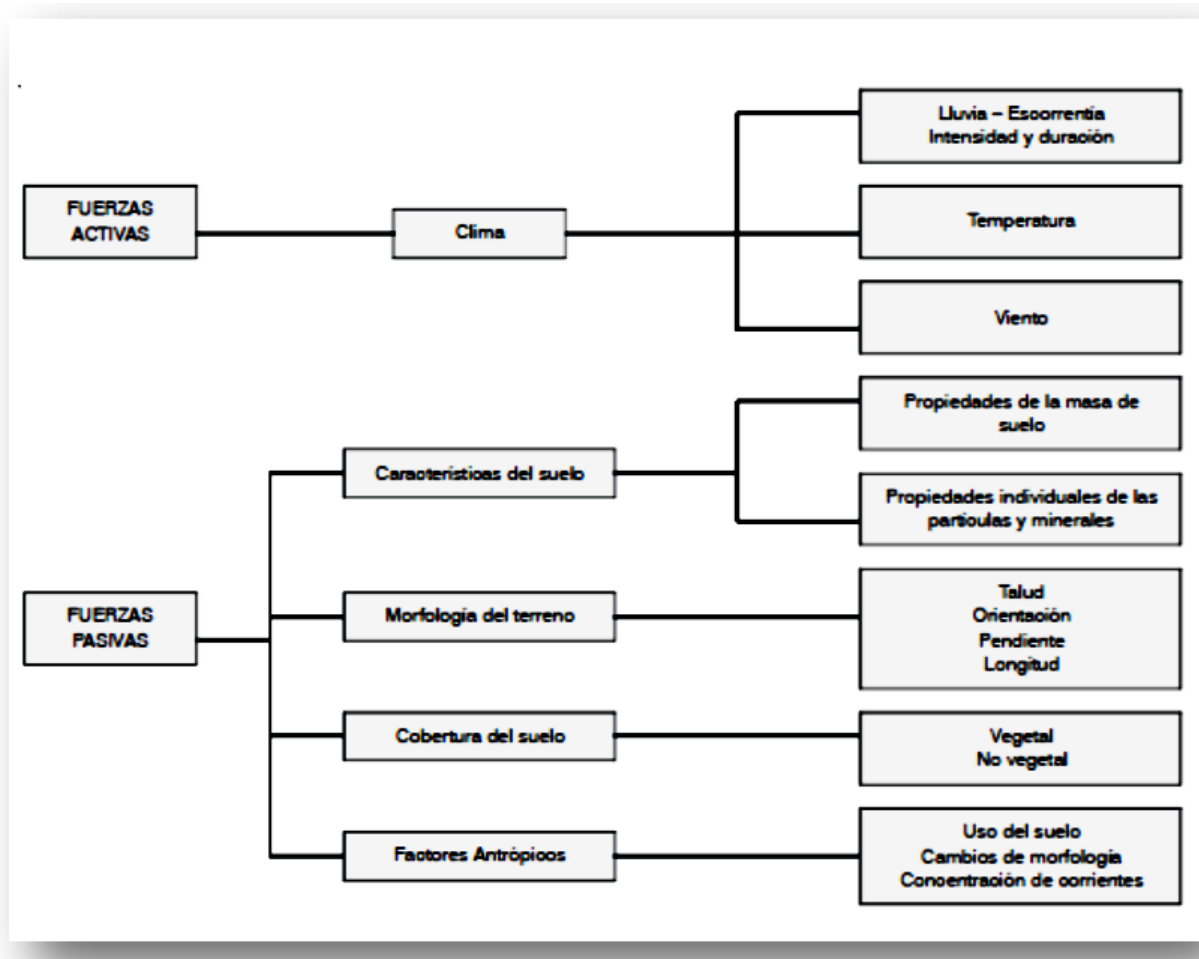


Figura 7. Factores que afectan la susceptibilidad a la erosión de los taludes y laderas.
Fuente: Jaime Suarez Díaz (2001).

2.2.4. Parámetros geotécnicos que afectan la estabilidad de una ladera.

Los problemas de estabilidad de una ladera son, en muchos casos, diferentes de los que se presentan en los taludes. Las diferencias principales se deben a la naturaleza de los materiales (parámetros geotécnicos de los suelos), además de la influencia que el hombre ha ejercido sobre ella (deforestación, cambios en el uso del suelo, cortes para construcción de obras, entre otros). (Oliva González, 2015, pág. 1)

Los parámetros geotécnicos del suelo (factores internos) que intervienen en la inestabilidad de un suelo son varios; pero se mencionara a los que frecuentemente intervienen en el análisis de la estabilidad de un talud.

La resistencia al corte, que representa la modelación física del fenómeno de deslizamiento. Los parámetros de ángulo de fricción y cohesión determinan el factor de seguridad al deslizamiento de una determinada superficie dentro del terreno. Los ángulos de fricción varían



de cero en materiales muy blandos, a cincuenta grados en gravas angulosas o mantos de arenisca y las cohesiones de cero en materiales granulares limpios, a más de diez kilogramos por cm² en suelos muy bien cementados y valores superiores en las rocas masivas.

La *permeabilidad* mide la resistencia interna de los materiales al flujo del agua y puede definir el régimen de agua subterránea, concentración de corrientes, etc. Los valores del coeficiente de permeabilidad varían de 100 cm/seg., en roca fracturada o suelos compuestos por arenas y gravas, hasta 10-10 cm/seg., en arcillas impermeables o en pizarras y granitos sanos.

La *erosionabilidad* es la facilidad con la cual el suelo puede ser desprendido y transportado por acción del agua. Este factor puede afectar la estabilidad de un talud, en cuanto produce cambios topográficos desestabilizantes o genera conductos internos de erosión.

Mientras que la *expansibilidad* en los suelos arcillosos al contacto con el agua expanden su volumen produciéndose movimientos de extensión dentro de la masa del suelo. En suelos sensitivos se puede producir pérdida de resistencia al corte por acción del remoldeo generado por el proceso expansivo, factor que se ha detectado en suelos de origen volcánico en el suroccidente de Colombia.

Para determinar los parámetros geotécnicos de los estratos de suelos que componen la ladera o talud (humedad, peso específico, cohesión, Angulo de fricción, entre otros), se realizaran sondeos y calicatas en la parte baja, media y alta de la ladera si es que fuera posible. (Gallardo Amaya, Guerrero Barbosa, & Macgregor Torrado, 2013, pág. 69).

2.2.5. Resistencia al esfuerzo de corte de un suelo.

La modelación o representación matemática del fenómeno de falla al cortante en un deslizamiento se realiza utilizando las teorías de la resistencia de materiales. Las rocas y los suelos al fallar al corte se comportan de acuerdo a la teoría tradicional de fricción y cohesión, según la ecuación generalizada de Coulomb (Suárez Díaz, 1998):

- $\tau = c' + (\sigma - \mu) \text{Tan } \phi'$ (Para suelos saturados)
- $\tau = c' + (\sigma - \mu) \text{Tan } \phi' + (\mu - \mu_a) \text{Tan } \phi'$ (para suelos parcialmente saturados)

Donde:

- τ = Esfuerzo de resistencia al corte.
- c' = Cohesión o cementación efectiva.
- σ = Esfuerzo normal total.



- μ = Presión del agua intersticial o de poros.
- μ_a = Presión del aire intersticial.
- ϕ' = Angulo de fricción interna del material.
- ϕ'' = Angulo de fricción del material no saturado.

El análisis de la ecuación de Coulomb requiere predefinir los parámetros, ángulo de fricción y cohesión, los cuales se consideran como propiedades intrínsecas del suelo.

La presencia del agua reduce el valor de la resistencia del suelo dependiendo de las presiones internas o de poros de acuerdo a la ecuación de Coulomb, en la cual el factor u está restando al valor de la presión normal. La presión resultante se le conoce con el nombre de presión efectiva σ' . (Suárez Díaz, 1998, pág. 81).

- σ' (Presión efectiva) = $\sigma - \mu$
- ϕ' = Angulo de fricción para presiones efectivas.
- c' = Cohesión para presiones efectivas.

El ángulo de fricción es la representación matemática del coeficiente de rozamiento, el cual es un concepto básico de la física:

$$\text{Coeficiente de rozamiento} = \text{Tan } \phi$$

El ángulo de fricción depende de varios factores, entre ellos algunos de los más importantes son (Suárez Díaz, 1998, pág. 82):

- Tamaño de los granos
- Forma de los granos
- Distribución de los tamaños de granos
- Densidad

La cohesión es una medida de la cementación o adherencia entre las partículas de suelo. La cohesión en mecánica de suelos es utilizada para representar la resistencia al cortante producida por la cementación, mientras que en la física este término se utiliza para representar la tensión. En suelos eminentemente granulares en los cuales no existe ningún tipo de cementante o material que pueda producir adherencia, la cohesión se supone igual a 0 y a estos suelos se les denomina Suelos no Cohesivos. La Cohesión aparente en los suelos no saturados el agua en los poros produce un fenómeno de adherencia por presión negativa o fuerzas capilares. Esta cohesión aparente desaparece con la saturación. (Suárez Díaz, 1998, pág. 82)

El Concepto de esfuerzo efectivo en una masa de suelo saturada consiste de dos fases distintas: el esqueleto de partículas y los poros entre partículas llenos de agua. Cualquier esfuerzo



impuesto sobre el suelo es soportado por el esqueleto de partículas y la presión en el agua. Típicamente, el esqueleto puede transmitir esfuerzos normales y de corte por los puntos de contacto entre partículas y el agua a su vez puede ejercer una presión hidrostática, la cual es igual en todas las direcciones. Los esfuerzos ejercidos por el esqueleto solamente, se conocen como esfuerzos efectivos y los esfuerzos hidrostáticos del agua se les denominan presión de poros. Los esfuerzos efectivos son los que controlan el comportamiento del suelo y no los esfuerzos totales. En problemas prácticos el análisis con esfuerzos totales podría utilizarse en problemas de estabilidad a corto plazo y las presiones efectivas para analizar la estabilidad a largo plazo. (Suárez Díaz, 1998, pág. 82)

Desde el punto de vista de la relación esfuerzo – deformación, en estabilidad de taludes se deben tener en cuenta dos tipos de resistencia:

- **Resistencia máxima o resistencia pico**

Es la resistencia al corte máxima que posee el material que no ha sido fallado previamente, la cual corresponde al punto más alto en la curva esfuerzo - deformación.

La utilización de la resistencia pico en el análisis de estabilidad asume que la resistencia pico se obtiene simultáneamente a lo largo de toda la superficie de falla. Sin embargo, algunos puntos en la superficie de falla han alcanzado deformaciones mayores que otros, en un fenómeno de falla progresiva y asumir que la resistencia pico actúa simultáneamente en toda la superficie de falla puede producir errores en el análisis. (Suárez Díaz, 1998, pág. 82)

- **Resistencia residual**

Es la resistencia al corte que posee el material después de haber ocurrido la falla (figura 3.1). Skempton (1964) observó que en arcillas sobre consolidadas, la resistencia calculada del análisis de deslizamientos después de ocurridos, correspondía al valor de la resistencia residual y recomendó utilizar para el cálculo de factores de seguridad, los valores de los parámetros obtenidos para la resistencia residual ϕ_r y c_r . Sin embargo, en los suelos residuales la resistencia pico tiende a ser generalmente, muy similar a la resistencia residual.

Otro factor que determina las diferencias entre la resistencia pico y residual es la sensibilidad, la cual está relacionada con la pérdida de resistencia por el remoldeo o la reorientación de las partículas de arcilla. (Suárez Díaz, 1998, pág. 83)

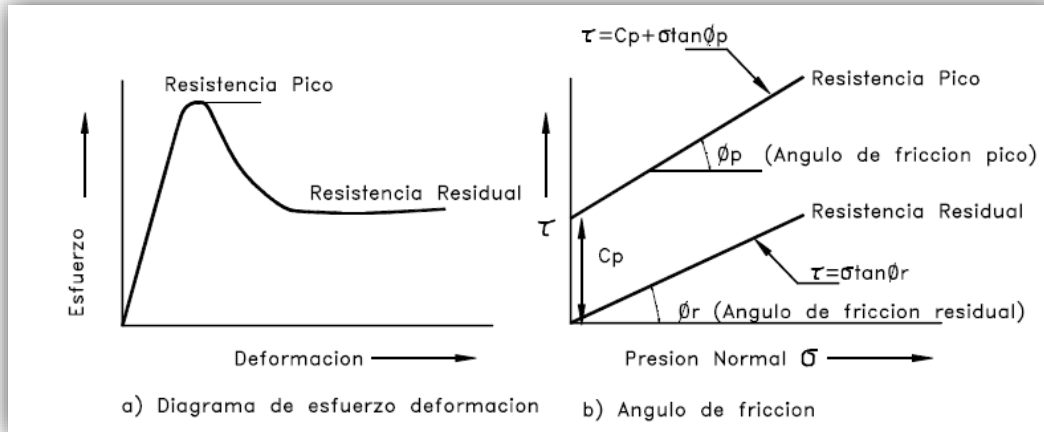


Figura 8. Diagrama de esfuerzo deformación y Angulo de fricción.

Fuente: (Suárez Díaz, 1998, pág. 83).

2.2.6. Permeabilidad de un suelo.

Según la publicación del autor (Angelone Silvia, 2006) explica: “La permeabilidad de un suelo es la facultad con la que el agua pasa a través de los poros y que un material es permeable cuando contiene vacíos continuos, estos vacíos existen en todos los suelos, incluyendo las arcillas más compactas”. (pag.3)

Los poros-canales en una masa de suelo son tan delgados, sinuosos e irregulares en su sección transversal y complejos en su intersección y subdivisión que el análisis de flujo a través de todos los poros individuales no sería posible. Sin embargo, en aquellos problemas de ingeniería que involucran la absorción a través del suelo, el flujo que ocurre en cada poro no es de interés. Por el contrario, el flujo que se desea conocer es el flujo combinado a través de todos los poros de un elemento cuyo volumen sea suficientemente grande para dar una representación típica de toda la masa de suelo que se trate. (Angelone Silvia, 2006, pág. 9)

La permeabilidad se ve afectada por diversos factores inherentes tanto al suelo como a características del fluido circulante. (Angelone Silvia, 2006, pág. 12) Los principales son:

- Las fuerzas de superficie.
- La porosidad.
- La tortuosidad de los vacíos del suelo.
- La relación de vacíos del suelo.
- La temperatura del fluido y suelo.

- La viscosidad del fluido en movimiento.
- La estructuración del suelo.
- La humedad del suelo.

2.2.6.1. El coeficiente de Permeabilidad

Para la determinación del coeficiente de permeabilidad existen diferentes métodos; los ensayos de laboratorio, los efectuados en el lugar y los métodos empíricos, donde el valor de k es obtenido indirectamente a través de relaciones empíricas con otras propiedades de los suelos

La tabla I, expresa valores del coeficiente de permeabilidad y formas de determinarlo, relacionándolo con las condiciones de drenaje y el tipo de suelo.

Tabla 1: Valores del coeficiente de permeabilidad “k” en cm/seg.

	100	10	1	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹
Drenaje	Bueno						Pobre			Prácticamente impermeable		
Tipo de suelo	Grava limpia	Arenas limpias y mezclas limpias de arena y grava			Arenas muy finas, limos orgánicos e inorgánicos, mezclas de arena, limo y arcilla, morenas glaciares, depósitos de arcilla estratificada				Suelos “impermeables”, es decir, arcillas homogéneas situadas por debajo de la zona de descomposición			
				Suelos “impermeables”, modificados por la vegetación o la descomposición. ^d								
Determinación directa de k	Ensayo directo del suelo “in situ” por ensayos de bombeo. Se requiere mucha experiencia, pero bien realizados son bastante exactos.											
	Permeámetro de carga hidráulica constante. No se requiere mayor experiencia.											
Determinación indirecta de k		Permeámetro de carga hidráulica decreciente. No se requiere mayor experiencia y se obtienen buenos resultados		Permeámetro de carga hidráulica decreciente. Resultados dudosos. Se requiere mucha experiencia.			Permeámetro de carga hidráulica decreciente. Resultados de regular a bueno. Se requiere mucha experiencia.					
	Por cálculo, partiendo de la curva granulométrica. Sólo aplicable en el caso de arenas y gravas limpias sin cohesión.							Cálculos basados en los ensayos de consolidación. Resultados buenos. Se necesita mucha experiencia				

Fuente: (Angelone Silvia, 2006, pág. 16).



Para la determinación del coeficiente de permeabilidad existen diferentes métodos; los ensayos de laboratorio, los efectuados en el lugar y los métodos empíricos, donde el valor de k es obtenido indirectamente a través de relaciones empíricas con otras propiedades de los suelos.

La alternativa más sencilla son las medidas puntuales de la permeabilidad, no sustituyen a los bombeos de ensayo, porque, además de otras diferencias, éstos pueden realizarse en acuíferos profundos, mientras que las medidas puntuales de permeabilidad normalmente se realizan en perforaciones de pocos metros. Son muy aplicadas en Geotecnia.

Existen dos tipos: • Nivel constante: Introducimos un caudal conocido para mantener constante el nivel dentro de la perforación. Estabilizado el proceso, a partir de dicho caudal y de la longitud y diámetro de la perforación, calculamos la permeabilidad • Nivel variable: Se introduce (o se extrae) súbitamente un volumen de agua en un sondeo (normalmente de pequeño diámetro, 5 a 10 cm), lo que provoca un ascenso (o descenso) instantáneo del nivel del agua dentro de la perforación. Se miden los descensos-tiempos a medida que se recupera el nivel inicial. A continuación se resumen los distintos métodos (Sánchez San Román, 2011): Los métodos citados por todos los manuales de Hidrogeología son los de nivel variable de Hvorslev (1951) para acuíferos libres, de Cooper et al. (1967) para acuíferos confinados y el de Bower y Rice (1976) para acuíferos libres. En Geotecnia e Ingeniería Geológica en general se utilizan los ensayos Lefranc y Lugeon; menos conocido es el de GilgGavard. (Sánchez San Román, 2011, pág. 1).

