

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y  
METALÚRGICA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**



**EVALUACIÓN GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA DEL TERRENO  
DE FUNDACIÓN PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL EDIFICIO  
ARCHIVO REGIONAL PUNO**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**SILVERIO PARI HUMPIRI**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO GEOLOGO**

**PUNO – PERÚ**

**2018**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y METALÚRGICA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**

**EVALUACIÓN GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA DEL TERRENO DE FUNDACIÓN  
PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL EDIFICIO ARCHIVO REGIONAL PUNO**

**TESIS**

PRESENTADA POR:

**SILVERIO PARI HUMPIRI**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:


**INGENIERO GEOLOGO**


APROBADA POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:



PRESIDENTE :   
M.Sc. GEORGES FLORENCIO LLERENA PEREDO

PRIMER MIEMBRO :   
M.Sc. RAMIRO MANUEL YANQUI COAQUIRA

SEGUNDO MIEMBRO :   
M.Sc. LUIS ALBERTO MAYDANA VILCA

DIRECTOR / ASESOR :   
Dr. Sc. HECTOR RAUL MACHACA CONDORI

**ÁREA :** Ingeniería Geotécnica  
**TEMA:** Suelo de fundación

**FECHA DE SUSTENTACIÓN:** 29 de mayo del 2018

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi amada esposa,  
por su apoyo y ánimo que me brinda día  
a día para alcanzar nuevas metas, tanto  
profesionales como personales.

A mis adorados hijos Zusy Mónica, Jhonn  
Ross, a quienes siempre cuidaré para verlos  
hechos personas capaces y que puedan valerse  
por sí mismos. A mi padre que desde el cielo  
guía mi camino. A mis compañeros de trabajo,  
a quienes agradezco el apoyo y regaños por  
aprovechar un poco de tiempo del trabajo para  
elaborar la tesis.

## AGRADECIMIENTOS

El autor agradece: a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, a la Facultad de Ingeniería Geológica y Metalúrgica, en especial a la escuela profesional de Ingeniería Geológica, y a su equipo de docentes, por haberme cobijado en sus claustros y permitir mi formación profesional.

## ÍNDICE GENERAL

	<b>Pág.</b>
RESUMEN .....	15
ABSTRACT.....	16
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>INTRODUCCIÓN</b>	
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	18
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	19
1.3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO .....	20
1.4. ANTECEDENTES DEL PROYECTO .....	21
1.5. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN .....	21
1.6. OBJETIVO .....	22
1.6.1. Objetivo general.....	22
1.6.2. Objetivos específicos .....	22
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>REVISIÓN DE LITERATURA</b>	
2.1. MARCO TEÓRICO .....	23
2.1.1. Depósitos de suelo natural .....	23
2.1.2. Tamaño de las partículas de suelo .....	24
2.1.3. Densidad de sólidos (GS).....	27
2.1.4. Análisis mecánico del suelo.....	28
2.1.5. Curva de distribución granulométrica.....	30
2.1.6. Tamaño efectivo, coeficiente de uniformidad y coeficiente de curvatura ...	32
2.1.7. Límites de atterberg .....	33

2.2. SISTEMAS DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS .....	36
2.2.1. Sistema AASHTO.....	37
2.2.2. Sistema unificado.....	39
2.3. PERMEABILIDAD HIDRÁULICA DEL SUELO .....	42
2.3.1. Permeabilidad .....	44
2.3.2. Suelos lacustres .....	45
2.4. COMPACTACIÓN DE SUELOS .....	47
2.4.1. Prueba proctor estándar.....	48
2.4.2. Prueba proctor modificada.....	51
2.5. VALOR RELATIVO DE SOPORTE “CBR” .....	52
2.5.1. Determinación de la expansión .....	53
2.5.2. Calculo del CBR .....	53
2.5.3. Generalidades sobre capacidad portante por resistencia .....	54
2.6. CRITERIO DE RESISTENCIA ESTABILIDAD DEL TERRENO .....	55
2.6.1. Teoría de Karla Terzaghi (1943).....	55
2.6.2. Teoría de la capacidad de carga última.....	58
2.7. EL FACTOR DE SEGURIDAD .....	61
 CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS  	
3.1. INSTRUMENTOS UTILIZADOS.....	62
3.2. CARÁCTER DEL ESTUDIO .....	62
3.3. RECOPIACIÓN Y REVISIÓN DE FUENTES DE INFORMACIÓN.....	63
3.4. TRABAJOS DE CAMPO.....	63
3.4.1. Etapa de campo I.....	63
3.4.2. Etapa de campo II .....	63

3.5. TRABAJO DE LABORATORIO .....	64
3.6. TRABAJO DE GABINETE .....	65
3.6.1. Etapa de gabinete I.....	65
3.6.2. Etapa de gabinete II .....	65
3.7. AMBITO DE ESTUDIO .....	65
3.7.1. Ubicación .....	65
3.7.2. Condición climática .....	67
3.7.3. Vientos .....	67
3.7.4. Lluvias.....	67
3.7.5. Temperatura .....	68
3.7.6. Distribución temporal de las precipitaciones .....	68
3.7.7. Sequia e inundaciones .....	69
3.7.8. Flora y fauna .....	70
3.7.9. Geomorfología regional .....	70
3.8. HIDROGRAFÍA DEL LAGO TITICACA.....	71
3.9. MARCO GEO ESTRUCTURAL LITO ESTRATIGRAFIA .....	73
3.9.1. Mesozóico .....	73
3.9.2. Cenozoico .....	74
3.9.3. Cuaternario reciente .....	76
3.10. GEODINÁMICA EXTERNA EN EL ÁREA DE ESTUDIO .....	79
3.10.1. Sismicidad.....	79
3.10.2. Tectónica de placas .....	82
 CAPÍTULO IV  RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
4.1. CONDICIONES GEOLÓGICAS DEL SUELO DE FUNDACIÓN.....	83

4.1.1. Geomorfología Local .....	83
4.1.2. Investigación del subsuelo .....	84
4.1.3. Técnicas de exploración.....	85
4.1.4. Ensayos de laboratorio .....	85
4.1.5. Perfil estratigráfico de las calicatas.....	86
4.1.6. Análisis del suelo de fundación .....	94
4.1.7. Sismicidad.....	94
4.2. CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DEL SUELO DE FUNDACIÓN .....	95
4.2.1. Ensayo de corte directo .....	95
4.2.2. Capacidad portante del suelo de fundación .....	96
4.2.3. Calculo de asentamientos.....	97
4.2.4. Estructuras de cimentación .....	99
4.2.5. Análisis de cimentación .....	100
4.2.6. Análisis de la capacidad admisible de carga.....	102
CONCLUSIONES .....	104
RECOMIENDACIONES .....	105
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	106
ANEXOS .....	107



## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1: Curva de distribución del tamaño de partícula (curvas granulométricas). ....	31
Figura 2: Tipos diferentes de curvas granulométricas. ....	33
Figura 3: Definición de los límites de Atterberg. ....	36
Figura 4: Carta de plasticidad. ....	40
Figura 5: Carga de presión, carga de elevación y cargas totales para el flujo de agua atreves de un suelo. ....	44
Figura 6: Formación del suelo lacustre (sedimentario). (Wesley, 2009). ....	47
Figura 7: Principios de compactación. ....	48
Figura 8: Equipo de prueba proctor estándar: (a) molde (b) pison. ....	49
Figura 9: Resultado de la prueba de compactación Proctor estándar para una arcilla limosa. ....	50
Figura 10: Resultado de la prueba de compactación Proctor modificado de una grava arcillosa. ....	52
Figura 11: Naturaleza de las fallas por capacidad de carga en suelos: (a) falla de cortante general; (b) falla de cortante local; (c) falla de cortante por punzonamiento. .....	58
Figura 12: Falla por capacidad de carga en un suelo bajo una cimentación rígida continua rugosa. ....	59
Figura 13: Localización del proyecto .....	66
Figura 14: Cuadro de precipitación máxima y temperaturas máximas y mínimas. ....	68
Figura 15: Comportamiento de niveles del lago Titicaca (1920-2018). ....	69
Figura 16: Vertiente del Titicaca .....	72
Figura 17: Columna estratigráfica. ....	78

Figura 18: Mapa de zonificación sísmica del Perú. ....	81
Figura 19: Registro de excavaciones. ....	88
Figura 20: Registro de excavaciones. ....	90
Figura 21: Registro de excavaciones. ....	92
Figura 22: Sección de estructura de cimentación (Plano estructuras). ....	101

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1: Límites de tamaño de suelos separados.....	26
Tabla 2: Minerales arcillosos.....	27
Tabla 3: Tamaños de mallas estándar en Estados Unidos. ....	29
Tabla 4: Análisis por medio de mallas (masa de muestra de suelo seco = 450 g).....	30
Tabla 5: Sistema de clasificación del suelo AASHTO.....	38
Tabla 6: Símbolos de identificación de suelos. ....	39
Tabla 7: Sistema Unificado de Clasificación; símbolos de grupo para suelos arenosos.40	
Tabla 8: Sistema unificado de clasificación suelos. ....	41
Tabla 9: Valores típicos de permeabilidad para suelos saturados. ....	45
Tabla 10: Ensayo de compactación modificado (CBR). ....	53
Tabla 11: Valores de carga unitaria patrón.....	54
Tabla 12: Ubicación de área de estudio archivo regional Puno.....	66
Tabla 13: Acceso al área del proyecto. ....	67
Tabla 14: Disponibilidad hídrica de la vertiente del Titicaca. ....	72
Tabla 15: Unidades geomorfológicas local .....	84
Tabla 16: De registro de calicata. ....	85
Tabla 17: Normas aplicadas.....	85
Tabla 18: Resumen de corte directo de espécimen.....	95
Tabla 19: Valores de coeficiente de consolidación .....	98
Tabla 20: Especificación técnica para relleno. ....	101
Tabla 21: Resumen de propiedades físico mecánicas.....	103

## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

<b>av:</b>	: Coeficiente de compresibilidad
<b>bc, bq, by:</b>	: Factores de inclinación de la base (base inclination factors)
<b>B</b>	: Ancho del cimiento
<b>c</b>	: Cohesión
<b>c'</b>	: Cohesión efectiva
<b>cc</b>	: Coeficiente o índice de compresión
<b>cr</b>	: Coeficiente o índice de expansión, hinchamiento o de recompression
<b>dc, dq, dg</b>	: Factores de profundidad (depth factors)
<b>Df</b>	: Profundidad de desplante
<b>E</b>	: Relación de vacíos
<b>Eo</b>	: Relación de vacíos inicial
<b>Eu</b>	: Módulo elástico no drenado del suelo
<b>FS</b>	: Factor de seguridad
<b>gc, gq, gy</b>	: Factores de inclinación del terreno (ground inclination factors)
<b>Ho</b>	: Altura inicial de la capa o estrato de suelo
<b>ic, iq, iy</b>	: Factores de inclinación de carga (load inclination factors)
<b>Kpy</b>	: Coeficiente de empuje pasivo usado por Terzaghi.
<b>L</b>	: Largo del cimiento

- mv** : Coeficiente de variación volumétrica
- Nc, Nq, Ng** : Factores de capacidad portante o de carga
- N'c, N'q, N'g** : Factores de capacidad portante modificada para falla por corte local
- OCR** : Razón o relación de sobreconsolidación (OverConsolidation Ratio)
- Pc** : Presión de preconsolidación
- q** : Sobrecarga del suelo sobre la base del cimiento
- qu** : Capacidad de carga última o capacidad portante última
- Qu** : Carga o fuerza última aplicable
- Sc, Sq, Sg** : Factores de forma (shape factors)
- S** : Asentamiento del terreno
- U** : Presión de agua de poro, presión de poro o presión neutra
- U** : Grado o porcentaje de consolidación del suelo

### LETRAS GRIEGAS

- Ae** : diferencia de relación de vacíos
- Ao** : incremento de esfuerzo aplicado
- P** : ángulo de fricción o ángulo de fricción interna
- p'** : ángulo de fricción interna efectiva
- y** : peso unitario del suelo
- y'** : peso unitario del suelo

- $\sigma$**  : esfuerzo normal a la superficie de falla
  
- $\sigma'_0$**  : esfuerzo efectivo inicial
  
- $\sigma'_{v0}$**  : esfuerzo vertical efectivo inicial
  
- $\sigma'_{vf}$**  : esfuerzo vertical efectivo final
  
- $t$**  : esfuerzo cortante en el suelo

## RESUMEN

El trabajo de investigación es para determinar las principales características físicas y mecánicas del suelo, el diseño de la cimentación y algunas recomendaciones para su construcción y mantenimiento; teniendo en cuenta que se ubica en una zona de riesgo de inundación y asentamientos, de ahí la importancia de realizar el presente trabajo. El campo de la ingeniería por la amplitud de la necesidad de dar soluciones a estos problemas se ve enfrascado en interrogantes e hipótesis sobre los suelos de fundación donde estas obras de infraestructura van a ser edificadas. A partir del Estudio Geotécnico podremos conocer las propiedades del suelo (tensión admisible del terreno a las distintas cotas en Kg/cm<sup>2</sup>, densidad de la tierra, profundidad del nivel freático, posible asiento, ángulo de rozamiento del terreno, cohesión aparente, expansividad, etc.). Así, para la elección del tipo de cimentación, debe tenerse en cuenta, por una parte, la estructura que soporta, y por otra, las características del terreno en que se sitúa, teniendo en cuenta que una vez alcanzado un nivel de seguridad adecuado para la misma, ésta debe de ser lo más económica posible. El estudio geológico y geotécnico de los terrenos de fundación deberán garantizar la sostenibilidad de la infraestructura, y poder conocer de las posibles deficiencias que puede presentarse en la construcción de su infraestructura, para luego tomar las decisiones que se adecuen en la solución de problemas que se presenten más adelante. Los estudios a realizar, están destinados a prevenir las posibles deficiencias que presente el terreno, ya que pueden ser afectadas por acciones físicas y químicas propias del terreno, y sus alteraciones naturales y/o artificiales. (heladas, cambios de volumen, variaciones del nivel freático, excavaciones próximas, etc.) Por el crecimiento demográfico de las urbes en el Perú y la ciudad de Puno, se sugiere el estudio detallado del terreno de fundación, para la infraestructura del archivo regional de Puno.

**Palabras clave:** Capacidad portante, cimentaciones, consolidación de suelos, geología, geotecnia.

## ABSTRACT

The work of investigation is to determine the main physical and mechanical characteristics of the ground, for the design of the foundation and some recommendations for its construction and maintenance; taking into account that it is located in a zone of risk of flooding and settlements, hence the importance of carrying out this work. The field of engineering, because of the breadth of the need to provide solutions to these problems, is filled with questions and hypotheses about the foundation soils where these infrastructure works are going to be built. From the Geotechnical Study we can know the properties of the soil (admissible soil tension at the different levels in Kg / cm<sup>2</sup>, density of the soil, depth of the water table, possible seat, angle of friction of the ground, apparent cohesion, expansiveness, etc.). Thus, for the choice of the type of foundation, it must be taken into account, on the one hand, the structure it supports, and on the other hand, the characteristics of the land on which it is located, taking into account that once an adequate level of safety has been reached, it must be as economical as possible. The geological and geotechnical study of the foundation lands must guarantee the sustainability of the infrastructure, and be able to know of the possible deficiencies that may arise in the construction of its infrastructure, to then make the decisions that are suitable in the solution of problems that are present later. The studies to be carried out are intended to prevent possible deficiencies in the terrain, since they can be affected by physical and chemical actions of the terrain, and their natural and / or artificial alterations (frost, volume changes, level variations). phreatic, nearby excavations, etc.). Due to the demographic growth of the cities in Peru and the city of Puno, a detailed study of the foundation ground is suggested for the infrastructure of the Puno regional archive.

**Key Words:** Bearing Capacity, Foundations, Soil consolidation, Geology, Geotechnics



## CAPÍTULO I

### INTRODUCCIÓN

La ciudad de Puno, como capital de la provincia y región de Puno, se encuentra ubicada a orillas del lago Titicaca, con un crecimiento de su población, y se vio en la necesidad de ganar territorio aguas debajo de la zona de lago, para así expandir su crecimiento urbano y satisfacer el incremento poblacional de la migración de las zonas rurales por falta de oportunidades en el campo como se ha visto estos últimos 20 años.

El campo de la ingeniería por la amplitud de la necesidad de dar soluciones a estos problemas se ve enfrascado en interrogantes e hipótesis sobre los suelos de fundación donde estas obras de infraestructura van a ser edificadas.

Todo proyecto de cimentación debe incluir un Estudio Geotécnico (estudio de las características del terreno) ya que la cimentación es la encargada de garantizar la estabilidad de la estructura que soporta a lo largo de la vida útil de la misma.

Además, se debe garantizar que la cimentación tenga una durabilidad, ya que, al tratarse de estructuras enterradas, la detección de deficiencias, así como las posibles medidas de actuación para corregir éstas deficiencias resultan complicadas.

Se debe prevenir, por tanto, que la cimentación se vea afectada por la posible agresividad del terreno, así mismo, debe estar protegidas de las acciones físicas y a las

modificaciones naturales o artificiales del terreno (heladas, cambios de volumen, variaciones del nivel freático, excavaciones próximas, etc.). La zona ha sido estudiada en diversas ocasiones, pero en términos de caracterización del subsuelo para proyectar obras como muelles, viales o de saneamiento. Sin embargo, dichos estudios no están disponibles para la comunidad técnica de nuestra región, y los que estudios disponibles tienen un carácter distinto al que se pretende realizar con el presente trabajo, evaluación geológica y geotécnica del terreno de fundación para la construcción del Edificio Archivo Regional Puno.

Por esta razón se pretende generar un estudio concienzudo y racional que nos lleve a obtener y disponer de datos confiables sobre las características de la zona y que posibilite la aplicación de métodos confiables en el diseño de cimentaciones superficiales en esta zona de nuestra ciudad que aún se encuentra en crecimiento poblacional, lo que implica un crecimiento en la cantidad y tamaño de las edificaciones.

### **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En los últimos 10 años fueron otorgados licencias para construir viviendas en zonas inundables de la ciudad de Puno con el aval de los gobiernos Municipales. Para satisfacer las necesidades de vivienda de migrantes que fueron desplazados por la pobreza y otros problemas sociales.

El problema que enfrenta la investigación radica en que es insuficiente el alcance y contenido de los procedimientos que se aplican actualmente para el estudio de los suelos de fundación y terraplenes para la construcción de viviendas e edificios ya que los mismos no son diferenciados geotécnicamente, lo que en muchos casos puede producir soluciones incorrectas, gastos excesivos y afectaciones a la seguridad durante los trabajos que en ellos se efectúen.

Estudiar las características geológicas y geotécnicas del suelo de fundación, para la construcción del edificio del Archivo Regional Puno, a sabiendas que se ubica en una zona de riesgo eminente de inundación y asentamientos, de ahí la importancia de realizar el presente trabajo.

Identificar los riesgos, aplicando soluciones estructurales y recomendaciones resilientes para edificaciones que se encuentren emplazadas en zonas inundables. Disminuyendo así el riesgo de fallo estructural

Es importante considerar la variedad de investigaciones encaminadas a desarrollar los estudios Geológicos y Geotécnicos para realizar obras ingenieriles, usando métodos directos e indirectos para poder establecer nuevos modelos geológicos y geotécnicos que son aplicados durante la etapa del proceso constructivo.

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Cuáles son las condiciones geológicas del área donde se construye el edificio Archivo Regional Puno?

¿Qué comportamiento geotécnico tiene el los suelos de fundación para la construcción del edificio Archivo Regional Puno?

¿Qué propiedades físico mecánicas tienen los suelos de fundación para la construcción del edificio Archivo Regional Puno?

Como respuestas a estas interrogantes, es necesario considerar y efectuar las investigaciones in-situ y en laboratorio de las muestras obtenidas presentes en la zona de estudio, como son sus propiedades físicas, las que controlan el comportamiento mecánico, factores geológicos, factores hidrogeológicos y factores geotécnicos (resistencia y deformabilidad)

Estudiar el terreno y conocerlo, es imprescindible, no solo como un problema técnico, sino también por sus consecuencias jurídicas que exige garantías por los daños ocasionados en los elementos estructurales, es por esto que los estudios geotécnicos tienen mayor importancia en el presente estudio.

### **1.3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO**

La investigación nos permitió conocer los distintos comportamientos del terreno de fundación de la zona de estudio, en geología y geotecnia enmarcados a las normas técnicas establecidas. Los estudios que se realizaron, es para garantizar que la infraestructura a construirse, no presente asentamientos posteriores, que no permitan alcanzar la vida útil de la infraestructura. La caracterización de la zona de estudio permitirá hacer uso, de estas en la construcción de infraestructuras vecinas. Los perfiles estratigráficos nos permitida conocer la composición y el origen que los genero a dichos sedimentos presentes en la zona de estudio. Una vez realizado los estudios correspondientes, según normas establecidas nos permitirá diseñar la cimentación de la edificación.

El primer aporte corresponde, al método analítico, aproximado y simplificado, que se desarrollará para realizar el análisis del comportamiento geológico- geotécnico del área donde se emplazará la obra, para luego proponer un diseño adecuado de los cimientos.

El segundo aporte corresponde, al método que se aplicará en el desarrollo del presente trabajo, el cual puede ser utilizado en otras investigaciones similares.

#### 1.4. ANTECEDENTES DEL PROYECTO

- Estudio de suelos para la Construcción del edificio del centro cultural peruano norteamericano, que queda a dos cuadras de la construcción del edificio archivo regional Puno.
- Estudio de suelos para la Construcción del anexo del Colegio Glorioso San Carlos. Que se ubica en la segunda cuadra de la avenida el sol de la ciudad de Puno.
- Estudio de suelos para la Construcción del edificio de la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez filial Puno. Que se ubica en la avenida la Torre con el jirón Deza.de la ciudad de Puno.
- Ramos (2013) en su tesis titulada: Estudio de Mecánica de Suelos con Fines de Cimentación en la Av. Costanera II etapa.
- Zapana (2005) en su tesis titulada: Evaluación geotécnica y estudio de cimentaciones en las viviendas de la Urbanización “Los Reflejos de San Valentín” Puno.

#### 1.5. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

Es probable desarrollar la evaluación de las características geológicas-geotécnicas del terreno de fundación con fines de cimentación del edificio archivo regional Puno

## **1.6. OBJETIVO**

### **1.6.1. Objetivo general**

Evaluar las características geológicas – geotécnicas y dinámica del terreno de fundación sobre el cual estará emplazada las subestructuras para la construcción del edificio Archivo Regional Puno.

### **1.6.2. Objetivos específicos**

- Identificar las Condiciones geológicas del suelo de fundación para la construcción del archivo regional Puno.
- Evaluar las Características geotécnicas del suelo de fundación para la construcción del archivo regional Puno.

## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. MARCO TEÓRICO

##### 2.1.1. Depósitos de suelo natural

El conocimiento del origen geológico de un depósito de suelo permite a menudo comprender sus características físicas; los suelos pueden dividirse en dos grupos principales: transportados y residuales. Los transportados ya no cubren el material rocoso que les dio origen, estos pueden clasificarse en suelos aluviales, suelos lacustres, suelos eólicos, suelos coluviales y suelos glaciales. Los suelos residuales son los que se han formado de la roca madre sobre la cual se encuentran ahora. (Peck, Hanson, & Thornburn, 1983, pág. 160)

“El suelo es producido por intemperismo, es decir, por la fractura y rompimiento de varios tipos de rocas en piezas más pequeñas mediante procesos mecánicos y químicos. Algunos suelos permanecen donde se forman y cubren la superficie rocosa de la que se derivan y se llaman suelos residuales. En contraste, algunos productos intemperizados son transportados por medio de procesos físicos a otros lugares y depositados. Ésos se llaman suelos transportados. Según el agente de transporte, se subdividen en tres categorías principales”. (Braja M., 2001, pág. 1)

1. Aluviales o fluviales: depositados por agua en movimiento
2. Glaciales: depositados por acción glaciár
3. Eólicos: depositados por acción del viento

En adición a los suelos transportados y residuales, las turbas se derivan de la descomposición de materiales orgánicos encontrados en áreas de poca altura donde el nivel freático está cerca o arriba de la superficie del terreno.

“La presencia de un nivel alto del agua freática ayuda o soporta el crecimiento de plantas acuáticas, que, al descomponerse, forman turba. Este tipo de depósito se encuentra comúnmente en áreas costeras y regiones glaciares. Cuando un porcentaje relativamente grande de turba se mezcla con suelo inorgánico, se le denomina suelo orgánico. Estos suelos orgánicos tienen la característica de un contenido natural de agua de entre 200% y 300%, y son altamente compresibles. Las pruebas de laboratorio muestran que, bajo carga, se obtiene un gran asentamiento debido a la consolidación secundaria de los suelos orgánicos. Durante la planificación, diseño y construcción de cimentaciones, terraplenes y estructuras de retención, los ingenieros deben conocer el origen de los depósitos de los suelos sobre los que se construirán las cimentaciones debido a que cada depósito de suelo tiene atributos físicos propios y únicos.” (Braja M., 2001, pág. 2)

### **2.1.2. Tamaño de las partículas de suelo**

El tamaño de las partículas en un depósito de suelos tiene una influencia fundamental en las propiedades y en el comportamiento ingenieril del depósito, las partículas de un suelo se describen en función de su tamaño, utilizando términos como grava, arena, limo o arcilla. (Berry & Reid, 1996, pág. 4)



“Independientemente del origen del suelo los tamaños de las partículas, en general, que conforman un suelo, varían en un amplio rango. Los suelos en general son llamados grava, arena, limo o arcilla, dependiendo del tamaño predominante de las partículas. Para describir los suelos por el tamaño de sus partículas, varias organizaciones desarrollaron límites de tamaño de suelo separado. La tabla 1 muestra los límites de tamaño de suelo separado desarrollados por el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA), la Asociación Americana de Funcionarios de Carreteras Estatales y del Transporte (AASHTO), el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de Estados Unidos, y la Oficina de Restauración de Estados Unidos. En esta tabla, el sistema MIT (Braja M., 2001) se presenta únicamente para fines ilustrativos porque juega un papel importante en la historia del desarrollo de los límites de tamaño de suelo separado. Sin embargo, en la actualidad el Sistema Unificado es casi universalmente aceptado. El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) ha sido adoptado por la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM).” (Braja M., 2001, pág. 2)

Dice (Braja M., 2001, pág. 2) “Las gravas son fragmentos de rocas ocasionalmente con partículas de cuarzo, feldespato y otros minerales”. También nos dicen que son acumulaciones sueltas de fragmentos de rocas y que tienen más de dos milímetros de diámetro. Dado el origen, cuando son acarreadas por las aguas, sufren descaste por lo que son redondeadas; las gravas ocupan grandes extensiones por lo que casi siempre se encuentran en cantos rodados, arenas, limos y arcillas. (Crespo Villalaz, 2004, pág. 21)

“Las partículas de arena están formadas principalmente de cuarzo y feldespatos, aunque también están presentes, a veces, otros granos minerales”. (Braja M., 2001, pág. 2)

(Braja M., 2001, pág. 2) Señala que “los limos son fracciones microscópicas de suelo que consisten en granos muy finos de cuarzo y algunas partículas en forma de escamas (hojuelas) que son fragmentos de minerales micáceos” mientras (Crespo Villalaz, 2004, pág. 22) indica que los limos son suelos de granos finos con poco o ninguna plasticidad, pudiendo ser limo inorgánicos (como el producidos en canteras) o limo órganos (como los que se encuentra en ríos), así mismo señala que son considerados como suelos pobres para cimentar por no encontrarse en estado denso.

**Tabla 1:** Límites de tamaño de suelos separados.

Nombre de la organización	Tamaño de grano (mm)			
	Grava	Arena	Limo	Arcilla
Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT)	>2	2 a 0.06	0.06 a 0.002	<0.002
Departamento de Agricultura de estados Unidos (USDA)	>3	3 a 0.05	0.05 a 0.002	<0.002
Asociación Americana de Funcionarios del Transporte y Carreteras Estatales (AASHTO)	76.2 a 2	2 a 0.075	0.075 a 0.002	<0.002
Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (US Army Corps of Engineers; US bureau of Reclamation; American Society for Testing and Materials)	76.2 a 4.75	4.75 a 0.075	Finos (es decir, limos y arcillas) <0.075	

FUENTE: Fundamentos de ingeniería geotécnica de Brajan.M. Das

También señala (Braja M., 2001, pág. 3) que las arcillas “son principalmente partículas sub-microscópicas en forma de escamas de mica, minerales arcillosas y otros minerales. Como muestra la tabla 1, las arcillas se definen como partículas menores a 0.002 mm. En algunos casos, las partículas de tamaño entre 0.002 y 0.005 mm también se denominan arcillas. Las arcillas se definen como aquellas partículas “que desarrollan plasticidad cuando se mezclan con una cantidad limitada de agua” dice (Grim, 1953) citado por (Braja M., 2001). (...)Por consiguiente, es apropiado para las partículas de

suelo menores que  $2 \mu$  o  $5 \mu$  como se definen bajo diferentes sistemas, ser llamadas partículas tamaño arcilla en vez de arcillas. Las partículas de arcilla son en su mayoría de tamaño coloidal ( $< 1 \mu$ ) con  $2 \mu$  de límite superior”. Definen (Gonzalez De Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002, pág. 22) como “aquellas formadas por partículas con tamaños inferiores a los limos (0,002 mm). Se trata ya de partículas tamaño gel y se necesita que haya habido transformaciones químicas para llegar a estos tamaños. Están formadas, principalmente, por minerales silicatados, constituidos por cadenas de elementos tetraédricos y octaédricos”.

**Tabla 2:** Minerales arcillosos.

Mineral	Densidad de los sólidos Gr/m
Cuarzo	2.65
Caolinita	2.6
Illita	2.8
Monmorilonita	2.65-2.80
Haloisita	2.0-2.55
Feldespato de potasio	2.57
feldespato de sodio y calcio	2.62-2.76
Clorita	2.6-2.9
Biotita	2.8-3.2
Moscovita	2.76-3.1
Horblenda	3.0-3.47
Limonita	3.6-4.0
Olivina	3.27-3.37

FUENTE: Fundamentos de ingeniería geotécnica Brajan.

### 2.1.3. Densidad de sólidos (GS)

“La densidad de los sólidos de suelos se usa en varios cálculos de la mecánica de suelos. La densidad de sólidos se determina exactamente en el laboratorio. La tabla 2 muestra la densidad de sólidos de algunos minerales comunes encontrados en suelos. La

mayoría de los minerales tienen una densidad de sólidos que caen dentro de un rango general de 2.6 a 2.9. La densidad de sólidos de arena ligeramente coloreada, formada principalmente de cuarzo, se estima aproximadamente igual a 2.65; para suelos arcillosos y limosos, varía entre 2.6 y 2.9” (Braja M., 2001, pág. 7)

#### **2.1.4. Análisis mecánico del suelo**

“El análisis mecánico es la determinación del rango del tamaño de partículas presentes en un suelo, expresado como un porcentaje del peso (o masa) seco total. Se usan generalmente dos métodos para encontrar la distribución del tamaño de las partículas del suelo: 1) análisis con cribado, para tamaños de partículas mayores de 0.075 mm de diámetro, y 2) análisis hidrométrico, para tamaños de partículas menores de 0.075 mm de diámetro. Se describen a continuación los principios básicos de los análisis por cribado e hidrométrico”. (Braja M., 2001, pág. 7)

Para (Juárez Badillo & Rico Rodríguez, 2005, pág. 102) comprenden todos los métodos para la separación de un suelo en diferentes fracciones según sus tamaños, de tales métodos existen dos principalmente el cribado por mallas y el análisis de una suspensión del suelo con hidrómetro (densímetro)

#### **ANÁLISIS POR CRIBADO**

Se usa para obtener las fracciones correspondiente a los tamaños mayores del suelo; generalmente se llega hasta el tamaño correspondiente a la malla N° 200 (0.074 mm). La muestra de suelo se hace pasar a través de un juego de tamices de aberturas descendentes, hasta la malla N° 200; los retenidos en cada malla se pasan y el porcentaje que representa respecto al peso de la muestra total se suma a los porcentajes retenidos en todas las mallas de mayor tamaño, el complemento a 100% de esa cantidad da el porcentaje de suelo que es menor que el tamaño representado por la malla en cuestión y

los tamaños menores del suelo exigen una investigación fundada en otros principios.  
(Juárez Badillo & Rico Rodríguez, 2005, pág. 102)

Para (Braja M., 2001, pág. 7) el análisis por cribado consiste en sacudir la muestra de suelo a través de un conjunto de mallas que tienen aberturas progresivamente más pequeñas. Los números de las mallas estándar con sus tamaños de aberturas (usadas en estados unidos) se dan en la tabla 3.

**Tabla 3:** Tamaños de mallas estándar en Estados Unidos.

Malla N°.	Abertura (mm)
4	4.75
6	3.35
8	2.36
10	2
16	1.18
20	0.85
30	0.6
40	0.425
50	0.3
60	0.25
80	0.18
100	0.15
140	0.106
170	0.088
200	0.075
270	0.053

FUENTE: Fundamentos de ingeniería geotécnica Brajan

“Primero el suelo se seca en horno, y luego todos los grumos se disgregan en partículas pequeñas antes de ser pasados por las mallas. Luego la muestra es vibrada mecánicamente o manualmente. Después de que el periodo de vibración concluye, se determina la masa del suelo retenido en cada malla. Cuando se analizan suelos cohesivos, resulta difícil disgregar los grumos en partículas individuales. En tal caso, el suelo se mezcla con agua para formar una lechada que luego se lava a través de las mallas. Las porciones retenidas en cada malla se recolectan por separado y se secan en horno antes de que la masa retenida en cada malla sea determinada.

Los resultados del análisis por cribado se expresan generalmente como porcentaje del peso total de suelo que ha pasado por las diferentes mallas. La tabla 4 muestra un ejemplo de los cálculos efectuados en un análisis por cribado”. (Braja M., 2001, pág. 8)

**Tabla 4:** Análisis por medio de mallas (masa de muestra de suelo seco = 450 g).

Malla No. (1)	Diámetro (mm)	Masa de suelo retenido en cada malla (g) (3)	Porcentaje de suelo retenido en cada malla* -4	Por ciento que pasa (5)
10	2	0	0	100
16	1.18	9.9	2.2	97.8
30	0.6	24.66	5.48	92.32
40	0.425	17.6	3.91	88.41
60	0.25	23.9	5.31	83.1
100	0.15	35.1	7.8	75.3
200	0.075	59.85	13.3	62
Pan	—	278.99	62	0

\* Columna 4 = (columna 3) / (masa total de suelo) X 100. A esto también se le llama porcentaje que pasa.

FUENTE: Fundamentos de ingeniería geotécnica Brajan

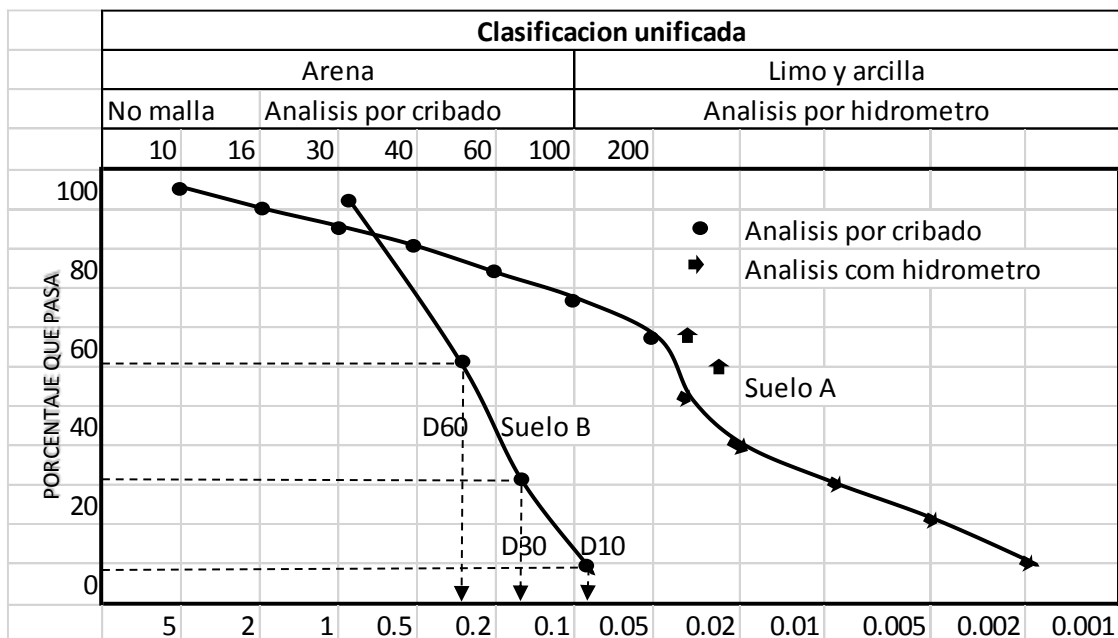
### 2.1.5. Curva de distribución granulométrica

Se ha tratado de establecer correlaciones entre la granulometría de un material y su permeabilidad, en suelos arenosos gruesos, los poros entre las partículas minerales son relativamente grandes y por ello la permeabilidad resulta comparativamente alta, en los suelos de menores tamaños, los poros y canalículos entre los granos son más pequeños, por lo que estos materiales son de menor permeabilidad.

“Los resultados del análisis mecánico (análisis por cribado e hidrométrico) se presentan generalmente en gráficas semilogarítmicas como curvas de distribución granulométrica (o de tamaño de grano). Los diámetros de las partículas se grafican en escala logarítmica y el porcentaje correspondiente de finos en escala aritmética. Por ejemplo, las curvas de distribución granulométrica para dos suelos se muestran en la

figura 1. La curva de distribución granulométrica para el suelo A es la combinación de los resultados del análisis por cribado presentados en la tabla 4 y los resultados del análisis hidrométrico para la fracción de finos. Cuando los resultados del análisis por cribado y del análisis hidrométrico se combinan, generalmente ocurre una discontinuidad en el rango en que éstos se traslapan. La razón para la discontinuidad es que las partículas de suelo son generalmente irregulares en su forma. El análisis por cribado da la dimensión intermedia de una partícula; el análisis hidrométrico da el diámetro de una esfera que se asentaría a la misma razón que la partícula de suelo. (Juárez Badillo & Rico Rodríguez, 2005, pág. 198)

Los porcentajes de grava, arena, limo y partículas tamaño arcilla presente en un suelo se obtienen de la curva de distribución granulométrica. De acuerdo con el Sistema Unificado Clasificación de Suelos, el suelo A en la figura 1 tiene los siguientes porcentajes” (Braja M., 2001, pág. 11)



**Figura 1:** Curva de distribución del tamaño de partícula (curvas granulométricas).

FUENTE: Fundamentos de ingeniería geotécnica Brajan.

### 2.1.6. Tamaño efectivo, coeficiente de uniformidad y coeficiente de curvatura

“Las curvas granulométricas se usan para comparar diferentes suelos. Además, tres parámetros básicos del suelo se determinan con esas curvas que se usan para clasificar los suelos granulares. Los tres parámetros del suelo son:

1. Diámetro efectivo
2. Coeficiente de uniformidad
3. Coeficiente de curvatura

El diámetro en la curva de distribución del tamaño de las partículas correspondiente al 10% de finos se define como diámetro efectivo, o D10. El coeficiente de uniformidad está dado por la relación

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

Dónde:  $C_u$  = coeficiente de uniformidad

$D_{60}$  = diámetro correspondiente al 60% de finos en la curva de distribución granulométrica.

