



**Universidad del Azuay**

**Facultad de Ciencia y Tecnología**

**Escuela de Ingeniería Civil y Gerencia de Construcciones**

**ANÁLISIS GEOTÉCNICO DE LAS CAUSAS POR LAS CUALES  
OCURRIÓ EL COLAPSO DE LA LOSA DE PISO DE LA  
CANCHA DEL PABELLÓN DE COMUNIDAD TERAPÉUTICA  
DEL CENTRO DE REHABILITACIÓN SOCIAL (CRS) CUENCA  
Y SOLUCIÓN TÉCNICA DE LA PROBLEMÁTICA**

**Trabajo de Grado para la obtención del título de  
Ingeniero Civil con énfasis en Gerencia de Construcciones**

**Autor:**

**Juan Diego Arízaga Mora**

**Director:**

**Juan Pablo Riquetti Morales**

**Cuenca, Ecuador**

**2014**

### **Dedicatoria**

Dedico este trabajo de grado a Dios, a mis padres y a mis hermanos. A Dios por ser mi sustento diario y por darme la fortaleza para terminar este trabajo, a mis padres, quienes siempre se han preocupado por mi bienestar y educación apoyándome incondicionalmente, a mis hermanos, por siempre estar a mi lado, animándome a seguir adelante. Sin ellos, este proyecto, no hubiese podido ser.

### **Agradecimiento**

Debo agradecer de manera especial al Ing. M. Sc. Juan Pablo Riquetti M. por aceptar dirigir mi trabajo de grado. Su apoyo y capacidad para guiar mis ideas ha sido un aporte de mucho valor en el desarrollo de este trabajo y en mi formación como profesional.

**Índice de Contenidos.**

Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Índice de Contenidos.....	iv
Índice de Tablas.....	vii
Índice de Figuras.....	viii
Índice de Anexos.....	ix
Resumen.....	x
Abstract.....	xi
INTRODUCCION.....	1

**CAPITULO 1. GENERALIDADES Y ENSAYOS DE LABORATORIO**

1.1. Alcance.....	2
1.2. Antecedentes.....	2
1.3. Justificación.....	3
1.4. Objetivos.....	3
1.4.1. Objetivo General.....	3
1.4.2. Objetivos Específicos.....	3
1.5. Ensayos de Laboratorio.....	3
1.5.1. Clasificación S.U.C.S.....	4
1.5.2. Clasificación AASHTO.....	4
1.5.3. Ensayo Proctor estándar y Ensayo de Humedad.....	4

**CAPITULO 2. MARCO TEORICO Y CALCULOS**

2.1. Clasificación S.U.C.S y AASHTO de suelos.....	6
2.1.1. Granulometría.....	6

2.1.2. Límites de Atterberg .....	9
2.2. Sistema de Clasificación S.U.C.S .....	12
2.2.1. Suelos gruesos.....	13
2.2.2. Suelos finos .....	16
2.2.3. Procedimiento.....	17
2.3. Sistema de Clasificación AASHTO .....	17
2.3.1. Tamaño del grano.....	18
2.3.2. Plasticidad .....	18
2.3.3. Suelos granulares .....	21
2.3.4. Suelos finos .....	22
2.3.5. Procedimiento .....	23
2.4. Teoría de compactación .....	24
2.4.1. Ventajas de la Compactación.....	24
2.4.2. Métodos para compactar el suelo.....	25
2.4.3. Factores que afectan la compactación.....	28
2.4.4. Control de Compactación.....	31
2.4.4.1. Método del cono de arena .....	31
2.4.4.2. Método del Densímetro Nuclear .....	32
2.5. Definición y cálculo del ensayo Proctor Estándar .....	33
2.5.1. Procedimiento .....	34
2.5.2. Curva de Saturación $S=100\%$ .....	37
2.6. Definición y Cálculo del ensayo de Humedad.....	38
2.6.1. Procedimiento .....	39

### **CAPITULO 3. INTERPRETACION DE RESULTADOS**

3.1. Clasificación S.U.C.S .....	40
3.2. Clasificación AASHTO .....	41
3.3. Ensayo Proctor Estándar .....	42

Conclusiones .....	47
Recomendaciones .....	48
Bibliografía .....	49
ANEXOS .....	51

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Tamaños de mallas estándar en Estados Unidos.....	7
Tabla 2 Clasificación de materiales para subrasante de carreteras. ....	20
Tabla 3 Datos obtenidos en campo mediante Densímetro nuclear. ....	45

**ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 1 Tipos diferentes de curvas granulométricas. ....	8
Figura 2 Límites de Atterberg. ....	10
Figura 3 Carta de plasticidad. ....	11
Figura 4 Curvas típicas de compactación para cinco suelos diferentes (D-698 de la ASTM). .....	30
Figura 5 Equipo de la prueba Proctor Estándar: (a) molde; (b) pisón.....	34
Figura 6 Curva de compactación Proctor.....	36
Figura 7 Curva de saturación. ....	38
Figura 8 Curva de Compactación.....	43
Figura 9 Curva de Compactación y de Saturación 100%. ....	44
Figura 10 Curva de Compactación, Saturación 100% y Saturación 90%.....	45
Figura 11 Curva de Saturación 100% y Saturación 90%.....	46

**ÍNDICE DE ANEXOS**

Anexo 1 Planta General CRS Cuenca.....	51
Anexo 2 Planta de la losa de cancha del pabellón de Comunidad Terapéutica. ....	52
Anexo 3 Área de losa afectada.....	53
Anexo 4 Clasificación SUCS y AASHTO.....	54
Anexo 5 Ensayo Proctor Estándar. ....	55
Anexo 6 Curva de Compactación. ....	56
Anexo 7 Compactación del material de relleno sobre el cual se asentará la losa de cancha. ....	57
Anexo 8 Preparación para la fundición de la losa de cancha. ....	58
Anexo 9 Fundición de la losa de cancha.....	59
Anexo 10 Fundición de la losa de cancha.....	60
Anexo 11 Jardinera en medio de la losa. ....	61
Anexo 12 Losa Colapsada. ....	62
Anexo 13 Losa Colapsada .....	63
Anexo 14 Losa Colapsada. ....	64
Anexo 15 Extracción del material saturado. ....	65
Anexo 16 Presencia de Agua. ....	66
Anexo 17 Pedraplén.....	67
Anexo 18 Relleno Compactado con material de Mejoramiento. ....	68
Anexo 19 Fundición de Paños afectados y Jardinera.....	69

Arízaga M.  
22/01/14

**RESUMEN.**

**ANÁLISIS GEOTÉCNICO DE LAS CAUSAS POR LAS CUALES OCURRIÓ EL COLAPSO DE LA LOSA DE PISO DE LA CANCHA DEL PABELLÓN DE COMUNIDAD TERAPÉUTICA DEL CENTRO DE REHABILITACIÓN SOCIAL (CRS) CUENCA Y SOLUCIÓN TÉCNICA DE LA PROBLEMÁTICA.**

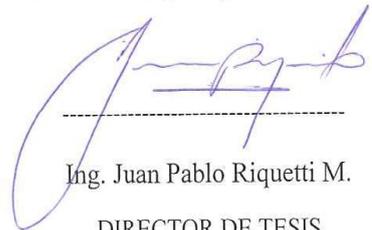
La importancia de este trabajo de grado está enfocada en analizar las causas que generaron el colapso de la losa de piso de la cancha del pabellón de Comunidad Terapéutica. Para realizar el presente trabajo se determinaron las características del material de relleno ocupado en el lugar del colapso, con ello analizar dicho material y realizar un informe en el que se brinde las soluciones correspondientes. Usando datos levantados en el lugar de la obra, se efectuaron cálculos manuales, obteniendo resultados que permitan determinar las causas que generaron dicho colapso. Concluyendo que dicho problema fue ocasionado por el alto contenido de humedad del material de relleno al momento de la compactación, más no por las características del suelo.

**Palabras Clave.**

Compactación, contenido de humedad, Proctor estándar, clasificación SUCS, clasificación AASHTO, Comunidad Terapéutica, material de relleno, pedraplén.



Ing. Paúl Cordero D.  
DIRECTOR DE ESCUELA.



Ing. Juan Pablo Riquetti M.  
DIRECTOR DE TESIS.



Juan Diego Arízaga M.

AUTOR

*Arízaga Mora*  
130214

**ABSTRACT**

**GEOTECHNICAL ANALYSIS OF THE CAUSES THAT PRODUCED THE COLLAPSE OF THE SOCIAL REHABILITATION CENTER SLAB FLOOR IN CUENCA AND TECHNICAL SOLUTION TO THE PROBLEM**

The importance of this graduation work is focused on analyzing the causes that led to the collapse of the slab floor of the Therapeutic Community pavilion. To do this work we determined the characteristics of the filling material used in the collapsed area, and with this information analyzed the material and made a report to provide solutions. Using data raised at the work place, we performed manual calculations, obtaining results for determining the causes that led to this collapse. It is concluded that the problem was caused by the high moisture content of the filler material at the time of compaction, but not by soil characteristics.

**Keywords:** Compaction, Moisture Content, Standard Proctor, USCS Classification, AASHTO classification, Therapeutic Community, Fillers, Causeway.

*Paul Cordero D.*

Ing. Paul Cordero D,  
SCHOOL DIRECTOR

*Juan Pablo Riquetti M.*

Ing. Juan Pablo Riquetti M.  
THESIS DIRECTOR

*Juan Diego Arízaga M.*

Juan Diego Arízaga M.  
AUTHOR



*Lourdes Crespo*

Translated by,  
Lic. Lourdes Crespo

Arízaga Mora Juan Diego

Trabajo de Grado

Ing. Juan Pablo Riquetti Morales

Febrero 2014

**ANÁLISIS GEOTÉCNICO DE LAS CAUSAS POR LAS CUALES OCURRIÓ EL  
COLAPSO DE LA LOSA DE PISO DE LA CANCHA DEL PABELLÓN DE  
COMUNIDAD TERAPÉUTICA DEL CENTRO DE REHABILITACIÓN SOCIAL  
(CRS) CUENCA Y SOLUCIÓN TÉCNICA DE LA PROBLEMÁTICA**

**INTRODUCCION**

Desde el punto de vista de la Ingeniería Civil, el suelo constituye un elemento de gran importancia, ya que sobre él se construyen todo tipo de obras, es por ello que se debe garantizar que el suelo presente características y propiedades adecuadas para el correcto funcionamiento del mismo y así evitar que se produzcan inconvenientes, principalmente asentamientos.

Debido a la ocurrencia de asentamientos en un material de mejoramiento, se produjo el colapso de la losa de piso del pabellón de Comunidad Terapéutica del Centro de Rehabilitación Social (CRS) de Cuenca, es por ello que se ha suscitado la necesidad de determinar cuáles fueron las posibles causas que generaron dicho asentamiento, motivo de este trabajo de grado.

Para poder determinar cuáles fueron las posibles causas que generaron dicho asentamiento, se realizarán algunos ensayos de laboratorio entre ellos: clasificación de suelos, ensayo de humedad y ensayo Proctor estándar.

A partir de la realización de dichos ensayos, se brindará al constructor del mencionado Centro de Rehabilitación, una solución de diseño que garantice el correcto funcionamiento del material de mejoramiento, evitando que se produzcan nuevos asentamientos que conlleven a colapsos no deseados en las estructuras.

## **CAPITULO 1**

### **GENERALIDADES Y ENSAYOS DE LABORATORIO**

#### **1.1. Alcance**

El estudio será enfocado específicamente al material de relleno sobre el cual se encuentran los paños afectados, los mismos que están ubicados en el eje 6: E-K de la losa de piso de la cancha del pabellón de Comunidad Terapéutica. El plano de dicho pabellón se puede ver en los anexos 1, 2 y 3.

Para el análisis de dicho material de relleno se realizarán ensayos de clasificación SUCS, AASHTO y proctor estándar. Con estos datos primarios se procederá al cálculo de densidades y humedad óptima, los mismos que servirán para realizar un informe que contenga las recomendaciones geotécnicas correspondientes para asegurar el correcto funcionamiento del relleno y por ende evitar el colapso de los paños de la losa.

#### **1.2. Antecedentes**

En el mes de abril del 2013 se rellenó y compactó un área de  $412 \text{ m}^2$  correspondientes al sector de la cancha del pabellón de Comunidad Terapéutica del CRS Cuenca, se efectuaron pruebas de compactación mediante densímetro nuclear en seis puntos obteniendo resultados superiores al 100% del proctor estándar de  $1903 \text{ kg/m}^3$ . A la fecha 19 de junio de 2013 se presentó una lluvia de alta intensidad durante un tiempo prolongado la cual ocasionó la filtración de agua por una jardinera que se encuentra en el eje 6:E-K produciendo el colapso en un área de  $66 \text{ m}^2$ .

### **1.3. Justificación**

Debido a que las estructuras de las edificaciones que conforman el Centro de Rehabilitación Social de Cuenca, están destinadas a la reclusión y rehabilitación de personas que han infringido la ley, es necesario garantizar que dichas estructuras cumplan con todas las características para las que fueron diseñadas, para cumplir con dicho propósito es necesario que el material de relleno sobre el cual se asientan las losas de las edificaciones no permitan la filtración de agua o cualquier otro agente externo, evitando que se produzca el colapso de la estructura que confina el pabellón.

### **1.4. Objetivos**

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

Investigar las posibles causas del colapso de la losa de piso de la cancha del pabellón de Comunidad Terapéutica mediante el criterio de compactación.

#### **1.4.2. Objetivos Específicos**

- Analizar el material de relleno sobre el cuál se asienta la losa.
- Realizar un informe en el que se brinde las soluciones correspondientes.

### **1.5. Ensayos de Laboratorio**

En esta parte del trabajo de graduación se realizarán algunos ensayos de laboratorio, tales como: Clasificación de suelos AASHTO, Clasificación de suelos S.U.C.S, Ensayo Proctor estándar y Ensayo de Humedad, los mismos que se abordarán con más detalle en el Capítulo II del presente trabajo.

Estos ensayos son realizados con el objetivo de determinar las características geotécnicas que presenta el material de mejoramiento, sobre el cual se asienta la

losa de piso del pabellón de Comunidad Terapéutica del Centro de Rehabilitación Social de Cuenca.

A continuación se detallan los resultados obtenidos en cada uno de los ensayos realizados:

#### **1.5.1. Clasificación S.U.C.S**

Este ensayo se desarrolló con el objetivo de conocer las diferentes propiedades que presenta el suelo en estudio. A partir de este ensayo se obtuvo que el material se clasifica como GC, lo que se denomina como una Grava arcillosa, esta clasificación se obtuvo a partir de un límite líquido (LL) de 24, un límite plástico (LP) de 16 y el índice plástico (IP) de 8, para mayor información de los datos antes mencionados se puede recurrir al anexo 4.