Los ensayos de campo de carga variable y de carga constante para determinar el coeficiente de permeabilidad en SITU, se utilizaran el ensayo de carga variable cuando el tipo de suelo presente una permeabilidad lo suficiente baja; y el de carga constante se aplicará a suelos relativamente permeables como por ejemplo limos, arenas y gravas.

Ensayo Lefranc con nivel variable.- este método es meramente indicativo. Pueden presentarse dos casos: que la zona filtrante tenga un diámetro igual o distinto que la entubación del piezómetro (Sánchez San Román, 2011, pág. 3).

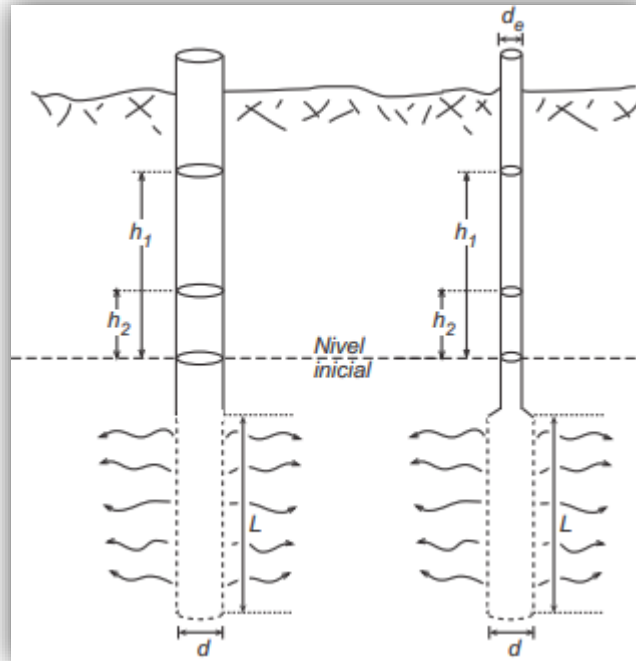


Figura 9. Ensayo de Lefranc con nivel variable, Subida inicial y medida de descensos.

Fuente: (Sánchez San Román, 2011, pág. 3).

Se hace subir el nivel hasta una altura h_0 , y posteriormente medimos dos niveles, h_1 y h_2 , entre las que ha transcurrido un tiempo t .

La permeabilidad (Unidades homogéneas, por ejemplo: metros, segundos, m^3/s , m/s), se calcula mediante la expresión siguiente, (Sánchez San Román, 2011):

$$K = \frac{d_e^2 \ln(2L/d)}{8 L t} \ln \frac{h_1}{h_2}$$

Donde:

- K = conductividad hidráulica
- h_1 , h_2 = altura del agua al principio y al final del ensayo
- t = tiempo transcurrido entre la observación de los niveles h_1 y h_2
- L = longitud de la zona filtrante
- d = diámetro de la zona filtrante de = diámetro de la entubación (puede ser igual a d)

2.2.7. Erosión.

La erosión hídrica es un fenómeno ocasionado por acción de fuerzas hidráulicas, las cuales actúan sobre las partículas de suelo produciendo su desprendimiento y posterior transporte (Suárez Díaz, 1998, pág. 263).

La erosión involucra una serie de procesos en los cuales interviene una gran cantidad de factores y del mismo modo este depende de cuatro variables principales y son:

$$\text{Erosión} = f(\text{R.G. S.V})$$

Dónde:

- R = Factor que depende de la cantidad e intensidad de la lluvia.
- G = Factor que depende de la pendiente y topografía del terreno
- S = Factor que depende de las propiedades físicas y químicas del suelo
- V = Factor que depende de las características de la cobertura vegetal

Las regiones con suelos muy erosionables, pendiente alta, clima seco y fuertes vientos, pero con lluvias intensas ocasionales, sufren las mayores pérdidas por erosión.

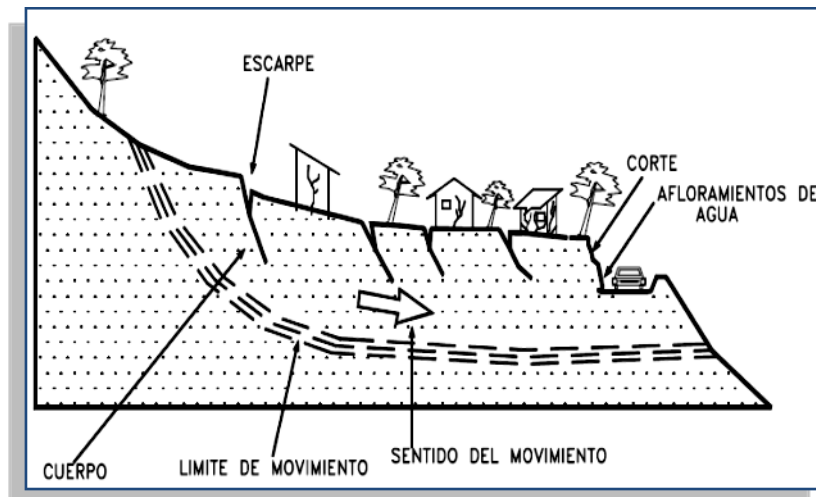


Figura 10. Procesos de erosión.

Fuente: (Suárez Díaz, 1998).

La erosión fluvial se presenta en los cursos de agua (quebradas y ríos). La fuerza tractiva del agua vence la resistencia de los materiales, produciéndose procesos de socavación lateral y de fondo. Los procesos movilizan además de arcillas y limos, otros materiales como arenas, gravas, cantos y bloques, en las formas de acarreo e disolución, suspensión y acarreo de fondo. Los volúmenes movilizados por erosión fluvial son altos, en cauces erosionados.

Según (Suárez Díaz, 1998, pág. 98), existen varios tipos de erosión; sin embargo, los que suelen suceder comúnmente en quebradas, son aquellos tipos que son generados por la escorrentía y la concentración de agua de las precipitaciones pluviales; así tenemos:



- Erosión en surcos.
- Erosión en cárcavas.
- Erosión en cauces de agua (erosión lateral y profundización).

La erosión fluvial se presenta en los cursos de agua (quebradas y ríos). La fuerza tractiva del agua vence la resistencia de los materiales, produciéndose procesos de socavación lateral y de fondo. Los procesos movilizan además de arcillas y limos, otros materiales como arenas, gravas, cantos y bloques, en las formas de acarreo e disolución, suspensión y acarreo de fondo. Los volúmenes movilizados por erosión fluvial son altos, en cauces erosionados.

La erosión por cárcavas actúa como cauces de concentración y transporte de agua y sedimentos. En este proceso una cárcava con cauce en forma de “V” captura a las vecinas (surcos) y va transformando su sección de una “V” ampliada a una sección tipo “U”.

Las cárcavas son canales mucho más largos que los surcos que transportan corrientes concentradas de agua durante e inmediatamente después de las lluvias y que van avanzando o remontando hacia arriba formando una o varias gradas o cambios bruscos de pendiente. Una vez se inicie la cárcava es muy difícil de suspender el proceso erosivo.

Las áreas más susceptibles a erosión en cárcavas son aquellas de topografía de alta pendiente y mantos de suelo de gran espesor. Las mesetas semi-planas que recogen gran cantidad de aguas de escorrentía y a su vez tienen taludes de pendiente fuerte lateral presentan especial susceptibilidad a la formación de cárcavas, especialmente cárcavas anchas. Las áreas más afectadas por cárcavamientos son aquellas que tienen suelos dispersivos o altamente erosionables. (Suárez Díaz, 1998, pág. 103)

La Erosión En Cauces De Agua; según el autor (Suárez Díaz, 1998): “se da debido a que la fuerza tractiva del agua en las corrientes y ríos produce una ampliación lateral de los cauces profundización y dinámica general de la corriente”.

2.2.8. Clasificación del suelo.

Para resolver un problema de inestabilidad de un talud o cualquier otro problema de ingeniería referido a suelos; primeramente se debe conocer el tipo de suelo, utilizando pruebas sencillas del tipo indicativo, para obtener algunas características propias del suelo, necesarias para realizar la clasificación de suelos (SUCS Y ASHTO) y poder asignar al grupo que corresponda.



En la actualidad existen dos sistemas que se utilizan para realizar la clasificación de un suelo. El primero se trata de la clasificación del American Association of State Highway Officials – ASHTO; que es de uso especial para la construcción de vías, en especial para manejo de subrasantes y terraplenes y la segunda referida al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos – SUCS, es un sistema de clasificación de suelos usado en ingeniería y geología para describir la textura y el tamaño de las partículas de un suelo.

Según la Norma Técnica Peruana NTP 339.134 - 1999. (INDECOPI, 1999), el procedimiento para realizar la clasificación del suelo por el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos – SUCS, es la siguiente:

2.2.8.1. Procedimiento preliminar de Clasificación.

- Clasifique al suelo como suelo de grano fino si el 50% o más del peso seco del espécimen pasan la malla N° 200 (75 μ m).
- Clasifique al suelo como suelo de grano grueso si más del 50% del peso seco del espécimen es retenido en la malla N° 200 (75 μ m)

2.2.8.2. Procedimiento para la Clasificación de Suelos de Grano Fino.

- El suelo es una arcilla inorgánica si su posición en la carta de plasticidad cae en o sobre la línea "A", el índice plástico es mayor de 4 y la presencia de materia orgánica no influye en la determinación del límite líquido.
- Clasifique al suelo como una arcilla de baja plasticidad, CL, si el límite líquido es menor de 50.
- Clasifique al suelo como una arcilla de alta plasticidad; CH si el límite líquido es igual o mayor que 50.

NOTA 6: En los casos donde el límite líquido excede de 110 ó el índice plástico excede de 60, la carta de plasticidad puede ser expandida manteniendo la misma escala en ambos ejes y extendiendo la línea "A" con la pendiente indicada.

- Clasifique el suelo como una arcilla limosa, CL-ML, si su posición en la carta de plasticidad cae en o sobre la línea "A", y el índice plástico está en el rango de 4 a 7.
- El suelo es un limo inorgánico si su posición en la carta de plasticidad, cae por debajo de la línea "A" o el índice plástico es menor que 4, y la presencia de materia orgánica no influye en la determinación del límite líquido.



- Clasifique al suelo como un limo, ML, si el límite líquido es menor que 50.
- Clasifique al suelo como un limo elástico, MH, si el límite líquido es igual o mayor que 50.
- El suelo es un limo orgánico o una arcilla orgánica si existe presencia de materia orgánica en cantidad suficiente como para influenciar el valor del límite líquido,
- Si el suelo tiene un color oscuro y un olor orgánico cuando está húmedo y caliente, se deberá realizar un segundo ensayo para la determinación del límite líquido en un espécimen que ha sido secado al horno a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$ a un peso constante, generalmente de un día para otro.
- El suelo es un limo orgánico o una arcilla orgánica si el límite líquido, después del secado al horno, es menor del 75% del límite líquido del espécimen original determinado antes de dicho secado
- Clasifique al suelo como un limo orgánico o una arcilla orgánica, OL, si el límite líquido (sin secado al horno) es menor del 50%.
- Clasifique el suelo como un limo orgánico, OL, si el índice plástico es menor que 4, o su posición en la carta de plasticidad cae por debajo de la línea "A".
- Clasifique al suelo como una arcilla orgánica, OL, si el índice plástico es mayor o igual a 4 y su posición en la carta de plasticidad cae en o sobre la línea "A".
- Clasifique al suelo como una arcilla orgánica o limo orgánico, OH, si el límite líquido (sin secado al horno) es mayor o igual a 50.
- Clasifique al suelo como un limo orgánico, OH, si su posición en la carta de plasticidad cae por debajo de la línea "A".
- Clasifique al suelo como una arcilla orgánica, OH, si su posición en la carta de plasticidad cae en o sobre la línea "A".
- Si menos del 30% pero el 15% o más del espécimen de ensayo es retenido en la malla N° 200 (75- μm), las palabras "con arena y/o grava" deberán ser añadidas al símbolo. Por ejemplo, arcilla poco plástica con arena, CL; limo con arena y grava, ML.
- Si el 30% o más del espécimen de ensayo es retenido en la malla N° 200 (75- μm), las palabras "arenosas" o "gravosas" deberán ser añadidas al símbolo. Añada la palabra "arenoso" si el 30% o más del espécimen de ensayo es retenido en la malla N° 200 (75- μm) y la porción de grano grueso es predominantemente grava. Por ejemplo, arcilla arenosa de baja plasticidad, CL; arcilla gravosa de alta plasticidad, CH; limo arenoso, ML.



2.2.8.3. Procedimiento para la Clasificación de Suelos de Grano Grueso.

- Clasifique al suelo como grava si más de 50% de la fracción gruesa [mayor que la malla N° 200 (75- μ m)] es retenida en la malla N° 4 (4,75 mm).
- Clasifique al suelo como una arena si el 50% o más de la fracción gruesa [mayor que la malla N° 200 (75- μ m)] pasa la malla N° 4 (4,75-mm).
- Si el 12% ó menos del espécimen de ensayo pasa la malla N° 200 (75 μ m), se deberá graficar la curva granulométrica, y calcular el coeficiente de uniformidad, Cu, y el coeficiente de la curvatura, Ce, tal como lo indican las ecuaciones.

Dónde:

$$Cu = D60 / D10 \quad (1)$$

$$Ce = (D30)^2 / (D10 \times 0.60) \quad (2)$$

D30 y D60 = diámetros de partículas correspondientes al 30 y 60%, respectivamente, del peso acumulado que pasa en la curva granulométrica.

NOTA 7: Puede ser necesario extrapolar la curva para obtener el diámetro D10. NTP 339.134 13 de 28 12.3. 1 Si menos del 5% del espécimen de ensayo pasa la malla N° 200 (75- μ m), clasifique al suelo como una grava bien graduada, GW, o arena bien graduada, SW, si Cu es mayor que 4,0 para grava o mayor que 6,0 para arena, y Ce es mayor o igual que 1 pero no mayor que 3.

- Si menos del 5% del espécimen de ensayo pasa la malla N° 200, (75- μ m), clasifique al suelo como grava pobremente graduada, GP, o arena pobremente graduada, SP, si tanto el Cu como Ce no satisfacen los criterios para suelos bien graduados.
- Si más del 12% del espécimen de ensayo pasa la malla N° 200 (75- μ m), el suelo deberá ser considerado como suelo de grano grueso con finos. Los finos son catalogados como arcillosos o limosos en base a su ubicación en la carta de plasticidad.
- Clasifique al suelo como una grava arcillosa, GC, o arena arcillosa, SC, si los finos son arcillosos, esto es, si su posición en la carta de plasticidad, caen en o sobre la línea "A" o el índice plástico es mayor que 7.
- Clasifique el suelo como una grava limosa, GM, o arena limosa, SM, si los finos son limosos, esto es, si su posición en la carta de plasticidad, cae por debajo de la línea "A", o el índice plástico es menor que 4.



- Si el gráfico de los finos resulta en una arcilla limosa, CL-ML, clasifique al suelo como una grava arcillosa limosa, GC-GM, si éste es una grava, o como arena arcillosa limosa, SC-SM, si éste es una arena.
- Si del 5 al 12% del espécimen de ensayo pasa la malla N° 200 (75- μ m), asigne al suelo una clasificación dual utilizando dos símbolos de grupo.
- El primer símbolo deberá corresponder a aquel designado para una grava o una arena que tiene menos del 5% de finos (GW, GP, SW, SP), y el segundo símbolo corresponderá a una grava o una arena que tiene más del 12% de finos (GC, GM, SC, SM).
- El nombre corresponderá al del primer símbolo adicionándole "con arcilla" o "con limo" para indicar las características de plasticidad de los finos. Por ejemplo, grava bien graduada con arcilla, GW-GC; arena pobremente graduada con limo SP-SM.

NOTA 8: Si el gráfico de los finos resulta en una arcilla limosa, CL-ML, el segundo símbolo deberá ser GC o SC. Por ejemplo, una arena pobremente graduada, con 10% de finos, un límite líquido de 20, y un índice plástico de 6, sería clasificada como una arena pobremente graduada con arcilla limosa, SP-SC.

- Si el espécimen es predominantemente arena o grava, pero contiene 15% o más de otros constituyentes de grano grueso, las palabras "con grava" o "con arena" deberán acompañar al nombre. Por ejemplo, grava pobremente graduada con arena, arena arcillosa con grava.
- Si la muestra de campo contiene bolones o bloques o ambos, las palabras "con bolones" o "con bolones y bloques" deberán acompañar al nombre. Por ejemplo, grava limosa con bolones, GM.

Tabla 2: Cuadro para la clasificación de suelo, mediante el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos – SUCS.

DIVISIONES PRINCIPALES			Símbolos del grupo	NOMBRES TÍPICOS	IDENTIFICACIÓN DE LABORATORIO	
SUELOS DE GRANO GRUESO	GRAVAS	Gravas limpias	GW	Gravas, bien graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.	Determinar porcentaje de grava y arena en la curva granulométrica. Según el porcentaje de finos (fracción inferior al tamiz número 200). Los suelos de grano grueso se clasifican como sigue: <5% -> GW, GP, SW, SP. >12% -> GM, GC, SM, SC. 5 al 12% -> casos límite que requieren usar doble símbolo.	
		(sin o con pocos finos)	GP	Gravas mal graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.		
		Gravas con finos	GM	Gravas limosas, mezclas grava-arena-limo.		
		(apreciable cantidad de finos)	GC	Gravas arcillosas, mezclas grava-arena-arcilla.		
	ARENAS	Arenas limpias	SW	Arenas bien graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.		
		(pocos o sin finos)	SP	Arenas mal graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.		
		Arenas con finos	SM	Arenas limosas, mezclas de arena y limo.		
		(apreciable cantidad de finos)	SC	Arenas arcillosas, mezclas arena-arcilla.		
		Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por el tamiz número 4 (4,76 mm)				
		Más de la mitad del material retenido en el tamiz número 200				
SUELOS DE GRANO FINO	Limos y arcillas:		ML	Limos inorgánicos y arenas muy finas, limos limpios, arenas finas, limosas o arcillosa, o limos arcillosos con ligera plasticidad.		
			CL	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas.		
			OL	Limos orgánicos y arcillas orgánicas limosas de baja plasticidad.		
	Límite líquido menor de 50					
	Limos y arcillas:		MH	Limos inorgánicos, suelos arenosos finos o limosos con mica o diatomeas, limos elásticos.		
			CH	Arcillas inorgánicas de plasticidad alta.		
			OH	Arcillas orgánicas de plasticidad media a elevada; limos orgánicos.		
	Límite líquido mayor de 50					
Suelos muy orgánicos			PT	Turba y otros suelos de alto contenido orgánico.		

