



# UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL.



## TESIS

---

**EVALUACIÓN DEL FACTOR DE SEGURIDAD DEL TALUD CORRESPONDIENTE  
A LA QUEBRADA DE SIPASPUCYO, EN FUNCIÓN A LA TOPOGRAFÍA,  
ESTUDIOS DE INFILTRACIÓN Y PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS SUELOS.**

---

**Presentado por:**

Bach. SHIRLEY ZENAIDA BUSTAMANTE CORRIDO.

Bach. CARLOS ENRIQUE GARCÍA YÉPEZ.

**Para Optar el Título Profesional de**

INGENIERO CIVIL.

**Asesor:**

Mgt. Ing. Víctor Chacón Sánchez.

**CUSCO – PERÚ**

**2018**



## **Dedicatoria.**

Dedico el presente trabajo de investigación fundamentalmente a mis padres Fortunato y Vilma, mi hermana Paola, por ser el motor y pilar fundamental en mi vida, quienes con su amor, trabajo y sacrificio me brindan apoyo incondicional y fortaleza para salir adelante.

A mi abuela Fidelia por ser mi más gran ser querido, quien siempre confió en mí sin dudar, a toda mi familia por impulsarme en todo momento.

**Shirley Zenaida Bustamante Corrido.**

A mis padres por su ayuda incondicional y siempre preocuparse en que sea una mejor persona cada día, los docentes y amigos por sus buenos deseos.

**Carlos Enrique Garcia Yopez.**



## Agradecimientos

Agradezco a Dios por permitirme llegara hasta hoy.

A mi familia, que en todo momento me ha brindado su apoyo para alcanzar mis metas y trazar nuevas.

Así mismo mi más sincero agradecimiento a la Universidad Andina del Cusco, a la Escuela profesional de ingeniería civil, por permitirme ser profesional, a todos mis docentes por su dedicación y empeño al impartirme sus conocimientos.

Mi gratitud especial para el Mgt. Ing. Víctor Chacón Sánchez y el Ing. Edson Salas Forton; Asimismo a todos los ingenieros por su constante apoyo a lo largo del desarrollo de la investigación

**Shirley Zenaida Bustamante Corrido.**

Agradezco a mis padres por el constante apoyo.

A los ingenieros que nos apoyaron brindándonos su tiempo para poder realizar esta investigación.

**Carlos Enrique Garcia Yopez.**



## Resumen

La presente investigación fue desarrollada en el Departamento del Cusco, Provincia y Distrito del Cusco, tuvo como objetivo evaluar el factor de seguridad del talud correspondiente a la quebrada de Sipaspucyo, en función a la topografía, estudios de infiltración y propiedades mecánicas de los suelos.

Para tal efecto se realizó el levantamiento topográfico de la zona de estudio con el objetivo de determinar la representación gráfica de la misma, así mismo el ensayo de infiltración in situ (Ensayo de permeabilidad – Porchet (MINVU, 19996)), para conocer la propiedades físico mecánicas de los suelos se realizaron 06 calicatas desplazadas uniformemente a lo largo de la zona de estudio, donde realizamos los siguientes ensayos: Contenido natural de humedad del suelo, ensayo granulométrico, límites de consistencia (límite líquido, límite plástico, índice de plasticidad), clasificación de suelos por el método SUCS, ensayo de corte residual, penetración dinámica ligera.

Para alcanzar el objetivo de la investigación procedimos a realizar el cálculo del factor de seguridad en tres tramos según la superficie de falla del talud por el método Bishop Simplificado debido a que esta es una falla circular a la cual simulamos y se asemeja más a la realidad.

Finalmente, después de realizar el cálculo del factor de seguridad, determinamos que el talud en las condiciones que se encontró es inestable. Para la estabilización del talud se presenta una propuesta como aporte a esta investigación que es la estabilización con muro gaviones ya que este es más flexible para el proceso constructivo y la mejora del factor de seguridad incrementando su valor aparte de que permite el drenaje de las aguas pluviales.



**Palabras claves:** Factor de seguridad, método Bishop Simplificado, calicatas, límites de consistencia, clasificación de suelos por el método SUCS, ensayo de corte residual, Penetración Dinámica Ligera, talud, superficie de falla.



## Abstract

The present research was developed in the Department of Cusco, Province and District of Cusco, the main goal was to evaluate the slope safety factor corresponding to the Sipaspucyo stream, according to the topography, hidro-infiltration studies and mechanical properties of the soils.

For this purpose, the topographic study was done in this area in order to determine the graphic representation of the same, as well as the in situ infiltration test (Permeability Test - Porchet (MINVU, 19996), knowing the soils physical mechanical properties, we did 06 pits displaced uniformly throughout the study area, where we did the following tests: Natural moisture content of the soil, granulometric test, consistency limits of (liquid limit, plastic limit, plasticity index) , soil classification by the SUCS method, residual cutting test, light dynamic penetration.

To achieve the investigation goal, we proceeded to calculate the safety factor in three sections, according to the geological fault surface of the slope, using the Bishop Simplified method.

Finally, after the safety factor calculation performance, we find out that the slope in the conditions is unstable. For the slope stabilization proposal is presented as a contribution to this investigation.

**Keywords:** Safety factor, Simplified Bishop method, test pits, consistency limits, soil classification by the SUCS method, residual cut test, Light Dynamic Penetration, slope, failure surface, geological fault.



## Introducción

“Evaluación del factor de seguridad del talud correspondiente a la quebrada de Sipaspucyo, en función a la topografía, estudios de infiltración y propiedades mecánicas de los suelos”, es una investigación que pertenece al área de geotecnia dentro de la Ingeniería Civil; la cual se realizó en la Ciudad del Cusco.

En la Quebrada Sipaspucyo del Distrito de Cusco se encuentra la vía de dos carriles que permite el paso rápido de vehículos con dirección Cusco – Abancay, evitando así el paso en horas punta directamente por la ciudad de Cusco. Durante los últimos años la vía viene siendo saturada debido a que se viene incrementando el parque automotor así como la ejecución de proyectos inmobiliarios en la zona, estas razones entre otras están ocasionando la inestabilidad de esta quebrada donde se emplaza la vía antes indicada, por lo que se debe empezar a hacer estudios profundos sobre la estabilidad del talud correspondiente a la quebrada de Sipaspucyo; Así mismo muchos pobladores de la zona vienen utilizando la quebrada como un botadero de desmonte y basura, incrementando los desprendimientos de partículas de grava en condiciones estáticas del talud, resultando un peligro importante para los conductores y peatones.

La presente investigación fue realizada en el Departamento del Cusco, Provincia y Distrito del Cusco, tuvo como objetivo evaluar el factor de seguridad del talud correspondiente a la quebrada de Sipaspucyo, en función a la topografía, estudios de infiltración y propiedades mecánicas de los suelos.

Así mismo esta tesis demuestra que el tramo en estudio fallaría en las condiciones que actualmente se encuentra, poniendo en grave peligro vidas humanas y propiedades privadas que recientemente están siendo construidas a 60m promedio del pie del talud, ya que se



realizó el cálculo del factor de seguridad en la superficie de falla ubicando tres tramos (extremo derecho, extremo izquierdo y centro de la superficie de falla) obteniendo inestable en cada cálculo.

En cuanto a su elaboración, consistió en la visita a campo para la toma de muestras, así mismo en la realización de ensayos in situ y de laboratorio, para posteriormente evaluar en gabinete el factor de seguridad en función de la topografía, estudios de infiltración y propiedades mecánicas de los suelos.

El estudio realizado permitió conocer los valores del factor de seguridad lo cual confirma la inestabilidad de talud observada en la zona de estudio, el presente estudio también nos permitió identificar que la zona en estudio está conformada por una variedad de suelos. La investigación está compuesta de seis capítulos: El capítulo I referido a la identificación del problema, justificación e importancia, limitaciones, objetivos. En el capítulo II se incluye los antecedentes tales como investigaciones referidos al estudio de la estabilidad de taludes, marco teórico, hipótesis y definición de variables.

En el capítulo III hace referencia a la metodología y diseño de la investigación, descripción de la población y muestra, instrumentos metodológicos y de ingeniería, proceso de recolección de datos y análisis de datos.

En el capítulo IV y V se muestran los resultados de la investigación y su interpretación.

Finalmente constan las conclusiones, recomendaciones, referencias y anexos.

Adicionalmente a esta investigación se realizó la propuesta de estabilización del talud, como aporte a la investigación.





## Índice general

Dedicatoria.....	i
Agradecimientos.....	ii
Resumen.....	iii
Abstract.....	v
Introducción.....	vi
Índice general.....	viii
Índice de tablas.....	xi
Índice de figuras.....	xv
1.1 Identificación del problema.....	2
1.1.1 Descripción del problema.....	2
1.1.2 Formulación interrogativa del problema.....	3
1.2 Justificación e importancia de la investigación.....	4
1.2.1 Justificación técnica.....	4
1.2.2 Justificación social.....	4
1.2.3 Justificación por viabilidad.....	5
1.2.4 Justificación por relevancia.....	5
1.3 Limitaciones de la investigación.....	6
1.4 Objetivo de la investigación.....	6
1.4.1 Objetivo general.....	6
1.4.2 Objetivos específicos.....	6
2 CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....	9
2.1 Antecedentes de la tesis.....	9
2.1.1 Antecedentes a nivel nacional.....	9
2.1.2 Antecedentes a nivel internacional.....	12
2.2 Aspectos teóricos pertinentes.....	13
2.2.1 Talud.....	13
2.2.2 Topografía.....	22
2.2.3 Estudios de infiltración.....	24
2.2.4 Propiedades físico mecánica de los suelos.....	27
2.2.5 Factor de seguridad:.....	58
2.3 Hipótesis.....	61
2.3.1 Hipótesis general.....	61
2.3.2 Sub hipótesis.....	61
2.4 Definición de variables.....	61



2.4.1	Variables independientes. ....	61
2.4.2	Variables dependientes.....	62
2.4.3	Cuadro de operación de variables. ....	64
3	CAPITULO III. METODOLOGÍA.....	66
3.1	Metodología de la investigación.....	66
3.1.1	Enfoque de la investigación.....	66
3.1.2	Nivel o alcance de la investigación.....	66
3.1.3	Método de la investigación.....	66
3.2	Diseño de la investigación.....	67
3.2.1	Diseño metodológico.....	67
3.2.2	Diseño de ingeniería.....	68
3.3	Población y muestra.....	69
3.3.1	Población.....	69
3.3.2	Muestra.....	69
3.3.3	Criterios de inclusión.....	70
3.4	Instrumentos.....	72
3.4.1	Instrumentos metodológicos o instrumentos de recolección de datos. ....	72
3.4.2	Instrumentos de ingeniería. ....	79
3.5	Procedimientos de recolección de datos. ....	82
3.5.1	Levantamiento topográfico. ....	82
3.5.2	Estudio de infiltración. ....	91
3.5.3	Ensayo de humedad.....	98
3.5.4	Ensayo de análisis granulométrico por tamizado.....	104
3.5.5	Ensayo de los límites de consistencia. ....	114
3.5.6	Ensayo de corte directo.....	127
3.5.7	Ensayo cono Sowers (ASTM STP 399).....	139
3.6	Procedimiento de análisis de datos. ....	148
3.6.1	Levantamiento topográfico. ....	148
3.6.2	Estudio de infiltración. ....	155
3.6.3	Contenido de humedad.....	161
3.6.4	Análisis granulométrico por tamizado. ....	168
3.6.5	Límites de consistencia. ....	177
3.6.6	Corte directo.....	187
3.6.7	Ensayo de cono Sowers.....	196
3.6.8	Análisis de datos para el cálculo del factor de seguridad.....	206
4	CAPITULO IV: RESULTADOS.....	215
4.1	De la topografía del terreno. ....	215



4.2	De los estudios de infiltración .....	216
4.3	Respecto a los tipos de suelo encontrados en la zona de estudio. ....	216
4.4	Del factor de seguridad .....	218
CAPITULO V: DISCUSIÓN .....		220
Glosario .....		222
Conclusiones .....		226
Recomendaciones .....		229
Referencias .....		231
Anexos .....		233
Apéndice A .....		248
Apéndice B .....		276

**Índice de tablas.**

Tabla 1 Ubicación Geográfica.....	3
Tabla 2 Símbolos para la clasificación SUCS.....	33
Tabla 3 : Sistema de clasificación de suelos por SUCS .....	34
Tabla 4: Factores de seguridad para obras de ingeniería a proyectarse. ....	56
Tabla 5 : Cuadro de operacionalizacion de variables .....	64
Tabla 6: Cuadro de ensayos a desarrollarse para el análisis de la quebrada Sipaspucyo.....	70
Tabla 7: Formato N° 1 toma de datos para levantamiento topográfico.....	72
Tabla 8: Formato N° 2 Ensayo de infiltración. ....	73
Tabla 9: Formato N° 3 Ensayo de contenido natural de humedad. ....	74
Tabla 10: Formato N° 4 Ensayo granulométrico .....	75
Tabla 11 : Formato N° 5 Ensayo de límites de consistencia .....	76
Tabla 12 : Formato N° 5 Ensayo de corte directo residual .....	77
Tabla 13 : Formato N° 6 Ensayo de cono Sowers.....	78
Tabla 14 : Instrumentos de ingeniería para la toma de datos topográficos y de infiltración....	79
Tabla 15 : Instrumentos de ingeniería para la toma de datos en ensayos de contenido de humedad y granulometría.....	80
Tabla 16 : Instrumentos de ingeniería para la toma de datos en ensayos de límites de consistencia y corte directo. ....	81
Tabla 17 : Instrumentos de ingeniería para la toma de datos en ensayos de oscultación in situ con cono Sowers y SPT.....	82
Tabla 18 : Toma de Datos, puntos 01 – 39.....	85
Tabla 19 : Toma de Datos, puntos 41– 80.....	86
Tabla 20 : Toma de Datos, puntos 81 – 118.....	87
Tabla 21 : Toma de Datos, puntos 119 – 156.....	88
Tabla 22 : Toma de Datos, puntos 157 – 194.....	89
Tabla 23 : Toma de Datos, puntos 195 – 233.....	90
Tabla 24 : Toma de Datos, puntos 234 – 250.....	91
Tabla 25: Toma de datos, ensayo de infiltración (ubicación 01) .....	94
Tabla 26 : Toma de datos, ensayo de infiltración (ubicación 02) .....	95
Tabla 27 : Toma de datos, ensayo de infiltración (ubicación 03) .....	96
Tabla 28 : Toma de Datos, Ensayo de Infiltración (ubicación 04).....	97
Tabla 29: Toma de Datos Ensayo de Humedad C-01 .....	101
Tabla 30: Toma de Datos Ensayo de Humedad C-02 .....	101
Tabla 31 : Toma de Datos Ensayo de Humedad C-03 .....	102
Tabla 32 : Toma de Datos Ensayo de Humedad C-04 .....	102



Tabla 33 : Toma de Datos Ensayo de Humedad C-05 ..... 103

Tabla 34 : Toma de Datos Ensayo de Humedad C-06 ..... 103

Tabla 35: Toma de datos, ensayo granulométrico C-01..... 108

Tabla 36 : Toma de datos, ensayo granulométrico C-02..... 109

Tabla 37 : Toma de datos, ensayo granulométrico C-03..... 110

Tabla 38: Toma de datos, ensayo granulométrico C-04..... 111

Tabla 39: Tomad de datos, ensayo granulométrico C-05, E-01 ..... 112

Tabla 40 : Toma de datos, ensayo granulométrico C-05, E-02..... 113

Tabla 41: Toma de datos, ensayo granulométrico C-06..... 114

Tabla 42: Toma de datos, ensayo de límites de consistencia C-01 ..... 121

Tabla 43 : Toma de datos, ensayo de límites de consistencia C-02 ..... 122

Tabla 44 : Toma de datos, ensayo de límites de consistencia C-03 ..... 123

Tabla 45: Toma de datos, ensayo de límites de consistencia C-04 ..... 124

Tabla 46 : Toma de datos, ensayo de límites de consistencia C-05 E-01 ..... 125

Tabla 47 : Toma de datos, ensayo de límites de consistencia C-05 E-02 ..... 126

Tabla 48 : Toma de datos, ensayo de límites de consistencia C-06 ..... 127

Tabla 49: Toma de Datos para el ensayo de corte directo, C-02, muestra 01 ..... 134

Tabla 50 : Toma de Datos para el ensayo de corte directo, C-02, muestra 02..... 135

Tabla 51 : Toma de Datos para el ensayo de corte directo, C-02, muestra 03..... 136

Tabla 52 : Toma de Datos para el ensayo de corte directo, C-06, muestra 01 ..... 137

Tabla 53 : Toma de Datos para el ensayo de corte directo, C-06, muestra 02..... 138

Tabla 54 : Toma de Datos para el ensayo de corte directo, C-06, muestra 03..... 139

Tabla 55: Toma de datos para el ensayo cono Sowers, C-01..... 142

Tabla 56: Toma de datos para el ensayo de cono Sowers, C-02..... 143

Tabla 57: Toma de datos para el ensayo de cono Sowers, C-03..... 144

Tabla 58 : Toma de datos para el ensayo de cono Sowers, C-04..... 145

Tabla 59: Toma de datos para el ensayo de cono Sowers, C-05..... 146

Tabla 60 : Toma de datos para el ensayo de cono Sowers, C-06..... 147

Tabla 61 : Datos procesados del levantamiento topográfico de los puntos 1 – 39..... 149

Tabla 62 : Datos procesados del levantamiento topográfico de los puntos 41 – 80..... 150

Tabla 63 : Datos procesados del levantamiento topográfico de los puntos 81 – 118..... 151

Tabla 64: Datos procesados del levantamiento topográfico de los puntos 119 – 156 ..... 152

Tabla 65 : Datos procesados del levantamiento topográfico de los puntos 119 – 194..... 153

Tabla 66 : Datos procesados del levantamiento topográfico de los puntos 119 – 233 ..... 154

Tabla 67 : Datos procesados del levantamiento topográfico de los puntos 234 – 250..... 155

Tabla 68: Análisis de datos, ensayo de infiltración (ubicación 01)..... 157

Tabla 69: Análisis de datos, ensayo de infiltración (ubicación 02)..... 158



Tabla 70: Análisis de datos, ensayo de infiltración (ubicación 03)..... 159

Tabla 71 : Análisis de Datos, Ensayo de Infiltración (ubicación 04)..... 160

Tabla 72 : Análisis de datos ensayo de humedad C-01 ..... 163

Tabla 73 : Análisis de datos ensayo de humedad C-02..... 164

Tabla 74 : Análisis de datos ensayo de humedad C-03..... 165

Tabla 75 : Análisis de datos ensayo de humedad C-04..... 166

Tabla 76: Análisis de datos ensayo de humedad C-05..... 167

Tabla 77 : Análisis de datos ensayo de humedad C-06..... 168

Tabla 78 : Análisis de datos, ensayo granulométrico C-01 ..... 170

Tabla 79 : Análisis de datos, ensayo granulométrico C-02..... 171

Tabla 80 : Análisis de datos, ensayo granulométrico C-03..... 172

Tabla 81 : Análisis de datos, ensayo granulométrico C-04..... 173

Tabla 82 : Análisis de datos, ensayo granulométrico C-05..... 174

Tabla 83 : Análisis de datos, ensayo granulométrico C-05, E – 02 ..... 175

Tabla 84 : Análisis de datos, ensayo granulométrico C-06..... 176

Tabla 85 : Cálculo del límite líquido gráficamente..... 179

Tabla 86: Análisis de datos para el ensayo límite líquido y límite plástico, C-01 ..... 180

Tabla 87 : Análisis de datos para el ensayo límite líquido y limite plástico, C-02..... 181

Tabla 88 : Análisis de datos para el ensayo límite líquido y limite plástico, C-03..... 182

Tabla 89 : Análisis de datos para el ensayo límite líquido y limite plástico, C-04..... 183

Tabla 90 : Análisis de datos para el ensayo límite líquido y límite plástico, C-05..... 184

Tabla 91 : Análisis de datos para el ensayo límite líquido y límite plástico, C-05, ..... 185

Tabla 92 : Análisis de datos para el ensayo límite líquido y límite plástico, C-06..... 186

Tabla 93: Análisis de datos para el ensayo de corte directo residual, C-02, muestra 01 ..... 189

Tabla 94 : Análisis de datos para el ensayo de corte directo residual, C-02, muestra 02 ..... 190

Tabla 95 : Análisis de datos para el ensayo de corte directo residual, C-02, muestra 03 ..... 191

Tabla 96: Análisis de Datos para el ensayo de corte directo residual, ángulo de fricción y cohesión..... 192

Tabla 97: Análisis de datos para el ensayo de corte directo residual, C-06, muestra 01 ..... 193

Tabla 98: Análisis de datos para el ensayo de corte directo residual, C-06, muestra 02 ..... 194

Tabla 99: Análisis de datos para el ensayo de corte directo residual, C-06, muestra 03 ..... 195

Tabla 100: Análisis de datos para el ensayo de corte directo residual, ángulo de fricción y cohesión..... 196

Tabla 101: Equivalencia entre “N” del cono Sowers y “N” del SPT a la misma profundidad. .... 198

Tabla 102: Datos de los ensayos PDL y SPT (datos de los martillos) ..... 198

Tabla 103: Análisis de datos para el ensayo de cono Sowers con correlación con el ensayo de SPT, C-01 ..... 200



Tabla 104 : Análisis de datos para el ensayo de cono Sowers con correlación con el ensayo de SPT, C-02 .....	201
Tabla 105: Análisis de datos para el ensayo de cono Sowers con correlación con el ensayo de SPT, C-03 .....	202
Tabla 106: Análisis de datos para el ensayo de cono Sowers con correlación con el ensayo de SPT, C-04 .....	203
Tabla 107: Análisis de datos para el ensayo de cono Sowers con correlación con el ensayo de SPT, C-05 .....	204
Tabla 108: Análisis de datos para el ensayo de cono Sowers con correlación con el ensayo de SPT, C-06 .....	205
Tabla 109: Calculo del factor de seguridad (Corte A-A) .....	210
Tabla 110 : Calculo del factor de seguridad (Corte B –B).....	211
Tabla 111 : Calculo del factor de seguridad (Corte C- C).....	212
Tabla 112 : Valores de las pendientes más críticas del talud en estudio.....	215
Tabla 113 : Datos para los perfiles y el FS elegido.....	218

## Índice de figuras

Figura 1 : Mapa de ubicación de la quebrada de Sipaspucyo .....	2
Figura 2 : Quebrada Sipaspucyo .....	3
Figura 3 : Vista del talud que forma parte de un terraplén.....	13
Figura 4 : Nomenclatura de taludes.....	14
Figura 5 : Deslizamiento o movimiento en masa típico, con diversas partes .....	15
Figura 6 : Proceso de deterioro en macizos rocosos .....	16
Figura 7 : Procesos de desprendimiento de bloque por gravedad .....	17
Figura 8 : Proceso de desprendimiento de bloques rodando.....	17
Figura 9 : Volteo o inclinación de materiales residuales.....	19
Figura 10 : Esquema de un proceso de reptación.....	19
Figura 11 : Deslizamiento en suelos blando.....	20
Figura 12: Deslizamientos rotacionales .....	20
Figura 13: Deslizamiento traslacional.....	21
Figura 14 : Tipos de Flujos .....	22
Figura 15 : Curva granulométrica representada en el diagrama de Lambe.....	29
Figura 16: Representación gráfica de la ecuación de Coulomb.....	36
Figura 17 : Curvas esfuerzo corte-desplazamiento en un ensayo de Corte directo.....	40
Figura 18 : Envoltorio de falla de las resistencias pico y residual.....	41
Figura 19: Esfuerzos totales y efectivos. $\sigma'$ (efectivo) = $\sigma$ (total) - $\mu$ .....	43
Figura 20: Dirección de los esfuerzos principales en la falla de un talud.....	44
Figura 21 : Envoltorio de falla y círculo de Mohr.....	45
Figura 22: Detalle de la caja de ensayo de corte directo .....	46
Figura 23 : Características del equipo Cono Sowers – Punta cónica.....	48
Figura 24 : Resistencia a la Penetración de Cono .....	49
Figura 25: Martillo: peso de $63.5 \pm 0,5$ Kgf.....	50
Figura 26 : Cuchara toma muestras del equipo para SPT .....	51
Figura 27: Diseño de Ingeniería.....	68
Figura 28 : Inicio de la toma de puntos para el levantamiento topográfico .....	83
Figura 29 : Colocado de BM para el colocado de otro punto de referencia.....	83
Figura 30 : Toma de puntos (mosqueo).....	84
Figura 31 : Ubicación e instalación del equipo de infiltración.....	92
Figura 32 : Excavación y colocación del tubo de ensayo.....	92
Figura 33 : Colocación del tubo de ensayo y toma de datos (tiempo y altura) .....	93
Figura 34 : Pesado de los recipientes.....	98





Figura 35: Colocado y pesado de las muestras a ser ensayadas ..... 99

Figura 36 : Colocación de la muestra para el secado en horno a temperatura constante ( $110^{\circ} \pm 5^{\circ} C$ ) ..... 99

Figura 37 : Pesado de las muestras retiradas del horno..... 100

Figura 38 : Obtención de muestra y pesaje. .... 104

Figura 39 : Lavado de muestra y secado en el horno a temperatura constante ( $110^{\circ} \pm 5^{\circ} C$ ).  
..... 105

Figura 40 : Pesado del material luego del lavado..... 105

Figura 41 : Tamizada de las muestras. .... 106

Figura 42 : Pesado del material retenido en cada tamiz ..... 106

Figura 43: Ordenamiento de partículas por tamaño. .... 107

Figura 44: Obtención de muestra para el ensayo de límites de consistencia ..... 115

Figura 45: Preparación y calibración de la copa de Casagrande ..... 116

Figura 46: Colocación de la muestra en la copa Casagrande y ranurado de la misma. .... 116

Figura 47 : Muestra ranurada en la copa de Casagrande..... 117

Figura 48: Obtención de la muestra de la copa Casagrande. .... 118

Figura 49 : Pesado de las muestras para posteriormente ponerlas al horno ..... 118

Figura 50: Toma de muestra de la pasta..... 119

Figura 51: Rollitos cilíndricos de 3mm de diámetro y 5 cm de longitud. .... 119

Figura 52: Recipientes metálicos debidamente identificados, para ser colocados en el horno  
por 24 horas..... 120

Figura 53 : Muestra moldeada cuidadosamente..... 128

Figura 54 : Moldeado de muestra..... 129

Figura 55: Toma de dimensiones de la caja de corte. .... 129

Figura 56: Colocación de la muestra dentro de la caja de corte..... 130

Figura 57 : Deformimetro ajustado ..... 130

Figura 58 : Tornillos retrocedidos de la caja de corte ..... 131

Figura 59 : Peso del bloque de carga a la mitad superior de la caja de corte ..... 131

Figura 60: Fijación en cero del deformimetro horizontal y vertical..... 132

Figura 61: Toma de lecturas del deformimetro de carga..... 132

Figura 62 : Remoción de muestra de suelo. .... 133

Figura 63: Preparación de la calicata a prospectar ..... 140

Figura 64: Marcación de zona de oscultacion. .... 141

Figura 65: Ubicación del equipo del ensayo cono Sowers..... 141

Figura 66 : Deformación Horizontal ..... 188

Figura 67 : Curvas de correlación entre N de cono Sowers y N de SPT..... 197

Figura 68 : Comparación del factor de seguridad vs pendiente ..... 215

Figura 69 : Valores de infiltración para los puntos explorados..... 216



Figura 70 : Clasificación de suelos en cada calicata. .... 217

Figura 71 : Factor de seguridad vs coeficiente de uniformidad de los suelos. .... 217

Figura 72 : Factor de seguridad vs clasificación de suelos. .... 218

Figura 73 : Factor de seguridad vs pendiente. .... 227

Figura 74 : Factor de seguridad vs clasificación de suelos. .... 228

Figura 75 : Vista frontal de la zona de estudio (Quebrada de Sipaspucyo). .... 233

Figura 76 : Presencia de deslizamientos en el talud de estudio. .... 233

Figura 77: Evidencia de basura y material de desmonte arrojado al talud en estudio. .... 234

Figura 78 : Vista Panorámica de la zona de estudio. .... 235

Figura 79: Levantamiento topográfico de la zona de estudio. .... 236

Figura 80 : Vista en planta del talud en estudio. .... 236

Figura 81 : Oscultaciones realizadas C-01 ..... 237

Figura 82 : Oscultaciones realizadas C-06 ..... 237

Figura 83 : Elaboración del ensayo Granulométrico de la muestra. .... 238

Figura 84 : Tamizaje del material lavado ..... 238

Figura 85: Trituración de la muestra para realizar el ensayo de Limite Plástico. .... 239

Figura 86: Selección y posterior trituración de la muestra. .... 239

Figura 87 : Elaboración de ensayos en laboratorio. .... 240

Figura 88 : Humedecimiento de la muestra para posterior moldeo – Ensayo Corte Directo.  
..... 240

Figura 89: Elaboración de la muestra para el Ensayo de Corte Directo. .... 241

Figura 90: Moldeo de muestra para el ensayo de Corte Directo. .... 241

Figura 91 : Muestra ensayadas, Ensayo Corte Directo. .... 242

Figura 92 : Ensayo PDL, en la calicata C - 3 ..... 242

Figura 93 : Obtención de muestra, C-5 ..... 243

Figura 94 : Ubicación de la calicata C- 2 ..... 243

Figura 95 : Calicata ubicada al pie del talud. .... 244

Figura 96 : Pendiente pronunciada presente en el talud. .... 244

Figura 97 : Elaboración del ensayo Contenido de Humedad. .... 245

Figura 98 : Ensayo PDL en la calicata C -3 ..... 245

Figura 99: Difícil acceso para la elaboración de las ocultaciones. .... 246

Figura 100 : Elaboración del ensayo PDL con cono Sowers en la calicata C – 2. .... 246