#### **1.5.2. Clasificación AASHTO**

Este ensayo se basa en determinaciones en laboratorio de suelos, tales como: Granulometría, Límite Líquido, e índice de plasticidad, es un método utilizado principalmente en obras viales. Mediante la presente clasificación se pudo determinar que el tipo de suelo ensayado se lo denomina como A-2-4, lo que nos indica que el suelo contiene 35% o menos de material que pasa el tamiz No. 200, y cuya fracción que pasa por el tamiz tiene la característica de suelo arcilloso. Esta clasificación nos indica que el suelo está compuesto por grava y arena gruesa con contenidos de arcilla. Para mayor información de los datos antes mencionados se puede recurrir al apéndice 1, ubicado en anexos.

#### **1.5.3. Ensayo Proctor estándar y Ensayo de Humedad**

A través del ensayo Proctor estándar se busca obtener una relación entre la humedad y el peso del suelo en análisis, el cual ayudará a obtener más adelante un grado de compactación. Los resultados obtenidos en el presente ensayo forman una curva, donde el punto más alto, nos indica la humedad óptima, que para el suelo en análisis

es de 9,26%, a la cual el suelo alcanza la densidad seca máxima, que en nuestro caso es de  $1903 \text{ kg/m}^3$ .

Por medio de este ensayo se ha podido determinar que la compactación es más efectiva en suelos bien graduados, los mismos que contienen una cantidad importante de finos, antes que en suelos de graduación uniforme, los mismos que carecen de finos. Para mayor información de los datos antes mencionados se puede recurrir al anexo 5.

## **CAPITULO 2**

### **MARCO TEORICO Y CALCULOS**

#### **2.1. Clasificación S.U.C.S y AASHTO de suelos**

Los sistemas de clasificación S.U.C.S y AASHTO nos permiten definir de manera concreta las características generales que presenta un suelo, estos métodos utilizan dos parámetros fundamentales para la clasificación, tales como la granulometría y Límites de Atterberg, los mismos que permiten determinar la distribución de tamaño de las partículas del suelo y los contenidos de humedad.

La clasificación de suelos es de vital importancia para poder realizar el diseño de cimentaciones en un terreno específico y de esta manera conocer las capacidades de carga y posibles asentamientos que se pueden producir afectando la estructura que soporta.

##### **2.1.1. Granulometría**

Mediante la granulometría se obtiene el tamaño de las partículas que componen un suelo, denominándolo como grava, arena, limo o arcilla. La granulometría es de gran importancia para poder realizar la clasificación de suelos, ya que nos permite separar la fracción gruesa de la fina y además nos brinda el comportamiento mecánico que puede presentar, el mismo que tiene una considerable influencia en la adecuada compactación de los suelos.

Es de gran importancia que en un suelo este constituido de una variedad de tamaños que permita que los espacios formados entre las partículas mayores, sean ocupados

por las partículas más pequeñas, de esta manera se garantiza que la cantidad de vacíos sea la menor posible, asegurando la estabilidad del suelo.

En el presente trabajo se utilizará el método de los Tamices para determinar el tamaño de dichas partículas, el mismo que consiste en pasar el material a través de una sucesión de mallas con aberturas progresivamente más pequeñas, obteniendo el peso del material retenido en cada una de las mismas, este peso se representa en porcentaje, con relación al peso total de la muestra.

El proceso de cribado se aplica únicamente a las partículas gruesas del suelo, es decir a las mayores a 0,075mm, que corresponde al tamiz número 200<sup>1</sup>, Los números de las mallas estándar con sus tamaños de aberturas en milímetros se citan en la siguiente tabla.

Malla No.	Abertura (mm)
4	4,750
6	3,350
8	2,360
10	2,000
16	1,180
20	0,850
30	0,600
40	0,425
50	0,300
60	0,250
80	0,180
100	0,150
140	0,106
170	0,080
200	0,075
270	0,530

Tabla 1. Tamaños de mallas estándar en Estados Unidos.

**Fuente:** Libro "Fundamentos de Ingeniería Geotécnica."

Los resultados del análisis mediante el método de los Tamices, generalmente se presentan en gráficas semilogarítmicas como curvas de distribución granulométrica. Los diámetros de las partículas se grafican en escala logarítmica,

---

<sup>1</sup> Das, 2001

mientras que el porcentaje de material pasante de los diferentes tamices en escala aritmética.

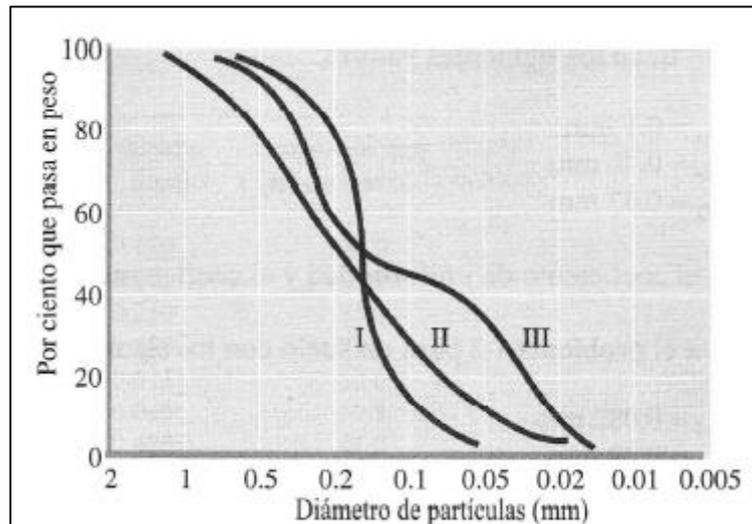


Figura 1 Tipos diferentes de curvas granulométricas  
Fuente: Libro "Fundamentos de Ingeniería Geotécnica."

En las curvas granulométricas, además de observar los diferentes tamaños de las partículas que conforman el suelo, podemos ver cómo están distribuidos los mismos. En la figura 1 podemos ver que la curva I representa un tipo de suelo que en su mayoría está constituido por partículas del mismo tamaño, y se lo denomina como suelo mal graduado; la curva II representa un suelo que cuenta con un amplio rango de tamaños de partículas y se lo denomina como bien graduado; finalmente la curva III representa un suelo que está conformado por una o más fracciones uniformemente graduadas.

A partir de las curvas granulométricas se pueden determinar dos parámetros básicos que nos ayudan en la clasificación de los suelos granulares, estos factores son: coeficiente de uniformidad y coeficiente de curvatura, las mismas que obedecen a las siguientes expresiones matemáticas:

**Coeficiente de uniformidad:**

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

Dónde:

$C_u$ =Coeficiente de uniformidad.

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

**Coeficiente de curvatura:**

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

Dónde:

$C_z$ =Coeficiente de curvatura.

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

Cabe recalcar que  $D_{10}$  es el diámetro efectivo que corresponde al 10% de la distribución del tamaño de las partículas.

### 2.1.2. Límites de Atterberg

“A principios de 1900, un científico sueco, Albert Atterberg, desarrolló un método para describir la consistencia de los suelos de grano fino con contenidos de agua variables. A muy bajo contenido de agua, el suelo se comporta más como un sólido frágil. Cuando el contenido de agua es muy alto, el suelo y el agua fluyen como un líquido.” (Das, 2001, p.27)

Los Límites de Atterberg denominan la consistencia que tiene el suelo, es decir, mediante la cantidad de agua, en porcentaje, que contiene un suelo se lo puede clasificar en estado sólido, semisólido, plástico y líquido, cada uno de los presentes estado, se los detalla a continuación:

**Límite Líquido:** Es la humedad escogida arbitrariamente en el cual el suelo pasa de comportarse como un líquido a comportarse como un material plástico, se lo denomina por las siglas LL. Tiene las propiedades y apariencia de una suspensión. Para la determinación del límite líquido se hace mediante la cuchara de Casagrande, esta prueba consiste en depositar el material y ranurarlo, luego se golpea la capsula, dejándola caer desde una altura de 1cm, hasta que la ranura en el suelo se cierre en

una longitud de 1,27cm, una vez que el material se haya cerrado se determina el contenido de humedad de la muestra. Esta prueba se realiza tres veces, con distintas humedades, de tal manera que obtengamos valores entre 6 y 35 golpes<sup>2</sup>.

**Límite Plástico:** Es el contenido de agua en porcentaje en el cual el suelo deja de comportarse como un material plástico y se vuelve un semisólido, se lo denomina por las siglas LP. El suelo se comporta plásticamente. Para la determinación del límite plástico se realiza formando rollos de aproximadamente 3mm de espesor, hechos de una pasta de suelo, este proceso se lo realiza una y otra vez hasta que el rollo comience a agrietarse a los 3mm de espesor. Esta prueba se realiza tres veces, de tal manera que el valor del límite plástico sea el promedio de estas tres pruebas.<sup>3</sup>

**Límite de Contracción:** Es la humedad a la cual el cambio de volumen del material se detiene a pesar que la humedad continúe disminuyendo, es decir el suelo se comporta como un sólido con humedades menores al límite de contracción. Una vez obtenidos los límites de Atterberg, es posible calcular los índices de plasticidad, liquidez y actividad mediante las expresiones matemáticas que se detallan más adelante.

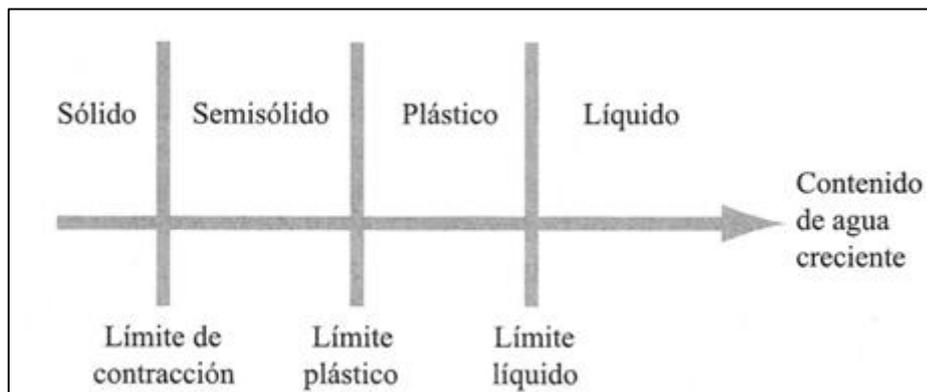


Figura 2 Límites de Atterberg

Fuente: Libro "Fundamentos de Ingeniería Geotécnica.", Braja M Das

**Índice de Plasticidad:**  $IP = LL - LP$

El Índice de Plasticidad permite clasificar a un suelo como limo o arcilla.

<sup>2</sup> Das, 2001

<sup>3</sup> Das, 2001

**Índice de Liquidez:**  $IL = \frac{\omega_o - LP}{IP}$  Donde  $\omega_o$  es la humedad natural de suelo.

El Índice de Liquidez, cuando es cercano a cero nos indica que el suelo se comporta como un sólido y se considera al suelo que se encuentra preconsolidado, cuando se encuentra entre cero y uno se comporta de manera plástica, mientras más cercano es este límite a uno, el suelo se comporta como un líquido y se lo considera como normalmente consolidado.

**Índice de Actividad:**  $A = \frac{IP}{\% \text{ de finos}}$  Donde  $\% \text{ de finos}$  es el porcentaje de partículas  $< 0,02\text{mm}$

El índice de actividad es un indicador de la mineralogía del suelo.

**Carta de plasticidad:** Casagrande en 1932 estudió la relación del índice de plasticidad respecto al límite líquido de una amplia variedad de suelos naturales, a partir de estos resultados planteó una carta de plasticidad, la misma que se muestra en la siguiente figura:

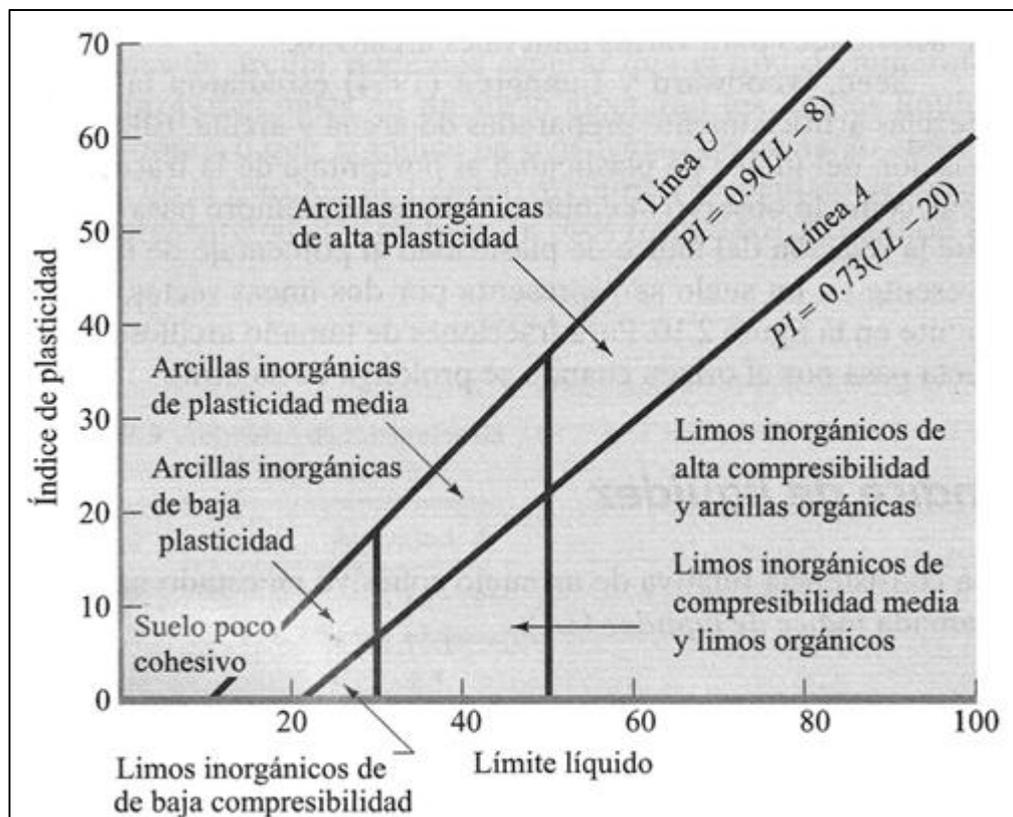


Figura 3 Carta de plasticidad

Fuente: Libro "Fundamentos de Ingeniería Geotécnica.", Braja M Das

La línea A, la misma que obedece a la expresión matemática:  $PI = 0,73(LL - 20)$ , separa las arcillas inorgánicas de los limos inorgánicos, las arcillas inorgánicas, se encuentran en la parte superior de la línea A y los limos inorgánicos se ubican debajo de la línea A. Los limos orgánicos también se ubican debajo de la línea A, con el LL variando entre 30 y 50. Las arcillas orgánicas se grafican en la misma región que los limos inorgánicos de alta compresibilidad (debajo de la línea A y LL mayor que 50).