Fuente: Elaboración Propia.

2.2.9. Métodos de cálculo para Análisis de un Talud.

Los diferentes métodos que existen para el análisis y evaluación de un talud (natural o artificial) implican determinar y comparar el esfuerzo cortante desarrollado a lo largo de la superficie más probable de falla con la resistencia cortante del suelo.

Los métodos de cálculo para analizar la estabilidad de un talud se pueden clasificar en dos grandes grupos:



2.2.9.1. Métodos de Cálculo en deformaciones.

Consideran en el cálculo las deformaciones del terreno, además de las leyes de la estática. Su aplicación práctica es de gran complejidad y el problema debe estudiarse aplicando el método de los elementos finitos u otros métodos numéricos. ((GEMMA), 2007).

2.2.9.2. Métodos de equilibrio límite.

Se basan exclusivamente en las leyes de la estática para determinar el estado de equilibrio de una masa de terreno potencialmente inestable. No tienen en cuenta las deformaciones del terreno. Suponen que la resistencia al corte se moviliza total y simultáneamente a lo largo de la superficie de corte. Esta a su vez se puede clasificar en:

Métodos exactos, la aplicación de las leyes de la estática proporciona una solución exacta del problema con la única salvedad de las simplificaciones propias de todos los métodos de equilibrio límite, esto solo es posible en casos de geometría sencilla, como modos de falla planar o en cuña.

Métodos no exactos, en la mayor parte de los casos la geometría de la superficie de rotura no permite obtener una solución exacta del problema mediante la única aplicación de las ecuaciones de la estática. El problema es hiperestático y ha de hacerse alguna simplificación o hipótesis previa que permita su resolución.

Se puede distinguir aquí entre los métodos que consideran el equilibrio global de la masa deslizando prácticamente en desuso y los métodos de dovelas que consideran a la masa deslizando dividida en una serie de fajas verticales.

Los métodos de dovelas consideran al problema bidimensional por lo que la estabilidad del talud se analiza en una sección transversal del mismo, la zona del terreno potencialmente deslizando se divide en una serie de fajas verticales estudiándose el equilibrio de cada una de las dovelas. La gran utilización que tiene actualmente del método de dovelas se debe a que se pueden aplicar a una gran generalidad de problemas con un grado razonable de exactitud en la gran mayoría de casos, permite considerar la acción de presiones intersticiales, la existencia de cargas externas actuando sobre el talud, la existencia de materiales de diferentes características y en muchos casos son aplicables a superficie de rotura de cualquier forma.

Según el autor (DAS, 2001) explica: “Que el suelo arriba de la superficie de deslizamiento se divide en varias dovelas verticales paralelas y que la estabilidad de cada dovela se calcula separadamente. Esta es una técnica muy versátil en la que la no homogeneidad de los suelos

y la presión del agua de poro se toma en consideración; también toma en cuenta el esfuerzo normal a lo largo de la superficie potencial de falla”. Estos métodos de dovelas son estudiados por los métodos aproximados y precisos.

Métodos aproximados son estudiados por:

El método simplificado de BISHOP (1955), Supone que la fuerza de las caras laterales es horizontal, solo satisface el equilibrio de momentos y no el de fuerzas horizontales, es un método de aplicación a líneas de rotura circulares.

El método ordinario de FELLENIUS (1927), Se basa en la suposición de que la resultante de las fuerzas laterales en las caras de las rebanadas actúa paralelamente a la base de las mismas, solo satisface el equilibrio de momentos, solo tiene aplicación a superficies de rotura circulares.

Métodos precisos son estudiados por:

Método de SPENCER (1967), es análogo al anterior, considerando como función una constante, que constituye el parámetro necesario para completar el problema. Para poder lograr un mejor entendimiento de la formulación que Spencer [10] para el cálculo del Factor de Seguridad de un talud, se presenta en la figura 11, una dovela escogida arbitrariamente y las fuerzas actuantes y resistentes que sobre ella están ejercidas. Esto es:

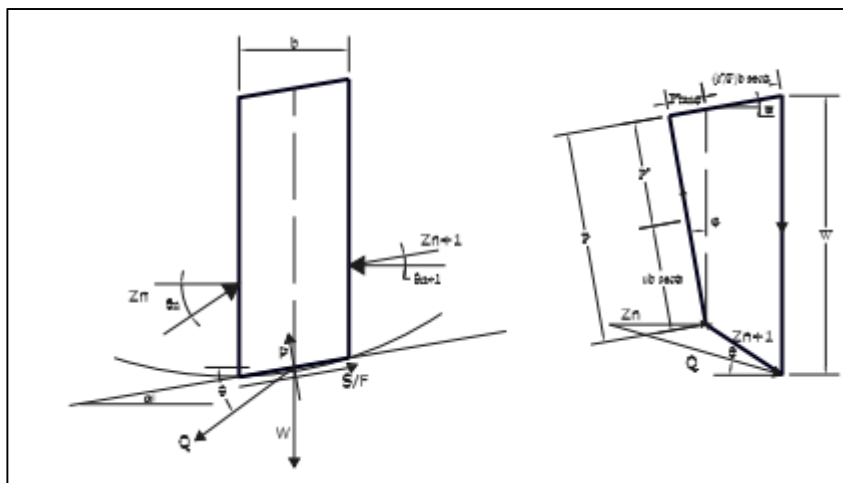


Figura 11. Fuerzas del Método de Spencer.

Fuente: (Rodríguez, 2003, pág. 124).

El método de Spencer considera la acción de las fuerzas internas entre dovelas, pero la suposición principal es que asume la existencia de una relación constante entre la magnitud de la fuerza cortante y la fuerza normal a la dovela. La fuerza Z indicada en la figura 3.1 se debe considerar como la resultante para la i ésima dovela de las fuerzas internas, ésta se divide en sus componentes normal: E y cortante: X , de este modo se plantea que:

$$\tan \theta = \frac{X_L}{E_L} = \frac{X_R}{E_R}$$

Se hace notar que los subíndices L y R denotan izquierda y derecha respectivamente. En donde θ = ángulo de la resultante de las fuerzas internas (Q en la figura 11) con respecto a la horizontal. Spencer sumó fuerzas perpendiculares a las fuerzas internas para derivar la fuerza normal (P). El mismo resultado se logra si se suman las fuerzas en dirección tanto vertical como horizontal, así:

$$\Sigma F_V = 0; W - (X_R - X_L) - P \cos \alpha - S_m \sin \alpha = 0$$

$$\Sigma F_H = 0; -(E_R - E_L) + P \sin \alpha - S_m \cos \alpha + kW = 0$$

La fuerza normal puede ser derivada de la ecuación de fuerzas verticales y de esta manera las fuerzas internas se pueden obtener de la ecuación de fuerzas horizontales:

$$P = W - \frac{[(E_R - E_L) \tan \theta - \frac{c'l \sin \alpha}{F_s} + \frac{ul \tan \phi' \sin \alpha}{F_s}]}{m_\alpha}$$

La ecuación del factor de seguridad basado en el equilibrio de fuerzas horizontales es de la siguiente manera:

$$\Sigma F_H = 0 \quad ; \quad \Sigma(E_R - E_L) + \Sigma P \sin \alpha - \Sigma S_m \cos \alpha + \Sigma kW \pm A = 0$$

Las fuerzas internas deben ser canceladas puesto que al introducir el valor de P se eliminan, entonces el factor de seguridad con respecto al equilibrio de fuerzas es:

$$F_f = \frac{\Sigma\{c'l \cos \alpha + (p - ul) \tan \phi' \cos \alpha\}}{\Sigma P \sin \alpha + \Sigma kW \pm A}$$

El método de Spencer cumple todas las condiciones de equilibrio, fuerzas horizontales y verticales y sumatoria de momentos con respecto a un punto común. Además, se consideró que debido al espaciamiento menor de los sistemas de fracturaamiento dominantes no se presenta riesgo de modo de falla planar, es por ello que se consideró que el modo de falla más probable será el circular. En el esquema de la figura N° 12, podemos notar como se distribuye los métodos de cálculo, para analizar la estabilidad de taludes.

Método de MORGENSTERN-PRICE (1965), aplicado a líneas de rotura cualesquiera, se basa en la suposición de que la relación entre las fuerzas tangenciales y normales en las caras laterales de las dovelas, se ajusta a una función, que es preciso definir previamente, multiplicada por un parámetro, este parámetro es la incógnita que completa el problema, el

método satisface todas las condiciones de equilibrio. Es decir el método de Morgenstern – Price asume una función matemática arbitraria para describir la dirección de las fuerzas internas entre dovelas, $\lambda f(x) = X/E$, donde $\lambda =$ una constante a ser evaluada en el desarrollo de la solución para el factor de seguridad, $f(x)$ es llamada la función de variación de las fuerzas internas entre dovelas, con respecto a x . La figura 3.2 muestra funciones típicas utilizadas en el presente método. Como es de suponer para una función constante el método de Morgenstern – Price es el mismo que el método de Spencer.

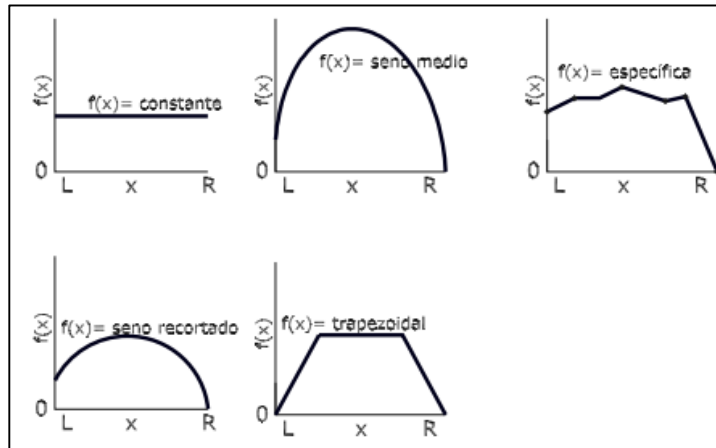


Figura 12. Figuras utilizadas por Morgenstern – Price.

Fuente: (Rodríguez, 2003, pág. 126).

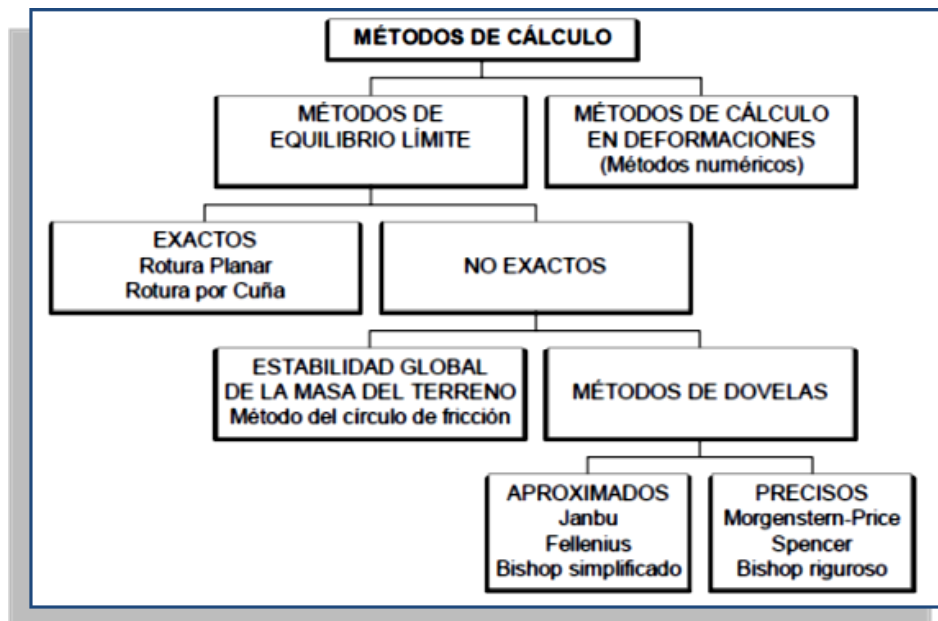


Figura 13. Métodos de cálculo para el análisis de estabilidad de un talud.

Fuente: (Rodríguez, 2003, pág. 124)



2.2.10. Uso del programa Slide 5.0 en el Análisis de Estabilidad de Taludes.

Slide es un software de análisis de Estabilidad de Taludes en 2D que utiliza métodos de equilibrio límite para el cálculo de la estabilidad. Su ámbito de aplicación en minería y obra civil es muy variado, permitiendo evaluar un gran número de problemáticas geotécnicas, tales como estabilidad de terraplenes, presas, taludes en excavaciones mineras o en edificaciones, efectos de cargas externas, sísmicas, eficiencia de elementos de refuerzo, entre otros. El Slide 5.0 es un programa (software) utilizada para el análisis de estabilidad de taludes, este programa tiene una herramienta muy útil que permite importar gráficos de CAD, por lo que es versátil para crear los modelos a realizar el análisis de estabilidad, también se puede evaluar la estabilidad de falla circular y no circular en taludes de suelos y rocas.

El programa Slide 5.0, analiza la estabilidad en superficies de deslizamientos usando métodos de equilibrio límite con rodajas verticales. Analiza superficies de deslizamiento individuales o los métodos pueden ser aplicados a buscar y localizar la superficie de deslizamiento crítico para un talud dado. Los métodos de análisis que utiliza el programa son Bishop, Janbu, Spencer, GLE /Morgenstern-Price y otros métodos de análisis. (ORÉ, 2013, pág. 107)

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

2.2.11. Ensayo de Penetración Estándar.

El ensayo de penetración estándar (SPT), se tuvo su desarrollo en el año de 1927, es actualmente la más popular y económica para obtener la información del subsuelo. Se estima que el 85 - 90 % del diseño de cimentaciones convencionales en Norte y Sur América se realiza usando el SPT. Esta prueba también se usa ampliamente en otras regiones geográficas. El método se ha estandarizado como ASTM D 1586 desde 1958 con revisiones periódicas a la fecha. (Atala Abad, 2011, pág. 11)

Los elementos y las características relevantes del método propuesto por la ASTM son las siguientes:

- Masa de 63,5 kg.
- Altura de caída: 76 cm. 3.
- Sacamuestras: de diámetro externo = (50 mm ó 2").
- Sacamuestras: de diámetro interno = (35 mm ó 1 3/8 ").
- Variante con diámetro interno 38mm y tubo portamuestras (diámetro interno final 35mm)
- Mecanismo de liberación del martinete mediante soga y malacate
- Barras de sondeo.
- Cabeza de golpeo.

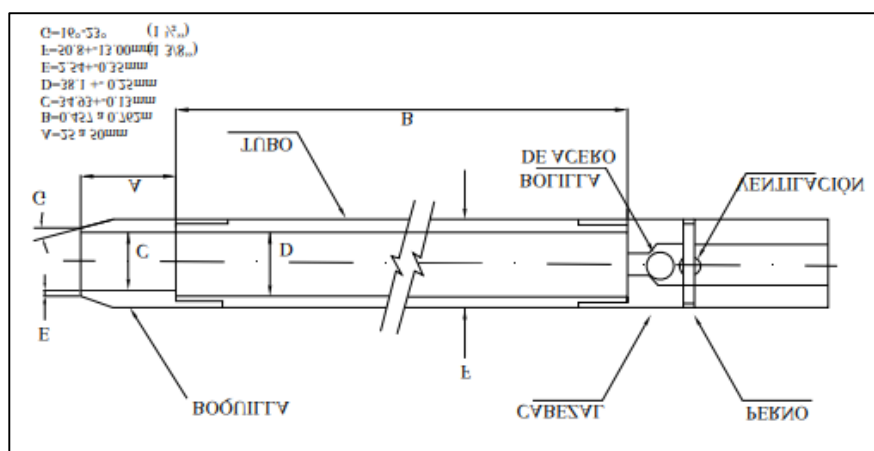


Figura 14. Procesos de erosión.

Fuente: (Suárez Díaz, 1998).

El procedimiento para realizar el muestreo es de la siguiente manera:

Se realiza el sondeo hasta la profundidad establecida, y a continuación se lleva al fondo de dicha perforación una cuchara normalizada que se hincan 15 cm (6"). En la capa a reconocer, a fin de eliminar la zona superficial parcialmente alterada, por efectos del procedimiento utilizado durante la ejecución del sondaje. (Universidad Nacional del Centro del Perú)

Se hace una señal sobre el varillaje y se cuenta el número de golpes (N) necesarios para hincar de nuevo la cuchara, la profundidad de 30 cm (12"). Utilizando la pesa de 63.5 kg con una altura de caída de 76.2 cm. Entonces el parámetro medido será: $N=N_1+N_2$, donde: N1: Es el número de golpes necesarios para hundir el toma muestras 15cm. N2: Es el número de golpes que se necesita para hundir los 15 cm. restantes del toma muestras.