Figura 101 : Vista de la vía aledaña a la zona de estudio (Vía Cusco - Abancay) ..... 247

Figura 102: Elaboración del ensayo PDL en la calicata C - 5. .... 247



# **CAPITULO I**

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

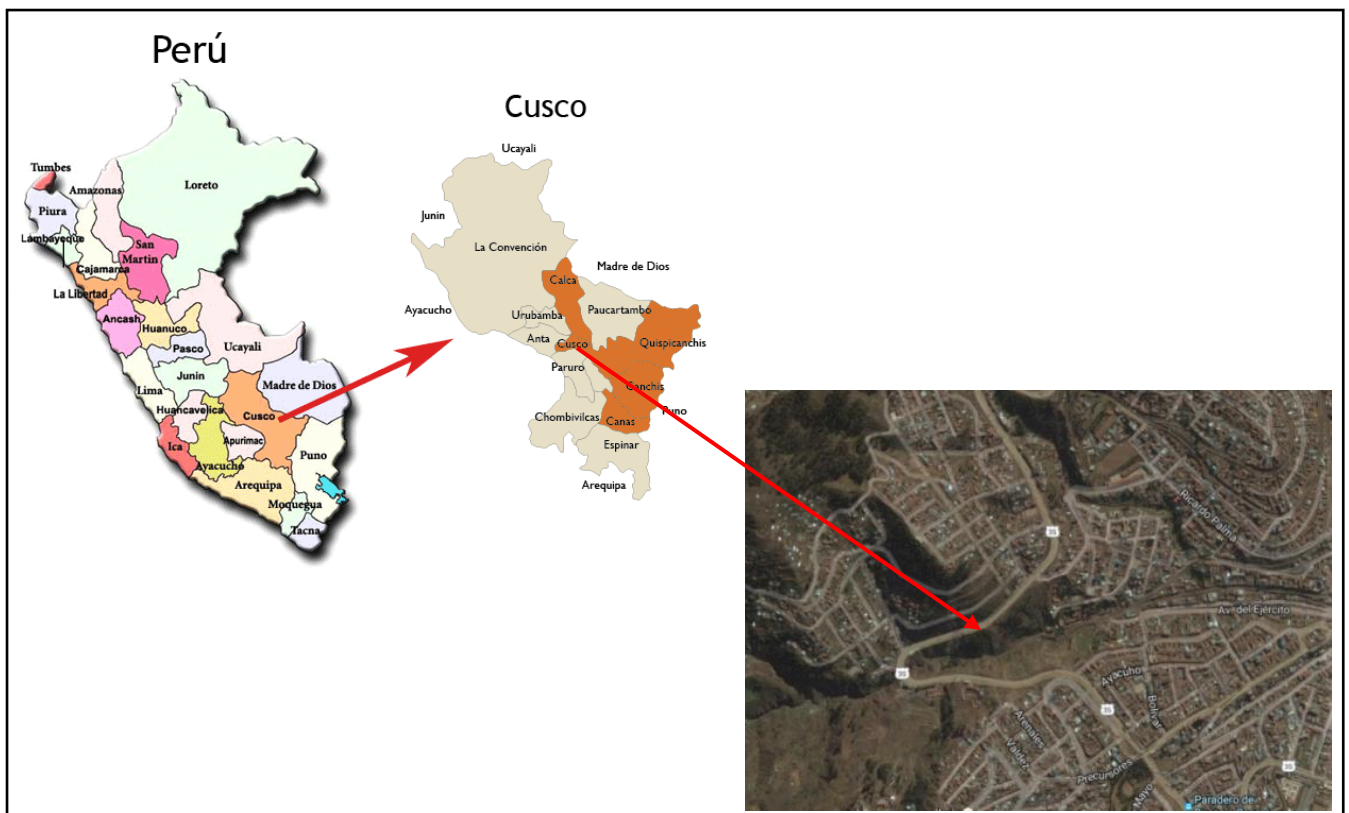
## 1 CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

### 1.1 Identificación del problema.

#### 1.1.1 Descripción del problema.

En la actualidad uno de los aspectos críticos, que incide sobre el comportamiento de la estabilidad de taludes es la presencia de deslizamientos, es así que en la ciudad del Cusco se tiene muchos antecedentes de deslizamientos en las zonas con presencia de taludes ubicadas por los sectores de la vía Cusco-Abancay.

El paso de vehículos es peligroso, debido al colapso continuo de la parte baja de la carpeta de rodadura existente en el sector de investigación (Quebrada de Sipaspucyco), ya que la topografía, infiltración y propiedades mecánicas de los suelos, al parecer influyen en el deslizamiento del talud inferior de la vía quitándole el soporte al muro ocasionando su volcamiento.



**Figura 1 : Mapa de ubicación de la quebrada de Sipaspucyco**  
**Fuente: Elaboración Propia Google Earth**



**Figura 2 : Quebrada Sipaspucyo**

**Fuente: Elaboración propia**

**Tabla 1 Ubicación Geográfica**

Descripción	Coordenadas
Norte	8'503,000 – 8'503,120
Este	175,640 – 175,680
Altitud	3484 m.s.n.m

**Fuente: Elaboración propia – Levantamiento topográfico**

### 1.1.2 Formulación interrogativa del problema.

- **Formulación interrogativa del problema general.**

¿Cómo influirá la evaluación del factor de seguridad del Talud correspondiente a la quebrada de Sipaspucyo, en función a la topografía, estudios de infiltración y propiedades mecánicas de los suelos?

- **Formulación interrogativa de los problemas específicos.**

**Problema específico N° 1:** ¿Con respecto a que parámetro influirá la topografía en la evaluación del factor de seguridad del talud correspondiente a la quebrada de Sipaspucyo?



**Problema específico N° 2:** ¿Afectaran los resultados de los estudios de infiltración en la evaluación del factor de seguridad del talud correspondiente a la quebrada de Sipaspucyo

**Problema específico N° 3:** ¿Cómo influirán las propiedades mecánicas de suelos en la evaluación del factor de seguridad del talud correspondiente a la quebrada de Sipaspucyo?

**Problema específico N° 4:** ¿Modificando la topografía del talud correspondiente a la Quebrada de Sipaspucyo mejorara el factor de seguridad?

## **1.2 Justificación e importancia de la investigación.**

### **1.2.1 Justificación técnica.**

El estudio que se realiza para este sector pretende brindar seguridad en la vía (Cusco – Abancay), además de ser un reto de ingeniería lograr estabilizar el talud del sector de investigación.

La zona de estudio presenta una pendiente muy inclinada con ángulos de inclinación entre  $38^\circ$  y  $48^\circ$ , es así que actualmente se viene deslizando con mayor intensidad, generando peligro latente para los pobladores de la zona como para los usuarios de la vía.

Justamente el fin de la investigación es realizar evaluar el factor de seguridad del talud recolectando datos in situ para determinar los agentes que son la infiltración, la propiedades mecánicas de los suelos y la topografía del sector que influyen en la inestabilidad del mismo.

### **1.2.2 Justificación social.**

En primera instancia con la presente investigación se incrementa a los conocimientos de los estudiantes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Andina del Cusco.

El método a emplearse en la estabilización del talud ayudara a mejorar la calidad de vida de los pobladores que se encuentran en constante riesgo por la falta de asistencia en la zona, por la inaccesibilidad que se genera y además que son los más beneficiados con la propuesta que





se hará en este estudio, pretendiendo así disminuir el riesgo de colapso del talud determinando el factor de seguridad en los diferentes cortes y además de incrementando los factores de seguridad con la propuesta de solución que son los gaviones para su estabilización.

### 1.2.3 Justificación por viabilidad.

La presente investigación es llevada a cabo teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

**Acceso a información:** Nos enfocamos en parámetros tales como topografía, estudios de infiltración y estudios de mecánica de suelos; Tales parámetros se encuentran estipulados en textos, lo cual se contrasta con los datos obtenidos en campo.

**Ensayos:** Los ensayos de laboratorio que se necesita para poder realizar la investigación son factibles en cualquier laboratorio de nuestra ciudad.

**Acceso al sector:** La accesibilidad al sector de investigación, así como el ingreso al talud es accidentada aun así factible, por la cercanía a la vía principal, además que no es ocupado por ningún poblador y se tiene zonas arbóreas en la quebrada que dan apoyo para seleccionar los puntos de descanso que se necesita.

**Economía:** Los estudios, ensayos y equipos requeridos se encuentran al alcance del presupuesto realizado antes de realizar la investigación.

### 1.2.4 Justificación por relevancia.

La obtención de resultados en la investigación permite tener una mejor visión de los parámetros más influyentes en el talud de estudio, al tener estos datos se puede verificar si lo propuesto como solución es la más adecuada.

Al tener los resultados de la investigación estos se pueden consensuar con las entidades pertinentes para ponerlos en práctica y ejecutar un proyecto cuyo fin principal es mitigar los riesgos que en la actualidad incrementan día a día.



### 1.3 Limitaciones de la investigación.

En la zona de estudio se tiene mucho a considerar la topografía por lo cual nos basaremos en un solo sector de la quebrada (superficie de falla) realizando el levantamiento topográfico con estación total.

Los estudios de infiltración se realizara mediante del ensayo en campo de Porchet.

Las propiedades mecánicas de los suelos se realizaran los ensayos granulométricos por tamizado, el ensayo para los límites de consistencia y clasificación de suelos por el método de SUCS en la copa de Casagrande, el ensayo con la máquina de corte directo residual y el ensayo de cono Sowers (ASTM STP 399). Por lo que los cálculos están limitados por los métodos y exploración y ensayos descritos en el capítulo III.

La evaluación del factor de seguridad será calculada por el método de Bishop Simplificado.

El estudio de estabilización no está considerado dentro del objetivo de la investigación.

### 1.4 Objetivo de la investigación.

#### 1.4.1 Objetivo general.

Evaluar el factor de seguridad del talud correspondiente a la quebrada de Sipaspucyo, en función a la topografía, estudios de infiltración y propiedades mecánicas de los suelos.

#### 1.4.2 Objetivos específicos.

- **Objetivo específico N° 1:** Determinar el parámetro con que influye la topografía para la evaluación del factor de seguridad del talud correspondiente a la quebrada de Sipaspucyo.
- **Objetivo específico N° 2:** Obtener los resultados de los estudios de infiltración para determinar si afectarían en la evaluación del factor de seguridad del talud correspondiente a la quebrada de Sipaspucyo.





- **Objetivo específico N° 3:** Verificar si las propiedades mecánicas de los suelos influirán en la evaluación del factor de seguridad del talud correspondiente a la quebrada de Sipaspucyo.
- **Objetivo específico N° 4:** Determinar si modificando la topografía del talud correspondiente a la quebrada de Sipaspucyo mejorara el factor de seguridad.



## **CAPITULO II**

# **MARCO TEÓRICO**



## 2 CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1 Antecedentes de la tesis.

#### 2.1.1 Antecedentes a nivel nacional

##### Antecedente N° 01

**Tesis de pre grado, título:** Evaluación de terrenos inestables en el sector Picchu - Sipaspucyo

**Autor:** Zunilda Verbeño Estrada, Juan Carlos Bravo Gudiel y Luis Castro Prieto Farfan para la obtención del título profesional de Ingeniero Civil en la Universidad Nacional San Antonio Abad Del Cusco el año 1999.

**Resumen:** La investigación se basa en hacer uso del proyecto DUTI (Detección y Utilización de terrenos inestables) usando sus modelos y procedimientos en los cuales se realizan estudios topográficos, geológico, hidrológico, sismicidad y estudios complementarios de interés como son el análisis de estabilidad de taludes y el análisis de vulnerabilidad en los diversos elementos de la zona de estudio, estos estudios preliminares ayudaron en la investigación para poder presentar una carta de alerta con respecto a los fenómenos de inestabilidad de terrenos y también una carta de gestión donde se muestra una lista de los sectores inestables.

**Aporte de la investigación:** Ayudo con los análisis de estabilidad para deslizamiento identificados pero no con respecto a nuestra zona de estudio sino en partes aledañas a nuestro sector de deslizamiento.

Según el análisis de vulnerabilidad recomienda la zonificación y habilitación urbana de los terrenos inestables en las zonas aledañas a la quebrada de Sipaspucyo el cual en comparación según los años de estudio el riesgo incremento debido al incremento poblacional en el sector.

Se analizó los diferentes métodos para poder calcular el agrietamiento o desplazamiento de los deslizamientos graduales que se tiene en la zona de acuerdo a un punto de referencia que



aplicables a nuestro sector de estudio determinaría mayor tiempo de estudio por lo que lo analizamos pero sería para un periodo de estudio más largo.

### **Antecedente N° 02**

**Tesis de pre grado, título:** Estabilización del talud de la Costa Verde en la zona del Distrito de Barranco

**Autor:** Alan Raúl Granados López para la obtención del título profesional de Ingeniero Civil en la Universidad Pontificia Católica del Perú el año 2006.

**Resumen:** Esta tesis se basa en la estabilidad de taludes de la Costa Verde que es un conocido circuito de playas y autopista de dos carriles que permite el paso rápido ( $V_{prom}=60$  km/h) de vehículos en dirección norte – sur, evitando pasar durante horas punta del tráfico directamente por la ciudad de Lima.

Esta tesis demuestra que el tramo en estudio fallaría en condiciones sísmicas importantes (aceleraciones de suelo mayores a  $0.27g$ ), poniendo en grave peligro vidas humanas y propiedades privadas que recientemente están siendo construidas a 20m del pie del talud.

La propuesta corresponde a un movimiento masivo de tierras (reducción de la pendiente y por lo tanto aumento del Factor de Seguridad) para la estabilidad global y posteriormente la utilización de Geomallas y Geomantos que ayudarán a la vegetalización de la zona mediante la siembra de césped en semilla sobre una capa de suelo vegetal que será colocado sobre el conglomerado.

**Aporte de la investigación:** Se analizó como trabajaba la estabilización de taludes por el modelamiento del software Geo Slope en el cual se tomaron en cuenta las cargas aplicadas encima del talud que son edificaciones y se verifico los factores de seguridad y las posibles líneas de falla según el ángulo de corte. Analisis que fue de gran ayuda para poder



considerarlo en nuestra tesis, en especial el método que se usó para estabilizar, que fue el uso de geomallas reforzadas que solo mejoraron en este caso el desprendimiento de material rocoso que es causado por el intemperismo y las condiciones sísmicas que sucede en la zona en diferentes suceso que podría ocurrir anualmente. Cabe indicar que este método de estabilización no es compatible con el talud en estudio por las características topográficas (pendiente pronunciada).

### **Antecedente N° 03**

**Tesis de pre grado, título:** Análisis comparativo de la estabilización de taludes mediante el uso de muros anclados y calzaduras en la construcción de edificaciones.

**Autor:** Gustavo Adolfo Cabellos Gavidia para la obtención del título profesional de Ingeniero Civil en la Universidad Pontificia Católica del Perú el año 2012.

**Resumen:** El estudio parte haciendo una breve introducción en donde se describe la normativa vigente y se presentan las obras en estudio. Estas obras cuentan con dos y tres sótanos y medio respectivamente, con la idea de identificar a partir de cuántos sótanos resulta económicamente conveniente utilizar muros anclados. Como parte del estudio se hizo un análisis de seguridad, evaluando los principales peligros involucrados en cada procedimiento, en este caso se obtuvieron resultados similares ya que en ambos casos se tiene actividades como excavación masiva y perfilada que se consideran actividades de alto riesgo.

**Aporte de la investigación:** La presente tesis de investigación presenta un análisis de vulnerabilidad con un diagrama IPER (Identificación de Peligros y Evaluación de Riesgos) para medir el riesgo estabilizando taludes por el método de muros anclados y el de calzaduras.

La presente investigación nos ayuda a considerar la manera de comprobar los diferentes métodos de estabilización haciendo un análisis de vulnerabilidad del talud con un diagrama



IPER y ver cuál es la mejor alternativa de solución para poder estabilizar el talud en estudio comparando los riesgos y el análisis de costos.

### 2.1.2 Antecedentes a nivel internacional.

**Tesis de pre grado, título:** Evaluación de efectos de sumersión en la estabilidad de taludes

**Autor:** Xiangyue Li, Luis Emilio Rendón Díaz-Mirón, Joselina Espinoza-Ayala ingenieros geotecnistas pertenecientes a Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

**Resumen:** Se presenta un estudio numérico sobre efectos de sumersión que afectan la estabilidad de taludes. La sumersión es una condición hidráulica en la que coinciden los niveles de agua dentro y fuera del cuerpo del talud. En los casos estudiados, los factores de seguridad varían con el nivel de sumersión. Este fenómeno se observa aun cuando los taludes están formados por materiales granulares que obedecen a la ley de Mohr-Coulomb lineal. El análisis numérico permite revelar las causas de dicho efecto. Los factores de seguridad alcanzan su valor máximo en los taludes totalmente sumergidos, sean estos cohesivos o granulares. Los factores de seguridad mínimos no se observan en la sumersión nula sino en una elevación intermedia.

**Aporte de la investigación:** La investigación nos aporta un análisis de los factores de seguridad y como varían a distintos niveles de sumersión, además considera el análisis para estabilización de taludes con materiales cohesivos y finos compactados. Nos ayudó a saber cómo varían los factores de seguridad en suelos cohesivos friccionantes y en taludes granulares con diferentes ángulos de inclinación del talud.

## 2.2 Aspectos teóricos pertinentes.

### 2.2.1 Talud.

Se entiende por talud a cualquier superficie inclinada respecto de la horizontal que hayan de adoptar permanentemente las estructuras de tierra. No hay duda que el talud constituye una estructura compleja de analizar debido a que en su estudio coinciden los problemas de mecánica de suelos y de mecánica de rocas, sin olvidar el papel básico que la geología aplicada desempeña en la formulación de cualquier criterio aceptable. (Matteis, Agosto 2003, pág. 3)

Un talud es cualquier superficie inclinada con respecto a la horizontal adoptando esa posición de forma temporal o permanente y con estructura de suelo o de roca. (Pinto, 2015, pág. 10)

Cualquier superficie inclinada respecto a la horizontal que haya adoptado una estructura de suelo. (Angelone, 2010, pág. 3)

Es una masa de tierra que no es plana, sino que representa una pendiente o cambios significativos de altura. Según la literatura técnica se define como ladera cuando su conformación actual tuvo origen a un proceso natural y se define a talud cuando se conformó de manera artificial. (Díaz, Julio 1998, pág. 3)



**Figura 3 : Vista del talud que forma parte de un terraplén**

**Fuente: Suarez Díaz, 1988**

En el talud se definen los siguientes elementos constitutivos:

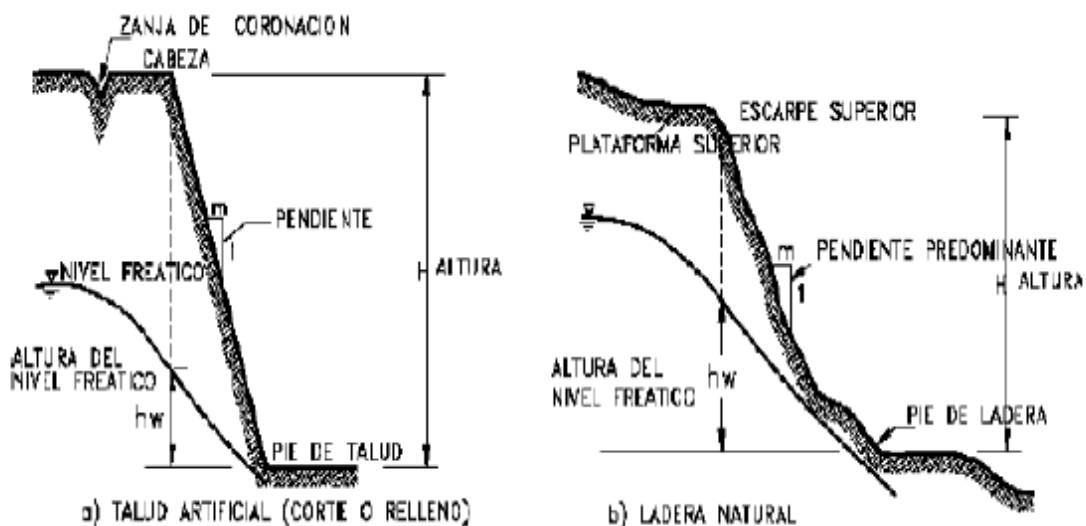
**Altura:** Es la distancia vertical entre el pie y la cabeza, la cual se presenta claramente definida en taludes artificiales, pero es complicada de cuantificar en las laderas debido a que el pie y la cabeza no son accidentes topográficos bien marcados.

**Pie:** Corresponde al sitio de cambio brusco de pendiente en la parte inferior.

**Cabeza o escarpe:** Se refiere al sitio de cambio brusco de pendiente en la parte superior.

**Altura de nivel freático:** Distancia vertical desde el pie del talud o ladera hasta el nivel de agua medida debajo de la cabeza.

**Pendiente:** Es la medida de la inclinación del talud. Puede medirse en grados, en porcentaje o en relación  $m/1$ , en la cual  $m$  es la distancia horizontal que corresponde a una unidad de distancia vertical. Ejemplo: Pendiente:  $45^\circ$ , 100%, o 1H: 1V.



**Figura 4 : Nomenclatura de taludes**

**Fuente: Suarez Díaz, 1988**

### A. Tipos de taludes

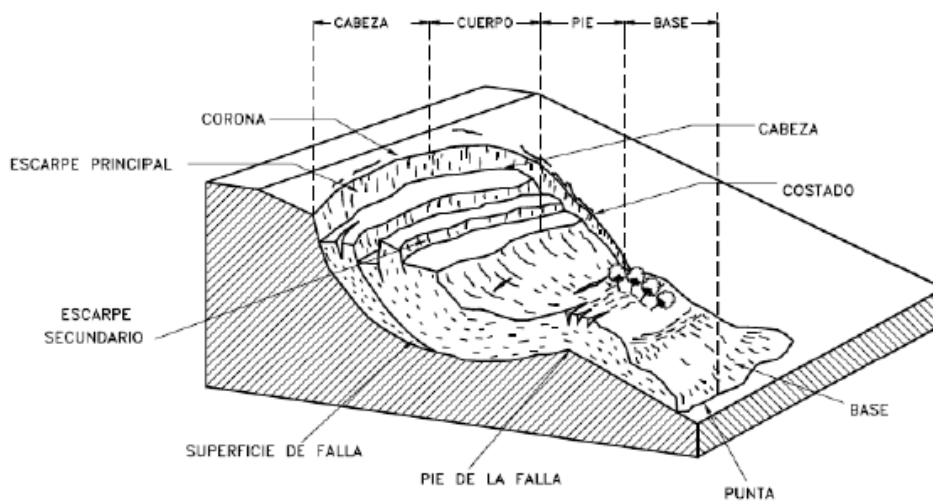
- Naturales: Son formados por la naturaleza a través de la historia geológica.
- Artificiales: Necesitan de la intervención del hombre y son ejecutados para construir: carreteras, represas ferrocarriles, etc. “taludes, cortes, terraplenes. Cuando se va a



construir taludes en presas de enrocamiento o de tierra, es de gran cuidado el diseño de talud, ya que si la represa falla se las poblaciones aguas abajo. (Das, 2003)

### B. Nomenclatura de los procesos en movimiento:

Los procesos geotécnicos activos de los taludes y laderas corresponden generalmente, a movimientos hacia abajo y hacia afuera de los materiales que conforman un talud de roca, suelo natural o relleno, o una combinación de ellos. Los movimientos ocurren generalmente, a lo largo de superficies de falla, por caída libre, movimientos de masa, erosión o flujos. (Das, 2003)



**Figura 5 : Deslizamiento o movimiento en masa típico, con diversas partes**

**Fuente: Braja M. Das, 2003**

### C. Etapas de los procesos de falla.

La clasificación de deslizamientos pretende describir e identificar los cuerpos que están en movimiento relativo. Las clasificaciones existentes son esencialmente geomorfológicas y solamente algunas de ellas introducen consideraciones mecánicas o propiamente geológicas.

Se consideran cuatro etapas diferentes en la clasificación de los movimientos:

- a. Etapa de deterioro o antes de la falla donde el suelo está intacto.

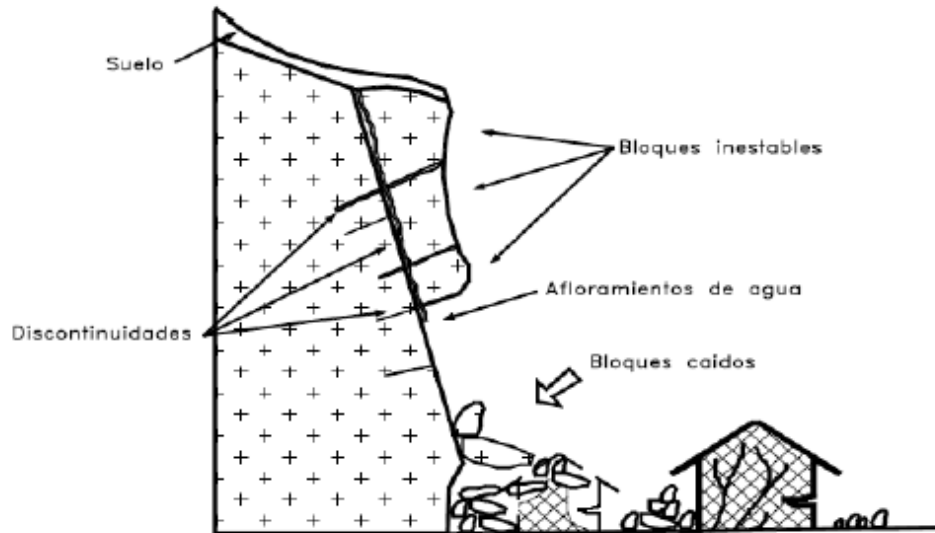
- b. Etapa de falla caracterizada por la formación de una superficie de falla o el movimiento de una masa importante de material.
- c. La etapa post-falla que incluye los movimientos de la masa involucrada en un deslizamiento desde el momento de la falla y hasta el preciso instante en el cual se detiene totalmente.
- d. La etapa de posible reactivación en la cual pueden ocurrir movimientos que pueden considerarse como una nueva falla, e incluye las tres etapas anteriores (Díaz, Julio 1998)



*Figura 6 : Proceso de deterioro en macizos rocosos*  
*Fuente: Suarez Díaz, 1988*

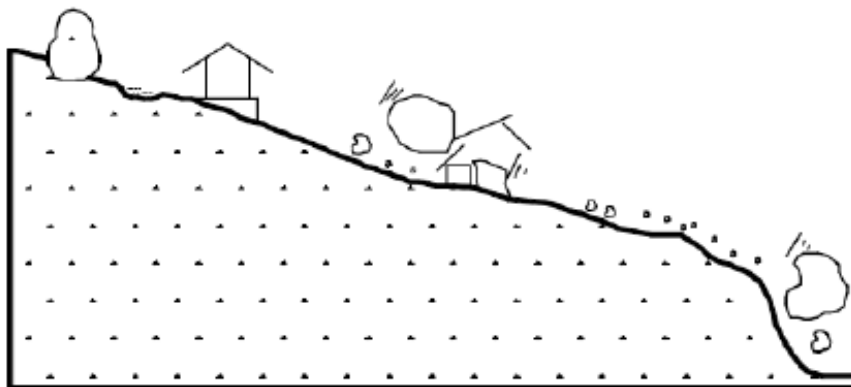
#### **D. Tipos de movimientos de masas en el talud.**

**Desprendimientos:** En los desprendimientos de una masa de cualquier tamaño se desprende de un talud de pendiente fuerte, a lo largo de una superficie, en la cual ocurre ningún o muy poco desplazamiento de corte y desciende principalmente, a través del aire por caída libre, a saltos o rodando. (Figuras 7 y 8). (Díaz, Julio 1998)



**Figura 7 : Procesos de desprendimiento de bloque por gravedad**

*Fuente: Suarez Díaz, 1988*



**Figura 8 : Proceso de desprendimiento de bloques rodando.**

*Fuente: Suarez Díaz, 1988*

El movimiento es muy rápido y extremadamente rápido y puede o no, ser precedido de movimientos menores que conduzcan a la separación progresiva o inclinación del bloque o masa de material.