En la figura anterior también se puede apreciar que existe una línea U, la misma que obedece a la ecuación  $PI = 0,9(LL - 8)$  y representa el límite superior de la relación del índice de plasticidad respecto al límite líquido para cualquier suelo encontrado hasta ahora. “La información proporcionada en la carta de plasticidad es de gran valor y es la base para la clasificación de los suelos de grano fino en el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos” (Das, 2001, p.34).

## 2.2. Sistema de Clasificación S.U.C.S

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S) fue planteado por Arthur Casagrande en 1942 para clasificar suelos usados principalmente en aeropuertos durante la Segunda Guerra Mundial, años más tarde fue ligeramente modificado y adoptado por el ASTM (American Society For Testing and Materials) como método normalizado de clasificación.

Según Das (2001), para clasificar apropiadamente un suelo utilizando este sistema, deben conocerse el porcentaje de grava, el porcentaje de arena, el porcentaje de limo y arcilla, los coeficientes de uniformidad y curvatura y el límite líquido e índice de plasticidad. Los primeros cinco datos se obtienen a partir de un análisis granulométrico. El método S.U.C.S tiene su propia nomenclatura, para suelos granulares, las siglas son G (grava), S (arena), W (bien graduado) y P (mal graduado).

Para suelos finos la nomenclatura es M (limo), C (arcilla), H (alta compresibilidad) y L (baja compresibilidad) y para los suelos orgánicos la sigla es Pt (turba). “El sistema cubre los suelos gruesos y los finos, distinguiendo ambos por el cribado a

través de la malla No. 200; las partículas gruesas son mayores que dicha malla y las finas, menores. Un suelo se considera grueso si más del 50% de sus partículas son gruesas, y fino, si más de la mitad de sus partículas, en peso son finas”. (Juárez y Rico, 2005, p.152-153).

### 2.2.1. Suelos gruesos

Este grupo de suelos está constituido por las gravas y las arenas, las mismas que se separan con la malla No. 4, un suelo pertenece al grupo genérico G, si más del 50% de su fracción gruesa (retenida en la malla 200) no pasa la malla No. 4, caso contrario pertenece al grupo genérico S.

Las gravas y las arenas se subdividen en cuatro tipos:

1. “Material prácticamente limpio de finos, bien graduado. Símbolo W (well graded). En combinación con los símbolos genéricos, se obtienen los grupos GW y SW.” (Juárez y Rico, 2005, p.153).
2. “Material prácticamente limpio de finos, mal graduado. Símbolo P (poorly graded). En combinación con los símbolos genéricos, da lugar a los grupos GP y SP.” (Juárez y Rico, 2005, p.153).
3. “Material con cantidad apreciable de finos no plásticos. Símbolo M (del sueco mo y mjala). En combinación con los símbolos genéricos, da lugar a los grupos GM y SM.” (Juárez y Rico, 2005, p.153).
4. “Material con cantidad apreciable de finos plásticos. Símbolo C (clay). En combinación con los símbolos genéricos, da lugar a los grupos GC y SC
5. A continuación se describen los grupos anteriores a fin de proporcionar criterios más detallados de identificación, tanto en el campo como en el laboratorio.” (Juárez y Rico, 2005, p.153).

**Grupos GW y SW:**

Estos suelos son bien graduados y con poco contenido de finos o limpios por completo. Juárez y Rico (2005, p.153) sostuvieron que “La presencia de los finos que puedan contener estos grupos no debe producir cambios apreciables en las características de resistencia de la fracción gruesa, ni interferir con su capacidad de drenaje.” Para garantizar los anteriores requisitos, el contenido de partículas finas no debe ser mayor a 5% en peso.

Para considerar una grava bien graduada se debe cumplir lo siguiente:

- Coeficiente de uniformidad sea mayor que 4.

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$$

- Coeficiente de curvatura debe estar comprendido entre 1 y 3.

$$C_z = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \times D_{60}} \text{ entre } 1 \text{ y } 3$$

Para el caso de las arenas bien graduadas:

- Coeficiente de uniformidad sea mayor que 6.

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$$

- Coeficiente de curvatura debe estar entre los mismos límites que los de la grava, es decir entre 1 y 3.<sup>4</sup>

---

<sup>4</sup> Castañón Garay Paola Angélica. (2011).

### **Grupos GP y SP**

Estos suelos son mal graduados; es decir, presentan predominio de un solo tamaño o de un margen de tamaños, faltando algunos intermedios, contienen pocos finos o sin finos; en laboratorio cumplen con los mismos requisitos de los grupos GW y SW, pero no cumplen con las especificaciones de granulometría para GW y SW.<sup>5</sup>

“Dentro de esos grupos están comprendidas las gravas uniformes, tales como las que se depositan en los lechos de los ríos, las arenas uniformes, de médanos y playas y las mezclas de gravas y arenas finas, provenientes de estratos diferentes obtenidas durante un proceso de excavación.” (Juárez y Rico, 2005, p.154).

### **Grupos GM y SM**

En estos grupos el contenido de finos afecta las características de resistencia y esfuerzo – deformación, se producen cuando contienen porcentajes de finos superiores a 12% en peso, la plasticidad varía entre nula y media; es decir, los límites de plasticidad se deben localizar en la fracción que pasa el tamiz No. 40, debajo de la línea A, o bien que su índice de plasticidad sea menor a 4.

### **Grupos GC y SC**

El contenido de finos de estos grupos de suelos, debe ser mayor que 12% en peso, sin embargo, en estos casos, los finos son de media a alta plasticidad y los límites de plasticidad se sitúan en la fracción que pasan el tamiz No. 40, sobre la línea A, con la condición que el índice plástico sea mayor que 7.<sup>7</sup> “A los suelos gruesos con contenido de finos comprendido entre 5% y 12%, en peso, el Sistema Unificado los considera casos de frontera, adjudicándoles un símbolo doble.

Cuando un material no cae claramente dentro de un grupo, se debe utilizar símbolos dobles, por ejemplo GW-SW se usará para un material bien graduado, con menos

---

<sup>5</sup> Geotecnia I.

de 5% de finos y formada por iguales proporciones de grava y arena.” (Juárez y Rico, 2005, p.154).

### 2.2.2. Suelos finos

Para este tipo de suelos, el sistema S.U.C.S también los agrupa, utilizando un símbolo de dos letras mayúsculas para cada grupo, las mismas que son elegidas de manera similar al utilizado para los suelos gruesos, dando lugar a tres divisiones:

- Limos inorgánicos, se los denomina por el símbolo M.
- Arcillas inorgánicas, de símbolo C.
- Limos y arcillas orgánicas, de símbolo O.

Cada uno de estos tipos de suelos se subdividen en dos grupos, dependiendo de su límite líquido, si éste es menor de 50% (compresibilidad media o baja), se añade al símbolo genérico la letra L (low compressibility), obteniéndose por esta combinación los grupos ML, CL y OL.

Los suelos finos, cuyo límite líquido supera el 50% (alta compresibilidad) llevan tras el símbolo genérico la letra H (high compressibility), obteniéndose así los grupos MH, CH y OH. “Los suelos altamente orgánicos, usualmente fibrosos, tales como turbas y suelos pantanosos, extremadamente compresibles, forman un grupo independiente de símbolo Pt (del inglés peat; turba)” (Juárez y Rico, 2005, p.155).

A continuación se describen en forma más detallada los distintos grupos de suelos finos ya mencionados.

#### **Grupos CL y CH:**

Estos grupos pertenecen a las arcillas inorgánicas, el grupo CL comprende a la zona sobre la Línea A, delimitada por:

$$LL < 50\% \text{ e } Ip > 7\%$$

El grupo CH comprende la zona sobre la Línea A, delimitada por:

$$LL > 50\%$$

### **Grupos ML y MH**

“El grupo ML, comprende la zona bajo la Línea A, definida por  $LL < 50\%$  y la porción sobre la Línea A con  $IP < 4$ , el grupo MH corresponde a la zona bajo la Línea A, definida por  $LL > 50\%$ .” (Juárez y Rico, 2005, p.157).

### **Grupos Pt**

“El límite líquido de estos suelos suele estar entre 300% y 500%, quedando su posición en la Carta de Plasticidad netamente debajo de la Línea A; el índice plástico normalmente varía entre 100% y 200%” (Juárez y Rico, 2005, p.157).

#### **2.2.3. Procedimiento**

- Selección del material “Mejoramiento”.
- Separar la muestra y realizar la granulometría por la serie gruesa de los tamices.
- Por cuarteo seleccionar de 200 a 600 gr. de material del fondo de la serie gruesa.
- Realizar la granulometría por la serie fina de los tamices.
- Revisar los márgenes de error, obtener la curva granulométrica.

#### **2.3. Sistema de Clasificación AASHTO**

El Sistema de Clasificación AASHTO fue creado en EEUU Por Terzaghi, basándose en la clasificación realizada previamente por Casagrande.

Este método de clasificación considera siete grupos mayores de suelos numerados desde el grupo A-1 hasta el A-7. Los suelos clasificados en los grupos A-1, A-2 y A-3 son materiales granulares, donde 35% o menos de las partículas pasan por el tamiz No. 200. Los suelos que contienen más del 35% de partículas que pasan por el tamiz No. 200 son clasificados en los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7 formados mayoritariamente por limo y arcilla. Los materiales clasificados en el grupo A-1

son considerados como excelentes para ser usados en la subestructura de las vías, mientras que los clasificados en A-7 son los peores materiales.

El sistema de clasificación se basa en los siguientes criterios:

### **2.3.1. Tamaño del grano**

**Grava:** Fracción que pasa el tamiz de 75mm y es retenida en el tamiz #10.

**Arena:** Fracción que pasa el tamiz #10 y es retenida en el tamiz 200.

**Limo y Arcilla:** Fracción que pasa el tamiz 200.

### **2.3.2. Plasticidad**

En la mecánica de suelos la “plasticidad se puede definir como la propiedad de un material por la cual es capaz de soportar deformaciones rápidas, sin rebote elástico, sin variación volumétrica apreciable y sin desmoronarse o agrietarse.” (Juárez y Rico, 2005, p.127)

Atterberg determinó que la plasticidad de las arcillas es una propiedad circunstancial, que depende directamente de la cantidad de agua presente en el suelo. Es decir un mismo suelo puede pasar de un estado sólido con plasticidad nula, hasta un estado líquido donde el suelo se encuentre en forma de suspensión. El comportamiento plástico del suelo se da entre estos dos extremos. (Juárez y Rico, 2005).

Se consideran suelos limosos, si las fracciones de finos tienen un índice de plasticidad de 10 o menor y se consideran suelos arcillosos si las fracciones de finos tienen un índice de plasticidad de 11 o mayor. Si cantos rodados (mayores de 75mm) están presentes, se excluyen de la porción de muestra de suelo que se esté clasificando. Los ensayos necesarios para clasificar un suelo dentro de un grupo, es el análisis granulométrico y los límites de Atterberg.

Si queremos determinar la posición relativa dentro del grupo es necesario obtener el índice de grupo (IG), que es un número entero comprendido entre 0 y 20 en función del porcentaje de suelo que pasa por el tamiz 200, este número se escribe en paréntesis después de la designación de grupo o subgrupo, y viene dado por la siguiente expresión matemática:

$$GI = (F - 35)[0,2 + 0,005(LL - 40)] + 0,01(F - 15)(IP - 10)$$

**Dónde:**

F: Porcentaje que pasa el tamiz # 200.

LL: Límite Líquido.

IP: Índice de Plasticidad.

El método AASHTO utiliza la siguiente tabla para la clasificación de suelos:

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos de la muestra que pasa la malla No. 200)						
	A-1			A-2			
Clasificación de grupo	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Análisis por cribado (porcentaje que pasa las mallas)							
No. 10	50 máx.						
No. 40	30 máx.	50 máx.	51 mín.				
No. 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.
Características de la fracción que pasa la malla No. 40							
Límite líquido				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	6 máx.		NP	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Tipos usuales de materiales componentes significativos							
	Fragmentos de piedra grava y arena		Arena fina	Grava y arena limosa o arcillosa			
Tasa general de los subrasantes				De excelente a bueno			
Clasificación general	Materiales limo-arcilla (más del 35% de la muestra que pasa la malla No. 200)						
	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5* A-7-6†			
Análisis por cribado (porcentaje que pasa por las mallas)							
No. 10							
No. 40							
No. 200	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.			
Características de la fracción que pasa por la malla No. 40							
Límite líquido	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.			
Índice de plasticidad	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.			
Tipos usuales de materiales componentes significativos							
	Suelos limosos		Suelos arcillosos				
Tasa general de los sobrantes			De mediano a pobre				
*Para A-7-5, $PI \leq LL - 30$							
†Para A-7-6, $PI > LL - 30$							

Tabla 2 Clasificación de materiales para subrasante de carreteras

Fuente: Libro "Fundamentos de Ingeniería Geotécnica.", Braja M Das

A continuación se describen en forma más detallada los distintos grupos de suelos ya mencionados.

### **2.3.3. Suelos granulares**

#### **Grupo A-1**

Este grupo está conformado de mezclas bien graduadas, compuestas de fragmentos de piedra, grava y arena. Incluye también este grupo mezclas bien graduadas que no tienen material ligante. Para que el suelo entre en este grupo es necesario que menos del 20% pase el tamiz número 200 y menos del 50% pasa el tamiz número 40 y el  $IP < 6\%$ .

#### **Subgrupo A-1a**

“Comprende aquellos materiales formados predominantemente por piedra o grava, con o sin material ligante bien graduado.” (Montejo, 2002, p.44).

#### **Subgrupo A-1b**

“Incluye aquellos materiales formados predominantemente por arena gruesa bien gradada, con o sin ligante.” (Montejo, 2002, p.44).

#### **Grupo A-2**

“Comprende una gran variedad de material granular que contiene menos del 35% del material fino.” (Montejo, 2002, p.44).

#### **Subgrupos A-2-4 y A-2-5**

“Pertencen a estos Subgrupos aquellos materiales cuyo contenido de material fino es igual o menor del 35% y cuya fracción que pasa el tamiz No.40 tiene las mismas características de los suelos A-4 y A-5, respectivamente.

Estos subgrupos, están conformados por suelos gravosos y arenosos (arena gruesa) que tengan un contenido de limo, o índices de grupo, en exceso a los indicados por

el grupo A-1. Así mismo, incluyen aquellas arenas finas con un contenido de limo no plástico en exceso al indicado para el grupo A-3.” (Montejo, 2002, p.44).

### **Subgrupos A-2-6 y A-2-7**

“Los materiales de estos subgrupos son semejantes a los anteriores, pero la fracción que pasa el tamiz No. 40 tiene las mismas características de los suelos A-6 y A-7, respectivamente.” (Montejo, 2002, p.44).

### **Grupo A-3**

“Este grupo está conformado por arenas finas, de playa y aquellas con poca cantidad de limo que no tengan plasticidad. Este grupo incluye, además, las arenas de río que contengan poca grava y arena gruesa.” (Montejo, 2002, p.45).