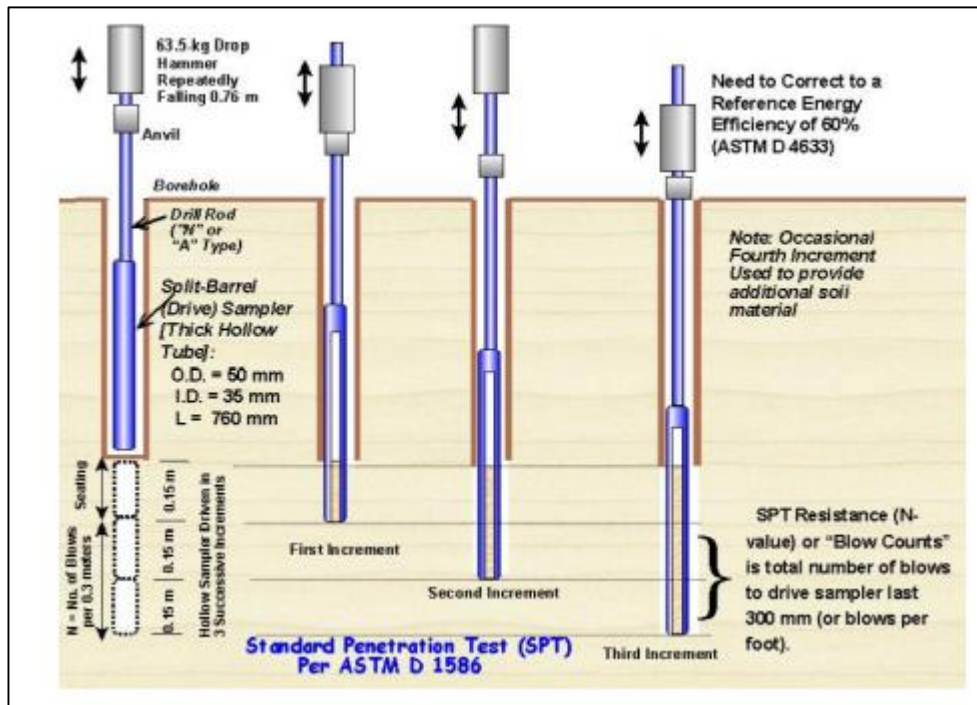


Figura 15. Procesos de erosión.

Fuente: (Atala Abad, 2011).

Si por algún motivo el número de golpes necesarios para hincar cualquier intervalo de 15 cm es superior a 50, entonces el resultado del ensayo deja de ser la suma que se indica anteriormente para convertirse en RECHAZO, teniéndose que anotar la longitud hincada en el tramo en el cuál se han alcanzado los 50 golpes. El ensayo se da por finalizado cuando se alcanza este valor. Finalmente se abre la cuchara partida y se toma la muestra de su interior, para realizar los ensayos correspondientes, (contenido de humedad, granulometría, límites de consistencia, peso específico). (Universidad Nacional del Centro del Peru)

Para los cálculos; el valor de N (Número de golpes necesarios para hincar un toma-muestras de 30 cm. de longitud en un estrato de suelo, una profundidad que generalmente varía de metro en metro) se determina sumando los valores de $N_1 + N_2$, entonces: $N=N_1+N_2$

Dónde:

- N_1 : Número de golpes necesarios para hincar él toma-muestras 15cm.
- N_2 : Número de golpes necesarios para hincar él toma-muestras otros 15 cm.

A partir del N del ensayo S.P.T. se pueden determinar la Resistencia a la Penetración y la Presión Admisible (Universidad Nacional del Centro del Peru).

- Resistencia a la Penetración: $R_p = N * 4$
- Presión Admisible: $\sigma_{adm} = N/8$ (kg/cm²).
- En nuestra práctica el valor de la resistencia a la compresión simple q_u (kg/cm²) es:

$$\sigma_{adm} = \frac{(N1 + N2 + N3)}{8}$$

Otro parámetro que se puede determinar a partir del N obtenido y de la clasificación posterior del suelo, es el Grado de Compacidad en caso de suelos arenosos y la consistencia en caso de suelos arcillosos, esto mediante tablas que relacionan los mencionados valores:

Tabla 3: Propiedades comunes de Suelos Granulares, no cohesivos.

COMPACIDAD (Suelo Granular)	Grado de Compacidad	N (S.P.T.)	Resistencia a La Penetración Estática	ϕ
Muy suelta	< 0.2	< 4	< 20	< 30
Suelta	0.2 – 0.4	4 – 10	20 – 40	30 – 35
Compacta	0.4 – 0.6	10 – 30	40 – 120	35 – 40
Densa	0.6 – 0.8	30 – 50	120 – 200	40 – 45
Muy Densa	> 0.8	> 50	> 200	> 45

Fuente: (Noriega, 2009).

Tabla 4: Propiedades comunes de Suelos Granulares, no cohesivos.

CONSISTENCIA (Suelos Cohesivos)	N (S.P.T.)	q_u (kg/cm ²) Resistencia a la Compresión Simple
Muy blanda	< 2	< 0.25
Blanda	2 - 4	0.25 – 0.50
Mediana	4 - 8	0.5 – 1
Compacta	8 - 15	1 – 2
Muy compacta	15 - 30	2 – 4
Dura	> 30	> 4

Fuente: (Noriega, 2009).

La siguiente tabla presenta valores típicos de varias propiedades para diversos tipos de suelos y rocas. Estos valores pueden servir de guía preliminar hasta que el Profesional Idóneo encargado los confirme, o realice un programa de pruebas de campo y/o laboratorio, que a su discreción proporcione los parámetros requeridos. (Noriega, 2009)

Tabla 5: Propiedades comunes de Suelos Granulares, no cohesivos.

<i>Material</i>	<i>Compacidad</i>	<i>Densidad Relativa</i>	<i>Numero de golpes N (SPT)</i>	<i>Peso Especifico seco (γs)</i>	<i>Relacion de vacios (e)</i>	<i>Angulo de friccion interna</i>
<i>GW: Grava bien graduada , mezcla de grava</i>	<i>Densa</i>	75%	90	2.21	0.22	40
	<i>Media</i>	50%	55	2.08	0.28	36
	<i>Suelta</i>	25%	< 28	1.97	0.36	32
<i>GP: Grava mal graduada , mezcla de grava</i>	<i>Densa</i>	75%	70	2.04	0.33	38
	<i>Media</i>	50%	50	1.92	0.39	35
	<i>Suelta</i>	25%	< 20	1.83	0.47	32
<i>SW: Arenas bien graduada , arenas gravosas</i>	<i>Densa</i>	75%	65	1.89	0.43	37
	<i>Media</i>	50%	35	1.79	0.49	34
	<i>Suelta</i>	25%	< 15	1.7	0.57	30
<i>SP: Arenas mal graduada , arenas gravosas</i>	<i>Densa</i>	75%	50	1.76	0.52	36
	<i>Media</i>	50%	30	1.67	0.6	33
	<i>Suelta</i>	25%	< 10	1.59	0.65	29
<i>SM: Arenas Limosas</i>	<i>Densa</i>	75%	45	1.65	0.62	35
	<i>Media</i>	50%	25	1.55	0.74	32
	<i>Suelta</i>	25%	< 8	1.49	0.8	29
<i>ML: Limos inorganicos, arenas muy Finas</i>	<i>Densa</i>	75%	35	1.49	0.8	33
	<i>Media</i>	50%	20	1.41	0.9	31
	<i>Suelta</i>	25%	< 4	1.35	1	27

Fuente: (Noriega, 2009).

Entre los factores importantes que pueden afectar a los resultados del SPT, Fletcher señala además (Universidad Nacional del Centro del Peru):

- La variación de altura de caída de la maza.
- El empleo de varillaje más pesado que el previsto.
- La elevada longitud de varillaje (por encima de 15 cm.).
- La caída libre de la masa obstaculizada por cualquier causa.
- El descuido en el número de golpes o en la medida de la penetración. Es fundamental no sobre valorar la significación del calificativo Standard.

La aplicación de este ensayo tiene como principal utilidad la caracterización de suelos granulares (arenas o gravas arenosas) en las que se hace muy difícil o imposible obtener muestras inalteradas para los ensayos en el laboratorio. El valor de los golpes obtenidos en un ensayo de penetración es un dato indicativo de la consistencia que posee un terreno susceptible de su utilización para la caracterización o diseño geotécnico. Cuando el terreno que se estudia es grava, la cuchara no puede hincarse en el terreno, pues se dobla, por lo que usualmente su sustituye por una punta maciza de la misma sección (no normalizada). Por ende en éste caso



el ensayo no proporciona muestra y el golpeteo que se obtiene debe corregirse dividiendo por un factor que se considera del orden de 1.5. La frecuencia habitual para la realización del SPT a lo largo del sondeo es de un ensayo de 2 a 5 metros, o incluso mayor, en función de las características del terreno. (Universidad Nacional del Centro del Peru)

Para casi todas estas variantes hay factores de corrección a la energía teórica de referencia “Er” y el valor de N de campo debe corregirse de la siguiente forma (Bowles, 1988):

$$N_s = N * C_N * n_1 * n_2 * n_3 * n_4$$

Donde:

- C_N = Presión calculada de sobre capa.
- n_1 = Relación de energía del martillo ($n_1 = ER/Ers$; donde “Er” es la relación de energía del martillo y “Ers” es la energía del martillo)
- n_2 = Longitud de las barras de perforación
- n_3 = Toma muestras. Revestimientos
- n_4 = Diámetro de la perforación.
- N = Numero de golpes en campo.

Para la determinación de los factores de corrección se utilizaran las siguientes tablas:

Tabla 6: Corrección por Energía del Martillo, “n1”

ER s (%)	REFERENCIA
50 - 55	<i>Schmertmann</i>
60	<i>Seed et al. (1985); Kempton (1986)</i>
70 - 80	<i>Riggs(1986)</i>

Fuente: (Ingeniería de Cimentaciones, 2012, pág. 96)

Tabla 7: Corrección por Longitud de Barras, “n2”

LONGITUD	> 10 m.	1
	6 - 10.	0.95
	4 - 6.	0.85
	0 - 4.	0.75

Fuente: (Ingeniería de Cimentaciones, 2012, pág. 96).

Tabla 8: Corrección por el Toma Muestras, “n3”

CON REVESTIMIENTO	<i>Sin revestimiento</i>	<i>1.00</i>
	<i>Arena densa, Arcilla</i>	<i>0.80</i>
	<i>Arena Suelta</i>	<i>0.90</i>

Fuente: (Ingeniería de Cimentaciones, 2012, pág. 96).

Tabla 9: Corrección por diámetro de Perforación

DIAMETRO DE LA PERFORACION	<i>60 - 120mm.</i>	<i>1.00</i>
	<i>150 mm.</i>	<i>1.05</i>
	<i>200 mm.</i>	<i>1.15</i>

Fuente: (Ingeniería de Cimentaciones, 2012, pág. 96).

2.2.12. Ensayos De Materiales.

Para este trabajo de investigación se tomaron en cuenta, algunos alcances del “Manual de Ensayo de Materiales EM-2000” (COMUNICACIONES, 2001); Aprobado con Resolución Directoral N° 028-2001-MTC/15.17.Lima, Perú; para los diferentes ensayos a realizar durante la realización de este trabajo.

Los ensayos a realizar son los siguientes:

2.2.12.1. Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un Suelo MTC - E - 108 – 2006.

Este Modo Operativo se basa en las normas. ASTM D 2216., de modo que se adaptaron al nivel de implementación y a las necesidades y/o condiciones propias de nuestra realidad.

Objetivo

El método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo.

Definiciones

La humedad o contenido de humedad de un suelo es la relación, expresada como porcentaje, del peso de agua en una masa dada de suelo, al peso de las partículas sólidas.

Principio del método

Se determina el peso de agua eliminada, secando el suelo húmedo hasta un peso constante en un horno controlado a 110 ± 5 °C*. El peso del suelo que permanece del secado en horno es

usado como el peso de las partículas sólidas. La pérdida de peso debido al secado es considerada como el peso del agua.

Muestras.

Las muestras serán preservadas y transportadas de acuerdo a la Norma ASTM D-4220, Grupos de suelos B, C ó D. Las muestras que se almacenen antes de ser ensayadas se mantendrán en contenedores herméticos no corrosibles a una temperatura entre aproximadamente 3 °C y 30 °C y en un área que prevenga el contacto directo con la luz solar. Las muestras alteradas se almacenarán en recipientes de tal manera que se prevenga ó minimice la condensación de humedad en el interior del contenedor.

La determinación del contenido de humedad se realizará tan pronto como sea posible después del muestreo, especialmente si se utilizan contenedores corrosibles (tales como tubos de acero de pared delgada, latas de pintura, etc.) o bolsas plásticas.

Espécimen de ensayo

Para los contenidos de humedad que se determinen en conjunción con algún otro método ASTM, se empleará la cantidad mínima de espécimen especificada en dicho método si alguna fuera proporcionada.

La cantidad mínima de espécimen de material húmedo seleccionado como representativo de la muestra total, si no se toma la muestra total, será de acuerdo a lo siguiente:

Tabla 10: Tamaño mínimo de muestra a usar según el tamaño de partícula.

Maximo Tamaño de partícula (pasa el 100%)	Tamaño de Malla Estándar	Masa minima recomendada de espécimen de ensayo humedo para contenidos de humedad reportados a +	Masa minima recomendada de espécimen de ensayo humedo para contenidos de humedad reportados a +- 1%
2 mm o menos	2.00 mm (Nº 10)	20 g	20 g
4.75 mm	4.76 mm (Nº 4)	100 g	20 g
9.5 mm	9.525mm (3/8")	500 g	50 g
19.0 mm	19.050 mm (3/4")	2.5 kg	250 g
37.5 mm	38.10 mm (11/2")	10 kg	1 kg
75.0 mm	76.200 mm (3")	50 kg	5 kg

Fuente: Ensayo de Materiales EM-2000” (COMUNICACIONES, 2001).

Nota. - * Se usará no menos de 20 g para que sea representativa.



Si se usa toda la muestra, ésta no tiene que cumplir los requisitos mínimos dados en la tabla anterior. En el reporte se indicará que se usó la muestra completa.

El uso de un espécimen de ensayo menor que el mínimo indicado en 6.2 requiere discreción, aunque pudiera ser adecuado para los propósitos del ensayo. En el reporte de resultados deberá anotarse algún espécimen usado que no haya cumplido con estos requisitos.

Cuando se trabaje con una muestra pequeña (menos de 200 g) que contenga partículas de grava relativamente grandes, no es apropiado incluirlas en la muestra de ensayo. Sin embargo, en el reporte de resultados se mencionará y anotará el material descartado.

Para aquellas muestras que consistan íntegramente de roca intacta, el espécimen mínimo tendrá un peso de 500 g. Porciones de muestra representativas pueden partirse en partículas más pequeñas, dependiendo del tamaño de la muestra, del contenedor y la balanza utilizada y para facilitar el secado a peso constante.

Selección del espécimen de ensayo

Cuando el espécimen de ensayo es una porción de una mayor cantidad de material, el espécimen seleccionado será representativo de la condición de humedad de la cantidad total de material. La forma en que se seleccione el espécimen de ensayo depende del propósito y aplicación del ensayo, el tipo de material que se ensaya, la condición de humedad, y el tipo de muestra (de otro ensayo, en bolsa, en bloque, y las demás).

Para muestras alteradas tales como las desbastadas, en bolsa, y otras, el espécimen de ensayo se obtiene por uno de los siguientes métodos (listados en orden de preferencia):

- Si el material puede ser manipulado sin pérdida significativa de humedad, el material debe mezclarse y luego reducirse al tamaño requerido por cuarteo o por división.
- Si el material no puede ser mezclado y/o dividido, deberá formarse una pila de material, mezclándolo tanto como sea posible. Tomar por lo menos cinco porciones de material en ubicaciones aleatorias usando un tubo de muestreo, lampa, cuchara, frotacho, o alguna herramienta similar apropiada para el tamaño de partícula máxima presente en el material. Todas las porciones se combinarán para formar el espécimen de ensayo.



- Si no es posible apilar el material, se tomarán tantas porciones como sea posible en ubicaciones aleatorias que representarán mejor la condición de humedad. Todas las porciones se combinarán para formar el espécimen de ensayo.

En muestras intactas tales como bloques, tubos, muestreadores divididos y otros, el espécimen de ensayo se obtendrá por uno de los siguientes métodos dependiendo del propósito y potencial uso de la muestra.

- Se desbastará cuidadosamente por lo menos 3 mm de material de la superficie exterior de la muestra para ver si el material está estratificado y para remover el material que esté más seco o más húmedo que la porción principal de la muestra. Luego se desbastará por lo menos 5 mm, o un espesor igual al tamaño máximo de partícula presente, de toda la superficie expuesta o del intervalo que esté siendo ensayado.
- Se cortará la muestra por la mitad. Si el material está estratificado se procederá de acuerdo a lo indicado en 7.3.3. Luego se desbastará cuidadosamente por lo menos 5 mm, o un espesor igual del tamaño máximo de partícula presente, de la superficie expuesta de una mitad o el intervalo ensayado.

Deberá evitarse el material de los bordes que pueda encontrarse más húmedo o más seco que la porción principal de la muestra.

Nota. El cambio de humedad en suelos sin cohesión puede requerir que se muestree la sección completa.

Si el material está estratificado (o se encuentra más de un tipo de material), se seleccionará un espécimen promedio, o especímenes individuales, o ambos. Los especímenes deben ser identificados apropiadamente en formatos, en cuanto a su ubicación, o lo que ellos representen.

Procedimiento

Determinar y registrar la masa de un contenedor limpio y seco (y su tapa si es usada).

Seleccionar especímenes de ensayo representativos de acuerdo a la Sección 7.



Colocar el espécimen de ensayo húmedo en el contenedor y, si se usa, colocar la tapa asegurada en su posición. Determinar el peso del contenedor y material húmedo usando una seleccionada de acuerdo al peso del espécimen. Registrar este valor.

La influencia de estos factores generalmente puede ser establecida por un buen juicio, y experiencia con los materiales que sean ensayados y los aparatos que sean empleados.

Luego que el material se haya secado a peso constante, se removerá el contenedor del horno (y se le colocará la tapa si se usó). Se permitirá el enfriamiento del material y del contenedor a temperatura ambiente o hasta que el contenedor pueda ser manipulado cómodamente con las manos y la operación del balance no se afecte por corrientes de convección y/o esté siendo calentado.

Determinar el peso del contenedor y el material secado al horno usando la misma balanza usada en 8.3. Registrar este valor. Las tapas de los contenedores se usarán si se presume que el espécimen está absorbiendo humedad del aire antes de la determinación de su peso seco.

Cálculos

Se calcula el contenido de humedad de la muestra, mediante la siguiente fórmula:

$$W = \frac{\text{Pesode agua}}{\text{Pesode suelo secado al horno}} \times 100$$

En donde:

W = es el contenido de humedad, (%).

Referencias normativas

ASTM D 2216.