El coeficiente de curvatura se expresa como:

$$C_z = \frac{D_{60}^2}{D_{30} \times D_{10}}$$

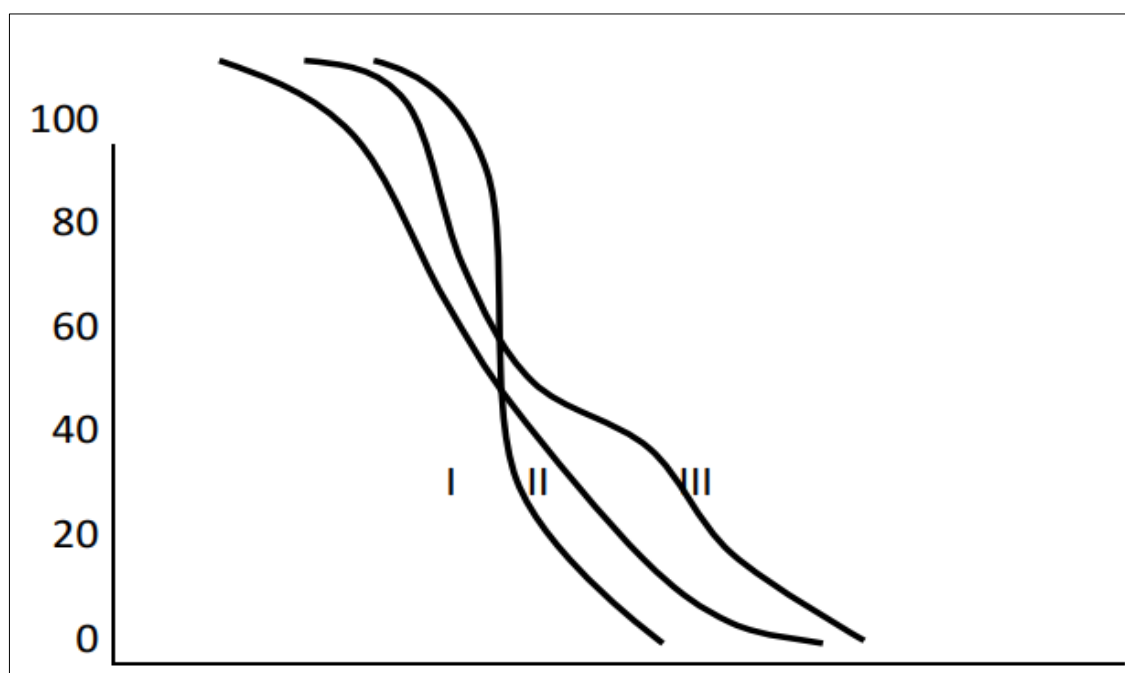
Dónde:  $C_z$  = coeficiente de curvatura

$D_{30}$  = diámetro correspondiente al 30% de finos.

La curva de distribución granulométrica muestra no sólo el rango de los tamaños de partículas presentes en un suelo, sino también la distribución de varios tamaños de



partículas. Esas curvas se muestran en la figura 2. La curva I representa un tipo de suelo en el que la mayoría de los granos son del mismo tamaño, y se le llama *suelo mal graduado*. Curva II representa un suelo en el que los tamaños de las partículas están distribuidos sobre un amplio rango y se le llama *bien graduado*. Un suelo bien graduado tiene un coeficiente de uniformidad mayor de aproximadamente 4 para gravas y 6 para arenas, y un coeficiente de curvatura entre 1 y 3 (para gravas y arenas). Un suelo puede tener una combinación de dos o más fracciones uniformemente graduadas. La curva III representa tal suelo y se le llama de *granulometría discontinua*.” (Braja M., 2001, págs. 12-14)



**Figura 2:** Tipos diferentes de curvas granulométricas.

FUENTE: Fundamentos de ingeniería geotécnica Brajan.

### 2.1.7. Límites de atterberg

Los límites de Atterberg y los índices con ellos relacionados han constituido unos valores muy útiles para caracterizar los conjuntos de partículas de suelos; los límites se basan en el concepto de que un suelo de grano fino puede existir en cuatro estados de

consistencia según su humedad; un suelo se encuentra en estado sólido cuando está seco, pasando al añadir agua a los estados semisólido, plástico y finalmente líquido. (Lambe & Whitman, 2004, pág. 45)

“Cuando un suelo arcilloso se mezcla con una cantidad excesiva de agua, éste puede fluir como un semilíquido. Si el suelo es secado gradualmente, se comportará como un material plástico, semisólido o sólido, dependiendo de su contenido de agua. Este, en por ciento, con el que el suelo cambia de un estado líquido a un estado plástico se define como límite líquido (LL). Igualmente, los contenidos de agua, en por ciento, con el que el suelo cambia de un estado plástico a un semisólido y de un semisólido a un sólido se definen como el límite plástico (.PL) y el límite de contracción (SL), respectivamente. Éstos se denominan límites de Atterberg (figura 3)”. (Braja M. Das, 2001, págs. 15,16)

- “El límite líquido de un suelo es determinado por medio de la copa de Casagrande (Designación de Prueba D-4318 de la ASTM) y se define como el contenido de agua con el cual se cierra una ranura de (12.7 mm) mediante 25 golpes.” (Braja M. Das, 2001, pág. 15), para (Juárez Badillo & Rico Rodríguez, 2005, pág. 132) se estableció que el límite líquido obtenido por medio de la copa de Casagrande corresponde al de Atterberg, si se define como el contenido de agua del suelo para que la ranura se cierre a lo largo de 1.27 cm ( $\frac{1}{2}$ ”), con 25 golpes en la copa. Esta correlación permitió incorporar a la experiencia actual toda la adquirida previamente al uso de la copa.

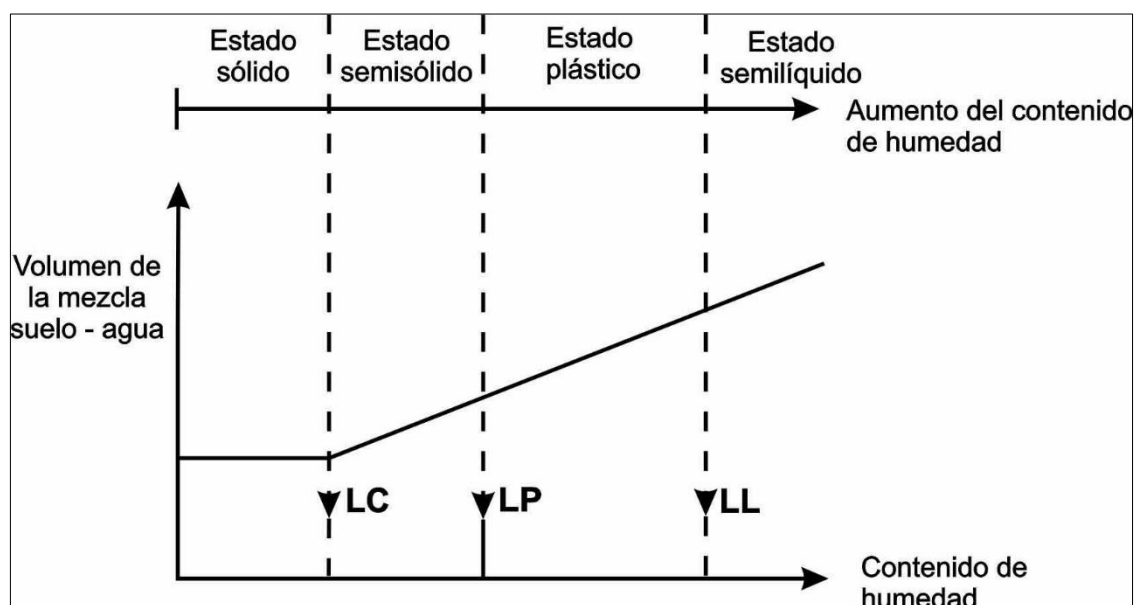
De hecho, el límite líquido se determina conociendo 3 o 4 contenidos de agua diferentes en su vecindad, con los correspondientes números de golpes y trazando la curva Contenido de agua-número de golpes. La ordenada de esa curva

correspondiente a la abscisa de 25 golpes es el contenido de agua correspondiente al límite líquido.

- “El límite plástico se define como el contenido de agua con el cual el suelo se agrieta al formarse un rollito del pulg (3.18 mm) de diámetro (Designación de Prueba D-4318 de la ASTM).” (Braja M. Das, 2001, pág. 15), para (Juárez Badillo & Rico Rodríguez, 2005, pág. 133) la prueba para la determinación del límite plástico, tal como Atterberg la definió, no especifica el diámetro a que debe llegarse al formar el cilindro de suelo requerido. Tarzaghi agrego la condición de que el diámetro sea de 3 mm ( $\frac{1}{8}$ ”). La formación de los rodillos se hace usualmente sobre una hoja de papel totalmente seca, para acelerar la pérdida de humedad del material; también es frecuente efectuar el rolado sobre una placa de vidrio. Cuando los rodillos llegan a los 3mm, se doblan y presionan, formando una pastilla que vuelve a rolarse, hasta que en los 3 mm justos ocurra el desmoronamiento y agrietamiento; en tal momento se determinará rápidamente su contenido de agua, que es el límite plástico.
  
- “El límite de contracción se define como contenido de agua con el cual el suelo no sufre ningún cambio adicional de volumen con la pérdida de agua (Designación de Prueba D-427 de la ASTM)”. La figura 3 muestra este límite. (Braja M. Das, 2001, pág. 16), define (Juárez Badillo & Rico Rodríguez, 2005, pág. 141) que Terzaghi sugirió un método más simple de determinación, que esencialmente, consiste en medir el peso y el volumen de una muestra de suelo totalmente seca; en tal momento, puede decirse que el límite de contracción sería la humedad de la muestra seca si tuviese sus vacíos llenos de agua; la Public Road Administration, de los EE.UU. de A.; ha desarrollado otro método para la determinación del límite de contracción de los suelos, en el cual no se requiere contar con el peso específico

relativo de los sólidos. Según este procedimiento, el suelo se remoldea hasta una consistencia cercana al límite líquido, añadiendo agua si es preciso; con este suelo se llena una capsula de volumen conocido. La superficie del suelo se alisa perfectamente con una espátula y se protege con una placa de vidrio; pesada la muestra se cesa en un horno, hasta obtener peso constante, que se anota. El volumen de la muestra, ya seca, se determina con el método del mercurio.

La diferencia entre el límite líquido y el plástico de un suelo se define como índice de plasticidad (PI), o  $PI = LL - PL$



**Figura 3:** Definición de los límites de Atterberg.

FUENTE: Fundamentos de ingeniería geotécnica Brajan.

## 2.2. SISTEMAS DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

Los sistemas de clasificación de suelos dividen a estos en grupos y subgrupos en base a propiedades ingenieriles comunes tales como la distribución granulométrica, el límite líquido y el límite plástico. Los dos sistemas principales de clasificación actualmente en uso son (1) el Sistema AASHTO (American Association of State High-

way and Transportation Officials) y (2) el Unified Soil Classification System (también ASTM). El sistema de clasificación AASHTO se usa principalmente para clasificación de las capas de carreteras. No se usa en la construcción de cimentaciones. (Braja M. Das, 2001, pág. 17)

Los sistemas de clasificación de interés para el ingeniero geotécnico utiliza los límites de Atterberg (para límites líquidos y plásticos) así como un análisis parcial o total de granulometría, pero los métodos de clasificación de suelos unificado y AASHTO son los más usados. (E. Bowles, 1981, pág. 70); para (Braja M., 2001, pág. 35) los sistemas de clasificación proporcionan un lenguaje común para expresar las características generales de los suelos, actualmente el Sistema de AASHTO lo usan principalmente los departamentos de caminos estatales y de condados, mientras que los ingenieros geotécnicos usualmente prefieren el Sistema Unificado.

### 2.2.1. Sistema AASHTO

“El Sistema de Clasificación de Suelos AASHTO fue propuesto originalmente por el Highway Research Board’s Committee sobre clasificación de materiales para subrasantes y caminos de tipo granular (1945). De acuerdo con la actual forma de este sistema, los suelos pueden clasificarse según ocho grupos principales, A-1 al A-8, en base a su distribución granulométrica, límite líquido e índice de plasticidad. Los suelos comprendidos en los grupos A-1, A-2 y A-3 son materiales de grano grueso y aquellos en los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7 son de grano fino. La turba, el lodo y otros suelos altamente orgánicos quedan clasificados en el grupo A-8. Estos son identificados por inspección visual.

El sistema de clasificación AASHTO (para suelos A-1 al A-7) se presenta en la tabla 5. Note que el grupo A-7 incluye dos tipos de suelos. Para el tipo A-7-5, el índice

de plasticidad es menor o igual que el límite líquido menos 30. Para el tipo A-7-6, el índice de plasticidad es mayor que el límite líquido menos 30.

Para la evaluación cualitativa de la conveniencia de un suelo como material para subrasante de un camino, se desarrolló también un número denominado índice de grupo. Entre mayor es el valor del índice de grupo para un suelo, será menor el uso del suelo como subrasante. Un índice de grupo de 20 o más indica un material muy pobre para ser usado al respecto. La fórmula para el índice de grupo GI.” (Braja M. Das, 2001, págs. 18,19)

**Tabla 5:** Sistema de clasificación del suelo AASHTO.

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos pasa por el tamiz N° 200)							Materiales limoso arcilloso (más del 35% pasa el tamiz N° 200)			
	A-1		A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	A-4	A-5	A-6	A-7
<b>Grupo:</b>	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	A-4	A-5	A-6	A-7-5 A-7-6
<b>Porcentaje que pasa:</b>											
N° 10 (2mm)	50 máx	-	-		-					-	
N° 40 (0,425mm)	30 máx	50 máx	51 mín		-					-	
N° 200 (0,075mm)	15 máx	25 máx	10 máx		35 máx					36 mín	
<b>Características de la fracción que pasa por el tamiz N° 40</b>											
<b>Límite líquido</b>	-		-	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín
<b>Índice de plasticidad</b>	6 máx		NP (1)	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín	10 máx	10 mín	11 mín	11 mín
<b>Constituyentes principales</b>	Fracmentos de roca, grava y arena		Arena fina	Grava y arena arcillosa o limosa				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
<b>Características como subgrado</b>			Excelente a bueno				Pobre a malo				
(1):	No plástico										
(2):	El índice de plasticidad del subgrupo A-7-5 es igual o menor al LL menos 30										
	El índice de plasticidad del subgrupo A-7-6 es mayor que LL menos 30										

FUENTE: Fundamentos de ingeniería geotécnica Brajan

**2.2.2. Sistema unificado**

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, fue presentado por Arthur Casagrande como una modificación y adaptación a su sistema de clasificación propuesto en 1942 para aeropuertos (Crespo Villalaz, 2004, pág. 88), y después revisado y adoptado por el Bureau of Reclamation de Estados Unidos y por el Cuerpo de Ingenieros. Este sistema se usa en prácticamente todo trabajo de geotecnia.

En el Sistema Unificado, los siguientes símbolos se usan como identificación.

**Tabla 6:** Símbolos de identificación de suelos.

Símbolo	G	S	M	C	O	Pt	H	L	W	P
Descripción	Grava	Arena	Limo	Arcilla	Limos orgánicos y arcillas	Turbas y suelos altamente orgánicos	Alta plasticidad	Baja plasticidad	Bien graduados	Mal graduados

FUENTE: Fundamentos de ingeniería geotécnica Brajan.

La carta de plasticidad (figura 4) y la tabla 7 muestran el procedimiento para determinar los símbolos de grupo para varios tipos de suelos. Al clasificar un suelo se debe proporcionar el nombre del grupo que describe generalmente al suelo, junto con el símbolo respectivo. Las tablas 7, y 8 respectivamente, dan los criterios para obtener los nombres de grupos para suelo de grano grueso, para suelo inorgánico de grano fino y para suelo orgánico de grano fino. Esas tablas se basan en la designación D-2487 de la ASTM.

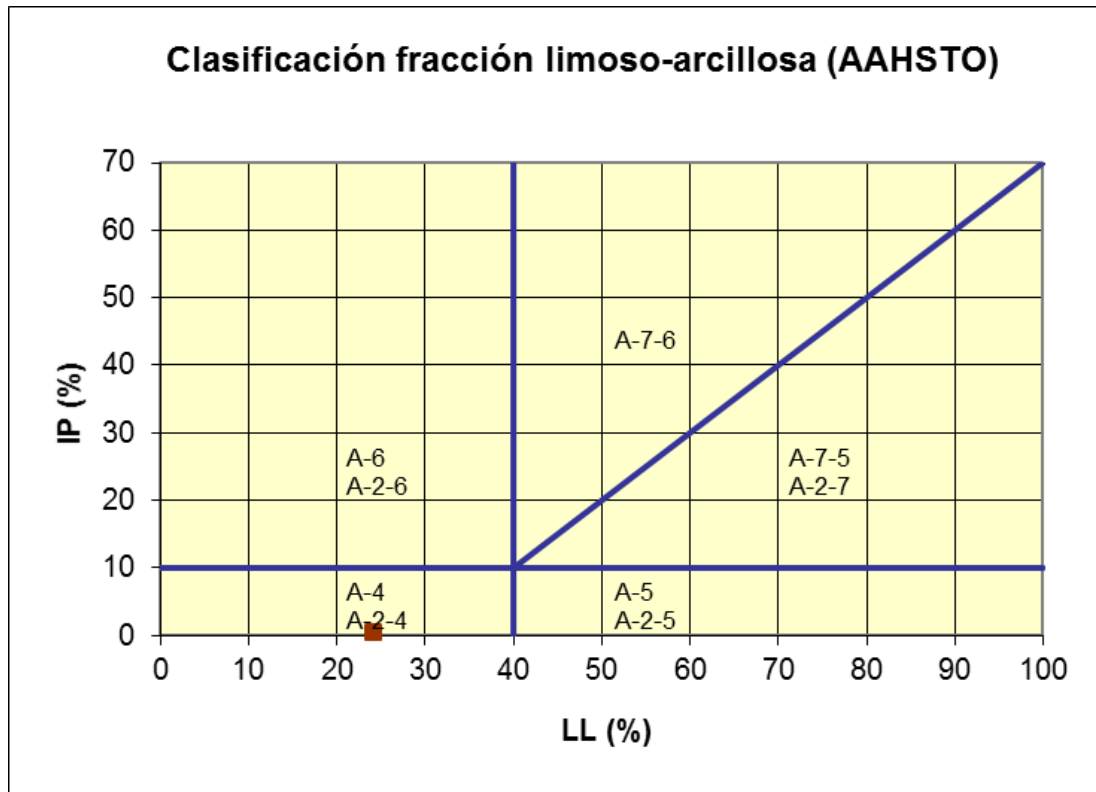


Figura 4: Carta de plasticidad.

FUENTE: Elaboración propia

Tabla 7: Sistema Unificado de Clasificación; símbolos de grupo para suelos arenosos.

Símbolo de grupo criterios			
SW	Menos de 5% pasa la malla No. 200	$C_u = D_{60}/D_{10}$ mayor que o igual a 6	$Q = (I > 30) / 2 \times K_p \times D_{60}$ entre 1 y 3
SP	Menos de 5% pasa la malla No. 200	no cumple ambos criterios para SW	
SM	Más de 12% pasa la malla No. 200	los límites de Atterberg se grafican debajo de la línea A (figura 2.12)	o índice de plasticidad menor que 4
Se	Más de 12% pasa la malla No. 200	los límites de Atterberg se grafican arriba de la línea A (figura 2.12)	índice de plasticidad mayor que 7
SC-SM	Más de 12% pasa la malla No. 200	los límites de Atterberg caen en el área sombreada marcada CL-ML en la figura 2.12	
SW-SM	Porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12	cumple los criterios para SW y SM	
SW-SC	Porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12	cumple los criterios para SW y SC	
SP-SM	Porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12	cumple los criterios para SP y SM	
SP-SC	Porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12	cumple los criterios para SP y SC	
Símbolo de grupo criterios			
CL	Inorgánico	$LL < 50$	$PI > 7$ se grafica sobre o arriba de la línea (véase zona CL en la figura 2.12)
ML	Inorgánico	$LL < 50$	$PI < 4$ o se grafica debajo de la línea A (véase la zona ML en la figura 2.12)



OL	Orgánico	LL — seco en homo) / (LL — sin secar)	< 0.75	LL < 50 (véase zona OL en la figura 2.12)
CH	Inorgánico	LL > 50		PI se grafica sobre o arriba de la línea A (véase la zona CH en la figura 2.12)
MH	Inorgánico	LL > 50		PI se grafica debajo de la línea A (véase la zona MH en la figura 2.12)
OH	Orgánico	LL — seco en homo) / (LL — sin secar)	< 0.75	LL > 50 (véase zona OH en la figura 2.12)
CL-ML Inorgánico	Se grafica en la zona sombreada en la figura 2.12			
Pt	Turba, lodos y otros suelos altamente orgánicos			

FUENTE: Fundamentos de ingeniería geotécnica Brajan.

**Tabla 8:** Sistema unificado de clasificación suelos.

DIVISIONES PRINCIPALES	Símbolos del grupo	NOMBRES TÍPICOS	IDENTIFICACIÓN DE LABORATORIO
<b>GRAVAS</b>			
	Gravas limpias	Gravas, bien graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.	$Cu = D_{60}/D_{10} > 4$ $Cc = (D_{30})^2 / D_{10} \times D_{60}$ entre 1 y 3
	(sin o con pocos finos)	Gravas mal graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.	No cumplen con las especificaciones de granulometría para GW.
<b>SUELOS DE GRANO GRUESO</b>	Gravas con finos	Gravas limosas, mezclas grava-arena-limo.	Determinar porcentaje de grava y arena en la curva granulométrica. Según el porcentaje de finos (fracción inferior al tamiz número 200). Límites de
	Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por el tamiz número 4 (4,76 mm)	Gravas arcillosas, mezclas grava-arena-arcilla.	
	(apreciable cantidad de finos)		
<b>ARENAS</b>			
	Arenas limpias	Arenas bien graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.	$Cu = D_{60}/D_{10} > 6$ $Cc = (D_{30})^2 / D_{10} \times D_{60}$ entre 1 y 3
	(pocos o sin finos)	Arenas mal graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.	Cuando no se cumplen simultáneamente las condiciones para SW.
Más de la mitad del material retenido en el tamiz número 200	Arenas con finos	Arenas limosas, mezclas de arena y limo.	Límites de Atterberg debajo de la línea A o $IP < 4$ .
Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por el tamiz número 4 (4,76 mm)	(apreciable cantidad de finos)	Arenas arcillosas, mezclas arena-arcilla.	Límites de Atterberg sobre la línea A con $IP > 7$ .
	<b>Limos y arcillas:</b>	Limos inorgánicos y arenas muy finas,	Los límites situados en la zona rayada con IP entre 4 y 7 son casos intermedios que precisan de símbolo doble.

			limos limpios, arenas finas, limosas o arcillosa, o limos arcillosos con ligera plásticidad.
<b>SUELOS DE GRANO FINO</b>			
		<b>CL</b>	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas.
	Límite líquido menor de 50	<b>OL</b>	Limos orgánicos y arcillas orgánicas limosas de baja plasticidad.
	<b>Limos y arcillas:</b>		
		<b>MH</b>	Limos inorgánicos, suelos arenosos finos o limosos con mica o diatomeas, limos elásticos.
		<b>CH</b>	Arcillas inorgánicas de plasticidad alta.
Más de la mitad del material pasa por el tamiz número 200	Límite líquido mayor de 50	<b>OH</b>	Arcillas orgánicas de plasticidad media a elevada; limos orgánicos.
<b>Suelos muy orgánicos</b>		<b>PT</b>	Turba y otros suelos de alto contenido orgánico.

FUENTE: Fundamentos de ingeniería geotécnica Brajan.

### 2.3. PERMEABILIDAD HIDRÁULICA DEL SUELO

El flujo de agua a través de medios porosos, es gobernado por una ley descubierta experimentalmente por Henri Darcy en 1856, Darcy investigo las características del flujo del agua a través de filtros, formados por materiales térreos. (Juárez Badillo & Rico Rodríguez, 2005, pág. 193)

La conductividad hidráulica o permeabilidad se define como el caudal que atraviesa la unidad del área de un medio poroso bajo un gradiente hidráulico unidad.

Define la segunda de las propiedades que caracterizan a una unidad geológica como acuíferos; físicamente representa la facilidad con que un medio deja pasar el agua a su través; depende tanto de las propiedades del medio como de las del fluido. (Instituto Tecnológico GeoMinero, s.f, pág. 77)

Los espacios vacíos o poros entre los granos del suelo permiten que el agua fluya a través de ellos. En mecánica de suelos e ingeniería de cimentaciones se debe saber cuánta agua fluye a través del suelo en un tiempo unitario. Este conocimiento se requiere para diseñar presas de tierra, determinar la cantidad de infiltración bajo estructuras hidráulicas y para desaguar antes y durante la construcción de cimentaciones. Darcy (1856) propuso la siguiente ecuación (figura 5) para calcular la velocidad del flujo de agua a través de un suelo

$$v = Ri$$

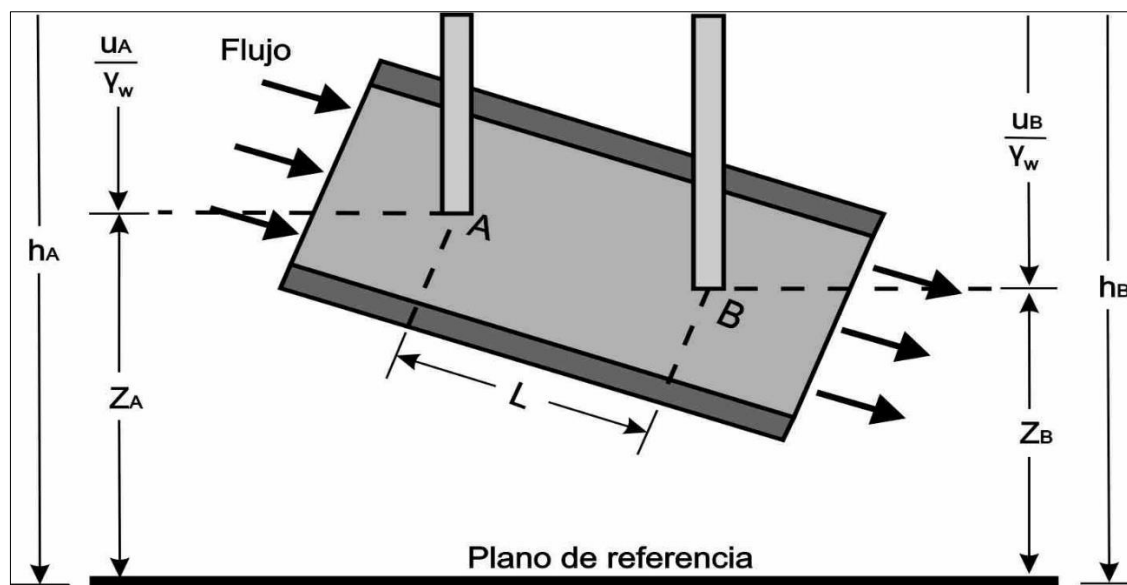
Dónde:  $v$  = velocidad de Darcy (unidad: cm/s)

$R$  = permeabilidad hidráulica del suelo (unidad)cm/s

$I$  = gradiente hidráulico

**El gradiente hidráulico  $i$  se define como**

$$i = \frac{h}{L}$$



**Figura 5:** Carga de presión, carga de elevación y cargas totales para el flujo de agua a través de un suelo.

FUENTE: Fundamentos de ingeniería geotécnica Brajan.

### 2.3.1. Permeabilidad

Se dice que un material es permeable cuando contiene huecos o intersticios continuos, todos los suelos y rocas satisfacen esta condición, pero existe grandes diferencia en el grado de permeabilidad; la cantidad de agua que pasa a través del suelo o roca puede ser tan pequeña que puede ser inadvertida, pero puede producir presiones de infiltración entre los granos minerales, por lo las pruebas de permeabilidad en las muestras de suelo se hacen usualmente con un permeámetro de carga variable o con un de carga constante. (Peck, Hanson, & Thornburn, 1983, pág. 69)

Para (Braja M., 2001, pág. 83) “La permeabilidad de los suelos depende de varios factores: viscosidad del fluido, distribución del tamaño de los poros, distribución granulométrica, relación de vacíos, rugosidad de las partículas minerales y grado de saturación del suelo. En los suelos arcillosos, la estructura juega un papel importante en la permeabilidad. Otros factores mayores que afectan la permeabilidad de las arcillas son

la concentración iónica y el espesor de las capas de agua adheridas a las partículas de arcilla.”

(E. Bowles, 1981, pág. 99) Señala que el coeficiente de permeabilidad de una masa de suelo homogénea, isotrópica depende principalmente de los siguientes factores: la viscosidad del fluido en los poros (normalmente agua), la relación de vacío  $e$  del suelo, el tamaño y forma de los granos e suelo, el grado de saturación.

**Tabla 9:** Valores típicos de permeabilidad para suelos saturados.

Tipo de suelo	k (cm/s)
Grava limpia	100-1
Arena gruesa	1.0-0.01
Arena fina	0.01 -0.001
Arcilla limosa	0.001 -0.00001
Arcilla	0.000001

FUENTE: Fundamentos de ingeniería geotécnica Brajan.

### 2.3.2. Suelos lacustres

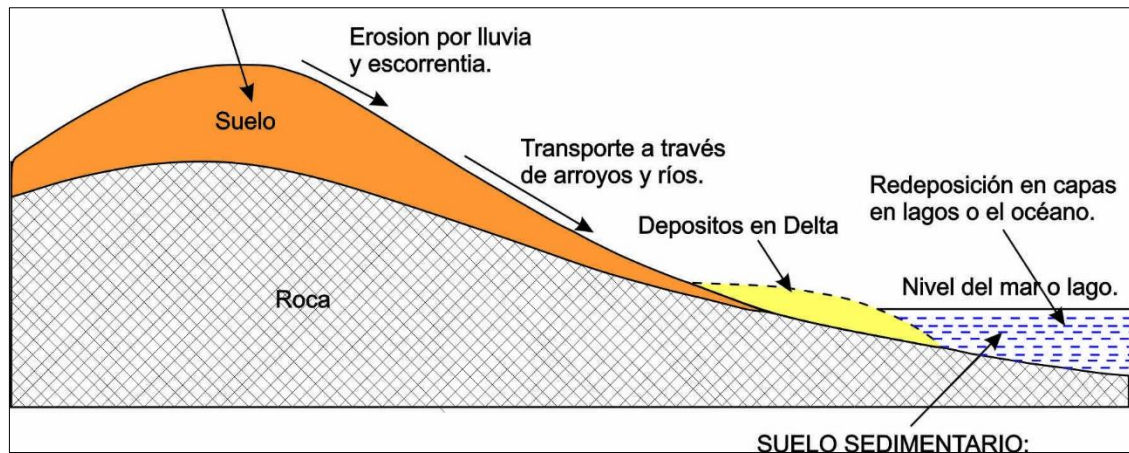
“Los depósitos lacustres o depósitos de sedimentos finos en los lagos corresponden al resultado de un proceso de sedimentación que genera una estructura estratificada, con capas de espesor poco variable, dentro de los cuales las propiedades de plasticidad y compacidad muestran también poca variación en el sentido horizontal del depósito. Debido a su muy baja compacidad, presentan baja resistencia y alta compresibilidad como materiales de cimentación. Los suelos lacustres del Valle de México son un ejemplo notable de depósitos de arcillas coloidales, blandas, de alta compresibilidad y de gran profundidad, que son capaces de generar grandes asentamientos de las cimentaciones construidas sobre ellas (Tamez, 2001).

Los sedimentos finos y muy finos como limos y arcillas son depositados cuando la corriente de agua descansa, como en lagos, lagunas, estuarios y deltas. Estos depósitos se pueden encontrar con media a alta, y muy alta compresibilidad. Pueden encontrarse con contenidos de materia orgánica coloidal, o pueden estar totalmente compuestos de material orgánico como la turba. El comportamiento esfuerzo - deformación es complicado comparado con otros sedimentos. En su comportamiento mecánico muestran viscosidad intergranular. Las relaciones esfuerzo - deformación - tiempo deben investigarse para posibilitar la estimación de asentamientos. Debido a su permeabilidad muy baja el proceso de consolidación es importante, ya que el retraso de la deformación debido a los procesos hidrodinámicos no puede ser pasado por alto (Zeevaert, 1983).

A parte del proceso físico y químico directo que convierte las rocas en suelo, existen otros procesos que transportan las partículas de suelo los depositan en los lagos y los océanos. Este proceso está ilustrado en la Figura 6. El suelo formado directamente por la descomposición química es llamado un suelo residual. Este permanece en el lugar justo debajo y en contacto con su roca madre. Las lluvias erosionan parte de este suelo residual y los transportan mediante corrientes de agua y ríos para eventualmente terminar en lagos o el océano donde son depositados como sedimentos en el fondo del lago u océano. Este proceso puede continuar por miles de millones de años, y los suelos están sometidos a compresión, o “consolidación”, conforme se depositan capas adicionales por encima de ellos. De esta forma el suelo puede formar un gran espesor. Los suelos formados de esta manera son llamados suelos sedimentarios o suelos transportados (Wesley, 2009)”.  
(Laura H., 2016, pág. 16)

#### SUELO RESIDUAL

Producido por desintegración física y descomposición química de la roca subyacente.



**Figura 6:** Formación del suelo lacustre (sedimentario). (Wesley, 2009).

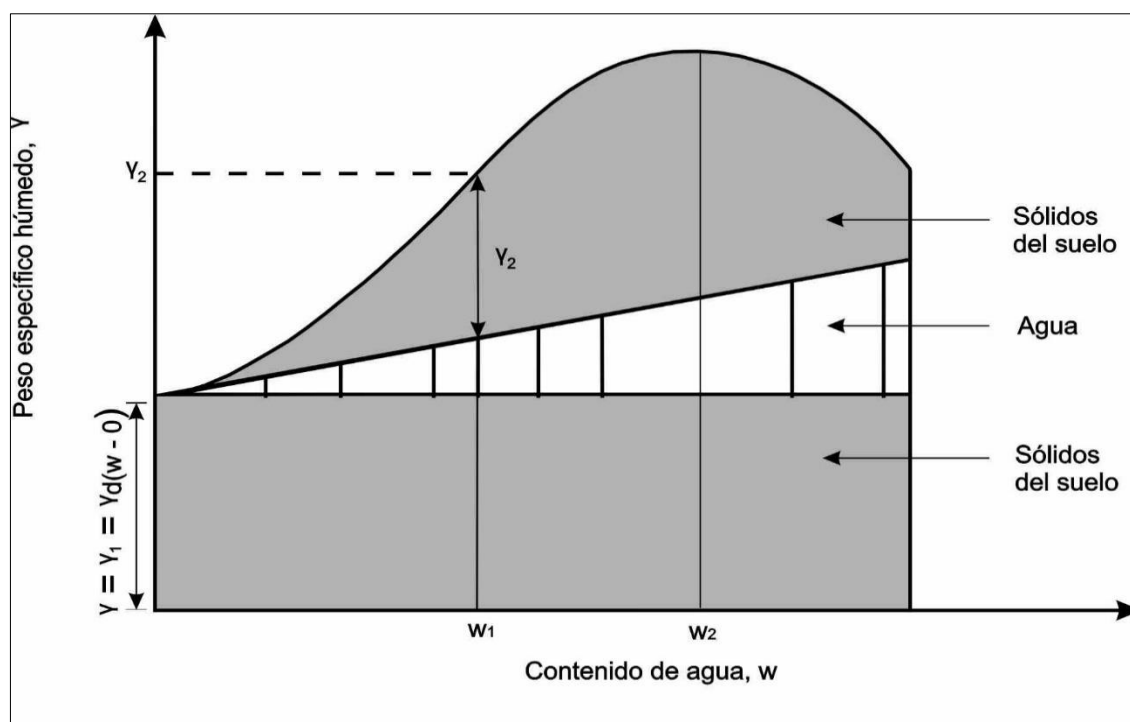
FUENTE: Fundamentos de ingeniería geotécnica Brajan.

## 2.4. COMPACTACIÓN DE SUELOS

(Braja M., 2001, pág. 51) “La compactación es la densificación del suelo por remoción de aire, lo que requiere energía mecánica. El grado de compactación de un suelo se mide en términos de su peso específico seco. Cuando se agrega agua al suelo durante la compactación, ésta actúa como un agente ablandador de las partículas del suelo, que hace que se deslicen entre sí y se muevan a una posición de empaque más denso. El peso específico seco después de la compactación se incrementa primero conforme aumenta el contenido de agua (figura 7). Note que a un contenido de agua  $w = 0$ , el peso específico húmedo ( $'Y$ ) es igual al peso específico seco ( $'Y d$ ) o  $'Y = 'Yd(w = 0) = 'y'1$

Cuando el contenido de agua es gradualmente incrementado y se usa el mismo esfuerzo compactador para la compactación, el peso de los sólidos del suelo en un volumen unitario crece en forma gradual. Por ejemplo, en  $w = w'1$  el peso específico húmedo es igual a  $Y=Y2$

Sin embargo, el peso específico seco bajo este contenido de agua está dado por  $y_d(w=w'1) = Y_d(w=0) + \Delta y_d$ .



**Figura 7:** Principios de compactación.

FUENTE: Fundamentos de ingeniería geotécnica Brajan.

Más allá de un cierto contenido de agua  $w = w_2$ , (figura 7), cualquier incremento en el contenido de agua tiende a reducir el peso específico seco, debido a que el agua toma los espacios que podrían haber sido ocupados por las partículas sólidas. El contenido de agua bajo el cual se alcanza el máximo peso específico seco se llama *contenido de agua óptimo*.

La prueba de laboratorio usada generalmente para obtener el peso específico seco máximo de compactación y el contenido de agua óptimo es la prueba *Proctor de compactación* (Proctor, 1933). Su procedimiento se describe en la siguiente sección.”

#### 2.4.1. Prueba proctor estándar

“En la Prueba Proctor, el suelo es compactado en un molde que tiene un volumen de 943.3 cm<sup>3</sup>. El diámetro del molde es de 101.6 mm. Durante la prueba de laboratorio,



el molde se une a una placa de base en el fondo y a una extensión en la parte superior (figura 8).

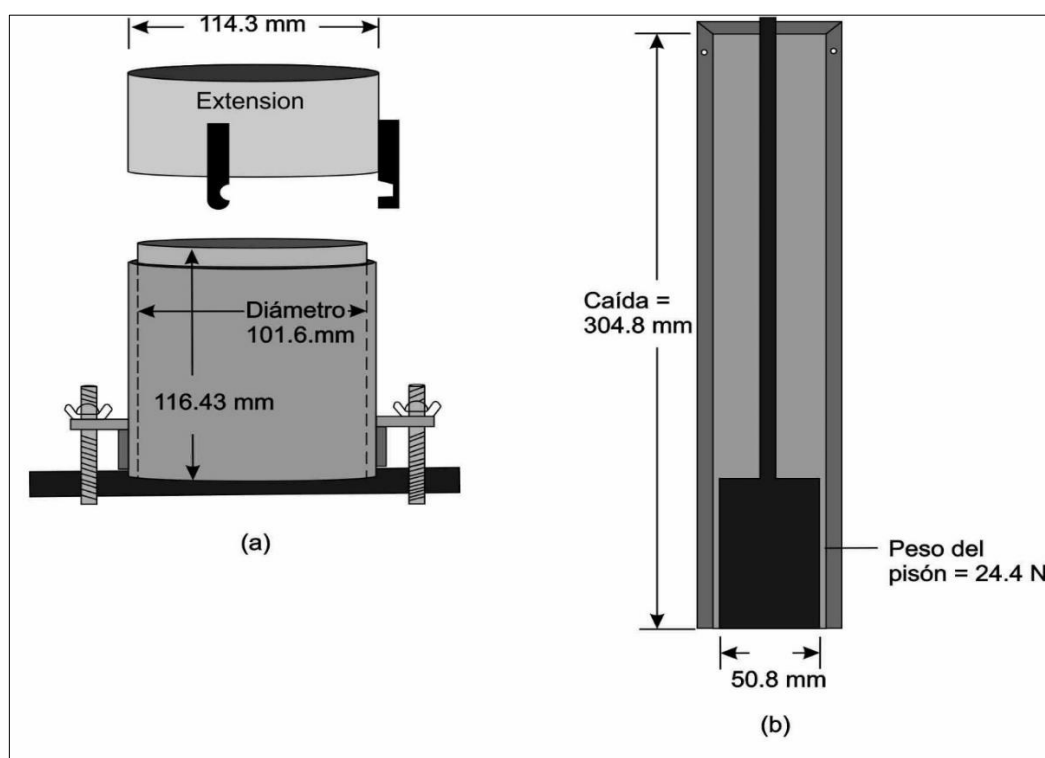
El suelo se mezcla con cantidades variables de agua y luego se compacta (figura 8) en tres capas iguales por medio de un pisón (figura 8b) que transmite 25 golpes a cada capa. El pisón pesa 24.4 N Y tiene una altura de caída de 304.8 mm. Para cada prueba, el peso específico húmedo de compactación)' se calcula como.

$$y = \frac{w}{V(m)}$$

Donde:

W = peso del suelo compactado del molde.