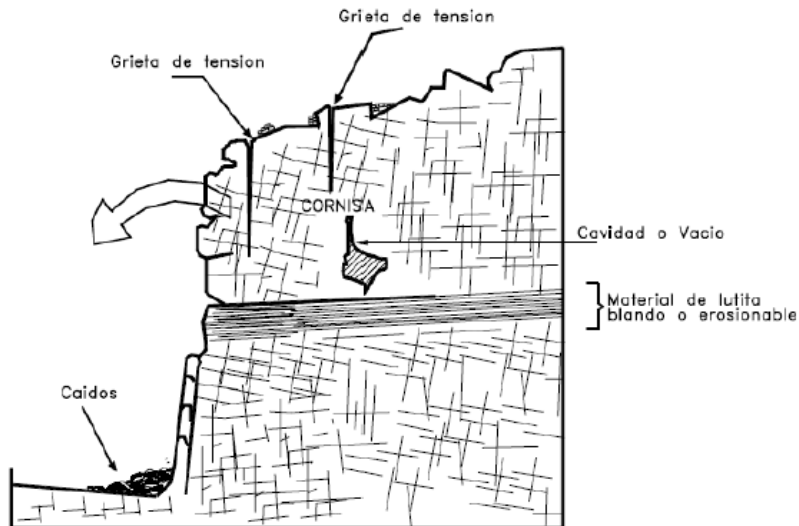


La observación muestra que los movimientos tienden a comportarse como caídos de caída libre cuando la pendiente superficial es de más de 75 grados; En taludes de ángulo menor generalmente, los materiales rebotan y en los taludes de menos de 45 grados los materiales tienden a rodar. Los “caídos de roca” corresponden a bloques de roca relativamente sana, los caídos de residuos o detritos están compuestos por fragmentos de materiales pétreos y los caídos de tierra corresponden a materiales compuestos de partículas pequeñas de suelo o masas blandas.

**Vuelcos:** Este tipo de movimiento consiste en una rotación hacia adelante de una unidad o unidades de material térreo con centro de giro por debajo del centro de gravedad de la unidad y generalmente, ocurren en las formaciones rocosas (Ilustración 8).

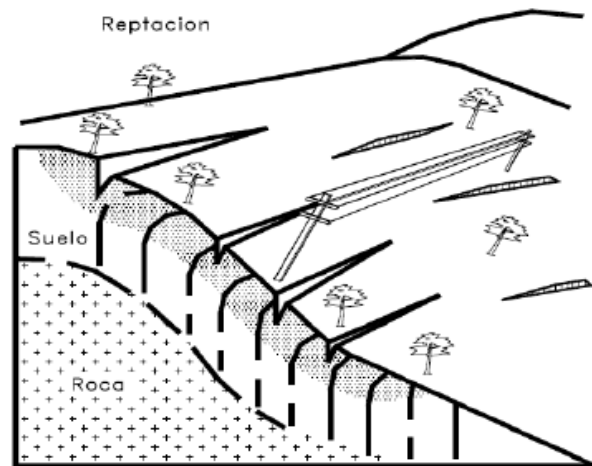
Las fuerzas que lo producen son generadas por las unidades adyacentes, el agua en las grietas o juntas, expansiones y los movimientos sísmicos. La inclinación puede abarcar zonas muy pequeñas o incluir volúmenes de varios millones de metros cúbicos. (Díaz, Julio 1998)

**Reptación:** La reptación consiste en movimientos muy lentos a extremadamente lentos del suelo sub superficial sin una superficie de falla definida. Generalmente, el movimiento es de unos pocos centímetros al año y afecta a grandes áreas de terreno (Figura 9). Se le atribuye a las alteraciones climáticas relacionadas con los procesos de humedecimiento y secado en suelos, usualmente, muy blandos o alterados. La reptación puede preceder a movimientos más rápidos como los flujos o deslizamientos. (Díaz, Julio 1998)



**Figura 9 : Volteo o inclinación de materiales residuales**

*Fuente: Suarez Díaz, 1988*

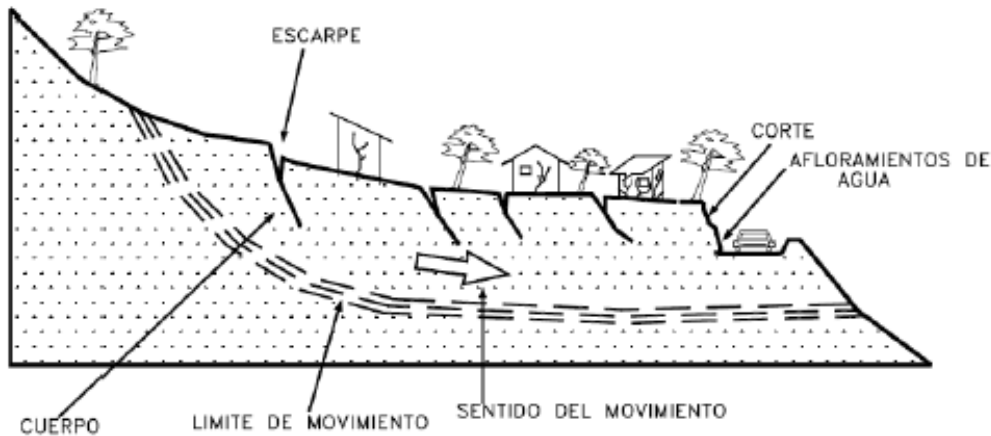


**Figura 10 : Esquema de un proceso de reptación**

*Fuente: Suarez Díaz, 1988*

**Deslizamientos:** Son movimientos que se producen al superarse la resistencia al corte del material y tienen lugar a lo largo de una o varias superficies o a través de una franja relativamente estrecha del material. (Figura 9) Generalmente las superficies de deslizamiento

son visibles o pueden deducirse en forma razonable. El movimiento puede ser progresivo, o sea, que no se inicia simultáneamente a lo largo de toda, la que sería, la superficie de falla.

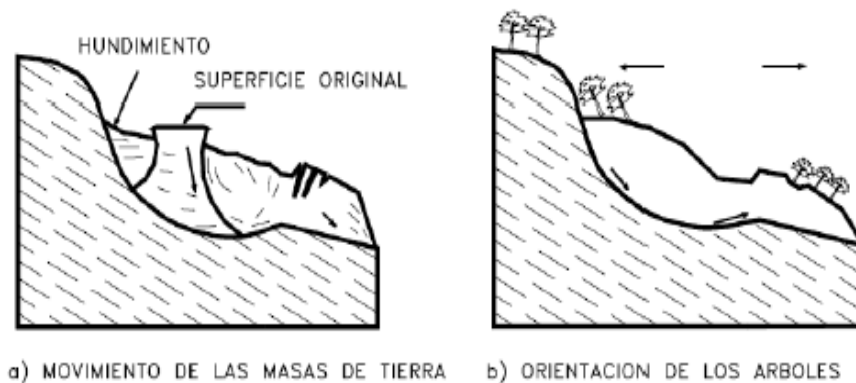


**Figura 11 : Deslizamiento en suelos blandos**

**Fuente: Suarez Díaz, 1988**

Los deslizamientos pueden obedecer a procesos naturales o a desestabilización de masas de tierra por el efecto de cortes, rellenos, deforestación, etc. (Diaz, Julio 1998)

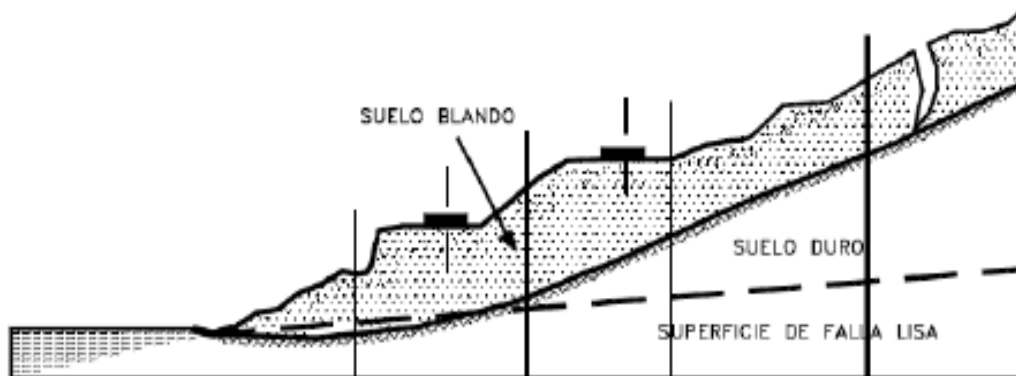
**Deslizamientos rotacionales:** Tienen lugar a lo largo de una superficie de deslizamiento interna, de forma aproximadamente circular o cóncava. El movimiento tiene una naturaleza más o menos rotacional alrededor de un eje dispuesto en forma paralela al talud.



**Figura 12: Deslizamientos rotacionales**

**Fuente: Suarez Díaz, 1988**

**Deslizamientos traslacionales:** en el deslizamiento de traslación el movimiento de la masa se desplaza hacia fuera o hacia abajo, a lo largo de una superficie más o menos plana o ligeramente ondulada y tiene muy poco o nada de movimiento de rotación o volteo (Figura 12). La diferencia importante entre los movimientos de rotación y traslación está principalmente, en la aplicabilidad o no de los diversos sistemas de estabilización.

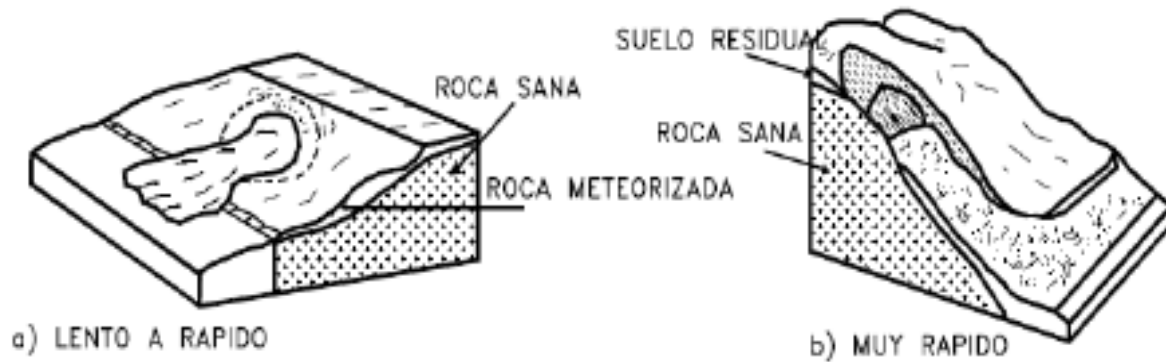


**Figura 13: Deslizamiento traslacional.**

*Fuente: Suarez Díaz, 1988*

Sin embargo, un movimiento de rotación trata de auto estabilizarse, mientras uno de traslación puede progresar indefinidamente a lo largo de la ladera hacia abajo.

**Flujo:** En un flujo existen movimientos relativos de las partículas o bloques pequeños dentro de una masa que se mueve o desliza sobre una superficie de falla. Los flujos pueden ser lentos o rápidos (Figura 14), así como secos o húmedos y los puede haber de roca, de residuos o de suelo o tierra.



**Figura 14 : Tipos de Flujos**

**Fuente: Suarez Díaz, 1988**

### 2.2.2 Topografía.

El objeto de estudio de la topografía se da en la cantidad suficiente de puntos de control tanto horizontal y vertical que permita elaborar el plano topográfico de una zona de estudio.

#### A. Definición de topografía.

“Es la ciencia que determina las dimensiones y el contorno de la superficie de la tierra a través de la medición de distancias, direcciones y elevaciones” (Marccormac, 2003).

“La topografía tiene por finalidad determinar el contorno, dimensiones y posición relativa de una porción limitada de superficie terrestre, sin tener en cuenta la curvatura terrestre.”

(Espartel, 1980)

La topografía se encarga de estudiar todo el conjunto de procedimientos para determinar así las posiciones de puntos sobre toda la superficie de la tierra por medio de ángulos y demás elementos, a estos procedimientos se llaman comúnmente levantamientos los cuales dan origen al plano que es la representación de la superficie estudiada, la topografía se divide en tres componentes básicos:

**La planimetría**, que se encarga de representar gráficamente una porción de terreno sin tomar en cuenta las diferencias de las cotas.





**La altimetria**, que se encarga de representar graficamente las diferencias de niveles del terreno.

**La topografia integral** (combinacion de planimetria y altimetria) que esta encargada de representar graficamente una porcion de terreno en funcio a las dos divisiones anteriormente ya mencionadas.

“Es una rama de la ingenieria que se propone determinar la relacion relativa de los puntos, mediante la recopilacion y procesamientos de las informaciones de las partes fisicas del Geoide. La topografia se encarga de realizar mediciones en una porcion de tierra relativamente pequena. Las informaciones se obtienen de instrumentos especializados en cartografia y/o a traves de las mediciones realizadas sobre el terreno de levantamiento, completando esta informacion con la aplicaci3n de elementales procedimientos matematicos”.

(Dueñas, 2010)

### **B. Levantamiento topografico.**

“El metodo mas comun para la representacion de la topografia de un area determinada es usar las curvas de nivel. Una curva de nivel es una linea imaginaria que conecta puntos de igual elevacion.” (Marccormac, 2003)

Los levantamientos topograficos son medidas que efectuamos en el terreno de estudio con el fin de obtener los datos necesarios para hacer la representacion grafica del terreno en mencion.

“Los levantamientos topograficos producen mapas y planos de accidentes naturales y hechos por el hombre. No existe una diferencia clara entre mapa y plano, pero en general se acepta que en un plano los detalles quedan dibujados a escala exacta, mientras que en un mapa muchas caracteristicas se deben representar por simbolos a escala pequena.” (Bannister, 2008).



### **C. Etapas del levantamiento topografico.**

- Reconocimiento del terreno y el plan del trabajo.
- El trabajo de campo.
- Trabajo de gabinete.

### **D. Equipos para levantamientos topograficos.**

Hoy en dia existen diferentes instrumentos y equipos para poder realizar los levantamientos topograficos, sin embargo no todos cuenta con la misma precision y es por eso que se menciona alguno de ellos:

- La wincha o cinta metrica.
- El teodolito.
- La estacion total.
- El GPS Diferencial.

La estacion total es un equipo que integra todas las funciones realizadas por un teodolito y un medidor electronico de distancias y los microprocesa para realizar los calculos necesarios para la determinacion de las coordenadas rectangulares de los puntos del terreno.

“Estacion total se menciona a la obtencion de promedios de mediciones multiples angulares y de distancias por constantes de prisma, presion atmosferica y temperatura, correcciones por curvatura y refraccion terrestre, reduccion de la distancia inclinada a sus componentes horizontal y vertical asi como el calculo de las coordenadas de los puntos elevados.”

(Marccormac, 2003)

## **2.2.3 Estudios de infiltración**

### **A. Precipitación.**

Las precipitaciones se producen gracias al vapor de agua originado por la evaporación del agua de océanos, ríos, mares, plantas y diversos seres vivos.



El vapor de agua se enfría, condensándose y tomando forma líquida. De esta manera se forman las nubes, que finalmente son los agentes que provocan las precipitaciones. ...“toda forma de humedad que originándose en las nubes, llega hasta la superficie terrestre de acuerdo con esta definición, las lluvias, las granizadas, las garuas y las nevadas son formas distintas del mismo fenómeno de precipitación.” (Moran, 2010)

### **B. Coeficiente de permeabilidad.**

El coeficiente de permeabilidad es una constante de proporcionalidad relacionada con la facilidad de movimiento de un flujo a través de un medio poroso. Existen dos métodos generales de laboratorio para determinar directamente el coeficiente de permeabilidad de un suelo. Estos son los llamados método de la cabeza constante y el método de la cabeza variable. Ambos métodos se basan en el uso de la ley de Darcy. (Bowles J. L., 1981)

Existen varios métodos para determinar el coeficiente de permeabilidad que se mencionan a continuación.

#### **a) Métodos de laboratorio.**

- Permeámetro de carga constante.
- A partir del ensayo endométrico o de consolidación.
- A partir del ensayo de consolidación isotrópica en equipo triaxial.

#### **b) Métodos de campo.**

- Ensayo de nivel variable o método Porchet.
- Métodos indirectos o de correlaciones.
- A partir de la granulometría.

**Ensayos de nivel variable o método Porchet.**

Este método, consiste en un agujero cilíndrico, excavado en tierra, de radio y profundidad constante, en el cuales se mide el descenso del nivel del agua dentro del pozo a través del tiempo.” (Saez, 2003)

Las formulas para el calculo de la superficie por la cual el agua se infiltra es la siguiente:

$$S = \pi * R(2H + R) \text{ (Lagos, 2012)}$$

Y para calcular el coeficiente de permeabilidad se usa la siguiente expresión:

$$f = \frac{R}{2(T_2 - T_1)} - \ln\left(\frac{2H_1 + R}{2H_2 + R}\right) \text{ (Lagos, 2012)}$$

Donde:

- ✓ R: radio del orificio excavado en el suelo.
- ✓ H: altura del agua en el orificio.
- ✓ T<sub>1</sub> y T<sub>2</sub>: tiempos de los registros de H<sub>1</sub> y H<sub>2</sub> respectivamente.

Para proceder con el ensayo previamente se limpia con una pala la vegetación de la superficie, en el lugar donde se realizara el orificio para el ensayo, teniendo la precaución de no alterar la estructura del suelo. A continuación, se procede a excavar el orificio en el suelo con unos diámetros y una altura constante.

Una vez realizado el orificio en el suelo se procede a echar el agua en el suelo y tomar datos como son tiempos inicial y altura inicial, para luego proceder con la misma recolección de pare de datos (T<sub>n</sub>;H<sub>n</sub>). (Lagos, 2012)

Los ensayos se pueden realizar de tres formas distintas el primero es para el cálculo del coeficiente de infiltración horizontal, esto se logra impermeabilizando las bases del orificio para que el agua se infiltre por las paredes; el segundo es para el cálculo del coeficiente de infiltración vertical, esto se logra impermeabilizando las paredes del orificio de esta forma el agua se infiltra por el fondo del orificio y la ultima es para el cálculo del coeficiente de permeabilidad global que fue el que se usa en la investigación.



## 2.2.4 Propiedades físico mecánica de los suelos

### A. Análisis granulométrico por tamizado.

Es 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 74 mm (N° 200).

Un analisis granulometrico es la clasificacion de los suelos para usos de ingenieria y se toma de manera universal y que ademas uno de los criterios de aceptabilidad de suelos para cualquier tipo de obra de construccion sobre el suelo es la granulometria. (Bowles J. L., 1981)

Los procesos de tamizado no provee informacion de sobre la forma de los granos de suelo ya sean redondeados o angulares ya que solo da informacion de los granos que pasaron la malla.

Según la guía para el procedimiento de tamizado para el análisis granulométrico se pueden tomar como mallas la 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). Como también 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 mm (N° 30), 300 mm (N° 50),150 mm (N° 100), 75 mm (N° 200). (MTC, 2000)

La informacion obtenida del analisis granulometrico es presentada en un cuadro de representacion logaritmica para los tamaños de particulas, en donde el porcentaje que pasa tambien considerado como el porcentaje de mas finos es conciderada como la ordenada en la escala natural.



Una vez realizado la curva de distribución se conoce los diámetros característicos tales como D10, D85, D60, etc. La letra “D” corresponde al tamaño de grano o diámetro aparente, y el sub índice al porcentaje del material más fino. (MTC, 2000)

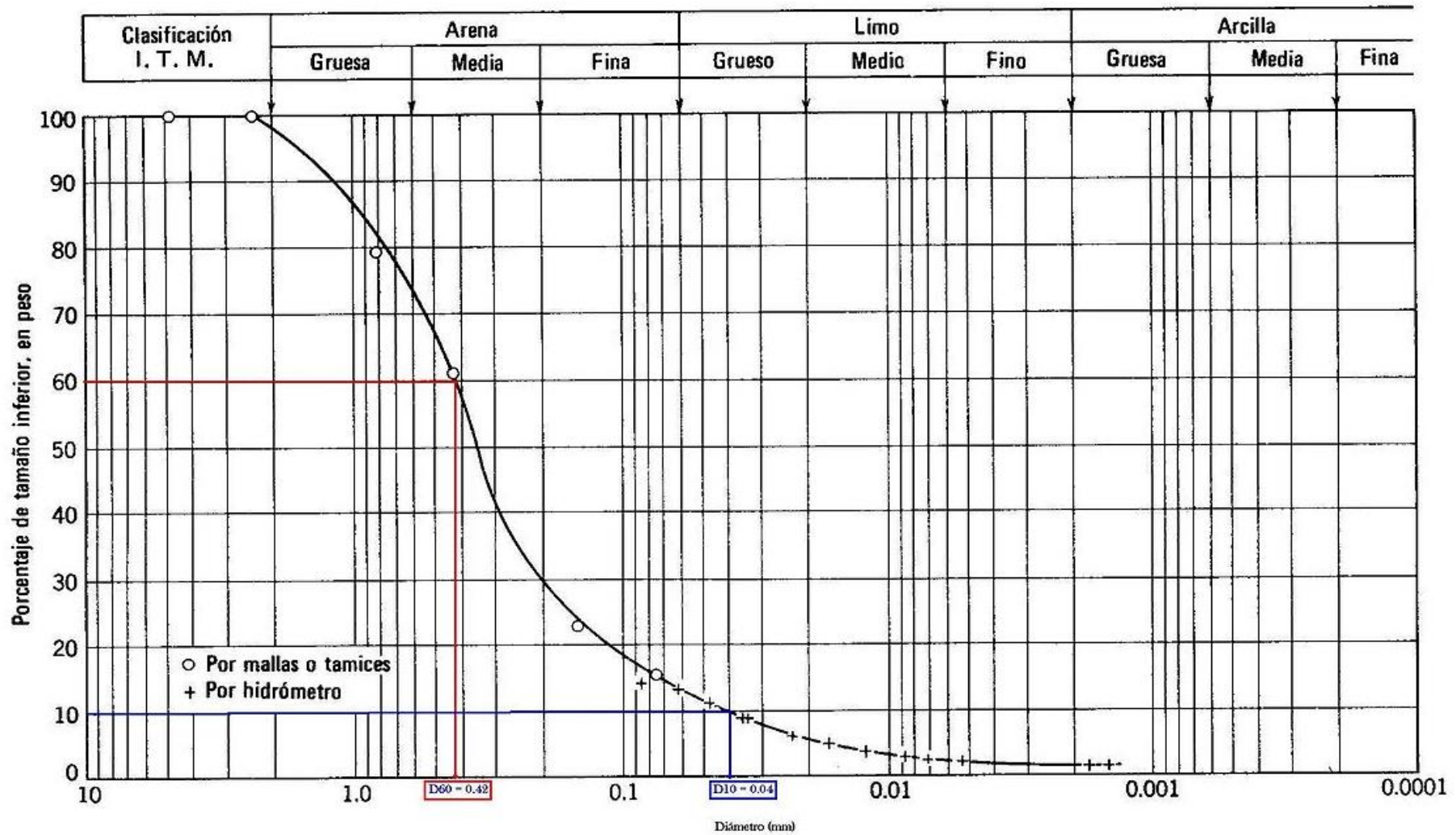


Figura 15 : Curva granulométrica representada en el diagrama de Lambe

Fuente (Badillo, 2010)

**a) Coeficiente de uniformidad.**

Es un indicador de la variación de rango del tamaño de los granos presentes. Es en tal caso que un valor grande en el parámetro  $C_u$  indica que los diámetros  $D_{60}$  y  $D_{10}$  varían en tamaños apreciables, pero tampoco indica que haya un vacío en la gradación. (Bowles J. L., 1981)

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Donde  $D_{60}$  es el tamaño donde el 60% del peso del suelo sea igual o menor y  $D_{10}$  que también llamado por Hazen el diámetro efectivo, es el tamaño tal que sea mayor o igual que el 10% en peso del suelo.

Para los suelos con  $C_u < 3$  se consideran muy uniformes e incluso las arenas naturales muy uniformes presentan un  $C_u < 2$ . (Bowles J. E., 1981)

**b) Coeficiente de concavidad.**

Representa una medida de la forma de la curva entre el  $D_{60}$  y el  $D_{10}$ .

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{60} * D_{10}}$$

donde el coeficiente de curvatura o concavidad varía entre 1 y 3 en los suelos bien graduados. (Badillo, 2010)

**B. Límites de consistencia.**

Los límites de consistencia nacen a partir de la plasticidad del suelo que se define como una propiedad de un material por la cual es capaz de soportar deformaciones rápidas, sin rebote elástico, sin variación volumétrica apreciable y sin desmoronarse ni agrietarse. (Badillo, 2010)

A medida que el contenido de agua decrece un suelo tiende a ser plástico o puede estar en los siguientes estados de consistencia que los define Atterberg.

- Estado líquido, con propiedades y apariencia de una suspensión.





- Estado semilíquido, con propiedades de un fluido viscoso.
- Estado plástico, en el que el suelo se comporta plásticamente.
- Estado semisólido, el suelo tiene la apariencia de un sólido, pero con disminución de volumen cuando se somete al secado.
- Estado sólido, el volumen del suelo no varía con el secado.

De estos estados se puede definir los límites líquido y plástico, que por conclusión se da lo siguiente.

**Límite líquido**, es el estado donde se encuentra la frontera entre los estados semilíquido y plástico.

**Límite plástico**, es el estado donde se encuentra la frontera entre los estados plástico y semisólido.

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. (Lucas, 2014)

La diferencia de los valores entre el límite líquido y límite plástico es llamado como el índice plástico, que se relaciona con la cantidad de arena añadida, que se considera como un parámetro a definir en la plasticidad.

$$I_p = LL - LP$$

### C. Clasificación de los suelos.

Hay dos sistemas de clasificación de suelos de uso común para propósitos de ingeniería.

- 1) el Sistema Unificado de Clasificación del suelo (SUCS o USCS) que se utiliza para casi todos los trabajos de ingeniería geotécnica;
- 2) el sistema de clasificación AASHTO que se usa por la construcción de carreteras y terraplenes.



Ambos sistemas utilizan los resultados del análisis granulométrico y la determinación de los límites de Atterberg para determinar la clasificación del suelo.

Las fracciones texturales del suelo son: grava, arena, limo, arcilla. A un suelo que comprende uno o más de estos componentes se le da un nombre descriptivo y una designación que consta de letras o números y letras. Estas letras dependen de las proporciones relativas de los componentes y de las características de plasticidad del suelo. (Borselli, 2017)

#### **a) Sistema de clasificación según SUCS.**

El Sistema Unificado de Clasificación del suelo (USCS o SUCS) se basa en el sistema de clasificación desarrollado por Casagrande durante la Segunda Guerra Mundial. Con algunas modificaciones fue aprobado conjuntamente por varias agencias de gobierno de los EE.UU. en 1952. Refinamientos adicionales fueron hechas y actualmente está estandarizado como la norma ASTM D 2487-93. Se utiliza en los EE.UU. y gran parte del mundo para trabajos geotécnicos que no sean los caminos y carreteras.

Los suelos de un sistema unificado se designan por un símbolo de dos letras: el primero considera que el principal componente de la tierra, y la segunda describe informaciones de la curva granulométrica o características de plasticidad. Por ejemplo: la arena pobremente graduada se denomina SP y arcilla con baja plasticidad es CL.

SUCS – USCS: se utilizan los símbolos de cinco letras:

- G por grava (gravel)
- S por arena (sand)
- M por limo (silt)
- C por arcilla (clay)
- por suelos orgánico (organic soil)
- P for turba (peat soils)

Para la clasificación SUCS, se debe tomar en cuenta lo siguiente:



Regla 1:

Si **menor del 50%** del suelo pasa la malla No. 200 (0.075 mm), **el suelo es de grano grueso**, y la primera letra será **G** o **S**.

Regla 2:

Si **más del 50%** pasa la malla No. 200(0.075 mm), **el suelo es de grano fino** y la primera letra será **M** o **C**.

Regla 3:

**Arenas y gravas** limpias (con **menos del 5%** que pasa la malla No. 200): se les da una segunda letra **P** si están mal graduadas o **W** si bien graduadas. **Arenas y gravas**, con más de 12% en peso que pasa la malla No. 200: se les da una segunda letra **M** si son limosas o **C**, si son arcillosos.

**Arenas y gravas** que tienen entre 5 y 12%: se dan clasificaciones dual como **SP-SM**.

**Limos, arcillas y suelos orgánicos** se les da la segunda letra **H** o **L** para designar a la **plasticidad de alta o baja**. (Borselli, 2017)

Las normas específicas para la clasificación se describen detalladamente en la norma ASTM D 2487 (Ver Tabla 2).