2.2.13. Análisis granulométrico de suelos por tamizado MTC e 107- 2000.

Este Modo Operativo se basa en las normas. ASTM D 422 y AASHTO T 88, de modo que se adaptaron al nivel de implementación y a las necesidades y/o condiciones propias de nuestra realidad.

Objetivo.

La determinación cuantitativa de la distribución de tamaños de partículas de suelo.

Esta norma describe el método para determinar los porcentajes de suelo que pasan por los distintos tamices de la serie empleada en el ensayo, hasta el de 75 mm (N° 200).

Aparatos.

Dos balanzas. Una con sensibilidad de 0.01 g para pesar material que pase el tamiz de 4,760 mm (N° 4). Otra con sensibilidad 0.1 % del peso de la muestra, para pesar los materiales retenidos en el tamiz de 4,760 mm (N° 4).

Tamices de malla cuadrada 75 mm (3"), 50,8 mm (2"), 38,1 mm (1½"), 25,4 mm (1"), 19,0 mm (¾"), 9,5 mm (3/8"), 4,76 mm (N° 4), 2,00 mm (N° 10), 0,840 mm (N° 20), 0,425 mm (N° 40), 0,250 mm (N° 60), 0,106 mm (N° 140) y 0,075 mm (N° 200).

Se puede usar, como alternativa, una serie de tamices que, al dibujar la gradación, dé una separación uniforme entre los puntos del gráfico; esta serie estará integrada por los siguientes: 75 mm (3"), 37.5 mm (1-½"), 19.0 mm (¾"), 9.5 mm (3/8"), 4.75 mm (N° 4), 2.36 mm (N° 8), 1.10 mm (N° 16), 600 μ m (N° 30), 300 μ m (N° 50), 150 μ m (N° 100), 75 μ m (N° 200).

Estufa, capaz de mantener temperaturas uniformes y constantes hasta de 110 ± 5 °C (230 ± 9 °F).

Envases, adecuados para el manejo y secado de las muestras.

Cepillo y brocha, para limpiar las mallas de los tamices.

Muestra.

Según sean las características de los materiales finos de la muestra, el análisis con tamices se hace, bien con la muestra entera, o bien con parte de ella después de separar los finos por lavado. Si la necesidad del lavado no se puede determinar por examen visual, se seca en el horno una pequeña porción húmeda del material y luego se examina su resistencia en seco rompiéndola entre los dedos.

Si se puede romper fácilmente y el material fino se pulveriza bajo la presión de aquellos, entonces el análisis con tamices se puede efectuar sin previo lavado.

Prepárese una muestra para el ensayo como se describe en la preparación de muestras para análisis granulométrico (MTC E 106), la cual estará constituida por dos fracciones: una retenida sobre el tamiz de 4,760 mm (N° 4) y otra que pasa dicho tamiz. Ambas fracciones se ensayaran por separado.

El peso del suelo secado al aire y seleccionado para el ensayo, como se indica en el modo operativo MTC E 106, será suficiente para las cantidades requeridas para el análisis mecánico, como sigue:

*Para la porción de muestra retenida en el tamiz de 4,760 mm (N° 4) el peso dependerá del tamaño máximo de las partículas de acuerdo con la Tabla.

Tabla 11: Tamaño máximo de las partículas.

Diámetro nominal de las partículas mas Grandes mm (pulg)	Peso minimo aproximado de la porción (gr)
9,5 (3/8")	500
19,6 (3/4")	1000
25,7 (1 ")	2000
37,5 (1 1/2")	3000
50,0 (2")	4000
75,0 (3")	5000

Fuente: Ensayo de Materiales EM-2000^o (COMUNICACIONES, 2001).

En el modo operativo MTC E 106 se dan indicaciones para la pesada del suelo secado al aire y seleccionado para el ensayo, así como para la separación del suelo sobre el tamiz de 4,760 mm (N°4) por medio del tamizado en seco, y para el lavado y pesado de las fracciones lavadas y secadas retenidas en dicho tamiz. De estos dos pesos, los porcentajes, retenido y que pasa el tamiz de 4,760 mm (N° 4), pueden calcularse de acuerdo con el numeral 6.1.

*Se puede tener una comprobación de los pesos, así como de la completa pulverización de los terrones, pesando la porción de muestra que pasa el tamiz de 4,760 mm (N° 4) y agregándole este valor al peso de la porción de muestra lavada y secada en el horno, retenida en el tamiz de 4,760 mm (N° 4).

Análisis por medio de tamizado de la fracción retenida en el tamiz de 4,760 mm (n° 4).

Sepárese la porción de muestra retenida en el tamiz de 4,760 mm (N° 4) en una serie de fracciones usando los tamices de: 75 mm (3"), 50 mm (2"), 38,1 mm (1½"), 25,4 mm (1"), 19,0 mm (¾"), 9,5 mm (3/8"), 4.7 mm (N° 4), o los que sean necesarios dependiendo del tipo de muestra, o de las especificaciones para el material que se ensaya.



En la operación de tamizado manual se mueve el tamiz o tamices de un lado a otro y recorriendo circunferencias de forma que la muestra se mantenga en movimiento sobre la malla. Debe comprobarse al desmontar los tamices que la operación está terminada; esto se sabe cuándo no pasa más del 1 % de la parte retenida al tamizar durante un minuto, operando cada tamiz individualmente. Si quedan partículas apresadas en la malla, deben separarse con un pincel o cepillo y reunir las con lo retenido en el tamiz. Cuando se utilice una tamizadora mecánica, se pondrá a funcionar por diez minutos aproximadamente; el resultado se puede verificar usando el método manual.

Se determina el peso de cada fracción en una balanza con una sensibilidad de 0.1 %. La suma de los pesos de todas las fracciones y el peso, inicial de la muestra no debe diferir en más de 1%.

Análisis granulométrico de la fracción fina.

El análisis granulométrico de la fracción que pasa el tamiz de 4,760 mm (N° 4) se hará por tamizado y/o sedimentación según las características de la muestra y según la información requerida.

Los materiales arenosos que contengan muy poco limo y arcilla, cuyos terrones en estado seco se desintegren con facilidad, se podrán tamizar en seco.

Los materiales limo-arcillosos, cuyos terrones en estado seco no rompan con facilidad, se procesarán por la vía húmeda.

Si se requiere la curva granulométrica completa incluyendo la fracción de tamaño menor que el tamiz de 0,074 mm (N° 200), la gradación de ésta se determinará por sedimentación, utilizando el hidrómetro para obtener los datos necesarios. Ver modo operativo MTC E 109.

Se puede utilizar procedimientos simplificados para la determinación del contenido de partículas menores de un cierto tamaño, según se requiera.

La fracción de tamaño mayor que el tamiz de 0,074 mm (N° 200) se analizará por tamizado en seco, lavando la muestra previamente sobre el tamiz de 0,074 mm (N° 200).

Procedimiento para el análisis granulométrico por lavado sobre el tamiz de 0,074 mm (N° 200).

Se separan mediante cuarteo, 115 g para suelos arenosos y 65 g para suelos arcillosos y limosos, pesándolos con exactitud de 0.01 g.

Humedad higroscópica. Se pesa una porción de 10 a 15 g de los cuarteos anteriores y se seca en el horno a una temperatura de 110 ± 5 °C (230 ± 9 °F). Se pesan de nuevo y se anotan los pesos.



Se coloca la muestra en un recipiente apropiado, cubriéndola con agua y se deja en remojo hasta que todos los terrones se ablanden.

Se lava a continuación la muestra sobre el tamiz de 0,074 mm (N° 200) con abundante agua, evitando frotarla contra el tamiz y teniendo mucho cuidado de que no se pierda ninguna partícula de las retenidas en él.

Se recoge lo retenido en un recipiente, se seca en el horno a una temperatura de 110 ± 5 °C (230 ± 9 °F) y se pesa.

Se tamiza en seco siguiendo el procedimiento indicado en las secciones 4.2 y 4.3.

Cálculos

Valores de análisis de tamizado para la porción retenida en el tamiz de 4,760 mm (N° 4).

Se calcula el porcentaje que pasa el tamiz de 4,760 mm (N° 4) dividiendo el peso que pasa dicho tamiz por el del suelo originalmente tomado y se multiplica el resultado por 100.

Para obtener el peso de la porción retenida en el mismo tamiz, réstese del peso original, el peso del pasante por el tamiz de 4,760 mm (N° 4).

Para comprobar el material que pasa por el tamiz de 9,52 mm (3/8"), se agrega al peso total del suelo que pasa por el tamiz de 4,760 mm (N° 4) el peso de la fracción que pasa el tamiz de 9,52 mm (3/8") y que queda retenida en el de 4,760 mm (N° 4). Para los demás tamices continúese el cálculo de la misma manera.

Para determinar el porcentaje total que pasa por cada tamiz, se divide el peso total que pasa entre el peso total de la muestra y se multiplica el resultado por 100.

Valores del análisis por tamizado para la porción que pasa el tamiz de 4,760 mm (N° 4).

Se calcula el porcentaje de material que pasa por el tamiz de 0,074 mm (N° 200) de la siguiente forma:

$$\% \text{ Pasa } 0,074 = \frac{\text{Peso Total} - \text{Peso Retenido en la tamiz de } 0,074 \text{ mm}}{\text{Peso Total}} \times 100$$

Se calcula el porcentaje retenido sobre cada tamiz en la siguiente forma:

$$\% \text{ Retenido} = \frac{\text{Peso retenido en la tamiz}}{\text{Peso Total}} \times 100$$

Se calcula el porcentaje más fino. Restando en forma acumulativa de 100% los porcentajes retenidos sobre cada tamiz.

$$\% \text{ Pasa} = 100 - \% \text{ Retenido acumulado}$$

Porcentaje de humedad higroscópica. La humedad higroscópica como la pérdida de peso de una muestra secada al aire cuando se seca posteriormente al horno, expresada como un porcentaje del peso de la muestra secada al horno. Se determina de la manera siguiente:

$$\% \text{ Humedad Higroscópica} = \frac{W - W_1}{W_1} \times 100$$

Dónde:

W = Peso de suelo secado al aire

W1 = Peso de suelo secado en el horno.

Referencias normativas.

ASTM D 422.

AASHTO T 88.

2.2.14. Determinación del límite líquido de los suelos MTC e 110 – 2000.

Este Modo Operativo se basa en las normas. AASHTO T 89, de modo que se adaptaron al nivel de implementación y a las necesidades y/o condiciones propias de nuestra realidad.

Objetivo.

El límite líquido de un suelo es el contenido de humedad expresado en porcentaje del suelo secado en el horno, cuando éste se halla en el límite entre el estado plástico y el estado líquido.

El valor calculado deberá aproximarse al centésimo.

Aparatos.

Recipiente para Almacenaje. Una vasija de porcelana de 115 mm (4 ½") de diámetro aproximadamente.

Espátula. De hoja flexible de unos 75 a 100 mm (3" – 4") de longitud y 20 mm (¾") de ancho aproximadamente.

Aparato del límite líquido (o de Casagrande). De operación manual. Es un aparato consistente en una taza de bronce con sus aditamentos, construido de acuerdo con las dimensiones señaladas en la Figura 1.



De operación mecánica. Es un aparato equipado con motor para producir la altura y el número de golpes. Figura 1. El aparato debe dar los mismos valores para el límite líquido que los obtenidos con el aparato de operación manual.

Acanalador. Conforme con las dimensiones críticas indicadas en las figuras 8.

Calibrador. Ya sea incorporado al ranurador o separado, de acuerdo con la dimensión crítica "d" mostrada en la Figura 1, y puede ser, si fuere separada, una barra de metal de 10.00 ± 0.2 mm ($0.394'' \pm 0.008''$) de espesor y de 50 mm (2") de largo, aproximadamente.

Recipientes o Pesa Filtros. De material resistente a la corrosión, y cuya masa no cambie con repetidos calentamientos y enfriamientos. Deben tener tapas que cierren bien, sin costuras, para evitar las pérdidas de humedad de las muestras antes de la pesada inicial y para evitar la absorción de humedad de la atmósfera tras el secado y antes de la pesada final.

Balanza. Una balanza con sensibilidad de 0.01 gr.

Muestra.

Tómese una muestra que pese 150 - 200 g de una porción de material completamente mezclado que pase el tamiz de 0.425 mm (N° 40).

Ajuste del aparato.

Deberá inspeccionarse el aparato de límite líquido para verificar que se halle en buenas condiciones del trabajo. El pin que conecta la taza no debe estar tan gastado que tenga juego lateral, ni el tornillo que la conecta, hallarse tan gastado por el largo uso. Inspecciónese, además, el acanalador para verificar que las dimensiones límites son las indicadas en las figuras 1 y 2.

*Se considera desgaste excesivo, cuando el diámetro del punto de contacto sobre la base de la taza excede de 13 mm (0.5") o cuando cualquier punto sobre el borde de la misma se ha desgastado aproximadamente en la mitad del espesor original. Aun cuando se aprecie una ligera ranura en el centro de la taza, ésta no es objetable. Pero si la ranura se pronuncia antes de que aparezcan otros signos de desgaste, debe considerarse que está excesivamente gastada y deberá reemplazarse.

*Una base que esté excesivamente desgastada puede pulirse; pero hasta cuando la tolerancia mostrada en la Figura no exceda de 2.5 mm (0.1") y la distancia entre la excéntrica de la taza y la base se mantenga dentro de la tolerancia especificada en la Figura.

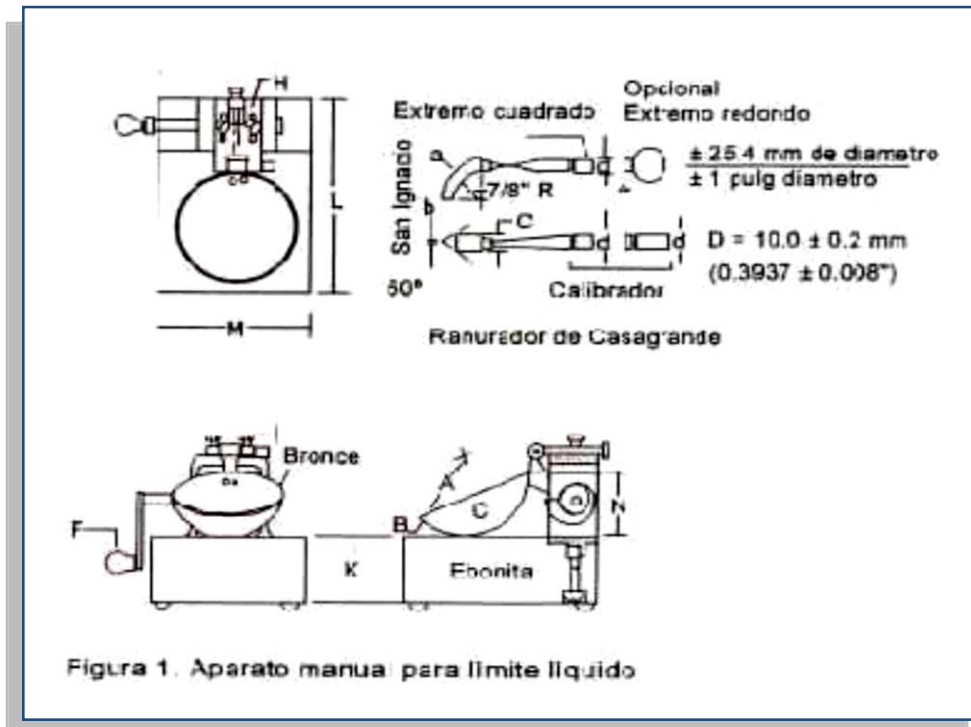


Figura 16. Aparato manual para límite líquido.

Fuente: Manual de Ensayo de Materiales (Determinación Límite Líquido), pag.2.

Por medio del calibrador del mango del ranurador y la platina de ajuste H (Figura 1), ajústese la altura a la cual se levanta la taza, de tal manera que el punto que hace contacto con la base al caer esté exactamente a 1 cm (0.394") sobre ésta. Asegúrese la platina de ajuste H, apretando los tornillos con el calibrador, aún colocado, compruébese el ajuste girando la manija rápidamente varias veces. Si el ajuste es correcto, un sonido de roce se oirá cuando la excéntrica golpea contra la taza, si se levanta del calibrador o no se oye ruido, hágase un nuevo ajuste.

Procedimiento.

Colóquese la muestra de suelo en la vasija de porcelana y mézclase completamente con 15 a 20 ml de agua destilada, agitándola, amasándola y tajándola con una espátula en forma alternada y repetida. Realizar más adiciones de agua en incrementos de 1 a 3 ml. Mézclase completamente cada incremento de agua con el suelo como se ha descrito previamente, antes de cualquier nueva adición.

Algunos suelos son lentos para absorber agua, por lo cual es posible que se adicione los incrementos de agua tan rápidamente que se obtenga un límite líquido falso. Esto puede evitarse mezclando más y durante un mayor tiempo, (1 hora aproximadamente).



Cuando haya sido mezclada suficiente agua completamente con el suelo y la consistencia producida requiera de 30 a 35 golpes de la cazuela de bronce para que se ocasione el cierre, colóquese una porción de la mezcla en la cazuela sobre el sitio en que ésta reposa en la base, y comprímase hacia abajo, extiéndase el suelo hasta obtener la posición mostrada en la Figura 3 (con tan pocas pasadas de la espátula como sea posible), teniendo cuidado de evitar la inclusión de burbujas de aire dentro de la masa. Nivélese el suelo con la espátula y al mismo tiempo emparéjese hasta conseguir una profundidad de 1 cm en el punto de espesor máximo. Regrésese el exceso de suelo a la Vasija de porcelana.

Divídase el suelo en la taza de bronce por pasadas firmes del acanalador a lo largo del diámetro y a través de la línea central de la masa del suelo de modo que se forme una ranura limpia y de dimensiones apropiadas. Para evitar rasgaduras en los lados de la ranura o escurrimientos de la pasta del suelo a la cazuela de bronce, se permite hacer hasta 6 pasadas de adelante hacia atrás o de atrás hacia adelante, contando cada recorrido como una pasada; con cada pasada el acanalador debe penetrar un poco más profundo hasta que la última pasada de atrás hacia adelante limpie el fondo de la cazuela. Hágase una ranura con el menor número de pasadas posible.

