

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES**



*Ejecución de ensayos y controles  
sobre materiales viales para  
obras varias*

Autor: Rojo, Franco Nicolás

Tutor Interno: Mgter. Ing. Miguel Rico  
Supervisor Externo: Ing. Luciana Vera Cortez

2019

## INDICE

Capítulo N°1: Generalidades.....	7
Capítulo N°2: Plan de Actividades y Objetivos.....	8
2.1 Plan de Actividades.....	8
2.2 Objetivos.....	8
2.2.1 Objetivos Generales.....	8
2.2.2 Objetivos Personales.....	9
Capítulo N°3: Actividades desarrolladas.....	10
3.1 Introducción.....	10
3.2 Actividad N°1: Estudio de material granular para construcción de bases de pavimentos.....	13
3.2.1 Objetivo.....	13
3.2.2 Localización.....	13
3.2.3 Trabajos realizados.....	14
3.2.3.1 Análisis granulométrico (Norma VN-E7-65).....	14
3.2.3.2 Límites de consistencia.....	15
3.2.3.2.1 Límite Líquido (Norma VN-E2-65).....	15
3.2.3.3 Límite Plástico e Índice de Plasticidad (Norma VN-E3-65).....	17
3.2.3.3.1 Límite Plástico.....	17
3.2.3.3.2 Índice de Plasticidad.....	18
3.2.3.4 Compactación (Norma VN-E5-93).....	19
3.2.3.5 Determinación de Valor Soporte e Hinchamiento (VN-E6-84) ...	22
3.2.4 Conclusiones.....	27
3.3 Actividad N°2: Elección de material para conformación de base granular de pavimentos flexibles.....	28
3.3.1 Objetivo.....	28
3.3.2 Localización.....	28
3.3.3 Trabajos realizados.....	29
3.3.3.1 Compactación (Norma VN-E5-93).....	29
3.3.3.1.1 Material de Cantera N°1.....	30
3.3.3.1.2 Material de Cantera N°2.....	31
3.3.3.2 Peso específico aparente y absorción de agregados pétreos gruesos (VN-E13-67).....	32
3.3.3.2.1 Material de Cantera N°1.....	34
3.3.3.2.2 Material de Cantera N°2.....	36
3.3.3.3 Determinación de Valor Soporte e Hinchamiento (VN-E6-84) ...	36

3.3.3.3.1 Material de Cantera N°1 .....	37
3.3.3.3.2 Material de Cantera N°2 .....	38
3.3.4 Conclusiones .....	39
3.4 Actividad N°3: Estudio de materiales presentes para acceso a predio de CONIFERAL S.A.C.I.F en Villa Allende. ....	40
3.4.1 Objetivo .....	40
3.4.2 Localización .....	40
3.4.3 Trabajos realizados.....	40
3.4.3.1 Trabajos de campo.....	41
3.4.3.1.1 Ensayos DCP (Penetrómetro Dinámico de Cono) .....	41
3.4.3.1.2 Control de compactación por método del cono de arena (Norma VN-E8-66) .....	47
3.4.3.2 Trabajos de gabinete.....	49
3.4.3.2.1 Clasificación del material superficial (Norma VN-E4-84) .....	49
3.4.3.2.2 Compactación del material superficial (Norma VN-E5-93) .	50
3.4.4 Conclusiones .....	52
3.5 Actividad N°4: Estudio de propiedades de ligantes de Holcim S.A destinados a la estabilización de caminos rurales.....	53
3.5.1 Objetivo .....	53
3.5.2 Localización .....	53
3.5.3 Trabajos realizados.....	53
3.5.3.1 Ensayos de identificación .....	54
3.5.3.1.1 Análisis granulométrico (Norma VN-E7-65) .....	54
3.5.3.1.2 Límites de consistencia .....	55
3.5.3.1.2.1 Límite Líquido (Norma VN-E2-65) .....	55
3.5.3.1.2.2 Límite Plástico e Índice de Plasticidad (Norma VN-E3-65) .....	56
3.5.3.2 Compactación como mezcla suelo-cemento o suelo-cal (Norma VN-E19-66) .....	56
3.5.3.2.1 Ensayo realizado con Ligante N°1 .....	59
3.5.3.2.2 Ensayo realizado con Ligante N°2.....	60
3.5.4 Conclusiones .....	61
3.6 Actividad N°5: Determinación de densidad seca máxima de suelo destinado a la construcción de subrasantes de pavimentos.....	63
3.6.1 Objetivo .....	63
3.6.2 Localización .....	63
3.6.3 Trabajos realizados.....	64

3.6.3.1 Ensayo de Compactación (Norma VN-E19-66).....	64
3.6.4 Conclusiones .....	67
<b>Capítulo N°4: Conclusiones .....</b>	<b>68</b>
<b>Bibliografía .....</b>	<b>69</b>
<b>Anexos de Actividades Desarrolladas .....</b>	<b>70</b>
Anexo de Actividad N°1: Análisis granulométrico, límites de consistencia, ensayo de compactación y valor soporte relativo.....	71
Anexo de Actividad N°2: Ensayos de compactación y valor soporte relativo. ....	79
Anexo de Actividad N°3: Ensayos DCP, densidad in situ, identificación y compactación.....	92
Anexo de Actividad N°4: Análisis granulométrico, límites de consistencia y compactación de mezclas suelo-cal y suelo-cemento. ....	110
Anexo de Actividad N°5: Ensayo de compactación.....	115
<b>Apéndice: Normas de Vialidad Nacional .....</b>	<b>117</b>



## INDICE DE IMÁGENES

<b>Imagen 1</b> - Sección transversal de un Pavimento Flexible. ....	10
<b>Imagen 2</b> - Sección transversal de un Pavimento Rígido. ....	11
<b>Imagen 3</b> - Trasmisión de esfuerzos en las capas inferiores de un pavimento flexible. ....	12
<b>Imagen 4</b> - Ubicación de barrios pertenecientes al proyecto Manantiales. ....	13
<b>Imagen 5</b> - Tamices ordenados de arriba hacia abajo y de derecha a izquierda, desde el de mayor hacia el de menor abertura .....	14
<b>Imagen 6</b> - Curva granulométrica obtenida .....	15
<b>Imagen 7</b> - Aparato de Casagrande junto con su acanalador .....	16
<b>Imagen 8</b> - Diagrama N° de golpes vs % de humedad .....	17
<b>Imagen 9</b> - Muestras extraídas del ensayo de LL y cilindros del LP.....	18
<b>Imagen 10</b> - Curva humedad vs densidad seca.....	20
<b>Imagen 11</b> - Proceso de compactación del punto N°2 .....	20
<b>Imagen 12</b> - Proceso de compactación del punto N°3 .....	21
<b>Imagen 13</b> - Molde, pisón, cuchara y bandeja utilizada durante el ensayo .....	21
<b>Imagen 14</b> - Probeta moldeada en 5 capas de 25 golpes por cada una. ....	23
<b>Imagen 15</b> – Primeras 3 probetas conformadas, momentos antes de la inmersión en agua. ....	23
<b>Imagen 16</b> - Probeta N°1 recientemente retirada de la cámara húmeda .....	24
<b>Imagen 17</b> - Prensa momentos antes de penetrar en la probeta N°2 .....	25
<b>Imagen 18</b> - Probeta N°3 ya ensayada. ....	25
<b>Imagen 19</b> - Curva CBR vs Densidad seca del material granular.....	27
<b>Imagen 20</b> - Ubicación de proyecto Manantiales en la ciudad de Córdoba.....	28
<b>Imagen 21</b> - Proyecto de urbanización Manantiales en detalle. ....	29
<b>Imagen 22</b> - Material pasante del tamiz de 19 mm de la cantera N°1. ....	30
<b>Imagen 23</b> - Curva Humedad vs Densidad seca. ....	31
<b>Imagen 24</b> - Material pasante del tamiz de 19 mm de la cantera N°2. ....	31
<b>Imagen 25</b> - Curva Humedad vs Densidad seca .....	32
<b>Imagen 26</b> - Retenidos por el tamiz de 19 mm de ambas canteras. ....	33
<b>Imagen 27</b> - Cesto utilizado durante el ensayo. ....	34
<b>Imagen 28</b> - Curva CBR vs Densidad seca del material granular de la cantera N°1. ....	37
<b>Imagen 29</b> - Curva CBR vs Densidad seca del material granular de la cantera N°2. ....	38
<b>Imagen 30</b> - Ubicación del predio de CONIFERAL S.A.....	40
<b>Imagen 31</b> - Localización de los distintos ensayos DCP realizados. ....	41
<b>Imagen 32</b> - Espesores de base granular medidos en los distintos DCP realizados.....	42
<b>Imagen 33</b> - Valores de CBR in situ.....	43
<b>Imagen 34</b> - Espesor y número de capas del ensayo DCP N°1 .....	43
<b>Imagen 35</b> - Espesores y número de capas del ensayo DCP N°2 .....	44
<b>Imagen 36</b> - Espesor y número de capas del ensayo DCP N°3 .....	44
<b>Imagen 37</b> - Espesor y número de capas del ensayo DCP N°4 .....	45
<b>Imagen 38</b> - Espesores y número capas del ensayo DCP N°5 .....	45
<b>Imagen 39</b> - Espesores y número de capas del ensayo DCP N°6 .....	46
<b>Imagen 40</b> - Ensayo DCP N°1 realizado sobre "bache".....	46
<b>Imagen 41</b> - Ensayo DCP N°4 y Ensayo DCP N°6.....	47
<b>Imagen 42</b> - Ensayo de Cono de Arena en punto N°1 .....	48
<b>Imagen 43</b> - Problemas de escurrimiento de agua descriptos anteriormente .....	48
<b>Imagen 44</b> - Curvas y entorno granulométrico.....	50