**Tabla 2 Símbolos para la clasificación SUCS**

El sistema Unificado de clasificación de suelos, utiliza como identificación los siguientes símbolos:

Símbolo	G	S	M	C	O	Pt	H	L	W	P
Descripción	Grava	Arena	Limo	Arcilla	Limos o arcillas orgánicas	Turba y suelos altamente orgánicos	Alta plasticidad	Baja plasticidad	Bien graduado	Mal graduado
	Primera letra						Segunda letra			

*Fuente* (Borselli, 2017)

Tabla 3 : Sistema de clasificación de suelos por SUCS

IDENTIFICACION EN EL CAMPO		SIMBOLO DEL GRUPO	NOMBRES TIPICOS	CRITERIOS DE CLASIFICACION EN EL LABORATORIO				
SUELOS DE GRANO GRUESO - MAS DE LA MITAD DEL MATERIAL ES RETENIDO POR EL TAMIZ # 200	GRAVAS - MAS DE LA MITAD DE LA FRACCION GRUESA ES RETENIDA POR EL TAMIZ # 4	AMPLIA GAMA DE TAMAÑOS Y CANTIDADES APRECIABLES DE TODOS LOS TAMAÑOS INTERMEDIOS	<b>GW</b>	GRAVA BIEN GRADUADA, MEZCLA DE GRAVA Y ARENA CON POCOS FINOS O SIN ELLOS	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ MAYOR DE 4 ; $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ ENTRE 1 Y 3  NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS GRANULOMETRICOS DE LAS GW  LIMITES DE ATTERBERG POR DEBAJO DE LA LINEA "A" O $I_p$ MENOR QUE 4  LIMITES DE ATTERBERG POR ENCIMA DE LA LINEA "A" O $I_p$ MAYOR QUE 7  $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ MAYOR DE 6 ; $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ ENTRE 1 Y 3  NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS GRANULOMETRICOS DE LAS SW  LIMITES DE ATTERBERG POR DEBAJO DE LA LINEA "A" O $I_p$ MENOR QUE 4  LIMITES DE ATTERBERG POR ENCIMA DE LA LINEA "A" O $I_p$ MAYOR QUE 7			
			PREDOMINIO DE UN TAMAÑO O UN TIPO DE TAMAÑO, CON AUSENCIA DE ALGUNOS TAMAÑOS INTERMEDIOS	<b>GP</b>		GRAVAS MAL GRADUADAS, MEZCLAS DE ARENA Y GRAVA CON POCOS FINOS O SIN ELLOS		
		FRACCION FINA NO PLASTICA (PARA LA IDENTIFICACION VER EL GRUPO ML, MAS ABAJO)	<b>GM</b>	GRAVAS LIMOSAS, MEZCLAS MAL GRADUADAS DE GRAVA, ARENA Y LIMO				
			<b>GC</b>	GRAVAS ARCILLOSAS, MEZCLAS MAL GRADUADAS DE GRAVA, ARENA Y ARCILLA				
		ARENAS BIEN GRADUADAS, ARENAS CON POCOS FINOS O SIN ELLOS	<b>SW</b>	ARENAS BIEN GRADUADAS, ARENAS CON GRAVA, CON POCOS FINOS O SIN ELLOS				
			<b>SP</b>	ARENAS MAL GRADUADAS, ARENAS CON GRAVA, CON POCOS FINOS O SIN ELLOS				
	ARENAS CON FINO (CANTIDAD APRECIABLE DE FINOS)	<b>SM</b>	ARENAS LIMOSAS, MEZCLAS DE ARENA Y LIMO MAL GRADUADAS					
		<b>SC</b>	ARENAS ARCILLOSAS, MEZCLAS MAL GRADUADAS DE ARENAS O ARCILLAS					
	METODOS DE IDENTIFICACION PARA LA FRACCION QUE PASA POR EL TAMIZ # 40							
	SUELOS DE GRANO FINO - MAS DE LA MITAD DEL MATERIAL PASA POR EL TAMIZ # 200	LIMOS Y ARCILLAS CON LIMITE LIQUIDO MENOR DE 50	RESISTENCIA EN ESTADO SECO (A LA DESGREGACION)	DILATANCIA (REACCION A LA AGITACION)	TENACIDAD (CONSISTENCIA CERCA DEL LIMITE PLASTICO)	DETERMINESE LOS PORCENTAJES DE GRAVA Y ARENA A PARTIR DE LA CURVA GRANULOMETRICA SEGUN EL PORCENTAJE DE FINOS (FRACCION QUE PASA POR EL TAMIZ # 200) LOS SUELOS GRUESOS SE CLASIFICAN COMO SIGUE:  GW, GP, SW, SP GM, GC, SM, SC CASOS LIMITES QUE REQUIEREN EL EMPLEO DE SIMBOLOS DOBLES  MEJORES DEL 5% MAS DEL 12% 5% AL 12%		
			NULA A LIGERA	RAPIDA A LENTA	NULA		<b>ML</b>	LIMOS INORGANICOS Y ARENAS MUY FINAS, POLVO DE ROCA, ARENAS FINAS LIMOSAS O ARCILLAS CON LIGERA PLASTICIDAD
			MEDIA A ALTA	NULA A MUY LENTA	MEDIA		<b>CL</b>	ARCILLAS INORGANICAS DE PLASTICIDAD BAJA A MEDIA, ARCILLAS CON GRAVA, ARCILLAS ARENOSAS, ARCILLAS LIMOSAS, ARCILLAS MAGRAS
LIGERA A MEDIA			LENTA	LIGERA	<b>OL</b>		LIMOS ORGANICOS Y ARCILLAS LIMOSAS ORGANICAS DE BAJA PLASTICIDAD	
LIGERA A MEDIA			LENTA A NULA	LIGERA A MEDIA	<b>MH</b>		LIMOS INORGANICOS, SUELOS LIMOSOS O ARENOSOS FINOS HEICACEOS O CON DIATOMEAS, LIMOS ELASTICOS	
ALTA A MUY ALTA			NULA	ALTA	<b>CH</b>		ARCILLAS INORGANICAS DE PLASTICIDAD ELEVADA, ARCILLAS GRASAS	
MEDIA A ALTA		NULA A MUY LENTA	LIGERA A MEDIA	<b>OH</b>	ARCILLAS ORGANICAS DE PLASTICIDAD MEDIA A ALTA			
SUELOS ALTAMENTE ORGANICOS		FACILMENTE IDENTIFICABLES POR SU COLOR, OLOR, SENSACION ESPONJOSA Y FRECUENTEMENTE POR SU TEXTURA FIBROSA	<b>Pt</b>	TURBA Y OTROS SUELOS ALTAMENTE ORGANICOS				
				UTILICESE LA CURVA GRANULOMETRICA PARA IDENTIFICAR LAS FRACCIONES DE SUELO INDICADAS EN LA COLUMNA DE IDENTIFICACION EN EL CAMPO  LINEA A: $I_p = 0.73(WL - 20)$  GRAFICO DE PLASTICIDAD PARA LA CLASIFICACION EN LABORATORIO DE SUELOS DE GRANO FINO				

Fuente: (Bowles, 1981)



#### D. Resistencia al esfuerzo cortante

Los suelos, como cualquier material, bajo ciertas sollicitaciones, se comportarán como materiales elásticos, pero en muchas veces tendrá deformaciones mayores de las normales, por lo que será un factor predominante el considerar la plasticidad del suelo.

El suelo puede presentar diversos tipos de fallas tales como: disgregamiento, deslizamiento en líneas de rotura o fluencia plástica.

La resistencia al esfuerzo cortante está representada por la ecuación de Coulomb. (Bowles J. E., 1981)

$$\tau = c + \sigma_0 \tan \phi$$

En la que:

$\tau$  = Resistencia al corte del suelo.

C = Cohesión del suelo.

$\sigma_0$  = Esfuerzo normal intergranular.

$\Phi$  = Ángulo de fricción interna del suelo, el cual se supone que es constante.

La cohesión puede ser definida como la adherencia entre las partículas del suelo debida a la atracción entre ellas, producidas por sus fuerzas intergranulares.

El ángulo de fricción interna es función de la uniformidad de las partículas del suelo, del tamaño y la forma de los granos y de la presión normal.

La utilización de la ecuación de Coulomb no condujo siempre a diseños satisfactorios de estructuras de suelo. La razón para ello no se hizo evidente hasta que Terzaghi publicó el principio de esfuerzos efectivos  $\sigma = \sigma' + u$ . Pudo apreciarse entonces que, dado que el agua no puede soportar esfuerzos cortantes sustanciales, la resistencia al corte de un suelo debe ser resultado únicamente de la resistencia a la fricción que se produce en los puntos de contacto entre partículas; la magnitud de ésta depende sólo de la magnitud de esfuerzos efectivos que soporta el esqueleto de suelo. Por tanto, cuanto más grande sea el esfuerzo efectivo normal a

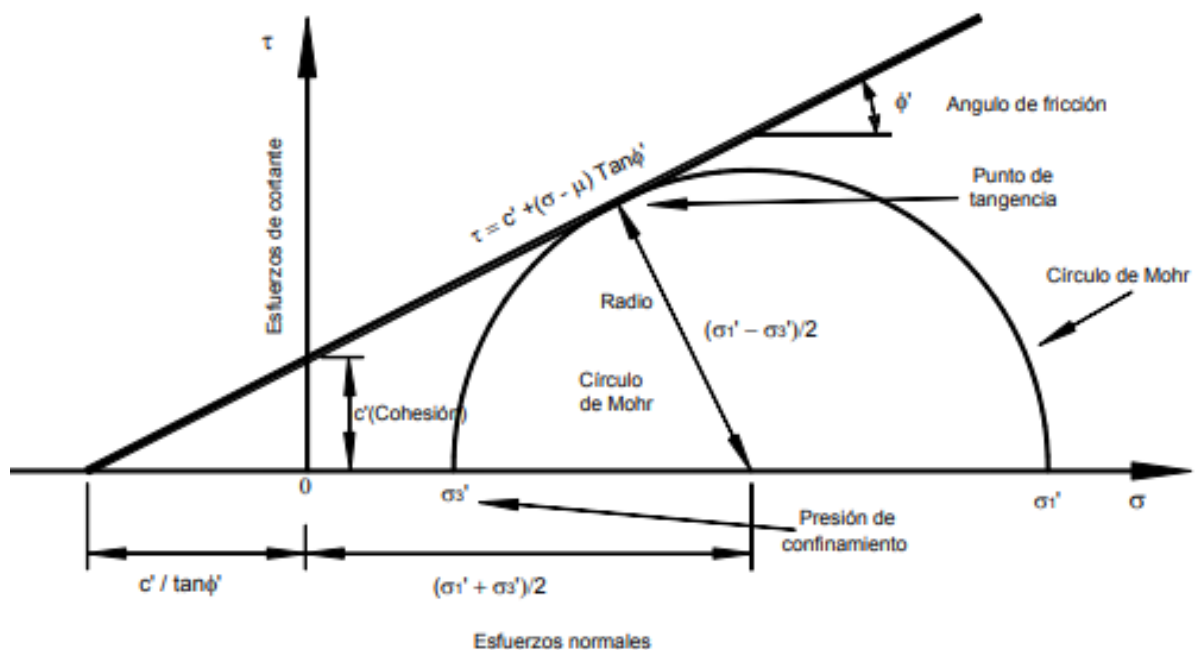
un plano de falla potencial, mayor será la resistencia al corte de dicho plano. Entonces si se expresa la ecuación de Coulomb en términos de esfuerzos efectivos, se tiene:

$$\tau_f = c' + \sigma' \tan \phi'$$

En la cual los parámetros  $c'$  y  $\phi'$  son propiedades del esqueleto del suelo, denominadas cohesión efectiva y ángulo de fricción efectiva, respectivamente.

Puesto que la resistencia al corte depende de los esfuerzos efectivos del suelo, los análisis de estabilidad se harán entonces en términos de esfuerzos efectivos. Sin embargo, en ciertas circunstancias el análisis puede hacerse en términos de esfuerzos totales y por lo tanto, en general, se necesitará determinar los parámetros de resistencia al corte del suelo en esfuerzos efectivos y en esfuerzos totales. Es decir, los valores de  $c'$ ,  $\phi'$  y  $c$ ,  $\phi$ . Estos se obtienen, a menudo en ensayos de laboratorio realizados sobre muestras de suelo representativas mediante ensayo de corte directo (ASTM D-3080-72) o el ensayo de compresión triaxial (ASTM D-2850-70).

#### a) Ecuación de Coulomb



**Figura 16: Representación gráfica de la ecuación de Coulomb.**

*Fuente: Suarez Díaz, 1988*

**Ecuación de Coulomb para suelos saturados.**

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 cortante, se comportan de acuerdo con las teorías tradicionales de fricción y cohesión, según la ecuación de Coulomb:

$$\tau = c' + (\sigma - \mu) \tan \phi'$$

(Para suelos saturados)

Donde:

$\tau$  = Esfuerzo de resistencia al corte

$c'$  = Cohesión o cementación efectiva

$\sigma$  = Esfuerzo normal total

$\mu$  = Presión del agua intersticial o de poros

En la Figura 16 se muestra la representación gráfica de la ecuación de Coulomb. El análisis de la ecuación de Coulomb requiere conocer los parámetros, el 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 que depende de las presiones internas o de poros de acuerdo con la ecuación de Coulomb, en la cual el factor  $\mu$  está restando al valor de la presión normal total.

A la presión resultante, se le conoce con el nombre de presión efectiva  $\sigma'$ .

$$\sigma' \text{ (Presión efectiva)} = \sigma - \mu$$

$\phi'$  = Ángulo de fricción para presiones efectivas.

$c'$  = Cohesión para presiones efectivas.



### Ecuación de Coulomb para suelos no saturados

Cuando el grado de saturación es mayor del 85%, se puede utilizar la ecuación de Coulomb para suelos saturados. Sin embargo, para suelos con saturación menor del 85%, se deben aplicar los principios de la mecánica de suelos no saturados (Fredlund y Rahardjo, 1987).

Para el caso de suelos no saturados, la ecuación de Coulomb se expresa de la siguiente forma (Fredlund y Morgenstern 1977).

$$\tau = c' + (\sigma_n - \sigma_a) \tan \phi' + (u_a - u_w) \tan \phi^b$$

Donde:

$\sigma_n$  = esfuerzo normal total

$u_a$  = Presión en el aire de los poros

$u_w$  = presión en el agua de los poros, la cual comúnmente es negativa.

$\phi^b$  = ángulo de fricción igual a la pendiente de la curva de succión matricial ( $u_a - u_w$ ) contra resistencia al cortante  $\tau$  cuando  $(\sigma_n - u_a)$  se mantiene constante.

El ángulo de fricción efectiva  $\phi^2$  permanece igual para todos los valores de succión.  $\phi^b$  es generalmente igual o menor que  $\phi'$  y se puede obtener en ensayos triaxiales o de corte directo no saturados (Huat y otros, 2005).

Para realizar estos ensayos se requiere realizar modificaciones a los equipos de laboratorio convencionales.

$$(u_a - u_w) \tan \phi^b = \text{cohesión aparente debida a la succión}$$

$$(u_a - u_w) = \text{succión matricial}$$

El criterio de falla tiene dos variables de esfuerzos  $(\sigma_n - u_a)$  y  $(u_a - u_w)$ .

En la ecuación para suelos no saturados, cuando  $u_a = u_w$  la ecuación es idéntica a la ecuación original de Mohr-Coulomb para suelos saturados. Algunos programas de computador tienen en cuenta esta transición al modificarse las condiciones de saturación (Cornforth, 2005).



**b) Parámetros fundamentales.****- Angulo de fricción**

Este parámetro es una representación matemática del coeficiente de rozamiento:

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

Como se representa de esta manera también depende de algunos factores importantes como son los siguientes:

- El tipo de mineral que los constituye.
- Según el tamaño de los granos, ya que a mayor tamaño, entonces  $c$  es mayor.
- Según la forma de los granos ya que incrementa el valor de  $\phi$  cuando las partículas son angulosas.
- El valor de  $\phi$  es mayor en suelos gradados que en los suelos uniformes.
- La densidad es otra ya que el ángulo de fricción también aumenta cuando esta es mayor.
- En las presiones normales cuando estas incrementan el ángulo de fricción disminuye.

Los factores que también afectan son la permeabilidad, las condiciones de pre consolidación.

(Diaz, Julio 1998)

**- Cohesión.**

Como se sabe es una medida de la cementación o la adherencia entre las partículas del suelo, en donde la usamos para representar la resistencia al cortante producida por la cementación ya que esta representa la resistencia a la tensión.

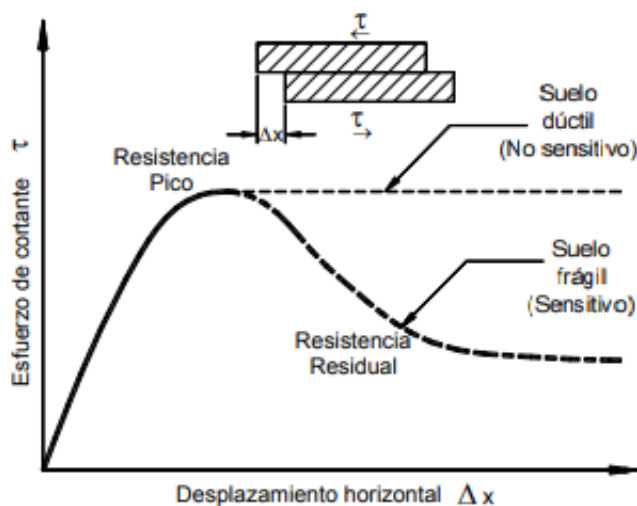
El valor de la cohesión puede valer cero siempre y cuando los suelos sean granulares en los cuales no haya adherencia y por lo tanto sean llamados como suelos friccionan tés o suelos no cohesivos.

Cuando en los suelos ocurre la succión de agua en los poros, se produce adherencia por las fuerzas capilares y esta cohesión aparente llega a desaparecer con la saturación.

**- Resistencia pico**

Esta es la máxima resistencia del suelo al corte cuando aún no ha sido fallado y por lo tanto el punto más alto al de la curva de esfuerzos y por lo tanto esta resistencia en la estabilidad de taludes se asume en toda la superficie de falla en la cual han alcanzado deformaciones mayores.

La modelación de la resistencia pico en el análisis de la 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.



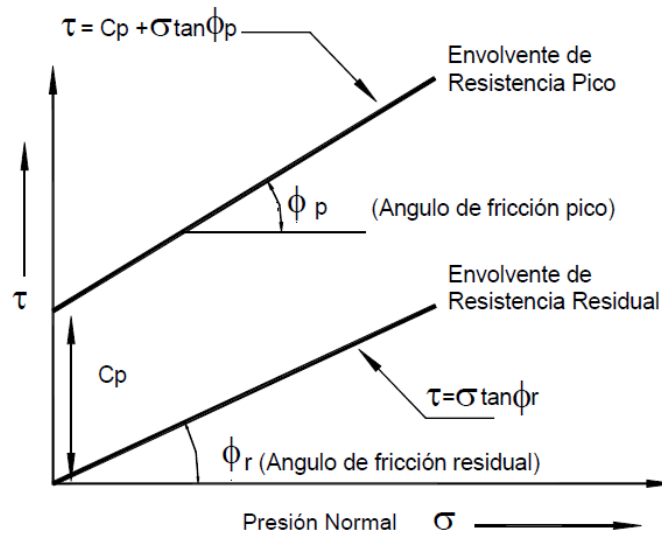
**Figura 17 : Curvas esfuerzo corte-desplazamiento en un ensayo de Corte directo**

*Fuente: Duncan y Wright 2005*

- **Resistencia residual.**

Es la resistencia al corte que posee el material después de haber ocurrido la falla. Skempton (1964) observó que en arcillas sobre consolidadas, la resistencia calculada en el 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  $\phi_r$  y  $C_r$ .

La resistencia residual en los suelos cohesivos se debe tener en cuenta cuando existe una superficie previa de corte donde han ocurrido desplazamientos en el pasado y en suelos licuables, expuestos a sismos de gran magnitud.



**Figura 18 : Envoltura de falla de las resistencias pico y residual.**

*Fuente: Suarez Díaz, 1988*

Como se muestra en el gráfico la pérdida de resistencia en el momento en que falla, se relaciona directamente con la disminución de la cohesión y además el ángulo de fricción disminuye un poco.

Una variación significativa entre la resistencia pico a la residual se da en los suelos frágiles. Pero en el caso de los suelos dúctiles la resistencia pico y la residual tiende a ser similares.

#### - **Presión de poro.**

La presión de poro no es más que la presión del agua dentro de los poros del suelo que disminuye los esfuerzos normales efectivos entre las partículas. Es el caso que en los suelos no saturados la tensión del agua en los poros intenta unir las partículas, y en el caso de suelos saturados la presión del agua produce que las partículas se traten de separar y de esta manera disminuye la resistencia a la fricción.



La presión de poros tiende a aumentar en los taludes en la época de lluvia y disminuye en temporada de sequía y además de que su variación se da más en la cuesta del talud que en el pie del talud.

- **Condiciones drenadas y no-drenadas**

**Condición drenada**

Se dice que una condición es drenada cuando el agua es capaz de fluir hacia afuera o hacia adentro de la masa del suelo, si es sometida a una carga y no se producen presiones de poros. Esto se debe a que el agua puede moverse libremente, al aumentar o disminuir el volumen de vacíos como respuesta a un cambio en las condiciones de carga. (Díaz, Julio 1998)

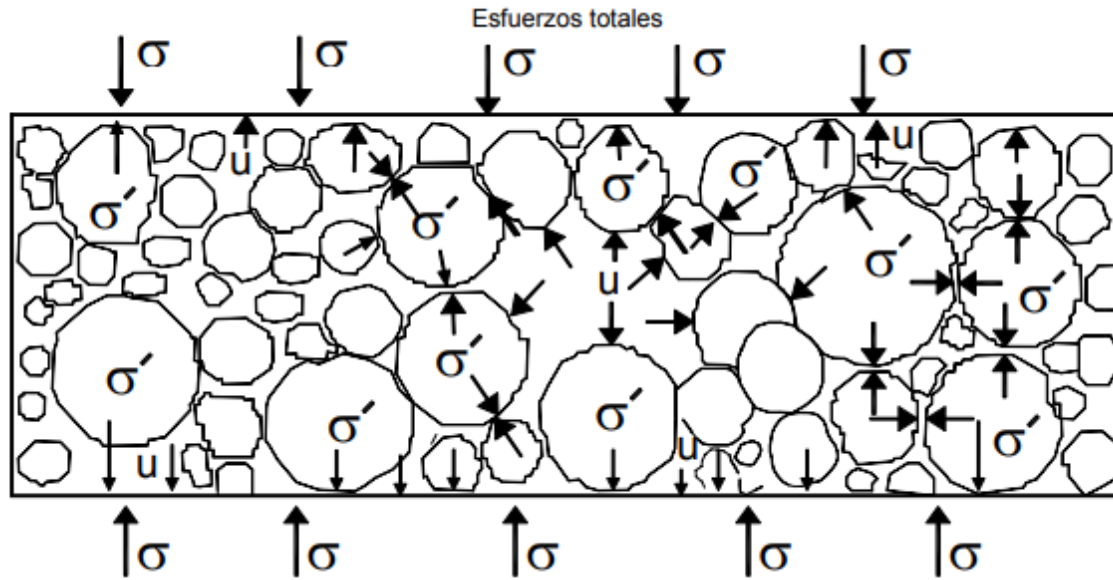
**Condición no-drenada**

Se dice que una condición es “no-drenada” cuando el agua no es capaz de fluir en el momento en el cual el suelo está sometido a una carga y se produce entonces la presión de poros. Esto se debe a que el agua no se puede mover libremente como respuesta a la tendencia al cambio del volumen de vacíos por acción de la carga. (Díaz, Julio 1998)

- **Esfuerzos totales y efectivos.**

**Esfuerzos efectivos.**

Típicamente, el esqueleto de partículas puede transmitir esfuerzos normales y de corte por los puntos de contacto entre las partículas y el agua a su vez, puede ejercer una presión hidrostática igual en todas las direcciones. Los esfuerzos ejercidos por el esqueleto solamente se conocen como esfuerzos efectivos y a los esfuerzos hidrostáticos del agua se les denomina “presión de poros”. Los esfuerzos efectivos son los que controlan el comportamiento del suelo al cortante y no los esfuerzos totales. (Suarez Díaz, 1988)



**Figura 19:** Esfuerzos totales y efectivos.  $\sigma'$  (efectivo) =  $\sigma$  (total) -  $\mu$

**Fuente:** Suarez Díaz, 1988

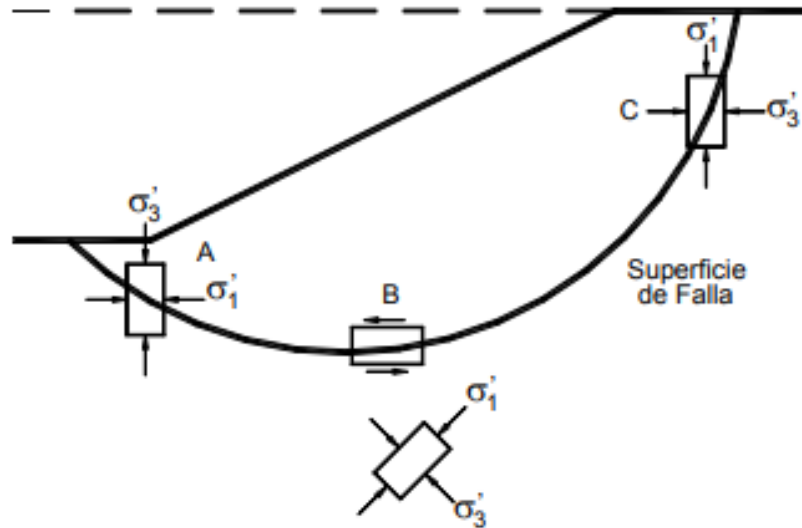
### **Esfuerzos totales.**

En este tendremos la suma de todos los esfuerzos como el contacto entre las partículas, las transmitidas por la presión de poros en el agua y el área de sólidos y vacíos. (Diaz, Julio 1998)

Esfuerzo total = esfuerzo efectivo + presión de poros

### **c) Circulo de Mohr.**

Este método es usado para representar los resultados de los ensayos de corte en suelos, en donde la envolvente del círculo representa el estado de los esfuerzos en el momento de la falla a la cortante ya que en este se dan los valores del esfuerzo máximo y mínimo que son los esfuerzos principales. En el siguiente diagrama se muestra la correcta interpretación de la falla cortante en un talud, en el cual se tiene la dirección de los esfuerzos principales en la superficie de falla donde  $\sigma_1$  es vertical en la parte superior de la falla y horizontal en la parte inferior.



**Figura 20: Dirección de los esfuerzos principales en la falla de un talud.**

*Fuente: Suarez Díaz, 1988*

- **Envolventes de falla**

El círculo de Mohr se emplea para representar o describir la resistencia al cortante de los suelos, utilizando la envolvente de falla Mohr – Coulomb, lo cual equivale a que ha alcanzado la combinación crítica de los esfuerzos a la falla.

Los puntos de la envolvente de falla corresponden a los esfuerzos que producen falla al cortante. Los esfuerzos por encima de la envolvente de falla, no pueden existir.

La envolvente de falla Mohr - Coulomb generalmente es una línea curva que puede representarse en la forma:

$$s = A(\sigma')^b$$

Donde:

s = Resistencia al cortante

$\sigma'$  = Esfuerzo normal efectivo

A y b = Constantes

En la práctica normal de ingeniería, generalmente, esta curva se define como una recta aproximada dentro de un rango seleccionado de esfuerzos (Figura 21), en el cual:

$$S = c' + \sigma' \tan \phi'$$

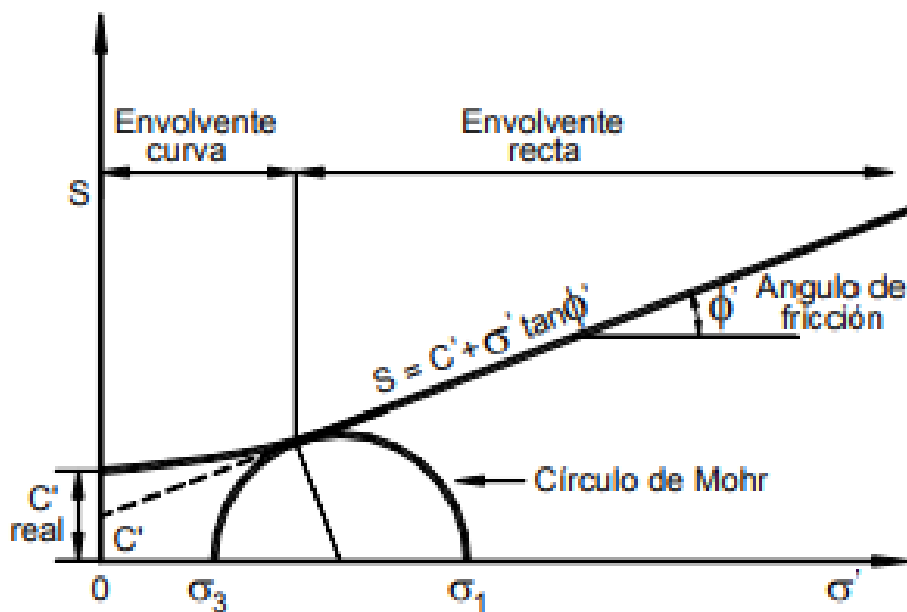
Donde:

$S$  = Resistencia al cortante.

$\sigma'$  = Esfuerzo normal efectivo.

$c'$  = Cohesión (intercepto del eje de resistencia)

$\phi'$  = Angulo de fricción (Pendiente de la envolvente)



**Figura 21 : Envolvente de falla y círculo de Mohr**

*Fuente: Suarez Díaz, 1988*

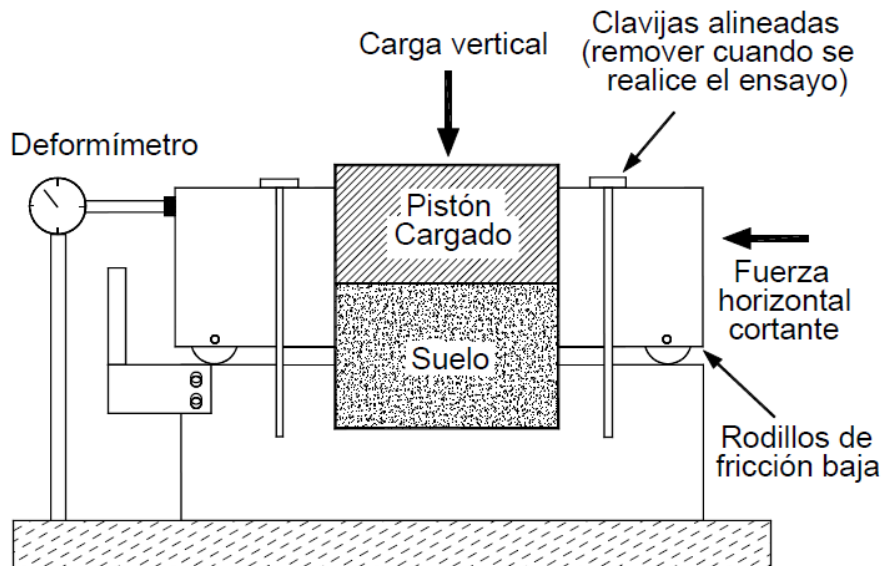
**d) Ensayos de laboratorio.**

▪ **Ensayo de corte directo.**

En este caso se coloca la muestra en una caja cuadrada o circular partida por la mitad, después esta es colocada para que una de las mitades se mueva con respecto a la otra, y es donde la

muestra se rompe a lo largo del plano entre las dos mitades. Es de esta manera que se obtiene la resistencia al corte y que además es simple y económico.