Elévase y golpéese la taza de bronce girando la manija F, a una velocidad de 1,9 a 2,1 golpes por segundo, hasta que las dos mitades de la pasta de suelo se pongan en contacto en el fondo de la ranura, a lo largo de una distancia de cerca de 13 mm (0.5"). Anótese el número de golpes requeridos para cerrar la ranura.

En lugar de fluir sobre la superficie de la taza algunos suelos tienden a deslizarse. Cuando esto ocurra, deberá agregarse más agua a la muestra y mezclarse de nuevo, se hará la ranura con el acanalador y se repetirá el Punto 5.3; si el suelo sigue deslizándose sobre la taza de bronce a un número de golpes inferior a 25, no es aplicable este ensayo y deberá indicarse que el límite líquido no se puede determinar.

Sáquese una tajada de suelo aproximadamente del ancho de la espátula, tomándola de uno y otro lado y en ángulo recto con la ranura e incluyendo la porción de ésta en la cual se hizo contacto, y colóquese en un recipiente adecuado. Pésese y anótese. Colóquese el suelo dentro del pesafiltro en el horno a 110 ± 5 °C (230 ± 9 °F) hasta obtener peso constante y vuélvase a pesar tan pronto como se haya enfriado, pero antes de que pueda haber absorbido humedad higroscópica. Anótese este peso, así como la pérdida de peso debida al secamiento y el peso del agua.



Transfírase el suelo sobrante en la taza de bronce a la cápsula de porcelana. Lávese y séquese la taza de bronce y el ranurador y ármese de nuevo el aparato del límite líquido para repetir el ensayo.

Repítase la operación anterior por lo menos en dos ensayos adicionales, con el suelo restante en la vasija de porcelana, al que se le ha agregado agua suficiente para ponerlo en un estado de mayor fluidez. El objeto de este procedimiento es obtener muestras de tal consistencia que al menos una de las determinaciones del número de golpes requeridos para cerrar la ranura del suelo se halle en cada uno de los siguientes intervalos: 25-35; 20-30; 15-25. De esta manera, el alcance de las 3 determinaciones debe ser de 10 golpes.

Cálculos.

Calcúlese el contenido de humedad del suelo, expresándolo como porcentaje del peso del suelo secado en el horno, como sigue:

$$\text{Contenido de humedad} = \frac{\text{Peso del Agua}}{\text{Peso del suelo secado en el horno}} \times 100$$

Calcúlese el porcentaje de humedad, con aproximación a un entero.

Preparación de la curva de fluidez. Trácese una, "curva de fluidez" que represente la relación entre el contenido de humedad y el correspondiente número de golpes de la taza de bronce, en un gráfico de papel semi-logarítmico. Con el contenido de humedad como ordenada sobre la escala aritmética, y el número de golpes como Abscisa sobre la escala logarítmica. La curva de flujo es una línea recta promedia, que pasa tan cerca como sea posible a través de los tres o más puntos dibujados.

Límite líquido. Tómese el contenido de humedad correspondiente a la intersección de la curva de flujo con la ordenada de 25 golpes como límite líquido del suelo y aproxímese este valor a un número entero.

Referencia normativa.

- AASHTO T 89.
- ASTM D 4318.

2.2.15. Determinación del límite plástico e índice de plasticidad MTC e 111 – 2000.

Este Modo Operativo se basa en las normas. AASHTO T 89, de modo que se adaptaron al nivel de implementación y a las necesidades y/o condiciones propias de nuestra realidad.

Objetivo.



Es la determinación en el laboratorio del límite plástico de un suelo y el cálculo del índice de plasticidad (I.P.) si se conoce el límite líquido (L.L.) del mismo suelo.

Se denomina límite plástico (L.P.) a la humedad más baja con la que pueden formarse barritas de suelo de unos 3,2 mm (1/8") de diámetro, rodando dicho suelo entre la palma de la mano y una superficie lisa (vidrio esmerilado), sin que dichas barritas se desmoronen.

Aparatos.

Espátula, de hoja flexible, de unos 75 a 100 mm (3" – 4") de longitud por 20 mm (3/4") de ancho.

Recipiente para Almacenaje, de porcelana o similar, de 115 mm (4 1/2") de diámetro.

Balanza, con aproximación a 0.01 g.

Horno o Estufa, termostáticamente controlado regulable a 110 ± 5 °C (230 ± 9 °F).

Tamiz, de 426 μ m (N° 40).

Agua destilada.

Vidrios de reloj, o recipientes adecuados para determinación de humedades.

Superficie de rodadura. Comúnmente se utiliza un vidrio grueso esmerilado.

Preparación de la muestra.

Si se quiere determinar sólo el L.P., se toman aproximadamente 20 g de la muestra que pase por el tamiz de 426 μ m (N° 40), preparado para el ensayo de límite líquido. Se amasa con agua destilada hasta que pueda formarse con facilidad una esfera con la masa de suelo. Se toma una porción de 1,5 gr a 2,0 gr de dicha esfera como muestra para el ensayo.

*El secado previo del material en horno o estufa, o al aire, puede cambiar (en general, disminuir), el límite plástico de un suelo con material orgánico, pero este cambio puede ser poco importante. Porción de suelo humedecida y amasada, preparada de acuerdo con la Norma MTC E 110 (Determinación del límite líquido de los suelos). La muestra debe tomarse en una etapa del proceso de amasado en que se pueda formar fácilmente con ella una esfera, sin que se pegue demasiado a los dedos al aplastarla. Si el ensayo se ejecuta después de realizar el del límite líquido y en dicho intervalo la muestra se ha secado, se añade más agua.

Procedimiento.

Se moldea la mitad de la muestra en forma de elipsoide y, a continuación, se rueda con los dedos de la mano sobre una superficie lisa, con la presión estrictamente necesaria para formar cilindros.

Si antes de llegar el cilindro a un diámetro de unos 3.2 mm (1/8") no se ha desmoronado, se vuelve a hacer una elipsoide y a repetir el proceso, cuantas veces sea necesario, hasta que se desmorone aproximadamente con dicho diámetro.

*El desmoronamiento puede manifestarse de modo distinto, en los diversos tipos de suelo: En suelos muy plásticos, el cilindro queda dividido en trozos de unos 6 mm de longitud, mientras que en suelos plásticos los trozos son más pequeños.

La porción así obtenida se coloca en vidrios de reloj o pesa-filtros tarados, se continúa el proceso hasta reunir unos 6 g de suelo y se determina la humedad de acuerdo con la norma MTC E 108.

Se repite, con la otra mitad de la masa, el proceso indicado en 4.1, 4.2 y 4.3.

Cálculos.

Calcular el promedio de dos contenidos de humedad. Repetir el ensayo si la diferencia entre los dos contenidos de humedad es mayor que el rango aceptable para los dos resultados listados en la tabla 1 para la precisión de un operador.

Tabla 12: Precisión de un operador

Indice de precision y tipo de ensayo	Desviacion Estándar	Rango Aceptable de dos resultados
<i>Precisión de un operador simple</i>		
<i>Limite plastico</i>	<i>0,9</i>	<i>2,6</i>
<i>Precision Mtilaboratorio</i>		
<i>Limite plastico</i>	<i>3,7</i>	<i>10,6</i>

Fuente: Manual de Ensayo de Materiales (Comunicaciones, 2001).

El límite plástico es el promedio de las humedades de ambas determinaciones. Se expresa como porcentaje de humedad, con aproximación a un entero y se calcula así:

$$\text{Limite Plastico} = \frac{\text{Peso del Agua}}{\text{Peso del suelo secado al horno}} \times 100$$

Cálculo del índice de plasticidad.

Se puede definir el índice de plasticidad de un suelo como la diferencia entre su límite líquido y su límite plástico.

$$IP = LL - LP$$

Dónde:

L.L. = Límite Líquido

P.L. = Límite Plástico

L.L. y L.P., son números enteros

Cuando el límite líquido o el límite plástico no puedan determinarse, el índice de plasticidad se informará con la abreviatura NP (no plástico).

Así mismo, cuando el límite plástico resulte igual o mayor que el límite líquido, el índice de plasticidad se informará como NP (no plástico).

Referencias normativas.

AASHTO T 90.

ASTM D 4318.

2.2.16. Corte Directo MTC E 123 – 2013

Este Modo Operativo se basa en las normas. AASHTO T 89, de modo que se adaptaron al nivel de implementación y a las necesidades y/o condiciones propias de nuestra realidad.

- **Objetivo**

Tiene por objeto establecer el procedimiento de ensayo para determinar la resistencia al corte de una muestra de suelo consolidada y drenada, por el método del corte directo.

Este ensayo puede realizarse sobre todos los tipos de suelos, con muestras inalteradas y re moldeadas.

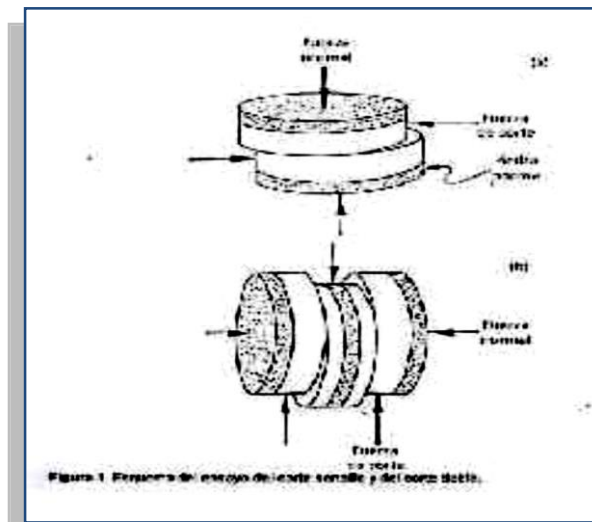


Figura 17. Esquema del ensayo del corte sencillo y del corte doble.

Fuente: Manual de Ensayo de Materiales (Comunicaciones, 2001).

El ensayo consiste en:

- Colocación de la muestra en el dispositivo de corte.

- Aplicación de una carga normal.
- Disposición de los medios de drenaje y humedecimiento de la muestra.
- Consolidación de la muestra.
- Liberación de los marcos que sostienen la muestra.
- Aplicación de la fuerza de corte para hacer fallar la muestra

- **Equipo**

Dispositivo de carga. El dispositivo de carga debe ceñirse a lo siguiente:

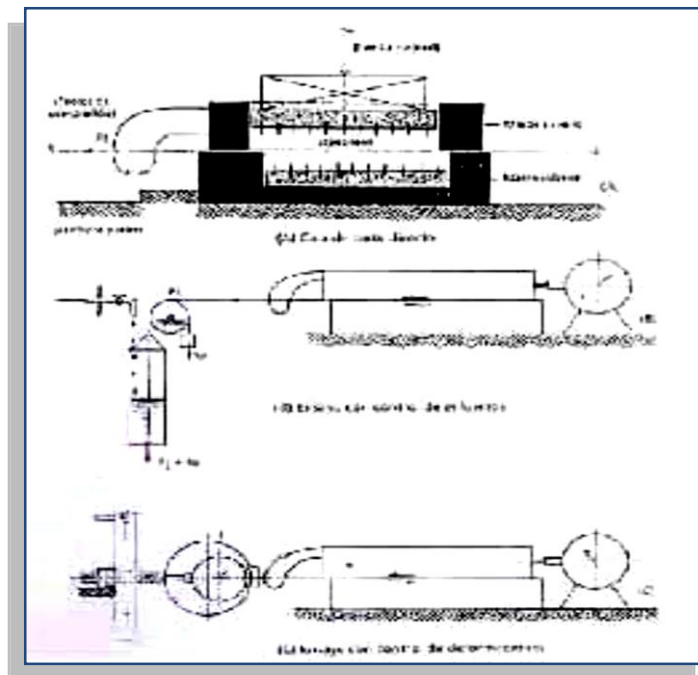


Figura 18. Dispositivo para el ensayo de corte directo.

Fuente: Manual de Ensayo de Materiales (Comunicaciones, 2001).

Sostener la probeta con seguridad entre dos piedras porosas colocadas una en cada cara, de tal manera que no se presenten movimientos de torsión sobre ella.

Estar provisto de los dispositivos necesarios para:

- Aplicar una fuerza normal en las caras de la muestra.
- Determinar los cambios en el espesor de la muestra.
- Drenar el agua a través de las piedras porosas.
- Sumergir la muestra en agua.

Ser capaz de aplicar una fuerza de corte para hacer fallar la muestra a lo largo de un determinado plano (corte único) o de planos (corte doble) paralelos a las caras de la muestra.



Los marcos que sostienen la probeta deben ser lo suficientemente rígidos para evitar su deformación durante el corte.

Las diferentes partes del dispositivo deben ser de un material resistente a la corrosión por sustancias contenidas en el suelo o por la humedad del mismo.

Piedras porosas. Las piedras porosas deben ceñirse a lo siguiente:

- Deben ser de carburo de silicio, óxido de aluminio o de un metal que no sea susceptible a la corrosión por sustancias contenidas en el suelo o la humedad del mismo.
- Dependiendo del tipo de suelo que se va a ensayar, las piedras porosas deben tener la calidad adecuada para desarrollar el contacto necesario con la muestra y, además, deben evitar la intrusión excesiva de partículas de suelo dentro de sus poros.
- Para ensayos con suelos normales, la calidad de las piedras debe permitir una permeabilidad de 0.5 mm/s a 1 mm/s.
- Dispositivo para la aplicación de la fuerza normal. Debe estar capacitado para aplicar rápidamente la fuerza especificada sin excederla y para mantenerla con una variación máxima de $\pm 1 \%$ durante el proceso de ensayo.
- Dispositivo para la aplicación de la fuerza de corte.
- La capacidad depende más que todo del tipo de control: con control de deformaciones o con control de esfuerzos. Se prefiere generalmente el primero por la facilidad para determinar, tanto el esfuerzo último, como la carga máxima.
- El equipo con control de deformaciones debe tener la capacidad para cortar la muestra a una velocidad de desplazamiento uniforme, con una desviación de $\pm 10 \%$ y debe permitir el ajuste de la velocidad de desplazamiento dentro de un rango más o menos amplio.
- La velocidad de aplicación de la carga, depende de las características de consolidación del suelo (véase numeral 6.6). Se logra usualmente por medio de un motor con caja de transmisión y la fuerza de corte se determina por medio de un indicador de carga.
- Si se usa el equipo con control de esfuerzos, debe ser capaz de aplicar la fuerza de corte sobre la muestra con incrementos de carga y grado de precisión, como se especifica en el numeral 2.3.
- Cuarto húmedo. La pérdida de humedad durante la preparación de la muestra no deberá exceder de 0.5 %, tanto para su almacenamiento como para su preparación.



- Equipo para el corte de la muestra. Debe ser adecuado para tallar la muestra de acuerdo con las dimensiones interiores de la caja de corte con un mínimo de alteración. Puede necesitarse un soporte exterior para mantener en alineamiento axial una serie de 2 o 3 anillos.
- Balanza. Debe tener una sensibilidad de 0.1 g o 0.1 % del peso de la probeta.
- Deformímetros o diales. Deben ser adecuados para medir los cambios en el espesor de la muestra con una sensibilidad de 0.002 mm (0.0001") y la deformación con sensibilidad de 0.02 mm (0.001").
- Estufa u Horno de secado. Capaz de mantenerse a 110 ± 5 °C (230 ± 9 °F)
- Recipientes para muestras de humedad.
- Equipo para el remoldeo o compactación de probetas.
- Misceláneos. Incluyen: cronómetro, sierra de alambre, espátula, cuchillos, enrasadores, agua destilada y demás elementos necesarios.

Preparación de los especímenes.

- Si se usa una muestra inalterada, debe ser suficientemente grande para proveer un mínimo de tres muestras idénticas.
- La preparación de la muestra debe efectuarse de tal manera que la pérdida de humedad sea insignificante.
- La muestra se talla sobre medida para las dimensiones del dispositivo de corte directo.
- Para muestras inalteradas de suelos sensibles, debe tenerse extremo cuidado al labrar las muestras, para evitar la alteración de su estructura natural.
- Se determina el peso inicial de la muestra para el cálculo posterior del contenido inicial de humedad de acuerdo con la norma MTC E108.
- Si se utilizan muestras de suelos compactados, la compactación debe hacerse con las condiciones de humedad y peso unitario deseados. Se puede efectuar directamente en el dispositivo de corte, en un molde de dimensiones iguales a las del dispositivo de corte o en un molde mayor para recortarlas de acuerdo con el numeral 4.3.
- El diámetro mínimo de las muestras circulares o el ancho mínimo para muestras rectangulares debe ser alrededor de 50 mm (2").
- Para minimizar las alteraciones causadas por el muestreo, el diámetro de las muestras obtenidas de tubos saca muestras debe ser, por lo menos, 5 mm (1/5") menor que el diámetro del tubo.



- El espesor mínimo de la muestra de ensayo, debe ser alrededor de 12 mm ($\frac{1}{2}$ "), pero no menor de un sexto el tamaño máximo de las partículas del suelo.
- La relación mínima diámetro/espesor o ancho/espesor, según la muestra, debe ser 2:1.

- *Calibración*

Se ensambla el dispositivo de corte directo (sencillo) con un disco metálico de calibración, de espesor igual al de la muestra de ensayo deseada y alrededor de 5 mm ($\frac{1}{5}$ ") menor en diámetro.

El dispositivo de corte doble, requiere dos discos de calibración.

Se aplica la fuerza normal igual a la fuerza que se va a utilizar en el ensayo y se coloca el indicador de desplazamiento normal. Se ajusta este indicador de tal manera que pueda usarse para medir tanto lecturas de consolidación como de expansión.

Se registra la lectura del indicador de deformación normal, como una futura referencia para determinar, tanto el espesor de la muestra de ensayo, como la deformación desarrollada por el conjunto.

Luego, se retira el disco de calibración. Se puede aceptar cualquier otro método que permita la calibración exacta del aparato.