<b>Imagen 45</b> - Curva Humedad-Densidad Seca .....	51
<b>Imagen 46</b> - A la izquierda de la foto se observa al Ligante N°2 y a su derecha el Ligante N°1 .....	53
<b>Imagen 47</b> - Curva granulométrica del material .....	54
<b>Imagen 48</b> - Instrumentos utilizados para realizar este ensayo .....	55
<b>Imagen 49</b> - Determinación del LL del material.....	55
<b>Imagen 50</b> - Pisón y molde de compactación utilizados. ....	57
<b>Imagen 51</b> - Balanza tipo "Roberval" de capacidad de 20 kg y precisión de 1 gr. ....	58
<b>Imagen 52</b> - Juego de pesas de la balanza Roverbal.....	58
<b>Imagen 53</b> - Proceso de saturación del retenido del tamiz N°4.....	59
<b>Imagen 54</b> - Mezcla de Ligante con el pasante del tamiz N°4. ....	59
<b>Imagen 55</b> - Variación de la densidad de la mezcla en función de la humedad. ....	60
<b>Imagen 56</b> - Mezclado y amasado del material granular, ligante y agua correspondiente al 2do punto del ensayo. ....	60
<b>Imagen 57</b> - Variación de la densidad de la mezcla en función de la humedad. ....	61
<b>Imagen 58</b> - Ubicación de Costas de Manantiales .....	63
<b>Imagen 59</b> - Distribución de vías y lotes de Costas de Manantiales. ....	64
<b>Imagen 60</b> - Compactación correspondiente al 2do punto del ensayo.....	65
<b>Imagen 61</b> - Compactación correspondiente al 4to punto del ensayo. ....	65
<b>Imagen 62</b> - Diferencia de aspectos entre material seco (centro), con humedad de 14,5% (izq.) y con humedad de 17,6% (der.).....	66
<b>Imagen 63</b> - Curva Lectura vs Carga de la probeta N°1. ....	77
<b>Imagen 64</b> - Curva Lectura vs Carga de la probeta N°2. ....	77
<b>Imagen 65</b> - Curva Lectura vs Carga de la probeta N°3. ....	78
<b>Imagen 66</b> - Curva CBR vs Densidad seca. ....	78
<b>Imagen 67</b> - Curva Lectura vs Carga de la probeta N°1. ....	86
<b>Imagen 68</b> - Curva Lectura vs Carga de la probeta N°2. ....	86
<b>Imagen 69</b> - Curva Lectura vs Carga de la probeta N°3. ....	87
<b>Imagen 70</b> - Curva CBR vs Densidad seca. ....	87
<b>Imagen 71</b> - Curva Lectura vs Carga de la probeta N°1. ....	90
<b>Imagen 72</b> - Curva Lectura vs Carga de la probeta N°2. ....	90
<b>Imagen 73</b> - Curva Lectura vs Carga de la probeta N°3. ....	91
<b>Imagen 74</b> - Curva CBR vs Densidad seca. ....	91

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> - Tamices, abertura de malla, retenidos y pasantes acumulados del ensayo. ....	15
<b>Tabla 2</b> - Humedades y N° de golpes de ambos puntos relevados.....	16
<b>Tabla 3</b> - Valor de límite líquido obtenido .....	17
<b>Tabla 4</b> - Valores de Peso húmedo, seco, de agua y límite plástico obtenidos .....	18
<b>Tabla 5</b> - Límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad del material granular .....	18
<b>Tabla 6</b> - Diferencias entre Proctor Estándar y Modificado. ....	19
<b>Tabla 7</b> - Variación de la densidad seca en función de la humedad.....	19
<b>Tabla 8</b> - Densidad seca máxima y humedad óptima obtenida durante el ensayo.....	21
<b>Tabla 9</b> - Características de los moldes utilizados. ....	23
<b>Tabla 10</b> - Pesos de probetas logrados durante el ensayo.....	24
<b>Tabla 11</b> - Valores de división, carga, carga corregida, factor de cálculo y CBR de la probeta N°2.....	26
<b>Tabla 12</b> - Valores promedio de CBR, densidad y % de densidad alcanzada.....	26
<b>Tabla 13</b> - Valores de densidad seca y humedad obtenidos del ensayo de compactación. ....	30
<b>Tabla 14</b> - Valores de densidad seca y humedad arrojados durante el ensayo de compactación. ....	32
<b>Tabla 15</b> - Resultados obtenidos del ensayo para el material de la cantera N°1. ....	35
<b>Tabla 16</b> - Valores corregidos de densidad seca máxima y humedad óptima .....	35
<b>Tabla 17</b> - Resultados obtenidos del ensayo para el material de la cantera N°2. ....	36
<b>Tabla 18</b> - Valores de densidad seca máxima y humedad óptima corregidos.....	36
<b>Tabla 19</b> - Resultados arrojados para el material de la cantera N°1.....	37
<b>Tabla 20</b> - Resultados obtenidos de la compactación de probetas. ....	38
<b>Tabla 21</b> - Espesor, DN y CBR in situ de capa granular y subrasante. ....	42
<b>Tabla 22</b> - Valores de Densidad in situ y Humedad natural .....	48
<b>Tabla 23</b> - Límites, granulometría y clasificación H.R.B.....	49
<b>Tabla 24</b> - Valores de Densidad Seca vs Humedad.....	51
<b>Tabla 25</b> - Densidad seca máxima y Humedad óptima del ensayo .....	51
<b>Tabla 26</b> - Grado de compactación para los distintos puntos.....	52
<b>Tabla 27</b> - Retenidos y pasantes acumulados obtenidos del ensayo .....	54
<b>Tabla 28</b> - Humedades y N° de golpes para ambos puntos del ensayo .....	55
<b>Tabla 29</b> - Límite líquido hallado del gráfico anterior.....	56
<b>Tabla 30</b> - Peso húmedo, seco, de agua y LP de la muestra .....	56
<b>Tabla 31</b> - Valores de LL, LP e IP .....	56
<b>Tabla 32</b> - Peso total de la muestra, retenido y pasante del tamiz N°4 y peso del ligante N°1..	59
<b>Tabla 33</b> - Valores de densidad seca y humedad obtenido durante la compactación.....	60
<b>Tabla 34</b> - Valores de densidad seca y humedad obtenido durante la compactación.....	61
<b>Tabla 35</b> - Resultados obtenidos en los ensayos. ....	61
<b>Tabla 36</b> - Variantes establecidas por la norma para realizar el ensayo de compactación.....	64
<b>Tabla 37</b> - Valores de densidad seca para los distintos contenidos de humedad ensayados. ....	66
<b>Tabla 38</b> - Curva de humedad vs densidad seca del suelo ensayado.....	66

## Capítulo N°1: Generalidades

El presente Informe Técnico Final tiene como objetivo principal poner en evidencia las actividades llevadas a cabo por el alumno durante el período correspondiente al desarrollo de la Práctica Supervisada. Dicho período se conformó con un total de 240 horas de actividad, a razón de 4 horas por jornada laboral, de lunes a viernes.

Esta Práctica Supervisada constó de actividades desarrolladas dentro de la empresa consultora OCIR – Ingeniería Vial y de Transporte, la cual realiza tareas relacionadas con obras viales como diseño geométrico de carreteras, ensayos sobre materiales destinados a la construcción de pavimentos, asistencia técnica en proyectos de investigación, control y verificación de obras, etc. A su vez otra parte de las actividades que se describirán en el siguiente informe fueron realizadas en el Laboratorio Vial de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad de Córdoba.

En el siguiente Informe Técnico se pondrán en manifiesto los procedimientos y resultados correspondientes a los distintos ensayos realizados sobre materiales destinados principalmente a la construcción de las distintas capas de componen un pavimento de comportamiento rígido y/o flexible.