La ventaja que tiene es la velocidad de ejecución y que además se pueden hacer varias pruebas en corto tiempo y también la resistencia al corte se puede medir en un plano predeterminado con una orientación dada.



**Figura 22: Detalle de la caja de ensayo de corte directo**

**Fuente: Suarez Díaz, 1988**

### **Tamaño de la muestra**

Para este caso se toma en cajas cuadradas con dimensiones de 60mm o 100mm ya que: el tamaño máximo de la partícula de suelo determina el espesor de la muestra (Cheung, 1988)

El espesor de la muestra debe ser al menos seis veces el tamaño máximo de los granos de suelo y no menos de 12.5mm. (Norma ASTM D3080).

(Cheung, 1988) recomienda que una caja cuadrada de 100mm y un espesor de 44mm son adecuados para ensayar unos suelos residuales de granito, en donde el tamaño máximo del grano fuese de 8 mm.

### **e) Ensayos de campo**

**Exploración con métodos de penetración dinámica.**





La Prueba de Penetración Estándar (SPT) tiene sus raíces en la observación empírica de golpes por la medida de la unidad de introducción de un tubo. El método del SPT requiere de un equipo mecanizado para levantar y dejar caer una masa 140 lb y una altura de 30 pulg. Los numerosos métodos que se han desarrollado para minimizar el uso del SPT, tales que puedan ser operados a mano y se puedan utilizar en espacios confinados, excluyen el uso de un dispositivo mecanizado como el SPT.

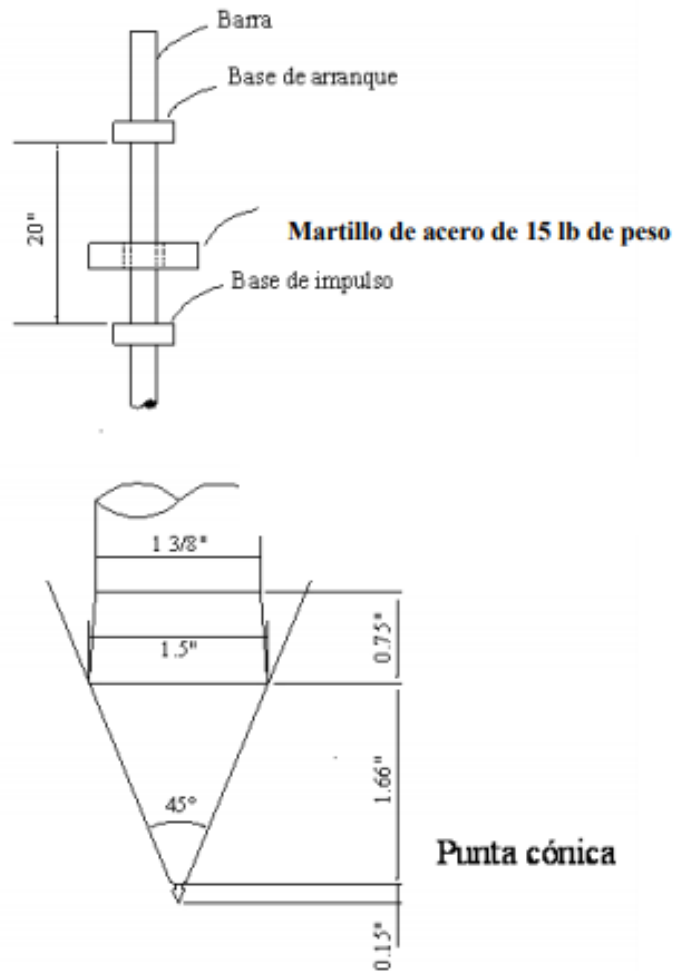
▪ **Ensayo con cono Sowers (ASTM STP 399)**

Uno de los dispositivos más populares fue el desarrollado por el profesor George Sowers en 1959 para la exploración de campo y la evaluación de cargas de las zapatas cuadradas superficiales cargadas durante la fase de la construcción.

El Cono Sowers ilustrado en la Figura 23, usa una masa de acero de 15 lb (6.8 kilos) con una caída de 20" para golpear una base y penetrar un cono de 45° con un diámetro de 1.5", fijo a la tubería de perforación de 1 3/8", que ha sido asentado en el fondo del agujero perforado manualmente con una posteadora. El dispositivo se ha utilizado extensivamente en la región de sur-este de los EE.UU. y ha estado calibrado con resultados estándares del SPT. (Atala Abad, 2011)

Características del equipo:

- Un martillo de 15 lb de peso
- Altura de caída 20 pulgadas
- Una punta cónica de 60° de inclinación y 1.5" de diámetro (Alva Hurtado, 2017)



**Figura 23 : Características del equipo Cono Sowers – Punta cónica**

**Fuente: (Alva Hurtado, 2017)**

### **Instrucciones de funcionamiento**

La prueba de penetración se realiza en el fondo de un agujero barrenado a mano generalmente de 3” a 6” de diámetro.

Verificar el agujero a la profundidad deseada del ensayo teniendo cuidado de no remover mayor material solo lo suficiente y no pasar del nivel deseado. Usar el material de la posteadora para identificar y clasificar visualmente el suelo.

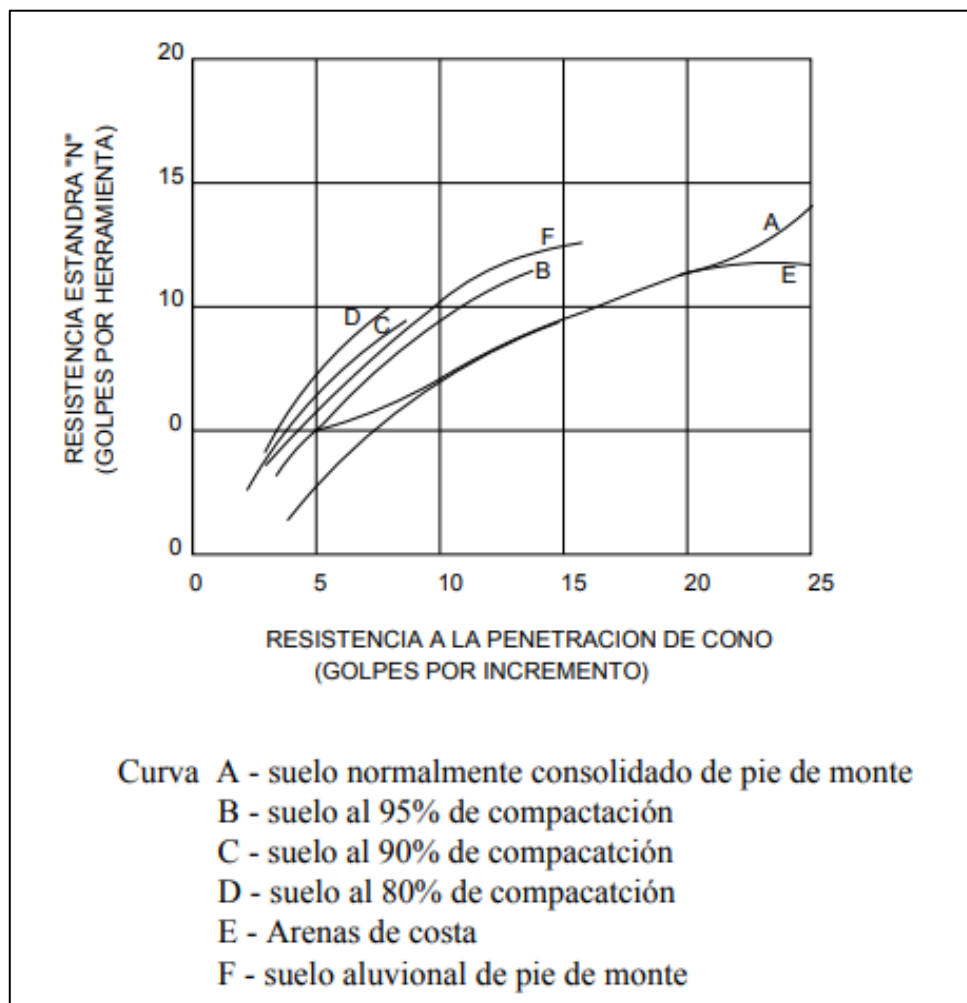
Baje suavemente el martillo y tuberías llevando la punta al fondo de la perforación.

Cerciorarse de la plomada, y que el cono este embebido 2”. dentro del agujero imperturbado.

La experiencia ha demostrado que el Cono Sowers se puede utilizar con eficacia en perforaciones a profundidades de 4.5 a 6 m. Más allá de estas profundidades llega a ser muy incómodo para manejar las tuberías a mano. También las correlaciones no se han verificado para mayores profundidades, donde las pérdidas de energía en los empalmes del hilo de rosca y la inercia de la tubería no se han considerado.

### Correlaciones con el cono Sowers

Las correlaciones originales de Sowers se muestran en la Figura 24. Por supuesto, correlación similar se podría desarrollar para los suelos de otras regiones y diferente origen geológico.

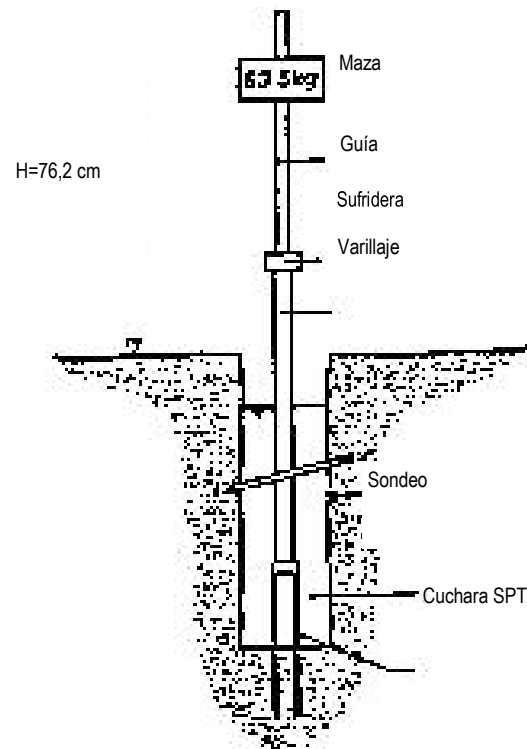


**Figura 24 : Resistencia a la Penetración de Cono**

**Fuente** (Atala Abad, 2011)

- **Ensayo de penetración estándar.**

De forma resumida, la realización del ensayo es la siguiente figura.



**Figura 25: Martillo: peso de  $63.5 \pm 0,5$**

**Fuente** (Devincenzi, 2004)

Se ejecuta un taladro hasta la cota deseada y en el fondo del mismo se introduce una toma muestras de dimensiones estándar que consta de tres elementos: zapata, tubo bipartido y cabeza de acoplamiento con el varillaje.

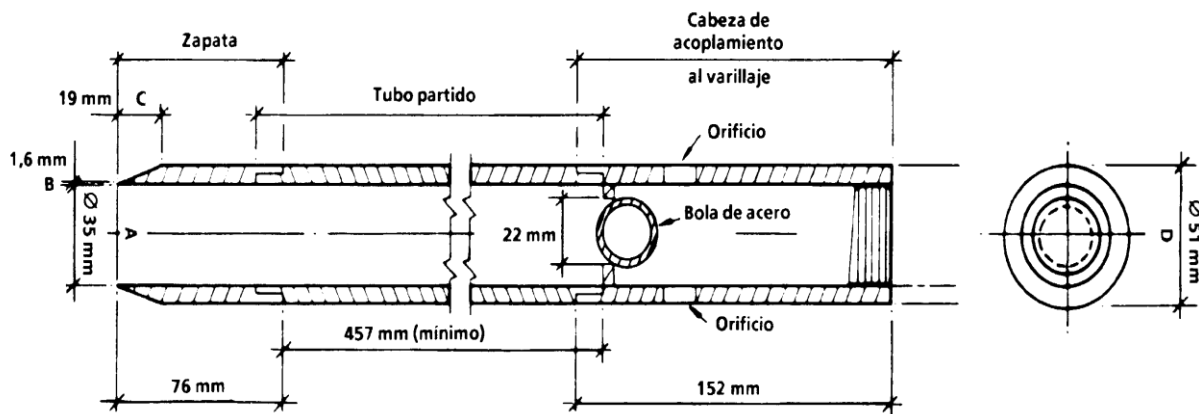
Se hincan las tomas muestras o cucharas SPT en el terreno 60 cm, contando en número de golpes necesarios para hincar tramos de 15 centímetros. La hincada se realiza mediante una maza de 63,5 kg (140 libras) que cae desde una altura de 76,2 cm (30 pulgadas) en una cabeza de golpeo o yunque, lo que corresponde a un trabajo teórico de 0,5 kJ por golpe.

La lectura del golpeo del primer y último tramo no se tiene en cuenta, por posible alteración del suelo o derrumbes de las paredes del sondeo en el primer caso y por posible compactación en el segundo. Los valores de golpeo de los tramos centrales de 15 cm sumados conducen al parámetro  $N_{30SPT}$  o  $N_{SPT}$ , denominado también resistencia a la penetración estándar.

Cuando el terreno es muy resistente se detiene la prueba por rechazo, anotando la penetración realizada y el número de golpes correspondiente. La prueba se puede dar por finalizada cuando:

- Cuando se aplican 50 golpes para un tramo de 15 cm.
- Cuando se aplican 100 golpes en total.
- Cuando no se observa penetración alguna para 10 golpes. En estos casos resulta prudente insistir en el golpeo pues bien podría tratarse de un bolo o grava gruesa

La toma muestras permite además recoger una muestra alterada del suelo que posibilita su identificación. Normalmente esta muestra se introduce en un recipiente o bolsa en los que se indican en una etiqueta, además de los datos de la obra, sondeo, profundidad, fecha, etc., los valores de golpeo obtenidos (Devincenzi, 2004).



**Figura 26 : Cuchara toma muestras del equipo para SPT**

**Fuente** (Devincenzi, 2004)

En la en la figura se presenta un esquema de la cuchara SPT. En suelos con gravas suele substituirse la zapata por una puntaza cónica maciza de 60°, denominada puntaza ciega.

### **Aplicabilidad de la prueba**

El ensayo SPT es por naturaleza simple y puede ser intercalado con facilidad en cualquier sondeo de reconocimiento. Puede ejecutarse en casi cualquier tipo de suelo, incluso en rocas blandas o meteorizadas.



Los resultados de la prueba, difundida ampliamente en todo el mundo, se correlacionan empíricamente con las propiedades específicas *in situ* del terreno.

La gran mayoría de datos y correlaciones corresponden a terrenos arenosos. La presencia de gravas complica la interpretación, cuando no impide su realización.

En resumen, el ensayo resulta apropiado para terrenos en los que predomina la fracción arena, con reserva tanto mayor cuanto mayor es la proporción de la fracción limo-arcilla o de fracción grava (Devincenzi, 2004).

- **Factores condicionantes y desencadenantes de los movimientos de estabilidad de taludes.**

**El agua.**

Constituye el agente natural de mayor incidencia como factor condicionante y desencadenante en la aparición de inestabilidades.

**Aguas subterráneas.**

Se consideran como tales, las corrientes y niveles subterráneos y el agua distribuida en el interior de la red de fracturación de un macizo rocoso o de forma intersticial en los suelos, que condicionan la estabilidad de los mismos. La absorción del agua de infiltración produce una continua expansión y contracción de los suelos, en períodos alternantes de lluvia y sequía, que varía las características resistentes de los mismos.

**Lluvia.**

Constituye un factor desencadenante de inestabilidades, contribuyendo a aumentar la acción de diversos factores condicionantes: meteorización, acción de las aguas subterráneas, etc.

Cuando el régimen de lluvias es torrencial, el agua caída se canaliza en zonas deprimidas causando acciones similares a las corrientes de agua.

**Deslizamientos por actividad volcánica.**

Algunos de los más grandes deslizamientos ocurridos, están relacionados con la actividad volcánica. Previamente a la erupción de los volcanes, se producen generalmente sismos frecuentes de pequeña magnitud relacionados con el ascenso de masas de magma debajo del volcán. Los deslizamientos pueden estar relacionados físicamente con la erupción y coinciden con grandes explosiones en la cima del volcán.

**Actividad biológica.**

Tiene especial interés las acciones que ejerce la vegetación en sus aspectos positivos y negativos. La cubierta vegetal, a través de sus raíces ayuda a mantener la estabilidad de los taludes debido a que sirve de unión entre los componentes del suelo. También la vegetación contribuye al drenaje, absorbiendo parte del agua contenida en el terreno y atenúa la degradación superficial del mismo.

En su aspecto negativo, existen raíces capaces de disgregar el terreno u desplazar bloques de magnitud considerable, debido a sus efectos mecánicos en grietas y fisuras, actuando como cuñas.

**Actividad humana.**

Dos de las actividades más importantes son la Minería y las Obras Civiles las cuales generan cambios drásticos en la forma natural de la rasante realizando cortes o desbanques considerables para realizar asentamientos de viviendas y proliferación de drenajes anti técnicos, la actividad humana que se deriva como un factor directo, constituye una de las causas con mayor incidencia en los movimientos de los taludes. (Díaz, Julio 1998)

**Excavaciones.**

Constituyen uno de los factores desencadenantes de la desestabilización del talud más desarrollados debido a la necesidad de las mismas en las obras civiles como vialidad, túneles.



Producen una variación del estado de equilibrio del terreno, que se traducen en planos de potenciales deslizamientos, desequilibrio de masas, etc.

### **Sobrecargas.**

Es el resultado del incremento de peso debido a diversos tipos de construcciones sobre el terreno natural. También puede producirse por el peso del agua infiltrada en el terreno, como consecuencia de fugas en conducciones de alcantarillado, canales, etc.

#### **- Prevención, estabilización y diseño.**

El objetivo principal de un estudio de estabilidad de taludes es el de establecer medidas de prevención y control para reducir los niveles de amenaza y riesgo. (Díaz, Julio 1998)

### **Métodos de prevención de deslizamientos:**

- Disuasión con medidas coercitivas
- Planeación del uso de la tierra
- Códigos técnicos
- Aviso y alarmas
- $F.S. = \text{Momento resistente} / \text{Momento actuante}$

### **Métodos de control de masa en movimiento.**

Se construyen abajo del deslizamiento una vez que se ha iniciado, entre los que se anotan:

- Bermas
- Trincheras
- Estructuras de retención
- Cubiertas de protección

### **Métodos de estabilización:**

- Conformación del talud o ladera:
- Remoción de materiales en la cabeza del talud, abatimiento de pendiente, terraceo de superficie





- Recubrimiento de la superficie
- Control de agua superficial y subterránea
- Estructuras de contención: Berma de roca en la base del deslizamiento, muros de contención y en tierra armada, pilotes, anclajes y pernos, pantallas ancladas.
- Mejoramiento del suelo
- Recubrimiento de la Superficie.

Mediante el recubrimiento de la superficie, se trata de impedir la infiltración o la ocurrencia de fenómenos superficiales de erosión, o refuerzan el suelo más sub- superficial. El recubrimiento puede consistir en elementos impermeabilizantes como el concreto lanzado o elementos que refuercen la estructura superficial del suelo como la hidrosiembra.

Entre los métodos más usuales para el tratamiento de la superficie de taludes expuestos tenemos:

- Recubrimiento propiamente dicho de la superficie
- Conformación de la superficie
- Sellado de grietas superficiales
- Sellado de juntas y discontinuidades
- Cobertura vegetal, árboles, arbustos y pastos

Escoger el factor de seguridad es una decisión de mucha importancia para las obras de ingeniería a proyectarse, en el caso de taludes se recomiendan los siguientes factores de seguridad mínimos, que constan en la Tabla 4.

**Tabla 4: Factores de seguridad para obras de ingeniería a proyectarse.**

Caso	Factor de Seguridad
Si se puede ocurrir la pérdida de vidas humanas al fallar el talud.	1.7
Si la falla puede producir la pérdida de más de 30% de la inversión de la obra específica o pérdidas considerables importantes.	1.5
Si se pueden producir pérdidas económicas no muy importantes.	1.3
Si la falla del talud no causa daños.	1.2

*Fuente: (Diaz, Julio 1998)*

### Métodos de diseño de taludes

- Método de Culmana para taludes naturales.
- Circulo de fricción. Aplicado para rellenos de gran altura en carreteras.
- Método de fellenius para presas de tierra.
- Método de Bishop.
- Método de Spencer donde el FS es menor.
- Método de Jambu considera cualquier superficie de ruptura no circular.
- Método de Morgestern and Price es el método general.
- **Causa de movimiento de taludes en suelos cohesivos y no cohesivos.**

### Suelos no cohesivos:

Suelos granulares o arenas puras, la superficie de falla es plana. Los taludes construidos sobre macizos no cohesivos, serán estables si el ángulo de inclinación del talud es menor que el ángulo de fricción interna de la arena, o sea el ángulo de fricción interna natural de la arena en equilibrio plástico. (Diaz, Julio 1998)

### Suelos cohesivos:

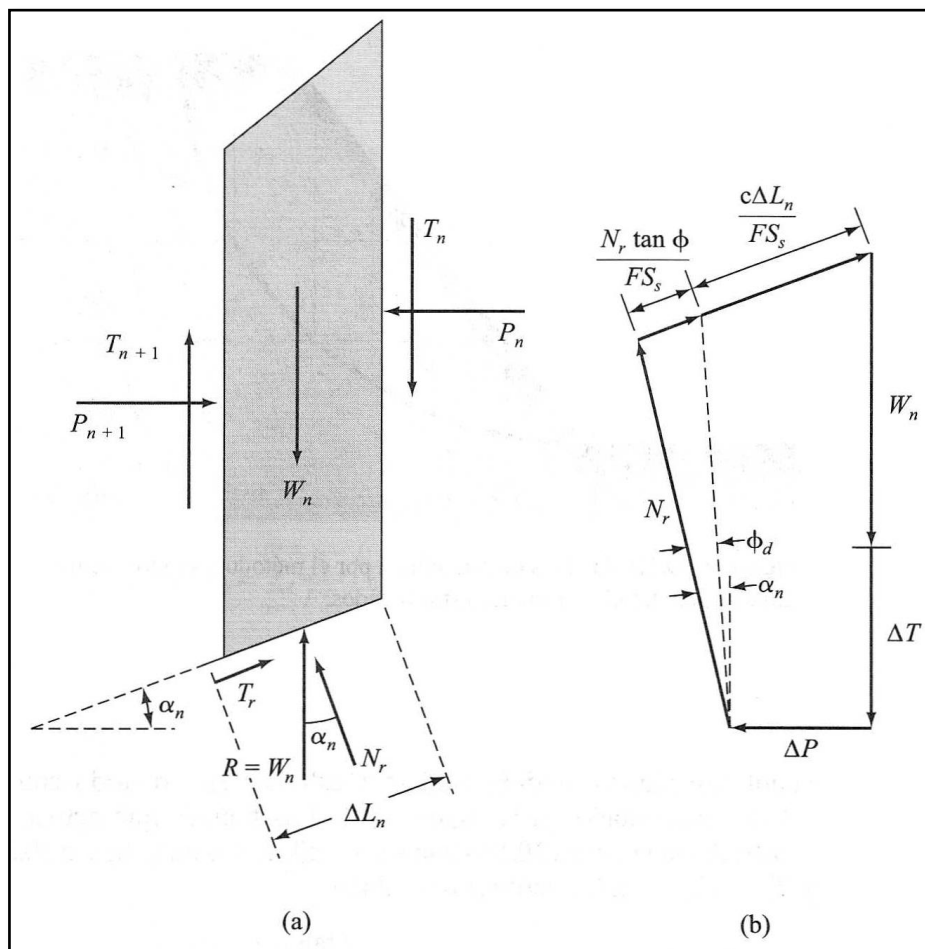
Superficie de falla es curva o circular por lo tanto el análisis en la estabilidad del talud se aplicarán los métodos de diseño de “estabilidad de talud”.

En suelos cohesivos con taludes muy inclinados la falla ocurre a lo largo de superficies circulares restringidas a una zona superficial de espesor.

La superficie del talud puede tener planos de ruptura rectos, estos pueden ser sustituidos para el estudio práctico por superficies de ruptura circulares o de espirales logarítmicas. (Diaz, Julio 1998).

### Método de dovelas simplificado de Bishop.

Este método corresponde a una solución mas refinada en donde el efecto de las fuerzas sobre los lados de cada dovela es representado, en la siguiente ilustración se mostrara el polígono de fuerza para el equilibrio de la n-ésima dovela.



**Figura 29: Método de dovelas de Bishop simplificado**

**a) Fuerzas que actúan sobre la n-ésima dovela**

**b) Polígono de fuerzas de equilibrio**

**Fuente: Introducción a la Ingeniería Geotécnica BraJam M DAS.**

En el cual siguiendo a las formulas explicadas por dicho método.

$$FS_s = \frac{\sum_{n=1}^{n-p} (cb_n + W_n \tan \phi) \frac{1}{m_{\alpha(n)}}}{\sum_{n=1}^{n-p} W_n \text{sen} \alpha_n}$$
$$m_{\alpha(n)} = \cos \alpha_n + \frac{\tan \phi \text{sen} \alpha_n}{FS_s}$$

Según las formulas se puede explicar que el FS expresado en ambas ecuaciones indica que el procedimiento es de ensayo error para poder así encontrar el valor del FS en el cual investigamos un número de superficies de fallas para encontrar la falla crítica que proporciona el factor de seguridad mínimo.

### 2.2.5 Factor de seguridad:

Relación entre valores máximos de resistencia (corresponden a la resistencia de los suelos) y las grandezas o valores que provocan el movimiento. El factor de seguridad en un punto del talud depende del plano de falla considerado. Y el FS a lo largo de una superficie de falla es el que toma en cuenta la tensión cortante disponible y la tensión cortante al equilibrio, es decir la suma de todas las fuerzas actuantes.

La remediación de un deslizamiento o de un talud inestable, generalmente no es una estabilización total y definitiva, sino relativa y en ciertas condiciones, provisional. Ante esta realidad, es importante determinar hasta donde se debe llegar en el proceso de remediación.

Cornforth (2005) explica que los factores de seguridad razonables y la magnitud de la estabilización deben determinarse teniendo en cuenta los siguientes factores:

- **El tamaño del deslizamiento.**

Teniendo en cuenta que es mucho más difícil modelar en forma precisa un deslizamiento pequeño que uno de gran magnitud, el factor de seguridad para remediación de un deslizamiento pequeño, debe ser superior al de un deslizamiento de gran tamaño.



Igualmente, el costo para subir el factor de seguridad en un deslizamiento grande, puede ser muy alto, lo cual en ocasiones, conduce a conclusiones incorrectas acerca de que los deslizamientos grandes no se pueden estabilizar. Lo que ocurre es que, en un deslizamiento grande, es más difícil subir el factor de seguridad y cualquier aumento en el factor de seguridad tiene un efecto importante en la estabilidad.

- **El tipo de movimiento.**

En los movimientos masivos de masas rígidas, las técnicas de estabilización son más efectivas que en los movimientos blandos tipo flujo de lodos, etc. En los movimientos de suelos rígidos se pueden considerar factores de seguridad menores que en movimientos de flujo.

- **La magnitud de los estudios realizados.**

Si la información recolectada en los estudios es muy completa y confiable, se pueden permitir factores de seguridad menores que en los casos en los cuales la información es escasa y la incertidumbre es mayor.

- **El potencial de consecuencias.**

En los casos en los cuales las consecuencias del deslizamiento involucran un riesgo grande de vidas humanas o propiedades, se requieren factores de seguridad mayores, por ejemplo, tomar una decisión, con base en el análisis de la totalidad de los factores involucrados.

Para cierto tipo de obras, los códigos pueden especificar un valor mínimo exigido para el factor de seguridad. Por ejemplo, para las estructuras de contención, la AASHTO (2001) exige los siguientes factores de seguridad de estabilidad de taludes:

$FS \geq 1.3$  para cargas estáticas si está involucrado un hospital o una escuela, los factores de seguridad deben ser mayores

$FS \geq 1.1$  para carga sísmica con K de 0.5 A que en el caso de un campo deportivo.



- **La experiencia del profesional con los suelos del sitio.**

Cuando se tiene experiencia previa confiable del comportamiento real de los suelos, se pueden permitir factores de seguridad menores que cuando se desconoce el comportamiento real de los materiales.

- **Posibilidad de ocurrencia de eventos extremos.**

Si en el análisis no se tuvieron en cuenta los eventos extremos, se deben incluir factores de seguridad mayores ante la ocurrencia de estos fenómenos.