V(m) = Volumen del molde (943.3).



**Figura 8:** Equipo de prueba proctor estándar: (a) molde (b) pisón.

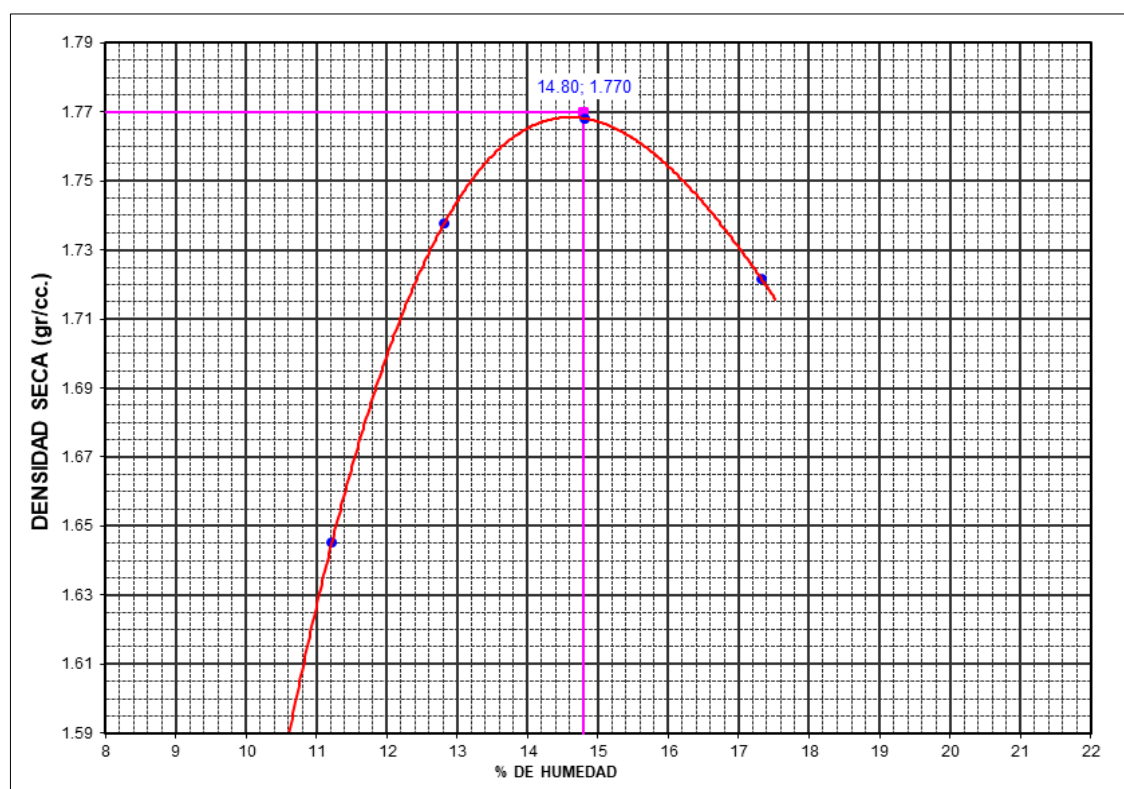
FUENTE: Fundamentos de ingeniería geotécnica Brajan.

Para cada prueba, el contenido de agua del suelo compactado se determina en el laboratorio. Con un contenido de agua conocido, el peso específico seco  $\gamma_d$  se calcula con la ecuación.

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + \frac{w(\%)}{100}}$$

Donde  $w$  (%) = porcentaje de contenido de agua.

Los valores de  $\gamma_d$  determinados con la ecuación (1.7) se grafican contra los correspondientes contenidos de agua para obtener el peso específico seco máximo y el contenido de agua óptimo para el suelo. La figura 9 muestra una tal compactación para suelo de arcilla limosa.



**Figura 9:** Resultado de la prueba de compactación Proctor estándar para una arcilla limosa.

FUENTE: Elaboración propia.

El procedimiento para la Prueba Proctor Estándar se da en la prueba D-698 de la ASTM y en la prueba T-99 de la AASHTO.

Para un contenido de agua dado, el peso específico seco máximo teórico se obtiene cuando no existe aire en los espacios vacíos, es decir, cuando el grado de saturación es igual a 100%. Así entonces, el peso específico seco máximo a un contenido de agua dado.” (Braja M., 2001, págs. 52,53)

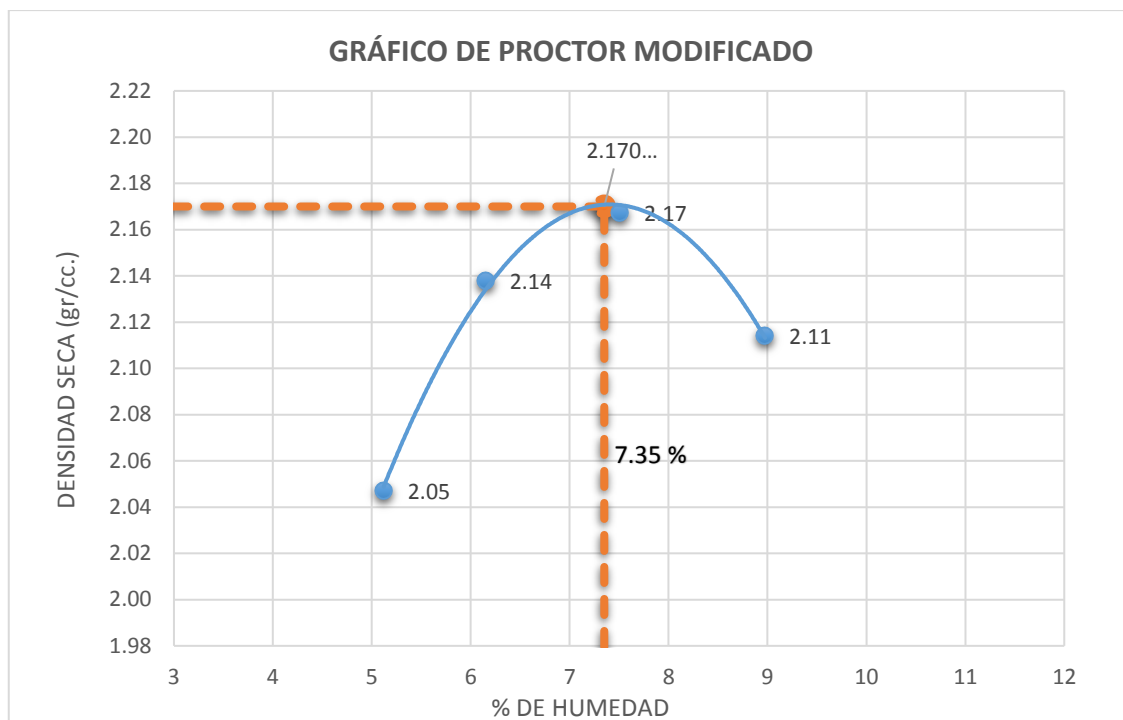
#### **2.4.2. Prueba proctor modificada**

“Con el desarrollo de rodillos pesados y su uso en la compactación de campo, la Prueba Proctor Estándar fue modificada para representar mejor las condiciones de campo. A ésta se le llama *prueba Proctor modificada* (Prueba D-1557 de la ASTM y Prueba T-180 de la AASHTO). Para llevar a cabo la prueba Proctor modificada se usa el mismo molde, con un volumen de 943.3 cm<sup>3</sup>, como en el caso de la prueba Proctor estándar. Sin embargo, el suelo es compactado en cinco capas por un pisón que pesa 44.5 N. La caída del martillo es de 457.2 mm. El número de golpes de martillo por capa es de 25 como en el caso de la prueba Proctor estándar. La figura 10 muestra un martillo usado para la prueba Proctor modificada. La energía de compactación por volumen unitario de suelo en la prueba modificada se calcula como

$$E = (25 \text{ golpes / capa})(5 \text{ capas})(44.5 \times 10^{-3} \text{ kN})(0.4572 \text{ m}) = 2696 \text{ kN-m/m}^3$$

$$943.3 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

Debido a que incrementa el esfuerzo de compactación, la prueba Proctor modificada resulta en un incremento del peso específico seco máximo del suelo. El incremento del peso específico seco máximo es acompañado por un decremento del contenido de agua óptimo.



**Figura 10:** Resultado de la prueba de compactación Proctor modificado de una grava arcillosa.

FUENTE: Elaboración propia.

## 2.5. VALOR RELATIVO DE SOPORTE “CBR”

“El CBR de un suelo es la carga unitaria correspondiente 0.1” ó 0.2” de penetración, expresada en por ciento en su respectivo valor estándar. También se dice que mide la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controlada, el ensayo permite obtener un número de la relación de soporte, que no es constante para un suelo dado, sino que se aplica sólo al estado en el cual se encontraba el suelo durante el ensayo.

Los ensayos de CBR se hacen usualmente sobre muestras compactas al contenido de humedad óptimo para un suelo específico, determinado utilizando el ensayo de compactación estándar o modificada del experimento.

El comportamiento de los suelos varía de acuerdo a su grado de alteración (inalterado y alterado) y a su granulometría y características físicas (granulares, finos, y plásticos).” (Paquita Merma, 2015, pág. 22)

**Tabla 10:** Ensayo de compactación modificado (CBR).

CBR –ASTM D- 4429			
Diámetro del molde (pulg.)	6		
Martillo (lb)	10		
Numero de capas	5		
Numero de golpes por capa	10	25	56

FUENTE: ASTM C-131.

### 2.5.1. Determinación de la expansión

“Los especímenes son saturados por 96 horas, con una sobre carga igual peso del pavimento que se utilizará en el campo, pero en ningún caso será menor que 4.50 kg.

Es necesario durante este período tomar registros de expansión cada 24 horas y al final de la saturación tomar el porcentaje de expansión.

$$E = [\%] = \left( \frac{\text{Expansión}}{\text{Altura de la muestra}} \right) \times 100$$

Las especificaciones establecen que los materiales de préstamo para;

Sub-base debe tener expansiones menores de 2%

Base debe tener expansiones menores de 1%” (Paquita Merma, 2015, pág. 23)

### 2.5.2. Calculo del CBR

(E. Bowles, 1981, pág. 191) Define que el ensayo CBR mide la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas. El ensayo permite

obtener un número de la relación de soporte, el número CBR se obtiene como la relación de la carga unitaria necesaria para lograr una cierta profundidad de penetración del pistón de penetración dentro de la muestra compactada de suelo a un contenido de humedad y densidad dadas con respecto a *la carga unitaria* patrón requerida para obtener la misma profundidad de penetración en una muestra estándar de material triturado. En forma de ecuación esto es:

$$CBR = \left( \frac{\text{carga unitaria del ensayo}}{\text{carga unitaria patrón}} \right) \times 100(\%)$$

Para calcular el CBR se toma como material de comparación la piedra triturada que sería el 100%. (Paquita Merma, 2015, pág. 24)

La resistencia a la penetración que presenta a la hincada del pistón es la siguiente:

**Tabla 11:** Valores de carga unitaria patrón.

mm.	Pulg.	Penetración		Carga Unitaria Patrón	
		MPa.	PSI.	Kg./Cm2.	
2.5	0.1	6.9	1000	70	
5	0.2	0.3	1500	105	
7.5	0.3	13	1900	133	
10	0.4	16	2300	161	
12.7	0.5	18	2600	182	

FUENTE: ASTM C-131.

### 2.5.3. Generalidades sobre capacidad portante por resistencia

Los factores que deben tenerse en cuenta para determinar la capacidad portante de las cimentaciones superficiales son numerosos y variados. En los métodos de cálculo se distinguen entre:

- La forma de las cimentaciones (zapatas corridas, cuadradas, rectangulares o circulares);
- La inclinación del suelo o de la cimentación (suelo horizontal, suelo inclinado, al borde o en el talud, cimentación inclinada);
- La geometría y las propiedades mecánicas del suelo (suelo homogéneo o heterogéneo, suelo estratificado, suelo cohesivo, suelo granular);
- Las condiciones de contacto entre el cemento y el suelo (contacto rugoso, contacto liso);
- Las características de la carga aplicada (carga vertical centrada, excéntrica, inclinada);
- La influencia del agua (presencia del nivel freático a diferentes profundidades).

## **2.6. CRITERIO DE RESISTENCIA ESTABILIDAD DEL TERRENO**

Es algo complicado hacer una descripción exhaustiva del desarrollo de los métodos de predicción de la capacidad portante de los suelos en base a los resultados de los ensayos de laboratorio, es decir, utilizando el criterio de falla de Mohr-Coulomb, debido a que son ya antiguos. Pero podemos remitirnos al inventario elaborado por Meyerhof (1963) que revisa los cálculos de cimentaciones superficiales 20 años después del texto de Terzaghi (1943), y el de Vesic (1973). Terzaghi(1943), por su parte realiza una revisión de las teorías desarrollados a principios del siglo XX.

### **2.6.1. Teoría de Karla Terzaghi (1943)**

“La teoría de Terzaghi (1943) desarrollada en base a los estudios de Prandtl (1920) para metales, es uno de los primeros esfuerzos para adaptar la Mecánica de Medios

Continuos (MMC) para describir el comportamiento de los suelos, y su impacto en la Mecánica de Suelos ha sido de tal importancia que es la más difundida y usada para el cálculo de capacidad portante en la práctica, especialmente para el caso de cimentaciones superficiales.

Esta teoría se aplica al caso más general de un suelo con cohesión y fricción ( $c$  y  $\phi$ ), cuya ley de resistencia al corte está determinada por la siguiente ecuación:

$$r = c + \sigma \tan \phi \quad (1)$$

La falla por capacidad portante está definida como una rotura del suelo de fundación que ocurre cuando el esfuerzo de corte aplicado al suelo excede a la resistencia al corte del suelo. Las fallas por capacidad portante de cimentaciones superficiales pueden agruparse en tres categorías (Vesic, 1963).

- a) **Falla por corte general.** Como se observa en la Figura 11(a) una falla por corte general involucra una rotura total del suelo adyacente. Hay una falla continua por corte del suelo desde la base del cimiento hasta la superficie del terreno. En la gráfica carga - asentamiento del cimiento, hay una carga distinta con la que la cimentación falla, y esto es generado por la carga última aplicable  $Q_u$ . El valor de  $Q_u$  dividido por el ancho  $B$  y la longitud  $L$  de la cimentación se considera que es la capacidad portante última,  $q_u$ , del terreno de fundación. La capacidad portante última ha sido definida como el esfuerzo de carga que causa una falla catastrófica súbita de la cimentación. Note la rotura de falla por corte general y desplazamiento del suelo en ambos lados de la cimentación. Para las fallas actuantes en el terreno, el suelo es desplazado en solo un lado del cimiento con la consecuente inclinación de la estructura.



Una falla por corte general se produce en suelos incompresibles o en estado rígido como: arcillas duras y arenas densas.

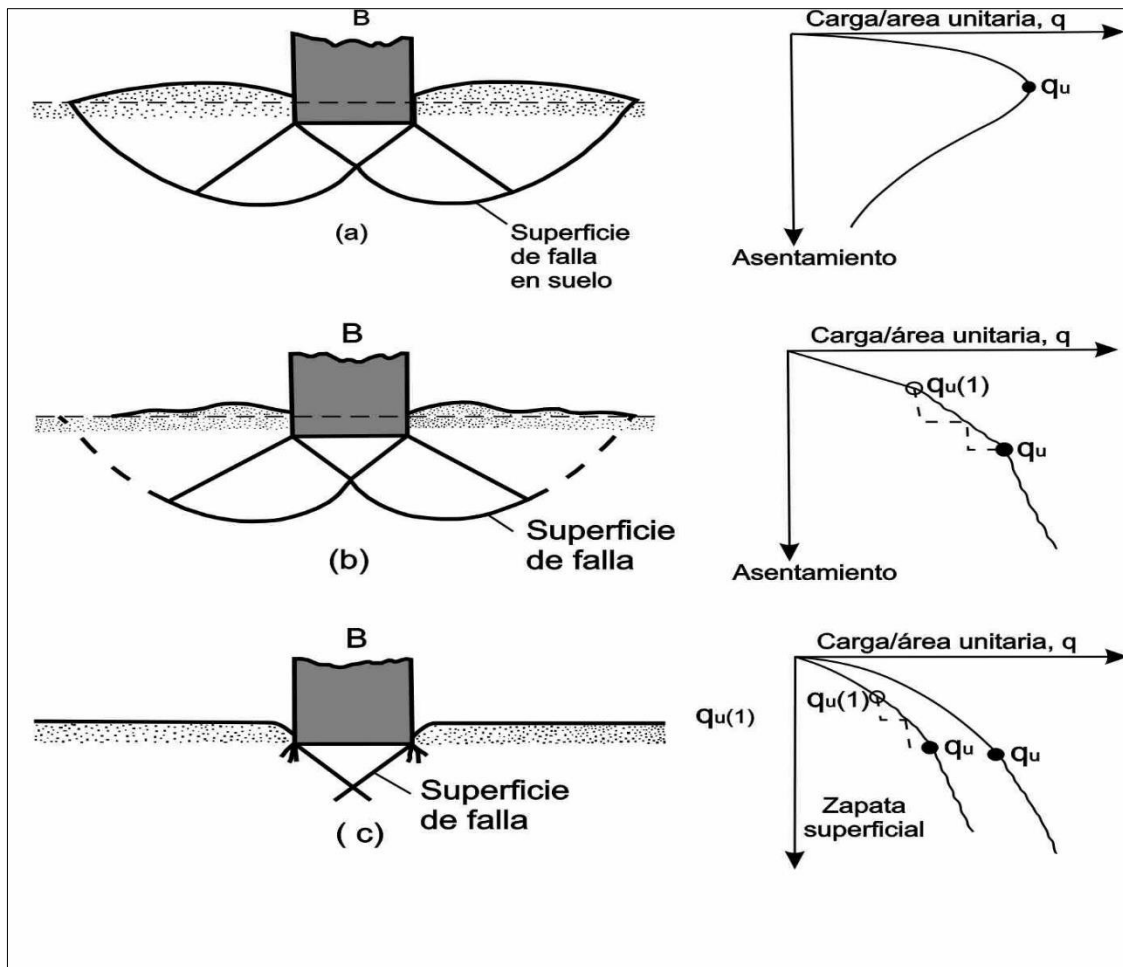
- b) **Falla por corte local.** Como se observa en la Figura 11(b), la falla por corte local involucra una rotura del suelo sólo a inmediaciones del cimiento. El suelo se eleva en ambos lados del cimiento, pero la elevación (desplazamiento) no es significativa como en el corte general. La falla por corte local puede ser considerada una fase transicional entre la falla por corte general y la falla por punzonamiento. Debido a su naturaleza transicional, la capacidad portante puede ser definido como el primer punto no lineal en la curva carga -asentamiento (círculo abierto) o al punto donde el asentamiento crece rápidamente (círculo cerrado).

Una falla por corte local se produce en los suelos que tienen una densidad media como: arcillas sensibles o blandas y arenas sueltas.

- c) **Falla por punzonamiento.** Como se observa en la Figura 11(c), una falla por punzonamiento no desarrolla las distintas superficies de corte asociadas con una falla por corte general. En una falla por punzonamiento, el suelo fuera del área cargada no es afectada y hay un movimiento mínimo del suelo en ambos lados del cimiento.

El proceso de deformación del cimiento involucra la compresión del suelo debajo del mismo, también el corte vertical del suelo alrededor del perímetro del cimiento. Como vemos en la Figura 11(c), la curva carga - asentamiento no tiene un cambio dramático, y para corte por punzonamiento la capacidad portante normalmente se define como el primer punto no lineal en la curva carga - asentamiento (círculo abierto).” (Laura H., 2016, pág. 37)

Una falla por punzonamiento ocurre en suelos muy compresibles o que están en estado muy suelto o suave.



**Figura 11:** Naturaleza de las fallas por capacidad de carga en suelos: (a) falla de cortante general; (b) falla de cortante local; (c) falla de cortante por punzonamiento.

FUENTE: Fundamentos de ingeniería geotécnica Brajan.

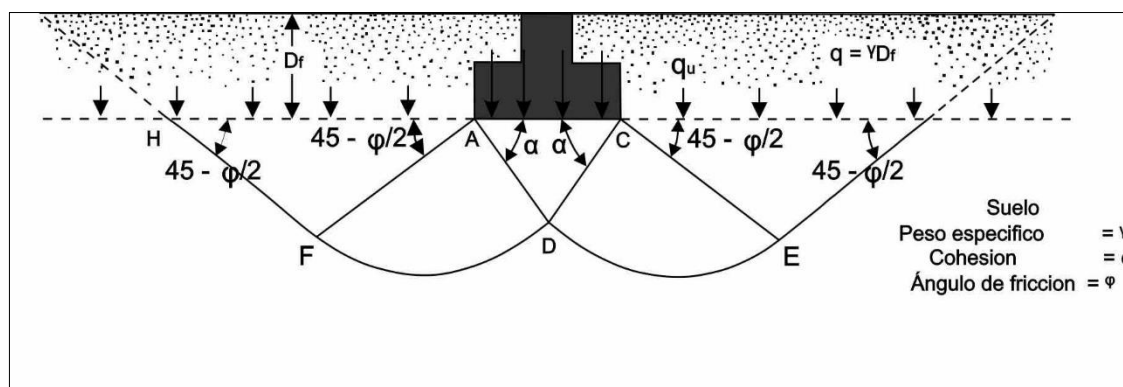
### 2.6.2. Teoría de la capacidad de carga última

“Terzaghi (1943) fue el primero en presentar una teoría para evaluar la capacidad última de carga de cimentaciones superficiales, la cual dice que una cimentación es *superficial* si la profundidad  $D_f$  (figura 11) de la cimentación es menor que o igual al ancho de la misma.

Sin embargo, investigadores posteriores han sugerido que cimentaciones con  $D_f$  igual a 3 o 4 veces el ancho de la cimentación se definen como *cimentaciones superficiales*.

Terzaghi sugirió que para una *cimentación continua* o *de franja* (es decir, la razón de ancho a largo de la cimentación tiende a 0), la superficie de falla en un suelo bajo carga última se supone similar a la mostrada en la figura 11 (Note que este es el caso de la falla cortante general como se definió en la figura 11) El efecto del suelo arriba del fondo de la cimentación se supone reemplazado por el efecto de una sobrecarga equivalente

$q = \gamma D_f$  (donde  $\gamma$  = peso específico del suelo). La zona de falla bajo la cimentación se separa en tres partes (véase la figura 12):



**Figura 12:** Falla por capacidad de carga en un suelo bajo una cimentación rígida continua rugosa.

FUENTE: Fundamentos de ingeniería geotécnica Brajan.

1. La *zona triangular ACD* inmediatamente debajo de la cimentación
2. Las *zonas de corte radial ADF y CDE*, en que las curvas *DE y DF* son arcos de una espiral logarítmica

3. Dos zonas pasivas de *Rankine* triangulares *AFH* y *CEG*.

Los ángulos *CAD* y *ACD* se suponen iguales al ángulo de fricción del suelo (es decir,  $\alpha = \phi$ ). Note que al reemplazar el suelo arriba del fondo de la cimentación por una sobrecarga equivalente  $q$ , la resistencia cortante del suelo a lo largo de las superficies de falla *GI* y *HJ* fue despreciada.

Usando el análisis del equilibrio Terzaghi expresó la capacidad última de carga en la forma  $qu = cNc + qNq + \frac{1}{2}\gamma B Ny$  (cimentación en franja).

Donde:

$c$  = cohesión del suelo

$\gamma$  = peso específico del suelo

$$q = \gamma D_f$$

$Nc$ ,  $Nq$ ,  $Ny$  = factores de capacidad de carga adimensionales que son únicamente funciones del ángulo de fricción del suelo,  $\phi$

Con base en estudios de laboratorio y campo de la capacidad de carga, la naturaleza básica de la superficie de falla en suelos sugerida por Terzaghi parece ahora ser correcta (Vesic, 1973). Sin embargo, el ángulo  $\alpha$  mostrado en la figura 9. es más cercano a  $45 + \phi/2$  que a  $\phi$ , como fue originalmente supuesto por Terzaghi. Con  $\alpha = 45 + \phi/2$ , las relaciones para  $Nc$  y  $Nq$  se expresan como” (Braja M., 2001, págs. 393,394)

$$Nq = \tan^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right) e^{\pi \tan \phi}$$

## 2.7. EL FACTOR DE SEGURIDAD

“El cálculo de la capacidad de carga admisible total en cimentaciones superficiales requiere la aplicación de un factor de seguridad ( $FS$ ) a la capacidad de carga total última,

$$q_{adm} = \frac{q_u}{FS} (1)$$

Sin embargo, algunos ingenieros en la práctica prefieren usar un factor de seguridad de. Capacidad de carga última neta Incremento del esfuerzo neto sobre el suelo

$$= \frac{\text{capacidad de carga ultima neta}}{FS} FS (2)$$

La capacidad de carga última neta se definió en la ecuación (1) como

$$q_{neta}(u) = q_u - q$$

Sustituyendo esta ecuación en la (2) se obtiene

Incremento del esfuerzo neto sobre el suelo

= carga por la superestructura por área unitaria de la cimentación

$$q_{neta} = \frac{q_u - q}{FS} (3)$$

El factor de seguridad definido por la ecuación (1) debe ser por lo menos 3 en todos los casos.” (Braja M., 2001, pág. 399)

## **CAPÍTULO III**

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. INSTRUMENTOS UTILIZADOS**

En el presente estudio de investigación se ha utilizado los siguientes equipos e instrumentos:

- Brújula brunton
- Flexómetro
- Martillo de geólogo
- Sistema de posicionamiento global (GPS)
- Estación total, con sus accesorios, para levantamiento topográfico
- Equipos de laboratorio de mecánica de suelos tales como: tamices, balanza electrónica, casa grande, horno, equipo de proctor y CBR, equipo los ángeles, accesorios otros, formatos y registros.

#### **3.2. CARÁCTER DEL ESTUDIO**

La investigación es del tipo experimental y descriptivo, realizada mediante la recopilación de datos e información de forma cualitativa y cuantitativa, para su posterior análisis e interpretación y diseño del proyecto.

### **3.3. RECOPIACIÓN Y REVISIÓN DE FUENTES DE INFORMACIÓN**

Etapa de recopilación, de selección y evaluación de información bibliográfica; revisión de topografía existente y relacionada con el estudio geológico-geotécnico, que nutra los conocimientos del ejecutor para su posterior uso en el proyecto de investigación como son:

- Información geológica –geotécnica, para el estudio del proyecto.
- Planos existentes de la zona de investigación, regional y local.
- Preparación de equipos de laboratorio, y de campo de mecánica de suelos.

### **3.4. TRABAJOS DE CAMPO**

#### **3.4.1. Etapa de campo I**

La etapa de inspección y visita técnica del área de Estudio del Proyecto, con la finalidad de realizar un reconocimiento global del área según Plano existente.

Mapeo geológico superficial, afloramiento de las unidades litológicas en el área de construcción del edificio

#### **3.4.2. Etapa de campo II**

La fase de campo; mapeo geológico levantamiento topográfico, excavaciones de calicatas. Se realizan ensayos in- situ y toma de muestras para el análisis de laboratorio.

Se realizaron los siguientes trabajos:

- Levantamiento topográfico de la zona.

- Reconocimiento del campo a cielo abierto en donde será edificado el edificio, para la ubicación de calicatas, para la ejecución y muestreo de suelos, en los cuales se excavaron cuatro (4) calicatas de 1m<sup>2</sup> de área.
- Excavación de calicatas en los puntos de mayor soporte de estructuras del edificio.
- Muestreo y toma de muestras en las calicatas preparadas y envío de muestras al laboratorio para los ensayos respectivos.

### **3.5. TRABAJO DE LABORATORIO**

Los trabajos del laboratorio se han orientado a determinar las características de los materiales obtenidos en el campo y en cada prospección efectuada.

Estos trabajos se efectuarán a las muestras disturbadas y según las recomendaciones de la American Society of Testing and Materials (ASTM).

- Limite líquido (ASTM D- 4318)
- Limite plástico (ASTM D- 4318)
- Humedad (ASTM D- 4318)
- Análisis granulométrico (ASTM D- 4318)
- Clasificación de suelos (S.U.C.S.)
- Pesos específicos (ASTM C- 127)
- Densidad de campo (ASTM D- 1556)
- Abrasión o Prueba de los ángeles (ASTM C- 131)
- Ensayo de corte directo (ASTM D- 4318)



- Ensayo de penetración estándar (ASTM D -1586)

### **3.6. TRABAJO DE GABINETE**

#### **3.6.1. Etapa de gabinete I**

Mediante el Software como de Microsoft Office, Sistema de Información Geográfica ArcGis 12, MapInfo 11, Envi 5.1, se realizará el procesamiento y automatización de la información obtenida durante la etapa de campo, se realizarán análisis estadísticos, elaboración y digitalización de mapas de campo, secciones geológicas, columna estratigráfica, evaluación e interpretación de resultados de las muestras obtenidas en campo tales como: petrográficos, mineralógicos y geoquímicos.

#### **3.6.2. Etapa de gabinete II**

Con la información existente de campo y resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio de mecánica de suelos, en cooperación con los registros y trabajos desarrollados, durante el proceso de investigación, se realizará el análisis de resultados y parámetros de cálculos de diseño, para la ejecución de la infraestructura del edificio archivo regional Puno.

### **3.7. AMBITO DE ESTUDIO**

#### **3.7.1. Ubicación**

La edificación se encuentra en la manzana ubicada entre la Av. Ejército y la Av. Simón Bolívar en el distrito y provincia de Puno, departamento de Puno, dicha edificación constituye el mejoramiento del servicio del archivo regional de Puno hacia la población.

**Tabla 12:** Ubicación de área de estudio archivo regional Puno.

Coordenadas UTM		
Norte	Este	cota (msnm)
8246875	391600	3818
8246825	391575	3818

FUENTE: Elaboración propia.

El edificio tiene las siguientes colindancias:

Norte : Jr. Toribio Rodríguez.

Sur : Jr. 4 de abril.

Este : Av. Simón Bolívar.

Oeste : Av. Ejército.



**Figura 13:** Localización del proyecto

FUENTE: Elaboración propia.

**Tabla 13:** Acceso al área del proyecto.

Tramo	distancia (km)	tiempo (min)	tipo de vía	vía principal
Lima-Puno		1.4	aérea	Aérea
Plaza armas -archivo regional	2	10	asfaltado	Av. ejercito

FUENTE: Elaboración propia.

### 3.7.2. Condición climática

Su temperatura oscila desde 2°C hasta un máximo de 23°C en épocas de heladas (mes de mayo, junio y julio) y en el día una temperatura promedio de 18°C el resto del año. Presencia de precipitaciones pluviales entre los meses de diciembre a abril, con un promedio anual de 760mm y vientos fuertes que se presentan en los meses de agosto y parte de setiembre.

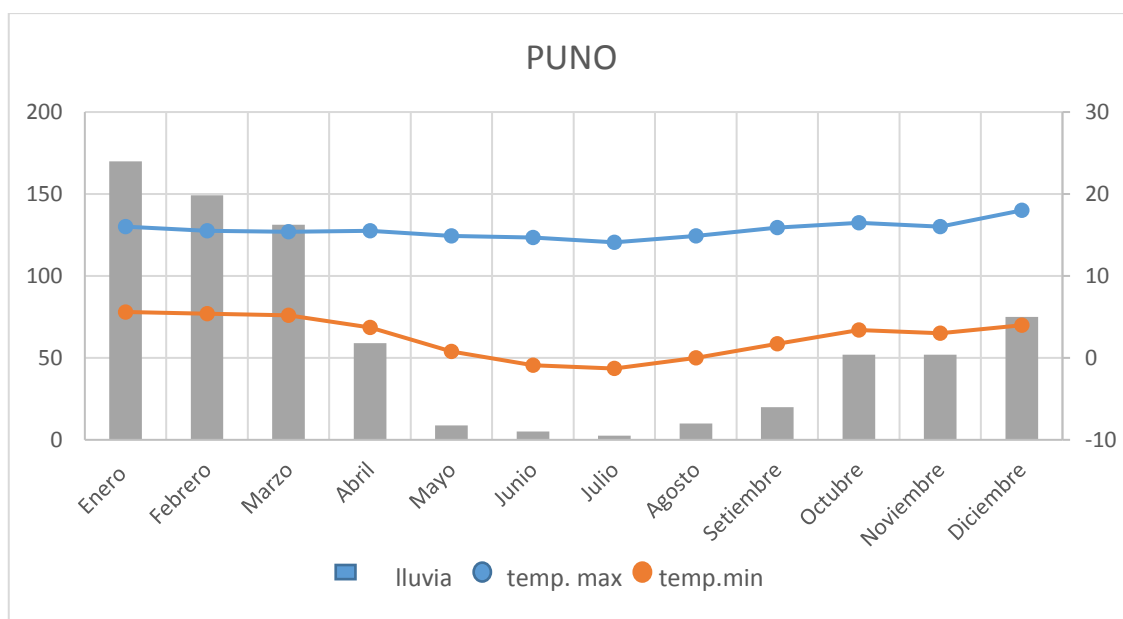
### 3.7.3. Vientos

Los vientos dominantes, de fuerza moderada, generalmente perturbados por brisas locales, son de sectores noreste durante la época de lluvias y del sector oeste al sureste el resto del año (SENAMHI-2018).

### 3.7.4. Lluvias

La precipitación que es uno de los componentes primarios del ciclo hidrológico, es considerada además como un fenómeno de tipo discontinuo.

La distribución de la precipitación es sumamente variable tanto en el espacio como en el tiempo. La estación de mayor frecuencia e intensidad de lluvias son los meses de diciembre - abril y llueve con mayor intensidad en el mes de e (Braja M. Das, 2001)nero (173.72 mm/mes)



**Figura 14:** Cuadro de precipitación máxima y temperaturas máximas y mínimas.

FUENTE: SENAMHI.

### 3.7.5. Temperatura

Constituye uno de los elementos fundamentales que condicionan el comportamiento del clima, siendo variado debido a diversos factores, como la ubicación geográfica, altitud, nubosidad, entre otros. Para Puno, el mes con temperatura más alta es noviembre (**16.8°C**); la temperatura más baja se da en el mes de julio (**-1.3°C**); (SENAMHI) y debido al efecto térmico de la masa del agua del lago Titicaca.

### 3.7.6. Distribución temporal de las precipitaciones

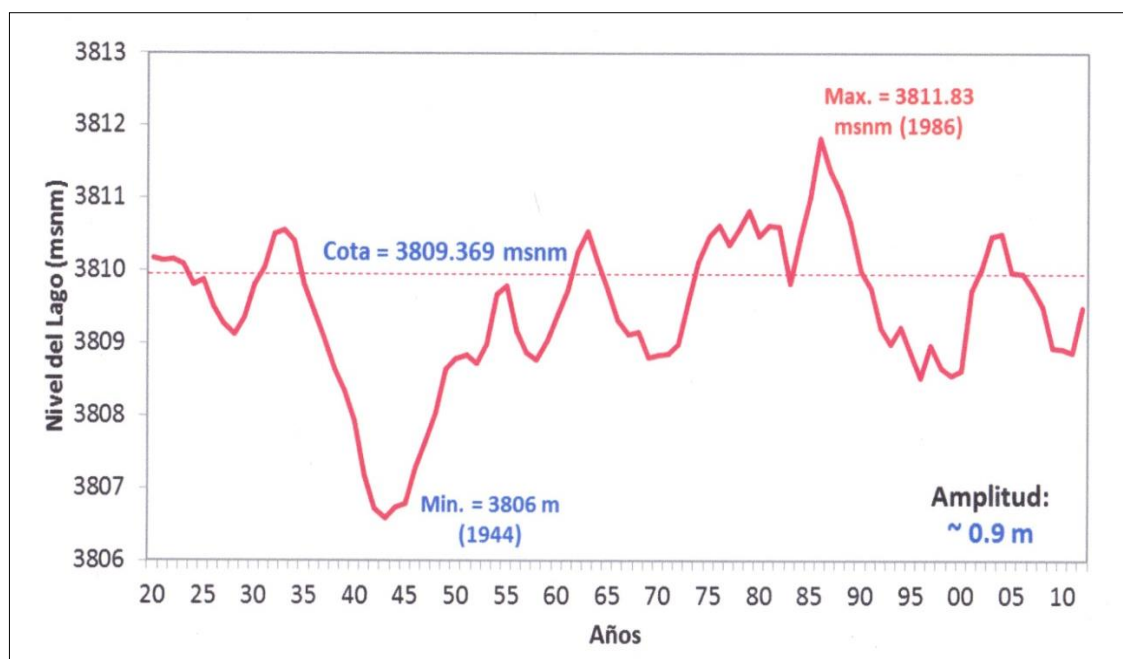
La época de lluvias está centrada en enero, comienza generalmente en diciembre para terminarse en marzo. La época seca centrada en junio, se escalona de mayo a agosto, dos periodos de transición separan estas dos épocas, uno en abril y el otro en septiembre a noviembre.

Según las cuencas, del 65 % al 75 % (SENAMHI) de las precipitación anual acumulada durante los cuatro meses de la época de lluvia, mientras que solamente del 3

% al 8 % (SENAMHI) intervienen durante la época seca. Los dos periodos intermedios corresponden a una partición de 18 a 29 % (SENAMHI).

### 3.7.7. Sequia e inundaciones

De la observación de la serie histórica de nivel del lago Titicaca durante los años de 1920 y 2010, se puede deducir que los periodos más secos fueron los años 1943, 1944, y que frecuencia de aparición de periodos secos con mayor a menor intensidad, es relativamente alta en relación a las inundaciones, en la segunda mitad de la década de los ochenta, varios años consecutivos de fuertes lluvias producirá un aumento de los aportes al lago, cuyo nivel ascendiendo progresivamente, anegando decenas de hectáreas en las zonas ribereñas. Este fenómeno, que tuvo su máxima expresión en el periodo de 1986 y 1987 (Ver figura 15).



**Figura 15:** Comportamiento de niveles del lago Titicaca (1920-2018).

FUENTE: SENAMHI -2018.

### **3.7.8. Flora y fauna**

La bahía de Puno sirve el hábitat natural para el desarrollo de diferentes especies vegetales, como la totora otras plantas macrofitas que se desarrollan principalmente en las zonas ribereñas de la bahía y en la desembocadura de sus afluentes. Las principales especies sumergidas enraizadas en el fondo localmente denominadas como llachos y sus diferentes variedades, también existen especies flotantes libres (lentejas acuáticas), extendidas en algunos lugares de la bahía como el helecho acuático que aparenta alfombras flotantes de color verde rojizo, y la grama dulce en parte seca.

La fauna más representativa de la bahía constituye las aves; destacan entre ellos el tikicho, la choca, patos silvestres, gaviotas andinas, parihuana o flamencos, el leccecho, y otros.

La ictiofauna nativa de la bahía está constituida generalmente por el carachi, el ispi entre otros; las especies introducidas que alcanza a un mayor valor comercial son la trucha y el pejerrey; así mismo existe una variedad de anfibios (ranas y sapos).