Los procedimientos y resultados fueron constantemente supervisados por los ingenieros Miguel Rico y Luciana Vera Cortez, quienes desde el primer momento brindaron su predisposición, experiencia, y conocimientos para afrontar de la mejor manera posible las actividades adjudicadas.

## Capítulo N°2: Plan de Actividades y Objetivos

### 2.1 Plan de Actividades

Las distintas actividades realizadas a lo largo del período correspondiente a la PS, fueron indicadas y supervisadas por los ingenieros de OCIR, de manera que las mismas hicieron énfasis principalmente en:

- Familiarizarse con el ambiente de trabajo, a partir de la observación e identificación de elementos, equipos y materiales necesarios para llevar a cabo los ensayos correspondientes.
- Optimización en cuanto al uso de los distintos elementos, equipos y materiales presentes.
- Supervisión de los procedimientos llevados a cabo en los ensayos, con el objetivo de que los mismos se ajusten a los establecidos por las Normas de Vialidad Nacional.
- Corrección de los resultados obtenidos para cada ensayo con el fin de que estos se aproximen a los valores usuales, donde los mismos fueron aportados por los ingenieros desde su experiencia.
- Mantenimiento y limpieza tanto de la zona de trabajo como de los elementos y equipos utilizados.

### 2.2 Objetivos

#### 2.2.1 Objetivos Generales

Dentro de los objetivos generales que se buscaron alcanzar durante el desarrollo de la PS se pueden mencionar los siguientes:

-Conocimiento de los distintos ensayos necesarios de realizar para determinar características y comportamientos de materiales destinados a la ejecución de bases para pavimentos.

-Conocimiento de los materiales y equipos que se utilizan en el ámbito de la ingeniería vial.

-Aprendizaje en cuanto al correcto desarrollo de los ensayos según las Normas de Vialidad Nacional.

-División de los trabajos asignados en distintas jornadas laborales, siempre teniendo en cuenta los plazos de entrega.

-Elaboración de planillas con los distintos resultados obtenidos en los ensayos, de manera que el cliente pueda interpretarlos de manera clara y consistente.

-Control y verificación de dichos resultados obtenidos.

### **2.2.2 Objetivos Personales**

Desde el punto de vista individual, los objetivos alcanzados durante este período de prácticas se pueden mencionar los siguientes:

- Puesta en práctica de los distintos conocimientos, procedimientos y habilidades adquiridas durante el periodo académico.
- Inserción en la mecánica de trabajo en el ámbito ingenieril.
- Adquisición de experiencia en cuanto al manejo de elementos, equipos, softwares, etc, necesarios para el correcto desarrollo de las actividades.
- Conocimiento de los valores usuales para los distintos materiales ensayados, con el fin de facilitar los procedimientos en futuros ensayos a materiales de similar comportamiento.
- Conocimiento de la magnitud de plazos de entrega de resultados a los distintos clientes.
- Capacidad de asimilar los distintos problemas surgidos en los distintos procedimientos llevados a cabo, de manera de poder afrontarlos de la mejor manera posible.
- Interacción con el demás personal de las obras visitadas.

## Capítulo N°3: Actividades desarrolladas

### 3.1 Introducción

En general a un pavimento se lo puede definir como a una vía de comunicación entre distintas localidades (si hablamos de vías rurales) y/o zonas urbanas (si hablamos de calles urbanas), el cual se encuentra compuesto por dos o más capas constituidas por distintos materiales que se colocan sobre el terreno natural o nivelado, aumentando así su resistencia y garantizando la libre circulación tanto de personas como de vehículos.

Como se citó anteriormente, los pavimentos tanto de carreteras rurales como de vías urbanas están compuestos por distintas capas de espesores variables realizados a base de materiales de diferentes características, los cuales deben cumplimentar con ciertas exigencias establecidas, las cuales son provenientes de pliegos generales y de especificaciones técnicas de las obras.

Generalmente los pavimentos se pueden clasificar en dos grandes grupos de acuerdo con su comportamiento, los cuales son los siguientes:

\*Flexibles: Se denominan así a aquellos pavimentos que se deflectan o flexionan de acuerdo con las cargas que deban soportar. Los mismos están conformados por una serie de capas donde las superiores se realizan a base de mezclas asfálticas (carpeta de rodamiento y base asfáltica) y las inferiores están constituidas por materiales granulares (base, subbase y subrasante).



**Imagen 1** - Sección transversal de un Pavimento Flexible.

\*Rígidos: a diferencia de los anteriores, estos están conformados por una capa superior o losa de hormigón y por debajo de esta se puede colocar (muchas veces no es necesaria) una base de material granular la cual descansa sobre la subrasante.





**Imagen 2** - Sección transversal de un Pavimento Rígido.

Como se muestran en las imágenes anteriores, tanto los pavimentos rígidos como flexibles presentan coincidencias en cuanto a la presencia de ciertas capas, como por ejemplo la subrasante, sub-base granular o base granular.

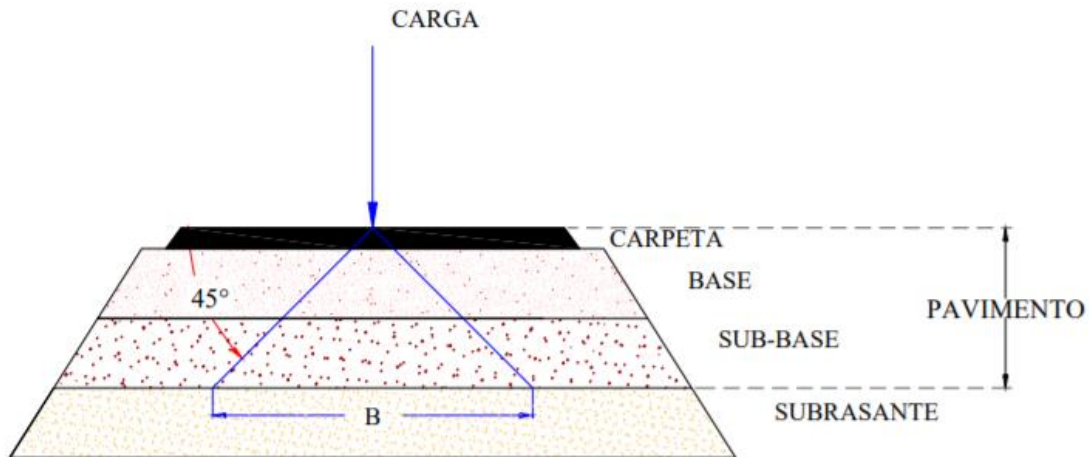
La base y sub-base granular se definen como capas constituidas por una mezcla de áridos y suelos compactados. Pueden estar compuestas por áridos triturados o no tratados. El espesor de estas dependerá de la magnitud del tránsito a soportar por la estructura, pero generalmente sus valores se encuentran comprendidos entre los 10 cm y 30 cm. Por otra parte, la capa denominada como subrasante se puede definir como el suelo que sirve de fundación para todo el paquete estructural de un pavimento.

En la década de 1940, los materiales previstos para la conformación de estas capas solo debían cumplir con requisitos en cuanto a su granulometría, plasticidad, resistencia al corte y susceptibilidad a ciclos de congelamiento y deshielo, pero a partir del final de la década de 1950, se comenzó con ensayos que utilizaban cargas estáticas o de velocidades bajas, cargas dinámicas y ciclos de repetición con el objetivo de representar con mayor aproximación lo que sucede debajo de la superficie de un pavimento en lo que concierne a tensiones y deformaciones.

Dentro de las principales funciones que deben cumplir las bases y sub-bases, en un pavimento del tipo flexible, es la de impedir que los materiales que componen la subrasante y la capas superiores (base asfáltica y carpeta de rodamiento) no se mezclen entre sí, como así también la de transmitir con una intensidad adecuada los esfuerzos producidos por el tránsito hacia la subrasante, mientras que en los rígidos, se encargan de controlar el bombeo de agua bajo las juntas, evitar efectos de congelamiento, mejorar el drenaje, controlar cambios volumétricos y además sirven como mesa de construcción.

La subrasante por su parte se encarga de recibir y resistir las cargas del tránsito que le son transmitidas al pavimento, para luego traspasarlas y distribuirlas de modo adecuado al cuerpo del terraplén.





**Imagen 3** - Trasmisión de esfuerzos en las capas inferiores de un pavimento flexible.

Debido a que dichas funciones son primordiales no solo para tener un correcto funcionamiento a nivel estructural del pavimento, sino también para evitar futuros problemas a la hora de la construcción y mantenimiento, los materiales con los cuales serán constituidas dichas capas deberán ser caracterizados mediante ensayos (pertenecientes a las Normas de Vialidad Nacional) con el fin de determinar la aptitud de estos para poder ser utilizados.