En algunas ciudades, los códigos geotécnicos especifican factores de seguridad mínimos, los cuales se deben cumplir por ley. Estos factores, generalmente, varían desde 1.15 a 1.5 y es común especificar factores de seguridad de 1.3 para las cargas estáticas. (Díaz, Julio 1998)

**a) Valores de factores de seguridad:**

- =1 Equilibrio.
- <1 Seguridad cuestionable.
- 1-1.25 Inestable.
- 1.25-1.40 Seguridad Relativa.
- =1.50 Satisfactorio para taludes
- =1.50 Satisfactorio para taludes de presas de tierra o enrocamiento.

El factor de seguridad para la superficie de falla, se compone con un  $FS_{min} = 1.5$

- $FS=1$ : equilibrio, tiende a la falla.
- $FS>1$ : relativamente estable.
- $FS<1$ : inestable.

**b) Análisis de estabilidad de taludes.**

La Estabilidad de un talud en ingeniería se define en términos de un factor de seguridad (FS), obtenido de un análisis matemático de estabilidad. El modelo debe tener en cuenta la mayoría de los factores que afectan la estabilidad. Estos factores incluyen geometría del talud,



parámetros geológicos, presencia de grietas de tensión, cargas dinámicas por acción de sismos, flujo de agua, propiedades de los suelos. (Díaz, Julio 1998)

## **2.3 Hipótesis**

### **2.3.1 Hipótesis general.**

La evaluación del factor de seguridad del talud correspondiente a la Quebrada de Sipaspucyo influirá directamente en función de la topografía, estudios de infiltración y propiedades mecánicas de los suelos.

### **2.3.2 Sub hipótesis.**

- **Sub hipótesis N° 1:** La pendiente es el parámetro que influirá dentro de la topografía para la evaluación del factor de seguridad correspondiente al talud de la quebrada de Sipaspucyo.
- **Sub hipótesis N° 2:** Los resultados de los estudios de infiltración si afectaran en el análisis a evaluación del talud correspondiente a la quebrada de Sipaspucyo
- **Sub hipótesis N° 3:** Las propiedades mecánicas de los suelos del talud influyen notablemente en la evaluación del factor de seguridad del talud correspondiente a la quebrada de Sipaspucyo
- **Sub hipótesis N° 4:** Al modificar la topografía del talud correspondiente a la quebrada de Sipaspucyo se mejora el del factor de seguridad.

## **2.4 Definición de variables.**

### **2.4.1 Variables independientes.**

- VI 1. Topografía



Descripción: La topografía es la ciencia que estudia el conjunto de principios y procedimientos que tienen por objeto la representación gráfica de la superficie de la Tierra, con sus formas y detalles, tanto naturales como artificiales.

Indicadores: Altitud (m), Longitud (m), Latitud (m)

- VI 2. Estudios de Infiltración

Descripción: La infiltración es el proceso por el cual el agua penetra desde la superficie del terreno hacia el suelo. En una primera etapa satisface la deficiencia de humedad del suelo en una zona cercana a la superficie, y posteriormente superado cierto nivel de humedad, pasa a formar parte del agua subterránea, saturando los espacios vacíos.

Indicadores: Índice de infiltración (cm/seg)

- VI 3. Propiedades mecánicas de los suelos.

Descripción: Se definen como las propiedades del suelo relacionada con la reacción elástica y rígida del mismo al aplicársele una fuerza.

Indicadores: Contenido de humedad (%), Granulometría de los suelos (%), Índice de plasticidad (%), Peso específico del suelo (gm/cm<sup>3</sup>), Angulo de fricción (°), Esfuerzos normales (kg/cm<sup>2</sup>), Esfuerzos cortantes (kg/cm<sup>2</sup>), Cohesión, Clasificación de los suelos.

#### **2.4.2 Variables dependientes.**

- VD 1. Factor de Seguridad

Descripción: El coeficiente de seguridad (también conocido como factor de seguridad) es el cociente entre el valor calculado de la capacidad máxima de un sistema y el valor del requerimiento esperado real a que se verá sometido.

Indicadores:





- $FS_{min} = 1.5$
- $FS=1$ : equilibrio, tiende a la falla.,
- $FS>1$  : relativamente estable
- $FS<1$  : inestable.



2.4.3 Cuadro de operación de variables.

Tabla 5 : Cuadro de operacionalización de variables

TIPO	NOMBRE	DEFINICIÓN	NIVEL	INDICADOR	UND.	INSTRUMENTOS
INDEPENDIENTE	X1: Topografía	Compuesta por el relieve de la zona con las características.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Altitud,</li> <li>• Coordenadas UTM</li> <li>• Pendiente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cotas</li> <li>• Norte, Este</li> <li>• Inclinación.</li> </ul>	Metros Metros Grados sexagesimales	Guías de observación de Laboratorio.
	X2: Estudios de infiltración del talud.	Es la capacidad de absorción que tienen los suelos para filtrar y retener el agua proveniente de las lluvias.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coeficiente de Infiltración</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Velocidad de infiltración.</li> </ul>	cm/hr.	Guías de observación de Laboratorio.
	X3: Propiedades Mecánicas de los Suelos.	Son propiedades físicas que caracterizan al sector en estudio, las cuales describen el comportamiento del suelos al aplicarle una fuerza.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contenido de humedad</li> <li>• Índice de plasticidad.</li> <li>• Peso específico del suelo</li> <li>• Angulo de fricción</li> <li>• Granulometría de los suelos</li> <li>• Clasificación de los suelos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Esfuerzos normales</li> <li>• Esfuerzos cortantes</li> <li>• Cohesión</li> </ul>	Porcentaje. Adimensional tn/m3 grados sexagesimales. kPa. kPa. kPa. Clasificación SUCCS	Guías de observación de Laboratorio.
DEPENDIENTE	Y1: Factor de seguridad del talud.	Es el que toma en cuenta la tensión cortante disponible y la tensión cortante al equilibrio, es decir la suma de todas las fuerzas actuantes en el plano.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Equilibrio.</li> <li>• Equilibrio que tiende a falla.</li> <li>• Relativamente estable.</li> <li>• Inestable</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• FS min =1.5</li> <li>• FS=1</li> <li>• FS&gt;1.5</li> <li>• FS&lt;1.5</li> </ul>	Adimensional	Métodos de estabilización por Bishop Simplificado

Fuente: Elaboración propia



## **CAPITULO III**

# **METODOLOGÍA**



### **3 CAPITULO III. METODOLOGÍA**

#### **3.1 Metodología de la investigación**

##### **3.1.1 Enfoque de la investigación**

Según (Hernandez, Fernandez, & Baptista, 2010, pág. 105) de acuerdo al enfoque el tipo de Investigación es Tipo Cuantitativo.

Por la razón de que los datos se acercan a la realidad de una manera objetiva y además que en su totalidad los datos son numéricos ya que los parámetros son medibles y además se comparan para dar la comprobación de las hipótesis.

##### **3.1.2 Nivel o alcance de la investigación**

Para (Roberto Hernandez Sampieri C. F., 2010, pág. 110), el nivel de investigación es Descriptivo – Correlacional. Se menciona descriptivo ya que especificamos las propiedades del suelo tal y como son en la realidad, sin alteraciones y se recolecta información verídica como es en la topografía, datos para la evaluación hidrológica y muestras reales de la zona para el estudio geotécnico. Lo de correlacionar corresponde a que sea realiza comparación de los resultados de la investigación.

##### **3.1.3 Método de la investigación**

Se emplea el método científico, porque se debe llegar a una conclusión a partir de una idea Método Hipotético – Deductivo. Ya que se aplica un tipo de lógica deductiva en base a criterio y juicios que planteamos en un reconocimiento de campo y luego de poder investigar realizamos una evaluación para la estabilización y con esto llegamos a la aprobación y desaprobarción de nuestra hipótesis planteada con los resultados obtenidos de la comparación de los métodos de estabilización utilizados. (Hernández, 2014).



## **3.2 Diseño de la investigación**

### **3.2.1 Diseño metodológico**

El diseño es no experimental ya que no se manipula las variables como son las propiedades de los suelos, los datos topográficos que son característicos en el momento de realizar los ensayos y pruebas estas son características de la zona. Lo denominamos tran-seccional ya que la obtención de estos datos esta dado en un determinado momento describiendo las características en ese instante y luego de calcular para determinar nuestras variables las comparamos, es decir las correlacionamos para dar nuestras conclusiones. (Roberto Hernandez Sampieri C. F., 2010)

3.2.2 Diseño de ingeniería.

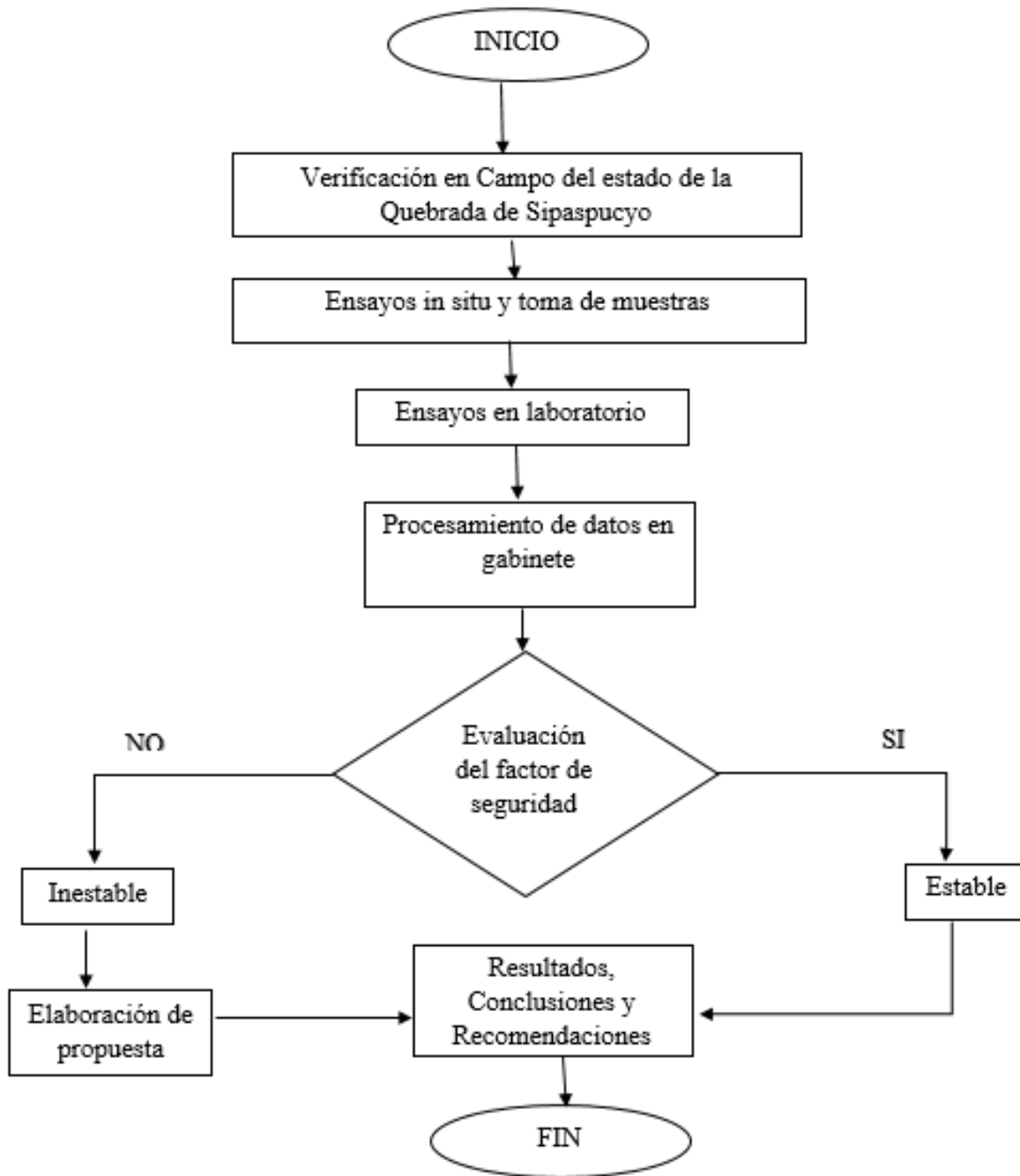


Figura 27: Diseño de Ingeniería.

Fuente: *Elaboración propia*



### 3.3 Población y muestra

#### 3.3.1 Población

##### **Descripción de la población.**

La población se constituye por un sector de la quebrada de Sipaspucyo del Distrito de Cusco, y esto se limita a estudiar las características del suelo del talud inestable. Según el determinado cuadrante establecido por las coordenadas UTM.

##### **Cuantificación de la población.**

La población cuantificada corresponde a las características de los suelos encontrada en un área aproximada de 33,902.128 m<sup>2</sup>.

#### 3.3.2 Muestra.

##### **Descripción de la muestra.**

La muestra que se toma es de tipo censal, ya que la zona de estudio está determinada por el sector de la quebrada y las muestras que se tiene se basa en la norma CE 0.20 Estabilización de suelos y taludes. Que indica que la evaluación de las muestras será para identificar

- Las propiedades mecánicas de los suelos
- El comportamiento geodinámica del área.
- El flujo del agua.
- La geometría del talud.
- Topografía del entorno.

##### **Cuantificación de la muestra.**

Según los criterios de evaluación para la investigación se considera lo siguiente:

- Para lo que corresponde la geometría del talud y la topografía del entorno se considera 01 estudio topográfico detallado del sector.
- Para los estudios de infiltración dentro del sector se realizó 04 pruebas.
- Para el estudio de las propiedades mecánicas de los suelos se realiza 06 calicatas o puntos.
- Para determina una posible línea de falla se considera ensayos de penetración estándar en 06 puntos del talud.



**Métodos de muestreo.**

El método es no probabilístico, ósea el muestreo será intencional o de conveniencia según el criterio del investigador, esto está tomado según el programa de investigación mínimo requerido para el estudio de mecánica de suelos de la norma NTP E 050 de Suelos y Cimentaciones, ya que se caracteriza por obtener las muestras representativas necesarias.

**Criterios de evaluación de muestra.**

Los criterios de evaluación se darán en función a la norma CE 0.20 Estabilización de suelos y taludes lo cual hace mención a la evaluación y métodos de ensayo de las muestras según la Norma Técnica Peruana para lo cual se realizará la siguiente toma de datos para los siguientes ensayos:

**Tabla 6: Cuadro de ensayos a desarrollarse para el análisis de la quebrada Sipaspucyo.**

ENSAYOS	NORMATIVIDAD O MÉTODO
Topografía	
Infiltración	Método de Porchet
Propiedades mecánicas de los suelos	
- Humedad	MTC E 108 - 2000
- Granulometría	MTC E 107 – 2000, ASTM D 422
- Límites de consistencia	MTC E 110 & E 111 – 2000, ASTM D 423 & D 424
- Corte directo	MTC E 107 – 2000, ASTM D 422
- Ensayo Cono Sowers	Descripción de procedimiento del fabricante (Durgham Geo Slope Indicator)
- Ensayo de Penetración estándar (SPT).	ASTM D 1586

*Fuente: Elaboración propia*

**3.3.3 Criterios de inclusión**

Los criterios a tomar son los siguientes:

- Las calicatas solo corresponden al sector de la Quebrada de Sipaspucyo.





- Las calicatas tienen una dimensión de 1.00m x 1.20m y con una profundidad mínima de 4.00m en suelos blandos y de 2.50m en terreno rocoso.
- Se tomará los criterios de triangulación y las curvas de nivel para lo que corresponde a la topografía del sector y la geometría del talud.
- Las ubicaciones de las calicatas solo están situadas en el sector inestable del talud de la quebrada de Sipaspucyo.
- El estudio de suelos solo se limita a un área aproximada de 14,883.243 m<sup>2</sup> según los datos topográficos tomados.
- Para las pruebas de Penetración Estándar se tomaron en la base del talud de manera que se pueda oscultar para determinar la línea de falla.



3.4 Instrumentos

3.4.1 Instrumentos metodológicos o instrumentos de recolección de datos.

Tabla 7: Formato N° 1 toma de datos para levantamiento topográfico

	<b>FACULTAD DE INGENIERIA</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA</b>	
--	--	--

**LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO**

<b>TESIS:</b>	EVALUACIÓN DEL FACTOR DE SEGURIDAD DEL TALUD CORRESPONDIENTE A LA QUEBRADA DE SIPASPUCYO, EN FUNCIÓN A LA TOPOGRAFÍA, ESTUDIOS DE INFILTRACIÓN Y PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS SUELOS.		
<b>REALIZADO:</b>			
<b>Ubicación:</b>			
<b>Página:</b>		<b>Fecha:</b>	

Punto	Norte (m)	Este (m)	Elevación (m)	Descripción
1				
2				
4				
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				

Fuente: Elaboración propia



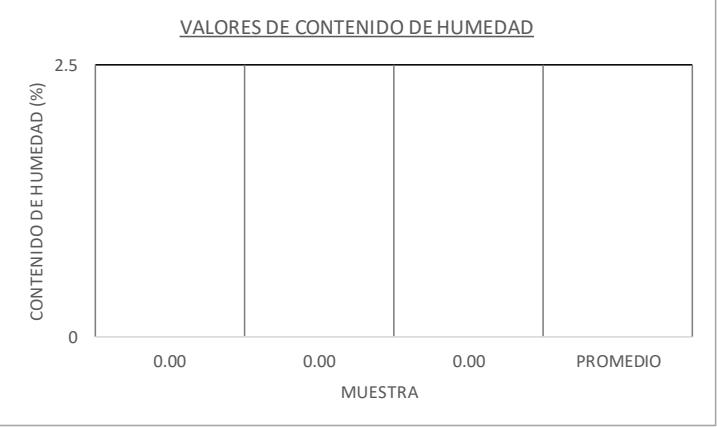
**Tabla 8: Formato N° 2 Ensayo de infiltración.**

<p><b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b>          FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA          ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL</p>							
<p><b>TESIS: EVALUACIÓN DEL FACTOR DE SEGURIDAD DEL TALUD CORRESPONDIENTE A LA QUEBRADA DE SIPASPUCYO, EN FUNCIÓN A LA TOPOGRAFÍA, ESTUDIOS DE INFILTRACIÓN Y PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS SUELOS.</b></p>							
<p><b>ENSAYO DE PERMEABILIDAD - PORCHET (MINVU, 1996)</b></p>							
Realizado por:	Ensayo:						
Ubicación:	Fecha:						
<p>Radio ( R)=                      Cm    Capacidad de infiltracion(f):</p> <p>Altura (H)=                      Cm</p> <p>Superficie de infiltracion inicial:</p> $S = \pi * R * (2H + R)$ <p>S =                                      0 Cm^2</p> $f = \frac{R}{2 * (t_2 - t_1)} * \ln\left(\frac{2h_1 + R}{2h_2 + R}\right)$							
Nivel (Cm)	Tiempo (Min)	Tiempo (Seg)	2H+R (Cm)	Volumen Infiltrado (Cm^3/s)	f (Cm/s)	Infiltracion (mm/hr.)	Infiltracion (cm/hr.)
PROMEDIO							

**GRÁFICA DE INFILTRACIÓN**

*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 9: Formato N° 3 Ensayo de contenido natural de humedad.**

	<p><b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL</p> <hr/> <p><b>TESIS: EVALUACIÓN DEL FACTOR DE SEGURIDAD DEL TALUD CORRESPONDIENTE A LA QUEBRADA DE SIPASPUCYO, EN FUNCIÓN A LA TOPOGRAFÍA, ESTUDIOS DE INFILTRACIÓN Y PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS SUELOS.</b></p>	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD PARA MUESTRAS DE SUELO</b>		
Realizado por:		Ensayo:
Ubicación:		Fecha:
<b>Muestra N°</b>		
N° de recipiente (gr.)		
Peso del recipiente (gr.)		
Peso del recip. + muestra húmeda (gr.)		
Peso del recip. + muestra seca (gr.)		
Peso del agua (gr.)		
Peso de la muestra seca (gr.)		
<b>Contenido de humedad (%)</b>		
<b>PROMEDIO</b>		
<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; margin: 10px auto; width: 80%;"> <p style="text-align: center;"><u>VALORES DE CONTENIDO DE HUMEDAD</u></p>  </div>		

*Fuente: Elaboración propia*





Tabla 11 : Formato N° 5 Ensayo de límites de consistencia

**UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO**  
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

**TESIS: EVALUACIÓN DEL FACTOR DE SEGURIDAD DEL TALUD CORRESPONDIENTE A LA QUEBRADA DE SIPASPUCYO, EN FUNCIÓN A LA TOPOGRAFÍA, ESTUDIOS DE INFILTRACIÓN Y PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS SUELOS.**

---

**LIMITES DE CONSISTENCIA Y CLASIFICACIÓN DE SUELOS POR EL MÉTODO SUCS**

Realizado por: \_\_\_\_\_

Ubicación: \_\_\_\_\_

Ensayo: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_

Calicata: \_\_\_\_\_

MUESTRA : \_\_\_\_\_

Pozo \_\_\_\_\_ Estrato : \_\_\_\_\_ PROF. (m.): \_\_\_\_\_

**LIMITE LIQUIDO - ASTM 423-66**

PESOS \ MUESTRA	1	2	3	4
Peso de la Capsula (gr)				
Peso de la Capsula+Suelo Humedo (gr)				
Peso de la Capsula+ Suelo Seco (gr)				
Numero de golpes				
Peso del Suelo Seco (gr)				
Contenido de Humedad (w)				

**LIMITE LIQUIDO (%)**

**LIMITE PLASTICO - ASTM D424-59**

PESOS \ MUESTRA	1	2
Peso de la Capsula (gr)		
Peso de la Capsula+Suelo Humedo (gr)		
Peso de la Capsula+ Suelo Seco (gr)		
Peso del Suelo Seco (gr)		
Contenido de Humedad (w)		

**LIMITE PLASTICO (%)**

**INDICE PLASTICO IP=**

**LIMITE LIQUIDO**

**CLASIFICACIÓN SUCS:**

Fuente: Elaboración propia





Tabla 13 : Formato N° 6 Ensayo de cono Sowers

<b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA																																																																																																																																																																																																											
<b>TESIS: EVALUACIÓN DEL FACTOR DE SEGURIDAD DEL TALUD CORRESPONDIENTE A LA QUEBRADA DE SIPASPUCYO, EN FUNCIÓN A LA TOPOGRAFÍA, ESTUDIOS DE INFILTRACIÓN Y PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS SUELOS.</b>																																																																																																																																																																																																											
<b>ENSAYO DE CONO SOWERS</b>																																																																																																																																																																																																											
Realizado por:		Ensayo:																																																																																																																																																																																																									
Ubicación:		Fecha:																																																																																																																																																																																																									
		Calicata:																																																																																																																																																																																																									
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 50%;">Tipo Penetrómetro</th> <th style="width: 50%;">Cono Sowers</th> </tr> <tr> <td>Peso de Martillo W (kg)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Altura de Caída H (cm)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Área de Punta A (cm<sup>2</sup>)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Espesor de Hincia E (cm)</td> <td></td> </tr> </table>				Tipo Penetrómetro	Cono Sowers	Peso de Martillo W (kg)		Altura de Caída H (cm)		Área de Punta A (cm <sup>2</sup> )		Espesor de Hincia E (cm)																																																																																																																																																																																															
Tipo Penetrómetro	Cono Sowers																																																																																																																																																																																																										
Peso de Martillo W (kg)																																																																																																																																																																																																											
Altura de Caída H (cm)																																																																																																																																																																																																											
Área de Punta A (cm <sup>2</sup> )																																																																																																																																																																																																											
Espesor de Hincia E (cm)																																																																																																																																																																																																											
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 15%;">Profundidad</th> <th style="width: 85%;">Numero de golpes del Cono Sowers</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.1</td><td></td></tr> <tr><td>0.2</td><td></td></tr> <tr><td>0.4</td><td></td></tr> <tr><td>0.5</td><td></td></tr> <tr><td>0.6</td><td></td></tr> <tr><td>0.7</td><td></td></tr> <tr><td>0.8</td><td></td></tr> <tr><td>0.9</td><td></td></tr> <tr><td>1.0</td><td></td></tr> <tr><td>1.1</td><td></td></tr> <tr><td>1.2</td><td></td></tr> <tr><td>1.3</td><td></td></tr> <tr><td>1.4</td><td></td></tr> <tr><td>1.5</td><td></td></tr> <tr><td>1.6</td><td></td></tr> <tr><td>1.7</td><td></td></tr> <tr><td>1.8</td><td></td></tr> <tr><td>1.9</td><td></td></tr> <tr><td>2.0</td><td></td></tr> <tr><td>2.1</td><td></td></tr> <tr><td>2.2</td><td></td></tr> <tr><td>2.3</td><td></td></tr> <tr><td>2.4</td><td></td></tr> <tr><td>2.5</td><td></td></tr> <tr><td>2.6</td><td></td></tr> <tr><td>2.7</td><td></td></tr> <tr><td>2.8</td><td></td></tr> <tr><td>2.9</td><td></td></tr> <tr><td>3.0</td><td></td></tr> <tr><td>3.1</td><td></td></tr> <tr><td>3.2</td><td></td></tr> <tr><td>3.3</td><td></td></tr> <tr><td>3.4</td><td></td></tr> <tr><td>3.5</td><td></td></tr> <tr><td>3.6</td><td></td></tr> <tr><td>3.7</td><td></td></tr> <tr><td>3.8</td><td></td></tr> <tr><td>3.9</td><td></td></tr> <tr><td>4.0</td><td></td></tr> <tr><td>4.1</td><td></td></tr> <tr><td>4.2</td><td></td></tr> <tr><td>4.3</td><td></td></tr> <tr><td>4.4</td><td></td></tr> <tr><td>4.5</td><td></td></tr> <tr><td>4.6</td><td></td></tr> <tr><td>4.7</td><td></td></tr> <tr><td>4.8</td><td></td></tr> <tr><td>4.9</td><td></td></tr> <tr><td>5.0</td><td></td></tr> <tr><td>5.1</td><td></td></tr> <tr><td>5.2</td><td></td></tr> <tr><td>5.3</td><td></td></tr> <tr><td>5.4</td><td></td></tr> <tr><td>5.5</td><td></td></tr> <tr><td>5.6</td><td></td></tr> <tr><td>5.7</td><td></td></tr> <tr><td>5.8</td><td></td></tr> <tr><td>5.9</td><td></td></tr> <tr><td>6.0</td><td></td></tr> <tr><td>6.1</td><td></td></tr> <tr><td>6.2</td><td></td></tr> <tr><td>6.3</td><td></td></tr> <tr><td>6.4</td><td></td></tr> <tr><td>6.5</td><td></td></tr> <tr><td>6.6</td><td></td></tr> <tr><td>6.7</td><td></td></tr> <tr><td>6.8</td><td></td></tr> <tr><td>6.9</td><td></td></tr> <tr><td>7.0</td><td></td></tr> <tr><td>7.1</td><td></td></tr> <tr><td>7.2</td><td></td></tr> <tr><td>7.3</td><td></td></tr> <tr><td>7.4</td><td></td></tr> <tr><td>7.5</td><td></td></tr> <tr><td>7.6</td><td></td></tr> <tr><td>7.7</td><td></td></tr> <tr><td>7.8</td><td></td></tr> <tr><td>7.9</td><td></td></tr> <tr><td>8.0</td><td></td></tr> <tr><td>8.1</td><td></td></tr> <tr><td>8.2</td><td></td></tr> <tr><td>8.3</td><td></td></tr> <tr><td>8.4</td><td></td></tr> <tr><td>8.5</td><td></td></tr> <tr><td>8.6</td><td></td></tr> <tr><td>8.7</td><td></td></tr> <tr><td>8.8</td><td></td></tr> <tr><td>8.9</td><td></td></tr> <tr><td>9.0</td><td></td></tr> <tr><td>9.1</td><td></td></tr> <tr><td>9.2</td><td></td></tr> <tr><td>9.3</td><td></td></tr> <tr><td>9.4</td><td></td></tr> <tr><td>9.5</td><td></td></tr> <tr><td>9.6</td><td></td></tr> <tr><td>9.7</td><td></td></tr> <tr><td>9.8</td><td></td></tr> <tr><td>9.9</td><td></td></tr> <tr><td>##</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>				Profundidad	Numero de golpes del Cono Sowers	0.1		0.2		0.4		0.5		0.6		0.7		0.8		0.9		1.0		1.1		1.2		1.3		1.4		1.5		1.6		1.7		1.8		1.9		2.0		2.1		2.2		2.3		2.4		2.5		2.6		2.7		2.8		2.9		3.0		3.1		3.2		3.3		3.4		3.5		3.6		3.7		3.8		3.9		4.0		4.1		4.2		4.3		4.4		4.5		4.6		4.7		4.8		4.9		5.0		5.1		5.2		5.3		5.4		5.5		5.6		5.7		5.8		5.9		6.0		6.1		6.2		6.3		6.4		6.5		6.6		6.7		6.8		6.9		7.0		7.1		7.2		7.3		7.4		7.5		7.6		7.7		7.8		7.9		8.0		8.1		8.2		8.3		8.4		8.5		8.6		8.7		8.8		8.9		9.0		9.1		9.2		9.3		9.4		9.5		9.6		9.7		9.8		9.9		##	0
Profundidad	Numero de golpes del Cono Sowers																																																																																																																																																																																																										
0.1																																																																																																																																																																																																											
0.2																																																																																																																																																																																																											
0.4																																																																																																																																																																																																											
0.5																																																																																																																																																																																																											
0.6																																																																																																																																																																																																											
0.7																																																																																																																																																																																																											
0.8																																																																																																																																																																																																											
0.9																																																																																																																																																																																																											
1.0																																																																																																																																																																																																											
1.1																																																																																																																																																																																																											
1.2																																																																																																																																																																																																											
1.3																																																																																																																																																																																																											
1.4																																																																																																																																																																																																											
1.5																																																																																																																																																																																																											
1.6																																																																																																																																																																																																											
1.7																																																																																																																																																																																																											
1.8																																																																																																																																																																																																											
1.9																																																																																																																																																																																																											
2.0																																																																																																																																																																																																											
2.1																																																																																																																																																																																																											
2.2																																																																																																																																																																																																											
2.3																																																																																																																																																																																																											
2.4																																																																																																																																																																																																											
2.5																																																																																																																																																																																																											
2.6																																																																																																																																																																																																											
2.7																																																																																																																																																																																																											
2.8																																																																																																																																																																																																											
2.9																																																																																																																																																																																																											
3.0																																																																																																																																																																																																											
3.1																																																																																																																																																																																																											
3.2																																																																																																																																																																																																											
3.3																																																																																																																																																																																																											
3.4																																																																																																																																																																																																											
3.5																																																																																																																																																																																																											
3.6																																																																																																																																																																																																											
3.7																																																																																																																																																																																																											
3.8																																																																																																																																																																																																											
3.9																																																																																																																																																																																																											
4.0																																																																																																																																																																																																											
4.1																																																																																																																																																																																																											
4.2																																																																																																																																																																																																											
4.3																																																																																																																																																																																																											
4.4																																																																																																																																																																																																											
4.5																																																																																																																																																																																																											
4.6																																																																																																																																																																																																											
4.7																																																																																																																																																																																																											
4.8																																																																																																																																																																																																											
4.9																																																																																																																																																																																																											
5.0																																																																																																																																																																																																											
5.1																																																																																																																																																																																																											
5.2																																																																																																																																																																																																											
5.3																																																																																																																																																																																																											
5.4																																																																																																																																																																																																											
5.5																																																																																																																																																																																																											
5.6																																																																																																																																																																																																											
5.7																																																																																																																																																																																																											
5.8																																																																																																																																																																																																											
5.9																																																																																																																																																																																																											
6.0																																																																																																																																																																																																											
6.1																																																																																																																																																																																																											
6.2																																																																																																																																																																																																											
6.3																																																																																																																																																																																																											
6.4																																																																																																																																																																																																											
6.5																																																																																																																																																																																																											
6.6																																																																																																																																																																																																											
6.7																																																																																																																																																																																																											
6.8																																																																																																																																																																																																											
6.9																																																																																																																																																																																																											
7.0																																																																																																																																																																																																											
7.1																																																																																																																																																																																																											
7.2																																																																																																																																																																																																											
7.3																																																																																																																																																																																																											
7.4																																																																																																																																																																																																											
7.5																																																																																																																																																																																																											
7.6																																																																																																																																																																																																											
7.7																																																																																																																																																																																																											
7.8																																																																																																																																																																																																											
7.9																																																																																																																																																																																																											
8.0																																																																																																																																																																																																											
8.1																																																																																																																																																																																																											
8.2																																																																																																																																																																																																											
8.3																																																																																																																																																																																																											
8.4																																																																																																																																																																																																											
8.5																																																																																																																																																																																																											
8.6																																																																																																																																																																																																											
8.7																																																																																																																																																																																																											
8.8																																																																																																																																																																																																											
8.9																																																																																																																																																																																																											
9.0																																																																																																																																																																																																											
9.1																																																																																																																																																																																																											
9.2																																																																																																																																																																																																											
9.3																																																																																																																																																																																																											
9.4																																																																																																																																																																																																											
9.5																																																																																																																																																																																																											
9.6																																																																																																																																																																																																											
9.7																																																																																																																																																																																																											
9.8																																																																																																																																																																																																											
9.9																																																																																																																																																																																																											
##	0																																																																																																																																																																																																										






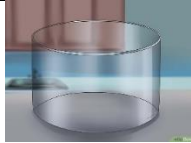


Fuente: Elaboración propia



### 3.4.2 Instrumentos de ingeniería.









Para la toma de datos topográficos, el estudio de infiltración, como el estudio de mecánica de suelos y otros ensayos se usaron los siguientes instrumentos.