### **3.7.9. Geomorfología regional**

La zona de estudio se halla ubicado entre las unidades geomorfológicas regionales que se reconocen como cordillera oriental y occidental, se ha diferenciado bajo el criterio morfológico estructural y litológico estas unidades reconocidas se presentan como:

- Montañas
- Colinas y laderas
- Superficie y planicies
- Litoral lacustre

- Lago
- Bofedales

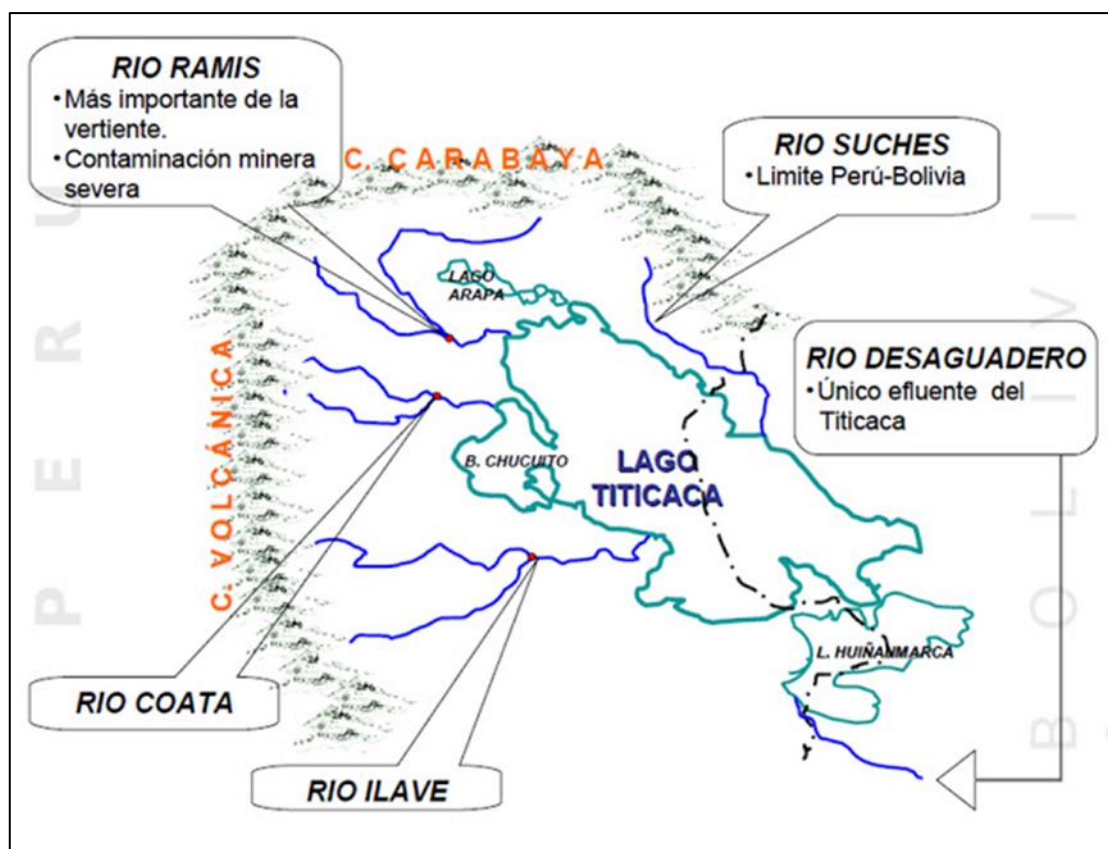
La zona presenta el relieve de baja a moderada, accidentalmente las planicies abarcan una extensión mayoritaria, mientras las colinas y laderas abarcan una porción pequeña, por otro lado el lago abarca toda la bahía de la ciudad de Puno, en la zona de estudio se encuentra con pocas montañas como una elevación máxima de 4335m (cerro Munaypata Cancharani), siendo el modelo principal inicialmente de los fenómenos tectónicos acompañados por factores erosivos, meteorización físico-mecánico, procesos eólicos que son las principales agentes de denudación existente.

### **3.8. HIDROGRAFÍA DEL LAGO TITICACA**

La hoya hidrográfica del Titicaca, está formado por varios ríos que nacen en los nevados de la cordillera oriental y occidental. Estos ríos son torrentosos en los meses de diciembre a marzo dependiendo de las precipitaciones pluviales.

El relieve general de las cuencas de los ríos de la vertiente del Titicaca es variable, pudiendo establecerse dos zonas diferenciadas: una alta, en la cual la hoya hidrográfica es escarpada, fondo profundo y quebrado, de pendiente relativamente fuerte; y otra baja y gradual pero de cauce ancho y profundo.

El discurrir de la mayoría de los ríos principales es muy sinuoso en su parte alta y radial en la parte baja, drenando estos en diversas direcciones, pero confluyendo hacia el gran colector constituido por el lago Titicaca.



**Figura 16:** Vertiente del Titicaca

FUENTE: Recuperado de <https://geografiaenaccion3052.blogspot.com/2009/09/vertiente-del-titicaca.html>

**Tabla 14:** Disponibilidad hídrica de la vertiente del Titicaca.

VERTIENTE	CUENCAS	DISPONIBILIDAD HIDRICA (M <sup>3</sup> /S)
LAGO TITICACA	SUCHES	8.4
	HUANCANE	23.7
	RAMIS	88.2
	COATA	39.3
	ILLPA	7.5
	ILAVE	40.1
	MAURE	3.7
	ZAPATILLAS	3.2
	CCALLACCAME	7.8
TOTAL		221.9

FUENTE: SENAMHI.



Los ríos en la vertiente del Titicaca tiene un caudal equivalente a 221.9 m<sup>3</sup>/s, entre los que destacan son: el Ramis (88.2 m<sup>3</sup>/s) e llave (40.1 m<sup>3</sup>/s); sólo una parte de la cuenca y del lago y; el resto a Bolivia (SENAMHI).

### **3.9. MARCO GEO ESTRUCTURAL LITO ESTRATIGRAFIA**

#### **3.9.1. Mesozóico**

##### FORMACIÓN DE CALIZAS AYABACAS (k-ay)

Las calizas son de color gris claro con tonos plomo azulado de grano fino y compacto, sus fisuras están rellenos de principalmente de calcita, poseen una superficie (textura) kárstica, estos paquetes producen suelos calacearos rojos pedregosos: como se observa en el cerro Azoguine y la zona de la localidad de Salcedo, las calizas son de origen marino, con edades que van desde el Mesozóico; Cretáceo superior, el término que fue definido por (Newell, 1949).

Esta unidad aflora con estructura transversal a la topografía. Cerros Huacuchune, con rumbos N-S y buzamientos altos; son capas duras con estratificación gruesa y fina; forman lechos altos, estables con escasos suelos.

En los cerros Catahuine y Azoguine , forman colinas bajas y altas con fracturamiento en bloques que se derrumban en laderas de alta pendiente ; particularmente en el cerro Azoguine done las urbanizaciones avanzan sin la prevención de estos riesgos. Se han detectado que viviendas han sido destruidas por bloques derrumbados.

En Azoguine las calizas están mineralizadas con cobre, plata y mercurio, de donde proviene el nombre del cerro; por lo que es una zona de contaminación mineralógica de suelos y aguas; en la zona de los cerros Pucara, Munaypata - Quiviani, las calizas tiene

similitud a las de Azoguine, donde forman colinas estables, correspondientes a bloques fallados levantados.

### **3.9.2. Cenozoico**

#### **a) Grupo Puno (Tpu)**

Está compuesto por una intercalación de areniscas, lutitas, conglomerados y calizas todos de color marrón a gris pardusco (conocidos como capas rojas) que se destacan por su naturaleza blanda y fácil erosión.

En Jayllihuaya aflora típicamente con estratos de rumbo E-O y buzamientos hasta verticales concordantes con las areniscas Muñani.

En la zona baja de los cerros Huayllane – Negro Peque, sobre la que se ha extendido el urbanismo de la ciudad de Puno, aflora con rumbos E- O y buzamientos bajos, que favorecen el modelado de baja pendiente.

En general, es un grupo de paquetes litológicos blandos por lo que la erosión ha dado lugar a zonas de depresión con modelado suave en laderas así como suelos superficiales a medio que favorecen el uso; sin embargo, algunos áreas contiene cantidades de clastos con muchas limitaciones, debido a las capas de conglomerados. En Jayllihuaya son evidentes estas características.

#### **b) Grupo Tacaza (PN-Ta/in)**

En el Sur destaca el grupo Tacaza, aflora extensamente en el área de Puno, partes altas de Arequipa, Moquegua y Tacna y en la parte occidental del Cusco y Sur de Apurímac; el Grupo Tacaza es conocida como un metalotecto, albergando mineralizaciones polimetálicas y auroargentíferas. (INGEMMET, 1995, pág. 80)

El término Volcánicos Tacaza, fue empleado por primera vez por Jenks (1949) siendo publicado formalmente por Newell (1949) describiendo una gruesa acumulación de rocas volcánicas en las proximidades de la Mina Tacaza en el cuadrángulo de Lagunillas. El Grupo Tacaza ocupa una gran extensión en los cuadrángulos de Puno 32-v-II Descansa casi siempre en discordancia sobre rocas del Mesozoico o del Grupo Puno, y unaparte en la parte norte de la zona estudiada, se aprecia con bastante claridad en el cerro Negro Peque, localmente sobre estratos paleozoicos. Este es a su vez superpuesto por varios volcánicos del Cenozoico o rocas volcánicas que se extienden desde las limoarcillitas y dolomitas del Grupo Maure hasta las los depósitos de travertinos de edad Cuaternaria. Como en muchas localidades no hay secciones completas, el espesor total es difícil de estimar. Se puede apreciar la variación general de 250 m. en el cuadrángulo de Juliaca a más de 1,900 m. en el valle del Colca.

**c) Intrusivos (ROCAS ÍGNEAS)**

Estas rocas se presentan en dos ámbitos distintos por origen y afloramiento; se han identificado tres unidades ígneas existentes en la micro cuenca.

**d) Intrusivo granodiorítico (KT-GD)**

Es una formación ígnea que instruyo las unidades sedimentarias del cretáceo y terciario, se encuentra formando casi el nivel de base local de la bahía, los afloramientos se encuentran en el islote denominado la Isla del diablo, el islote Chullune y parte de la Isla Esteves; formando afloramientos rocosos duros y estables.

Su composición es de cuarzo feldespatos y ferromagnesianos, de color rosáceo a gris con avanzado proceso de hidrolisis (caolinización) en partes y en partes esta inalterada, el intemperismo forma afloramientos en bloques desprendidos redondeados.

En la isla Esteves, está un contacto fallado con las calizas Ayabacas. Su distribución aislada parece indicar la existencia de bloques fallados levantados en la depresión tectónica de la cuenca del Lago Titicaca

### **3.9.3. Cuaternario reciente**

Es una formación ígnea que instruyó las unidades sedimentarias del cretáceo y terciario, se encuentra formando casi el nivel de base local de la bahía, los afloramientos se encuentran en el islote denominado la Isla del diablo, el islote Chullune y parte de la Isla Esteves; formando afloramientos rocosos duros y estables.

Su composición es de cuarzo feldespatos y ferromagnesianos, de color rosáceo a gris con avanzado proceso de hidrolisis (caolinización) en partes y en partes esta inalterada, el intemperismo forma afloramientos en bloques desprendidos redondeados.

En la isla Esteves, está un contacto fallado con las calizas Ayabacas. Su distribución aislada parece indicar la existencia de bloques fallados levantados en la depresión tectónica de la cuenca del Lago Titicaca

#### **a) Depósitos aluviales y coluviales**

Están conformados por unidades fluvio – aluviales y unidades lacustres; en el cual está emplazada el área del proyecto, que se han formado desde la última glaciación y que continúan formándose actualmente; así como, algunas está erosionadas.

Cabe destacar que las formaciones fluvio – aluviales recientes se formaron en condiciones climáticas más lluviosas, por lo que tiene una mayor amplitud, respecto a las condiciones actuales de precipitación; casos concretos de los fondos rellenados de los valles Jayllihuaya y Salcedo.

**b) Unidades lacustres**

La cuenca lacustre, denominada por la sedimentación bioclástica en la bahía de Puno, ha generado cinco unidades de acumulación lacustre, que se extienden desde la zona fluvio – lacustre (Qr – fl) en la zona litoral, hasta la acumulación en el fondo de la bahía (Qr –llb).

Están formados por arcillas, arenas y abundante materia orgánica depositada por las corrientes lacustres, los canales de rida fluvio – lacustre (rio Willy) y el desarrollo de las microfítos, cuando la profundidad acuática es menor a los 2.50m. Por efecto de la sedimentación y retroceso lacustre.

La sedimentación ha colmatado en gran parte de la bahía de Puno, produciendo la separación de la bahía interior, donde la sedimentación es más avanzada.

Estos depósitos propician el desarrollo de la totora y la formación de las denominadas “Islas flotantes” habitadas por los pobladores Uros; en la que predomina la acumulación y descomposición de materia orgánica.

ERA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOGRÁFICAS	LITOLOGÍA	DESCRIPCIÓN
CENOZOICO	TERCIARIO	PLIOCENO	CUATERNARIOS RECIENTES		gravas, arenas, limos, y arcillas. fragmentos de rocas o cantos rodados, arenas.
			LACUSTRE FLUVIO GLACIAL		Depósitos fluviales lacustrino, arcillas, limos y materia organica.
		MIOCENO INFERIOR	fm. TACAZA		Andesita porfirítica y flujos de basaltos conglomerados
		MIOCENO	INTRUSIVO		Diorita porfirítica
MESOZOICO	CRETÁCEO	SUPERIOR	Fm. CALIZAS AYABACAS		Calizas de color gris plomo, con textura carstica

Figura 17: Columna estratigráfica.

FUENTE: Elaboración Propia.

Las estructuras en el área del proyecto, son el resultado de la deformación ocurrida durante uno o más pulsos del ciclo andino, (orogenia andina), este es el evento mayor, el cual plegó al grupo Puno y a las calizas Ayabacas en estructuras abiertas y amplias, la mezcla de calizas Ayabacas consiste de bloques fracturados algunos fuertemente

plegados, y cuyas dimensiones varían entre docenas y centenas de metros de longitud, esos bloques a su vez están dispuestos caóticamente.

Es razonable suponer, que al menos las fallas están afectadas por intrusiones de diorita porfirítica, y las calizas Ayabacas, que probablemente descansan desde la base de la falla sobre dicha intrusión.

### **3.10. GEODINÁMICA EXTERNA EN EL ÁREA DE ESTUDIO**

Los procesos de geodinámica externa han sido controlados por los cambios climáticos suscitados durante el cuaternario, y que dieron lugar al desarrollo de quebradas y planicies aluviales y/o coluvio - aluviales, conformado por el material que fuera acarreado por las quebradas o cursos de agua y depositados en su parte terminal.

La influencia de agentes naturales en el área de estudio, presenta ligero riesgo de consideración por lo siguiente.

A través del mapeo geológico desarrollado en la zona del proyecto, no se ubicó quebradas jóvenes que interceptan la edificación. Sin embargo el lago Titicaca aumenta su volumen entre los meses de enero a abril, por lo tanto el área de la edificación presenta riesgos ligeros en la estabilidad física por presencia de agua es decir aumentos del nivel freático. Así mismo por las cercanía en la ubicación del lago Titicaca podría causar probable inundaciones u otros fenómenos naturales similares.

#### **3.10.1. Sismicidad**

Según análisis sismo tectónicos, existen en el mundo dos zonas muy importantes de actividad sísmica conocidas como el círculo Alpino Himalayo y el círculo de fuego del Pacífico. En esta última zona han ocurrido el 80% de los eventos sísmicos, quedando el 15% para el círculo Alpino Himalayo y el 5% restante se reparte en todo el mundo.

En el Perú está comprendido entre una de las regiones de más alta actividad sísmica, debido a la interacción de las placas tectónicas sudamericanas y de Nazca, y de los reajustes que se producen en la corteza terrestre como consecuencias de la interacción y la morfología alcanzada por el aparato andino

La historia sísmica del sur del Perú, indica que en el departamento de Puno, se han registrado varios sismos, como son el 31 de marzo de 1650 con intensidad 5° y el sismo de Ayapata en 1747 con intensidad 8°, el del 9 de abril de 1928 en Ayapata con intensidad local de 8° y de 5° en Puno , el mismo 9 de junio de 1940 en Bolivia con intensidad 7° y el sismo de 23 de junio del 2001 de intensidad 5° en Puno.

En función de las características sismotectónicas y curvas de isoenergía descritas en los ítems anteriores, el área de estudio, “construcción de edificio Archivo Regional”, se encuentra en la ZONA 3 (Figura 17). Estos parámetros deben ser considerados como indicadores importantes al momento de proyectar el desarrollo de obras de ingeniería.



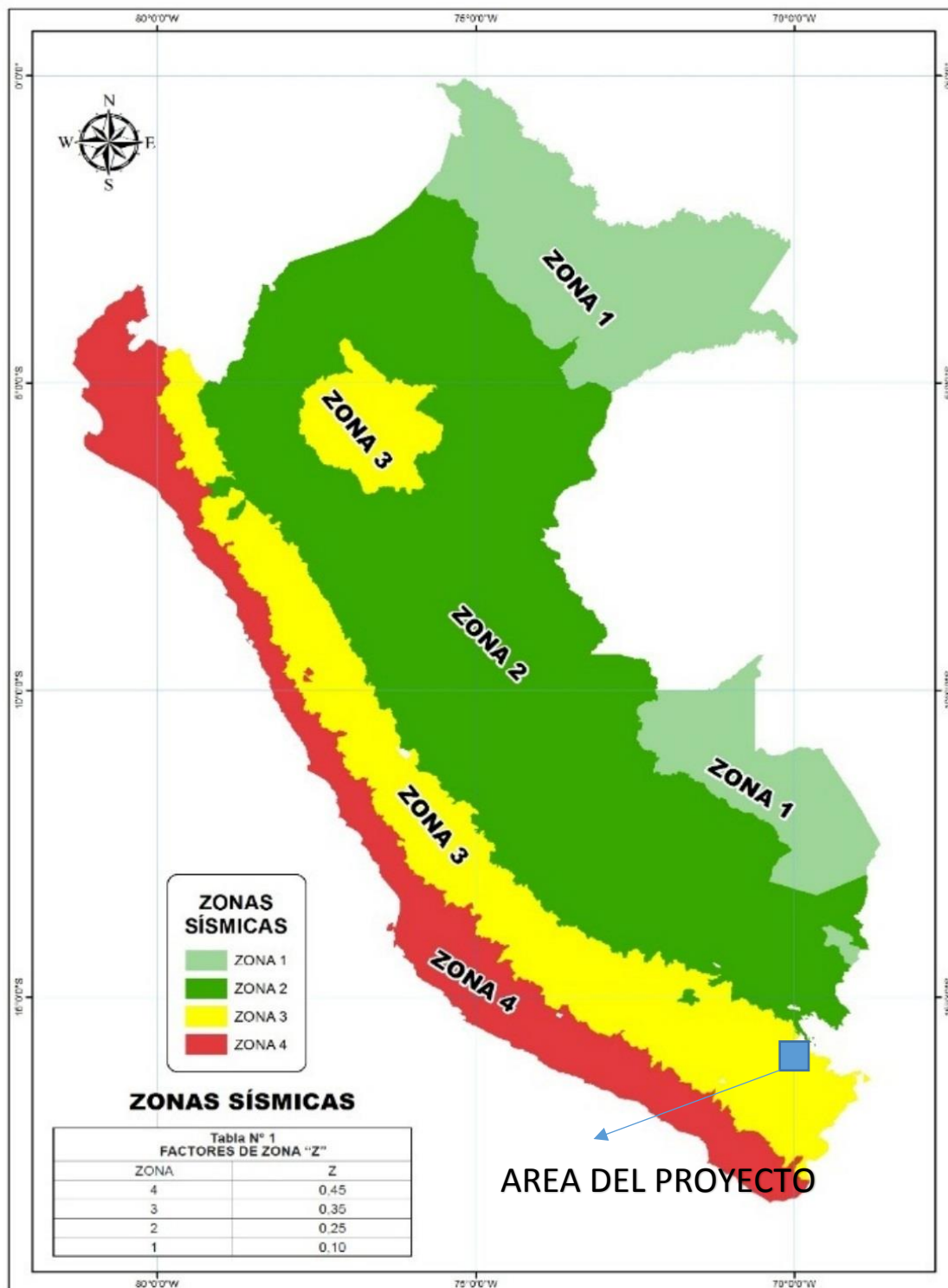


Figura 18: Mapa de zonificación sísmica del Perú.

FUENTE: MINAN.

### 3.10.2. Tectónica de placas

La actividad sísmica se produce debido a la interacción de las placas tectónicas, que son fragmentados de litosfera terrestre, cuya forma de casquete esférico de forma irregular se mueve sobre la astenosfera, cuyo espesor varia, según se trate de la litosfera continental u oceánica, entre 60 y 200 km como media. Por otro lado, los sismos son movimientos telúricos transitorios que se originan en un punto determinado de la corteza terrestre o de la parte superior del manto terrestre, como consecuencia de la brusca liberación de energía acumulada. La zona del proyecto se encuentra en la cuida de Puno donde se ha podido registrar magnitudes máximas de 4 a 9 grados en la escala de Richter.

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **4.1. CONDICIONES GEOLÓGICAS DEL SUELO DE FUNDACIÓN**

##### **4.1.1. Geomorfología Local**

La zona del proyecto forma parte de la depresión del lago Titicaca que ha formado una zona circundante con cadenas montañosa bajas de 5 a 8 km de ancho y entre 290 y 690 m. sobre el nivel del lago.

En este lugar se ubica la micro cuenca de Puno; por lo que se encuentra muy influenciada por las características climáticas e hidrológicas circundantes, factores que han modelado el área del proyecto, destacan unidades geomorfficas bien definidas que conforman una topografía uniforme, reconociéndose sectores de suave pendiente, en el área circundante al proyecto se distinguen las siguientes unidades geomorfológicas:

Por otro lado, el desgaste ascendente sobre las rocas blandas del grupo puno han formado un glacis de erosión de moderada pendiente sobre el cual está avanzando la expansión urbana.

**Tabla 15:** Unidades geomorfológicas local

UNIDADES GEOMORFOLOGICAS				
SISTEMA	UNIDAD	SUBUNIDAD	SIMBOLOGIA	DESCRIPCION
MONTAÑAS	COLINAS	Colinas altas	S-Ca	Son de alturas elevadas entre los 4025 a 4100m.s.n.m
		Colinas medias	S-Cm	De forma similar a las colinas anteriores, estas presentan elevaciones medias con alturas de 3985 a 4025 m.s.n.m.
		Colinas bajas	S-Cb	Se presenta con elevaciones inferiores estos debido al origen estructural denudacional que se da entre los 4000 m.s.n.m.
GLACIAR	VALLES “U”	Valles en “u”	G-Vu	La erosión regresiva sobre los afloramientos rocosos de la micro cuenca, a partir de la bahía, han generado un glacis de acumulación con materiales aluviales de arena, arcillas, guijarros y bloques, sobre el que se asentó inicialmente la ciudad.
FLUVIAL	LLANURA ALUVIAL		Ll-al	Las llanuras son la deposición del material transportado por ríos.
	BOFEDALES	Bofedales	F-B	Los bofedales son zonas de vegetación ligeramente húmedas.
	RIOS	Ríos.	F-Ri	Los ríos son corrientes que mayormente se dan en la temporada de lluvia. Los drenajes presentes en esta zona son paralelos a dendríticos estos debido a la erosión y el agua.
	VALLES “V”	-----	Vv	Se erosionaron por el flujo del agua. Su forma se debe a la litología en la zona.
PLANICIES	PIE DE MONTE	-----	P-Pm	Estas estas situados entre los contactos de laderas y llanuras aluviales.
ANTROPICO	VIVIENDAS	Casas, animales, etc.	A-V	Estas están construidas por las personas que viven en la zona.

FUENTE: Elaboración propia.

#### 4.1.2. Investigación del subsuelo

##### 4.1.2.1. Trabajos de campo

Los trabajos de campo se efectuaron en el terreno natural, de acuerdo al suelo limitado, procediéndose a determinar las características de los materiales existentes; se excavaron un total de 3 calicatas, en el área del terreno en puntos de máximo apoyo de la estructura a una profundidad de 4.5 metros, desde la superficie del terreno natural, lo cual nos permitió visualizar la estratigrafía y proceder con los ensayos en el laboratorio de mecánica de suelos y pavimentos.

Para complementar el estudio se tomaron muestras inalteradas con el fin de clasificar el suelo y determinar la capacidad portante del suelo.

**Tabla 16:** De registro de calicata.

CALICATA	PROFUNDIDAD	NIVEL FREATICO
C-01	4.5*	3.70m.
C-02	4.5*	3.70m.
C-03	4.5	3.70m.

\*Profundidad media desde el terreno excavado existente

FUENTE: Elaboración propia.

#### 4.1.3. Técnicas de exploración

**Tabla 17:** Normas aplicadas.

DESCRIPCION	NORMA
Calicatas y técnicas de muestreo	ASTM D-440
Perforación manual	ASTM D-1452
Descripción visual del suelo	ASTM D-2487

FUENTE: Elaboración propia.

#### 4.1.4. Ensayos de laboratorio

Las muestras obtenidas de las calicatas clasificadas como representativas fueron remitidas al laboratorio con el objeto de identificación y posterior clasificación según sus propiedades físicas y mecánicas según los ensayos especiales requeridos.

Los ensayos de laboratorio siguientes se han realizado según lo estipulado por las normas ASTM siguientes:

Análisis Granulométrico por Tamizado	ASTM D-421
Contenido de Humedad	ASTM D-2210

Limites de Atterberg (LL, LP)	ASTM D-423
Densidad Máxima	ASTM D-4253
Densidad Mínima	ASTM D-4254
Peso Volumétrico	ASTM D-2937
Corte Directo	ASTM D-3083
Consolidación Unidimensional	ASTM D-2210
Peso unitario	

#### **4.1.5. Perfil estratigráfico de las calicatas**

En base a la información obtenida de los trabajos de campo y de los ensayos de laboratorio, se han establecido el perfil estratigráfico de las 3 calicatas, para luego continuar con el mismo material de profundidad indeterminada. (Ver perfiles de registro de excavación)

##### **4.1.5.1. Perfiles estratigráficos**

Los perfiles geológicos y la determinación de las propiedades de los estratos se han determinado de acuerdo a las investigaciones de campo, es decir 03 exploraciones y a partir de la descripción visual-manual (ASTM D 2488), el cual se adjunta al presente, de esto se puede concluir que por lo observado según las exploraciones practicadas en el lugar de emplazamiento los depósitos aluviales conformados por arenas, y limos de mediana a baja plasticidad\* los cuales presentan uniformidad en el área de proyecto en cuanto a los materiales presentes en la zona de proyecto (Ver Registro de Excavaciones), de acuerdo a las exploraciones se concluye que estos materiales se correlacionan con la

geología descrita en el cuadrángulo correspondiente los cuales asimismo presentan gran potencia.

#### **4.1.5.2. Descripción de la estratigrafía**

Como se indica en el párrafo anterior la estratigrafía que presenta el subsuelo es uniforme.

REGISTRO DE EXCAVACIONES					
CALICATA 1					
<b>PROYECTO</b> : MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD OPERATIVA DEL ARCHIVO REGIONAL <b>UBICACIÓN</b> : AV. DEL EJERCITO, DIST. PUNO , PROV. PUNO Y DPTO. PUNO <b>PROFUNDIDAD DE</b> : 8.50 m <b>METODO DE EXCAVACIÓN</b> : MANUAL <b>FECHA</b> : Abr-13					
ESCALA	ESTRATO		PERFIL DEL SUELO	MUESTRA	DESCRIPCIÓN
	NIV. TOP.	SUCS			
0.00		SM	[Diagrama de perfil de suelo SM]	M1	Suelo Arena limoso, de coloracion beige en la base del estrato tiene coloración grisáceo oscuro de apenas unos centímetros, conformado por limos, arenas gruesas, medias y finas, no hay presencia de gravas, en general se encuentra en estado semicompacto con excesiva humedad.
0.10					
0.20					
0.30					
0.40					
0.50					
0.60					
0.70					
0.80					
0.90					
1.00					
≠					
3.40					
3.50					
3.60					
3.70				▽	El nivel freático se encuentra a aproximadamente a -3.70 m de profundidad.
3.80					
3.90					
4.00					
4.10					
4.20					
4.30					
4.40					
4.50					
4.60					
4.70					
4.80					
4.90					
5.00					
5.10					
5.20					
5.30					
5.40					
5.50					
5.60					
5.70					
5.80					
5.90		ML	[Diagrama de perfil de suelo ML]	M2	Suelo limoso de mediana plasticidad, con presencia de arenas finas, de coloracion beige, no hay presencia de gravas, en general se encuentra en estado semicompacto y con excesiva humedad.
6.00					
6.10					
6.20					
6.30					
6.40		SM	[Diagrama de perfil de suelo SM]	M3	Suelo arenoso con limos, de coloracion pardusco, conformado por arenas gruesas, medianas y finas, con presencia de gravilla subangulosa, angulosa y limos, con presencia de oxido de Hierro diseminado, no hay presencia de gravas de tamaños mayores, en general se encuentra en estado semicompacto y con excesiva humedad.
6.50					
6.60					
6.70					
6.80					
6.90					
7.00					
7.10					
7.20		ML	[Diagrama de perfil de suelo ML]	M4	Suelo limo arenoso de coloracion beige, conformado por limos de mediana plasticidad y arenas, no hay presencia de gravas, en general se encuentra en estado semicompacto, con excesiva humedad.
7.30					
7.40					
7.50					
7.60					
7.70					
7.80					
7.90					
8.00					
8.10					
8.20					
8.30					
8.40					
8.50					
8.60					
8.70					
8.80					
8.90					
9.00					

Figura 19: Registro de excavaciones.

FUENTE: Elaboración propia.



**a) Calicata -1**

De 0.00m. - 5.90 m: Suelo Areno limoso, de coloración beige en la base del estrato tiene coloración grisáceo oscuro de apenas centímetros, conformado por limos, arenas gruesas, medias y finas, no hay presencia de gravas, es general se encuentra en estado semicompacto, con excesiva humedad.

De 5.90m – 6.30m. Suelo limoso de mediana plasticidad, con presencia de arenas finas, de coloración beige, no hay presencia de gravas, en general se encuentra es estado semicompacto y con excesiva humedad,

De 6.30 m - 7.10 m. Suelo arenoso con limos, de coloración pardusco, conformado por arenas gruesas, medias y finas, con presencia de gravilla subangulosa angulosa y limos, con presencia de óxido de Hierro diseminado, no hay presencia de gravas de tamaños mayores, en general se encuentra en estado semicompacto y con excesiva humedad.

De 7,10 m. - 8.50m. Suelo limo arenoso de coloración beige, conformado por limos de mediana plasticidad y arenas, no hay presencia de gravas, en general se encuentra en estado semicompacto, con excesiva humedad.

El nivel freático se encuentra a aproximadamente a -3.70 m de profundidad.

REGISTRO DE EXCAVACIONES					
CALICATA 2					
<b>PROYECTO</b>		: MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD OPERATIVA DEL ARCHIVO REGIONAL			
<b>UBICACIÓN</b>		: AV. DEL EJERCITO, DIST. PUNO , PROV. PUNO Y DPTO. PUNO			
<b>PROFUNDIDAD DE</b>		: 8.50 m			
<b>METODO DE EXCAVACIÓN</b>		: MANUAL			
<b>FECHA</b>		: Abr-13			
ESCALA	ESTRATO		PERFIL DEL SUELO	MUESTRA	DESCRIPCIÓN
	NIV. TOP.	SUCS			
0.00		SW - SM		M1	Suelo arenoso de coloración beige, en la parte inferior del estrato presenta coloración grisáceo oscuro de unos 15cm, este suelo esta conformado por arenas gruesas, medias y finas, y algo de limos, no hay presencia de gravas, en general se encuentra en estado semicompacto con excesiva humedad.
0.10					
0.20					
0.30					
0.40					
0.50					
0.60					
0.70					
0.80					
0.90					
1.00					
≡					
3.40					
3.50					
3.60					
3.70				▽	El nivel freático se encuentra a aproximadamente a -3.70 m de profundidad.
3.80					
3.90					
4.00					
4.10					
4.20					
4.30					
4.40					
4.50					
4.60					
4.70					
4.80					
4.90					
5.00					
5.10					
5.20					
5.30					
5.40					
5.50					
5.60					
5.70					
5.80					
5.90					
6.00					
6.10		ML		M2	Suelo limoso, de coloración beige, conformado por limos de mediana plasticidad y algo de arenas, no hay presencia de gravas, en general se encuentra en estado semicompacto y con excesiva humedad.
6.20					
6.30					
6.40					
6.50		SM		M4	Suelo arenoso con limos, de coloración pardusco, conformado por arenas gruesas, medianas y finas, con presencia de gravilla subangulosa a angulosa y limos, con presencia de óxido de Hierro diseminado, presenta una leve estratificación de arenas gruesas, medias y finas, en general se encuentra en estado semicompacto, con excesiva humedad.
6.60					
6.70					
6.80					
6.90					
7.00					
7.10					
7.20					
7.30					
7.40					
7.50		ML		M4	Suelo limo arenoso de coloración beige, conformado por limos de mediana plasticidad y arena fina, no hay presencia de gravas, en general se encuentra en estado semicompacto, con excesiva humedad.
7.60					
7.70					
7.80					
7.90					
8.00					
8.10					
8.20					
8.30					
8.40					
8.50					
8.60					
8.70					
8.80					
8.90					
9.00					

Figura 20: Registro de excavaciones.

FUENTE: Elaboración propia.

**b) Calicata- 2**

De 0.00m. - 6.00m: Suelo arenoso de coloración beige, en la parte inferior del estrato presenta coloración grisácea oscura de unos 15 cm, este suelo está conformado por arenas gruesas, medias y finas y algo de limos, no hay presencia de gravas, en general se encuentra en estado semicompacto y con excesiva humedad.

De 6.00 m. - 6.40 m. Suelo limoso, de coloración beige, conformado por limos de mediana plasticidad y algo de arenas, no hay presencia de gravas, en general se encuentra en estado semicompacto, con excesiva humedad.

De 6.00m-6.40m Suelo arenoso con limos, de coloración pardusco, conformado por arenas gruesas, medias y finas, con presencia de grava subangulosa a angulosa y limos, con presencia de óxido de Hierro diseminado, presenta una leve estratificación de arenas gruesas, medias y finas, en general se encuentra en estado semicompacto, con excesiva humedad.

De 7.50 m. - 8.50 m. Suelo limoso de coloración beige, conformado por limos de mediana plasticidad y arena fina, no hay presencia de gravas no boleas, en general se encuentra en estado semi compacto, con excesiva humedad.

El nivel freático se encuentra a aproximadamente a -3.70 m de profundidad.

REGISTRO DE EXCAVACIONES					
CALICATA 3					
<b>PROYECTO</b>		: MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD OPERATIVA DEL ARCHIVO REGIONAL			
<b>UBICACIÓN</b>		: AV. DEL EJERCITO, DIST. PUNO , PROV. PUNO Y DPTO. PUNO			
<b>PROFUNDIDAD DE</b>		: 8.50 m			
<b>METODO DE EXCAVACIÓN</b>		: MANUAL			
<b>FECHA</b>		: Abr-13			
ESCALA	ESTRATO		PERFIL DEL SUELO	MUESTRA	DESCRIPCIÓN
	NIV. TOP.	SUCS			
0.00		SM		M1	Suelo limoso de coloración beige, que varia a grisáceo oscuro a -5.50. conformado por limos de mediana plasticidad, arenas gruesas, medianas y finas, no hay presencia de gravas, hay presencia abundante de material orgánico (raicillas) en los primeros 15 cm del estrato, en general se encuentra en estado semicompacto con excesiva humedad.
0.10					
0.20					
0.30					
0.40					
0.50					
0.60					
0.70					
0.80					
0.90					
1.00					
≡					
3.40					
3.50					
3.60					
3.70				▽	El nivel freático se encuentra a aproximadamente a -3.70 m de profundidad.
3.80					
3.90					
4.00					
4.10					
4.20					
4.30					
4.40					
4.50					
4.60					
4.70					
4.80					
4.90					
5.00					
5.10					
5.20					
5.30					
5.40					
5.50					
5.60					
5.70					
5.80					
5.90					
6.00					
6.10					
6.20					
6.30					
6.40					
6.50					
6.60					
6.70		ML		M2	Suelo limoso de coloracion beige, conformado por limos de mediana plasticidad y arenas, no hay presencia de gravas, en general se encuentra en estado semicompacto, con excesiva humedad.
6.80					
6.90					
7.00					
7.10		SP - SM		M3	Suelo arenoso con limos, de coloracion pardusco, conformado por limos, gravillas de formas subredondeadas, subangulosa a angulosa, arenas gruesas, medias, finas, no hay presencia de gravas de tamaños mayores, presenta una leve estratificación de arenas gruesas, medias, finas y oxido de hierro, en general se encuentra en estado semicompacto y con excesiva humedad.
7.20					
7.30					
7.40					
7.50					
7.60					
7.70					
7.80					
7.90					
8.00					
8.10					
8.20					
8.30					
8.40					
8.50					
8.60					
8.70					
8.80					
8.90					
9.00					

Figura 21: Registro de excavaciones.

FUENTE: Elaboración propia.

**c) Calicata- 3**

De 0.00 m. - 6.70 m: Suelo limoso de coloración beige que varía a grisáceo oscuro a partir de -5.5001., conformado por limos de mediana plasticidad, arenas gruesas, medias y finas, no hay presencia de gravas no boleos, hay presencia abundante de material orgánico (raicillas) en los primeros 15 cm del estrato, en general se encuentra en estado semicompacto y con excesiva humedad.

De 6,70m. - 7,00 m. Suelo limoso de coloración beige, conformado por limos de mediana plasticidad y arenas, no hay presencia de gravas ni boleos, en general se encuentra en estado semicompacto, con excesiva humedad.

De 7.00 m– 8.50m. Suelo arenoso con limos, de coloración pardusco, conformado por limos, gravillas de formas subredondeadas, subangulosas a angulosa, arenas gruesas, medias, finas, no hay presencia de gravas de tamaños mayores ni boleos, presenta una leve estratificación de arenas gruesas, medias, finas y óxido de hierro, en general se encuentra en estado semicompacto, con excesiva humedad.

El nivel freático se encuentra a aproximadamente a -3.70 m de profundidad.

**4.1.5.3. Características de los suelos**

Se han identificado el tipo de material existente en el área de proyecto, el suelo que básicamente se encuentra diseminado son los depósitos de materiales granulares aluviales arenosos mal gradados los cuales se encuentran interestratificados con materiales limosos de mediana a baja plasticidad, los que pertenecen al cuaternario reciente, es decir que son materiales de arrastre poco consolidados. La matriz arenosa presenta materiales finos como limos y arcillas de baja plasticidad. Debido a la presencia del nivel freático -3.70m. Los materiales finos presentan humedad alta cercana al límite

líquido. Debido al Origen de los suelos en el área de proyecto la interestratificados marcada es muy Probable que continúe hacia abajo de las exploraciones realizadas.

#### **4.1.6. Análisis del suelo de fundación**

Muchas causas de falla de las edificaciones se encuentran en el suelo de fundación pese a que la influencia de los sólidos de las solicitaciones no siempre llegan a aceptarlo directamente, de allí la importancia de conocer con suficiente anticipación su naturaleza, su origen geológico y su comportamiento mecánico mediante los correspondientes estudios geotécnicos. En la zona de estudio los materiales, en los sondeos de exploración a cielo abierto tuvo como resultado que predominan dos tipos de suelos los cuales se clasifican como: arenas arcillosas de baja plasticidad (SC), y arcillas con limos de baja plasticidad (CL), Las arcillas son, probablemente, los materiales geológicos más contradictorios desde el punto de vista de su utilidad en Ingeniería Civil. Son fuente inagotable de problemas de estabilidad en buen número de obras, lo que nos indica, los materiales encontrados que clasifiquen como SC es compatible su uso con material de suelo de fundación.

#### **4.1.7. Sismicidad**

Según el mapa de zonificación sísmica del Perú (figura 18), LA ZONA 3, representa aquellas áreas en donde el potencial sísmico es alto, debido a que es afectado por la ocurrencia de sismos de magnitud elevada que producen aceleraciones mayores de consideración.

En función de las características sismo tectónicas, el área de estudio, se encuentra en la zona 3 (figura 18). Estos parámetros deben ser considerados como indicadores importantes al momento de proyectar el desarrollo de obras de ingeniería.