## **2.3.4. Suelos finos**

### **Grupo A-4**

“Pertenece a este grupo los suelos limosos poco o nada plásticos, que tienen un 75% o más del material fino que pasa el tamiz No. 200. Además, se incluyen en este grupo las mezclas de limo con grava y arena hasta un 64%.” (Montejo, 2002, p.45).

### **Grupo A-5**

“Los suelos comprendidos en este grupo son semejantes a los del anterior, son elásticos y tienen un límite líquido elevado.” (Montejo, 2002, p.45).

### **Grupo A-6**

“El material predominante de este grupo es la arcilla plástica. Por lo menos el 75% de estos suelos debe pasar el tamiz No. 200, pero se incluyen también las mezclas

arcillo-arenosas cuyo porcentaje de arena y grava es inferior al 64%, estos materiales tienen la propiedad de presentar grandes cambios de volumen entre los estados seco y húmedo.” (Montejo, 2002, p.45).

### **Grupo A-7**

“Los suelos que conforman este grupo son semejantes a los suelos A-6 pero son elásticos y sus límites líquidos son elevados.” (Montejo, 2002, p.45).

### **Grupo A-7-5**

“Este grupo está conformado por suelos cuyos índices de plasticidad no son muy elevados con respecto a sus límites líquidos.” (Montejo, 2002, p.45).

### **Subgrupo A-7-6**

“Conformado por los grupos cuyos suelos tienen un índice de plasticidad muy elevado con respecto a sus límites líquidos, además experimentan cambios de volumen extremadamente grandes.” (Montejo, 2002, p.45).

## **2.3.5. Procedimiento**

- Selección del material “Mejoramiento”.
- Separar la muestra y realizar la granulometría por la serie gruesa de los tamices.
- Por cuarteo seleccionar de 200 a 600 gr. de material del fondo de la serie gruesa.
- Realizar la granulometría por la serie fina de los tamices.
- Revisar los márgenes de error, obtener la curva granulométrica.

## 2.4. Teoría de compactación

En todas las obras civiles, el suelo sobre el cual se encuentran asentadas las mismas debe ser compactado para incrementar su peso específico. La compactación es el proceso mecánico mediante el cual se disminuye el volumen de vacíos que contiene el material a través de la aplicación de energía mecánica.

“La compactación es la densificación del suelo por remoción de aire, lo que requiere de energía mecánica. El grado de compactación de un suelo se mide en términos de su peso específico seco, que relaciona el peso de las partículas secas del suelo con el volumen que estas ocupan y este puede ser expresado en unidades del SI como  $\text{kN/m}^3$ , ya que se quiere definir la capacidad de resistencia propiamente del suelo” (Das, 2001, p.51)

A partir de este proceso se logra mejorar las propiedades mecánicas del suelo y así ganar en resistencia, libres de asentamientos excesivos y resistentes al agua, la compactación se utiliza en la construcción de carreteras, rellenos sanitarios, diques y también se utiliza en cimentaciones. El contenido de agua bajo el cual se alcanza el máximo peso específico seco se llama contenido de humedad óptimo.

La prueba de laboratorio que se usa generalmente para obtener el peso específico seco máximo de compactación y el contenido de agua óptimo es la prueba Proctor estándar, cuyo procedimiento se detalla más adelante.

### 2.4.1. Ventajas de la Compactación

Las principales ventajas que brinda la compactación son las siguientes:

- **Aumento de la capacidad de carga y resistencia a cortante del suelo:** el volumen de vacíos produce debilidad, al aplicar una determinada energía de compactación conseguimos que las partículas se encuentren más unidas, permitiendo al suelo soportar cargas mayores.

- **Reducción de asentamientos:** Si una estructura determinada, se construye en un suelo sin compactar, el suelo se hunde dando lugar a que la estructura se deforme, produciendo agrietamientos.
- **Reducción de la permeabilidad del suelo:** Un suelo compactado reduce la penetración de agua, el agua fluye y el drenaje puede entonces regularse.
- **Reduce el esponjamiento y la contracción del suelo:** Si hay vacíos, el agua puede penetrar en el suelo y llenar estos vacíos, produciendo esponjamiento durante las lluvias y contracción del suelo durante la estación seca.
- **Impide los daños de las heladas:** El agua cuando se congela, aumenta su volumen, esta acción a menudo causa que se produzcan agrietamientos, la compactación reduce estas cavidades de agua en el suelo.

#### 2.4.2. Métodos para compactar el suelo

Se emplean básicamente cuatro métodos de compactación:

- **Compactación Estática o por Presión:**

La compactación se logra utilizando una maquina pesada, tal como un rodillo liso, la misma que comprime las partículas de suelo sin necesidad de movimiento vibratorio. Estos rodillos pueden ser empleados en todo tipo de suelo, excepto cuando hay grandes fragmentos de rocas. Son muy eficientes en la compactación de gravas y de arenas saturadas con espesores no mayores de 20 cm. Se emplean frecuentemente para dar un acabado liso a las bases y asfaltos.

Este método de compactación, presenta algunas ventajas, tales como compactar mayores espesores que el rodillo pata de cabra, produce una superficie relativamente lisa resistente a la lluvia.



Imagen tomada de [www.bomag.com](http://www.bomag.com)

- **Compactación por impacto:** La compactación se produce mediante la placa de un apisonador, la misma que salta sobre el suelo a una velocidad alta. Existen vibradores de diferentes tipos y formas que se han empleado para compactar suelos no cohesivos. Van desde pisonos vibratorios normales hasta plataformas que compactan extensiones mayores de suelo.

Los equipos pequeños son muy utilizados en áreas reducidas como relleno de zanjas para alcantarillas y tuberías; zonas traseras de los muros de contención y zonas adyacentes a muros de fundaciones de edificios. Su profundidad efectiva oscila entre 7 y 20 cm.



Imagen tomada de [www.bomag.com](http://www.bomag.com)

- **Compactación por vibración:** La compactación se logra aplicando al suelo vibraciones de alta frecuencia mediante rodillos vibratorios, los mismos que se desarrollaron para producir peso por el rodillo y también vibración por medio de una unidad que es movida por un motor y que se monta sobre el cilindro comunicándole la vibración. Este método tiene la ventaja de obtener mayores densidades en suelos granulares que con el compactador de neumáticos.



Imagen tomada de [www.bomag.com](http://www.bomag.com)

- **Compactación por amasado:** La compactación se realiza mediante un rodillo “Pata de Cabra”, el mismo que aplica al suelo altas presiones distribuidas en áreas más pequeñas que los rodillos lisos. Compactan el suelo de abajo hacia arriba ejerciendo un efecto de amasado por medio de una protuberancias de unos 15cm de longitud que salen del tambor metálico y espaciadas entre sí de 15 a 25 cm e cualquier dirección. Las protuberancias pueden ser de sección variable o de sección uniforme y de variada forma terminal.

Este tipo de compactación tiene la ventaja de mezcla el suelo con el agua de mejor manera que otros compactadores, además de producir una muy buena unión entre capas. La principal desventaja que presenta es que deja la superficie muy rugosa y desigual, susceptible a que el agua lluvia se empoce.



Imagen tomada de [www.bomag.com](http://www.bomag.com)

#### 2.4.3. Factores que afectan la compactación

Existen algunos factores importantes que afectan la compactación de los suelos, tales como el contenido de agua, tipo de suelo y la energía de compactación, los mismos que detallamos a continuación:

##### **Contenido de Agua**

Al compactar un suelo con la misma energía de compactación y diferentes contenidos de agua, la densidad seca que se obtenía aumentaba a medida que se

incrementaba la cantidad de agua, hasta cierto punto en el cual las densidades secas comenzaban a descender (humedad óptima de compactación).<sup>6</sup>

### **Tipo de Suelo**

Depende de algunas características que tiene el suelo, como la distribución granulométrica, la forma de los granos del suelo, la densidad de sólidos del suelo, y la cantidad y tipo de materiales arcillosos presentes. Entre los principales tipos de suelo, tenemos:

#### **Suelos Cohesivos**

Conformado por suelos limosos y arcillosos, la compactación se produce por la reorientación de sus granos, esto se logra a través de una carga lo suficientemente grande para vencer la resistencia de cohesión por las fuerzas entre las partículas.

#### **Suelos No Cohesivos**

Son suelos compuestos de rocas, piedras, gravas y arenas, la compactación se da a través de la vibración aplicada en un área amplia. La eficiencia se mejora aumentando la presión durante la compactación a medida que el peso específico y la resistencia aumentan.

#### **Suelos Mixtos**

Son aquellos suelos que tienen características intermedias entre los suelos cohesivos y los suelos no cohesivos, es decir, de los dos tipos. En la siguiente figura podemos ver curvas típicas de compactación para cinco tipos de suelos. Por una íntima mezcla de partículas de muchos tamaños.

---

<sup>6</sup> Compactación de Suelos.

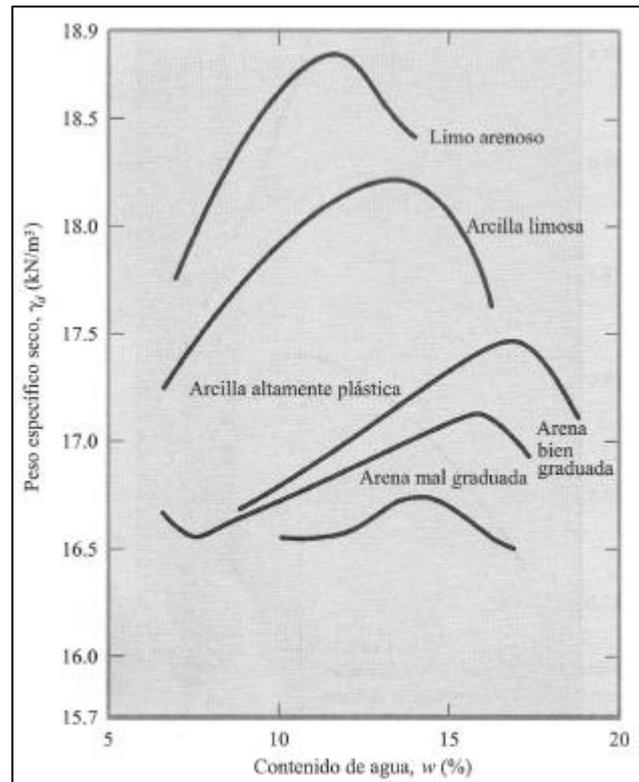


Figura 4 Curvas típicas de compactación para cinco suelos diferentes (D-698 de la ASTM)

**Fuente:** Libro "Fundamentos de Ingeniería Geotécnica.", Braja M Das

La figura anterior muestra que, para arenas, el peso específico seco tiene una tendencia general a decrecer primero, conforme el contenido de agua crece, y luego se incrementa a un valor máximo con aumentos de agua. El decremento inicial se debe al efecto de la tensión capilar. A bajos contenidos de agua, la tensión capilar en los poros impide el movimiento de las partículas de suelo a ser compactadas densamente.

### Energía de Compactación

Es aquella energía (E) que se entrega al suelo por unidad de volumen durante el proceso de compactación y viene dada por la siguiente expresión matemática:

$$E = \frac{\left( \begin{array}{c} \text{Numero de Golpes} \\ \text{por capa} \end{array} \right) \times \left( \begin{array}{c} \text{Numero} \\ \text{de} \\ \text{Capas} \end{array} \right) \times \left( \begin{array}{c} \text{Peso} \\ \text{del} \\ \text{martillo} \end{array} \right) \times \left( \begin{array}{c} \text{Altura de} \\ \text{caída del} \\ \text{martillo} \end{array} \right)}{\text{Volumen del molde}}$$

#### 2.4.4. Control de Compactación

El control de la compactación en obra se lleva investigando el grado de compactación de los materiales ya compactados y estableciendo un mínimo aceptable, puesto que resulta difícil lograr en campo de una manera exacta el peso unitario máximo seco indicado de las pruebas de laboratorio.

Se puede definir el grado de compactación como la relación en términos porcentuales entre la densidad seca del suelo compactado y la densidad máxima obtenida en el laboratorio, para determinar el grado de compactación tenemos la siguiente expresión matemática:

$$GC(\%) = \frac{\gamma_d \text{ campo}}{\gamma_d \text{ máximo}} * 100$$

En general, el valor mínimo del grado de compactación es del 95%. Sin embargo, cada proyecto puede tener sus propias específicas en relación con el control de calidad de la compactación. Para determinar la densidad de campo existen diversos métodos, entre ellos tenemos el método del cono de arena y Densímetro Nuclear, los mismos que detallaremos a continuación:

##### 2.4.4.1. Método del cono de arena

Este método es aplicado fundamentalmente en suelos granulares, suelos mixtos o mezclas de ellos. Consiste en abrir un pequeño hoyo en el material de relleno, su tamaño dependerá del tamaño máximo nominal del suelo y del equipo a utilizar. Se toma el suelo extraído del hoyo y se protege de la pérdida de humedad, para luego en el laboratorio determinar su peso y contenido de humedad.

El aparato usado en este método consiste en un recipiente de vidrio o plástico con un cono de metal unido a su parte superior. El recipiente se llena con arena Ottawa seca muy uniforme. Se determina el peso del envase, del cono, y de la arena que llena el recipiente (W1). En el campo se excava un pequeño agujero en el área donde el suelo fue compactado. Si el peso del suelo húmedo excavado del agujero (W2)

se determina y se conoce el contenido de agua del suelo excavado, el peso seco del suelo ( $W3$ ) se obtiene con la siguiente expresión:

$$W3 = \frac{W2}{1 + \frac{w(\%)}{100}}$$

Dónde:

$w$  = contenido de agua.

Después de excavado el agujero, el cono con el recipiente unido a se invierte y se coloca sobre el agujero y el cono con el recipiente unido a él se invierte y se coloca sobre el agujero. Se permite que la arena fluya del envase al agujero y al cono. Una vez que el agujero y el cono están llenos, se determina el peso del recipiente, del cono y de la arena restante en el envase ( $W4$ ), de modo que  $W5 = W1 - W4$ ; donde  $W5$  = peso de la arena para llenar el agujero y el cono.<sup>7</sup>

Para determinar el volumen del agujero excavado se determina con la siguiente expresión:

$$V = \frac{W5 - Wc}{\gamma d(\text{arena})}$$

Dónde:

$Wc$  = Peso de la arena para llenar únicamente el cono.

$\gamma d(\text{arena})$  = Peso específico seco de la arena Ottawa usada.

El peso específico seco de la compactación hecha en campo se determina ahora como:

$$\gamma d = \frac{\text{peso seco del suelo excavado del agujero}}{\text{volumen del agujero}} = \frac{W3}{V}$$

#### 2.4.4.2. Método del Densímetro Nuclear

“Los medidores nucleares de densidad son ahora usados con frecuencia para determinar el peso específico seco compactado de suelo. Los densímetros nucleares

---

<sup>7</sup> Ensayo de Cono y Arena.

operan en agujeros taladrados o desde la superficie del terreno. El instrumento mide el peso de suelo húmedo por volumen unitario y también el peso del agua presente en un volumen unitario de suelo” (Das, 2001, p.74).