**Tabla 14 : Instrumentos de ingeniería para la toma de datos topográficos y de infiltración.**

PRUEBA O ENSAYO	INSTRUMENTO	ESPECIFICACIONES	IMAGEN DE REFERENCIA
Topografía	Equipo de estación total.	Trípode, estación total marca TOPCON ES-105 y prismas	
	GPS	Instrumento para geo referenciar el levantamiento topográfico.	
	Libreta de topografía	Libreta para anotación del bosquejo, BM, calicatas y ensayos realizados en campo	
	Cámara	Para el panel fotográfico 13Mpx	
Infiltración	Regla	Instrumento de medición de 30cm	
	Recipiente cilíndrico hueco	Para poder evitar la pérdida de agua por los costados con diámetro de 25cm	
	cronometro	Instrumento de medición cronológica con medición de seg y micras de segundo.	
	Pico y pala	Instrumentos para la excavación de los agujeros.	










**Fuente: Elaboración propia**

**Tabla 15 : Instrumentos de ingeniería para la toma de datos en ensayos de contenido de humedad y granulometría.**

PRUEBA O ENSAYO	INSTRUMENTO	ESPECIFICACIONES	IMAGEN DE REFERENCIA
<b>Estudio De Mecánica De Suelos</b>			
Calicatas	Pico y pala	Instrumentos necesarios para la excavación de los puntos de estudio	
Ensayo de Humedad	Horno eléctrico	Horno con capacidad de elevar la temperatura max de 110°C.	
	Balanza electrónica	Instrumento para el calcular el peso en gramos con sensibilidad de 0.1g.	
	Recipientes	Recipientes metálicos para poder recepcionar las muestras.	
Granulometría	Tamices	Juego de tamices de la malla 3", 2", 1½", 1", ¾", 3/8"), N° 4, N° 10, N° 20, N° 40, N° 60, N° 140 y N° 200.	
	Balanza electrónica	Balanza de medición de peso en kilos y con precisión de dos decimales.	
	Recipientes	Recipientes metálicos para poder recepcionar las muestras.	
	Horno eléctrico	Horno con control de temperatura adecuado.	



*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 16 : Instrumentos de ingeniería para la toma de datos en ensayos de límites de consistencia y corte directo.**

PRUEBA O ENSAYO	INSTRUMENTO	ESPECIFICACIONES	IMAGEN DE REFERENCIA
<b>Estudio De Mecánica De Suelos</b>			
Límites De Consistencia	Copa de casa grande	Instrumento calibrado para la determinación del número de golpes a revolución constante.	
	Probeta graduada	Probeta graduada en mililitros para poder agregar agua en cantidades graduadas	
	Lamina de vidrio	Lamina de vidrio esmerilada para poder realizar los rollos de arcilla para el límite plástico.	
	Balanza electrónica	Instrumento para el calcular el peso en gramos con sensibilidad de 0.1g.	
	Horno eléctrico	Horno con control de temperatura adecuado.	
	Recipientes.	Recipientes metálicos para poder recepcionar las muestras.	
Corte Directo	Máquina de corte directo	Máquina para poder medir la deformación que se produce en una muestra en función a esfuerzos normales y cizallantes.	
	Cronometro	Instrumento de medición cronológica con medición de seg y micras de segundo.	
	Molde	Moldeador es para poder tallar la muestra.	

*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 17 : Instrumentos de ingeniería para la toma de datos en ensayos de oscultación in situ con cono Sowers y SPT.**

PRUEBA O ENSAYO	INSTRUMENTO	ESPECIFICACIONES	IMAGEN DE REFERENCIA
<b>Estudio De Mecánica De Suelos</b>			
Penetración Dinámica Ligera	Instrumento de Ensayo Cono Sowers	Con el objeto de llegar a mayores profundidades y obtener -a través de correlaciones- propiedades de resistencia mecánica, se han realizados ensayos con cono Sowers	
Ensayo de Penetración Estándar	Equipo de SPT	Con fines de determinación de parámetros de resistencia mecánica; in situ, en el lugar de emplazamiento de la estructura proyectada. El ensayo de penetración estándar o SPT (del inglés standard penetration test), es un tipo de prueba de penetración dinámica, empleada para ensayar terrenos en los que se quiere realizar un reconocimiento geotécnico.	

*Fuente: Elaboración propia*

### 3.5 Procedimientos de recolección de datos.

#### 3.5.1 Levantamiento topográfico.

##### a) Equipos utilizados

- Estación Total Marca TOPCON ES-105
- GPS marca GARMIN
- Prisma y porta prisma
- Radios de Comunicación
- Trípode
- Libreta de campo
- Laptop para el procesamiento de datos



**b) Procedimiento**

Para poder llevar a cabo el levantamiento topográfico se realizó lo siguiente:

1. Se inició con el reconocimiento del terreno ubicando los posibles accesos, planificando como se iría avanzando en la toma de puntos teniendo en cuenta la visibilidad que tendría nuestra estación para coordinar los puntos de cambio.



**Figura 28 : Inicio de la toma de puntos para el levantamiento topográfico**

*Fuente: Elaboración propia*

2. Se inició el levantamiento poniendo nuestro BM o punto base al frente de nuestro talud (Quebrada de Sipaspucyo), luego se realizó la programación de la estación con otro punto de referencia.



**Figura 29 : Colocado de BM para el colocado de otro punto de referencia**

*Fuente: Elaboración propia.*

3. Se desplazaron los prismas a lo largo de la vía Cusco – Abancay tomando puntos en cada lado de la vía, después se continuó recorriendo el talud completamente, tomando los puntos en los sectores más representativos y con mayor ámbito de influencia, hasta poder ubicar el máximo puntos en el deslizamiento, en la parte inferior e intermedia también se tomó puntos de investigación.



**Figura 30 : Toma de puntos (mosqueo).**



*Fuente: Elaboración propia.*

4. Se continuo con el procesamiento de datos que se tomaron en la quebrada para mostrar un panorama digital la quebrada con el levantamiento topográfico y ubicar los puntos en donde se realizaron las ocultaciones y ensayos.





c) Toma de datos

Tabla 18 : Toma de Datos, puntos 01 – 39

 <b>FACULTAD DE INGENIERIA</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA</b> 				
<b>LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO</b>				
<b>TESIS:</b>	EVALUACIÓN DEL FACTOR DE SEGURIDAD DEL TALUD CORRESPONDIENTE A LA QUEBRADA DE SIPASPUCYO, EN FUNCIÓN A LA TOPOGRAFÍA, ESTUDIOS DE INFILTRACIÓN Y PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS SUELOS.			
<b>REALIZADO:</b>	Carlos Enrique Garcia Yopez Shirley Zenaida Bustamante Corrido			
<b>Ubicación:</b>	Quebrada de Sipaspucyo, Distrito del Cusco			
<b>Pagina:</b>	1			
<b>Fecha:</b>	17/12/2017			
Punto	Norte (m)	Este (m)	Elevación (m)	Descripción
1	8502998.001	175623.975	3519.940	BM - 01
2	8503052.212	175594.809	3525.565	BM - 02
4	8503034.999	175656.979	3490.383	Riachuelo
6	8503032.995	175655.470	3490.244	Riachuelo
7	8503033.380	175665.122	3489.776	Riachuelo
8	8503031.753	175665.337	3489.977	Riachuelo
9	8503031.804	175655.068	3490.251	Riachuelo
10	8503041.300	175654.088	3500.068	Flanco Derecho Inferior
11	8503042.016	175666.809	3498.421	Cuerpo Principal
12	8503034.622	175651.624	3490.636	CALICATA N° 4
13	8503044.450	175648.781	3506.728	Flanco Derecho Superior
14	8503051.597	175667.180	3505.710	Cuerpo Principal
15	8503035.053	175663.406	3490.053	CALICATA N° 5
16	8503049.731	175644.060	3513.869	Talud rocoso
17	8503030.203	175679.947	3489.199	CALICATA N° 6
18	8503063.817	175668.779	3514.980	Flanco Derecho Inferior
19	8503065.358	175647.702	3528.545	Talud rocoso
20	8503070.040	175672.304	3520.317	Cuerpo Principal
21	8503061.859	175649.243	3525.845	Talud rocoso estable
22	8503038.024	175685.427	3494.888	Flanco Izquierdo
23	8503059.180	175649.527	3523.470	CALICATA N° 3
24	8503042.759	175682.957	3498.074	Flanco Izquierdo
25	8503068.212	175676.964	3518.599	CALICATA N° 2 Ensayo Porchet
26	8503049.090	175683.207	3502.803	Flanco Izquierdo
27	8503055.103	175685.058	3506.920	Flanco Izquierdo
28	8503073.168	175669.450	3523.047	Flanco Derecho Inferior
29	8503066.795	175657.459	3525.469	Arbol Flanco Derecho
30	8503060.605	175686.933	3510.674	Flanco Izquierdo
31	8503073.172	175669.471	3523.006	Flanco Derecho Inferior
32	8503061.255	175687.121	3511.189	Flanco Izquierdo
33	8503076.126	175669.870	3525.545	Muro de Contencion
34	8503065.995	175690.166	3515.053	Flanco Izquierdo
35	8503078.756	175678.747	3526.457	Muro de Contencion
36	8503070.397	175692.196	3518.402	Flanco Izquierdo
37	8503072.989	175669.830	3522.720	Flanco Derecho Inferior
38	8503073.386	175676.781	3522.666	Cuerpo Principal
39	8503072.486	175693.133	3520.524	Flanco Izquierdo

Fuente: Elaboración propia.



**Tabla 19 : Toma de Datos, puntos 41– 80**

 <b>FACULTAD DE INGENIERIA</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA</b> 				
<b>LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO</b>				
<b>TESIS:</b>	EVALUACIÓN DEL FACTOR DE SEGURIDAD DEL TALUD CORRESPONDIENTE A LA QUEBRADA DE SIPASPUCYO, EN FUNCIÓN A LA TOPOGRAFÍA, ESTUDIOS DE INFILTRACIÓN Y PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS SUELOS.			
<b>REALIZADO:</b>	Carlos Enrique Garcia Yopez Shirley Zenaida Bustamante Corrido			
<b>Ubicación:</b>	Quebrada de Sipaspucyo, Distrito del Cusco			
<b>Página:</b>	2			
<b>Fecha:</b>	17/12/2017			
Punto	Norte (m)	Este (m)	Elevación (m)	Descripción
41	8503069.285	175676.396	3519.308	Cuerpo Principal
42	8503067.660	175669.368	3518.190	Flanco Derecho Inferior
43	8503076.427	175693.431	3522.861	Flanco Izquierdo
44	8503062.637	175666.173	3513.881	Flanco Derecho Inferior
45	8503062.181	175674.338	3513.916	Cuerpo Principal
46	8503078.731	175692.543	3524.161	Flanco Izquierdo
47	8503057.027	175664.507	3509.615	Flanco Derecho Inferior
48	8503058.867	175673.161	3511.786	Cuerpo Principal
50	8503081.041	175693.071	3525.979	Escarpe Principal
51	8503082.393	175689.776	3526.736	Escarpe Principal
52	8503081.894	175686.547	3527.633	Escarpe Principal
53	8503052.694	175662.526	3505.962	Flanco Derecho Inferior
54	8503051.724	175673.796	3506.718	Cuerpo Principal
55	8503046.976	175658.315	3501.991	Flanco Derecho Inferior
56	8503044.310	175674.728	3502.127	Cuerpo Principal
57	8503041.944	175657.747	3498.372	Flanco Derecho Inferior
58	8503038.838	175675.173	3498.212	Cuerpo Principal
59	8503037.219	175657.094	3494.470	Flanco Derecho Inferior
60	8503033.953	175678.546	3492.744	Base del Deslizamiento
61	8503072.005	175658.389	3528.745	Flanco Derecho Superior
62	8503075.634	175666.469	3528.938	Flanco Derecho Superior
63	8503037.193	175663.234	3493.063	Base del Deslizamiento
64	8503030.288	175677.030	3489.249	Riachuelo Flanco Derecho
65	8503077.565	175674.044	3529.191	Muro de Contencion
66	8503080.184	175682.249	3529.358	Escarpe Principal
68	8503081.892	175693.412	3530.286	Escarpe Principal
69	8503077.695	175695.818	3530.152	Escarpe Principal
70	8503034.780	175652.676	3490.500	Riachuelo Flanco Izquierdo
71	8503031.657	175651.288	3490.565	Riachuelo Flanco Derecho
72	8503033.667	175643.223	3490.792	Riachuelo Flanco Izquierdo
73	8503030.021	175644.803	3491.388	Riachuelo Flanco Derecho
74	8503068.782	175702.066	3521.632	Bosque de Talud Estable
75	8503031.656	175636.290	3491.545	Riachuelo Flanco Izquierdo
76	8503026.816	175635.958	3491.973	Riachuelo Flanco Derecho
77	8503065.225	175699.098	3518.292	Bosque de Talud Estable
78	8503025.879	175623.238	3492.587	Riachuelo Flanco Derecho
79	8503029.306	175624.961	3492.128	Riachuelo Flanco Izquierdo
80	8503062.996	175692.939	3517.163	CALICATA N° 1 Ensayo Porchet

*Fuente: Elaboración propia.*





**Tabla 20 : Toma de Datos, puntos 81 – 118**

 <b>FACULTAD DE INGENIERIA</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA</b> 				
<b>LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO</b>				
<b>TESIS:</b>	EVALUACIÓN DEL FACTOR DE SEGURIDAD DEL TALUD CORRESPONDIENTE A LA QUEBRADA DE SIPASPUCYO, EN FUNCIÓN A LA TOPOGRAFÍA, ESTUDIOS DE INFILTRACIÓN Y PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS SUELOS.			
<b>REALIZADO:</b>	Carlos Enrique Garcia Yopez Shirley Zenaida Bustamante Corrido			
<b>Ubicación:</b>	Quebrada de Sipaspucyo, Distrito del Cusco			
<b>Página:</b>	3	<b>Fecha:</b>	17/12/2017	
<b>Punto</b>	<b>Norte (m)</b>	<b>Este (m)</b>	<b>Elevación (m)</b>	<b>Descripción</b>
81	8503062.768	175688.180	3517.010	Flanco Izquierdo
82	8503028.649	175609.337	3493.699	Riachuelo Flanco Izquierdo
83	8503066.762	175691.893	3520.153	Flanco Izquierdo
84	8503010.497	175594.736	3494.534	Riachuelo Flanco Izquierdo
85	8503008.138	175596.393	3494.711	Riachuelo Flanco Derecho
86	8503070.521	175694.189	3523.308	LIM
87	8503008.611	175581.350	3497.464	Drenaje del Riachuelo
88	8503004.461	175582.697	3497.518	Drenaje del Riachuelo
89	8503072.762	175695.020	3525.814	Escarpe Principal
90	8503032.867	175630.191	3494.088	Talud Estable
91	8503023.309	175605.619	3495.333	Riachuelo Flanco Izquierdo
92	8503059.738	175692.288	3514.637	Bosque de Talud Estable
93	8503026.297	175601.165	3499.132	Talud Estable
94	8503036.989	175625.862	3499.823	Talud Estable
95	8503057.210	175686.750	3512.430	Escarpe Principal
96	8503029.143	175596.275	3503.430	Talud Estable
97	8503040.326	175621.545	3505.995	Talud Estable
98	8503032.744	175593.207	3508.207	Talud Estable
99	8503045.684	175615.687	3512.772	Talud Estable
100	8503031.867	175586.076	3512.388	Talud Estable
101	8503050.156	175617.043	3518.074	Talud Estable
102	8503054.525	175617.012	3521.981	Talud Estable
103	8503035.241	175581.609	3518.600	Talud Estable
104	8503053.100	175690.187	3508.891	Bosque de Talud Estable
105	8503056.860	175612.200	3525.992	Talud Estable
106	8503041.377	175578.571	3524.572	Talud Estable
107	8503050.846	175684.736	3507.221	Escarpe Principal
108	8503051.036	175591.822	3525.075	Cabeza de Talud Estable
109	8503033.934	175569.965	3523.827	Cabeza de Talud Estable
110	8503046.644	175684.136	3503.163	Escarpe Principal
111	8503034.066	175571.393	3523.728	Cabeza de Talud Estable
112	8503021.840	175558.610	3522.965	Cabeza de Talud Estable
113	8503045.878	175686.514	3501.206	Bosque de Talud Estable
114	8503015.213	175557.454	3521.739	Cabeza de Talud Estable
115	8503004.216	175554.475	3520.616	Cabeza de Talud Estable
116	8503043.360	175683.730	3499.732	Escarpe Principal
117	8502995.422	175558.139	3520.293	Cabeza de Talud Estable
118	8502988.346	175562.756	3520.402	Cabeza de Talud Estable



*Fuente: Elaboración propia.*

**Tabla 21 : Toma de Datos, puntos 119 – 156**

 <b>FACULTAD DE INGENIERIA</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA</b> 				
<b>LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO</b>				
<b>TESIS:</b>	EVALUACIÓN DEL FACTOR DE SEGURIDAD DEL TALUD CORRESPONDIENTE A LA QUEBRADA DE SIPASPUCYO, EN FUNCIÓN A LA TOPOGRAFÍA, ESTUDIOS DE INFILTRACIÓN Y PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS SUELOS.			
<b>REALIZADO:</b>	Carlos Enrique Garcia Yopez Shirley Zenaida Bustamante Corrido			
<b>Ubicación:</b>	Quebrada de Sipaspucyo, Distrito del Cusco			
<b>Pagina:</b>	4			
<b>Fecha:</b>	17/12/2017			
Punto	Norte (m)	Este (m)	Elevación (m)	Descripción
119	8503043.836	175686.503	3498.599	Ensayo Infiltracion Porchet
120	8502980.837	175577.596	3520.407	Cabeza de Talud Estable
121	8502983.669	175570.821	3520.255	Cabeza de Talud Estable
122	8503040.686	175687.433	3495.940	Bosque de Talud Estable
123	8502984.927	175612.323	3520.158	Cabeza de Talud Estable
124	8502979.278	175588.782	3520.385	Cabeza de Talud Estable
125	8503039.995	175691.534	3493.727	Escarpe de Base de Talud
126	8502972.876	175625.769	3520.508	Borde de la Calzada
127	8502980.449	175615.103	3520.531	Borde de la Calzada
128	8502977.238	175597.466	3520.697	Borde de la Calzada
129	8502967.522	175598.635	3521.072	Borde de la Calzada
130	8502979.217	175576.715	3520.308	Borde de la Calzada
131	8502969.410	175576.064	3521.056	Borde de la Calzada
132	8502989.133	175559.208	3520.650	Borde de la Calzada
133	8502982.538	175552.587	3521.521	Borde de la Calzada
134	8503010.800	175549.977	3521.430	Borde de la Calzada
135	8503006.571	175540.730	3522.263	Borde de la Calzada
136	8503033.279	175543.348	3523.196	Borde de la Calzada
137	8503034.622	175555.130	3522.567	Borde de la Calzada
138	8503048.662	175573.898	3524.000	Borde de la Calzada
139	8503055.146	175589.099	3524.866	Borde de la Calzada
140	8503063.926	175585.250	3525.041	Borde de la Calzada
141	8503063.342	175617.831	3526.216	Borde de la Calzada
142	8503072.135	175613.902	3526.260	Borde de la Calzada
143	8503052.758	175660.468	3505.006	Flanco Derecho Inferior
144	8503068.967	175636.868	3527.066	Borde de la Calzada
145	8503050.490	175658.039	3504.622	Flanco Derecho Inferior
146	8503075.461	175660.394	3528.192	Borde de la Calzada
147	8503048.181	175656.060	3502.973	Flanco Derecho Inferior
148	8503081.208	175680.431	3529.051	Borde de la Calzada
149	8503089.563	175678.894	3529.139	Borde de la Calzada
150	8503085.742	175696.627	3529.653	Borde de la Calzada
151	8503093.827	175694.634	3529.822	Borde de la Calzada
152	8503045.174	175655.834	3501.504	Flanco Derecho Inferior
153	8503081.110	175696.795	3530.685	Poste de Alumbrado
154	8503043.064	175653.481	3502.487	Flanco Derecho Inferior
155	8503070.783	175657.139	3528.542	Poste de Alumbrado
156	8503089.310	175673.709	3529.387	Poste de Alumbrado



*Fuente: Elaboración propia.*

**Tabla 22 : Toma de Datos, puntos 157 – 194**

 <b>FACULTAD DE INGENIERIA</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA</b> 				
<b>LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO</b>				
<b>TESIS:</b>	EVALUACIÓN DEL FACTOR DE SEGURIDAD DEL TALUD CORRESPONDIENTE A LA QUEBRADA DE SIPASPUCYO, EN FUNCIÓN A LA TOPOGRAFÍA, ESTUDIOS DE INFILTRACIÓN Y PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS SUELOS.			
<b>REALIZADO:</b>	Carlos Enrique Garcia Yopez Shirley Zenaida Bustamante Corrido			
<b>Ubicación:</b>	Quebrada de Sipaspucyo, Distrito del Cusco			
<b>Pagina:</b>	5      Fecha: 17/12/2017			
Punto	Norte (m)	Este (m)	Elevación (m)	Descripción
157	8503068.600	175654.677	3528.479	Flanco Derecho Superior
158	8503079.576	175635.561	3528.080	Poste de Alumbrado
159	8503044.383	175652.037	3504.225	Flanco Derecho Inferior
160	8503058.734	175653.840	3521.085	Flanco Derecho Superior
161	8503059.957	175618.948	3526.243	Poste de Alumbrado
162	8503044.252	175650.020	3505.832	Flanco Derecho Superior
163	8503067.619	175593.306	3525.835	Poste de Alumbrado
164	8503047.920	175577.345	3524.304	Poste de Alumbrado
165	8503050.364	175647.861	3513.268	Flanco Derecho Superior
166	8503030.764	175562.456	3523.188	Poste de Alumbrado
167	8503012.291	175551.720	3521.237	Poste de Alumbrado
168	8502986.731	175564.819	3520.264	Poste de Alumbrado
169	8502978.704	175589.535	3520.141	Poste de Alumbrado
170	8502985.075	175629.248	3519.924	Poste de Alumbrado
171	8503113.757	175698.749	3550.089	Talud Estable Encima de la Via
172	8503127.872	175692.766	3565.013	Talud Estable Encima de la Via
173	8503108.708	175681.102	3549.136	Talud Estable Encima de la Via
174	8503122.116	175678.419	3568.334	Talud Estable Encima de la Via
175	8503119.709	175662.760	3571.495	Talud Estable Encima de la Via
176	8503101.459	175661.025	3548.961	Talud Estable Encima de la Via
177	8503120.395	175648.647	3573.199	Talud Estable Encima de la Via
178	8503101.625	175643.182	3551.520	Talud Estable Encima de la Via
179	8503121.353	175633.300	3570.754	Talud Estable Encima de la Via
180	8503097.749	175624.691	3552.341	Talud Estable Encima de la Via
181	8503115.150	175618.281	3567.771	Talud Estable Encima de la Via
182	8503094.820	175612.354	3549.869	Talud Estable Encima de la Via
183	8503108.927	175604.797	3564.306	Talud Estable Encima de la Via
184	8503090.070	175597.721	3547.864	Talud Estable Encima de la Via
185	8503098.982	175602.812	3554.432	Talud Estable Encima de la Via
186	8503085.162	175603.614	3542.016	Talud Estable Encima de la Via
187	8503100.134	175617.692	3553.658	Talud Estable Encima de la Via
188	8503089.532	175619.086	3543.419	Talud Estable Encima de la Via
189	8503099.874	175629.744	3554.320	Talud Estable Encima de la Via
190	8503090.628	175629.013	3542.673	Talud Estable Encima de la Via
191	8503103.697	175642.585	3553.348	Talud Estable Encima de la Via
192	8503095.103	175641.607	3544.822	Talud Estable Encima de la Via
193	8503086.361	175619.792	3540.543	Talud Estable Encima de la Via
194	8503081.043	175615.688	3534.823	Talud Estable Encima de la Via