## 4.2. CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DEL SUELO DE FUNDACIÓN

### 4.2.1. Ensayo de corte directo

Ensayo de corte directo para los suelos encontrados fueron ensayadas para aplicar una carga normal al plano del movimiento. En este se determinan la resistencia de una muestra de suelo, sometida a fatigas y/o deformaciones que simulen las que existen o existirán en terreno producto de la aplicación de una carga, encontrando así su cohesión y ángulo de fricción interno.

**Tabla 18:** Resumen de corte directo de espécimen

CARACTERISTICAS DE LOS ESPECIMENES C1							
MUESTRA N°	DIAMETRO (cm)	AREA (cm <sup>2</sup> )	CONT. HUM. (%)	DENS. SECA (gr/cm <sup>3</sup> )	ESFUERZO NORMAL (Kg/cm <sup>2</sup> )	RESULTADOS DEL ENSAYO	
01	5	19.63	28.76	1.530	0.67	COHESION (Kg/cm <sup>2</sup> )	ANGULO DE FRICCION RESIDUAL (°)
02	5	19.63	28.76	1.530	1.18		
03	5	19.63	28.76	1.530	2.20	0.061	32.81
CARACTERISTICAS DE LOS ESPECIMENES C2							
MUESTRA N°	DIAMETRO (cm)	AREA (cm <sup>2</sup> )	CONT. HUM. (%)	DENS. SECA (gr/cm <sup>3</sup> )	ESFUERZO NORMAL (Kg/cm <sup>2</sup> )	RESULTADOS DEL ENSAYO	
01	5	19.63	41.84	1.371	0.67	COHESION (Kg/cm <sup>2</sup> )	ANGULO DE FRICCION RESIDUAL (°)
02	5	19.63	41.84	1.368	1.18		
03	5	19.63	41.84	1.368	2.20	0.054	25.03
CARACTERISTICAS DE LOS ESPECIMENES							
MUESTRA N°	DIAMETRO (cm)	AREA (cm <sup>2</sup> )	CONT. HUM. (%)	DENS. SECA (gr/cm <sup>3</sup> )	ESFUERZO NORMAL (Kg/cm <sup>2</sup> )	RESULTADOS DEL ENSAYO	
01	5	19.63	37.91	0.323	0.67	COHESION (Kg/cm <sup>2</sup> )	ANGULO DE FRICCION RESIDUAL (°)
02	5	19.63	37.91	1.320	1.18		
03	5	19.63	37.91	1.320	2.20	0.028	33.67

FUENTE: Elaboración propia.

#### 4.2.2. Capacidad portante del suelo de fundación

Tratándose de un suelo interestratificado presente por debajo del suelo de fundación no permite la aplicación de las teorías normalmente utilizadas para la obtención de la capacidad portante. Sin embargo, con el objeto de verificar la capacidad portante del suelo con respecto a las cargas sobre el suelo de fundación se ha realizado la siguiente estimación considerando la predominancia de los suelos clasificados como ML es decir, sin la presencia del relleno compacto y enrocado.

CONDICIÓN:  $\phi=0$

La siguiente fórmula nos permite el cálculo de la capacidad portante para materiales cohesivos en la condición no drenada.

$$q_{ult} = N_c c_u b_c s_c i_c + q N_q i_q d_q s_q$$

(EUROCODE 07)

$q$  = esfuerzos efectivos

$c_u = c/2 = 0.203 \text{ kg/cm}^2$  (C = compresión axial no confinada)

Factores de capacidad portante

$q$  = esfuerzos efectivos

$N_c = 5.14$

$N_q = 1.00$

$s_c = 1.13$

$s_q = 1.00$



$$i_c = 1.00$$

$$d_c = 1.00$$

$$d_q = 1.00$$

Para planta de cimentación: profundidad de desplante igual a 1.00 m se tiene:

$$q_{ult} = 19.58 \text{ tn/m}^2$$

$$FS = 2.0$$

$$q_{adm} = 0.98 \text{ kg/cm}^2$$

Cabe señalar que la capacidad portante estará controlada por el material de relleno colocado bajo la planta de cimentación, y que su valor a verificar en obra dependerá en suma de la calidad de los materiales y de su proceso constructivo.

#### 4.2.3. Cálculo de asentamientos

Debido a la interstratificación bajo el nivel de fundación no se pueden utilizar métodos convencionales para la determinación de los asentamientos- totales, por ello para el análisis de asentamientos se ha utilizado el software PLAXIS Foundation 3D, con tal fin se han utilizado los parámetros de resistencia detallados en el cuadro N° 2 según los resultados de laboratorio. Para la idealización y modelamiento de las cargas y estructuras sobre el terreno se han considerado la geometría de la estructura de cimentación, las cargas como el peso de la estructura, así como el material estabilizador (rigidizante) bajo la estructura de cimentación. Se ha utilizado el criterio de que las cargas transmitidas por la edificación al suelo de fundación estas se transmitan en forma de carga repartida en el nivel de fundación (debido a la distribución de columnas y al material estabilizador rigidizante bajo la Platea de cimentación) se ha estimado que dicha carga es del orden de

7,59 Tn/m<sup>2</sup> (74,81 N/m<sup>2</sup>., se incluyen carga muerta y 50% de carga viva). Asimismo, en lo que se refiere asentamientos máximos son del orden de 0.153m. en la parte inmediatamente inferior de la base del enrocado. Cabe señalar que estos asentamientos se darán gradualmente durante las varias etapas de la construcción y posteriormente a ella para lo cual se deberá realizar un constante monitoreo (Ver anexo de los resultados).

Los asentamientos totales por consolidación para arcillas normalmente consolidadas pueden determinarse por medio de la siguiente relación:

$$\Delta H = \frac{C_c H}{1 + e_o} \log \left[ \frac{\sigma_o + \Delta\sigma}{\sigma_o} \right]$$

Donde:

$C_c = 0.009 * (LL - 10)$  (coeficiente de consolidación) (\*)

H = Potencia estimada del estrato compresible

$e_o$  = Relación de vacíos

$\sigma_o$  = Presión Geostática (esfuerzos efectivos) en el centro del estrato

$q_s$  = Promedio de esfuerzos de trabajo

$\Delta H$  = Asentamiento

(\*) Se han estimado valores del coeficiente de consolidación en virtud de la ecuación de Terzaghi ampliamente utilizada para primeras estimaciones, de acuerdo al ensayo de consolidación se ha obtenido valores menores a dichas estimaciones.

**Tabla 19:** Valores de coeficiente de consolidación

Z(m)	m1 (L/B)	B(m)	n1 Z/(B/2)	$i_c$	$\Delta\sigma$
5.9	1.6	25.00	0.47	0.959	1.696
6.1	1.6	25.00	0.49	0.956	1.690

6.3	1.6	25.00	0.50	0.952	1.683
$q$	1.768	Kg/cm <sup>2</sup>	(carga actuante)		
$\Delta\sigma$	1.690	Kg/cm <sup>2</sup>	(incremento de esfuerzo)		
H	4000	mm			
$C_c$	0.126		Coeficiente de consolidación		
$\sigma_o$	0.801	Kg/cm <sup>2</sup>	Esfuerzos efectivos en el centro del estrato		
$e_o$	1.04	mm			
$\Delta H$	121.51	mm	(Asentamiento)		

FUENTE: Elaboración propia.

El valor obtenido es cercano al obtenido mediante el Software PLAXIS 3D (0.151m)

#### 4.2.4. Estructuras de cimentación

De acuerdo a lo estipulado en planos la estructura de cimentación consta de una Platea de cimentación, bajo la cual se colocará un relleno compactado y una capa de piedra grande (bloques de roca), este conjunto estabilizará el suelo inmediatamente inferior; así de acuerdo al proceso constructivo apropiado como conformará una capa rígida desde el punto de vista geotécnico.

A la fecha en el área de estudio se han realizado las excavaciones hasta el nivel - 5.90 m. Y se está realizando la instalación de piedra grande de tamaños variable.

##### 4.2.4.1. Tipo de edificación

La edificación se caracteriza por tener sótano y 5 niveles del tipo Residencial. Estructuralmente constará de columnas y muros de corte de concreto armado.

##### 4.2.4.2. Tipo de Cimentación

De acuerdo a los parámetros estandarizados de la cimentación típicas así como las propiedades físico-mecánicas del suelo de fundación se prevé que esta sea constituida por una Platea de Cimentación.

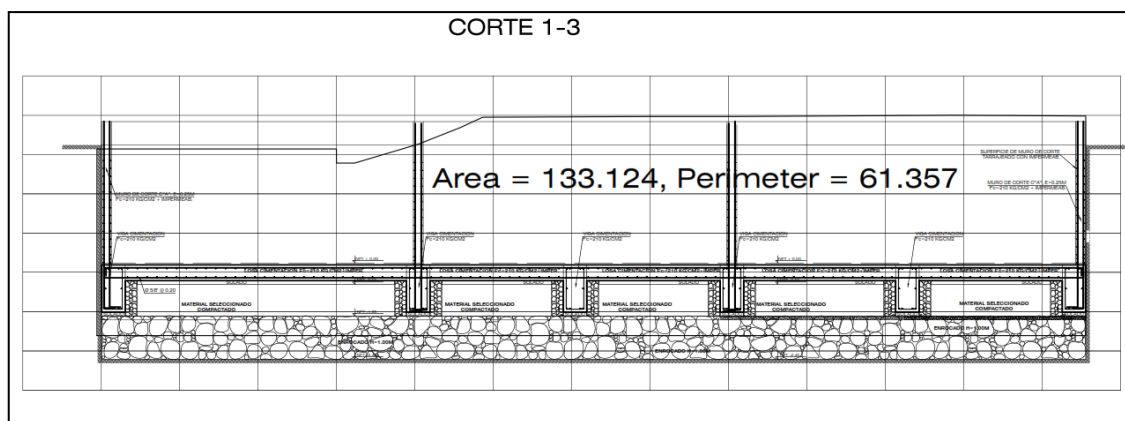
#### **4.2.5. Análisis de cimentación**

##### **4.2.5.1. Profundidad de la cimentación**

De acuerdo a la característica física mecánicas del suelo de fundación, a los requerimientos arquitectónicos, y al tipo de estructura de cimentación propuesta el nivel de desplante de la misma es de 5.45m. Desde el nivel de terreno natural.

##### **4.2.5.2. Tipo de cimentación**

Dada la naturaleza del terreno a cimentar y las características física mecánicas del suelo de fundación, a los requerimientos arquitectónicos estructurales de la futura edificación se prevé que la cimentación a utilizar sea del Tipo Superficial, una Platea de Cimentación. Según planos (Fíg, 22) se prevé la construcción de una estructura de cimentación que se detalla como sigue: sobre el terreno natural se colocará una capa de enrocado sobre la cual se tendrá un relleno compactado en el que se construirá una Platea de cimentación. Dicha estructura se ubicará en el nivel -5.45m., estará conformada de concreto estructural es decir con armadura de acero, con vigas de cimentación ubicadas en las direcciones longitudinal y transversal formando un gran parrillado con junta central en la dirección transversal.



**Figura 22:** Sección de estructura de cimentación (Plano estructuras).

FUENTE: Elaboración propia.

#### 4.2.5.3. Material de relleno

Se recomienda que se haga el drenaje del terreno antes y durante la excavación, y retirar el terreno fangoso hasta una profundidad mínima de 0.50m.

Luego compactar la subrasante (95% de la densidad máxima), asimismo se recomienda utilizar relleno compactado en una profundidad mínima de 1.00 m. con material clasificado A-i-a (0) de la clasificación AASHTO compactado al 95-100% de la densidad máxima de dicho material. Las características del material seleccionado podrán ser aquellas especificadas por el MTC que a continuación se detallan:

**Tabla 20:** Especificación técnica para relleno.

Pg	TAMIZ		PORCENTAJE QUE PASA EN PESO			
	Mm	A(1)	B	C	D	
2"	50	100	100			
1"	25		75-95	100	100	
3/8"	9.5	30-65	40-75	50-85	60-100	
Nº 4	4.75	25-55	30-60	25-65	50-85	
Nº 10	2	15-40	20-45	25-50	40-70	

N° 40	0.425	8-20	15-30	15-30	25-45
N° 200	0.075	2-8	5-15	5-15	8-15

FUENTE: especificaciones técnicas generales para construcción.

Asimismo, el material deberá alcanzar del ensayo de CBR como mínimo el valor de 80%.

#### 4.2.5.4. Cantera de roca

La roca deberá ser un material duro resistente al intemperismo y asimismo deberá tener aristas definidas y superficie rugosa, el tamaño de la roca podrá ser del orden de 0.80m. Como mínimo. Deberá instalarse de tal forma que los bloques se ensamblen perfectamente, las caras deberán asentarse una sobre otra de esta forma se podrá evitar que haya desplazamiento relativo entre bloques.

Este conjunto compuesto por la Platea de cimentación, el relleno compactado y el enrocado y los espesores de los mismos conforman una estructura rígida que permite que las cargas sobre el terreno lleguen en forma de carga repartida.

#### 4.2.6. Análisis de la capacidad admisible de carga

Los esfuerzos que transmitirá la Platea de Cimentación, tal como está propuesta en planos, serán transmitidos directamente sobre el relleno compactado. Dependiendo de la calidad de los materiales y del proceso constructivo de los rellenos compactados controlados (Art. 21, Norma E- 050 del RNE) se puede obtener una capacidad portante de los mismos que oscila entre 1.20 a 1.50 kg/cm<sup>2</sup> a verificar en obra. El efecto de los esfuerzos transmitidos por la platea de cimentación, relleno compactado y enrocado sobre el suelo de fundación se traducirán entonces en forma carga repartida es decir en esfuerzos efectivos. A fin de sustentar, así como establecer la necesidad de mejorar el suelo de fundación se ha realizado de la capacidad portante.

**Tabla 21:** Resumen de propiedades físico mecánicas.

CALIC ATAS	ESTRATOS	SU CS	Y SECO		Y SAT		∅	C		E		CC
			T/n/m <sup>3</sup>	KN/m <sup>3</sup>	T/n/m <sup>3</sup>	KN/m <sup>3</sup>		T/n/m <sup>3</sup>	KN/m <sup>3</sup>	T/n/m <sup>3</sup>	KN/m <sup>3</sup>	
<b>c-1</b>	M1	SM	1.53	16	1.99	19.5	3	0.06	5.97	950	932	NP
	M2	ML	1.35	13.2	1.86	18.2	2	0.03	3.43	450	441	0.266
	M3	SM	1.5	14.7	1.9	18.6	3	0.02	2.54	750	735	NP
	M4	ML	1.37	13.4	1.88	18.4	2	0.08	6.52	400	392	0.337
<b>C-2</b>	M1	SM	1.54	15.1	1.98	19.4	-	-	-	950	932	NP
	M2	ML	1.33	13	1.84	18.1	-	-	-	450	441	0.336
	M3	SP-SM	1.51	14.8	1.94	19	-	-	-	750	735	NP
	M4	ML	1.37	13.4	1.88	18.4	5	0.05	5.29	400	392	0.231
<b>C-3</b>	M1	SM	1.32	12.8	1.83	18	3	0.02	2.74	650	637	NP
	M2	ML	1.24	13.2	1.78	17.5	2	0.06	6.76	400	392	0.335
	M3	SP-SM	1.56	15.3	2	10.5	3	0.02	2.74	600	508	NP

FUENTE: Elaboración propia.

## CONCLUSIONES

- De acuerdo al objetivo específico “identificar las condiciones geológicas del suelo de fundación para la construcción del edificio archivo regional Puno”.
  - Según las exploraciones se puede determinar que, en el área de proyecto en los niveles de desplante, el tipo de suelo es uniforme tratándose de un material inter-estratificado arenas y limos en estado semi-compacto ha suelto, con humedad considerable.
  - La zona de estudio se encuentra conformado por depósitos cuaternarios que comprenden arcillas y limos, arenas y gravas no consolidadas que son depositadas por corrientes de agua.
  - Se encontró napa freática en la exploración en el nivel -3.70m en la zona de proyecto desde el nivel de terreno natural, según la exploración de las calicatas C-1, C-2, C-3.
- Según el objetivo específico “evaluar las características geotécnicas de los suelos de fundación para la construcción del edificio archivo regional Puno”.

Calculado de los factores de capacidad portante.

Para plantea de cimentación: profundidad de desplante igual a 1.00 m se tiene:

$$q_{ult} = 19.58 \text{ tn/m}^2$$

$$FS = 2.0$$

$$q_{adm} = 0.98 \text{ kg/cm}^2$$



## RECOMIENDACIONES

- La geología de la zona de estudio tiene que ser monitoreado en el futuro por entidades encargadas para estudios más riguroso y científicos, antes de realizare futuras construcciones así se evitará fallas estructurales.
- Debido a las características físico-mecánicas del suelo de fundación se ha previsto, la realización de otros estudios más avanzados para tener un perfil estratigráfico por debajo de los 8.0m del suelo de fundación, como el ensayo de penetración estándar (SPT), Instrumentos de geofísica en suelos, método electro magnético (EM).
- En el futuras investigaciones se debe realizar ensayos rigurosos en laboratorio con el ensayo de consolidación Edometro, ensayo de consolidación en Celula Rowe ensayo de hinchamiento libre, ensayo de Vane Shear Test, ensayo Triaxial en suelos (CU, CD Y UU ).

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Berry, P., & Reid, D. (1996). *Mecánica de suelos* (Primera ed.). Mexico: McGraw-Hill Compnies.
- Braja M. Das. (2001). *Principios de Ingeniería de Cimentación*. Mexico: Internacional Thomson Editores S.A.
- Braja M., D. (2001). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*. Mexico: Thomson Editores, S.A. de C.V.
- Crespo Villalaz, C. (2004). *Mecánica de Suelos y Cimentaciones* (5A EDICION ed.). Mexico: Noriega Editore.
- E. Bowles, J. (1981). *Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil*. Mexico: McGRAW-HILL DE MEXICO, S.A DE C.V.
- Gonzalez De Vallejo, L. I., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. (2002). *Ingeniería Geológica*. Madrid: Pearson Educacion.
- INGEMMET. (1995). *Geología del Perú*. Lima: Fimart S.A .
- Instituto Tecnológico GeoMinero. (s.f). *Manuela de Ingeniería Geologica*. (J. Rodríguez Ortiz, & L. Gonzáles de Vallejo, Edits.) España.
- Juárez Badillo, E., & Rico Rodríguez, A. (2005). *Mecánica de suelos* (Vol. Tomo 1). (G. N. Editores, Ed.) Mexico: Editorial Limusa S.A. de C.V.
- Lambe, T. W., & Whitman, R. V. (2004). *Mecánica de Suelos*. (G. N. EDITORES, Ed.) Mexico: Editorial Limusa S.A cc C.V.
- Laura H., S. (2016). Tesis. *Evaluación de la capacidad predictiva de los métodos de estimación del comportamiento mecánico de los suelos lacustres de la bahía de Puno, para cimentaciones superficiales*. Puno. Obtenido de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/2158>
- Paquita Merma, E. N. (2015). Tesis. *EVALUACIÓN GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA DE LA CARRETERA DEL CIRCUITO TURÍSTICO LAGO SAGRADO DE LOS INCAS, TRAMO KM. 00+000 AL KM. 10+000 CCOTA-CHARCAS-PUNO*. Puno, Puno, Peru. Recuperado el 15 de marzo de 2018, de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/3988>
- Peck, R., Hanson, W., & Thornburn, T. (1983). *Ingeniería de cimentaciones* (Segunda ed.). Mexico: Editorial Limusa, S.A.
- Norma Técnica E.050: Suelos y cimentaciones.

## **ANEXOS**

**Anexo 1. Panel fotográfico**



FOTO. N° 01: VISTA DE EXCAVACIÓN CALICATA N° 03 DEL SUELO DE FUNDACIÓN CON RETROEXCAVADORA



FOTO. N° 02: VISTA DE EXCAVACIÓN CALICATA N° 04 DEL SUELO DE FUNDACIÓN CON RETROEXCAVADORA



FOTO. N° 01: VISTA DE EXCAVACIÓN CALICATA N° 01 DEL SUELO DE FUNDACIÓN CON RETROEXCAVADORA, NIVEL FREÁTICO.



FOTO. N° 02: VISTA DE EXCAVACIÓN CALICATA N° 02 DEL SUELO DE FUNDACIÓN CON RETROEXCAVADORA.



FOTO. N° 01: VISTA DE LA REALIZACIÓN DE ENSAYOS EN LABORATORIO, GRANULOMETRÍA DE SUELO DE FUNDACIÓN.



FOTO. N° 02: VISTA DE LA REALIZACIÓN DE ENSAYOS EN LABORATORIO, LÍMITE DE CONSISTENCIA DE SUELO DE FUNDACIÓN.

Anexo 2.

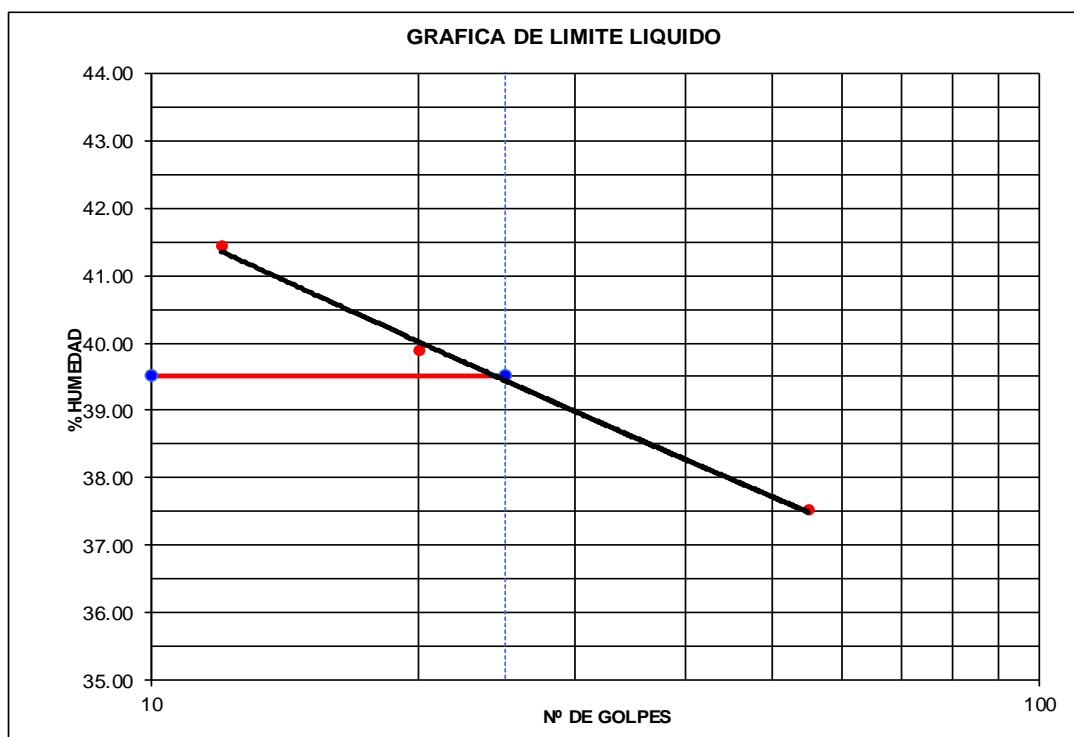
**ENSAYO DE LIMITES DE ATTEMBERG (ASTM D-4318)**

**PROYECTO** : MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD OPERATIVA DEL ARCHIVO REGIONAL  
**UBICACIÓN** : AV. DEL EJERCITO, DIST. PUNO, PROV. PUNO Y DPTO. PUNO  
**PROCEDENCIA** : SUELO  
**MUESTRA** : C1-M2  
**FECHA** : abr-13

LIMITE LIQUIDO			
Nro. DE TARRO	60	61	62
P. Tarro. + Suelo Húmedo	23.60	27.43	25.38
P. Tarro. + Suelo Seco	20.45	23.92	22.58
Agua	3.15	3.51	2.80
Peso del Tarro	12.85	15.12	15.12
Suelo Seco	7.60	8.80	7.46
% de Humedad	41.45	39.89	37.53
Nro. De Golpes	12	20	55

LIMITE PLASTICO			
Nro. DE TARRO	64	63	
P. Tarro. + Suelo Húmedo	22.02	20.77	
P. Tarro. + Suelo Seco	19.81	18.91	
Agua	2.21	1.86	
Peso del Tarro	12.44	12.48	
Suelo Seco	7.37	6.43	
% de Humedad	29.99	28.93	

GRAFICO DE LIMITE LIQUIDO		
L.L. = 39.50 %	L.P. = 29.46 %	I.P. = 10.04 %



Anexo 3.

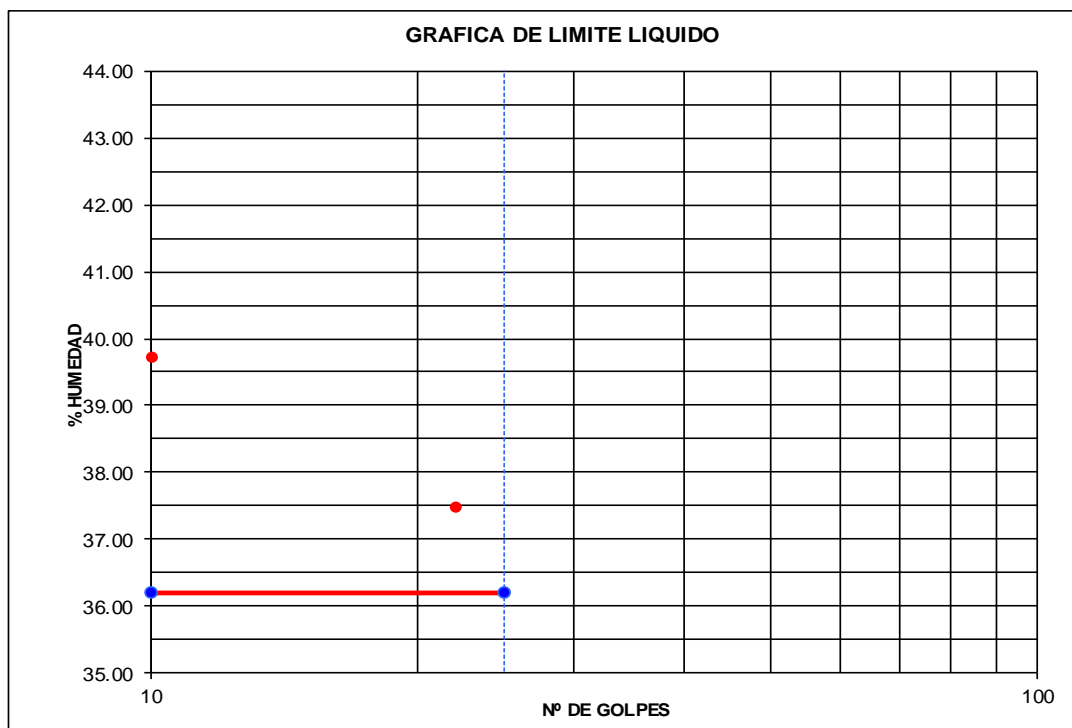
**ENSAYO DE LIMITES DE ATTEMBERG (ASTM D-4318)**

**PROYECTO** : MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD OPERATIVA DEL ARCHIVO REGIONAL  
**UBICACIÓN** : AV. DEL EJERCITO, DIST. PUNO, PROV. PUNO Y DPTO. PUNO  
**PROCEDENCIA** : SUELO  
**MUESTRA** : C1-M3  
**FECHA** : abr-13

LIMITE LIQUIDO			
Nro. DE TARRO	55	56	
P. Tarro. + Suelo Húmedo	25.76	24.04	
P. Tarro. + Suelo Seco	22.13	21.06	
Agua	3.63	2.98	
Peso del Tarro	12.99	13.11	
Suelo Seco	9.14	7.95	
% de Humedad	39.72	37.48	
Nro. De Golpes	10	22	

LIMITE PLASTICO			
Nro. DE TARRO			
P. Tarro. + Suelo Húmedo			
P. Tarro. + Suelo Seco			
Agua			
Peso del Tarro			
Suelo Seco			
% de Humedad			

GRAFICO DE LIMITE LIQUIDO		
L.L. = 36.19 %	NP	NP





Anexo 3a.

<b>DETERMINACIÓN DE HUMEDAD NATURAL</b> (ASTMD2216, MIE 108 - 2000 )												
<b>PROYECTO</b>	: MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD OPERATIVA DEL ARCHIVO REGIONAL											
<b>UBICACIÓN</b>	: AV. DEL EJERCITO, DIST. PUNO, PROV. PUNO Y DPTO. PUNO											
<b>SOLICITA</b>	: GOBIERNO REGIONAL PUNO											
<b>PROCEDENCIA</b>	: SUELO											
<b>FECHA</b>	: Abr-13											
MUESTRAS	C1-M1	C1-M2	C1-M3	C1-M4	C2-M1	C2-M2	C2-M3	C2-M4	C3-M1	C3-M2	C3-M3	
DEPOSITO n° :	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Peso del suelo humedo +deposito	134.29	117.33	115.68	120.82	107.55	95.72	95.47	93.85	87.12	92.75	118.25	
Peso del suelo seco +deposito	106.66	90.35	90.64	91.95	85.32	73.11	78.03	70	66.66	69.69	95.18	
Peso del agua	27.63	26.98	25.04	28.87	22.23	22.61	17.44	23.85	20.46	23.06	23.07	
Peso del deposito	10.59	11.39	13.26	12.43	13.64	9.69	12.51	13	12.69	13.39	10.22	
Peso del suelo seco	96.07	78.96	77.38	79.52	71.68	63.42	65.52	57	53.97	56.3	84.96	
% de humedad	28.76	34.17	32.36	36.31	31.01	35.65	26.62	41.84	37.91	40.96	27.15	

Anexo 4.

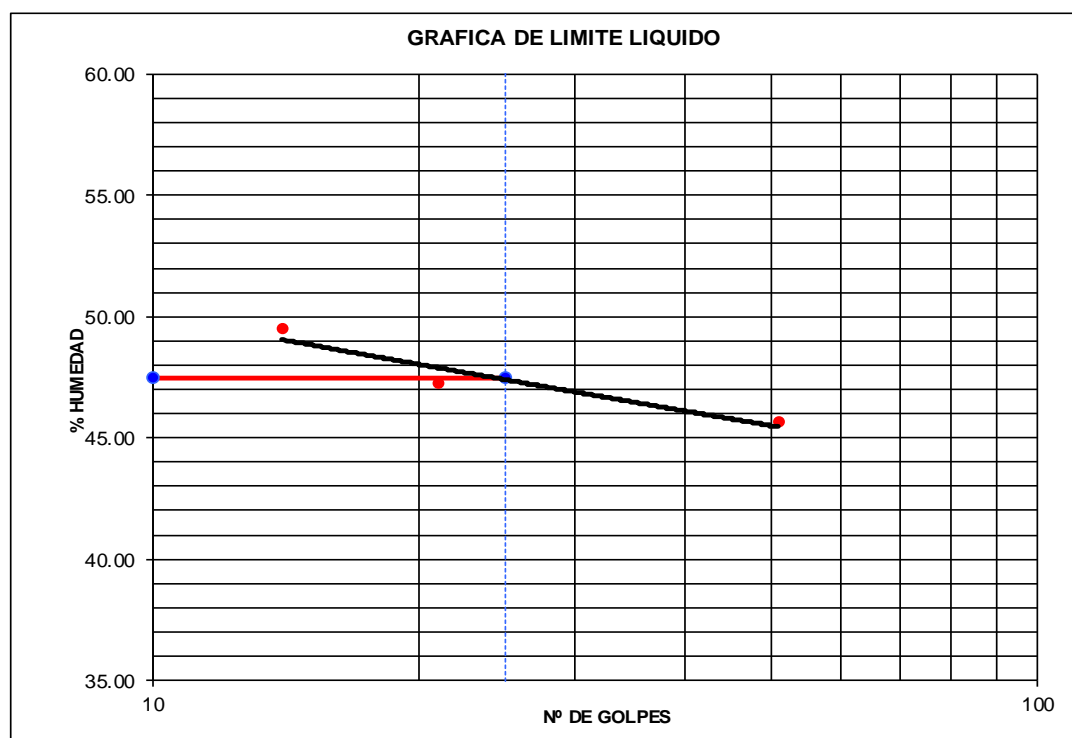
**ENSAYO DE LIMITES DE ATTEMBERG (ASTM D-4318)**

**PROYECTO** : MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD OPERATIVA DEL ARCHIVO REGIONAL  
**UBICACIÓN** : AV. DEL EJERCITO, DIST. PUNO, PROV. PUNO Y DPTO. PUNO  
**PROCEDENCIA** : SUELO  
**MUESTRA** : C1-M4  
**FECHA** : abr-13

LIMITE LIQUIDO			
Nro. DE TARRO	26	27	28
P. Tarro. + Suelo Húmedo	23.10	24.31	21.93
P. Tarro. + Suelo Seco	19.61	20.70	19.10
Agua	3.49	3.61	2.83
Peso del Tarro	12.56	13.06	12.90
Suelo Seco	7.05	7.64	6.20
% de Humedad	49.50	47.25	45.65
Nro. De Golpes	14	21	51

LIMITE PLASTICO			
Nro. DE TARRO	29	30	
P. Tarro. + Suelo Húmedo	18.74	23.05	
P. Tarro. + Suelo Seco	16.92	20.68	
Agua	1.82	2.37	
Peso del Tarro	11.61	13.91	
Suelo Seco	5.31	6.77	
% de Humedad	34.27	35.01	

GRAFICO DE LIMITE LIQUIDO		
L.L. = 47.44 %	L.P. = 34.64 %	I.P. = 12.80 %



Anexo 5.

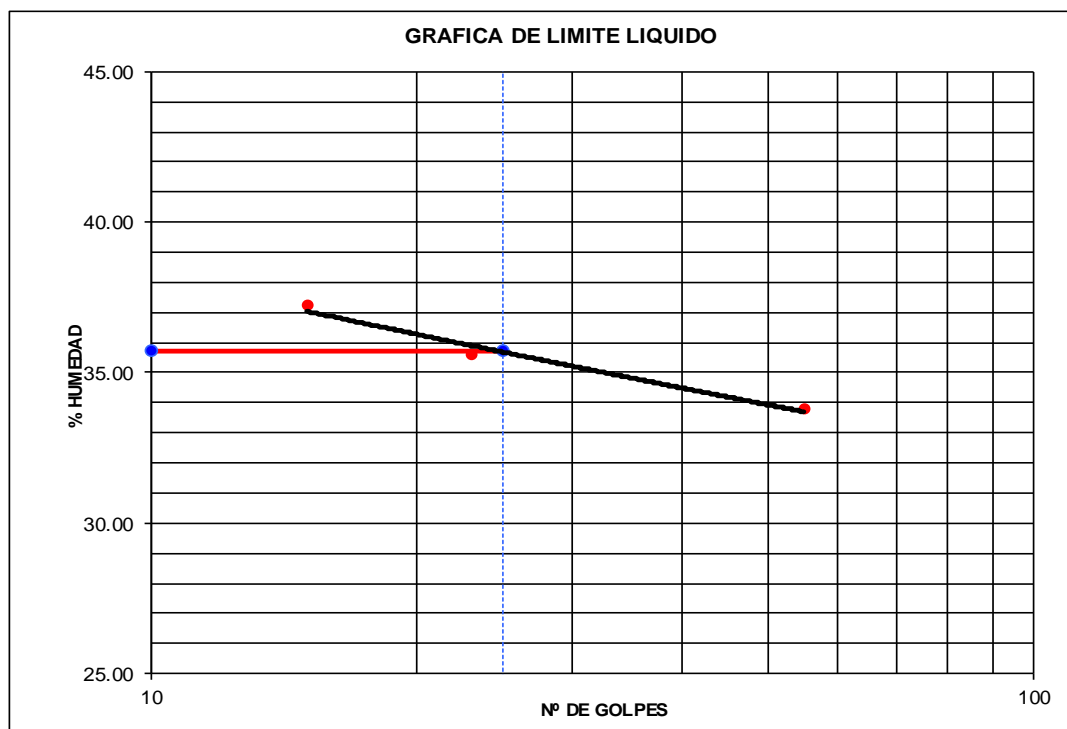
**ENSAYO DE LIMITES DE ATTEMBERG (ASTM D-4318)**

**PROYECTO** : MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD OPERATIVA DEL ARCHIVO REGIONAL  
**UBICACIÓN** : AV. DEL EJERCITO, DIST. PUNO, PROV. PUNO Y DPTO. PUNO  
**PROCEDENCIA** : SUELO  
**MUESTRA** : C2-M1  
**FECHA** : abr-13

LIMITE LIQUIDO			
Nro. DE TARRO	41	45	46
P. Tarro. + Suelo Húmedo	26.36	26.16	24.34
P. Tarro. + Suelo Seco	23.10	23.01	21.65
Agua	3.26	3.15	2.69
Peso del Tarro	14.35	14.16	13.69
Suelo Seco	8.75	8.85	7.96
% de Humedad	37.26	35.59	33.79
Nro. De Golpes	15	23	55

LIMITE PLASTICO			
Nro. DE TARRO	47	48	
P. Tarro. + Suelo Húmedo	24.75	21.13	
P. Tarro. + Suelo Seco	22.33	18.86	
Agua	2.42	2.27	
Peso del Tarro	13.72	11.25	
Suelo Seco	8.61	7.61	
% de Humedad	28.11	29.83	

GRAFICO DE LIMITE LIQUIDO		
L.L. = 35.71 %	L.P. = 28.97 %	I.P. = 6.74 %



Anexo 6.

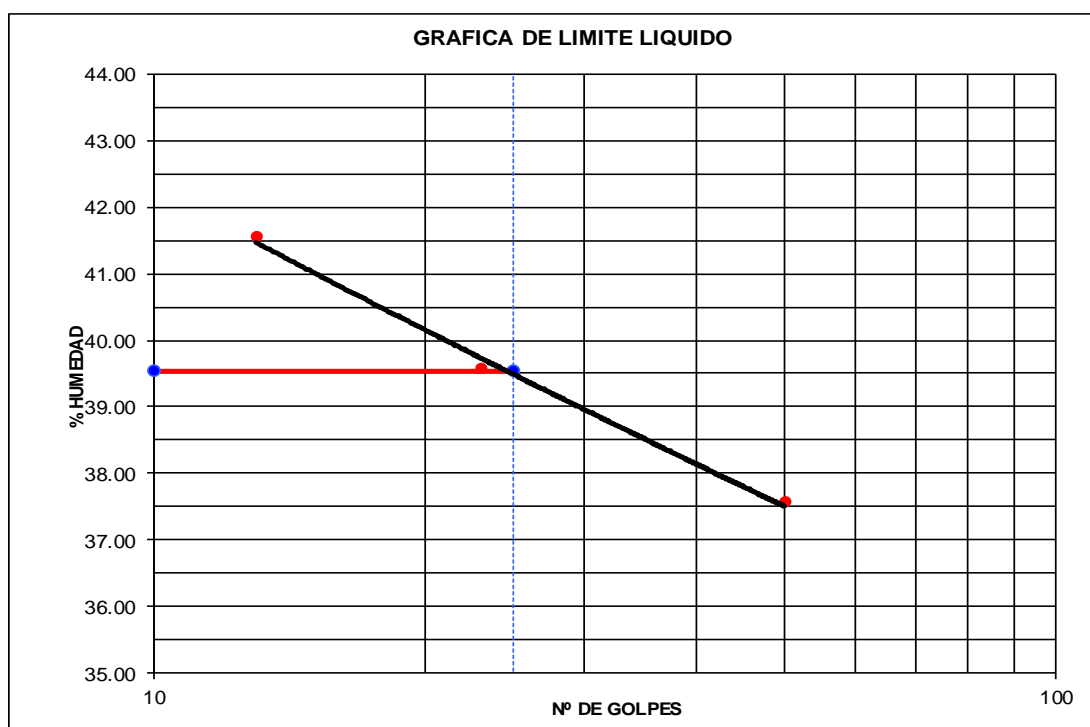
**ENSAYO DE LIMITES DE ATTEMBERG (ASTM D-4318)**

**PROYECTO** : MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD OPERATIVA DEL ARCHIVO REGIONAL  
**UBICACIÓN** : AV. DEL EJERCITO, DIST. PUNO, PROV. PUNO Y DPTO. PUNO  
**PROCEDENCIA** : SUELO  
**MUESTRA** : C3-M1  
**FECHA** : abr-13

LIMITE LIQUIDO				
Nro. DE TARRO	49	52	54	
P. Tarro. + Suelo Húmedo	20.73	21.27	21.74	
P. Tarro. + Suelo Seco	17.58	18.82	19.17	
Agua	3.15	2.45	2.57	
Peso del Tarro	10.00	12.63	12.33	
Suelo Seco	7.58	6.19	6.84	
% de Humedad	41.56	39.58	37.57	
Nro. De Golpes	13	23	50	

LIMITE PLASTICO				
Nro. DE TARRO	57	58		
P. Tarro. + Suelo Húmedo	21.52	19.87		
P. Tarro. + Suelo Seco	19.36	17.66		
Agua	2.16	2.21		
Peso del Tarro	12.51	10.86		
Suelo Seco	6.85	6.80		
% de Humedad	31.53	32.50		

GRAFICO DE LIMITE LIQUIDO		
L.L. = 39.54 %	L.P. = 32.02 %	I.P. = 7.52 %



Anexo 7.