Procedimiento del ensayo

Se ensambla la caja de corte con los marcos alineados y se bloquea. Se aplica una capa de grasa entre los marcos para lograr impermeabilidad durante la consolidación y reducir la fricción durante el corte. Pueden también usarse espaciadores o superficies recubiertas con tetrafluoretileno-fluoruro carbono, para reducir la fricción durante el corte.

Se introduce la muestra de ensayo con sumo cuidado. Se conecta el dispositivo de carga y se ajusta el dial para medir tanto la deformación durante el corte, como el cambio del espesor de la muestra y luego se determina el espesor inicial. La costumbre de humedecer las piedras porosas antes de la colocación y aplicación de la fuerza normal sobre las muestras, dependerá del tipo de problema en estudio. Para muestras inalteradas obtenidas bajo el nivel freático, deben humedecerse las piedras.



Para suelos expansivos se debe efectuar el humedecimiento después de la aplicación de la fuerza normal, para evitar expansiones que no son representativas de las condiciones de campo.

Se debe permitir una consolidación inicial de la muestra bajo una fuerza normal adecuada.

Después de aplicar la fuerza normal predeterminada, se llena el depósito de agua hasta un nivel por encima de la muestra, permitiendo el drenaje y una nueva consolidación de la misma. El nivel del agua se debe mantener durante la consolidación y en las fases siguientes de corte de tal manera que la muestra esté saturada en todo momento.

La fuerza normal que se aplique a cada una de las muestras depende de la información requerida. Un solo incremento de ella puede ser apropiado para suelos relativamente firmes. Para los demás suelos pueden ser necesarios varios incrementos con el objeto de prevenir el daño de la muestra. El primer incremento dependerá de la resistencia y de la sensibilidad del suelo. En general, esta fuerza no debe ser tan grande que haga fluir el material constitutivo de la muestra por fuera del dispositivo de corte.

Durante el proceso de la consolidación deben registrarse las lecturas de deformación normal, en tiempos apropiados, antes de aplicar un nuevo incremento de la fuerza.

Cada incremento de la fuerza normal debe durar hasta que se complete la consolidación primaria. El incremento final debe completar la fuerza normal especificada.

Se representan gráficamente las lecturas de la deformación normal contra el tiempo.

Corte de la muestra. Luego de terminada la consolidación se deben soltar los marcos separándolos aproximadamente 0.25 mm (0.01"), para permitir el corte de la muestra.

Se debe aplicar la fuerza de corte lentamente para permitir la disipación completa del exceso de presión de poros.

Para determinar la velocidad de aplicación de la carga hasta la falla, se puede emplear la siguiente expresión:

$$\text{Tiempo para falla} = 50 T_{50}$$

Dónde:

$50t_{50}$ = Tiempo requerido por la muestra para lograr el 50 % de consolidación bajo la fuerza normal.

En el ensayo con control de deformaciones, la velocidad de aplicación de cargas puede determinarse, aproximadamente, dividiendo la deformación estimada de corte, durante el esfuerzo máximo de corte, por el tiempo calculado para la falla.



Se continúa el ensayo hasta que el esfuerzo de corte sea constante, o hasta que se logre una deformación del 10 % del diámetro o de la longitud original.

En el ensayo con control de esfuerzos, se comienza con incrementos de la fuerza de corte de aproximadamente un 10 % de la máxima estimada.

Antes de aplicar un nuevo incremento, se permitirá por lo menos un 95 % de consolidación bajo el incremento anterior. Cuando se ha aplicado del 50 % al 70 % de la fuerza de falla estimada, los nuevos incrementos serán de la mitad del valor de los aplicados hasta ese momento, o sea el 5 % de la máxima fuerza de corte. En la proximidad de la falla, los incrementos de la fuerza pueden ser iguales a un cuarto del incremento inicial (2.5 % de la fuerza normal de corte estimada).

Se debe llevar registro de la fuerza de corte aplicada y la deformación normal y de corte para intervalos convenientes de tiempo. Con preferencia, el incremento de la fuerza de corte debe ser continuo.

Terminado el ensayo, se remueve la muestra completa de la caja de corte, se seca en la estufa y se determina el peso de los sólidos.

Cálculos

Calcúlense los siguientes valores:

- Contenido inicial de humedad.
- Peso unitario seco inicial y peso unitario húmedo inicial.
- Esfuerzos de corte.
- Relación de vacíos antes y después de la consolidación y después del ensayo de corte, si se desea.
- Los grados de saturación inicial y final, si se desea.

Referencias normativas.

- ASTM D 3080
- AASHTO T 236.



2.3. Hipótesis

2.3.1. Hipótesis General.

El tipo de suelo y la permeabilidad del mismo del mismo, son los factores geotécnicos más incidentes que causan la inestabilidad de la ladera derecha de la quebrada de Qolcohuaycco.

2.3.2. Sub Hipótesis.

- **Sub Hipótesis N° 1:** La variación de los parámetros de la resistencia al corte de los suelo por saturación del mismo, influyen en la inestabilidad de la ladera derecha de la quebrada de Qolcohuaycco.
- **Sub Hipótesis N° 2:** Los valores de la Permeabilidad de los tipos de suelos presentes en la ladera derecha de la quebrada de Qolcohuaycco, influyen en la saturación del suelo durante las precipitaciones pluviales.
- **Sub Hipótesis N° 3:** El incremento de la altura de la ladera derecha de la quebrada de Qolcohuaycco generada por la erosión pluvial al pie de la ladera, influye en la inestabilidad de dicha ladera, generando la disminución del Factor de Seguridad en dicha ladera.
- **Sub Hipótesis N° 4:** Debido a las intensas y duraderas precipitaciones pluviales se generan la saturación y el incremento de los pesos específicos de los suelos, originando un potencial de inestabilidad de la ladera derecha de la quebrada de Qolcohuaycco.
- **Sub Hipótesis N° 5:** La determinación del factor de seguridad en condiciones saturadas, obtenido del análisis de la ladera derecha de la quebrada de Qolcohuaycco mediante el programa Slide V- 5.0, demuestra el potencial de deslizamiento de la ladera analizada y disminuye su valor en relación a los factores geotécnicos considerados en esta investigación.

2.4. Definición de Variables.

2.4.1. Variables Independientes.

Variable Independiente X

- Variable Independiente X1= Factores Geotécnicos.

Los factores geotécnicos son factores que incluyen a los factores internos que condicionan las diferentes tipologías de deslizamiento, los mecanismos y modelos de rotura. Dentro de estos factores se encuentran las características intrínsecas, relativas



a las propiedades del material y a su resistencia y las características extrínsecas relacionadas con la morfología y condiciones ambientales a la que está sometida el talud (Suárez Díaz, 1998).

Dimensiones de la Variable independiente X.

- Dimensión 1: Suelo.
- Dimensión 2: Parámetros de resistencia al corte.
- Dimensión 3: Permeabilidad.
- Dimensión 4: Erosión pluvial.
- Dimensión 5: Peso específico.

Indicadores de las dimensiones de la Variable Independiente X.

- Indicador 1: Clasificación de suelo.
Unidades: Grava, arenas y/o arcillas.
- Indicador 2: Parámetros de resistencia al corte del suelo; la cohesión (C) y Angulo de fricción interna (Φ).
Unidades: Kilo pascales (Kpas) y grados sexagesimales ($^{\circ}$), respectivamente.
- Indicador 3: Coeficiente de permeabilidad del suelo (k).
Unidad: Centímetros por segundo (cm/seg)
- Indicador 4: Altura erosionado (h)
Unidad: Centímetros por segundo (metros)
- Indicador 5: Variación del Peso específico (γ)
Unidad: *kilo newton por metro cubico* (KN/m³)

2.4.2. Variables Dependientes.

Variable Dependiente Y.

- Variable Dependiente Y1: Inestabilidad del talud derecho de la ladera de la Quebrada de Qolcohuaycco.

La Inestabilidad del talud, se define como el movimiento de masas de roca y/o suelo a favor de la pendiente, bajo la influencia directa de la gravedad o la presencia de agua (Alcántara Ayala Irasema, 2001).

Indicadores de las dimensiones de la Variable Dependiente Y.

- Indicador 1: Factor de Seguridad de la ladera de Qolcohuaycco
Unidades:
 - Estable, con un F.S. ≥ 1.5 para condiciones estáticas.
 - Inestable, con un F.S. < 1.5 para condiciones estáticas.

2.5. Cuadro de Operacionalización de Variables.

Tabla 13: Cuadro de Operacionalización de una Variable

OPERACIONALIDAD DE UNA VARIABLE						
VARIABLE	DESCRIPCION CONCEPTUAL	DIMENSIONES	DESCRIPCION CONCEPTUAL	NIVEL	INDICADORES	INSTRUMENTOS
INDEPENDIENTE						
Factores Geotécnicos	Los factores geotécnicos son factores que están incluidos dentro de los factores internos que condicionan las diferentes tipologías de deslizamiento, los mecanismos y modelos de rotura. Dentro de estos factores se encuentran las características intrínsecas, relativas a las propiedades del material y a su resistencia y las características extrínsecas relacionadas con la morfología y condiciones ambientales a la que está sometida el talud (Suárez Díaz, 1998)	Suelo	El suelo para ingeniería es cualquier material no consolidado formado por partículas sólidas discretas con líquidos y gases que ocupan los espacios entre ellas (DAS, 2001).	Tipo de Suelo	Clasificación del suelo por el método SUCS (sm, ml, sc, cl)	Guías y formatos de observación de Campo y laboratorio, Pruebas y registro para recolección de datos.
		Resistencia de corte del suelo	Es la resistencia al esfuerzo cortante actuante que ofrece el material (suelo) en la superficie de falla (Suárez Díaz, 1998).	Parámetros de resistencia del suelo.	Parámetros de resistencia al corte de un suelo: cohesión y ángulo de fricción interna (c y Φ)	
		Permeabilidad	Es la capacidad de un cuerpo (en términos particulares, un suelo) para permitir en su seno el paso de un fluido (en términos particulares, el agua) sin que dicho tránsito altere la estructura interna del cuerpo (Angelone Silvia, 2006)	Permeabilidad del tipo de suelo	Coefficiente de permeabilidad, en kg/cm ² .	
		Erosión fluvial al pie del talud	Es la acción de desgaste ocasionado por las aguas de torrentes, aguas salvajes, y ríos (Suárez Díaz, 1998)	Altura de la Ladera	Variación de la altura en metros	
		Peso específico	El peso específico es la relación existente entre el peso y el volumen de una sustancia (DAS, 2001).	Valor del peso específico	Peso específico (seco, natural y saturado) en (ton/m ³ , kg/cm ³).	
DEPENDIENTE						
Inestabilidad de un Talud	Se define como el movimiento de masas de roca, detritos, o tierra a favor de la pendiente, bajo la influencia directa de la gravedad (Alcántara Ayala Irasema, 2001)			Factor de seguridad (F.S.).	Estable, con un F.S. ≥ 1.5 para condiciones estáticas. Inestable, con un F.S. ≥ 1.5 para condiciones estáticas.	

Fuente: Elaboración propia.



Capítulo III: Metodología

3.1. Metodología de la Investigación.

3.1.1. Enfoque de la Investigación.

Por su finalidad el tipo de Investigación Cuantitativa, según (Lozada, 2014, págs. 34-39) La investigación cuantitativa es el procedimiento que busca cuantificar los datos, usando magnitudes numéricas que pueden ser tratadas mediante herramientas del campo de la estadística.

De las preguntas se establecen hipótesis y se determinan variables; se desarrolla un plan para probarlas; se miden las variables de la zona a investigar; se analizan las mediciones obtenidas y se establece una serie de conclusiones, respecto a las Hipótesis planteadas (Hernandez Sampieri, 2010, Pag. 4)

3.1.2. Nivel o alcance de la investigación.

El nivel de la investigación en la presente tesis de investigación es:

Descriptiva con alcance explicativo. Descriptivo porque busca especificar propiedades y características importantes de cualquier fenómeno que se analice (Castellanos, 2014). Describe tendencias de un grupo o población trata de obtener información acerca de un fenómeno o proceso, para describir sus implicaciones, sin interesarse mucho en conocer el origen o causa de la situación. Fundamentalmente está dirigida a dar una visión de cómo opera y cuáles son sus características.

Explicativo porque explica en forma general las causas o los por qué de la ocurrencia del fenómeno, de cuáles son las variables o características que presenta y de cómo se dan sus interrelaciones.

3.1.3. Método de la investigación.

El método de investigación que se está empleando en este trabajo de investigación es el método de hipotético-deductivo.

Hipotético – Deductivo según el autor (Castellanos, 2014), explica: “Debido a acuerdo con este grupo, la ciencia tiene su fundamento en conceptos que no se derivan de la experiencia del mundo que está allá afuera, sino que el investigador los postula en forma de hipótesis con base en su intuición”. pág. 3.



Deductivo según el autor (Castellanos, 2014), explica: “La deducción es un método de razonamiento que lleva a conclusiones partiendo de lo general, aceptado como válido, hacia aplicaciones particulares. Este método se inicia con el análisis de los postulados, teoremas, leyes, y principios de aplicación universal y, mediante la deducción, el razonamiento y las suposiciones, entre otros, se comprueba su validez para aplicarlos en forma particular”. pág.38.

3.2. Diseño de la Investigación.

3.2.1. Diseño Metodológico.

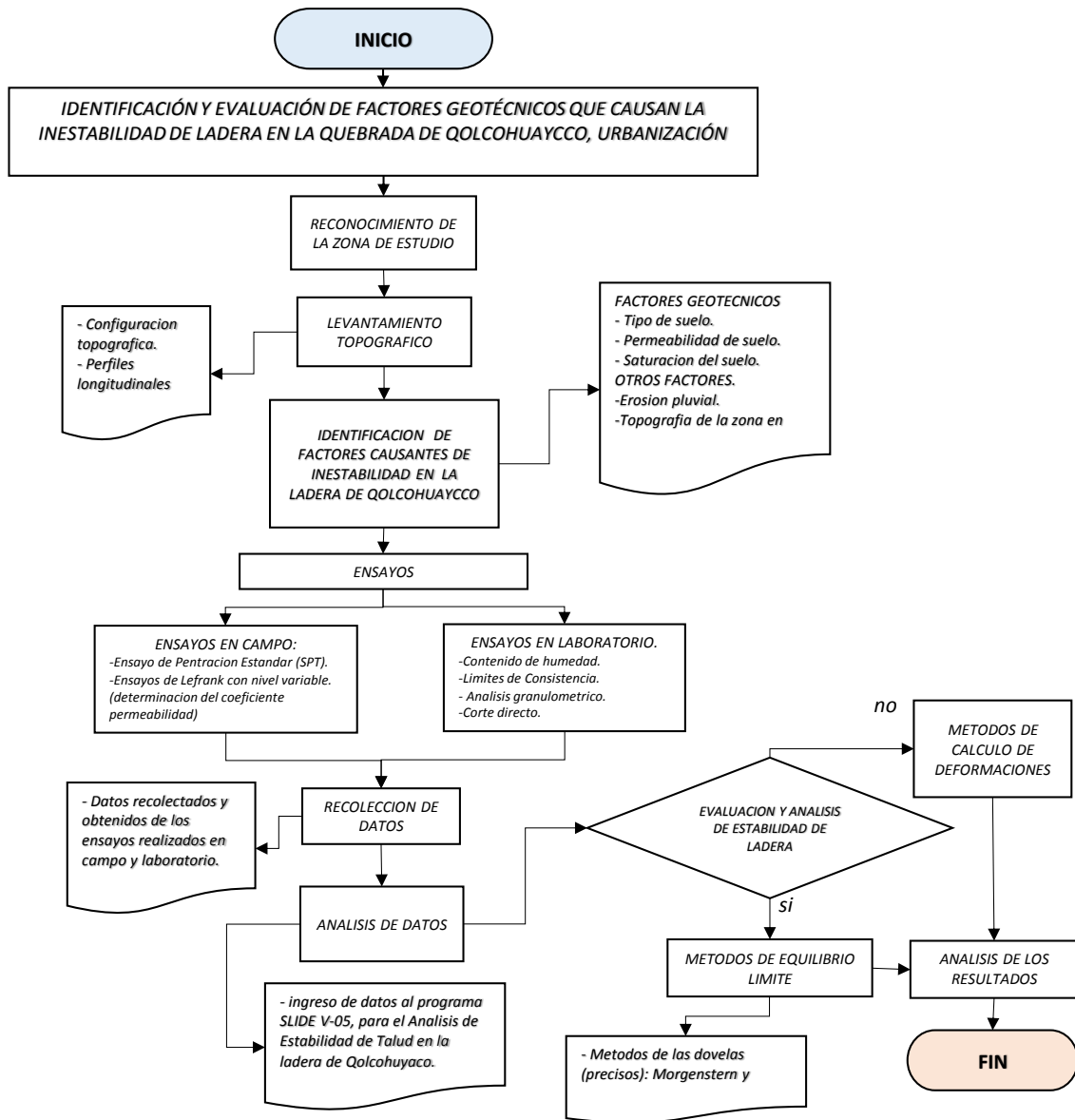
El diseño de investigación que se está empleando y realizando es del tipo no experimental; debido a que no tienen determinación aleatoria, manipulación de variables o grupos de comparación. Es decir, el investigador observa lo que ocurre de forma natural, sin intervenir de manera alguna.

El presente estudio de investigación, evalúa la estabilidad del talud derecho de la quebrada de Qolcohuaycco; en donde los factores que vulneran la estabilidad del talud en cuestión no están sujetos a manipulación experimental; puesto que estos se dan de forma natural y determinan las condiciones de seguridad de la ladera.

3.2.2. Diseño de Ingeniería.

En la presente tesis, se realizó el siguiente procedimiento:

Figura 19.- Diagrama del flujo de Ingeniería.



Fuente: Elaboración Propia.

3.3. Población y muestra.

Una población está determinada por sus características definitorias. Por lo tanto, el conjunto de elementos que posea esta característica se denomina población o universo y cuando se seleccionan algunos elementos con la intención de averiguar algo sobre una población determinada, este grupo es definido como muestra.