Consecuente a esto, tanto la empresa consultora “OCIR – Ingeniería Vial y de Transporte” como el Laboratorio Vial de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales fueron solicitados para brindar asistencia técnica con el objetivo de principal de determinar la calidad y aptitud de diferentes materiales remitidos a estos establecimientos por parte de otras empresas como EDISUR S.A, Holcim S.A, etc, para que posteriormente estos constituyan las capas descritas anteriormente.

En el siguiente informe se pondrán en evidencia las principales actividades realizadas durante el transcurso de la PS, en las cuales se ejecutaron ensayos viales como análisis granulométrico, plasticidad, compactación, CBR, DCP, etc, con el objetivo de caracterizar a los distintos materiales remitidos y poder brindar, desde el punto de vista técnico, resultados y conclusiones para luego tomar decisiones (por parte de las empresas a cargo de las obras) en cuanto a su utilización o no.

## 3.2 Actividad N°1: Estudio de material granular para construcción de bases de pavimentos.

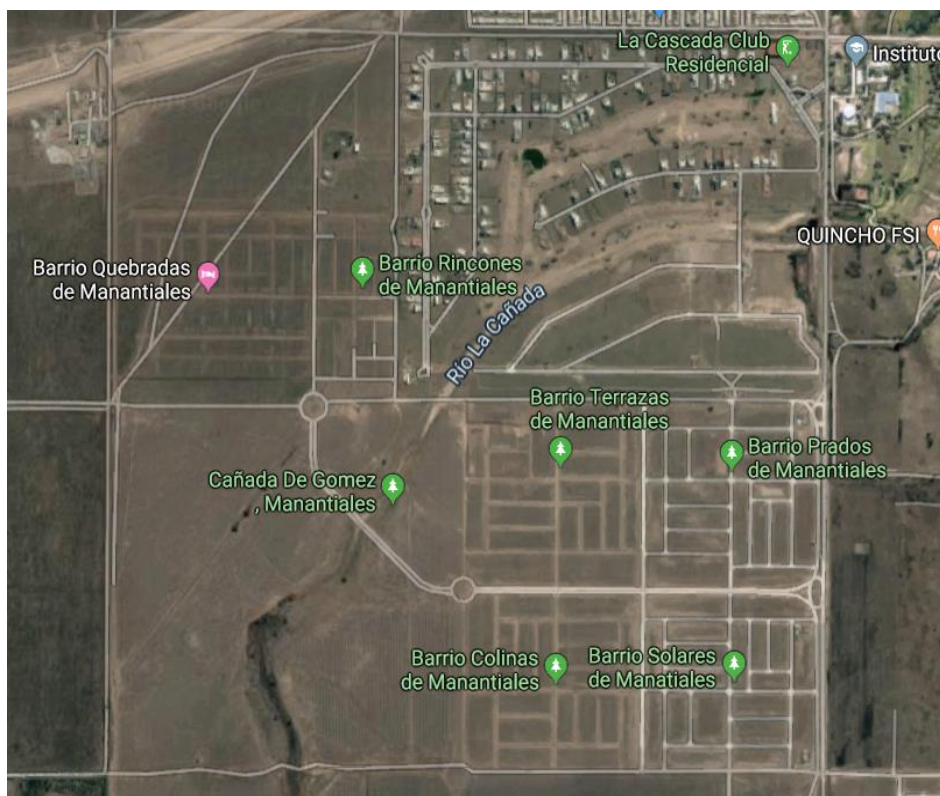
### 3.2.1 Objetivo

La primera de las actividades desarrolladas durante el tiempo transcurrido de la PS, se basó únicamente en una serie trabajos de gabinete realizados en el laboratorio de la empresa OCIR. La empresa EDISUR S.A nos proveyó de un material granular (comúnmente denominado como “0-20”) con el fin de:

- Determinar la calidad y aptitud del material granular destinado a constituir bases granulares de vías que se prevén pavimentar, evaluando la distribución de tamaños de sus partículas, límites de consistencia y por último la densidad máxima que puede llegar a ser alcanzada.

### 3.2.2 Localización

En la imagen N°4 se muestran las ubicaciones de las vías de acceso principales a los barrios Terrazas, Padros, Solares y Colinas de Manantiales, en donde se prevé utilizar este material granular para la conformación de bases de pavimentos rígidos.



**Imagen 4** - Ubicación de barrios pertenecientes al proyecto Manantiales.

### 3.2.3 Trabajos realizados

Como se dijo anteriormente, se realizaron ensayos de identificación o caracterización del material granular en el laboratorio de la empresa consultora OCIR. Los mismos comprendieron de:

- Análisis granulométrico del material.
- Determinación de límites de consistencia (límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad).
- Compactación AASHTO T-180.
- Valor Soporte Relativo e Hinchamiento.

#### 3.2.3.1 Análisis granulométrico (Norma VN-E7-65)

Lo primero que se procedió a realizar, consistió en un análisis granulométrico del material. Este procedimiento tiene como por objetivo principal establecer la distribución porcentual del tamaño de las partículas constituyentes de un material granular, el cual es utilizado generalmente como terraplenes, sub-bases o bases de pavimentos. Dicho ensayo utiliza una serie de tamices, cuya abertura de malla se encuentra normalizada. Su metodología consiste en hacer pasar el material granular a través de los tamices, haciendo que estos retengan partículas de mayor tamaño que la abertura de sus mallas, comenzando con el tamiz de mayor abertura de malla hacia el de menor abertura. Esto se ilustra en la siguiente imagen.



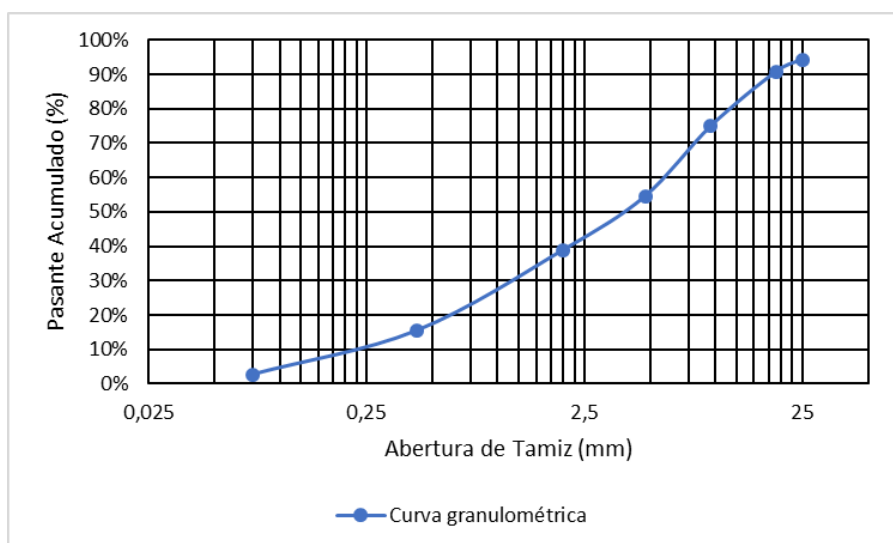
**Imagen 5** - Tamices ordenados de arriba hacia abajo y de derecha a izquierda, desde el de mayor hacia el de menor abertura

Una vez realizado esto se pesan las cantidades de material retenidas por cada uno de los tamices, se calcula el porcentaje retenido con respecto al total de la muestra y por último se grafica la curva granulométrica representativa del material ensayado.

En la tabla N°1 e imagen N°6 se muestran a continuación los resultados obtenidos del análisis granulométrico mencionado anteriormente.

Tamiz	Abertura (mm)	Ret Acum (%)	Pas Acum (%)
1"	25	5,7%	94,3%
3/4"	19	9,1%	90,9%
3/8"	9,5	45,5%	54,5%
N°4	4,75	61,1%	38,9%
N°10	2	84,6%	15,4%
N°40	0,425	97,4%	2,6%
N°200	0,075	99,9%	0,1%

**Tabla 1** - Tamices, abertura de malla, retenidos y pasantes acumulados del ensayo.



**Imagen 6** - Curva granulométrica obtenida

Con los resultados observados en las figuras anteriores, se llegó a la conclusión de que el material granular conocido como “0-20” posee una granulometría bien graduada o cerrada, lo que significa que presenta partículas de todos los tamaños, haciendo que las de menor tamaño cubran los vacíos dejados por los granos de mayor tamaño.

### 3.2.3.2 Límites de consistencia

#### 3.2.3.2.1 Límite Líquido (Norma VN-E2-65)

El límite líquido de un material se define como el porcentaje de humedad, con respecto al peso seco, existente en el límite entre el estado plástico y estado líquido del mismo.

La metodología del ensayo consiste en tomar una muestra de aproximadamente 60 gr, del pasante del tamiz N°40, previamente secado al aire o mediante el uso de estufa para luego humedecerlo con agua destilada. Se mezcla y amasa hasta que llegue a una consistencia tal que al ser depositada en un recipiente y dividida en dos partes, tienda a fluir mediante la aplicación de golpes sobre el recipiente.