Estos equipos tienen ventajas sobre los métodos tradicionales tales como:

- Capacidad para un mayor número de ensayos.
- Obtención directa de peso unitario y contenido de humedad.

Las principales desventajas que presentan estos equipos son las siguientes:

- Alto costo del equipo.
- Riesgo potencial de radiactividad.
- Necesidad de calibraciones cuidadosas y repetidas.
- Pequeña profundidad efectiva de la determinación.

## **2.5. Definición y cálculo del ensayo Proctor Estándar**

El ensayo Proctor, es un ensayo que tiene la finalidad de determinar la humedad óptima de compactación de un suelo para una determinada energía. Por medio de este ensayo, se obtiene de manera teórica la relación que existe entre la humedad y el peso unitario de los suelos compactados en un molde, la misma que nos ayudará en un futuro para comparar el grado de compactación obtenido en el campo con el del laboratorio.

La compactación que se obtiene en el laboratorio surge a partir de una muestra del suelo que se desea compactar, con la humedad calculada y en un molde cilíndrico de volumen conocido, a partir de estos datos obtenemos una curva, en la cual el pico más alto dicta el contenido de humedad óptima, a la cual el suelo llega a la densidad seca máxima.

Para realizar este ensayo es necesario algunos materiales, tales como:

**Molde de Compactación:** De preferencia deben ser fabricados en metal, con la forma y dimensión que se detalla más adelante, el molde deberá tener un collar ajustable de aproximadamente 6 centímetros de altura, que facilite la preparación de muestras compactadas de la altura y volumen deseado.

**Martillo de Compactación:** Deberá ser metálico, con una cara plana circular, que cuente con una guía apropiada que controle la altura de la caída del golpe desde una altura especificada más adelante. El método consiste en la compactación de una cantidad determinada de suelo dentro de un molde de dimensiones específicas, cuyo volumen es  $943,3 \text{ cm}^3$ , mediante la utilización de un martillo, cuyo peso es 5,5 lbs, el mismo que se deja caer desde una altura específica.

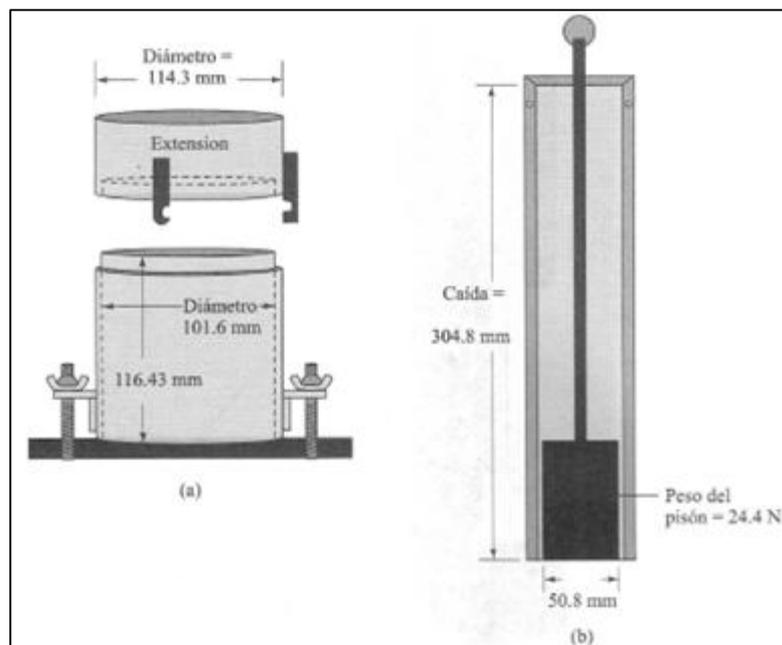


Figura 5 Equipo de la prueba Proctor Estándar: (a) molde; (b) pisón  
Fuente: Libro "Fundamentos de Ingeniería Geotécnica.", Braja M Das

### 2.5.1. Procedimiento

- Se selecciona el material haciéndolo pasar por el tamiz 3/4, se pesa el material que pasa por este.
- Se mezcla cada porción de suelo, con agua para llevarla al contenido de humedad deseado, considerando el agua contenida en la muestra.

- Se pesa el molde y su base. Se coloca el collar ajustable sobre el molde.
- Colocamos una capa de material, luego compactamos la capa con 25 golpes uniformemente distribuidos en el molde con un pisón de 5,5lb y con una altura de caída de 304,8 mm.
- Repetir 5 veces la operación anterior. Al compactar la última capa debe quedar un pequeño exceso de material por sobre el borde del molde.
- Retirar cuidadosamente el collar ajustado y enrasar la superficie del molde con una regla metálica. Pesarse el molde (con la placa) y el suelo y restar la masa del primero, obteniendo así la masa del suelo compactado.
- Retirar el material del molde y extraer dos muestras representativas del suelo compactado. Obtener la humedad de cada uno de ellos y registrar la humedad del suelo compactado como el promedio de ambas.
- Repetir las operaciones anteriores, hasta que haya un decrecimiento en la densidad húmeda del suelo. El ensayo se debe efectuar desde la condición más seca a la condición más húmeda.<sup>8</sup>

El suelo se coloca en el recipiente en tres capas, aproximadamente iguales. Cada capa se compacta con 25 golpes del martillo, dejándolo caer libremente desde una altura de 304,8 mm. A partir del peso del molde con el suelo compactado y con el volumen del molde ya conocido, se puede determinar el peso específico húmedo del suelo  $\gamma_f$  mediante la siguiente expresión:

$$\gamma_f = \frac{W}{V}$$

Dónde:

$W =$  *Peso del suelo compactado en el molde.*

$V =$  *Volumen del molde = 943.3cm<sup>3</sup>*

---

<sup>8</sup> Laboratorio de Ingeniería Civil.

Conocidos los valores de  $\omega$  y  $\gamma_f$  podemos calcular el peso específico seco  $\gamma_d$ , mediante la siguiente expresión matemática:

$$\gamma_d = \frac{\gamma_f}{1 + \omega}$$

Dónde:

$$\omega = \frac{W_w}{W_s} \quad \gamma_d = \frac{W_s}{V}$$

Si repetimos este mismo proceso a diferentes muestras de un mismo suelo con distintas humedades  $\omega$ , obtenemos diferentes valores del peso específico húmedo  $\gamma_f$ , cuya representación gráfica es la siguiente:

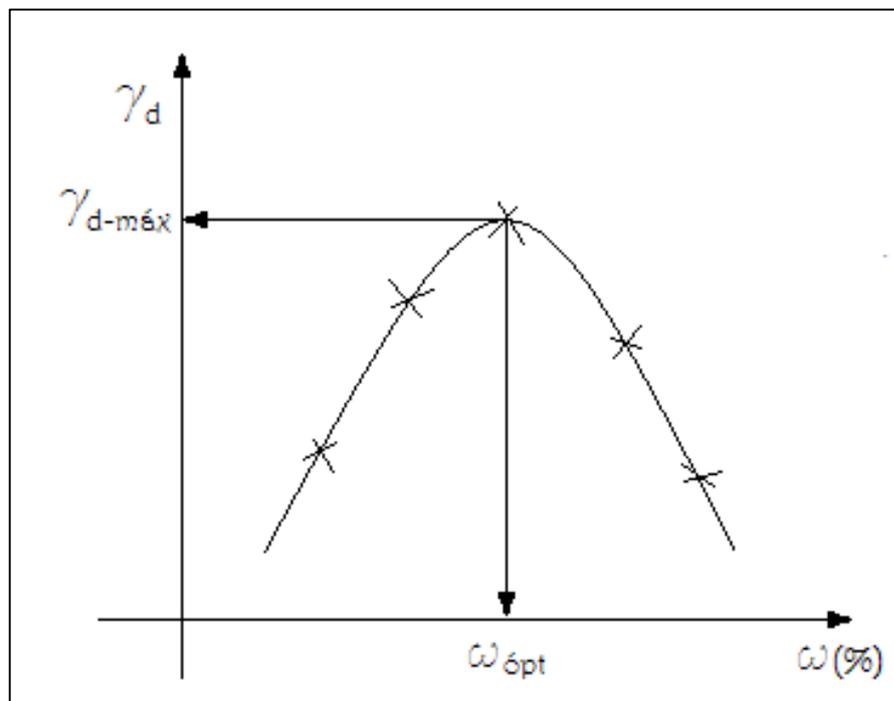


Figura 6. Curva de compactación Proctor

**Fuente:** Documento: "Compactación de Suelos.", por Ing. Rolando Armas

A partir del gráfico anterior podemos determinar la humedad óptima a la cual obtenemos el peso específico seco máximo, esta es la manera más económica de compactar, objetivo principal que tiene este método. Podemos observar también que a medida que la humedad aumenta se obtienen pesos específicos más altos, hasta un valor máximo, a partir del cual el peso específico seco disminuye.

### 2.5.2. Curva de Saturación S=100%

La curva de saturación representa las densidades de un suelo en estado de saturación, es decir cuando el volumen de vacíos es cero, como es conocido, la humedad del suelo no varía con la compactación y es imposible lograr expulsar todo el aire que contienen los poros de suelo, por lo que tampoco se logra la saturación del mismo. Es por esto que a la curva de saturación se la denomina también como curva teórica de compactación, porque la curva de compactación no puede sobrepasar la curva del 100% de saturación, si esto ocurre, se debe a que existe un error en la gravedad específica de los sólidos, en las medidas, en los cálculos, en los procedimientos de ensayo, o en el gráfico. Se la puede determinar mediante la siguiente expresión matemática:

$$\gamma_d = \frac{\gamma_w}{\frac{\omega}{S} + \frac{1}{G_s}}$$

Dónde:

$\gamma_w =$  *Peso específico del agua = 10kN/m<sup>3</sup>*

$\omega =$  *Humedad, expresada en tanto por uno.*

$S =$  *Saturación.*

$G_s =$  *peso específico relativo de las partículas sólidas = 2.71*

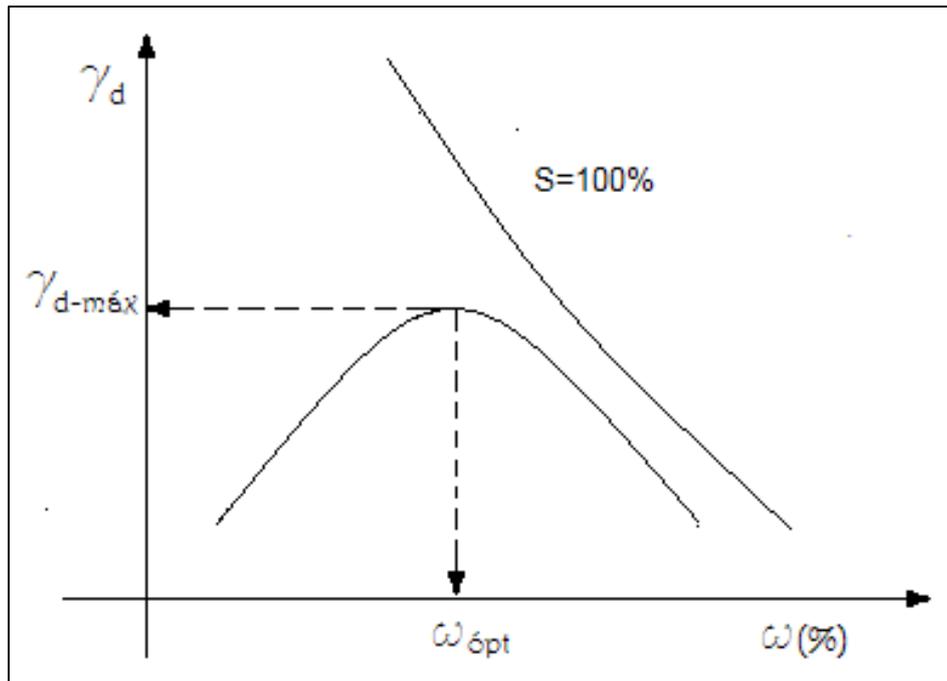


Figura 7 Curva de saturación

Fuente: Documento: "Compactación de Suelos." Por Ing. Rolando Armas

En la figura anterior podemos apreciar la curva de saturación, la misma que es inalcanzable e irrebasable, por mucho que se aumente la energía de compactación.

## 2.6. Definición y Cálculo del ensayo de Humedad

La humedad en un suelo es de vital importancia, ya que aumentando o disminuyendo su contenido se pueden alcanzar mayores o menores densidades, esto se debe a que el agua llena los espacios del suelo ocupados por aire, permitiendo una mejor acomodación de las partículas. Sin embargo, un exceso de agua provocaría que las partículas se separen disminuyendo su compacidad.

El ensayo de humedad tiene la finalidad de determinar el contenido de humedad de una muestra de suelo, esta propiedad física del suelo es muy útil en las construcciones civiles y se lo obtiene de una manera muy sencilla. La humedad natural de un suelo es la relación que existe entre el peso de agua de una partícula de suelo y el peso sólido de esta partícula, el valor de la humedad está expresado en porcentaje.

### 2.6.1. Procedimiento

El proceso de obtención del contenido de humedad se lo realiza en un laboratorio de suelos, para este proceso es necesario un horno que permita controlar la temperatura, una vez tomada la muestra del suelo en estado natural se introduce al horno, se calienta la muestra a una temperatura mayor de 100 grados Celsius, para provocar la evaporación del agua. El material debe permanecer un periodo de doce horas en el horno. Cumplidas las doce horas de secado de la muestra se procede a retirar y pesar, para así obtener el peso seco del suelo, el peso del agua será la diferencia entre el peso de la muestra en estado natural y la muestra seca del suelo.

$$\omega = \frac{W_w}{W_s} * 100$$

Dónde:

$\omega$  = *Contenido de humedad expresado en porcentaje.*

$W_w$  = *Peso del agua existente en la masa del suelo.*

$W_s$  = *Peso seco del suelo.*

## CAPITULO 3

### INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se hace referencia a los resultados obtenidos luego de haber realizado los ensayos de laboratorio propuestos en el presente trabajo de grado, al realizar esta interpretación de resultados podremos tener una apreciación más clara de las características que presenta la muestra de suelo que se analizó en el laboratorio, dichos ensayos se detallan a continuación:

#### 3.1. Clasificación S.U.C.S

Para poder determinar qué tipo de suelo es el que estamos analizando, es necesario del ensayo de granulometría y límites de Atterberg, los mismos que nos proporcionaron los siguientes datos:

##### **Granulometría:**

**% que pasa el tamiz No. 200= 3,16%**; se clasifica como suelo grueso, ya que más del 50% es retenido en este tamiz.

**% que pasa el tamiz No. 4= 29,57%**; se clasifica como una grava (G), ya que más del 50% (70,43%) es retenido en este tamiz.