3.3.1. Población

3.3.1.1. Descripción de la población.

La población que abarca este estudio, está conformada por el talud derecho de la quebrada de Qolcohuaycco, que pertenece a la A.P.V. Santa Rosa comité 4 del distrito de San Sebastián, en la ciudad del Cusco.

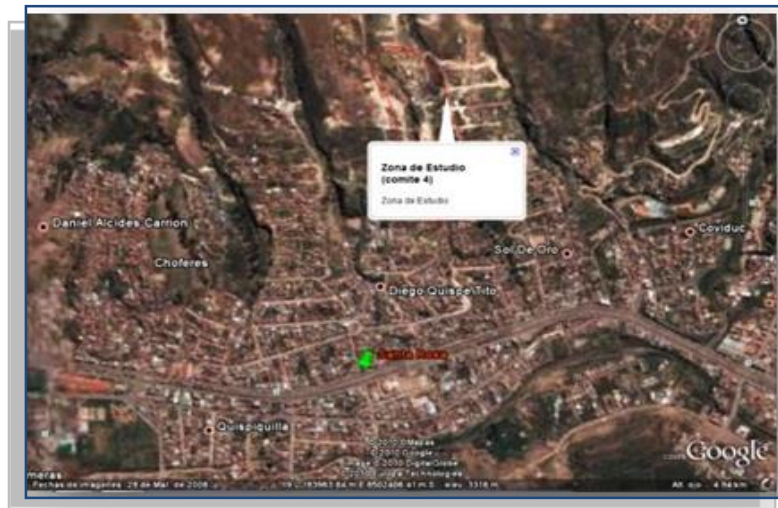


Figura 20. Ubicación de la zona de estudio.

Fuente: Google Earth.

Las conformaciones de laderas de la quebrada de Qolcohuaycco describen zonas de alto riesgo según las fotografías tomadas.



Figura 21. Tamaño mínimo de muestra a usar según el tamaño de partícula.

3.3.1.2. Cuantificación de la población.

Los elementos que componen la población para la tesis de investigación, está compuesto únicamente por la ladera de la Quebrada de Qolcohuaycco.

3.3.2. Muestra.

3.3.2.1. Descripción de la muestra.

La muestra considerada en esta investigación, es el talud derecho quebrada de Qolcohuaycco del tipo no probabilístico; ya que de esta se extraerán los elementos y datos necesarios, para su respectivo estudio e interpretación.



Figura 22. Talud derecho de la quebrada de Qolcohuaycco.

3.3.2.2. Cuantificación de la muestra.

La cuantificación de la muestra para esta investigación, es en talud derecho de la quebrada de Qolcohuaycco.

3.3.2.3. Método de Muestreo.

La muestra de estudio es finita y representativa del tipo no probabilístico, para lo cual se han determinado puntos estratégicos con la finalidad de recolectar datos y obtener los resultados más representativos en el lado derecho de la ladera de la quebrada de Qolcohuaycco, para su respectivo análisis.



3.3.2.4. Criterios de Evaluación de muestra.

Los criterios para evaluar la muestra son los siguientes:

- Obtención de la configuración topográfica de la quebrada de Qolcohuaycco, mediante el levantamiento topográfico con estación total.
- Clasificación del tipo de suelo, mediante ensayos de laboratorio como: análisis granulométrico, contenido de humedad y límites de consistencia de los estratos de suelos encontrados y extraídos durante la realización de la prospección y ejecución del ensayo del SPT.
- Obtención de los parámetros del suelo como: Angulo de fricción interna (Φ), cohesión (c), porosidad (n), peso específico seco (γ_d), peso específico húmedo o natural (γ) y peso específico saturado (γ_s) mediante la correlación de 02 ensayos de SPT, ubicados en puntos específicos de la ladera derecha de la quebrada de Qolcohuaycco (prospecciones SPT-1 y SPT-2)
- Determinación del coeficiente de permeabilidad del suelo (k) en los estratos de suelo encontrados durante las prospecciones con SPT, en el talud derecho de la quebrada de Qolcohuaycco. Mediante el método de carga constante in situ.
- Determinación de la variación de la altura del talud (ΔH) por erosión fluvial al pie del talud derecho de la quebrada de Qolcohuaycco.
- El análisis de la estabilidad del talud derecho mediante la obtención del factor de seguridad realizada en los perfiles longitudinales (PL1, PL2, PL1' y PL2''), que pertenecen a la configuración topográfica del talud derecho de la quebrada de Qolcohuaycco.

3.3.3. Criterios de Inclusión.

Los criterios de inclusión considerados para la selección de la muestra de estudio en la presente tesis son los siguientes:

- Zonas vulnerables al potencial de deslizamientos.
- Factores geotécnicos que causan o provocan la inestabilidad de la ladera.
- Tipos de suelos representativos de la ladera de la quebrada de Qolcohuaycco.
- Puntos estratégicos para realizar los ensayos de campo y la obtención de muestras.
- Tramos en el pie de la ladera de la quebrada de Qolcohuaycco, donde se generan la mayor parte de erosión de suelo.



3.4. Instrumentos

Los instrumentos utilizados para la recolección de datos, en esta tesis de investigación fueron dos tipos:

- Instrumentos Metodológicos.
- Instrumentos de Ingeniería.

3.4.1. Instrumentos metodológicos o instrumentos de recolección de datos.

Para la recolección de datos, se utilizaron las guías y/o formatos de observación de campo, para los diferentes estudios de la Evaluación de la Estabilidad de la Ladera. Dichos datos se obtuvieron a través del equipo de Topografía y de los ensayos realizados en el laboratorio de suelos de la Universidad Andina del Cusco.



Tabla 14: Formato De Recolección De Datos Para Puntos Topográficos.



		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO				
		Facultad de Ingeniería Civil				
		Carrera Profesional de Ingeniería Civil				
Tesis: "Evaluación de la Estabilidad frente al Deslizamiento de laderas en la Quebrada de Qolcohuaycco "						
Lugar : Quebrada de Qolcohuaycco						
REALIZADO POR : Br. David Hualpa Ayte						
UBICACIÓN						
Distrito : San Sebastian						
Provincia : Cusco						
Dpto : Cusco						
EQUIPO UTILIZADO :						
FECHA :						
<u>PUNTOS TOPOGRAFICOS</u>						
PTOS	ESTE	NORTE	COTA	DESCRIPCION.		
A						
1						
2						
3						
4						
.						
N						
B						
1						
2						
3						
4						
.						
.						
.						
N						

Fuente:

Elaboración Propia.



Tabla 15: Formato De Recolección De Datos Para El Ensayo Del Contenido De Humedad (%).

 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura Escuela Profesional de Ingeniería Civil LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES 	
Ensayo para Determinar el Contenido de Humedad de Suelos -ASTM D 2216.	
Tesis: "Evaluacion de la Estabilidad frente al Deslizamiento de laderas en la Quebrada de Qolccohuaycco "	
LUGAR :	Laboratorio de Suelos - Universidad Andina Del Cusco
REALIZADO POR :	Bachiller David Hualpa Ayte
UBICACIÓN :	
Distrito :	San Sebastian
Provincia :	Cusco
Dpto :	Cusco
MUESTRA N° :	POZO N°: C-1
FECHA :	
<u>% DE HUMEDAD</u>	
ESTRATO N° 3	
ENSAYO N° 01	
<i>Peso capsula (g r)</i>	
<i>Peso capsula + Peso del suelo humedo (gr)</i>	
<i>Peso del suelo humedo (gr)</i>	
<i>Peso capsula + Peso del Suelo Seco (gr)</i>	
<i>Peso del suelo Seco (gr)</i>	
CONTENIDO DE HUMEDAD W (%)	

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 16: Formato de recolección de datos para determinar la granulometría del suelo.

TAMAÑO DE TAMIZES		PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	PESO QUE PASA	PORCENTAJE QUE PASA	DESCRIPCIÓN			
(Pulg.)	(m.m.)	(gr)	(%)	(gr)	(%)	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO MTC E 107- 99			
ENSAYO DE ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO									
ASTM D422, MTC E-107-2000									
Tesis: IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE FACTORES GEOTÉCNICOS QUE CAUSAN LA INESTABILIDAD DE LADERA EN LA QUEBRADA DE QOLCOHUAYCCO, URBANIZACIÓN SANTA ROSA, DISTRITO DE SAN SEBASTIÁN-CUSCO									
Tesisista: Bachiller David Hualpa Ayte		MUESTRA N°: 01		Prospeccion SPT N°: 1					
Fecha: mar-18		PESO INICIAL 0.00 kg.		Estrato N°: 4					
Profundidad: 1.20 m									
						SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE SUELOS			
4"	101.60					SUELO DE GRANO GRUESO, MAS DEL 50% RETENIDO EN LA MALLA N° 200	GRAVA Y SUELO GRAVOSO, más del 50% retiene malla N°4	GW	Gravas bien graduadas , mezclas de grava y arena con poco o nada de finos
2"	50.80						GP	Gravas mal graduadas, mezcla de grava y arena con poco o nada de finos	
1 1/2"	38.10						GM	Gravas Limosas, mezclas de grava, arena y limo	
1"	25.40						GC	Gravas Arcillosas, mezclas de grava, arena y arcilla	
3/4"	19.10						SW	Arenas bien graduadas, arenas con grava con poco o nada de finos	
1/2"	12.70						SP	Arenas mal graduadas, arenas con grava con poco o nada de finos	
3/8"	9.52						SM	Arenas Limosas, mezcla de arena y limo	
N° 4	4.76						SC	Arenas Arcillosas, mezcla de arena y arcilla	
N° 8	2.38								
N° 16	1.19						SUELO DE GRANO FINO, 50% O MAS PASA LA MALLA N°200	LIMOS Y ARCILLAS (LL-50)	ML
N° 30	0.60					CL		Arcillas Inorgánicas de baja plasticidad, arcillas con grava, arcillas areno-limosas,	
N° 50	0.30					OL		Limos Orgánicos y Arcillas Limosas Orgánicas de baja plasticidad	
N° 100	0.15					MH		Limos Inorgánicos, Limos micáceos, o diatomizados, Limos elásticos	
N° 200	0.07					CH		Arcillas Inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas	
CAZUELA	0.07					OH	Arcillas Orgánicas de media a alta plasticidad, Limos orgánicos de media plasticidad		
TOTAL :		0.00	#¡DIV/0!			Altamente Orgánico	Pt	Turba y otros suelos altamente orgánicos	

GRAFICO DE GRANULOMETRIA

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 17. Formato para el registro de datos para determinar los límites de consistencia (LL y LP).

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura Escuela Profesional de Ingeniería Civil LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES				
ENSAYO DE LIMITE LIQUIDO Y LIMITE PLASTICO (ASTM D-4918)				
TESIS	: "IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE FACTORES GEOTÉCNICOS QUE CAUSAN LA INESTABILIDAD DE LADERA EN LA QUEBRADA DE QOLCOHUAYCCO, URBANIZACIÓN SANTA ROSA, DISTRITO DE SAN SEBASTIÁN-CUSCO"			
TESISTA	: Bachiller David Huallpa Ayte			
UBICACIÓN	: Lugar: Quebrada de Qolcohuaycco			
Distrito :	San Sebastian			
Provincia :	Cusco			
Dpto :	Cusco			
FECHA	: Prospeccion SPT N°: Estrato N°:			
LIMITE LIQUIDO				
CAPSULA No	pr-5	pr-6	pr-3	3
PESO DE CAPSULA				
PESO CAP +SUELO HUM.				
PESO CAP +SUELO SECO				
PESO DEL AGUA				
PESO DE SUELO SECO				
NUMERO DE GOLPES				
% DE HUMEDAD (%)				
LIMITE LIQUIDO (%) :	0.00			
LIMITE PLASTICO				
CAPSULA	e-1	1	5	
PESO DE CAPSULA				
PESO CAP +SUELO HUM.				
PESO CAP +SUELO SECO				
PESO DEL AGUA				
PESO DE SUELO SECO				
% DE HUMEDAD (%)				
LIMITE PLASTICO (%) :				
<div style="border: 1px solid black; padding: 10px;"> <p style="text-align: center;">$y = -0.0388x + 27.344$ $R^2 = 0.034$</p> <p style="text-align: center;">Diagrama de Fluído</p> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg); font-weight: bold;">Contenido de Humedad (%)</div> </div> <p style="text-align: center; font-weight: bold;">Nº de Golpes</p> </div>				
INDICE DE PLASTICIDAD (%) :			0.00	

Fuente: Elaboración Propia.



Tabla 18. Formato Para El Registro de Datos Del Ensayo De Penetración Estándar (SPT).

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura Facultad de Ingeniería Civil LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES		ENSAYO DE PENETRACION ESTANDAR ASTM - D1586						
<i>Tesis :</i> "IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE FACTORES GEOTÉCNICOS QUE CAUSAN LA INESTABILIDAD DE LADERA EN LA QUEBRADA DE QOLCOHUAYCCO, URBANIZACIÓN SANTA ROSA, DISTRITO DE SAN SEBASTIÁN-CUSCO"		<i>Lugar:</i> Quebrada de Qolcohuyacco							
<i>Ubicación:</i>		<i>Fecha :</i> 18-04-2018		<i>Motivo :</i> Ensayo de Laboratorio					
<i>Distrito :</i> SAN SEBASTIAN		<i>Tesisista :</i> Bachiller David Huallpa Ayte							
<i>Provincia :</i> CUSCO									
<i>Región :</i> CUSCO									
Estrato	Profundidad en metros		Clasificación SUCS	N ₁₅ spt	N ₃₀ spt	N SPT promedio	Ensayo de Penetracion Estandar		
							Numero de golpes/30 cm		
							10	20	30

Fuente: Elaboración Propia



Tabla 19. Formato Para La Recolección De Datos Para El Ensayo De Corte Directo.



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura
Facultad de Ingeniería Civil



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES

ENSAYO DE CORTE DIRECTO
NTP-339.171 - ASTM-D3080
Tesis: "IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE FACTORES GEOTÉCNICOS QUE CAUSAN LA INESTABILIDAD DE LADERA EN LA QUEBRADA DE QOLCOHUAYCCO, URBANIZACIÓN SANTA ROSA, DISTRITO DE SAN SEBASTIÁN-CUSCO"
Localización: QUEBRADA DE QOLCOHUAYCCO
Distrito: SAN SEBASTIAN
Provincia: CUSCO
Region: CUSCO
Fecha:
Motivo: Ensayo de Laboratorio
TESISTA.: Bachiller David Huallpa Ayte
Muestra: Pozo: PROF. (m.):
Datos: lado, area, altura, C.D.D., L.R.C., volumen, Peso de carga
Formulas: Deformacion muestra, Deformacion Unitaria, Area Corregido(A'), Carga, Esfuerzo del Muestra
Muestra 1 table with columns: Esfuerzo Vertical, Dial de deformacion, Lectura de carga (kg), Deformacion de la muestra, Def. unitaria, (Area) /(1-def. unitaria), Area (cm2), Carga total S/muestra (kpas), Lectura def. vertical *0.01mm
Esfuerzo Cortante = 0.00

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 20: Formato para la recolección de datos para el Ensayo de Lefranc con Nivel Variable.

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO Facultad de Ingeniería Civil LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES					
TESIS: "TESIS DE INVESTIGACION" IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE FACTORES GEOTÉCNICOS QUE CAUSAN LA INESTABILIDAD DE LADERA EN LA QUEBRADA DE QOLCOHUAYCCO, URBANIZACIÓN SANTA ROSA, DISTRITO DE SAN SEBASTIÁN-CUSCO"						
TESISTA: Br.Ing. David Hualpa Ayte						
UBICACIÓN: Distrito : San Sebastian Provincia : Cusco Dpto : Cusco		LUGAR: Quebrada de Qolcohuaycco PROSPECCION Nº: 1 y 2 ENSAYO: LEFRANC CON NIVEL VARIABLE				
FECHA :						
DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD "K" MEDIANTE EL ENSAYO DE LEFRANC CON NIVEL VARIABLE						
DATOS DURANTE ENSAYO	PROSPECCION SPT Nº1		PROSPECCION SPT Nº2			
	ESTRATO 1	ESTRATO 2	ESTRATO 3	ESTRATO 1	ESTRATO 2	ESTRATO 3
diámetro de tubería en pulgadas						
profundidad (m)						
tiempo (seg)						
Longitud filtrante						
h1 (m)						
h2 (m)						
longitud (m)						
coeficiente de Permeabilidad (m/s)						

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 21: Formato Determinación De La Erosión De Suelo En El Pie Del Ladera.

	DATOS DE LA VARIACION EN LAS DIMENSIONES POR EROSION FLUVIAL EN EL CANAL NATURAL FORMADO AL PIE DEL TALUD DERECHO DE LA QUEBRADA DE QOLCOHUAYCCO																																	
Proyecto : "IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE FACTORES GEOTÉCNICOS QUE CAUSAN LA INESTABILIDAD DE LADERA EN LA QUEBRADA DE QOLCOHUAYCCO, URBANIZACIÓN SANTA ROSA, DISTRITO DE SAN SEBASTIÁN-CUSCO"	Lugar : QUEBRADA DE QOLCOHUAYCCO Distrito : SAN SEBASTIAN Provincia : CUSCO Region : CUSCO		Fecha : Motivo : Obtencion de las dimensiones del canal erionado TESISTA: D.H.A.																															
DATOS																																		
Tipo de suelo:																																		
MATERIALES * Varilla de acero liso de 1/2" * Wincha de 50 mts. * 01 kg de clavo con cabeza de 8 pulgadas. * Combo de acero (2.5 kg) * wincha metalica de 5 mts.																																		
PROGRESIVA	VARILLA Nº	REGISTRO DIARIO DEL CANAL NATURAL EROSIONADO AL PIE DEL TALUD																														DIMENSION ACUMULADA MENSUAL		
		MESES																																
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31		
	A																																	
	B																																	
	H																																	
	A																																	
	B																																	
	H																																	
	A																																	
	B																																	
	H																																	
	A																																	
	B																																	
	H																																	
	A																																	
	B																																	
	H																																	

DIMENSIONES DEL CANAL

BASE = B
 ANCHO = A
 LATURA = H

* PR= punto de referencia para el registro diario de las medidas del canal erosionado

Fuente: Elaboración Propia.