*Fuente: Elaboración propia.*

**Tabla 23 : Toma de Datos, puntos 195 – 233**

 <b>FACULTAD DE INGENIERIA</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA</b> 				
<b>LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO</b>				
<b>TESIS:</b>	EVALUACIÓN DEL FACTOR DE SEGURIDAD DEL TALUD CORRESPONDIENTE A LA QUEBRADA DE SIPASPUCYO, EN FUNCIÓN A LA TOPOGRAFÍA, ESTUDIOS DE INFILTRACIÓN Y PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS SUELOS.			
<b>REALIZADO:</b>	Carlos Enrique Garcia Yopez Shirley Zenaida Bustamante Corrido			
<b>Ubicación:</b>	Quebrada de Sipaspucyo, Distrito del Cusco			
<b>Página:</b>	6	<b>Fecha:</b>	17/12/2017	
<b>Punto</b>	<b>Norte (m)</b>	<b>Este (m)</b>	<b>Elevación (m)</b>	<b>Descripción</b>
195	8503078.055	175603.311	3535.998	Talud Estable Encima de la Via
196	8503047.373	175584.826	3524.758	Carpa de Almacen
197	8503050.451	175583.582	3524.841	Carpa de Almacen
198	8503045.104	175581.774	3524.833	Carpa de Almacen
199	8503043.107	175578.758	3524.679	Carpa de Almacen
200	8503033.841	175568.756	3523.856	Carpa de Almacen
201	8502973.859	175545.747	3522.422	Viviendas
202	8502964.756	175574.550	3521.515	Poste de Alumbrado
203	8502964.246	175573.361	3521.303	Poste de Alumbrado
204	8502991.828	175731.576	3518.981	BM - 03
206	8503078.999	175705.038	3530.626	Bosque de Talud Estable
207	8503086.751	175725.738	3531.883	Bosque de Talud Estable
208	8503070.037	175707.049	3523.342	Bosque de Talud Estable
209	8503078.715	175728.151	3523.980	Bosque de Talud Estable
210	8503063.512	175706.315	3518.549	Bosque de Talud Estable
211	8503061.588	175709.421	3516.228	Bosque de Talud Estable
212	8503072.834	175730.648	3518.076	Bosque de Talud Estable
213	8503060.208	175711.887	3513.624	Bosque de Talud Estable
214	8503057.369	175713.973	3510.050	Bosque de Talud Estable
215	8503067.588	175731.067	3513.971	Bosque de Talud Estable
216	8503052.231	175721.397	3503.546	Bosque de Talud Estable
217	8503059.312	175731.323	3507.629	Bosque de Talud Estable
218	8503044.511	175723.382	3497.232	Bosque de Talud Estable
219	8503051.485	175735.322	3501.680	Bosque de Talud Estable
220	8503038.679	175723.553	3491.155	Bosque de Talud Estable
221	8503042.912	175735.861	3495.252	Bosque de Talud Estable
222	8503032.766	175725.516	3487.423	Bosque de Talud Estable
223	8503039.284	175735.250	3489.661	Bosque de Talud Estable
224	8503034.024	175736.267	3486.603	Bosque de Talud Estable
225	8503026.905	175725.806	3486.162	Riachuelo Flanco Derecho
226	8503029.934	175726.412	3485.945	Riachuelo Flanco Izquierdo
227	8503035.283	175720.693	3486.615	Riachuelo Flanco Izquierdo
228	8503030.642	175716.228	3486.483	Riachuelo Flanco Derecho
229	8503037.122	175710.376	3486.833	Riachuelo Flanco Izquierdo
230	8503034.377	175708.975	3487.124	Riachuelo Flanco Derecho
231	8503032.113	175700.158	3488.088	Riachuelo Flanco Derecho
232	8503039.180	175702.498	3487.351	Riachuelo Flanco Izquierdo
233	8503029.954	175692.481	3488.549	Riachuelo Flanco Derecho

*Fuente: Elaboración propia.*

Tabla 24 : Toma de Datos, puntos 234 – 250

FACULTAD DE INGENIERIA ES CUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA				
LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO				
<b>TESIS:</b>	EVALUACIÓN DEL FACTOR DE SEGURIDAD DEL TALUD CORRESPONDIENTE A LA QUEBRADA DE SIPASPUCYO, EN FUNCIÓN A LA TOPOGRAFÍA, ESTUDIOS DE INFILTRACIÓN Y PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS SUELOS.			
<b>REALIZADO:</b>	Carlos Enrique Garcia Yopez Shirley Zenaida Bustamante Corrido			
<b>Ubicación:</b>	Quebrada de Sipaspucyo, Distrito del Cusco			
<b>Pagina:</b>	7	<b>Fecha:</b>	17/12/2017	
Punto	Norte (m)	Este (m)	Elevación (m)	Descripción
234	8503032.301	175688.718	3488.225	Riachuelo Flanco Izquierdo
235	8503038.433	175693.495	3490.246	Base de Talud Escarpado
236	8503040.923	175693.278	3493.314	Base de Talud Escarpado
237	8503038.801	175689.167	3494.477	Base de Talud Escarpado
238	8503036.692	175688.452	3493.380	Base de Talud Escarpado
239	8503035.489	175686.609	3493.502	Flanco Izquierdo
240	8503040.703	175684.841	3496.293	Flanco Izquierdo
241	8503033.545	175684.794	3493.638	Base de Talud Escarpado
242	8503033.874	175680.018	3493.292	Base de Talud Escarpado
243	8503038.953	175675.175	3498.216	Base de Talud Escarpado
244	8503034.602	175673.429	3493.792	Base de Talud Escarpado
245	8503040.425	175670.490	3498.034	Ensayo de Infiltracion
246	8503036.781	175667.685	3493.902	Base de Talud Escarpado
247	8503031.724	175666.378	3489.786	Riachuelo Flanco Derecho
248	8503034.524	175665.918	3489.786	Riachuelo Flanco Izquierdo
249	8503032.245	175673.308	3489.226	Riachuelo Flanco Izquierdo
250	8503030.416	175672.417	3489.390	Riachuelo Flanco Derecho

Fuente: Elaboración propia.

### 3.5.2 Estudio de infiltración.

#### a) Equipos utilizados.

- Pico.
- Badilejo
- Cinta métrica metálica
- Tubo de 12 cm de diámetro.
- Agua con colorante
- Cronometro.



- Formato N° 02 para toma de datos.

**b) Procedimiento.**

1. Seleccionamos un sector representativo para realizar el ensayo y explanando este sector, humedeciendo el pequeño sector de manera que se encuentre regularmente saturado.



**Figura 31 : Ubicación e instalación del equipo de infiltración**

*Fuente: Elaboración propia.*

2. Se realizó la excavación de forma circular y para colocar el tubo que se usó para realizar el ensayo de infiltración y se toma profundidades variables en diferentes sectores de acuerdo a la facilidad con que se pueda realizar la excavación.



**Figura 32 : Excavación y colocación del tubo de ensayo**

*Fuente: Elaboración propia.*

3. Se colocó el tubo, junto a ello la cinta métrica para su medición y luego se llenó con agua y se tomó las medidas cuando el agua iba bajando de acuerdo a ciertos tiempos establecidos arbitrariamente de manera que se puedan tomar las alturas referenciales.



**Figura 33 : Colocación del tubo de ensayo y toma de datos (tiempo y altura)**

**Fuente: Elaboración propia.**

4. Luego de tomar los datos estos deben ser convertidos en caso del tiempo de minutos a segundos, el de la altura de centímetros a milímetros.

c) Toma de datos.

**Tabla 25: Toma de datos, ensayo de infiltración (ubicación 01)**

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO		FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA		ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL			
		<b>TESIS: EVALUACIÓN DEL FACTOR DE SEGURIDAD DEL TALUD CORRESPONDIENTE A LA QUEBRADA DE SIPASPUCYO, EN FUNCIÓN A LA TOPOGRAFÍA, ESTUDIOS DE INFILTRACIÓN Y PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS SUELOS.</b>					
<b>ENSAYO DE PERMEABILIDAD - PORCHET (MINVU, 1996)</b>							
Realizado por:	García Yopez, Carlos Enrique	Ensayo:	<b>CALICATA 1</b>				
Ubicación:	Bustamante Corrido, Shirley Zenaida	Fecha:	19/12/2015				
	Quebrada de Sipaspucyo	Calicata:	2 con cilindro				
Radio ( R )= 6 Cm		Capacidad de infiltracion(f):					
Altura (H)= 39.50 Cm		$f = \frac{R}{2 * (t_2 - t_1)} * \ln\left(\frac{2h_1 + R}{2h_2 + R}\right)$					
Superficie de infiltracion inicial:							
$S = \pi * R * (2H + R)$							
S = 1602.21 Cm <sup>2</sup>							
Nivel (Cm)	Tiempo (Min)	Tiempo (Seg)	2H+R (Cm)	Volumen Infiltrado (Cm <sup>3</sup> /s)	f (Cm/s)	Infiltracion (mm/hr.)	Infiltracion (cm/hr.)
39.50	0.00	0.000	85	0			0
37.10	0.50	30.000	80.2	9.0478	0.0058128	209.26	20.925987
35.25	1.00	60.000	76.5	3.4872	0.0047233	170.04	17.003799
33.76	1.50	90.000	73.52	1.8724	0.0039733	143.04	14.303975
32.40	2.00	120.000	70.8	1.2818	0.0037698	135.71	13.571452
30.50	3.00	180.000	67	1.1938	0.0027583	99.30	9.9299486
29.00	4.00	240.000	64	0.7069	0.0022905	82.46	8.2457165
25.80	8.00	480.000	57.6	0.7540	0.0013170	47.41	4.7412232
24.00	10.00	600.000	54	0.3393	0.0016135	58.08	5.8084669
21.70	15.00	900.000	49.4	0.2890	0.0008903	32.05	3.2052104
20.40	20.00	1200.000	46.8	0.1225	0.0005407	19.46	1.94642
18.60	25.00	1500.000	43.2	0.1357	0.0008004	28.82	2.8815375
16.50	30.00	1800.000	39	0.1319	0.0010228	36.82	3.6820386
15.00	35.00	2100.000	36	0.0808	0.0008004	28.82	2.8815375
14.00	40.00	2400.000	34	0.0471	0.0005716	20.58	2.0577029
			<b>PROMEDIO</b>	2.1080	3.02E-03	79.4179	7.9418

**GRÁFICA DE INFILTRACIÓN**

**Fuente: Elaboración propia.**



**Tabla 26 : Toma de datos, ensayo de infiltración (ubicación 02)**

<b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL							
<b>TESIS: EVALUACIÓN DEL FACTOR DE SEGURIDAD DEL TALUD CORRESPONDIENTE A LA QUEBRADA DE SIPASPUCYO, EN FUNCIÓN A LA TOPOGRAFÍA, ESTUDIOS DE INFILTRACIÓN Y PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS SUELOS.</b>							
<b>ENSAYO DE PERMEABILIDAD - PORCHET (MINVU, 1996)</b>							
Realizado por:	García Yopez, Carlos Enrique Bustamante Corrido, Shirley Zenaida	Ensayo:	<b>CALICATA 2</b>				
Ubicación:	Quebrada de Sipaspucyo	Fecha:	07/12/2017				
		Calicata	2 con cilindro				
Radio ( R )= 6 Cm Altura (H)= 45.45 Cm Superficie de infiltracion inicial: $S = \pi * R * (2H + R)$ S = 1826.594 Cm <sup>2</sup>		Capacidad de infiltracion(f): $f = \frac{R}{2 * (t_2 - t_1)} * \ln\left(\frac{2h_1 + R}{2h_2 + R}\right)$					
Nivel (Cm)	Tiempo (Min)	Tiempo (Seg)	2H+R (Cm)	Volumen Infiltrado (Cm <sup>3</sup> /s)	f (Cm/s)	Infiltracion (mm/hr.)	Infiltracion (cm/hr.)
45.45	0.00	0.000	96.9038218	0			0
44.30	0.50	30.000	94.6	4.3426	0.0024061	86.62	8.6621338
43.25	1.00	60.000	92.50740306	1.9722	0.0022369	80.53	8.0527686
42.44	1.50	90.000	90.87068641	1.0284	0.0017851	64.26	6.4264345
41.91	2.00	120.000	89.81777902	0.4962	0.0011655	41.96	4.1956298
40.23	3.50	210.000	86.45001341	0.9069	0.0012739	45.86	4.5859888
39.29	4.50	270.000	84.58327966	0.3910	0.0010915	39.29	3.9293568
37.63	7.00	420.000	81.25565316	0.4480	0.0008027	28.90	2.8898072
35.56	10.00	600.000	77.11346561	0.3904	0.0008720	31.39	3.1393488
33.64	15.00	900.000	73.27302482	0.2413	0.0005109	18.39	1.8390739
30.31	20.00	1200.000	66.62369171	0.3133	0.0009513	34.25	3.4247623
28.01	35.00	2100.000	62.02000095	0.1240	0.0002387	8.59	0.8592398
26.01	45.00	2700.000	58.02845286	0.0836	0.0003326	11.97	1.1974225
24.12	55.00	3300.000	54.23909813	0.0649	0.0003377	12.16	1.2155659
21.06	75.00	4500.000	48.12132029	0.0769	0.0002992	10.77	1.0770902
<b>PROMEDIO</b>				1.1352	1.35E-03	36.7819	3.6782

**GRÁFICA DE INFILTRACIÓN**

**Fuente: Elaboración propia.**

**Tabla 27 : Toma de datos, ensayo de infiltración (ubicación 03)**

<b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL							
<b>TESIS: EVALUACIÓN DEL FACTOR DE SEGURIDAD DEL TALUD CORRESPONDIENTE A LA QUEBRADA DE SIPASPUCYO, EN FUNCIÓN A LA TOPOGRAFÍA, ESTUDIOS DE INFILTRACIÓN Y PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS SUELOS.</b>							
<b>ENSAYO DE PERMEABILIDAD - PORCHET (MINVU, 1996)</b>							
Realizado por:	García Yezpe, Carlos Enrique			Ensayo:	<b>CALICATA 3</b>		
Ubicación:	Quebrada de Sipaspucyo			Fecha:	07/12/2017		
				Calicata	2 con cilindro		
Radio ( R )= 6 Cm Altura (H)= 45.00 Cm Superficie de infiltracion inicial: $S = \pi * R * (2H + R)$ S = 1809.55737 Cm <sup>2</sup>				Capacidad de infiltracion(f): $f = \frac{R}{2 * (t_2 - t_1)} * \ln\left(\frac{2h_1 + R}{2h_2 + R}\right)$			
Nivel (Cm)	Tiempo (Min)	Tiempo (Seg)	2H+R (Cm)	Volumen Infiltrado (Cm <sup>3</sup> /s)	f (Cm/s)	Infiltracion (mm/hr.)	Infiltracion (cm/hr.)
45.00	0.00	0.000	96	0			0
43.00	0.50	30.000	92	7.5398	0.0042560	153.21	15.3214612
41.50	1.00	60.000	89	2.8274	0.0033152	119.35	11.9347946
40.00	1.50	90.000	86	1.8850	0.0034289	123.44	12.3440665
38.60	2.00	120.000	83.2	1.3195	0.0033100	119.16	11.9159814
37.00	3.00	180.000	80	1.0053	0.0019610	70.60	7.05972837
35.00	5.00	300.000	76	0.7540	0.0012823	46.16	4.61639649
33.00	8.00	480.000	72	0.4712	0.0009011	32.44	3.24403328
32.25	10.00	600.000	70.5	0.1414	0.0005263	18.95	1.89480683
29.00	15.00	900.000	64	0.4084	0.0009673	34.82	3.48226655
27.00	20.00	1200.000	60	0.1885	0.0006454	23.23	2.32338676
25.50	25.00	1500.000	57	0.1131	0.0005129	18.47	1.8465586
24.00	30.00	1800.000	54	0.0942	0.0005407	19.46	1.94641997
22.00	40.00	2400.000	50	0.0942	0.0003848	13.85	1.38529874
20.50	50.00	3000.000	47	0.0565	0.0003094	11.14	1.11375727
PROMEDIO				1.8169	2.22E-03	57.4493	5.7449

**GRÁFICA DE INFILTRACIÓN**

The graph plots Infiltration (cm/hr.) on the y-axis (ranging from -2.5 to 17.5) against Time (min) on the x-axis (ranging from 0.00 to 60.00). The data points, represented by blue circles connected by a solid line, show a rapid initial decrease in infiltration rate from approximately 15.3 cm/hr at 0.5 minutes to about 2.3 cm/hr at 20 minutes, after which the rate continues to decrease more slowly. A dotted logarithmic trendline is overlaid on the data, with the equation  $y = -3.2211 \ln(x) + 12.054$ .

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 28 : Toma de Datos, Ensayo de Infiltración (ubicación 04)**

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL					
<b>TESIS: EVALUACIÓN DEL FACTOR DE SEGURIDAD DEL TALUD CORRESPONDIENTE A LA QUEBRADA DE SIPASPUCYO, EN FUNCIÓN A LA TOPOGRAFÍA, ESTUDIOS DE INFILTRACIÓN Y PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS SUELOS.</b>							
<b>ENSAYO DE PERMEABILIDAD - PORCHET (MINVU, 1996)</b>							
Realizado por:	García Yopez, Carlos Enrique Bustamante Corrido, Shirley Zenaida	Ensayo:	<b>CALICATA 4</b>				
Ubicación:	Quebrada de Sipaspucyo	Fecha:	07/12/2017				
		Calicata	2 con cilindro				
Radio ( R )=	6 Cm	Cápacidad de infiltracion(f):					
Altura (H)=	44.50 Cm						
Superficie de infiltracion inicial:							
	$S = \pi * R * (2H + R)$						
S =	1790.707813 Cm <sup>2</sup>						
			$f = \frac{R}{2 * (t_2 - t_1)} * \ln\left(\frac{2h_1 + R}{2h_2 + R}\right)$				
Nivel (Cm)	Tiempo (Min)	Tiempo (Seg)	2H+R (Cm)	Volumen Infiltrado (Cm <sup>3</sup> /s)	f (Cm/s)	Infiltracion (mm/hr.)	Infiltracion (cm/hr.)
44.50	0.00	0.000	95	0			0
42.50	0.50	30.000	91	7.5398	0.0043017	154.86	15.48625863
40.85	1.00	60.000	87.7	3.1102	0.0036938	132.98	13.29753857
39.60	1.50	90.000	85.2	1.5708	0.0028920	104.11	10.4113676
38.65	2.00	120.000	83.3	0.8954	0.0022553	81.19	8.119038478
37.00	3.00	180.000	80	1.0367	0.0020211	72.76	7.27594461
35.00	5.00	300.000	76	0.7540	0.0012823	46.16	4.616396495
33.00	8.00	480.000	72	0.4712	0.0009011	32.44	3.244033276
32.30	10.00	600.000	70.6	0.1319	0.0004909	17.67	1.767237707
28.50	15.00	900.000	63	0.4775	0.0011390	41.00	4.100235052
27.00	20.00	1200.000	60	0.1414	0.0004879	17.56	1.75644591
25.50	25.00	1500.000	57	0.1131	0.0005129	18.47	1.846558598
24.00	30.00	1800.000	54	0.0942	0.0005407	19.46	1.946419966
22.00	40.00	2400.000	50	0.0942	0.0003848	13.85	1.38529874
20.50	50.00	3000.000	47	0.0565	0.0003094	11.14	1.113757267
			PROMEDIO	1.7764	2.11E-03	54.5475	5.4548

**GRÁFICA DE INFILTRACIÓN**

The graph plots Infiltration (cm/hr.) on the y-axis (ranging from -2.5 to 17.5) against Time (min) on the x-axis (ranging from 0.00 to 60.00). A solid blue line with circular markers represents the experimental data (Series1), and a dotted blue line represents a logarithmic fit to the data. The fit equation is  $y = -3.066 \ln(x) + 11.46$ .

Fuente: Elaboración propia.

### 3.5.3 Ensayo de humedad

#### a) Equipos utilizados

- Horno con control de temperatura adecuado
- Balanza
- Recipientes para humedad (aluminio)
- Utensilios para manipulación de recipientes
- Otros utensilios

#### b) Procedimiento.

De acuerdo a la Norma NTP 339.127 (ASTM D-2216).

1. Pesamos una cápsula de aluminio. Identificándola adecuadamente.



**Figura 34 : Pesado de los recipientes.**

**Fuente: Elaboración propia.**

2. Colocamos una muestra representativa de suelo húmedo en la cápsula, pesamos y anotamos el peso del recipiente más el del suelo húmedo.



**Figura 35: Colocado y pesado de las muestras a ser ensayadas.**

*Fuente: Elaboración propia.*

3. Después de pesar la muestra húmeda más el recipiente, colocamos la muestra en el horno.



**Figura 36 : Colocación de la muestra para el secado en horno a temperatura constante (110° ± 5° C)**

*Fuente: Elaboración propia.*

4. El suelo debe secarse en el horno a una temperatura de  $110 \pm 5 \cdot C$ , en un período de horneado de 12 a 18 horas (durante la noche), hasta que la muestra se encuentra en estado de peso constante y dicho peso se registró como el del suelo seco más el del recipiente.

Usando la misma balanza para todas las mediciones de peso.





***Figura 37 : Pesado de las muestras retiradas del horno***

***Fuente: Elaboración propia.***





c) Toma de datos.

**Tabla 29: Toma de Datos Ensayo de Humedad C-01**

		<b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL			
<b>TESIS: EVALUACIÓN DEL FACTOR DE SEGURIDAD DEL TALUD CORRESPONDIENTE A LA QUEBRADA DE SIPASPUCYO, EN FUNCIÓN A LA TOPOGRAFÍA, ESTUDIOS DE INFILTRACIÓN Y PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS SUELOS.</b>					
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD PARA MUESTRAS DE SUELO</b>					
Realizado por:	Garcia Yopez, Carlos Enrique		Ensayo:	<b>CALICATA 1</b>	
	Bustamante Corrido, Shirley Zenaida		Fecha:	14/12/2017	
Ubicación:	Quebrada de Sipaspucyo				
	Muestra N°	muestra 01	muestra 02	muestra 03	
	N° de recipiente (gr.)				
	Peso del recipiente (gr.)	18.88	18.74	18.21	
	Peso del recip. + muestra húmeda (gr.)	59.64	71.04	69.84	
	Peso del recip. + muestra seca (gr.)	58.46	69.6	68.59	
	Peso del agua (gr.)				
	Peso de la muestra seca (gr.)				
	Contenido de humedad (%)				
	<b>PROMEDIO</b>				



Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 30: Toma de Datos Ensayo de Humedad C-02**

		<b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL			
<b>TESIS: EVALUACIÓN DEL FACTOR DE SEGURIDAD DEL TALUD CORRESPONDIENTE A LA QUEBRADA DE SIPASPUCYO, EN FUNCIÓN A LA TOPOGRAFÍA, ESTUDIOS DE INFILTRACIÓN Y PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS SUELOS.</b>					
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD PARA MUESTRAS DE SUELO</b>					
Realizado por:	Garcia Yopez, Carlos Enrique		Ensayo:	<b>CALICATA 2</b>	
	Bustamante Corrido, Shirley Zenaida		Fecha:	14/12/2017	
Ubicación:	Quebrada de Sipaspucyo				
	Muestra N°	muestra 01	muestra 02	muestra 03	
	N° de recipiente (gr.)				
	Peso del recipiente (gr.)	18.42	10.5	9.24	
	Peso del recip. + muestra húmeda (gr.)	62.92	60.71	62.54	
	Peso del recip. + muestra seca (gr.)	57.22	52.87	55.36	
	Peso del agua (gr.)				
	Peso de la muestra seca (gr.)				
	Contenido de humedad (%)				
	<b>PROMEDIO</b>				



Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 31 : Toma de Datos Ensayo de Humedad C-03**

		<b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL			
<b>TESIS: EVALUACIÓN DEL FACTOR DE SEGURIDAD DEL TALUD CORRESPONDIENTE A LA QUEBRADA DE SIPASPUCYO, EN FUNCIÓN A LA TOPOGRAFÍA, ESTUDIOS DE INFILTRACIÓN Y PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS SUELOS.</b>					
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD PARA MUESTRAS DE SUELO</b>					
Realizado por:	García Yepez, Carlos Enrique		Ensayo:	<b>CALICATA 3</b>	
	Bustamante Corrido, Shirley Zenaida		Fecha:	14/12/2017	
Ubicación:	Quebrada de Sipaspucyo				
	Muestra N°	muestra 01	muestra 02	muestra 03	
	N° de recipiente (gr.)				
	Peso del recipiente (gr.)	8.92	8.75	9.01	
	Peso del recip. + muestra húmeda (gr.)	54.30	76.63	71.45	
	Peso del recip. + muestra seca (gr.)	52.92	74.50	69.04	
	Peso del agua (gr.)				
	Peso de la muestra seca (gr.)				
	Contenido de humedad (%)				
	<b>PROMEDIO</b>				

*Fuente: Elaboración propia.*



**Tabla 32 : Toma de Datos Ensayo de Humedad C-04**

		<b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL			
<b>TESIS: EVALUACIÓN DEL FACTOR DE SEGURIDAD DEL TALUD CORRESPONDIENTE A LA QUEBRADA DE SIPASPUCYO, EN FUNCIÓN A LA TOPOGRAFÍA, ESTUDIOS DE INFILTRACIÓN Y PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS SUELOS.</b>					
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD PARA MUESTRAS DE SUELO</b>					
Realizado por:	García Yepez, Carlos Enrique		Ensayo:	<b>CALICATA 4</b>	
	Bustamante Corrido, Shirley Zenaida		Fecha:	14/12/2017	
Ubicación:	Quebrada de Sipaspucyo				
	Muestra N°	muestra 01	muestra 02	muestra 03	
	N° de recipiente (gr.)				
	Peso del recipiente (gr.)	8.34	8.88	8.89	
	Peso del recip. + muestra húmeda (gr.)	57.15	71.88	69.7	
	Peso del recip. + muestra seca (gr.)	53.88	68.1	66.01	
	Peso del agua (gr.)				
	Peso de la muestra seca (gr.)				
	Contenido de humedad (%)				
	<b>PROMEDIO</b>				

*Fuente: Elaboración propia.*





**Tabla 33 : Toma de Datos Ensayo de Humedad C-05**

		<b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL			
<b>TESIS: EVALUACIÓN DEL FACTOR DE SEGURIDAD DEL TALUD CORRESPONDIENTE A LA QUEBRADA DE SIPASPUCYO, EN FUNCIÓN A LA TOPOGRAFÍA, ESTUDIOS DE INFILTRACIÓN Y PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS SUELOS.</b>					
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD PARA MUESTRAS DE SUELO</b>					
Realizado por:	García Yepez, Carlos Enrique		Ensayo:	<b>CALICATA 5 E-1</b>	
	Bustamante Corrido, Shirley Zenaida		Fecha:	14/12/2017	
Ubicación:	Quebrada de Sipaspucyo				
Muestra N°		muestra 01	muestra 02	muestra 03	
N° de recipiente					
Peso del recipiente (gr.)		8.43	8.69	8.94	
Peso del recip. + muestra húmeda (gr.)		60.14	66.52	69.70	
Peso del recip. + muestra seca (gr.)		57.22	63.06	66.20	
Peso del agua (gr.)					
Peso de la muestra seca (gr.)					
Contenido de humedad (%)					
<b>PROMEDIO</b>					

*Fuente: Elaboración propia.*

**Tabla 34 : Toma de Datos Ensayo de Humedad C-06**

		<b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL			
<b>TESIS: EVALUACIÓN DEL FACTOR DE SEGURIDAD DEL TALUD CORRESPONDIENTE A LA QUEBRADA DE SIPASPUCYO, EN FUNCIÓN A LA TOPOGRAFÍA, ESTUDIOS DE INFILTRACIÓN Y PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS SUELOS.</b>					
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD PARA MUESTRAS DE SUELO</b>					
Realizado por:	García Yepez, Carlos Enrique		Ensayo:	<b>CALICATA 6</b>	
	Bustamante Corrido, Shirley Zenaida		Fecha:	14/12/2017	
Ubicación:	Quebrada de Sipaspucyo				
Muestra N°		muestra 01	muestra 02	muestra 03	
N° de recipiente					
Peso del recipiente (gr.)		8.55	7.52	8.41	
Peso del recip. + muestra húmeda (gr.)		40.62	48.77	41.69	
Peso del recip. + muestra seca (gr.)		35.54	42.22	36.20	
Peso del agua (gr.)					
Peso de la muestra seca (gr.)					
Contenido de humedad (%)					
<b>PROMEDIO</b>					

*Fuente: Elaboración propia.*

### 3.5.4 Ensayo de análisis granulométrico por tamizado.

#### a) Equipos utilizados.

- Juego de tamices para el estudio granulométrico de acuerdo a la NTP-339.128 - ASTM-D4318.
- Balanza, con sensibilidad de 0.1% del peso de la muestra
- Cepillo metálico
- Recipientes de plástico para separar las muestras
- Brocha para limpiar los restos de suelo en los tamices

#### Muestra

La cantidad de suelo ensayada fue lo más cercano a 1 kilogramo, entiéndase que el agregado grueso se mezcla con el agregado fino.

#### b) Procedimiento

1. Obtención de una muestra representativa del material a ensayar, para la investigación se realizó el método del cuarteo, para luego pesarlas.



**Figura 38 : Obtención de muestra y pesaje.**

*Fuente: Elaboración propia.*

2. Lavamos del material a ensayar con agua potable a través de la malla N° 200 con el fin de retirar las partículas finas que se encuentren impregnadas a las partículas más grandes.



**Figura 39 : Lavado de muestra y secado en el horno a temperatura constante ( $110^{\circ} \pm 5^{\circ} \text{C}$ ).**

**Fuente: Elaboración propia.**

3. Colocamos del material resultante del lavado en el horno por un periodo de 24 horas. Posterior a ello, volvimos a realizar el pesaje del material para conocer la cantidad de material perdido durante el lavado.



**Figura 40 : Pesado del material luego del lavado**

**Fuente: Elaboración propia.**

4. Se tamizo el material a través del juego de tamices ( 3", 2", 1", 3/4", 3/8", 1/4", N° 4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 50, N° 100, N° 200, cazuela), estos deben estar ordenados de forma descendente del tamaño de criba, para ello se movió los 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. Las partículas apresadas en la malla, las separamos con un cepillo y reunimos con lo retenido en el tamiz.



**Figura 41 : Tamizada de las muestras.**

**Fuente: Elaboración propia.**

5. Pesar el material retenido en cada uno de los tamices.



**Figura 42 : Pesado del material retenido en cada tamiz**

**Fuente: Elaboración propia.**

6. Finalmente se calcularon los datos correspondientes a los pesos retenidos, porcentajes retenidos y porcentajes que pasan.



***Figura 43: Ordenamiento de partículas por tamaño.***

***Fuente: Elaboración propia.***