Logrado esto se toma una porción de la muestra, se la coloca en la cápsula de bronce del aparato y con la ayuda del acanalador se practica una muesca en su parte central. Se acciona la manivela del mecanismo haciendo que la capsula caiga libremente (desde una altura aproximada de 1 cm) y golpee contra la base a una tasa de 2 golpes por segundo.



**Imagen 7** - Aparato de Casagrande junto con su acanalador

El procedimiento estará terminado cuando se observe que la parte inferior de ambas mitades en las que se dividió la muestra fluyan hasta unirse en una longitud aproximada de 12 mm. Se toma una muestra, se la pesa y posteriormente se la seca en estufa hasta peso constante. Esto se realiza para un número de golpes por debajo y por encima de 25 golpes.

A continuación, en la tabla N°3 se muestran los valores de humedad obtenidos para un numero de golpes menor y mayor a 25.

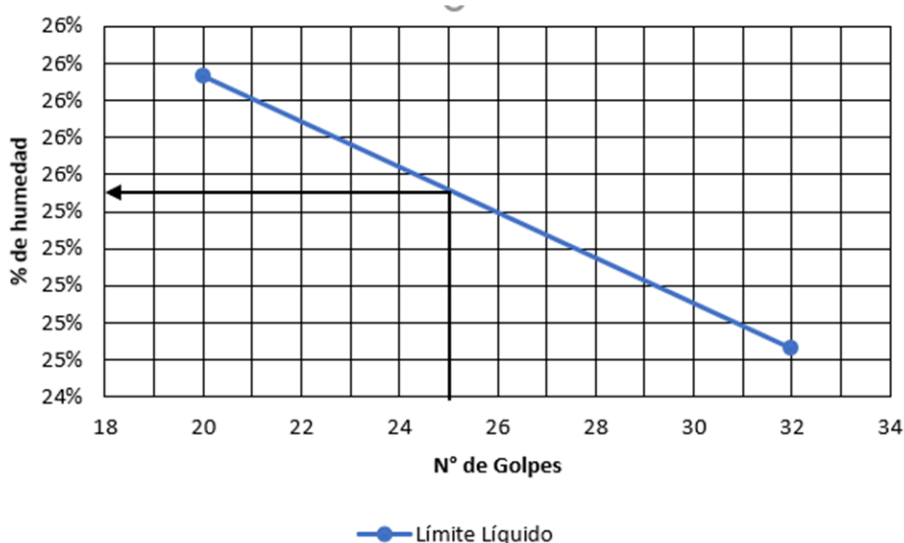
Punto N°	Humedad (%)	N° de golpes
1	26,1%	20
2	24,7%	32

**Tabla 2** - Humedades y N° de golpes de ambos puntos relevados.

Los valores mostrados en la tabla anterior son graficados en un diagrama N°de golpes vs humedad, el cual nos arroja una recta. Se ingreso con un valor de 25



golpes hasta tocar la recta y luego se determinó el porcentaje de humedad que es equivalente al límite líquido del material ensayado.



**Imagen 8** - Diagrama N° de golpes vs % de humedad

LL (%)	N° de golpes
25,5%	25

**Tabla 3** - Valor de límite líquido obtenido

### 3.2.3.3 Límite Plástico e Índice de Plasticidad (Norma VN-E3-65)

#### 3.2.3.3.1 Límite Plástico

De forma similar que, para el límite líquido, el límite plástico de un material se puede definir como el contenido de humedad existente, expresado en porcentaje del peso seco, en el límite entre el estado plástico y el estado sólido del mismo.

Para la determinación del límite plástico, se procede tomando una muestra de aproximadamente 20 gr de material pasante a través del tamiz N°40 (al igual que para el ensayo anterior debe haber sido secado previamente), a la cual se la humedece con agua destilada para posteriormente amasarla hasta que haya sido distribuida en forma uniforme. La consistencia plástica de la masa será la adecuada cuando la misma pueda ser moldeada en pequeñas esferas, sin que la misma quede adherida a la palma de la mano.

Realizado esto, se toma una porción de la masa y se comienza a hacerla rodar por la palma de la mano sobre una superficie, con la presión adecuada y a una velocidad de 80 a 90 impulsos por minuto, con el fin de formar cilindros con diámetro de 3 mm constante a lo largo de toda su extensión.

El ensayo estará terminado cuando los cilindros de material, llegados a los 3 mm de diámetro, presenten en sus superficies grietas y fisuras. Se toman los mismos, se los pesa y luego se los seca en estufa hasta peso constante.

Esto establece el porcentaje de humedad, el cual equivale al límite plástico del material granular.

El límite plástico alcanzado por el material ensayado queda denotado en la siguiente tabla.

Peso Húmedo (gr)	Peso Seco (gr)	Peso de agua (gr)	LP (%)
9,98	8,35	1,63	19,5%

**Tabla 4** - Valores de Peso húmedo, seco, de agua y límite plástico obtenidos



**Imagen 9** - Muestras extraídas del ensayo de LL y cilindros del LP.

### 3.2.3.3.2 Índice de Plasticidad

Se define como la diferencia que se obtiene entre el límite líquido y el límite plástico de un material ensayado.

$$IP = LL - LP$$

Donde:

IP: índice de plasticidad

LL: límite líquido

LP: límite plástico

A modo de cierre, se presenta a continuación los valores correspondientes a los límites de consistencia hallados en estos ensayos realizados.

LL(%)	LP(%)	IP(%)
25,5%	19,5%	6,0%

**Tabla 5** - Límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad del material granular

Como conclusión de estas tareas se puede decir que el material presentó una baja plasticidad, ya que para el mismo primero se procedió a ejecutar el ensayo de límite líquido e inmediatamente después se tomó una porción de la muestra para realizar el ensayo de límite plástico.

### 3.2.3.4 Compactación (Norma VN-E5-93)

Una vez que se terminó de desarrollar tanto el ensayo de análisis granulométrico como el de límites de consistencia, con el material restante aportado por la empresa EDISUR S.A, se procedió a ejecutar el ensayo de compactación. Este tiene como objetivo estudiar la variación de la densidad seca del material en función de distintos contenidos de humedad, cuando es sometido a un esfuerzo de compactación, para luego determinar la densidad seca máxima a la cual el material debe ser compactado en obra a una cierta humedad, denominada como humedad óptima.

La empresa solicitó que este ensayo fuera desarrollado como Proctor Modificado, nombre con el que generalmente se lo conoce al procedimiento AASHTO T-180. Las principales diferencias entre el Proctor Estándar y el Modificado pueden observarse en la siguiente tabla.

Diferencias	Proctor Estándar	Proctor Modificado
∅ del molde (cm)	10,16	15,24
Peso del pisón (Kg)	2,5	4,53
Altura de caída (cm)	30,5	45,7
N° de capas	3	5
N° de golpes	25	56
Densidad Seca lograda	Menor	Mayor
Humedad óptima lograda	Mayor	Menor

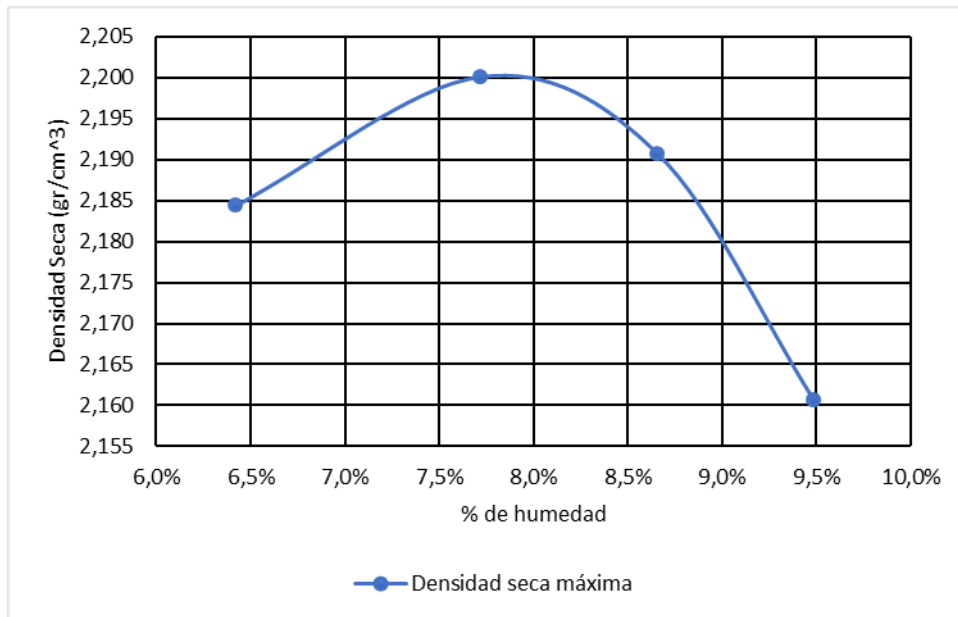
**Tabla 6** - Diferencias entre Proctor Estándar y Modificado.