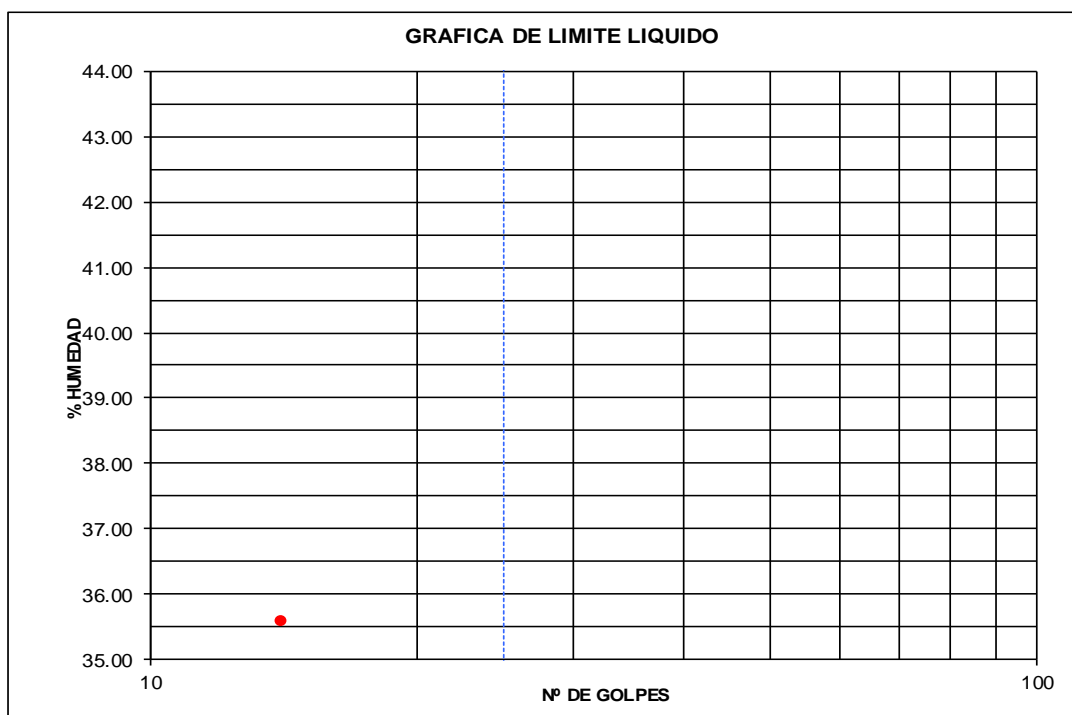
**ENSAYO DE LIMITES DE ATTEMBERG (ASTM D-4318)**

**PROYECTO** : MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD OPERATIVA DEL ARCHIVO REGIONAL  
**UBICACIÓN** : AV. DEL EJERCITO, DIST. PUNO, PROV. PUNO Y DPTO. PUNO  
**PROCEDENCIA** : SUELO  
**MUESTRA** : C3-M3  
**FECHA** : abr-13

LIMITE LIQUIDO			
Nro. DE TARRO	21	53	
P.Tarro. + Suelo Húmedo	26.29	19.07	
P.Tarro. + Suelo Seco	22.45	17.06	
Agua	3.84	2.01	
Peso del Tarro	11.66	10.97	
Suelo Seco	10.79	6.09	
% de Humedad	35.59	33.00	
Nro. De Golpes	14	24	

LIMITE PLASTICO			
Nro. DE TARRO			
P.Tarro. + Suelo Húmedo			
P.Tarro. + Suelo Seco			
Agua			
Peso del Tarro			
Suelo Seco			
% de Humedad			

GRAFICO DE LIMITE LIQUIDO		
L.L. = 32.97 %	NP	NP



**Anexo 8.**

PROYECTO : MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD OPERATIVA DEL ARCHIVO REGIONAL PUNO.

UBICACIÓN : Av. Del Ejército, Dist. Puno, Prov. Puno y Dpto. Puno.

MUESTRA : SUELO DE FUNDACION

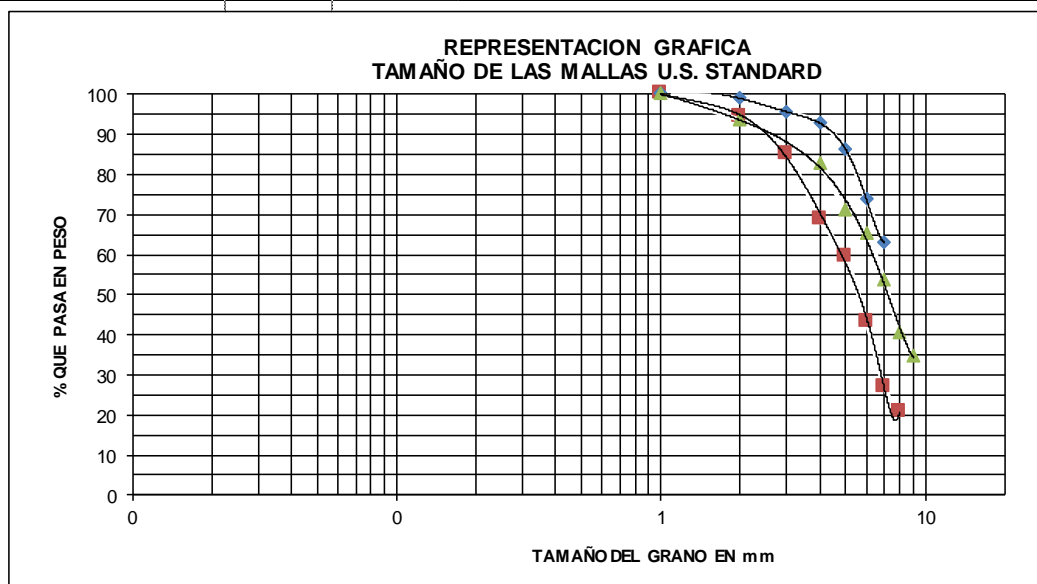
ING. RESP. ING. J.R.T.

SOLICITA : GOBIERNO REGIONAL

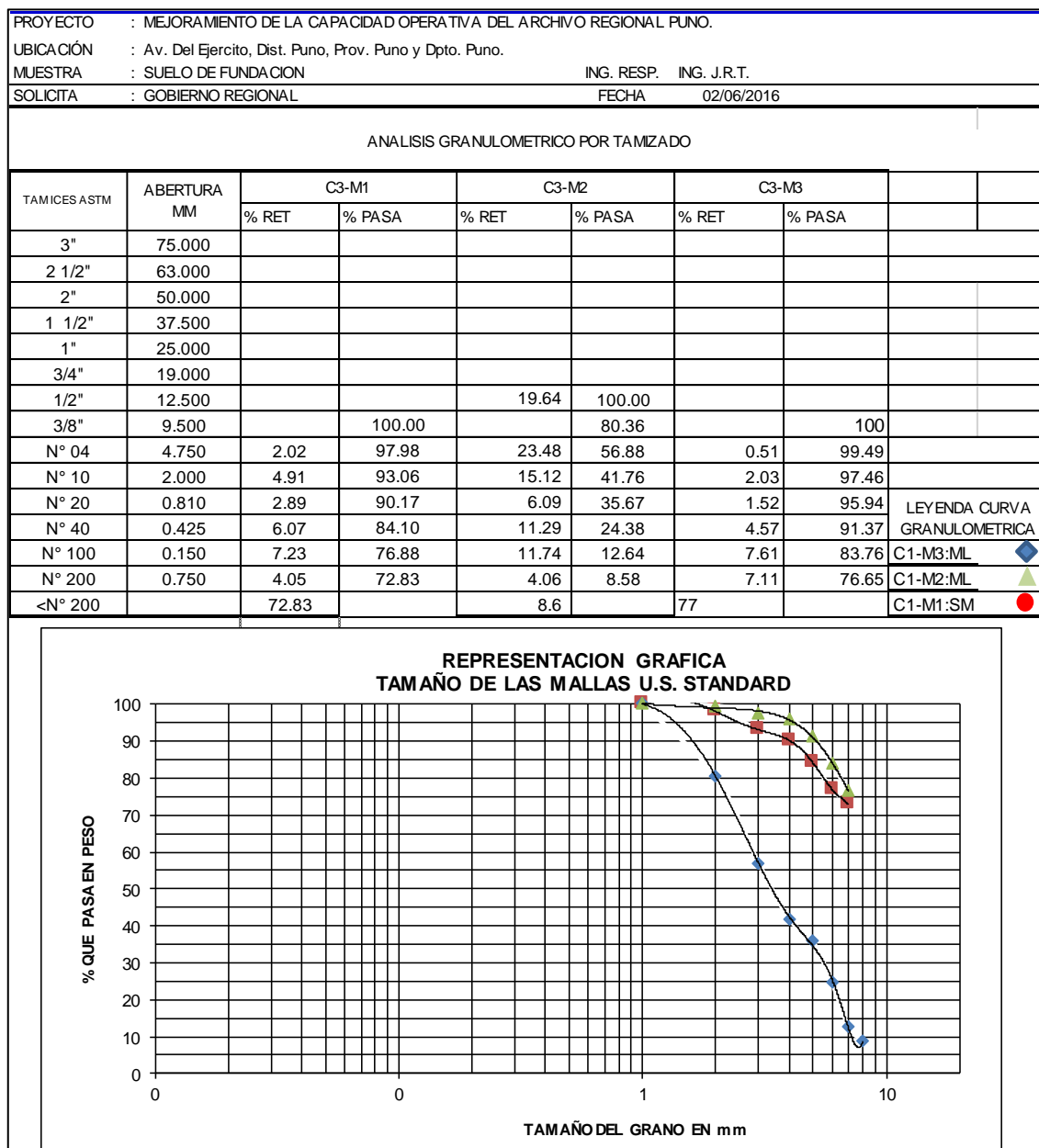
FECHA 02/06/2016

**ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO**

TAMICES ASTM	ABERTURA MM	C1-M1		C1-M2		C1-M3			
		% RET	% PASA	% RET	% PASA	% RET	% PASA		
3"	75.000								
2 1/2"	63.000								
2"	50.000								
1 1/2"	37.500								
1"	25.000								
3/4"	19.000						100		
1/2"	12.500		100.00			6.51	93.49		
3/8"	9.500	5.57	94.43		100.00				
N° 04	4.750	9.36	85.04	1.07	98.93	10.64	82.85		
N° 10	2.000	16.31	68.73	3.32	95.61	11.89	70.96		
N° 20	0.810	9.29	59.44	2.85	92.76	5.88	65.08		LEYENDA CURVA GRANULOMETRICA
N° 40	0.425	16.20	43.24	6.52	86.24	11.51	53.57		
N° 100	0.150	16.31	26.93	12.57	73.67	13.02	40.55		C1-M3:SM ◆
N° 200	0.750	6.30	20.64	10.68	62.99	5.76	34.79		C1-M2:ML ▲
<N° 200		20.64		63.0		35			C1-M1:SM ●



Anexo 9.



**Anexo 10.**

## ENSAYOS DE CORTE DIRECTO (ASTM D-3080)

<b>PROYECTO</b>	MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD OPERATIVA DEL ARCHIVO REGIONAL	<b>IDENTIFICACION</b>	C1-M2
<b>UBICACIÓN</b>	AV. DEL EJERCITO, DIST. PUNO, PROV. PUNO Y DPTO. PUNO	<b>CANTIDAD</b>	10KG aprox.
<b>SOLICITANTE</b>	GOBIERNO REGIONAL PUNO	<b>PRESENTACION</b>	Bolsa plastica
<b>REFERENCIA</b>	ESTUDIO CON FINES DE CIMENTACION	<b>FECHA DE ENSAYO</b>	abr-13
<b>FECHA DE RECEPCION</b>	abr-13		

DESCRIPCION DEL SUELO				
Clasificacion SUCS	ML	Limite Liquido (%)	39.50	
Clasificacion AASHTO		Limite Plastico (%)	29.46	
Tamaño máximo (mm)		Mat. Más fino N° 20(%)	62.99	
Consistencia (s. fino)		cementacion (s. grueso)		

CARACTERISTICAS DE LOS ESPECIMENES DE ENSAYO				
DESCRIPCION				
Esfuerzo normal	(kg/cm <sup>2</sup> )	0.67	1.18	2.20
Diámetro	(cm)	5.00	5.00	5.00
Área	(cm <sup>2</sup> )	19.60	19.60	19.60
Altura inicial	(cm)	2.200	2.200	2.200
Altura final	(cm)	2.181	2.180	2.180
Volumen inicial	(cm <sup>3</sup> )	43.2	43.2	43.2
Volumen final	(cm <sup>3</sup> )	42.81	42.8	42.8
Relacion Diámetro / Altura		2.3	2.3	2.3
Condicion de la Estructura del suelc		Alterado	Alterado	Alterado
Peso Húmedo inicial	(g)	78.50	78.35	78.35
Peso Húmedo final	(g)	58.51	58.40	58.40
Peso seco	(g)	58.5	58.4	58.4
Humedad inicial	(%)	34.2	34.2	34.2
Humedad final	(%)	32.6	31.2	31.2
Densidad Húmeda Inicial	(g/cm <sup>3</sup> )	1.818	1.810	1.810
Densidad Húmeda Final	(g/cm <sup>3</sup> )	1.367	1.360	1.360
Densidad Seca Inicial	(g/cm <sup>3</sup> )	1.355	1.349	1.349
Densidad Seca Final	(g/cm <sup>3</sup> )	1.031	1.037	1.036

CARACTERISTICAS DEL EQUIPO DE CORTE DIRECTO				
Nombre	Equipo de corte Directo PINZUAR			
N° Serie	116	Modelo	PS - 28	
Factor del anillo de Corte	0.1955*LD +2.518	Peso del Anillo Tallador (g)	132.00	

NOTA: \* Muestra ensayada pasante a la malla N° 4 y con densidad seca de 1.37 gr/cm3  
\*La la interpretacion de los resultados de ensayos es de exclusividad del usuario; salvo recomendaciones adjuntas



Anexo 11.

## ENSAYO DE CORTE DIRECTO (ASTM D-3080)

**PROYECTO** : MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD OPERATIVA DEL ARCHIVO REGIONAL **IDENTIFICACION** : C1-M2  
**UBICACIÓN** : AV. DEL EJERCITO, DIST. PUNO, PROV. PUNO Y DPTO. PUNO  
**SOLICITANTE** : GOBIERNO REGIONAL PUNO **CANTIDAD** : 10KG aprox.  
**REFERENCIA** : ESTUDIO CON FINES DE CIMENTACION **PRESENTACION** : Bolsa plastica  
**FECHA DE RECEPCION** : abr-13 **FECHA DE ENSAYO** : 20/04/2013

DESPLAZ. HORIZ. (MM)	Esfuerzo Normal		0.67 kg/cm <sup>2</sup>		Esfuerzo Normal		1.18 kg/cm <sup>2</sup>		Esfuerzo Normal		2.20 kg/cm <sup>2</sup>	
	Desplaz. Vert. (mm)	Lect. Dial Fuerza	Fuerza (kg)	Esfuerzo Corte (kg/cm <sup>2</sup> )	Desplaz. Vert. (mm)	Lect. Dial Fuerza	Fuerza (kg)	Esfuerzo Corte (kg/cm <sup>2</sup> )	Desplaz. Vert. (mm)	Lect. Dial Fuerza	Fuerza (kg)	Esfuerzo Corte (kg/cm <sup>2</sup> )
	0.132				0.200				0.200			
0.25	0.137	9	4	0.220	0.200	15.00	6	0.281	0.200	29	8	0.423
0.50	0.143	12	5	0.250	0.200	22.00	7	0.352	0.200	39	10	0.525
0.75	0.148	13	5	0.260	0.200	26.00	8	0.393	0.200	45	11	0.586
1.00	0.152	14	5	0.271	0.200	23.00	7	0.362	0.200	49	12	0.626
1.25	0.156	15	6	0.281	0.200	30.00	9	0.433	0.200	52	13	0.657
1.50	0.159	16	6	0.291	0.200	32.00	9	0.453	0.200	54	13	0.677
1.75	0.162	16	6	0.291	0.200	34.00	9	0.474	0.200	56	14	0.697
2.00	0.164	16	6	0.291	0.200	35.00	10	0.484	0.200	59	14	0.728
2.25	0.167	17	6	0.301	0.200	36.00	10	0.494	0.200	60	14	0.738
2.50	0.170	17	6	0.301	0.200	37.00	10	0.504	0.200	62	15	0.758
2.75	0.172	18	6	0.311	0.200	38.00	10	0.514	0.200	64	15	0.779
3.00	0.175	18	6	0.311	0.200	39.00	10	0.525	0.200	66	16	0.799
3.25	0.177	18	6	0.311	0.200	40.00	10	0.535	0.200	68	16	0.819
3.50	0.180	18	6	0.311	0.200	41.00	11	0.545	0.200	70	16	0.840
3.75	0.183	19	6	0.321	0.200	42.00	11	0.555	0.200	73	17	0.870
4.00	0.185	19	6	0.321	0.200	43.00	11	0.565	0.200	75	17	0.891
4.25	0.186	20	7	0.332	0.200	44.00	11	0.575	0.200	78	18	0.921
4.50	0.188	21	7	0.342	0.200	44.00	11	0.575	0.200	80	18	0.941
4.75	0.190	21	7	0.342	0.200	45.00	11	0.586	0.200	82	19	0.962
5.00	0.192	21	7	0.342	0.200	45.00	11	0.586	0.200	84	19	0.982
5.25	0.194	21	7	0.342	0.200	46.00	12	0.596	0.200	86	20	1.002
5.50	0.195	22	7	0.342	0.200	47.00	12	0.606	0.200	88	20	1.023
5.75	0.197	23	7	0.362	0.200	48.00	12	0.616	0.200	90	20	1.043
6.00	0.198	23	7	0.362	0.200	48.00	12	0.616	0.200	93	21	1.073
6.25	0.200	24	7	0.372	0.200	49.00	12	0.626	0.200	95	21	1.094
6.50	0.200	24	7	0.372	0.200	50.00	12	0.636	0.200	97	22	1.114
6.75	0.200	24	7	0.372	0.200	50.00	12	0.636	0.200	101	23	1.155
7.00	0.200	25	8	0.382	0.200	51.00	13	0.647	0.200	103	23	1.165
7.25	0.200	25	8	0.382	0.200	51.00	12.69	0.647	0.200	103.00	23.07	1.175
7.50	0.200	25	7.51	0.382	0.200	51.00	12.69	0.647	0.200	103.00	23.07	1.175

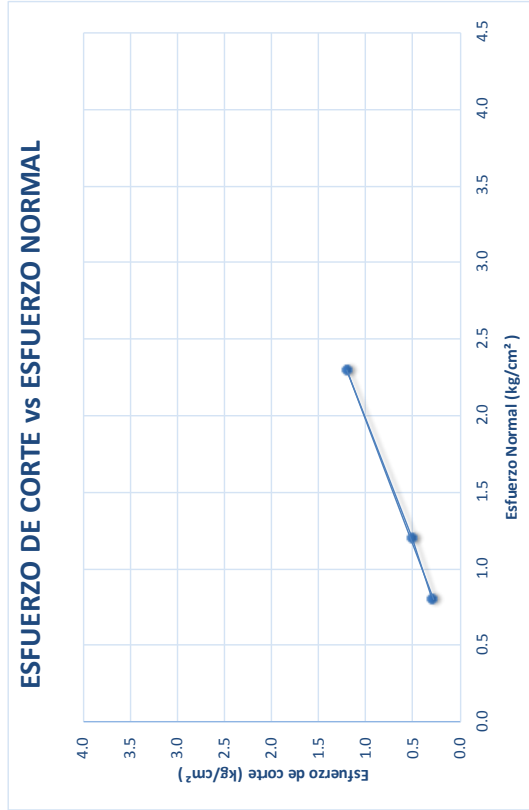
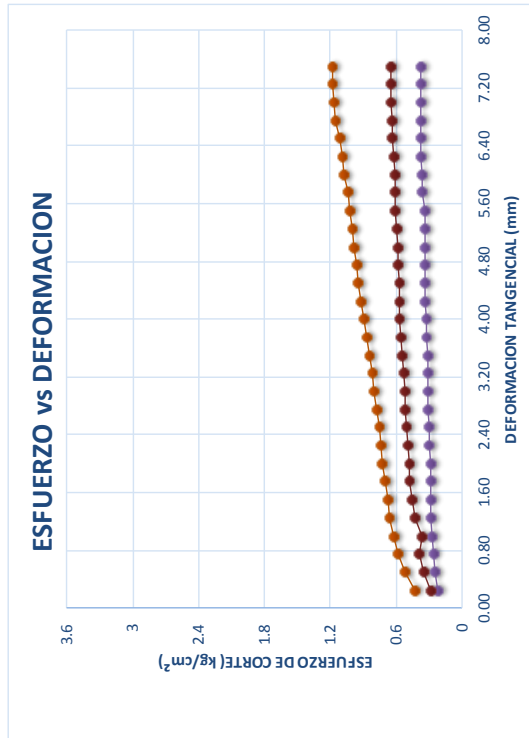
NOTA: \* Muestra ensayada pasante a la malla N° 4 y con densidad seca de 1.37 gr/cm<sup>3</sup>  
 \*La interpretación de los resultados de ensayos es de exclusividad del usuario; salvo recomendaciones adjuntas

Anexo 12.

## ENSAYO DE CORTE DIRECTO (ASTM D-3080)

**PROYECTO** : MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD OPERATIVA DEL ARCHIVO REGIONAL  
**UBICACIÓN** : AV. DEL EJERCITO, DIST. PUNO, PROV. PUNO Y DPTO. PUNO  
**SOLICITANTE** : GOBIERNO REGIONAL PUNO  
**REFERENCIA** : ESTUDIO CON FINES DE CIMENTACIÓN  
**FECHA DE RECEPCIÓN** : abr-13

CARACTERÍSTICAS DE LOS ESPECÍMENES						
MUESTRA N°	DIÁMETRO (cm)	ÁREA (cm <sup>2</sup> )	CONT. HUM. (%)	DENS. SECA (gr/cm <sup>3</sup> )	ESFUERZO NORMAL (kg/cm <sup>2</sup> )	
01	5	19.63	34.17	1.355	0.67	
02	5	19.63	34.17	1.349	1.18	
03	5	19.63	34.17	1.349	2.20	



RESULTADOS DE ENSAYOS		
COHESION (Kg/cm <sup>2</sup> )	0.035	ANGULO DE FRICCIÓN RESIDUAL (°)
		27.39

**NOTA:** \* Muestra ensayada pasante a la malla N° 4 y con densidad seca de 1.37 gr/cm<sup>3</sup>  
 \*La interpretación de los resultados de ensayos es de exclusividad del usuario; salvo recomendaciones adjuntas

## Anexo 13.

## ENSAYOS DE CORTE DIRECTO (ASTM D-3080)

PROYECTO	MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD OPERATIVA DEL ARCHIVO REGIONAL	IDENTIFICACION	: C1-M3
UBICACIÓN	: AV. DEL EJERCITO, DIST. PUNO, PROV. PUNO Y DPTO. PUNO	CANTIDAD	: 10KG aprox.
SOLICITANTE	: GOBIERNO REGIONAL PUNO	PRESENTACION	: Bolsa plastica
REFERENCIA	: ESTUDIO CON FINES DE CIMENTACION	FECHA DE ENSAYO	: abr-13
FECHA DE RECEPCION	: abr-13		

DESCRIPCION DEL SUELO				
Clasificacion SUCS	ML	Limite Liquido (%)	36.19	
Clasificacion AASHTO		Limite Plastico (%)	NP	
Tamaño máximo (mm)		Mat. Más fino N° 20(%)	38.12	
Consistencia (s. fino)		cementacion (s. grueso)		

CARACTERISTICAS DE LOS ESPECIMENES DE ENSAYO				
DESCRIPCION				
Esfuerzo normal	( $kg/cm^2$ )	0.67	1.18	2.20
Diámetro	(cm)	5.00	5.00	5.00
Área	( $cm^2$ )	19.60	19.60	19.60
Altura inicial	(cm)	2.200	2.200	2.200
Altura final	(cm)	2.181	2.180	2.180
Volumen inicial	( $cm^3$ )	43.2	43.2	43.2
Volumen final	( $cm^3$ )	42.79	42.8	42.8
Relacion Diámetro / Altura		2.3	2.3	2.3
Condicion de la Estructura del suelo		Alterado	Alterado	Alterado
Peso Húmedo inicial	(g)	86.00	85.98	85.98
Peso Húmedo final	(g)	64.97	64.96	64.96
Peso seco	(g)	65.0	65.0	65.0
Humedad inicial	(%)	324.0	32.4	32.4
Humedad final	(%)	31.2	31.8	28.9
Densidad Húmeda Inicial	( $g/cm^3$ )	1.991	1.990	1.990
Densidad Húmeda Final	( $g/cm^3$ )	1.518	1.520	1.520
Densidad Seca Inicial	( $g/cm^3$ )	1.504	1.503	1.503
Densidad Seca Final	( $g/cm^3$ )	1.157	1.154	1.179

CARACTERISTICAS DEL EQUIPO DE CORTE DIRECTO				
Nombre	Equipo de corte Directo PINZUAR			
N° Serie	116	Modelo	PS - 28	
Factor del anillo de Corte	0.1955*LD +2.518	Peso del Anillo Tallador (g)	132.00	

NOTA:

\* Muestra ensayada pasante a la malla N° 4 y con densidad seca de 1.37 gr/cm3

\*La la interpretacion de los resultados de ensayos es de exclusividad del usuario; salvo recomendaciones adjuntas

Anexo 14.

## ENSAYO DE CORTE DIRECTO (ASTMD-3080)

**PROYECTO** : MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD OPERATIVA DEL ARCHIVO REGIONAL **IDENTIFICACION** : C1-M3  
**UBICACIÓN** : AV. DEL EJERCITO, DIST. PUNO, PROV. PUNO Y DPTO. PUNO  
**SOLICITANTE** : GOBIERNO REGIONAL PUNO **CANTIDAD** : 10KG aprox.  
**REFERENCIA** : ESTUDIO CON FINES DE CIMENTACION **PRESENTACION** : Bolsa plastica  
**FECHA DE RECEPCION**: abr-13 **FECHA DE ENSAYO** : 20/04/2013

DESPLAZ. HORIZ. (MM)	Esfuerzo Normal		0.67 kg/cm <sup>2</sup>		Esfuerzo Normal		1.18 kg/cm <sup>2</sup>		Esfuerzo Normal		2.20 kg/cm <sup>2</sup>	
	Desplaz. Vert. (mm)	Lect. Dial Fuerza	Fuerza (kg)	Esfuerzo Corte (kg/cm <sup>2</sup> )	Desplaz. Vert. (mm)	Lect. Dial Fuerza	Fuerza (kg)	Esfuerzo Corte (kg/cm <sup>2</sup> )	Desplaz. Vert. (mm)	Lect. Dial Fuerza	Fuerza (kg)	Esfuerzo Corte (kg/cm <sup>2</sup> )
	0.165				0.200				0.200			
0.25	0.171	8	4	0.210	0.200	19.00	6	0.321	0.200	39	10	0.525
0.50	0.178	12	5	0.250	0.200	26.00	8	0.393	0.200	54	13	0.677
0.75	0.186	13	5	0.260	0.200	32.00	9	0.453	0.200	62	15	0.758
1.00	0.191	15	6	0.281	0.200	37.00	10	0.504	0.200	67	16	0.809
1.25	0.195	17	6	0.301	0.200	40.00	10	0.535	0.200	72	17	0.860
1.50	0.200	18	6	0.311	0.200	43.00	11	0.565	0.200	79	18	0.931
1.75	0.200	19	6	0.321	0.200	45.00	11	0.586	0.200	86	20	1.002
2.00	0.200	20	7	0.332	0.200	46.00	12	0.596	0.200	91	21	1.053
2.25	0.200	22	7	0.352	0.200	48.00	12	0.616	0.200	97	22	1.114
2.50	0.200	23	7	0.362	0.200	49.00	12	0.626	0.200	101	23	1.155
2.75	0.200	25	8	0.382	0.200	51.00	13	0.647	0.200	104	23	1.185
3.00	0.200	25	8	0.382	0.200	53.00	13	0.667	0.200	109	24	1.236
3.25	0.200	26	8	0.393	0.200	55.00	13	0.687	0.200	111	25	1.256
3.50	0.200	27	8	0.403	0.200	57.00	14	0.708	0.200	112	25	1.267
3.75	0.200	28	8	0.413	0.200	58.00	14	0.718	0.200	114	25	1.287
4.00	0.200	29	8	0.423	0.200	59.00	14	0.728	0.200	117	26	1.317
4.25	0.200	30	9	0.433	0.200	61.00	15	0.748	0.200	119	26	1.338
4.50	0.200	30	9	0.433	0.200	63.00	15	0.769	0.200	122	27	1.368
4.75	0.200	31	9	0.443	0.200	63.00	15	0.769	0.200	123	27	1.378
5.00	0.200	32	9	0.453	0.200	64.00	15	0.779	0.200	125	27	1.399
5.25	0.200	32	9	0.453	0.200	65.00	15	0.789	0.200	128	28	1.429
5.50	0.200	33	9	0.464	0.200	65.00	15	0.789	0.200	129	28	1.439
5.75	0.200	33	9	0.464	0.200	66.00	16	0.799	0.200	131	29	1.460
6.00	0.200	34	9	0.474	0.200	66.00	16	0.799	0.200	133	29	1.480
6.25	0.200	34	9	0.474	0.200	67.00	16	0.809	0.200	133	29	1.480
6.50	0.200	34	9	0.474	0.200	67.00	16	0.809	0.200	135	29	1.500
6.75	0.200	34	9	0.474	0.200	68.00	16	0.819	0.200	135	29	1.500
7.00	0.200	34	9	0.474	0.200	68.00	16	0.819	0.200	135	29	1.500
7.25	0.200	34	9	0.474	0.200	68.00	16.08	0.819	0.200	135	28.45	1.500
7.50	0.200	34	9.30	0.474	0.200	68.00	16.08	0.819	0.200	135.00	29.45	1.500

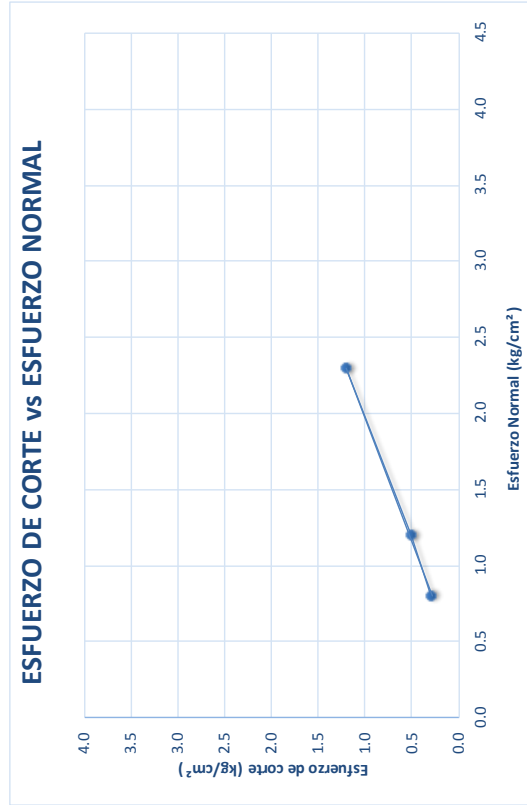
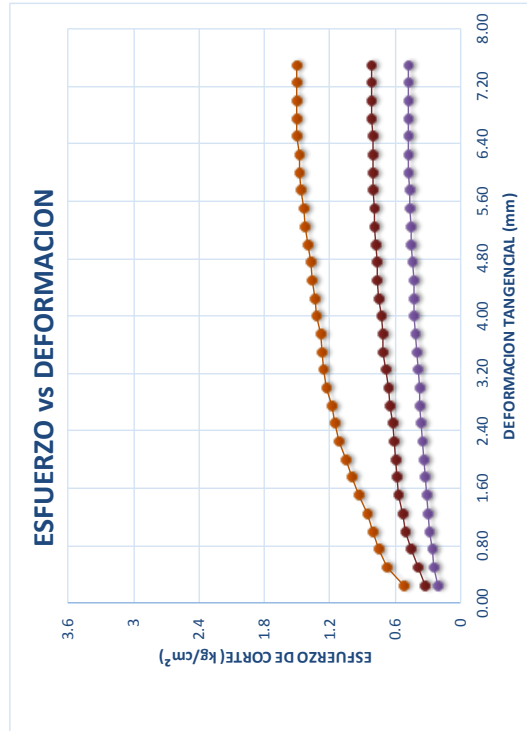
NOTA: \* Muestra ensayada pasante a la malla N° 4 y con densidad seca de 1.37 gr/cm<sup>3</sup>  
 \*La la interpretación de los resultados de ensayos es de exclusividad del usuario; salvo recomendaciones adjuntas

Anexo 15.

## ENSAYO DE CORTE DIRECTO (ASTM D-3080)

**PROYECTO** : MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD OPERATIVA DEL ARCHIVO REGIONAL  
**UBICACIÓN** : AV. DEL EJERCITO, DIST. PUNO, PROV. PUNO Y DPTO. PUNO  
**SOLICITANTE** : GOBIERNO REGIONAL PUNO  
**REFERENCIA** : ESTUDIO CON FINES DE CIMENTACION  
**FECHA DE RECEPCION**: abr-13

CARACTERISTICAS DE LOS ESPECIMENES					
MUESTRA N°	DIAMETRO (cm)	AREA (cm <sup>2</sup> )	CONT. HUM. (%)	DENS. SECA (gr/cm <sup>3</sup> )	ESFUERZO NORMAL (kg/cm <sup>2</sup> )
01	5	19.63	32.63	1.504	0.67
02	5	19.63	32.63	1.503	1.18
03	5	19.63	32.63	1.503	2.20



RESULTADOS DE ENSAYOS	
COHESION (Kg/cm <sup>2</sup> )	0.026
ANGULO DE FRICCION RESIDUAL (°)	33.84

**NOTA:** \* Muestra ensayada pasante a la malla N° 4 y con densidad seca de 1.37 gr/cm<sup>3</sup>  
 \*La interpretación de los resultados de ensayos es de exclusividad del usuario, salvo recomendaciones adjuntas

**Anexo 16.**

## ENSAYOS DE CORTE DIRECTO (ASTM D-3080)

<b>PROYECTO</b>	MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD OPERATIVA DEL ARCHIVO REGIONAL	<b>IDENTIFICACION</b>	C1-M4
<b>UBICACIÓN</b>	AV. DEL EJERCITO, DIST. PUNO, PROV. PUNO Y DPTO. PUNO	<b>CANTIDAD</b>	10 KG aprox.
<b>SOLICITANTE</b>	GOBIERNO REGIONAL PUNO	<b>PRESENTACION</b>	Bolsa plastica
<b>REFERENCIA</b>	ESTUDIO CON FINES DE CIMENTACION	<b>FECHA DE ENSAYO</b>	abr-13
<b>FECHA DE RECEPCION</b>	abr-13		

DESCRIPCION DEL SUELO				
Clasificacion SUCS	ML	Limite Liquido (%)	47.44	
Clasificacion AASHTO		Limite Plastico (%)	34.64	
Tamaño máximo (mm)		Mat. Más fino N° 20(%)	72.83	
Consistencia (s. fino)		cementacion (s. grueso)		

CARACTERISTICAS DE LOS ESPECIMENES DE ENSAYO				
DESCRIPCION				
Esfuerzo normal	(kg/cm <sup>2</sup> )	0.67	1.18	2.20
Diámetro	(cm)	5.00	5.00	5.00
Área	(cm <sup>2</sup> )	19.6	19.6	19.6
Altura inicial	(cm)	2.200	2.200	2.200
Altura final	(cm)	2.007	2.180	2.180
Volumen inicial	(cm <sup>3</sup> )	43.2	43.2	43.2
Volumen final	(cm <sup>3</sup> )	3940.00	42.8	42.8
Relacion Diámetro / Altura		2.3	2.3	2.3
Condicion de la Estructura del suelc		Alterado	Alterado	Alterado
Peso Húmedo inicial	(g)	83.95	80.65	80.65
Peso Húmedo final	(g)	59.17	59.17	59.17
Peso seco	(g)	59.2	59.2	59.2
Humedad inicial	(%)	36.3	36.3	36.3
Humedad final	(%)	37.0	35.3	33.8
Densidad Húmeda Inicial	(g/cm <sup>3</sup> )	1.868	1.870	1.870
Densidad Húmeda Final	(g/cm <sup>3</sup> )	1.502	1.380	1.380
Densidad Seca Inicial	(g/cm <sup>3</sup> )	1.370	1.372	1.372
Densidad Seca Final	(g/cm <sup>3</sup> )	1.096	1.020	1.031

CARACTERISTICAS DEL EQUIPO DE CORTE DIRECTO				
Nombre	Equipo de corte Directo PINZUAR			
N° Serie	116	Modelo	PS - 28	
Factor del anillo de Corte	0.1955*LD +2.518	Peso del Anillo Tallador (g)	132.00	

NOTA: \* Muestra ensayada pasante a la malla N° 4 y con densidad seca de 1.37 gr/cm<sup>3</sup>  
\*La la interpretacion de los resultados de ensayos es de exclusividad del usuario; salvo recomendaciones adjuntas

Anexo 17.