Es decir que nuestro material está conformado por 70,43% de Grava y 26,41% de Arena; lo que da lugar a 3,16% de finos.

##### **Contenido de Humedad Natural:**

Contenido de Humedad= 42,22%

##### **Limites de Atterberg:**

Límite líquido= 24%

Límite plástico= 16%

Índice de plasticidad= 8%

Según la carta de plasticidad, figura 3, el punto (L.L é I.P), se encuentra encima de la línea A, por lo que el material en análisis se clasifica, según el método S.U.C.S como GC.

Pare ver cada uno de los resultados de los ensayos expuestos anteriormente, ir al anexo 3.

### **3.2. Clasificación AASHTO**

De la misma manera que en el sistema de clasificación S.U.C.S, para poder determinar qué tipo de suelo es el que estamos analizando, es necesario del ensayo de granulometría y límites de Atterberg, los mismos que nos proporcionaron los siguientes datos:

#### **Granulometría:**

**% que pasa el tamiz No. 200= 3,16%**, menor que 35% por lo que se trata de una grava o una arena, los mismos que pueden pertenecer a los grupos A1, A2 o A3, según la tabla 2.

#### **Contenido de Humedad Natural:**

Contenido de Humedad= 42,22%

#### **Límites de Atterberg:**

Límite líquido= 24%

Límite plástico= 16%

Índice de plasticidad= 8%

Al tener un límite líquido de 24% y un índice de plasticidad de 8%, procedemos de izquierda a derecha, en la tabla 2, a identificar en que grupo se encuentra el suelo

en estudio, encasillándolo en el grupo A-2-4, el mismo que se lo puede considerar como una grava.

En los suelos A-1-a, A-1-b, A-2,4, A-2-5 y A-3, el índice de grupo  $IG=0$ , debido que al reemplazar el valor del límite líquido en la siguiente expresión nos devuelve un valor negativo, por lo que  $IG=0$

$$GI = (F - 35)[0.2 + 0,005(LL - 40)] + 0,01(F - 15)(IP - 10)$$

Para ver cada uno de los resultados de los ensayos expuestos anteriormente, ir al apéndice 1.

### 3.3. Ensayo Proctor Estándar

Luego de haber realizado los cálculos pertinentes para la obtención de la densidad seca máxima y el contenido de humedad óptimo, se obtuvieron los siguientes resultados:

**Densidad seca máxima ( $\gamma_{dmax}$ )**= 1903  $kg/m^3$ . Este valor corresponde al punto más alto de la curva de compactación, la misma que se puede ver en el anexo 3.

**Contenido de Humedad Óptimo ( $\omega_{opt}$ )**= 9,26%. Este valor es el que permite al suelo alcanzar la densidad seca máxima, para mayor detalle de los valores obtenidos en el presente ensayo ver el anexo 3.

Como sabemos, este ensayo es realizado en el laboratorio, bajo condiciones que garanticen el cumplimiento de las exigencias del ensayo, pero lamentablemente en obra no se pueden cumplir estas exigencias, es por esto que se exige en obra el cumplimiento del 95% del proctor estándar realizado en el laboratorio.

Para el tipo de suelo que estamos analizando, el valor de la densidad seca mínima que se debe alcanzar en obra es el siguiente:

$$\gamma d_{\min \text{ campo}} = 0,95 * 1903 \text{ kg/m}^3$$

$$\gamma d_{\min \text{ campo}} = 1808 \text{ kg/m}^3$$

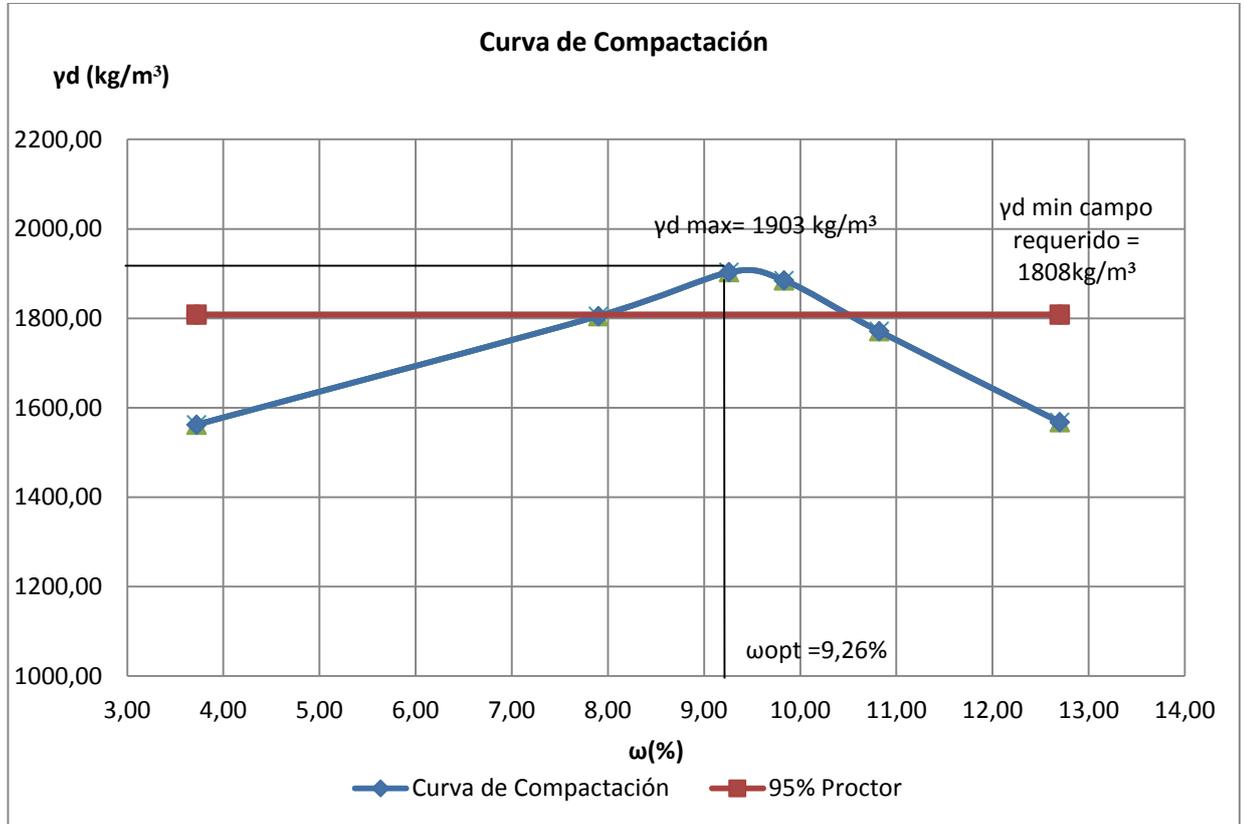


Figura 8 Curva de Compactación

Fuente: Archivo del Laboratorio de suelos R&R, Ing. Juan Pablo Riquetti M.

#### Conclusiones de la Figura 8:

- El peso específico seco máximo ( $\gamma d \text{ max}$ ) obtenido es  $1903 \text{ kg/m}^3$ , con una humedad óptima ( $\omega_{opt}$ ) de 9,26%.
- El peso específico mínimo requerido en campo es  $1808 \text{ kg/m}^3$ , el mismo que corresponde al 95% del proctor estándar.

Debido a que el contenido de humedad natural del material de mejoramiento colocado en obra, es alto (42,22%), resulta imposible, con cualquier energía de compactación, alcanzar por lo menos el 95% del proctor estándar, inclusive esta densidad seca mínima requerida, se encuentra por sobre la curva de saturación del

100%, lo cual resulta imposible de alcanzar, esto lo podemos ver en la curva de compactación siguiente (Figura 9).

El valor de densidad seca con un  $\omega=42,22\%$  en la curva teórica de saturación al 100% es:

$$\gamma_d = \frac{\gamma_w}{\frac{\omega}{S} + \frac{1}{G_s}}$$

$$\gamma_d = \frac{1000 \text{ kg/m}^3}{\frac{0,4222}{1} + \frac{1}{2,71}} = 1264 \text{ kg/m}^3$$

El valor de  $1264 \text{ kg/m}^3$  correspondiente a la curva de saturación del 100%, es inalcanzable, puesto que se tiene 0% de vacíos, y el mismo, frente al valor del  $\gamma_d$  min de campo requerido igual a  $1808 \text{ kg/m}^3$ , es solo del 66%, inferior al 95% del proctor estándar requerido, lo cual recalcamos que es imposible de alcanzar.

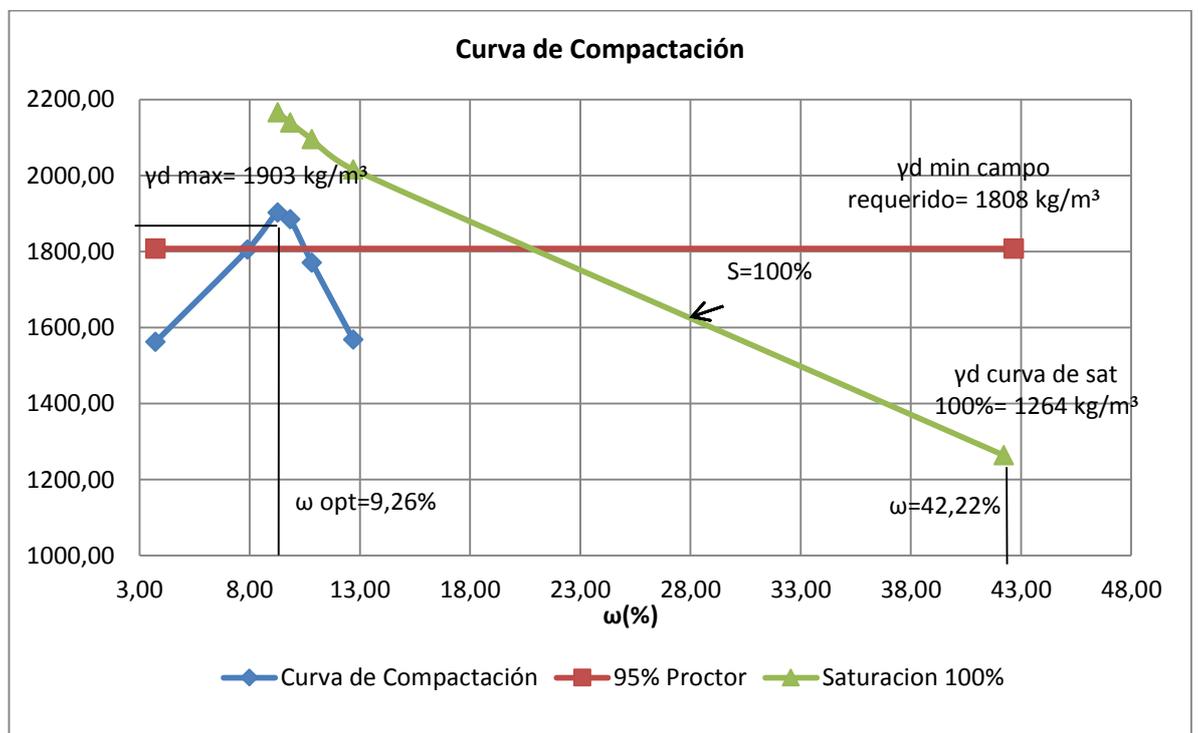


Figura 9 Curva de Compactación y de Saturación 100%

Fuente: Archivo del Laboratorio de suelos R&R, Ing. Juan Pablo Riquetti M

**Conclusiones de la Figura 9:**

- Debido a que se tomaron pocos puntos de densidades, no se visualizó el problema de humedad del relleno en el sector que se presentaron los asentamientos.
- Al encontrarse el valor mínimo de densidad requerido en campo (1808 kg/m<sup>3</sup>) sobre la curva de saturación al 100%, sabemos que va ser imposible alcanzar dicho valor y mucho menos superarlo.

Además de haberse realizado el ensayo Proctor estándar en el laboratorio, se realizó un punto de control de compactación, posterior al colapso, mediante densímetro nuclear en el área en la que la losa de la cancha sufrió asentamientos, obteniendo el siguiente resultado.

$\gamma_d$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\omega$ (%)
1193	42,38

Tabla 3 Datos obtenidos en campo mediante Densímetro nuclear

**Fuente:** Densímetro nuclear, Ing. Juan Pablo Riquetti M.

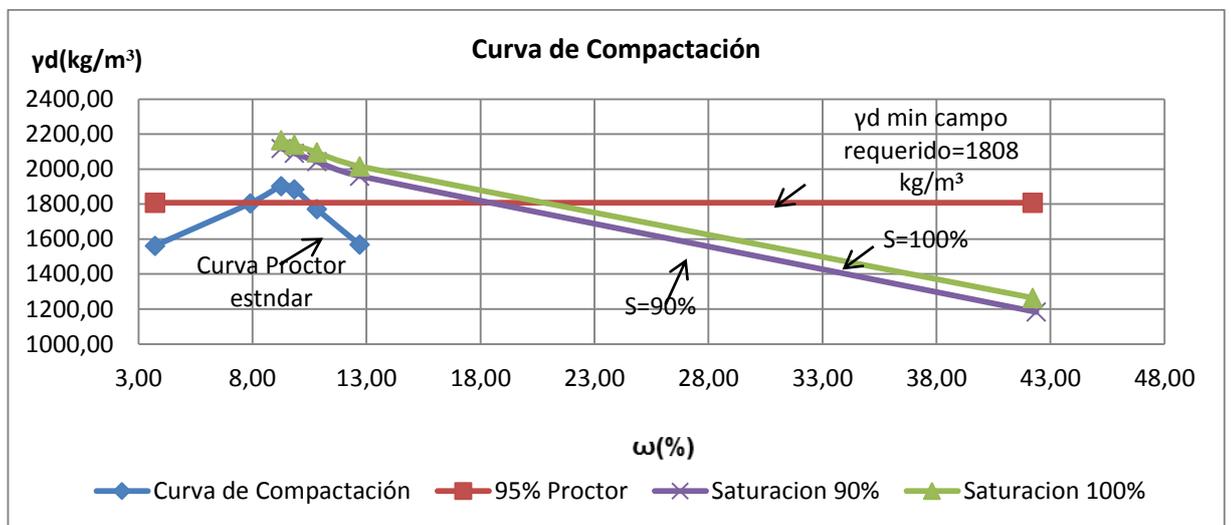


Figura 10 Curva de Compactación, Saturación 100% y Saturación 90%  
**Fuente:** Archivo del Laboratorio de suelos R&R, Ing. Juan Pablo Riquetti M.