A continuación, se adjunta la tabla N°7 y la imagen N°10 en donde se puede observar tanto la variación de la densidad seca en función de la humedad. La densidad seca máxima corresponde al mayor valor obtenido durante el ensayo, y no al valor “pico” o “cima” de la curva trazada.

Punto N°	Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	Humedad (%)
1	2,184	6,4%
2	2,200	7,7%
3	2,191	8,7%
4	2,161	9,5%

**Tabla 7** - Variación de la densidad seca en función de la humedad





**Imagen 10** - Curva humedad vs densidad seca

En las siguientes imágenes se muestran las tareas realizadas e instrumentos utilizados para punto N°3 y N°4 del ensayo.



**Imagen 11** - Proceso de compactación del punto N°2



**Imagen 12** - Proceso de compactación del punto N°3



**Imagen 13** - Molde, pisón, cuchara y bandeja utilizada durante el ensayo

La densidad seca máxima corresponde al mayor valor obtenido durante el ensayo, y no al valor “pico” o “cima” de la curva trazada.

Densidad seca máxima (gr/cm <sup>3</sup> )	Humedad óptima (%)
2,200	7,7%

**Tabla 8** - Densidad seca máxima y humedad óptima obtenida durante el ensayo

Por lo tanto, el material granular que será destinado a la construcción de bases para pavimentos, deberá compactarse a una densidad seca máxima de 2,200 gr/cm<sup>3</sup> a una humedad del 7,7%.

### **3.2.3.5 Determinación de Valor Soporte e Hinchamiento (VN-E6-84)**

El Valor Soporte Relativo o también llamado como CBR, se define como la resistencia al punzonado que posee una probeta de suelo, la cual es moldeada bajo ciertas condiciones de densidad y humedad. Este valor se expresa como un porcentaje de la resistencia al punzonado que posee un material de referencia o también llamado patrón.

En lo que respecta al Hinchamiento se define como el aumento porcentual de altura referido a un valor inicial de una probeta de suelo, cuando la misma aumenta se humedad (desde el valor de humedad óptima de compactación) debido a encontrarse en una situación de inmersión.

Lo primero que se procedió a realizar fue un mezclado y posterior cuarteado de la muestra de material granular destinada a ensayar. Siguiendo lo establecido por la Norma de Vialidad Nacional se conformaron dos probetas para cada tipo de energía:

- 2 probetas compactadas en 5 capas de 12 golpes.
- 2 probetas compactadas en 5 capas de 25 golpes.
- 2 probetas compactadas en 5 capas de 56 golpes.

Por lo tanto, luego del mezclado y cuarteado, se tomaron aproximadamente 40 kg de material para confeccionar cada una de las probetas mencionadas anteriormente (6 kg de material aproximadamente se necesitan por cada probeta).

Posterior a esto, se procedió a determinar la humedad natural que tenía el material granular, en una muestra de 1,5 kg. Esto nos dio como resultado que este poseía un 1% de humedad natural.

Del ensayo de compactación desarrollado anteriormente, se estableció una humedad óptima del 7,7%, pero como la muestra ya posee un 1% de humedad natural solamente fue necesario agregar un contenido de humedad del 6,7% y así proceder al moldeado de las probetas para las distintas energías de compactación.

Una vez agregada el agua y alcanzada la uniformidad de la mezcla, se comenzó con el moldeado de las probetas, para cada una de las energías detalladas anteriormente.

En las posteriores imágenes se muestran algunas de las probetas ya conformadas, y cada una con su respectiva pesa de 4,54 kg ejerciendo presión sobre la muestra de suelo. Posteriormente las mismas fueron colocadas dentro de la cámara húmeda del laboratorio de Suelos de la FCEFyN



**Imagen 14** - Probeta moldeada en 5 capas de 25 golpes por cada una.



**Imagen 15** – Primeras 3 probetas conformadas, momentos antes de la inmersión en agua.

En la tabla N°9 se encuentran las características de los moldes utilizados y en la N°10 el peso de la muestra, densidad húmeda, humedad y densidad seca de las anteriores 3 probetas ilustradas en la imagen anterior.

Probeta N°	Molde	Collar	Base	Peso (gr)	Volumen (cm <sup>3</sup> )
1	3	3	13	5119	2114
2	13	7	9	4101	2109
3	12	1	8	4127	2099

**Tabla 9** - Características de los moldes utilizados.



Probeta N°	Muestra + M	Muestra (gr)	Dh (gr/cm <sup>3</sup> )	Ds (gr/cm <sup>3</sup> )
1	9690	4571	2,162	2,008
2	8900	4799	2,275	2,113
3	9110	4983	2,374	2,204

**Tabla 10** - Pesos de probetas logrados durante el ensayo.

Transcurridos los cuatro días que se necesitaron para garantizar la saturación de los seis especímenes, se comenzó con el ensayo de penetración utilizando la prensa del Laboratorio Vial.

Las siguientes imágenes muestran los especímenes saturados, la prensa perteneciente al Laboratorio Vial utilizada y por último algunas de las probetas ya ensayadas.



**Imagen 16** - Probeta N°1 recientemente retirada de la cámara húmeda



**Imagen 17** - Prensa momentos antes de penetrar en la probeta N°2



**Imagen 18** - Probeta N°3 ya ensayada.

Realizada la prueba de penetración a los seis especímenes y tomadas las lecturas del aro dinamométrico al momento de la penetración para 0,025”, 0,05”, 0,075”, 0,1”, 0,2”, 0,3” y 0,4”, se procedió a determinar la carga que actuó para cada una de ellas y posteriormente determinar el CBR del material granular para cada tipo de energía.

En la tabla siguiente se muestran los valores obtenidos para la probeta N°2 (25 golpes) durante el ensayo de penetración como también su CBR final.

Molde N°13 = 25 golpes	Penetración (pulgadas)						
	0,025	0,05	0,075	0,1	0,2	0,3	0,4
División observada (div)	6	12	17	21	38,5	53,5	69
Carga (kg)	84,7	169,4	240,0	296,5	543,6	755,4	974,3
Carga corregida (kg)	-	-	-	296,5	543,6	-	-
Factor de calculo (1/kg)	-	-	-	0,0738	0,0492	0,0389	0,0321
CBR (%)	-	-	-	22	27	-	-
CBR adoptado (%)	-	-	-	27		-	-

**Tabla 11** - Valores de división, carga, carga corregida, factor de cálculo y CBR de la probeta N°2

También es necesario aclarar que para este caso no se tomó nota del hinchamiento sufrido por parte de las probetas al estar en inmersión, ya que la empresa EDISUR S.A únicamente solicitó realizar el ensayo de penetración.

A modo de cierre se presentan los valores promedio de CBR, densidad y el porcentaje de densidad máxima alcanzado. También se presenta la curva de CBR vs Densidad Seca.

N° de golpes	CBR (%)	Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )	% de Densidad
56	39	2,203	100
25	27	2,132	96,9
12	9	2,005	91,1

**Tabla 12** - Valores promedio de CBR, densidad y % de densidad alcanzada.

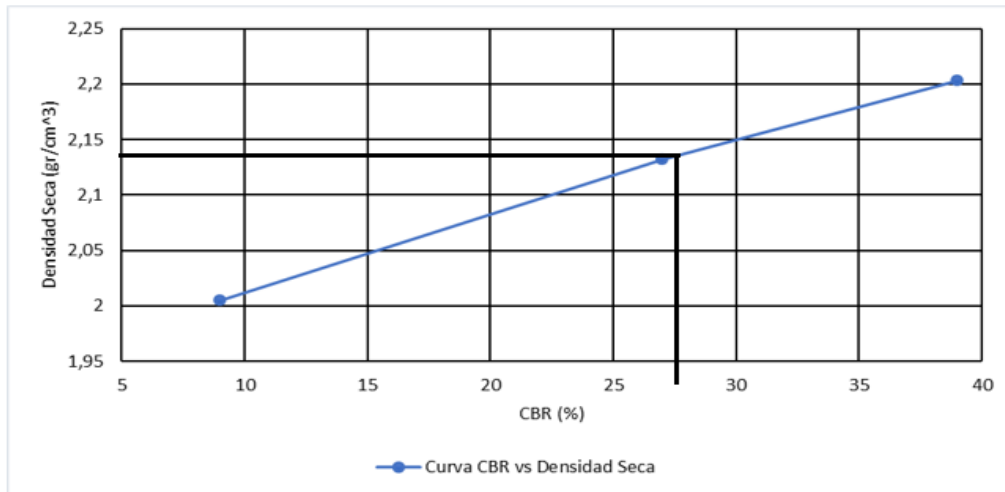


Imagen 19 - Curva CBR vs Densidad seca del material granular.