## ENSAYO DE CORTE DIRECTO (ASTM D-3080)

**PROYECTO** : MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD OPERATIVA DEL ARCHIVO REGIONAL **IDENTIFICACION** : C1-M4  
**UBICACIÓN** : AV. DEL EJERCITO, DIST. PUNO, PROV. PUNO Y DPTO. PUNO  
**SOLICITANTE** : GOBIERNO REGIONAL PUNO **CANTIDAD** : 10 KG aprox.  
**REFERENCIA** : ESTUDIO CON FINES DE CIMENTACION **PRESENTACION** : Bolsa plastica  
**FECHA DE RECEPCION**: abr-13 **FECHA DE ENSAYO** : 20/04/2013

DESPLAZ. HORIZ. (MM)	Esfuerzo Normal		0.67 kg/cm <sup>2</sup>		Esfuerzo Normal		1.18 kg/cm <sup>2</sup>		Esfuerzo Normal		2.20 kg/cm <sup>2</sup>	
	Desplaz. Vert. (mm)	Lect. Dial Fuerza	Fuerza (kg)	Esfuerzo Corte (kg/cm <sup>2</sup> )	Desplaz. Vert. (mm)	Lect. Dial Fuerza	Fuerza (kg)	Esfuerzo Corte (kg/cm <sup>2</sup> )	Desplaz. Vert. (mm)	Lect. Dial Fuerza	Fuerza (kg)	Esfuerzo Corte (kg/cm <sup>2</sup> )
	0.145				0.200				0.200			
0.25	0.149	10	5	0.230	0.200	14.00	5	0.271	0.200	30	9	0.433
0.50	0.155	13	5	0.260	0.200	19.00	6	0.321	0.200	38	10	0.140
0.75	0.160	15	6	0.281	0.200	22.00	7	0.352	0.200	43	11	0.565
1.00	0.164	16	6	0.291	0.200	24.00	7	0.372	0.200	48	12	0.616
1.25	0.168	17	6	0.301	0.200	26.00	8	0.393	0.200	51	13	0.647
1.50	0.172	17	6	0.301	0.200	27.00	8	0.403	0.200	53	13	0.667
1.75	0.175	17	6	0.301	0.200	29.00	8	0.423	0.200	56	14	0.697
2.00	0.179	18	6	0.311	0.200	30.00	9	0.433	0.200	58	14	0.718
2.25	0.182	18	6	0.311	0.200	31.00	9	0.443	0.200	60	14	0.738
2.50	0.185	19	6	0.321	0.200	32.00	9	0.453	0.200	62	15	0.758
2.75	0.187	19	6	0.321	0.200	32.00	9	0.453	0.200	63	15	0.769
3.00	0.190	19	6	0.321	0.200	33.00	9	0.464	0.200	64	15	0.779
3.25	1.930	19	6	0.321	0.200	34.00	9	0.474	0.200	65	15	0.789
3.50	0.195	20	7	0.332	0.200	34.00	9	0.474	0.200	67	16	0.809
3.75	0.198	20	7	0.332	0.200	35.00	10	0.484	0.200	68	16	0.819
4.00	0.200	20	7	0.332	0.200	35.00	10	0.484	0.200	68	16	0.819
4.25	0.200	20	7	0.332	0.200	36.00	10	0.494	0.200	69	16	0.830
4.50	0.200	20	7	0.332	0.200	37.00	10	0.504	0.200	70	16	0.840
4.75	0.200	21	7	0.342	0.200	38.00	10	0.514	0.200	71	17	0.850
5.00	0.200	21	7	0.342	0.200	38.00	10	0.514	0.200	72	17	0.860
5.25	0.200	21	7	0.342	0.200	38.00	10	0.514	0.200	73	17	0.870
5.50	0.200	21	7	0.342	0.200	38.00	10	0.514	0.200	74	17	0.880
5.75	0.200	21	7	0.342	0.200	39.00	10	0.525	0.200	75	17	0.891
6.00	0.200	21	7	0.342	0.200	39.00	10	0.525	0.200	76	18	0.901
6.25	0.200	21	7	0.342	0.200	40.00	10	0.535	0.200	77	18	0.911
6.50	0.200	21	7	0.342	0.200	41.00	11	0.545	0.200	78	18	0.921
6.75	0.200	21	7	0.342	0.200	41.00	11	0.545	0.200	79	18	0.931
7.00	0.200	21	7	0.342	0.200	41.00	11	0.545	0.200	79	18	0.931
7.25	0.200	21	7	0.342	0.200	41.00	10.70	0.545	0.200	79	18.28	0.931
7.50	0.200	21	6.71	0.342	0.200	41.00	10.70	0.545	0.200	79.00	18.28	0.931

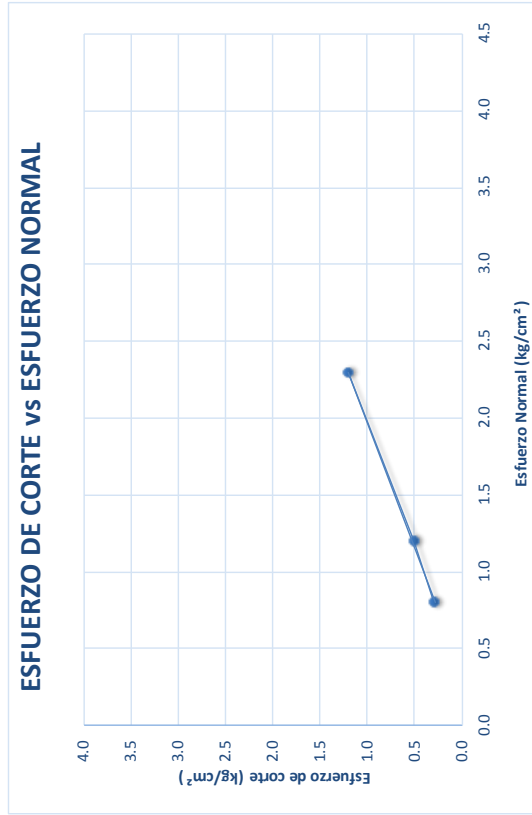
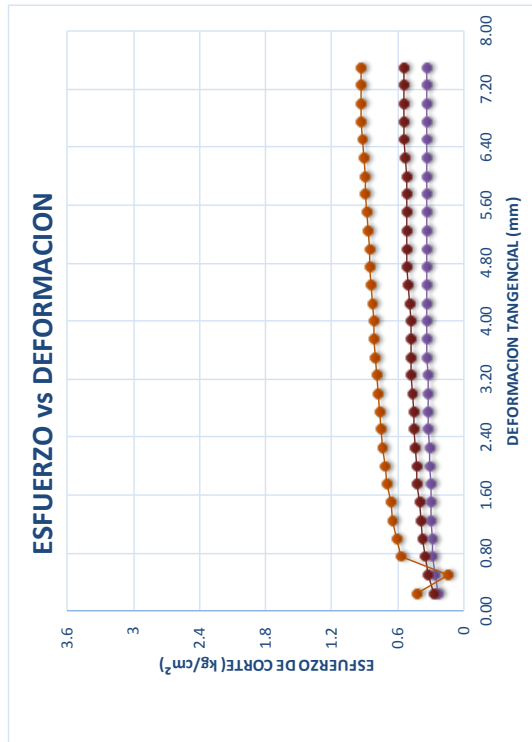
NOTA: \* Muestra ensayada pasante a la malla N° 4 y con densidad seca de 1.37 gr/cm<sup>3</sup>  
 \*La la interpretacion de los resultados de ensayos es de exclusividad del usuario; salvo recomendaciones adjuntas

Anexo 18.

## ENSAYO DE CORTE DIRECTO (ASTMD-3080)

**PROYECTO** : MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD OPERATIVA DEL ARCHIVO REGIONAL  
**UBICACIÓN** : AV. DEL EJERCITO, DIST. PUNO, PROV. PUNO Y/DPTO. PUNO  
**SOLICITANTE** : GOBIERNO REGIONAL PUNO  
**REFERENCIA** : ESTUDIO CON FINES DE CIMENTACION  
**FECHA DE RECEPCION** : abr-13

CARACTERISTICAS DE LOS ESPECIMENES					
MUESTRA N°	DIAMETRO (cm)	AREA (cm <sup>2</sup> )	CONT. HUM. (%)	DENS. SECA (gr/cm <sup>3</sup> )	ESFUERZO NORMAL (kg/cm <sup>2</sup> )
01	5	19.63	36.31	1.37	0.67
02	5	19.63	36.31	1.372	1.18
03	5	19.63	36.31	1.372	2.20



RESULTADOS DE ENSAYOS		
COHESION (Kg/cm <sup>2</sup> )	0.087	ANGULO DE FRICCION RESIDUAL (°)
		21.02

**NOTA:** \* Muestra ensayada pasante a la malla N° 4 y con densidad seca de 1.37 gr/cm<sup>3</sup>  
 \*La interpretación de los resultados de ensayos es de exclusividad del usuario; salvo recomendaciones adjuntas



**Anexo 19.**

## ENSAYOS DE CORTE DIRECTO (ASTM D-3080)

<b>PROYECTO</b>	MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD OPERATIVA DEL ARCHIVO REGIONAL	<b>IDENTIFICACION</b>	: C2-M1
<b>UBICACIÓN</b>	: AV. DEL EJERCITO, DIST. PUNO, PROV. PUNO Y DPTO. PUNO	<b>CANTIDAD</b>	: 10KG aprox.
<b>SOLICITANTE</b>	: GOBIERNO REGIONAL PUNO	<b>PRESENTACION</b>	: Bolsa plastica
<b>REFERENCIA</b>	: ESTUDIO CON FINES DE CIMENTACION	<b>FECHA DE ENSAYO</b>	: abr-13
<b>FECHA DE RECEPCION</b>	: abr-13		

DESCRIPCION DEL SUELO				
Clasificacion SUCS	ML	Limite Liquido (%)	35.71	
Clasificacion AASHTO		Limite Plastico (%)	28.97	
Tamaño máximo (mm)		Mat. Más fino N° 20(%)	69.73	
Consistencia (s. fino)		cementacion (s. grueso)		

CARACTERISTICAS DE LOS ESPECIMENES DE ENSAYO				
DESCRIPCION				
Esfuerzo normal	(kg/cm <sup>2</sup> )	0.67	1.18	2.20
Diámetro	(cm)	5.00	5.00	5.00
Área	(cm <sup>2</sup> )	19.60	19.60	19.60
Altura inicial	(cm)	2.200	2.200	2.200
Altura final	(cm)	2.181	2.180	2.180
Volumen inicial	(cm <sup>3</sup> )	43.2	43.2	43.2
Volumen final	(cm <sup>3</sup> )	42.82	42.8	42.8
Relacion Diámetro / Altura		2.3	2.3	2.3
Condicion de la Estructura del suelc		Alterado	Alterado	Alterado
Peso Húmedo inicial	(g)	83.95	83.85	83.85
Peso Húmedo final	(g)	59.19	59.19	59.19
Peso seco	(g)	59.2	59.2	59.2
Humedad inicial	(%)	41.8	41.8	41.8
Humedad final	(%)	34.5	33.3	32.3
Densidad Húmeda Inicial	(g/cm <sup>3</sup> )	1.944	1.940	1.940
Densidad Húmeda Final	(g/cm <sup>3</sup> )	1.382	1.38	1.38
Densidad Seca Inicial	(g/cm <sup>3</sup> )	1.371	1.37	1.368
Densidad Seca Final	(g/cm <sup>3</sup> )	1.027	1.036	1.043

CARACTERISTICAS DEL EQUIPO DE CORTE DIRECTO				
Nombre	Equipo de corte Directo PINZUAR			
N° Serie	116	Modelo	PS - 28	
Factor del anillo de Corte	0.1955*LD +2.518	Peso del Anillo Tallador (g)	132.00	

NOTA: \* Muestra ensayada pasante a la malla N° 4 y con densidad seca de 1.37 gr/cm3  
\*La la interpretacion de los resultados de ensayos es de exclusividad del usuario; salvo recomendaciones adjuntas

Anexo 20.

## ENSAYO DE CORTE DIRECTO (ASTM D-3080)

**PROYECTO** : MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD OPERATIVA DEL ARCHIVO REGIONAL  
**UBICACIÓN** : AV. DEL EJERCITO, DIST. PUNO, PROV. PUNO Y DPTO. PUNO  
**SOLICITANTE** : GOBIERNO REGIONAL PUNO  
**REFERENCIA** : ESTUDIO CON FINES DE CIMENTACION  
**FECHA DE RECEPCION** : abr-13

**IDENTIFICACION** : C2-M1  
**CANTIDAD** : 10KG aprox.  
**PRESENTACION** : Bolsa plastica  
**FECHA DE ENSAYO** : 20/04/2013

DESPLAZ. HORIZ. (MM)	Esfuerzo Normal		0.67 kg/cm <sup>2</sup>		Esfuerzo Normal		1.18 kg/cm <sup>2</sup>		Esfuerzo Normal		2.20 kg/cm <sup>2</sup>	
	Desplaz. Vert. (mm)	Lect. Dial Fuerza	Fuerza (kg)	Esfuerzo Corte (kg/cm <sup>2</sup> )	Desplaz. Vert. (mm)	Lect. Dial Fuerza	Fuerza (kg)	Esfuerzo Corte (kg/cm <sup>2</sup> )	Desplaz. Vert. (mm)	Lect. Dial Fuerza	Fuerza (kg)	Esfuerzo Corte (kg/cm <sup>2</sup> )
	0.136				0.200				0.200			
0.25	0.138	9	4	0.220	0.200	10.00	5	0.230	0.200	18	6	0.311
0.50	0.145	11	5	0.240	0.200	17.00	6	0.301	0.200	34	9	0.474
0.75	0.150	14	5	0.271	0.200	22.00	7	0.352	0.200	43	11	0.565
1.00	0.154	14	5	0.271	0.200	25.00	8	0.382	0.200	52	13	0.657
1.25	0.158	16	6	0.291	0.200	27.00	8	0.403	0.200	57	14	0.708
1.50	0.161	18	6	0.311	0.200	30.00	9	0.433	0.200	60	14	0.738
1.75	0.163	18	6	0.311	0.200	31.00	9	0.443	0.200	62	15	0.758
2.00	0.165	19	6	0.321	0.200	32.00	9	0.453	0.200	65	15	0.789
2.25	0.167	20	7	0.332	0.200	35.00	10	0.484	0.200	67	16	0.809
2.50	0.170	20	7	0.332	0.200	36.00	10	0.494	0.200	70	16	0.840
2.75	0.173	20	7	0.332	0.200	37.00	10	0.504	0.200	71	17	0.850
3.00	0.175	21	7	0.342	0.200	38.00	10	0.514	0.200	73	17	0.870
3.25	0.177	21	7	0.342	0.200	38.00	10	0.514	0.200	74	17	0.880
3.50	0.179	22	7	0.352	0.200	39.00	10	0.525	0.200	76	18	0.901
3.75	0.181	22	7	0.352	0.200	40.00	10	0.535	0.200	78	18	0.921
4.00	0.182	22	7	0.352	0.200	41.00	11	0.545	0.200	80	18	0.941
4.25	0.184	22	7	0.352	0.200	41.00	11	0.545	0.200	82	19	0.962
4.50	0.185	22	7	0.352	0.200	42.00	11	0.555	0.200	82	19	0.962
4.75	0.186	23	7	0.362	0.200	42.00	11	0.555	0.200	84	19	0.982
5.00	0.188	23	7	0.362	0.200	43.00	11	0.565	0.200	86	20	1.002
5.25	0.190	23	7	0.362	0.200	44.00	11	0.575	0.200	87	20	1.012
5.50	0.191	24	7	0.372	0.200	45.00	11	0.586	0.200	88	20	1.023
5.75	0.192	24	7	0.372	0.200	46.00	12	0.596	0.200	89	20	1.033
6.00	0.193	24	7	0.372	0.200	46.00	12	0.596	0.200	90	20	1.043
6.25	0.194	24	7	0.372	0.200	46.00	12	0.596	0.200	90	20	1.043
6.50	0.195	24	7	0.372	0.200	46.00	12	0.596	0.200	91	21	1.053
6.75	0.196	24	7	0.372	0.200	46.00	12	0.596	0.200	92	21	1.063
7.00	0.197	24	7	0.372	0.200	46.00	12	0.596	0.200	93	21	1.073
7.25	0.198	24	7	0.372	0.200	46.00	11.70	0.596	0.200	94.00	21.27	1.084
7.50	0.199	24	7.31	0.372	0.200	46.00	11.70	0.596	0.200	94.00	21.27	1.084

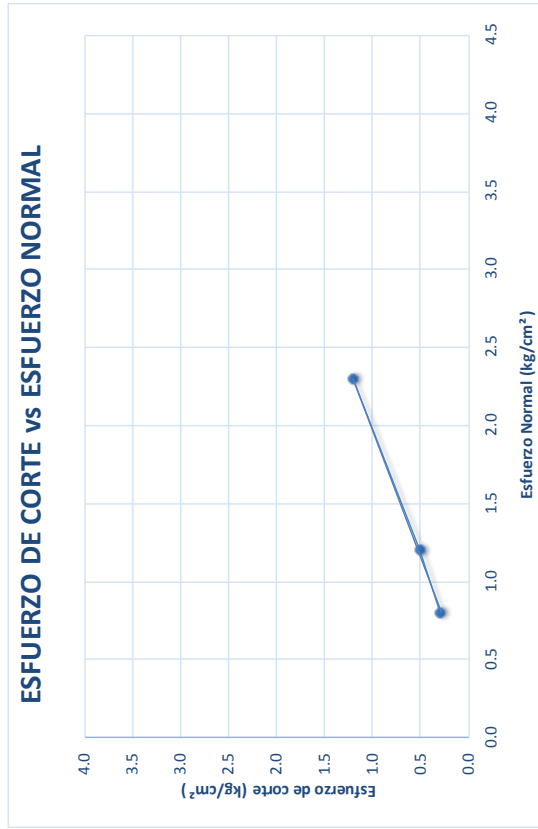
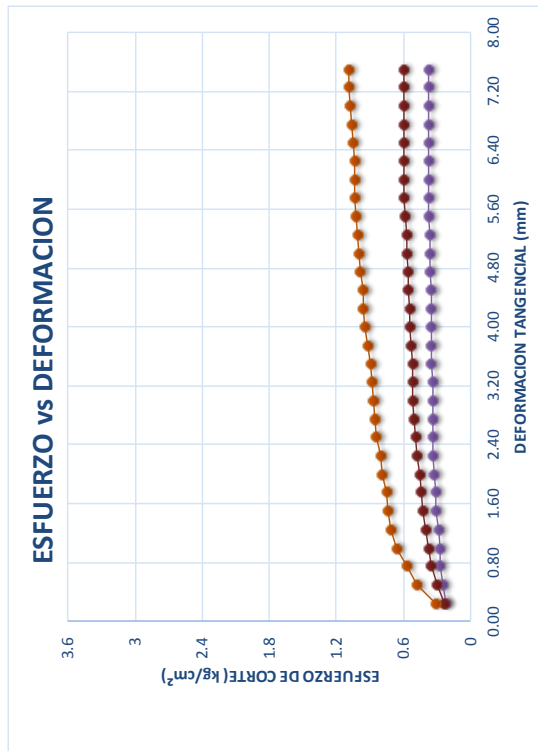
NOTA: \* Muestra ensayada pasante a la malla N° 4 y con densidad seca de 1.37 gr/cm<sup>3</sup>  
 \*La la interpretacion de los resultados de ensayos es de exclusividad del usuario; salvo recomendaciones adjuntas

Anexo 21.

## ENSAYO DE CORTE DIRECTO (ASTMD-3080)

CARACTERISTICAS DE LOS ESPECIMENES					
MUESTRA N°	DIAMETRO (cm)	AREA (cm <sup>2</sup> )	CONT. HUM. (%)	DENS. SECA (gr/cm <sup>3</sup> )	ESFUERZO NORMAL (Kg/cm <sup>2</sup> )
01	5	19.63	41.84	1.371	0.67
02	5	19.63	41.84	1.368	1.18
03	5	19.63	41.84	1.368	2.20

**PROYECTO** : MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD OPERATIVA DEL ARCHIVO REGIONAL  
**UBICACIÓN** : AV. DEL EJERCITO, DIST. PUNO, PROV. PUNO Y DPTO. PUNO  
**SOLICITANTE** : GOBIERNO REGIONAL PUNO  
**REFERENCIA** : ESTUDIO CON FINES DE CIMENTACION  
**FECHA DE RECEPCION**: abr-13



RESULTADOS DE ENSAYOS		
COHESION (Kg/cm <sup>2</sup> )	0.054	ANGULO DE FRICCIÓN RESIDUAL (°)
		25.03

**NOTA:** \* Muestra ensayada pasante a la malla N° 4 y con densidad seca de 1.37 gr/cm<sup>3</sup>  
 \*La interpretación de los resultados de ensayos es de exclusividad del usuario; salvo recomendaciones a adjuntas

Anexo 22.

## ENSAYOS DE CORTE DIRECTO (ASTM D-3080)

<b>PROYECTO</b>	MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD OPERATIVA DEL ARCHIVO REGIONAL	<b>IDENTIFICACION</b>	: C3-M1
<b>UBICACIÓN</b>	: AV. DEL EJERCITO, DIST. PUNO, PROV. PUNO Y DPTO. PUNO	<b>CANTIDAD</b>	: 10KG aprox.
<b>SOLICITANTE</b>	: GOBIERNO REGIONAL PUNO	<b>PRESENTACION</b>	: Bolsa plastica
<b>REFERENCIA</b>	: ESTUDIO CON FINES DE CIMENTACION	<b>FECHA DE ENSAYO</b>	: abr-13
<b>FECHA DE RECEPCION</b>	: abr-13		

DESCRIPCION DEL SUELO				
Clasificacion SUCS	SM	Limite Liquido (%)	34.54	
Clasificacion AASHTO		Limite Plastico (%)	32.02	
Tamaño máximo (mm)		Mat. Más fino N° 20(%)	39.29	
Consistencia (s. fino)		cementacion (s. grueso)		

CARACTERISTICAS DE LOS ESPECIMENES DE ENSAYO				
DESCRIPCION				
Esfuerzo normal	(kg/cm <sup>2</sup> )	0.67	1.18	2.20
Diámetro	(cm)	5.00	5.00	5.00
Área	(cm <sup>2</sup> )	19.60	19.60	19.60
Altura inicial	(cm)	2.200	2.200	2.200
Altura final	(cm)	2.186	2.180	2.180
Volumen inicial	(cm <sup>3</sup> )	43.2	43.2	43.2
Volumen final	(cm <sup>3</sup> )	42.92	42.8	42.8
Relacion Diámetro / Altura		2.3	2.3	2.3
Condicion de la Estructura del suelc		Alterado	Alterado	Alterado
Peso Húmedo inicial	(g)	78.80	78.80	78.80
Peso Húmedo final	(g)	57.14	57.14	57.14
Peso seco	(g)	57.1	57.1	57.1
Humedad inicial	(%)	37.9	37.9	37.9
Humedad final	(%)	32.4	30.0	29.1
Densidad Húmeda Inicial	(g/cm <sup>3</sup> )	1.825	1.820	1.820
Densidad Húmeda Final	(g/cm <sup>3</sup> )	1.331	1.340	1.340
Densidad Seca Inicial	(g/cm <sup>3</sup> )	1.323	1.320	1.320
Densidad Seca Final	(g/cm <sup>3</sup> )	1.005	1.030	1.038

CARACTERISTICAS DEL EQUIPO DE CORTE DIRECTO				
Nombre	Equipo de corte Directo PINZUAR			
N° Serie	116	Modelo	PS - 28	
Factor del anillo de Corte	0.1955*LD +2.518	Peso del Anillo Tallador (g)	132.00	

NOTA:

\* Muestra ensayada pasante a la malla N° 4 y con densidad seca de 1.32 gr/cm<sup>3</sup>

\*La la interpretacion de los resultados de ensayos es de exclusividad del usuario; salvo recomendaciones adjuntas

Anexo 23.

## ENSAYO DE CORTE DIRECTO (ASTM D-3080)

**PROYECTO** : MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD OPERATIVA DEL ARCHIVO REGIONAL **IDENTIFICACION** : C3-M1  
**UBICACIÓN** : AV. DEL EJERCITO, DIST. PUNO, PROV. PUNO Y DPTO. PUNO  
**SOLICITANTE** : GOBIERNO REGIONAL PUNO **CANTIDAD** : 10KG aprox.  
**REFERENCIA** : ESTUDIO CON FINES DE CIMENTACION **PRESENTACION** : Bolsa plastica  
**FECHA DE RECEPCION** : abr-13 **FECHA DE ENSAYO** : 20/04/2013

DESPLAZ. HORIZ. (MM)	Esfuerzo Normal		0.67 kg/cm <sup>2</sup>		Esfuerzo Normal		1.18 kg/cm <sup>2</sup>		Esfuerzo Normal		2.20 kg/cm <sup>2</sup>	
	Desplaz. Vert. (mm)	Lect. Dial Fuerza	Fuerza (kg)	Esfuerzo Corte (kg/cm <sup>2</sup> )	Desplaz. Vert. (mm)	Lect. Dial Fuerza	Fuerza (kg)	Esfuerzo Corte (kg/cm <sup>2</sup> )	Desplaz. Vert. (mm)	Lect. Dial Fuerza	Fuerza (kg)	Esfuerzo Corte (kg/cm <sup>2</sup> )
0.25	0.072	9	4	0.220	0.150	18.00	6	0.311	0.200	36	10	0.494
0.50	0.073	14	5	0.271	0.164	26.00	8	0.393	0.200	51	13	0.647
0.75	0.081	17	6	0.301	0.168	30.00	9	0.433	0.200	65	15	0.789
1.00	0.087	19	6	0.321	0.173	34.00	9	0.474	0.200	74	17	0.880
1.25	0.093	21	7	0.342	0.178	38.00	10	0.514	0.200	80	18	0.941
1.50	0.098	22	7	0.352	0.181	40.00	10	0.535	0.200	85	19	0.992
1.75	0.103	23	7	0.362	0.185	42.00	11	0.555	0.200	90	20	1.043
2.00	0.107	23	7	0.362	0.188	44.00	11	0.575	0.200	93	21	1.073
2.25	0.110	23	7	0.362	0.190	46.00	12	0.596	0.200	96	22	1.104
2.50	0.113	24	7	0.372	0.190	48.00	12	0.616	0.200	98	22	1.124
2.75	0.116	25	8	0.382	0.193	49.00	12	0.626	0.200	100	22	1.145
3.00	0.118	27	8	0.403	0.195	52.00	13	0.657	0.200	103	23	1.175
3.25	0.121	28	8	0.413	0.196	53.00	13	0.667	0.200	105	23	1.195
3.50	0.123	29	8	0.423	0.198	55.00	13	0.687	0.200	107	24	1.216
3.75	0.126	29	8	0.423	0.200	56.00	14	0.697	0.200	109	24	1.236
4.00	0.128	30	9	0.433	0.200	58.00	14	0.718	0.200	111	25	1.256
4.25	0.130	31	9	0.443	0.200	59.00	14	0.728	0.200	113	25	1.277
4.50	0.132	32	9	0.453	0.200	60.00	14	0.738	0.200	116	26	1.307
4.75	0.134	32	9	0.453	0.200	61.00	15	0.748	0.200	118	26	1.328
5.00	0.136	32	9	0.453	0.200	62.00	15	0.758	0.200	121	27	1.358
5.25	0.138	33	9	0.464	0.200	63.00	15	0.769	0.200	123	27	1.378
5.50	0.140	33	9	0.464	0.200	64.00	15	0.779	0.200	125	27	1.399
5.75	0.142	33	9	0.464	0.200	65.00	15	0.789	0.200	127	28	1.419
6.00	0.145	33	9	0.464	0.200	65.00	15	0.789	0.200	130	28	1.449
6.25	0.147	33	9	0.464	0.200	65.00	15	0.789	0.200	131	29	1.460
6.50	0.149	34	9	0.474	0.200	66.00	16	0.799	0.200	133	29	1.480
6.75	0.151	34	9	0.474	0.200	66.00	16	0.799	0.200	133	29	1.480
7.00	0.154	34	9	0.474	0.200	66.00	16	0.799	0.200	133	29	1.480
7.25	0.156	34	9	0.474	0.200	66.00	15.69	0.799	0.200	134.00	29.25	1.490
7.50	0.158	34	9.30	0.474	0.200	66.00	15.69	0.799	0.200	134.00	29.25	1.490

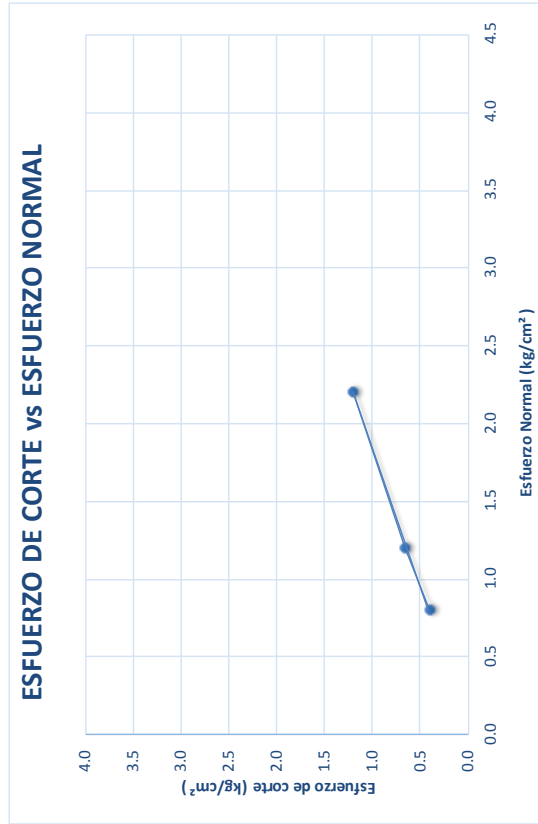
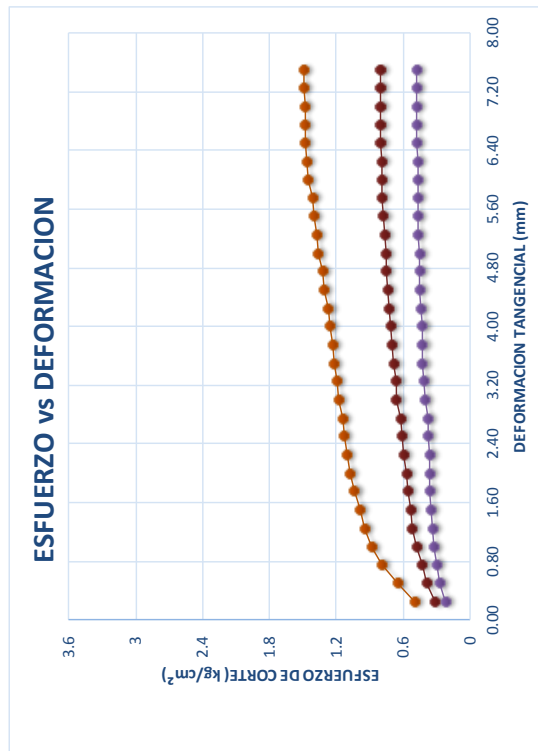
NOTA: \* Muestra ensayada pasante a la malla N° 4 y con densidad seca de 1.37 gr/cm<sup>3</sup>  
 \*La interpretación de los resultados de ensayos es de exclusividad del usuario; salvo recomendaciones adjuntas

Anexo 24.

## ENSAYO DE CORTE DIRECTO (ASTM D-3080)

**PROYECTO** : MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD OPERATIVA DEL ARCHIVO REGIONAL  
**UBICACIÓN** : AV. DEL EJERCITO, DIST. PUNO, PROV. PUNO Y DPTO. PUNO  
**SOLICITANTE** : GOBIERNO REGIONAL PUNO  
**REFERENCIA** : ESTUDIO CON FINES DE CIMENTACION  
**FECHA DE RECEPCION** : abr-13

CARACTERISTICAS DE LOS ESPECIMENES						
MUESTRA N°	DIAMETRO (cm)	AREA (cm <sup>2</sup> )	CONT. HUM. (%)	DENS. SECA (gr/cm <sup>3</sup> )	ESFUERZO NORMAL (kg/cm <sup>2</sup> )	
01	5	19.63	37.91	0.323	0.67	
02	5	19.63	37.91	1.320	1.18	
03	5	19.63	37.91	1.320	2.20	



RESULTADOS DE ENSAYOS		
COHESION (Kg/cm2)	0.028	ANGULO DE FRICCION RESIDUAL (°)
		33.67

**NOTA:**  
 \* Muestra ensayada pasante a la malla N° 4 y con densidad seca de 1.32 gr/cm<sup>3</sup>  
 \*La interpretación de los resultados de ensayos es de exclusividad del usuario, salvo recomendaciones adjuntas

Anexo 25.

## ENSAYOS DE CORTE DIRECTO (ASTM D-3080)

<b>PROYECTO</b>	MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD OPERATIVA DEL ARCHIVO REGIONAL	<b>IDENTIFICACION</b>	: C3-M2
<b>UBICACIÓN</b>	: AV. DEL EJERCITO, DIST. PUNO, PROV. PUNO Y DPTO. PUNO	<b>CANTIDAD</b>	: 10 KG aprox.
<b>SOLICITANTE</b>	: GOBIERNO REGIONAL PUNO	<b>PRESENTACION</b>	: Bolsa plastica
<b>REFERENCIA</b>	: ESTUDIO CON FINES DE CIMENTACION	<b>FECHA DE ENSAYO</b>	: abr-13
<b>FECHA DE RECEPCION</b>	: abr-13		

DESCRIPCION DEL SUELO				
Clasificacion SUCS	ML	Limite Liquido (%)	47.27	
Clasificacion AASHTO		Limite Plastico (%)	32.89	
Tamaño máximo (mm)		Mat. Más fino N° 20(%)	51.80	
Consistencia (s. fino)		cementacion (s. grueso)		

CARACTERISTICAS DE LOS ESPECIMENES DE ENSAYO				
DESCRIPCION				
Esfuerzo normal	(kg/cm <sup>2</sup> )	0.67	1.18	2.20
Diámetro	(cm)	5.00	5.00	5.00
Área	(cm <sup>2</sup> )	19.60	19.60	19.60
Altura inicial	(cm)	2.200	2.200	2.200
Altura final	(cm)	2.180	2.180	2.180
Volumen inicial	(cm <sup>3</sup> )	43.2	43.2	43.2
Volumen final	(cm <sup>3</sup> )	42.79	42.8	42.8
Relacion Diámetro / Altura		2.3	2.3	2.3
Condicion de la Estructura del suelc		Alterado	Alterado	Alterado
Peso Húmedo inicial	(g)	75.45	75.45	75.45
Peso Húmedo final	(g)	53.53	53.53	53.53
Peso seco	(g)	53.5	53.5	53.5
Humedad inicial	(%)	40.9	40.9	40.9
Humedad final	(%)	39.2	38.3	35.5
Densidad Húmeda Inicial	(g/cm <sup>3</sup> )	1.747	1.750	1.750
Densidad Húmeda Final	(g/cm <sup>3</sup> )	1.251	1.250	1.250
Densidad Seca Inicial	(g/cm <sup>3</sup> )	1.240	1.242	1.242
Densidad Seca Final	(g/cm <sup>3</sup> )	0.899	0.904	0.922

CARACTERISTICAS DEL EQUIPO DE CORTE DIRECTO				
Nombre	Equipo de corte Directo PINZUAR			
N° Serie	116	Modelo	PS - 28	
Factor del anillo de Corte	0.1955*LD +2.518	Peso del Anillo Tallador (g)	132.00	

NOTA: *\* Muestra ensayada pasante a la malla N° 4 y con densidad seca de 1.24 gr/cm<sup>3</sup>*  
*\*La la interpretacion de los resultados de ensayos es de exclusividad del usuario; salvo recomendaciones adjuntas*

Anexo 26.

## ENSAYO DE CORTE DIRECTO (ASTM D-3080)

**PROYECTO** : MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD OPERATIVA DEL ARCHIVO REGIONAL **IDENTIFICACION** : C3-M2  
**UBICACIÓN** : AV. DEL EJERCITO, DIST. PUNO, PROV. PUNO Y DPTO. PUNO  
**SOLICITANTE** : GOBIERNO REGIONAL PUNO **CANTIDAD** : 10 KG aprox.  
**REFERENCIA** : ESTUDIO CON FINES DE CIMENTACION **PRESENTACION** : Bolsa plastica  
**FECHA DE RECEPCION**: abr-13 **FECHA DE ENSAYO** : 20/04/2013

DESPLAZ. HORIZ. (MM)	Esfuerzo Normal		0.67 kg/cm <sup>2</sup>		Esfuerzo Normal		1.18 kg/cm <sup>2</sup>		Esfuerzo Normal		2.20 kg/cm <sup>2</sup>	
	Desplaz. Vert. (mm)	Lect. Dial Fuerza	Fuerza (kg)	Esfuerzo Corte (kg/cm <sup>2</sup> )	Desplaz. Vert. (mm)	Lect. Dial Fuerza	Fuerza (kg)	Esfuerzo Corte (kg/cm <sup>2</sup> )	Desplaz. Vert. (mm)	Lect. Dial Fuerza	Fuerza (kg)	Esfuerzo Corte (kg/cm <sup>2</sup> )
	0.141				0.200				0.200			
0.25	0.151	10	5	0.230	0.200	15.00	6	0.281	0.200	30	9	0.433
0.50	0.158	14	5	0.271	0.200	22.00	7	0.352	0.200	41	11	0.545
0.75	0.165	16	6	0.291	0.200	27.00	8	0.403	0.200	50	12	0.636
1.00	0.170	18	6	0.311	0.200	30.00	9	0.433	0.200	57	14	0.708
1.25	0.175	19	6	0.321	0.200	32.00	9	0.453	0.200	61	15	0.748
1.50	0.178	20	7	0.332	0.200	33.00	9	0.464	0.200	66	16	0.799
1.75	0.182	20	7	0.332	0.200	34.00	9	0.474	0.200	69	16	0.830
2.00	0.186	20	7	0.332	0.200	35.00	10	0.484	0.200	71	17	0.850
2.25	0.189	21	7	0.342	0.200	35.00	10	0.484	0.200	71	17	0.850
2.50	0.191	22	7	0.352	0.200	36.00	10	0.494	0.200	73	17	0.870
2.75	0.195	23	7	0.362	0.200	37.00	10	0.504	0.200	74	17	0.880
3.00	0.197	23	7	0.362	0.200	38.00	10	0.514	0.200	75	17	0.891
3.25	0.199	23	7	0.362	0.200	39.00	10	0.525	0.200	76	18	0.901
3.50	0.200	24	7	0.372	0.200	40.00	10	0.535	0.200	78	18	0.921
3.75	0.200	24	7	0.372	0.200	41.00	11	0.545	0.200	79	18	0.931
4.00	0.200	24	7	0.372	0.200	43.00	11	0.565	0.200	81	19	0.951
4.25	0.200	25	8	0.382	0.200	44.00	11	0.575	0.200	83	19	0.972
4.50	0.200	25	8	0.382	0.200	45.00	11	0.586	0.200	85	19	0.992
4.75	0.200	25	8	0.382	0.200	46.00	12	0.596	0.200	88	20	1.023
5.00	0.200	25	8	0.382	0.200	47.00	12	0.606	0.200	90	20	1.043
5.25	0.200	25	8	0.382	0.200	48.00	12	0.616	0.200	92	21	1.063
5.50	0.200	26	8	0.393	0.200	48.00	12	0.616	0.200	94	20	1.084
5.75	0.200	26	8	0.393	0.200	49.00	12	0.626	0.200	95	20	1.094
6.00	0.200	26	8	0.393	0.200	50.00	12	0.636	0.200	96	22	1.104
6.25	0.200	26	8	0.393	0.200	50.00	12	0.636	0.200	97	22	1.114
6.50	0.200	26	8	0.393	0.200	51.00	13	0.647	0.200	98	22	1.124
6.75	0.200	27	8	0.403	0.200	51.00	13	0.647	0.200	99	22	1.134
7.00	0.200	27	8	0.403	0.200	52.00	13	0.657	0.200	100	22	1.145
7.25	0.200	27	8	0.403	0.200	52.00	12.89	0.657	0.200	101.00	22.67	1.155
7.50	0.200	27	7.90	0.403	0.200	52.00	12.89	0.657	0.200	102.00	22.87	1.165

NOTA: \* Muestra ensayada pasante a la malla N° 4 y con densidad seca de 1.24 gr/cm<sup>3</sup>  
 \*La interpretación de los resultados de ensayos es de exclusividad del usuario; salvo recomendaciones adjuntas

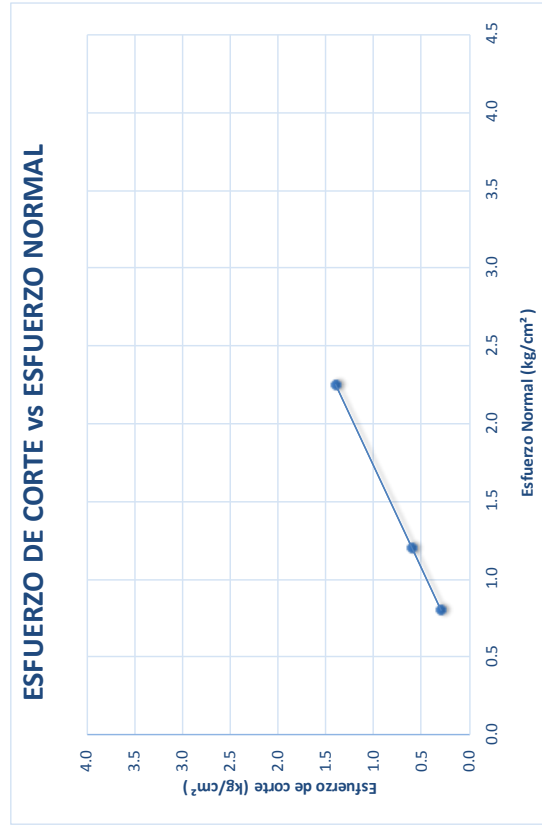
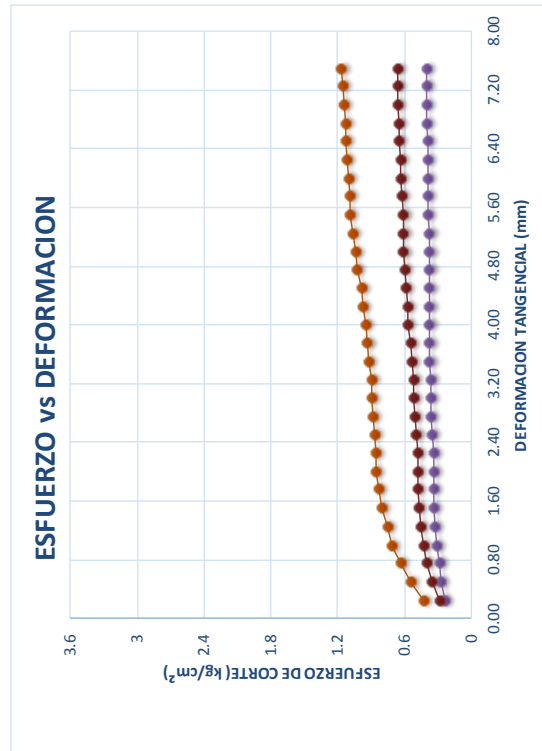


Anexo 27.