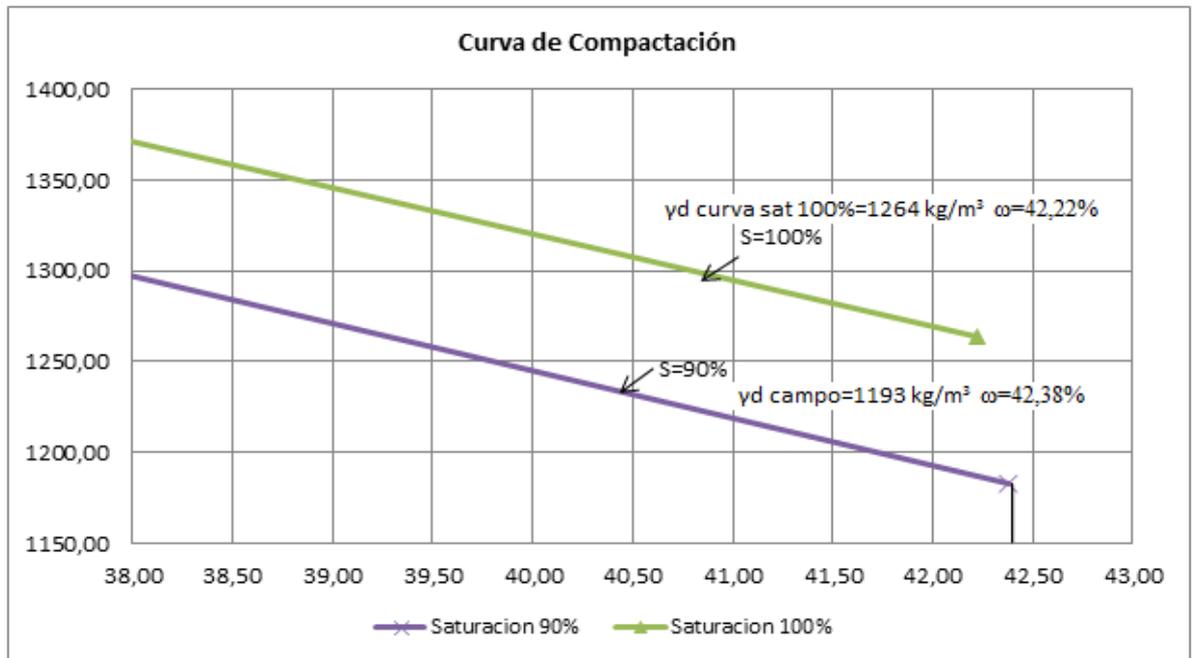


Figura 11 Curva de Saturación 100% y Saturación 90%

Fuente: Archivo del Laboratorio de suelos R&amp;R, Ing. Juan Pablo Riquetti M

$\gamma_d$  curva sat 100%=1264 kg/m<sup>3</sup>  $\omega$ =42,22%

#### Conclusiones de la Figura 10 y 11:

Como podemos ver, el punto de 1193 kg/m<sup>3</sup> y 42,38%, obtenido mediante densímetro nuclear en campo (después del colapso), corresponde a un punto de una curva de saturación al 90%, de lo que se concluye que en campo el suelo se densificó hasta tener en el mismo un 10% de vacíos de aire. Al tener el suelo en obra, un 10% de vacíos, y el relleno total del proyecto, dos metros de profundidad, al momento del ingreso del agua lluvia por la jardinera, hizo que se reduzca dicho porcentaje de vacíos en el suelo por consolidación, teniéndose:

#### **Altura de colapso hasta tener 0% de vacíos de aire:**

$$h = 2,00 * 0,1 = 20 \text{ cm}$$

Pero como esto en la realidad es imposible, suponemos que el colapso únicamente se produce en un 50% de h, es decir, diez centímetros.

## Conclusiones

Luego de haber realizado los ensayos correspondientes se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- Debido a que se tomaron densidades únicamente en seis puntos del sector del colapso, los mismos que no fueron suficientes para tener un criterio técnico adecuado de la compactación y menos saber que el suelo se encontraba saturado en un sector determinado, donde después se produjo el colapso, además, los pocos puntos de control de compactaciones, no revelaron la excesiva humedad del material de relleno, y no advirtieron al constructor que con dicha humedad, nunca y con ninguna energía de compactación, iba alcanzar la densidad de campo mínima requerida para aprobar el 95% del Proctor estándar normado en los términos de referencia de la construcción.
- El material de relleno tenía un excesivo porcentaje de vacíos (10%), fruto de la mala eficiencia de compactación obtenida al trabajar con un material con un elevado contenido de humedad. Se concluye que al ingresar el agua lluvia por la jardinera, consolidó el material de relleno compactado un 50% del 10% de vacíos, el mismo que se calculó anteriormente, obteniendo diez centímetros, lo cual basta para colapsar cualquier losa, y más aún, si no tiene armadura estructural, sino únicamente una malla que controla contracción y temperatura.
- El material sobre el cual se asienta la losa, se clasifica, según el sistema S.U.C.S, como un GC, y según el sistema AASHTO como un suelo A-2-4, estas simbologías representan a un suelo denominado como una grava arcillosa, por lo cual se concluye que el material de relleno posee buenas características, y no es responsable del colapso.

## **Recomendaciones**

Luego de haber analizado las causas que provocaron el colapso de la losa de cancha del pabellón de Comunidad Terapéutica se proponen las siguientes recomendaciones para solucionar el problema:

- Se recomienda retirar todo el material que se encuentra saturado y dejarlo secar completamente para poderlo reutilizar como material de relleno, debido a que el mismo presenta buenas características, y no es necesario que desaloje dicho material.
- Colocar una capa de pedraplén de cincuenta centímetros de espesor sobre la subrasante para proporcionar una mejor estabilidad al material de relleno y así poder evitar futuros inconvenientes.
- Colocar el material de mejoramiento en capas de hasta veinte centímetros de espesor, las mismas que deben ser compactadas en humedades cercanas a la humedad óptima del Proctor estándar y alcanzando una energía de compactación igual o mayor al 95% del Proctor estándar.
- Tapar la jardinera que existe en la losa de cancha, y fundirla conjuntamente con los paños de la losa que sufrieron el colapso, de esta manera se asegura que no habrán filtraciones de agentes externos hacia el material de relleno.

## BIBLIOGRAFÍA

### Referencias Bibliográficas:

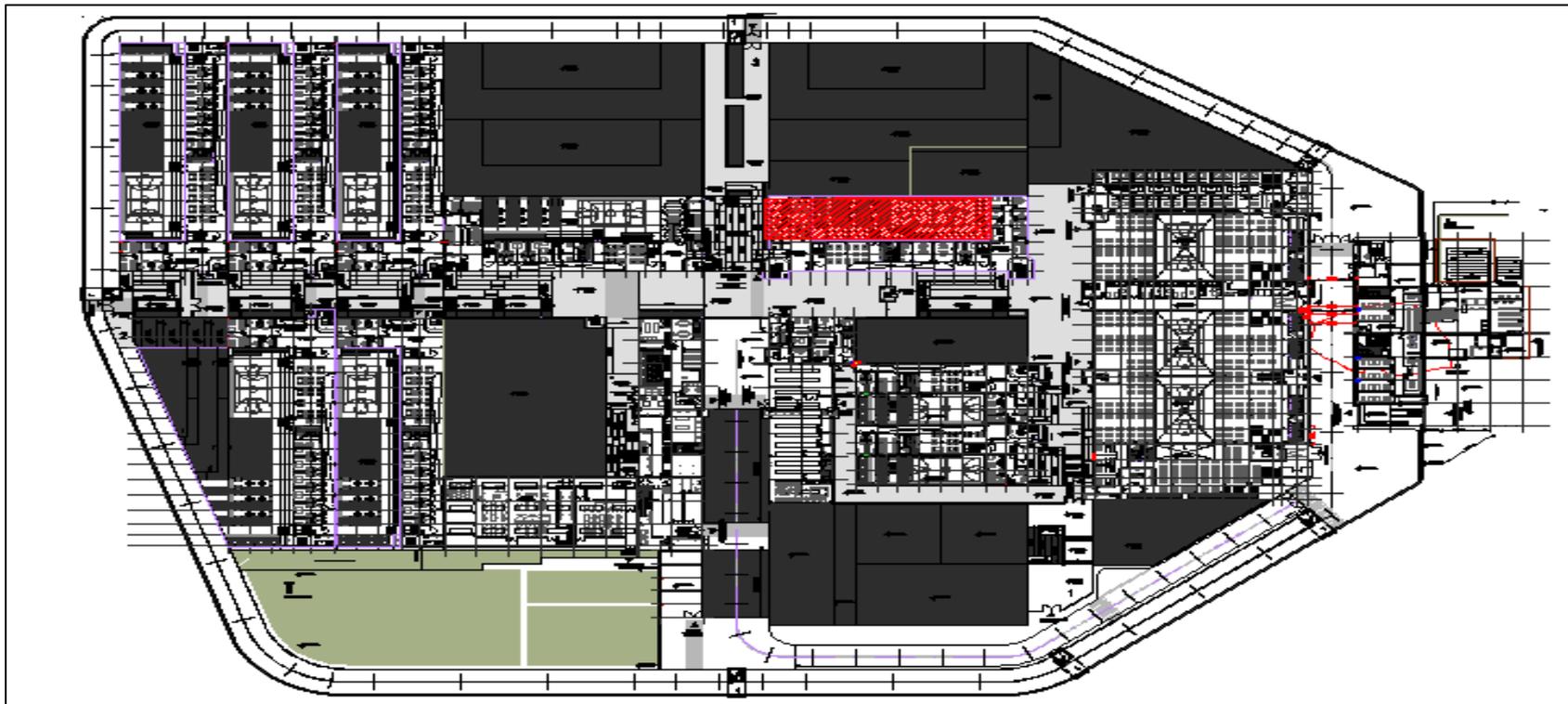
- ARMAS, R. (2004). *Notas de Compactación*. Cuenca.
- BOWLES, J. (1980). *Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil*, (2<sup>da</sup>.ed.). Bogotá: Editorial McGraw Hill.
- CRESPO, C. (2004). *Mecánica de suelos y cimentaciones*, (5<sup>ta</sup> ed.). México: Editorial Limusa.
- DAS, B. (2001). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*, (1<sup>ra</sup> ed.). California State University: Sacramento, Editorial Thomson & Learning.
- JUÁREZ, E. & RICO, A. (2005). *Fundamentos de la Mecánica de Suelos*, (3<sup>ra</sup> ed.). México: Editorial Limusa.
- MONTEJO, A. (2002). *Ingeniería de Pavimentos Para Carretera*, (2<sup>da</sup>.ed.). Bogotá: Universidad Católica de Colombia.
- TERZAGHI, K. (1996). *Mecánica de Suelos en la Ingeniería Practica*, (1<sup>ra</sup> ed.). Nueva York: Interscience Publication.

### Referencias Electrónicas:

- CASTAÑÓN, P. (2011). Cálculo del Factor de Erosión de la Lluvia en las Estaciones Papaloapan y Cd. Alemán de la Cuenca del Papaloapan. Obtenido el 7 de noviembre de 2013 de UNAM, México: [www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/475/A6.pdf?sequence=6](http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/475/A6.pdf?sequence=6)
- Compactación de Suelos. Obtenido el 12 de noviembre de 2013 de: [www.blog.espol.edu.ec/dannpetroche/files/2013/06/Compactacion.pdf](http://www.blog.espol.edu.ec/dannpetroche/files/2013/06/Compactacion.pdf)
- El S.U.C.S. Obtenido el 30 de octubre de 2013 de Universidad Libre de Colombia: [www.unilibresoc.edu.co/mecsuelos/htm/cap5/52.htm](http://www.unilibresoc.edu.co/mecsuelos/htm/cap5/52.htm)
- Ensayo de Cono y Arena. Obtenido el 15 de noviembre de 2013 de [www.es.scribd.com/doc/192433892/65028142-Ensayo-Cono-y-Arena](http://www.es.scribd.com/doc/192433892/65028142-Ensayo-Cono-y-Arena)
- Geotecnia I. Obtenido el 04 de noviembre de 2013 de Universidad Nacional de Córdoba: [www.fotomap-geo.com/files/Te\\_rico-Geotecnia1-v2013-Clasificacion-unificada.pdf](http://www.fotomap-geo.com/files/Te_rico-Geotecnia1-v2013-Clasificacion-unificada.pdf)
- Laboratorio de Ingeniería Civil. Obtenido el 17 de noviembre de 2013 de [www.laboratoriodeingenieriacivil.blogspot.com/2009/05/proctor-modificado.html](http://www.laboratoriodeingenieriacivil.blogspot.com/2009/05/proctor-modificado.html)
- Suelos Granulares. Obtenido el 09 de noviembre de 2013 de: [www.notasdepavimentos.blogspot.com/2011/04/descripcion-de-los-grupos-de.html](http://www.notasdepavimentos.blogspot.com/2011/04/descripcion-de-los-grupos-de.html)