### 3.2.4 Conclusiones

Como conclusión se determinó que este material granular denominado comúnmente como “0-20” aportado por la empresa EDISUR S.A posee las características adecuadas, en cuanto a granulometría y plasticidad, para la conformación de bases de pavimentos ya que, a partir de los resultados obtenidos en ambos ensayos y haciendo uso de la clasificación de suelos H.R.B, nos da como resultado que es un material perteneciente a la clase A-1-a, donde estos son utilizados para este fin pero en contrapartida no cumple con los requerimientos establecidos por la Municipalidad de Córdoba, los cuales establecen un mínimo de CBR igual a 80% para el 97% de la densidad máxima alcanzada en el ensayo de compactación. Como solución a este problema se podría optar por la utilización de otro material que cumpla con la condición establecida anteriormente, incorporar algún ligante (cemento o cal) con el fin de realizar un mejoramiento de las propiedades del material o aumentar el espesor de la base granular.

*\*Los procedimientos de todos los ensayos realizados en esta actividad se encuentran en la Normas de Vialidad Nacional, las cuales se ubican en el apéndice al final de este informe.*

*\*Todos los resultados obtenidos tanto durante como después de los ensayos se encuentran en las planillas de cálculo del anexo correspondiente a esta actividad.*



### 3.3 Actividad N°2: Elección de material para conformación de base granular de pavimentos flexibles.

#### 3.3.1 Objetivo

Similar al caso anteriormente estudiado, la empresa EDISUR S.A proveyó al Laboratorio Vial de la FCEFyN dos materiales granulares (0-20), ambos provenientes de canteras distintas con el fin de determinar cuál es el más apto, desde el punto de vista técnico, para la conformación de bases granulares de pavimentos flexibles.

#### 3.3.2 Localización

La obra en donde se prevé la utilización de alguno de estos materiales para la creación de bases granulares de pavimentos se encuentra en Manantiales, más precisamente en Colinas y Terrazas de Manantiales, ubicados al suroeste de la Ciudad de Córdoba capital.



**Imagen 20** - Ubicación de proyecto Manantiales en la ciudad de Córdoba.

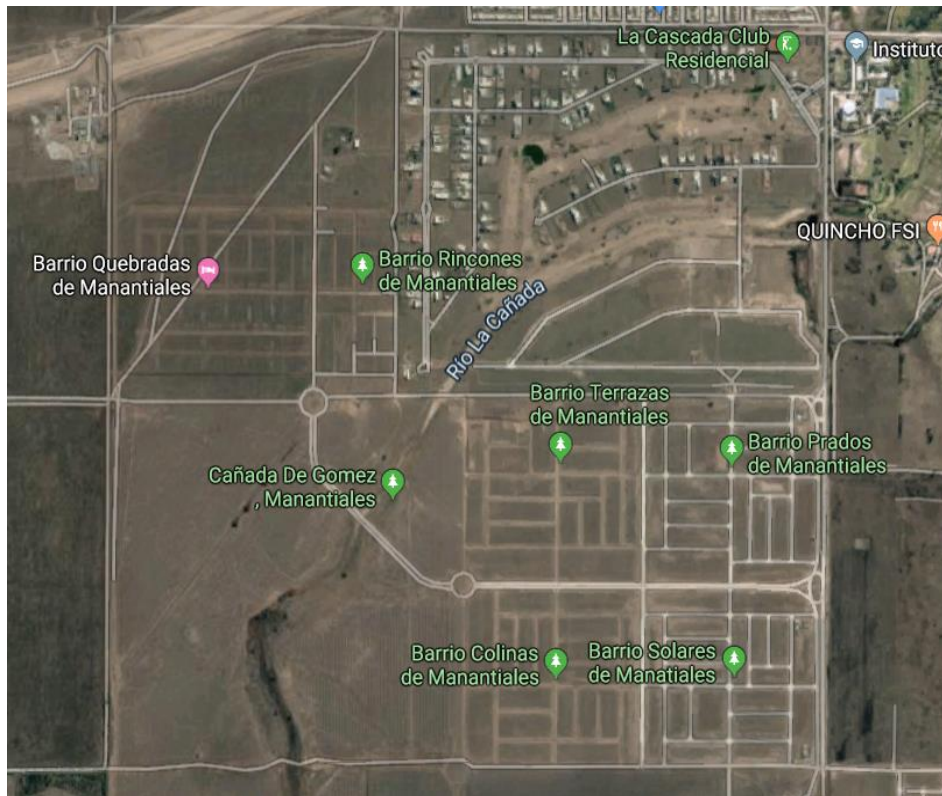


Imagen 21 - Proyecto de urbanización Manantiales en detalle.

### 3.3.3 Trabajos realizados

A diferencia de la actividad anterior para este caso solo se realizaron el ensayo de compactación AASHTO T-180 y posteriormente el ensayo de penetración con el fin de determinar el valor de CBR que posee cada uno de los materiales aportados y por consiguiente determinar si estos reúnen las características apropiadas para la conformación de bases. Posteriormente la empresa, deberá realizar un análisis económico sobre cuál de los dos materiales es más factible de utilizar.

#### 3.3.3.1 Compactación (Norma VN-E5-93)

La empresa EDISUR S.A solicitó que se ejecutara el ensayo de compactación Proctor Modificado o variante V de la Norma de Vialidad Nacional en ambos materiales. La diferencia con respecto a la compactación realizada en la actividad anterior fue que los valores de densidad seca máxima y humedad optima debieron ser corregidos por la influencia del material granular de mayor tamaño (retenido del tamiz de  $\frac{3}{4}$ " o 19 mm) presente tanto en el material de la cantera N°1 como en el de la cantera N°2 ya que, como lo expresa la norma en uno de sus párrafos, cuando el retenido de dicho tamiz es menor al 15% del peso total de la muestra se deberán corregir ambos valores por la influencia de este material retenido.

### 3.3.3.1.1 Material de Cantera N°1

El material granular debió ser tamizado únicamente a través del tamiz de 19 mm con el fin de establecer el porcentaje de partículas mayores a dicha medida que se encontraban en la muestra para posteriormente corregir los valores de densidad seca y humedad óptima.

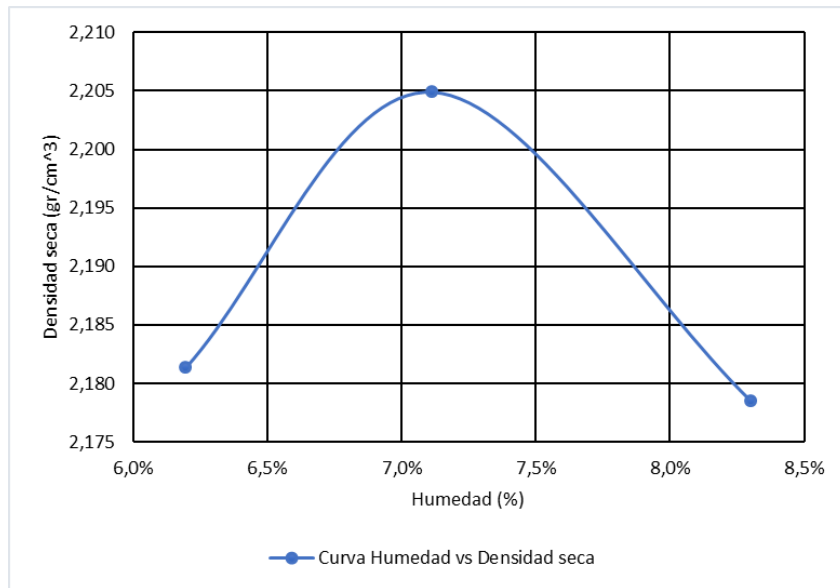
El material mayor a 19 mm (7,2% de la muestra) fue removido de la muestra y se procedió a realizar la compactación con el material pasante del tamiz de 19 mm, cuyos valores se observan en la siguiente tabla e imagen.



**Imagen 22** - Material pasante del tamiz de 19 mm de la cantera N°1.

Punto N°	Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	Humedad (%)
1	2,181	6,2
2	2,205	7,1
3	2,179	8,3

**Tabla 13** - Valores de densidad seca y humedad obtenidos del ensayo de compactación.



**Imagen 23** - Curva Humedad vs Densidad seca.

Por lo tanto, de los resultados mostrados anteriormente el material se logró compactar a una densidad seca máxima de 2,205 gr/cm<sup>3</sup> a una humedad óptima de 7,1%.

### 3.3.3.1.2 Material de Cantera N°2

De la misma manera se procedió con la muestra de la cantera N°2, arrojando un 15,4% de partículas retenidas por el tamiz de ¾". Este porcentaje no se tuvo en cuenta a la hora de la compactación.