## ENSAYO DE CORTE DIRECTO (ASTM D-3080)

**PROYECTO** : MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD OPERATIVA DEL ARCHIVO REGIONAL  
**UBICACIÓN** : AV. DEL EJERCITO, DIST. PUNO, PROV. PUNO Y DPTO. PUNO  
**SOLICITANTE** : GOBIERNO REGIONAL PUNO  
**REFERENCIA** : ESTUDIO CON FINES DE CIMENTACION  
**FECHA DE RECEPCION** : abr-13

CARACTERISTICAS DE LOS ESPECIMENES						
MUESTRA N°	DIAMETRO (cm)	AREA (cm <sup>2</sup> )	CONT. HUM. (%)	DENS. SECA (gr/cm <sup>3</sup> )	ESFUERZO NORMAL (Kg/cm <sup>2</sup> )	
01	5	19.63	40.94	1.240	0.67	
02	5	19.63	40.94	1.242	1.18	
03	5	19.63	40.94	1.242	2.20	



RESULTADOS DE ENSAYOS		
COHESION (Kg/cm <sup>2</sup> )	0.069	ANGULO DE FRICCIÓN RESIDUAL (°)
		<b>26.48</b>

**NOTA:** \* Muestra ensayada pasante a la malla N° 4 y con densidad seca de 1.24 gr/cm<sup>3</sup>  
 \* La interpretación de los resultados de ensayos es de exclusividad del usuario, salvo recomendaciones adjuntas

## Anexo 28.

## ENSAYOS DE CORTE DIRECTO (ASTM D-3080)

<b>PROYECTO</b>	MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD OPERATIVA DEL ARCHIVO REGIONAL	<b>IDENTIFICACION</b>	: C3-M3
<b>UBICACIÓN</b>	: AV. DEL EJERCITO, DIST. PUNO, PROV. PUNO Y DPTO. PUNO	<b>CANTIDAD</b>	: 10KG aprox.
<b>SOLICITANTE</b>	: GOBIERNO REGIONAL PUNO	<b>PRESENTACION</b>	: Bolsa plastica
<b>REFERENCIA</b>	: ESTUDIO CON FINES DE CIMENTACION	<b>FECHA DE ENSAYO</b>	: abr-13
<b>FECHA DE RECEPCION</b>	: abr-13		

DESCRIPCION DEL SUELO				
Clasificación SUCS	SP-SM	Limite Liquido (%)	32.94	
Clasificación AASHTO		Limite Plastico (%)	NP	
Tamaño máximo (mm)		Mat. Más fino N° 20(%)	10.96	
Consistencia (s. fino)		cementacion (s. grueso)		

CARACTERISTICAS DE LOS ESPECIMENES DE ENSAYO				
DESCRIPCION				
Esfuerzo normal	( $kg/cm^2$ )	0.67	1.18	2.20
Diámetro	(cm)	5.00	5.00	5.00
Área	( $cm^2$ )	19.60	19.60	19.60
Altura inicial	(cm)	2.200	2.200	2.200
Altura final	(cm)	2.181	2.180	2.180
Volumen inicial	( $cm^3$ )	43.2	43.2	43.2
Volumen final	( $cm^3$ )	42.82	42.8	42.8
Relacion Diámetro / Altura		2.3	2.3	2.3
Condicion de la Estructura del suelc		Alterado	Alterado	Alterado
Peso Húmedo inicial	(g)	85.84	85.84	85.84
Peso Húmedo final	(g)	67.51	67.51	67.51
Peso seco	(g)	67.5	67.5	67.5
Humedad inicial	(%)	27.2	27.2	27.2
Humedad final	(%)	35.8	34.2	31.9
Densidad Húmeda Inicial	( $g/cm^3$ )	1.988	1.990	1.990
Densidad Húmeda Final	( $g/cm^3$ )	1.577	1.580	1.580
Densidad Seca Inicial	( $g/cm^3$ )	1.564	1.565	1.565
Densidad Seca Final	( $g/cm^3$ )	1.161	1.178	1.198

CARACTERISTICAS DEL EQUIPO DE CORTE DIRECTO				
Nombre	Equipo de corte Directo PINZUAR			
N° Serie	116	Modelo	PS - 28	
Factor del anillo de Corte	0.1955*LD +2.518	Peso del Anillo Tallador (g)	132.00	

NOTA:

\* Muestra ensayada pasante a la malla N° 4 y con densidad seca de 1.564 gr/cm<sup>3</sup>

\*La la interpretacion de los resultados de ensayos es de exclusividad del usuario; salvo recomendaciones adjuntas

Anexo 29.

## ENSAYO DE CORTE DIRECTO (ASTM D-3080)

<b>PROYECTO</b>	: MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD OPERATIVA DEL ARCHIVO REGIONAL	<b>IDENTIFICACION</b>	: C3-M3
<b>UBICACIÓN</b>	: AV. DEL EJERCITO, DIST. PUNO, PROV. PUNO Y DPTO. PUNO	<b>CANTIDAD</b>	: 10KG aprox.
<b>SOLICITANTE</b>	: GOBIERNO REGIONAL PUNO	<b>PRESENTACION</b>	: Bolsa plastica
<b>REFERENCIA</b>	: ESTUDIO CON FINES DE CIMENTACION	<b>FECHA DE ENSAYO</b>	: 20/04/2013
<b>FECHA DE RECEPCION</b>	: abr-13		

DESPLAZ. HORIZ. (MM)	Esfuerzo Normal		0.67 kg/cm <sup>2</sup>		Esfuerzo Normal		1.18 kg/cm <sup>2</sup>		Esfuerzo Normal		2.20 kg/cm <sup>2</sup>	
	Desplaz. Vert. (mm)	Lect. Dial Fuerza	Fuerza (kg)	Esfuerzo Corte (kg/cm <sup>2</sup> )	Desplaz. Vert. (mm)	Lect. Dial Fuerza	Fuerza (kg)	Esfuerzo Corte (kg/cm <sup>2</sup> )	Desplaz. Vert. (mm)	Lect. Dial Fuerza	Fuerza (kg)	Esfuerzo Corte (kg/cm <sup>2</sup> )
	0.107				0.200				0.200			
0.25	0.112	8	4	0.210	0.200	18.00	6	0.311	0.200	28	8	0.413
0.50	0.120	11	5	0.240	0.200	23.00	7	0.362	0.200	42	11	0.555
0.75	0.127	13	5	0.260	0.200	28.00	8	0.413	0.200	49	12	0.626
1.00	0.134	15	6	0.281	0.200	32.00	9	0.453	0.200	57	14	0.708
1.25	0.140	16	6	0.291	0.200	34.00	9	0.474	0.200	62	15	0.758
1.50	0.146	17	6	0.301	0.200	37.00	10	0.504	0.200	68	16	0.819
1.75	0.151	19	6	0.321	0.200	40.00	10	0.535	0.200	75	17	0.891
2.00	0.156	20	7	0.332	0.200	43.00	11	0.565	0.200	80	18	0.941
2.25	0.161	21	7	0.391	0.200	46.00	12	0.596	0.200	84	19	0.982
2.50	0.165	22	7	0.352	0.200	48.00	12	0.616	0.200	89	20	1.033
2.75	0.170	23	7	0.362	0.200	50.00	12	0.636	0.200	94	21	1.084
3.00	0.174	24	7	0.372	0.200	52.00	13	0.657	0.200	98	22	1.124
3.25	0.176	25	8	0.382	0.200	52.00	13	0.657	0.200	103	23	1.175
3.50	0.177	27	8	0.403	0.200	54.00	13	0.677	0.200	108	24	1.226
3.75	0.178	27	8	0.403	0.200	56.00	14	0.697	0.200	112	25	1.267
4.00	0.181	27	8	0.403	0.200	58.00	14	0.718	0.200	115	25	1.297
4.25	0.184	28	8	0.413	0.200	59.00	14	0.728	0.200	118	26	1.328
4.50	0.187	28	8	0.413	0.200	60.00	14	0.738	0.200	122	27	1.368
4.75	0.134	29	8	0.423	0.200	61.00	15	0.748	0.200	125	27	1.399
5.00	0.136	30	9	0.433	0.200	62.00	15	0.758	0.200	128	28	1.429
5.25	0.138	30	9	0.433	0.200	63.00	15	0.769	0.200	130	28	1.449
5.50	0.140	31	9	0.443	0.200	64.00	15	0.779	0.200	131	29	1.460
5.75	0.142	32	9	0.453	0.200	65.00	15	0.789	0.200	131	29	1.460
6.00	0.145	32	9	0.453	0.200	65.00	15	0.789	0.200	132	29	1.470
6.25	0.147	32	9	0.453	0.200	66.00	16	0.799	0.200	132	29	1.470
6.50	0.149	33	9	0.464	0.200	66.00	16	0.799	0.200	133	29	1.480
6.75	0.151	33	9	0.464	0.200	66.00	16	0.799	0.200	133	29	1.480
7.00	0.154	33	9	0.464	0.200	66.00	16	0.799	0.200	133	29	1.480
7.25	0.156	33	9	0.464	0.200	66.00	15.69	0.799	0.200	133.00	29.05	1.480
7.50	0.158	33	9.10	0.464	0.200	66.00	15.69	0.799	0.200	133.00	29.05	1.480

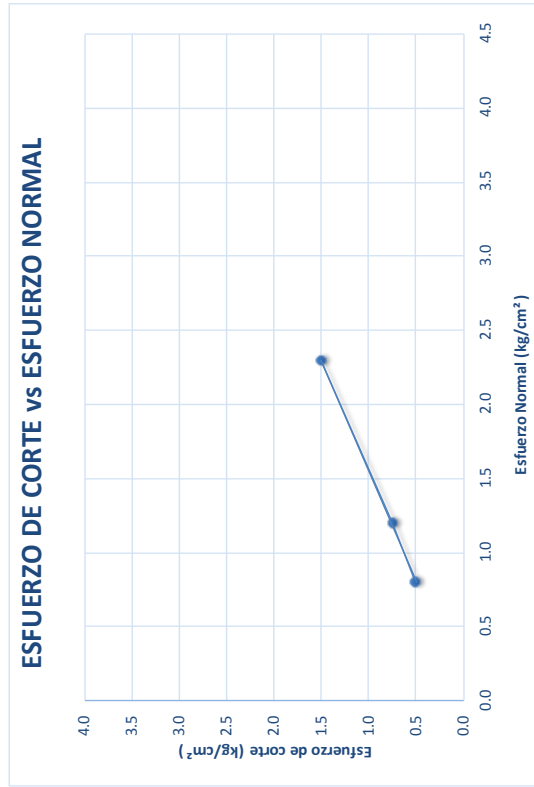
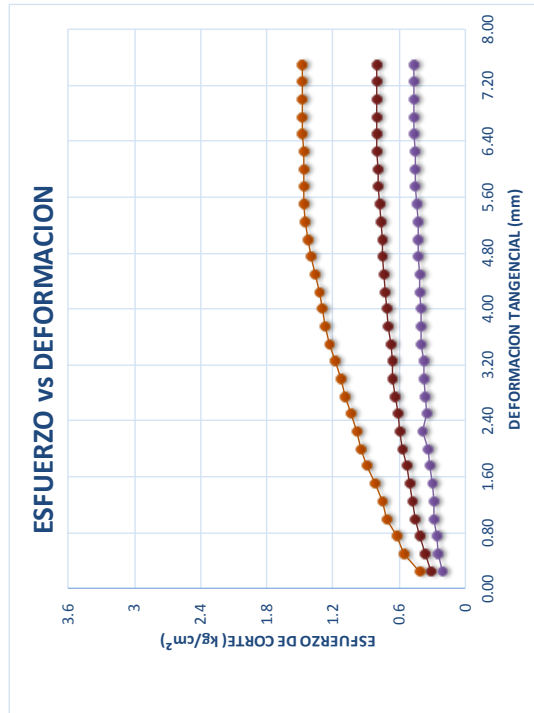
NOTA: \* Muestra ensayada pasante a la malla N° 4 y con densidad seca de 1.37 gr/cm<sup>3</sup>  
 \*La la interpretacion de los resultados de ensayos es de exclusividad del usuario; salvo recomendaciones adjuntas

Anexo 30.

## ENSAYO DE CORTE DIRECTO (ASTM D-3080)

**PROYECTO** : MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD OPERATIVA DEL ARCHIVO REGIONAL  
**UBICACIÓN** : AV. DEL EJERCITO, DIST. PUNO, PROV. PUNO Y DPTO. PUNO  
**SOLICITANTE** : GOBIERNO REGIONAL PUNO  
**REFERENCIA** : ESTUDIO CON FINES DE CIMENTACION  
**FECHA DE RECEPCIÓN**: abr-13

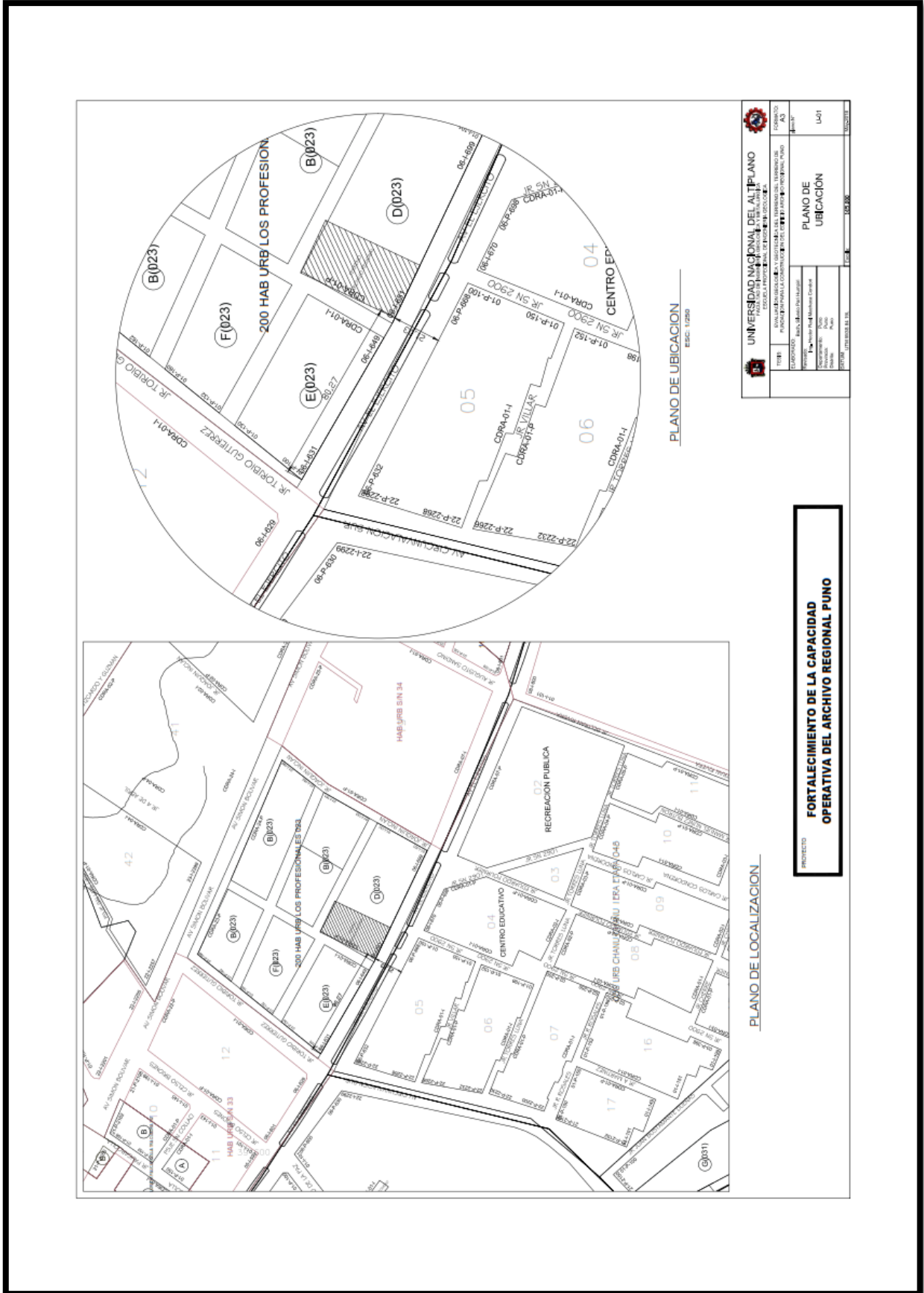
CARACTERISTICAS DE LOS ESPECIMENES					
MUESTRA N°	DIAMETRO (cm)	AREA (cm <sup>2</sup> )	CONT. HUM. (%)	DENS. SECA (gr/cm <sup>3</sup> )	ESFUERZO NORMAL (Kg/cm <sup>2</sup> )
01	5	19.63	41.84	1.371	0.67
02	5	19.63	41.84	1.368	1.18
03	5	19.63	41.84	1.368	2.20



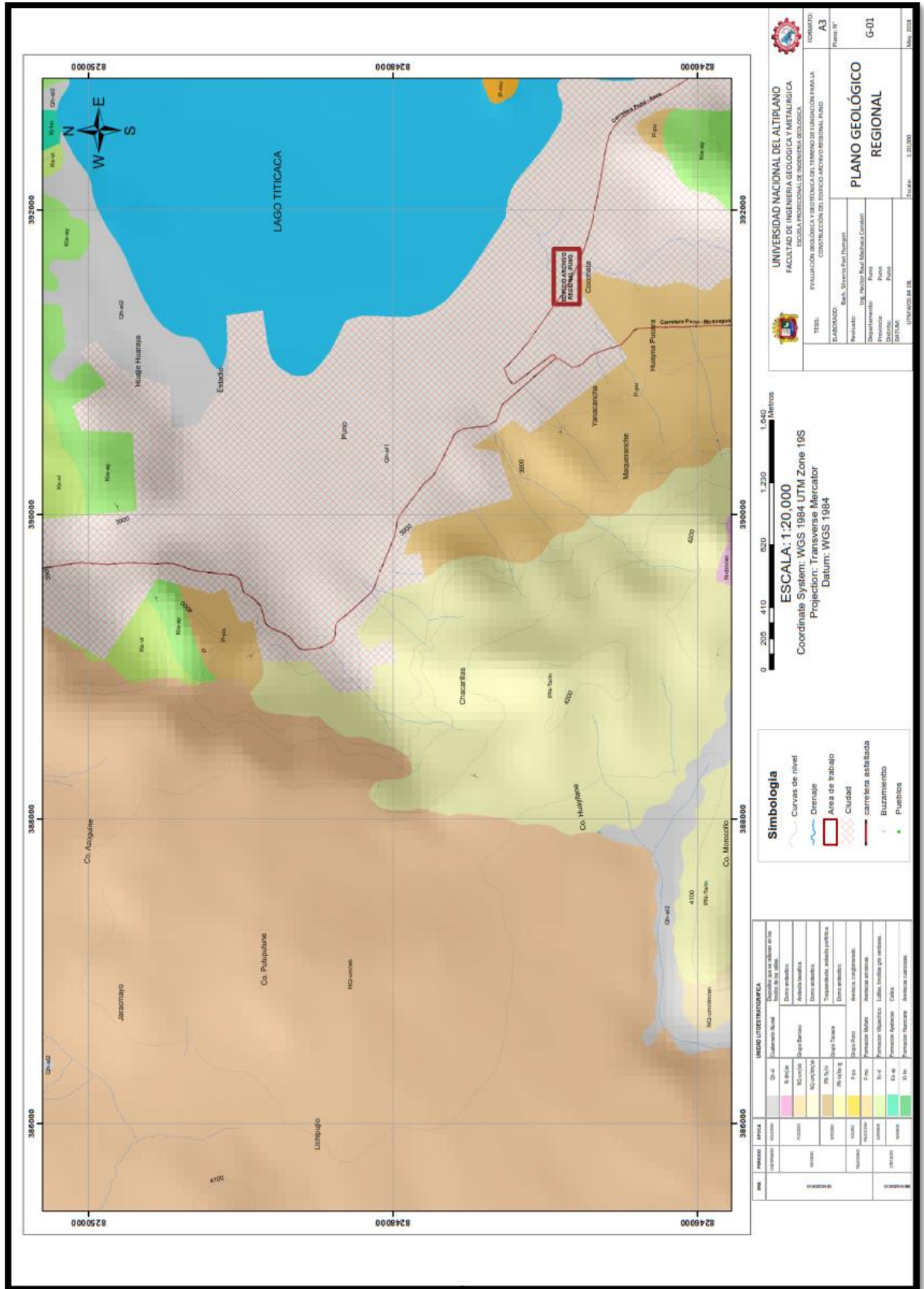
RESULTADOS DE ENSAYOS		
COHESION (Kg/cm <sup>2</sup> )	0.054	ANGULO DE FRICCION RESIDUAL (°)
		25.03

**NOTA:** \* Muestra ensayada pasante a la malla N° 4 y con densidad seca de 1.564 gr/cm<sup>3</sup>  
 \*La interpretación de los resultados de ensayos es de exclusividad del usuario; salvo recomendaciones adjuntas

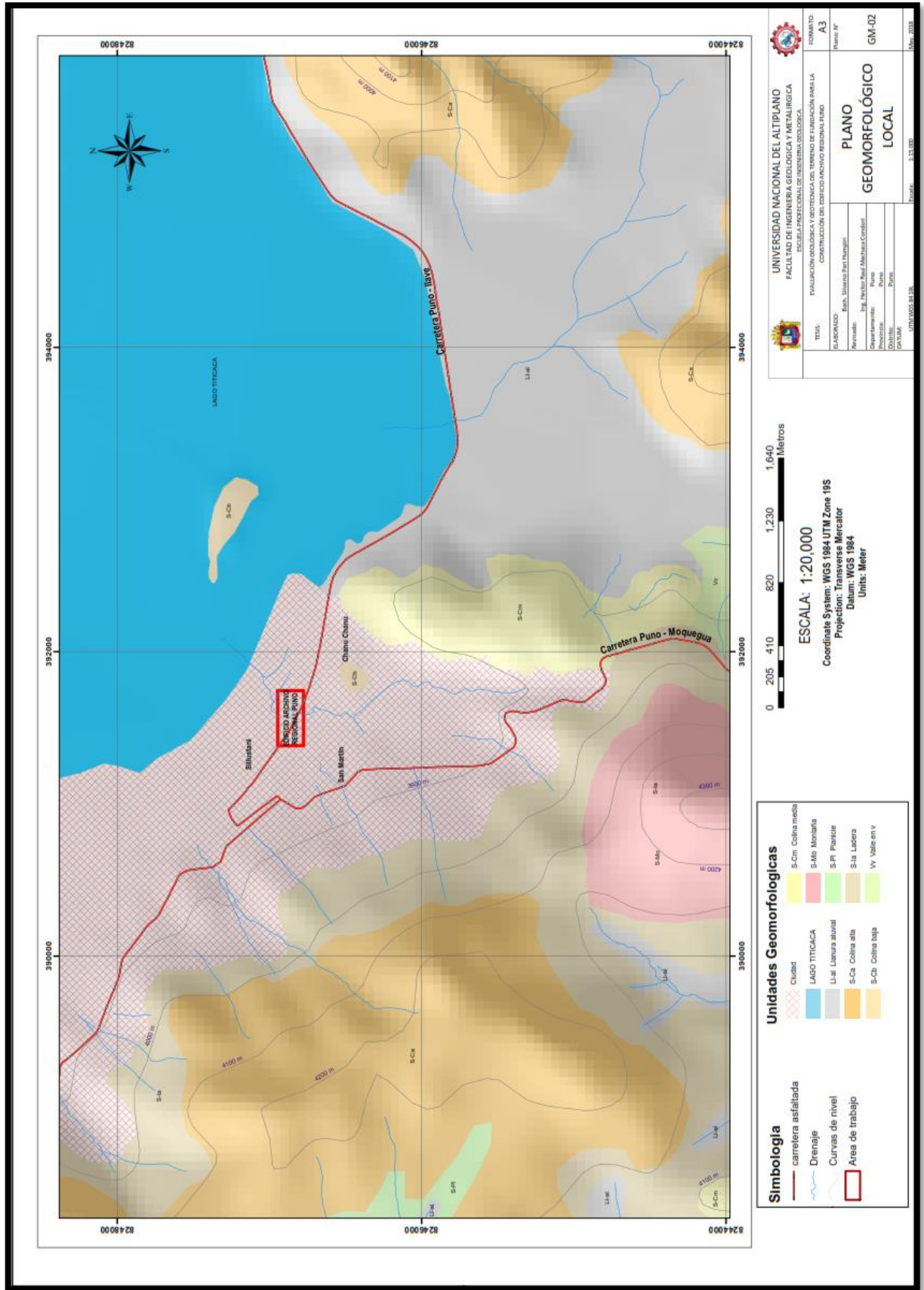
ANEXO 31.  
PLANOS

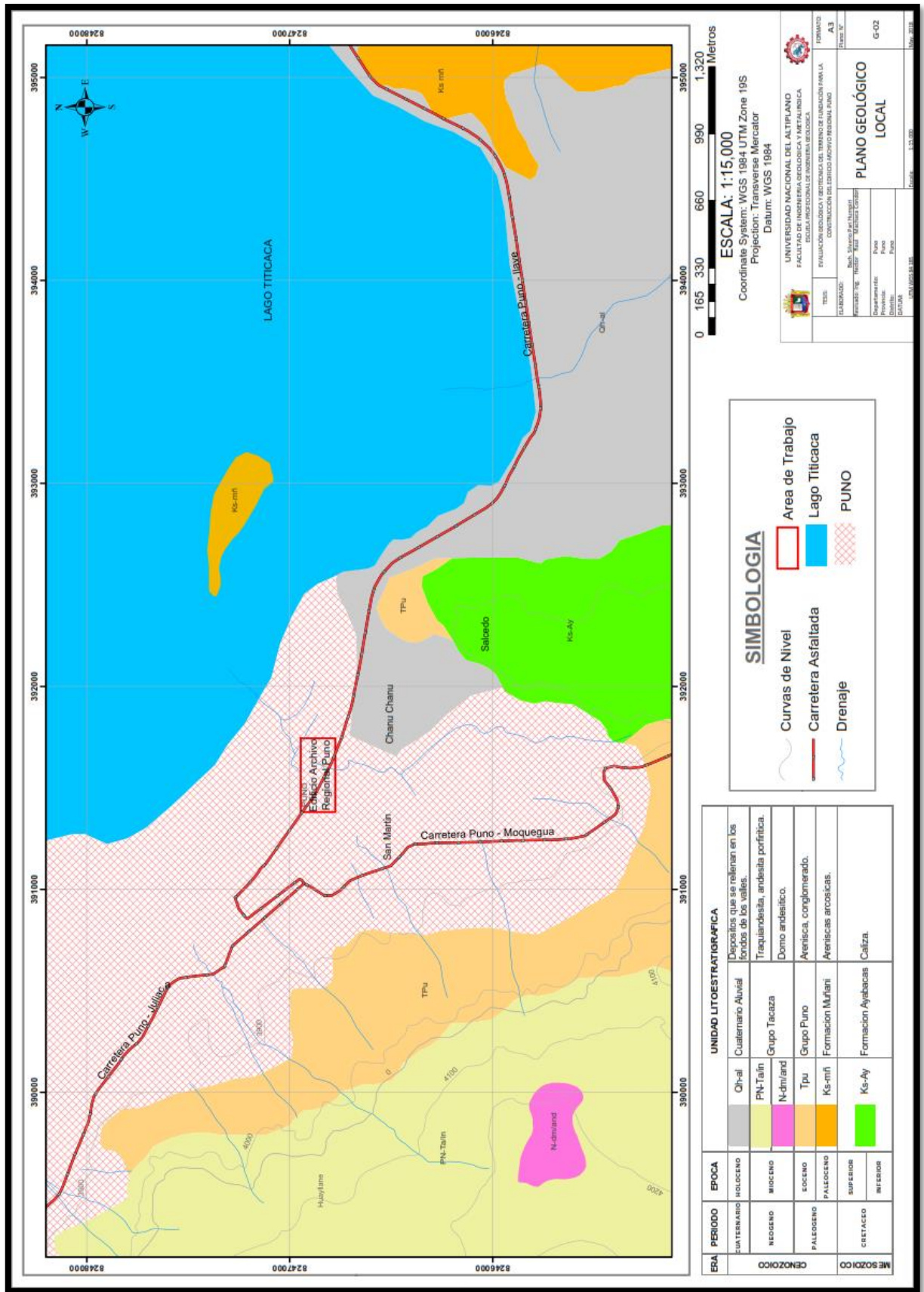


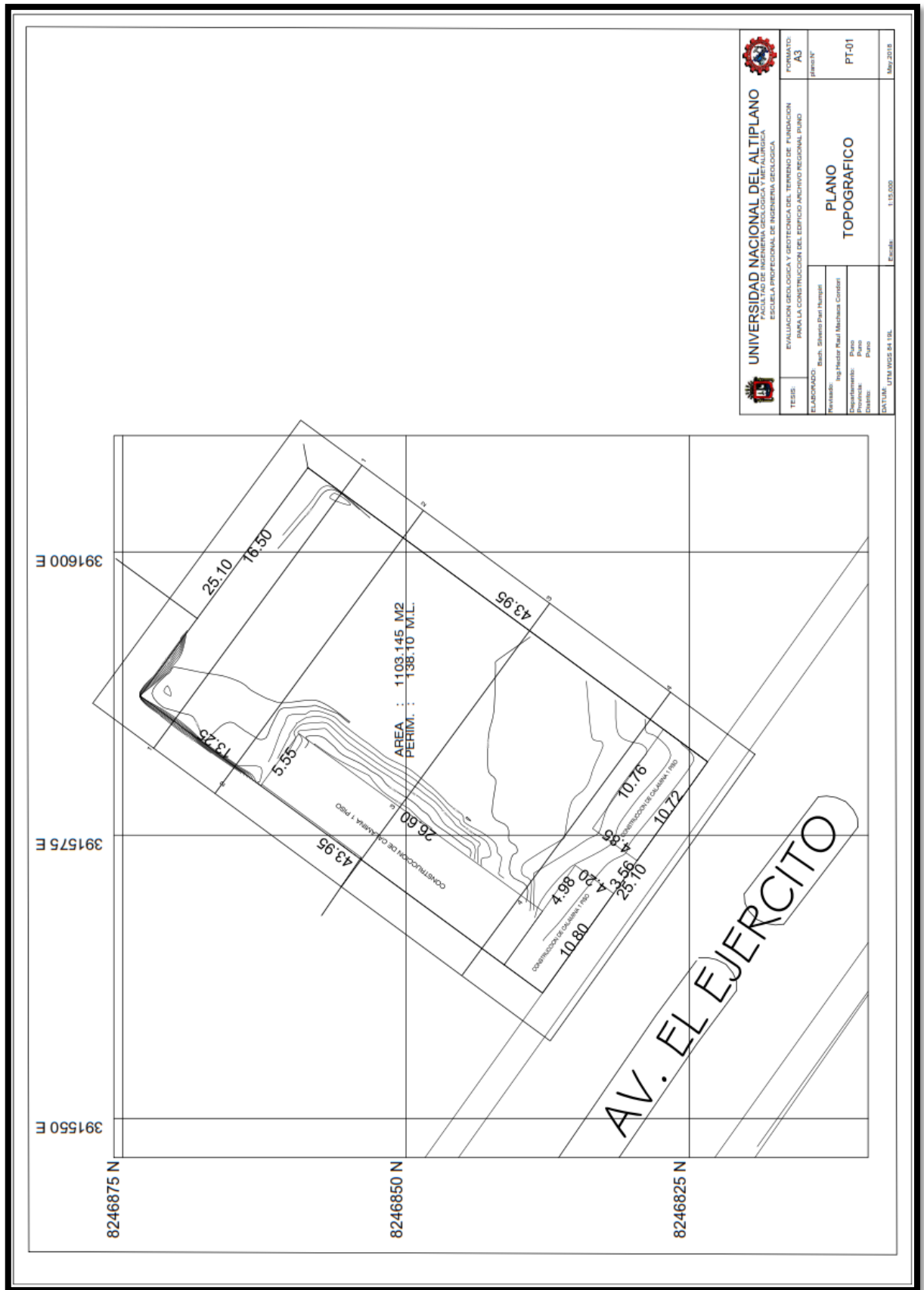


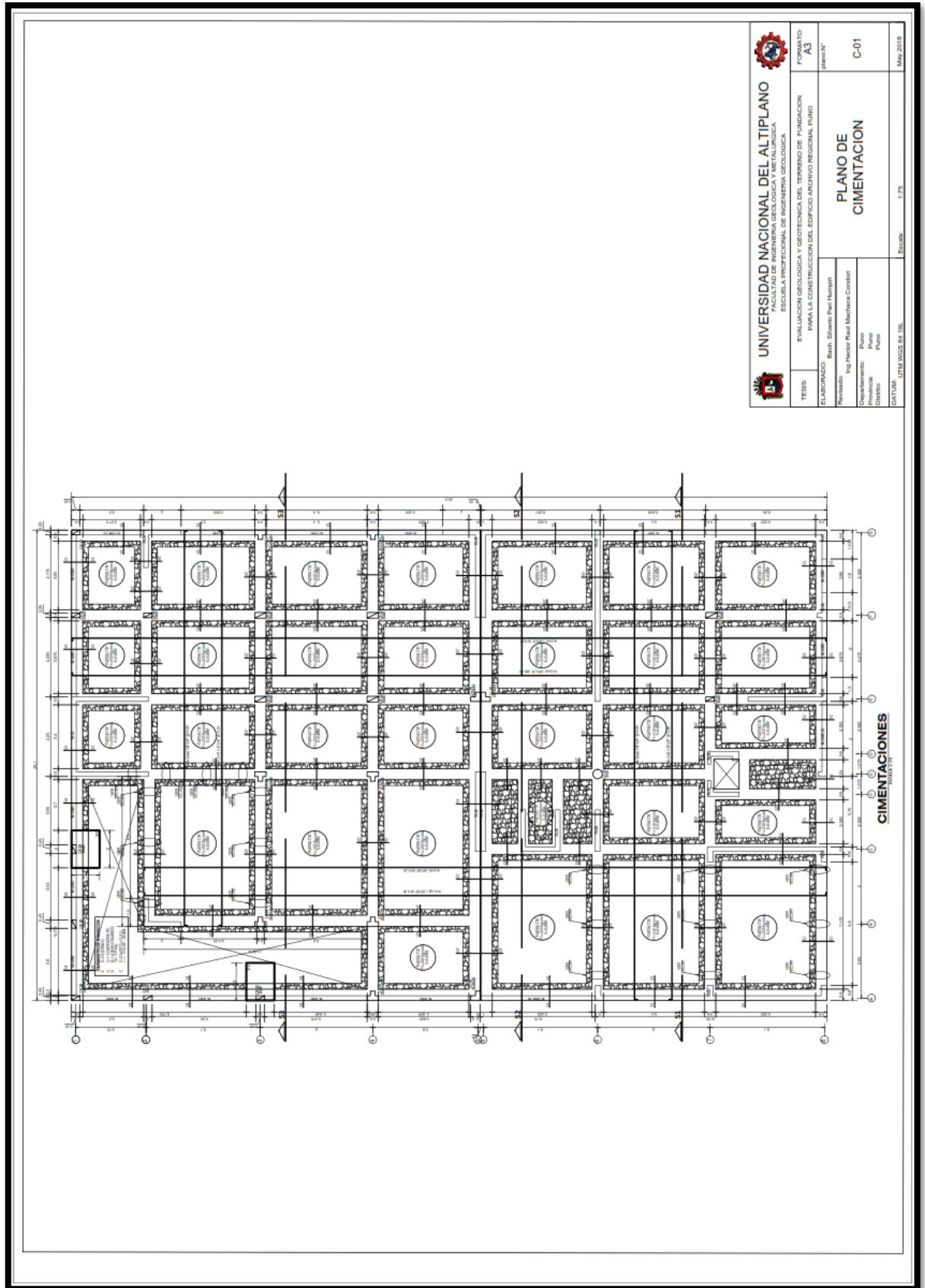




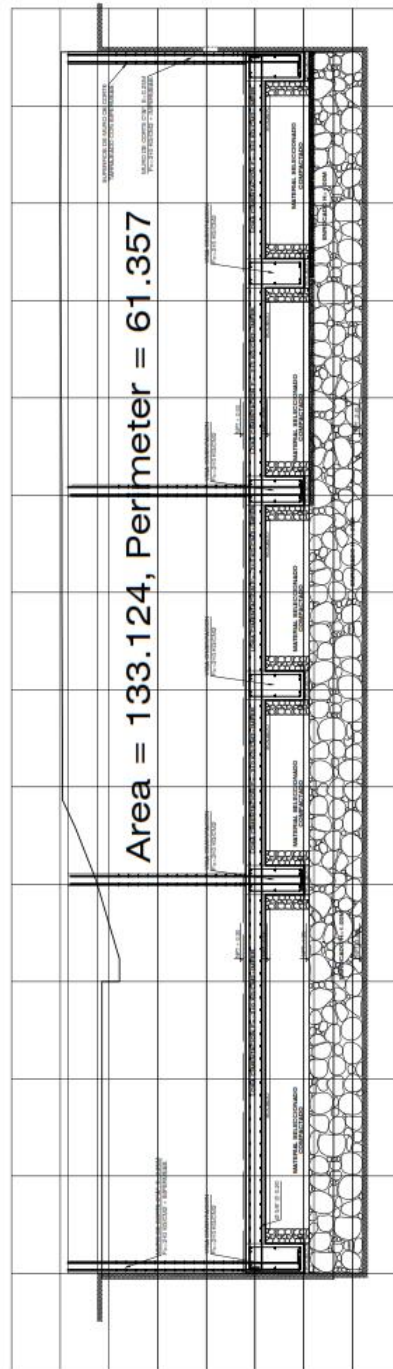








CORTE 1-3



		<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO</b> FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA Y METALURGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA
TESIS ELABORADO NOMBRE DEPARTAMENTO REGION DATUM	EVALUACION GEOLOGICA Y GEOTECNICA DEL TERRENO DE FUNDACION PARA LA CONSTRUCCION DEL EDIFICIO ARCHIVO REGIONAL PUNO Macho Severo Peral Navarro Ing Hector René Machuca Corbelli Puno Puno UTM WGS 84 19L	FORMATO A3 plano N° S-01 Escala: 1:75 Mar 2018
<b>PLANO DE CORTE SECCIONES</b>		