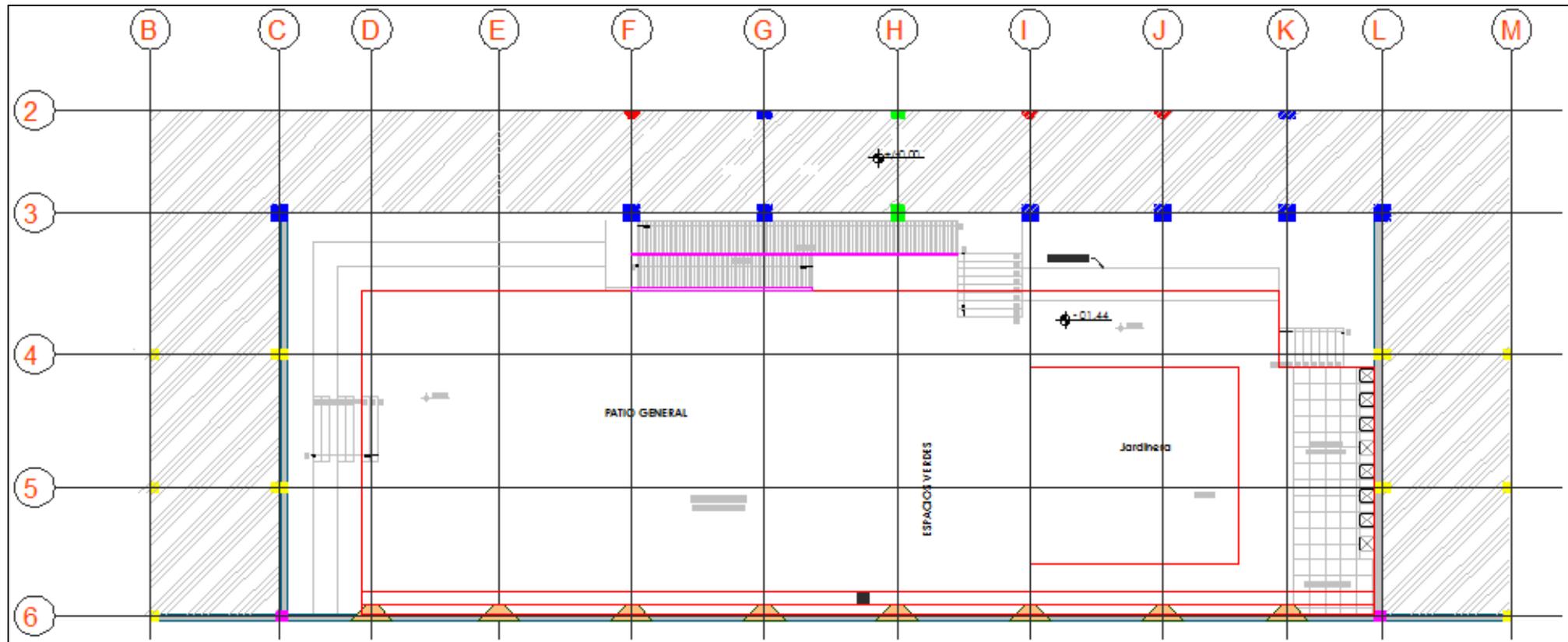
## ANEXOS

### Anexo 1 Planta General CRS Cuenca

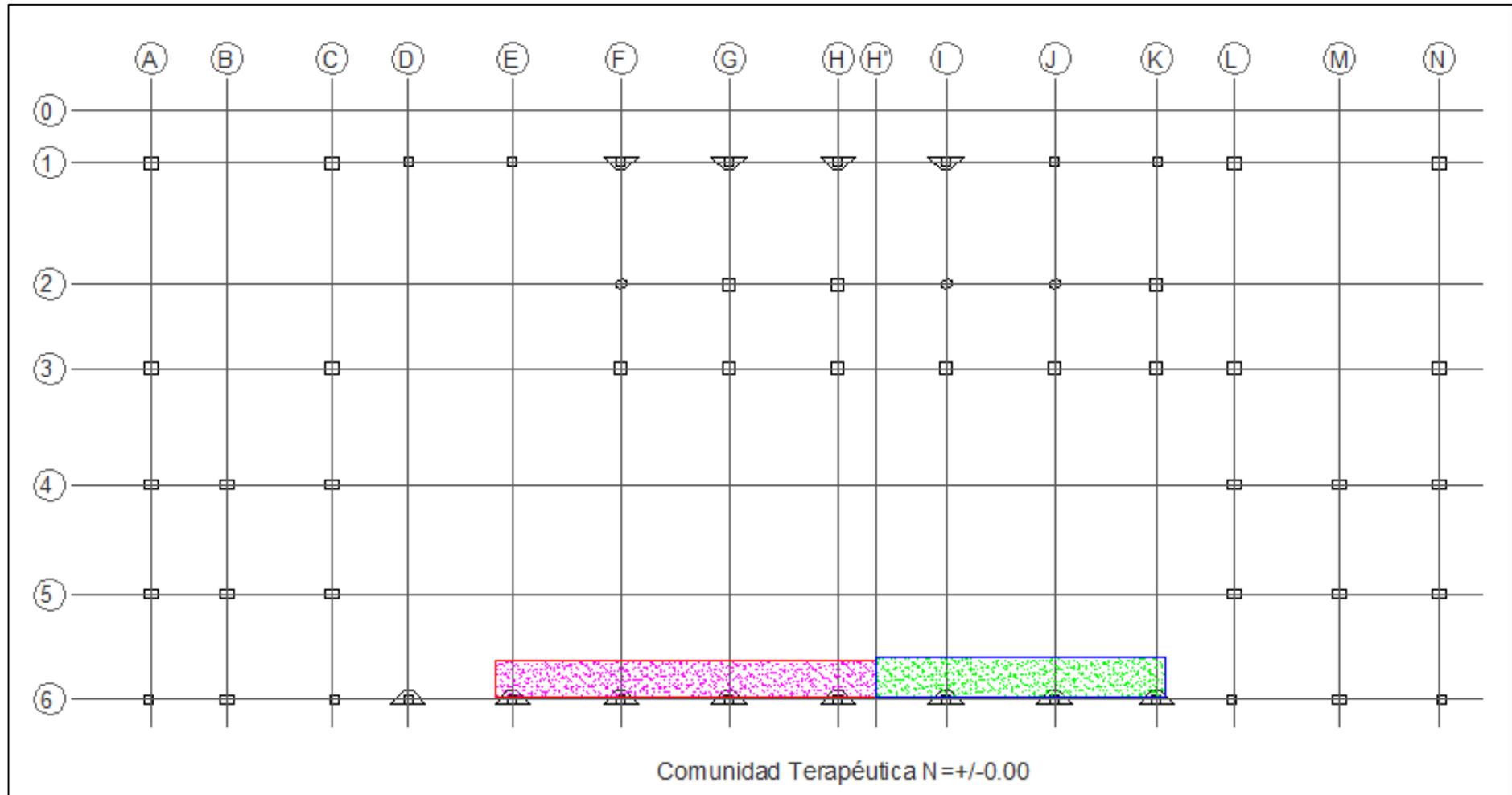


En este anexo, podemos ver marcada de rojo la cancha del pabellón de Comunidad Terapéutica.

Anexo 2 Planta de la losa de cancha del pabellón de Comunidad Terapéutica



Anexo 3 Área de losa afectada



Anexo 4 Clasificación SUCS y AASHTO

ENSAYOS DE CLASIFICACION						
<b>TEMA:</b> TESIS DE GRADUACIÓN						
<b>ALUMNO:</b> JUAN DIEGO ARIZAGA MORA						
<b>PROYECTO:</b> C.R.S. CUENCA						
<b>MUESTRA:</b> DE MEJORAMIENTO (MINA LLATCOM)						
<b>FECHA:</b> OCTUBRE DE 2013						
<b>CONTENIDO DE AGUAS</b>		<b>PESO HUM + CAPS</b>	<b>PESO SECO + CAPS</b>	<b>PESO CAPSULA</b>	<b>CONTEN DE AGUA</b>	<b>VALOR MEDIO</b>
NORMAS: ASTM D-2216		91,49	69,59	17,73	42,23	42,22
		94,94	72,26	18,53	42,21	
<b>ANALISIS GRANULOMETRICO NORMAS: ASTM D-422, AASHTO T-88</b>						
<b>FRACCION GRUESA</b>			<b>FRACCION FINA</b>			
PESO INICIAL:		9.387,00	PESO INIC.HUM.:		500	
PESO FINAL:		9.387,00	PESO INIC.SECO:		351,57	
ERROR:		0,00				
<b>TAMIZ No.</b>	<b>PESO RET ACUMULADO</b>	<b>% PASA</b>	<b>TAMIZ No.</b>	<b>PESO RET ACUMULADO</b>	<b>% PASA</b>	
2"	0,00	100,00	No.10	117,20	19,71	
1 1/2"	936,00	90,03	No.40	313,30	3,22	
1"	2.405,00	74,38	No.200	314,00	3,16	
3/4"	3.205,00	65,86	PASA 200	37,57		
3/8"	5.662,00	39,68				
No. 4	6.611,00	29,57				
PASA No.4	2.776,00					
<b>RESULTADOS FINALES:</b>						
LL=	24	GRAVA=	70,43	SUCS=	GC	
LP=	16	ARENA=	26,41	AASHTO=	A - 2 - 4	
IP=	8	FINOS=	3,16	IG=	0	
Juan Diego Arizaga Mora.						

<b>LIMITE LIQUIDO</b>	<b>NUMERO GOLPES</b>	<b>PESO HUM + CAPS</b>	<b>PESO SECO + CAPS</b>	<b>PESO CAPSULA</b>	<b>CONTEN DE AGUA</b>
NORMAS: ASTM D-423 AASHTO T-89	51	35,14	32,12	17,64	20,86
	40	35,24	32,13	17,84	21,76
	30	35,37	32,13	17,91	22,78
	20	35,46	32,00	17,64	24,09
	13	35,58	31,65	16,3	25,60
LIMITE LIQUIDO:				23,73	

<b>LIMITE PLASTICO</b>	<b>PESO HUM + CAPS</b>	<b>PESO SECO + CAPS</b>	<b>PESO CAPSULA</b>	<b>CONTEN DE AGUA</b>
NORMAS: ASTM D-424 AASHTO T-90	15,49	14,49	7,92	15,22
	15,46	14,46	8,11	15,75
	15,82	14,86	8,75	15,71
	15,44	14,44	7,96	15,43
LIMITE PLASTICO:			15,53	

**GRAFICO DEL LIMITE LIQUIDO**

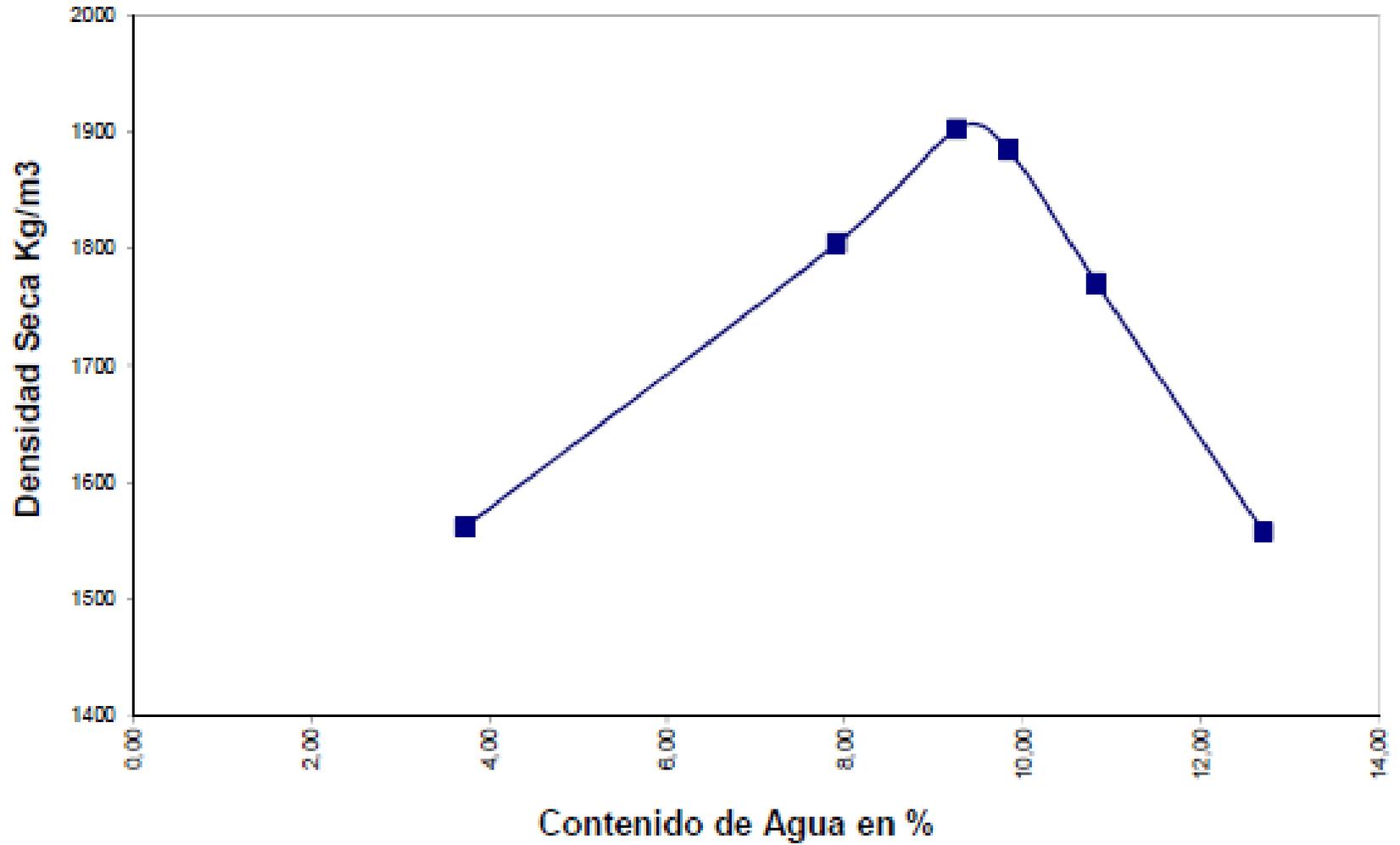
Numero de golpes	Contenido de agua en %
51	20,86
40	21,76
30	22,78
20	24,09
13	25,60

## Anexo 5 Ensayo Proctor Estándar

<b>ENSAYO DE COMPACTACION PROCTOR</b>										
<b>TEMA:</b> TESIS DE GRADUACIÓN										
<b>ALUMNO:</b> JUAN DIEGO ARIZAGA MORA										
<b>PROYECTO:</b> C.R.S. CUENCA										
<b>MUESTRA:</b> DE MEJORAMIENTO (MINA LLATCOM)										
<b>FECHA:</b> OCTUBRE DE 2013										
<b>NORMA DE ENSAYO:</b> T 99 C										
<b>GOLPES POR CAPA:</b> 25										
<b>No. DE CAPAS :</b> 3,00										
<b>PESO MARTILLO :</b> 2.49 Kg.										
<b>ALTURA DE CAIDA:</b> 30.5 cm										
<b>MOLDE ESTANDAR</b>										
<b>DIAMETRO:</b> 10,1										
<b>VOLUMEN :</b> 929										
<b>PESO :</b> 4142										
<b>DATOS PARA LA CURVA:</b>										
<b>PUNTO No.:</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>					
Peso comp.:	5.647	5.951	6.065	5.965	5.773					
Peso suelo:	1.505	1.809	1.923	1.823	1.631					
Dens. Hum :	1.620	1.947	2.070	1.962	1.756					
<b>CONTENIDOS DE HUMEDAD</b>										
W. humedo :	80,51	78,70	78,21	71,26	72,96	72,10	73,84	77,88	76,47	74,66
W. seco :	78,30	76,50	73,82	67,36	68,00	67,29	68,42	71,93	69,75	68,30
W. capsula:	18,54	17,86	18,48	17,85	18,29	17,64	17,60	17,75	17,53	17,54
w (%) :	3,70	3,75	7,93	7,88	9,98	9,69	10,67	10,98	12,87	12,53
w(%) prom.:	3,72		7,90		9,83		10,82		12,70	
Dens. Seca:	1.562		1.805		1.885		1.771		1.558	
<b>RESULTADOS:</b>										
<b>DENSIDAD SECA MAX. = 1903</b>										
<b>CONT. DE AGUA OPT. = 9,26</b>										

Anexo 6 Curva de Compactación

### CURVA DE COMPACTACION



**Anexo 7 Compactación del material de relleno sobre el cual se asentará la losa de cancha**



Anexo 8 Preparación para la fundición de la losa de cancha



Anexo 9 Fundición de la losa de cancha



Anexo 10 Fundición de la losa de cancha



Anexo 11 Jardinera en medio de la losa



Anexo 12 Losa Colapsada



Anexo 13 Losa Colapsada



**Anexo 14 Losa Colapsada**



Anexo 15 Extracción del material saturado



Anexo 16 Presencia de Agua



Anexo 17 Pedraplén



**Anexo 18 Relleno Compactado con material de Mejoramiento**



**Anexo 19 Fundición de Paños afectados y Jardinera**