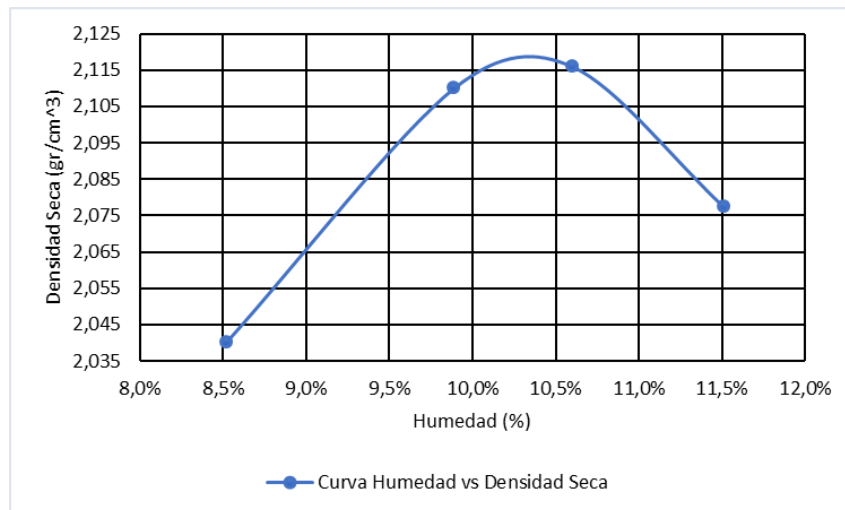
**Imagen 24** - Material pasante del tamiz de 19 mm de la cantera N°2.



Los resultados de la compactación se observan en las siguientes figuras.

Punto N°	Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	Humedad (%)
1	2,040	8,5
2	2,110	9,9
3	2,116	10,6
4	2,077	11,5

**Tabla 14** - Valores de densidad seca y humedad arrojados durante el ensayo de compactación.



**Imagen 25** - Curva Humedad vs Densidad seca

Para el material proveniente de la cantera N°2 se logró una densidad seca máxima de 2,116 gr/cm<sup>3</sup> para una humedad de 10,6%

### 3.3.3.2 Peso específico aparente y absorción de agregados pétreos gruesos (VN-E13-67)

La presente norma establece los procedimientos que se deben llevar a cabo con el objetivo de determinar 4 valores:

- **Peso específico aparente (P.E.A):** relación entre el peso de un volumen de material seco a una temperatura dada y el peso de igual volumen de agua a esa temperatura.
- **Peso específico del agregado seco (P.E.A.S):** relación entre el peso de un volumen de material seco a una temperatura dada y el peso de igual volumen de agua estando el material en condición de saturado a superficie seca.
- **Peso específico del agregado saturado (P.E.A.Sat):** relación entre el peso saturado a superficie seca de un volumen de material a una temperatura dada y el peso de igual volumen de agua.

- **Absorción (abs):** Es el volumen de vacíos permeables del material expresado en porcentaje del peso en el aire secado a estufa a 105°C – 110 °C.

A grandes rasgos el ensayo consistió en tomar el porcentaje de material retenido por el tamiz de 19 mm (previamente lavado) y sumergirlo en agua durante un período de 24 horas con el objetivo de lograr la saturación de la mayor cantidad de vacíos que presentan en su formación.



**Imagen 26** - Retenidos por el tamiz de 19 mm de ambas canteras.

Transcurrido este período, se secan los agregados previamente saturados con la ayuda de un paño húmedo a fin de lograr llevarlos al estado saturado a superficie seca y se los pesó.

Posteriormente luego de unir el cesto de alambre a la balanza Roverbal como muestra la figura de Norma de Vialidad Nacional, se determinó el peso sumergido en agua de este. Los agregados pétreos en estado saturado a superficie seca fueron introducidos dentro del cesto para luego sumergirlos en agua y así obtener su peso sumergido. Por último, se los retiró del agua y fueron secados en estufa a 110°C hasta peso constante, el cual también fue anotado.



**Imagen 27** - Cesto utilizado durante el ensayo.

Con los pesos registrados anteriormente y expresiones matemáticas que se mostraran más adelante, se nos permitió ajustar los valores de densidad seca máxima y humedad óptima obtenidos de los ensayos de compactación realizados sobre ambos materiales granulares.

Tanto el instrumental utilizado como los pasos seguidos se encuentran detallados en la correspondiente Norma de Vialidad Nacional ubicada en el apéndice de este informe.

#### **3.3.3.2.1 Material de Cantera N°1**

Como se mencionó anteriormente, el retenido por el tamiz de 19 mm constituyó un 7,2% del peso total del material que se extrajo como muestra, por lo tanto, al ser menor que el 15% establecido por la norma se debió realizar el ensayo con el objetivo de determinar el peso específico aparente y absorción de estos agregados de gran diámetro para posteriormente realizar las correcciones adecuadas.

Los resultados del ensayo se muestran en la siguiente tabla.

Muestra (gr)	24920
Retenido Tamiz 3/4"	1795
% Retenido T 3/4"	7,2%
Pasante Tamiz 3/4"	23125
% Pasante T 3/4"	92,8%
Ps (gr)	1740
Psss (gr)	1752
Cesto vacío sum (gr)	478
Cesto + Muestra sum (gr)	1550
Pi (gr)	1072
P.E.A	2,605
P.E.A.S	2,559
P.E.A.Sat	2,576
Abs (%)	0,7%

**Tabla 15** - Resultados obtenidos del ensayo para el material de la cantera N°1.

Obtenidos estos valores, la densidad seca máxima y humedad óptima corregida se obtienen con las siguientes expresiones:

$$D_{sc} = \frac{100}{\frac{G}{d_g} + \frac{F}{D_s}}$$

$$H_c = \frac{G * Abs + F * H}{100}$$

Donde:

G: Porcentaje retenido por el tamiz de 19 mm

F: Porcentaje pasante del tamiz de 19 mm

dg: Peso específico del material retenido por el tamiz de 19 mm en condición saturado a superficie seca

Ds: Densidad seca máxima obtenida del ensayo de compactación

Abs: Porcentaje de humedad absorbida por el material retenido por el tamiz de 19 mm en condición saturada a superficie seca

H: humedad óptima alcanzada durante el ensayo de compactación

Densidad seca máxima corregida (gr/cm <sup>3</sup> )	Humedad óptima corregida (%)
2,228	6,7

**Tabla 16** - Valores corregidos de densidad seca máxima y humedad óptima



Finalizando, la presencia de material granular de gran tamaño hizo que aumentara la densidad seca máxima y disminuyera la humedad óptima del material.

### 3.3.3.2.2 Material de Cantera N°2

El material extraído de la cantera N°2 presento un porcentaje mayor de retenido del tamiz de 19 mm (15,4%, el doble con respecto al material de la cantera N°1) por lo tanto se debió realizar este ensayo también arrojando los siguientes resultados.

Muestra (gr)	22910
Retenido Tamiz 3/4"	3525
% Retenido T 3/4"	15,4%
Pasante Tamiz 3/4"	19385
% Pasante T 3/4"	84,6%
Ps (gr)	3470
Psss (gr)	3530
Cesto vacío sum (gr)	478
Cesto + Muestra sum (gr)	2638
Pi (gr)	2160
P.E.A	2,649
P.E.A.S	2,533
P.E.A.Sat	2,577
Abs (%)	1,7%

**Tabla 17** - Resultados obtenidos del ensayo para el material de la cantera N°2.

Densidad seca máxima corregida (gr/cm <sup>3</sup> )	Humedad óptima corregida (%)
2,176	9,2

**Tabla 18** - Valores de densidad seca máxima y humedad óptima corregidos.

De igual manera que para el material proveniente de la cantera N°1, el material granular retenido por el tamiz de ¾" produce un aumento en la densidad seca máxima y una disminución considerable de la humedad óptima alcanzados en el ensayo de compactación T-180.

### 3.3.3.3 Determinación de Valor Soporte e Hinchamiento (VN-E6-84)

Posteriormente se ejecutó el ensayo de penetración sobre probetas realizadas con material granular de ambas canteras. Como lo establece la norma, se necesitan compactar 6 especímenes (2 por cada tipo de energía a densidad seca

máxima y humedad óptima obtenida durante el ensayo de compactación), luego estos fueron sumergidos dentro de una cámara húmeda durante 4 días a fin de concretar la completa saturación del material granular y para, posterior a esto, ser penetrados con el uso de la prensa a fin de determinar su resistencia.

También es necesario aclarar que, al igual que en la actividad anterior, no se tomaron registros sobre la variación en altura de los especímenes.

A continuación, se muestran los valores promedio que se hallaron durante y después de la ejecución del ensayo.

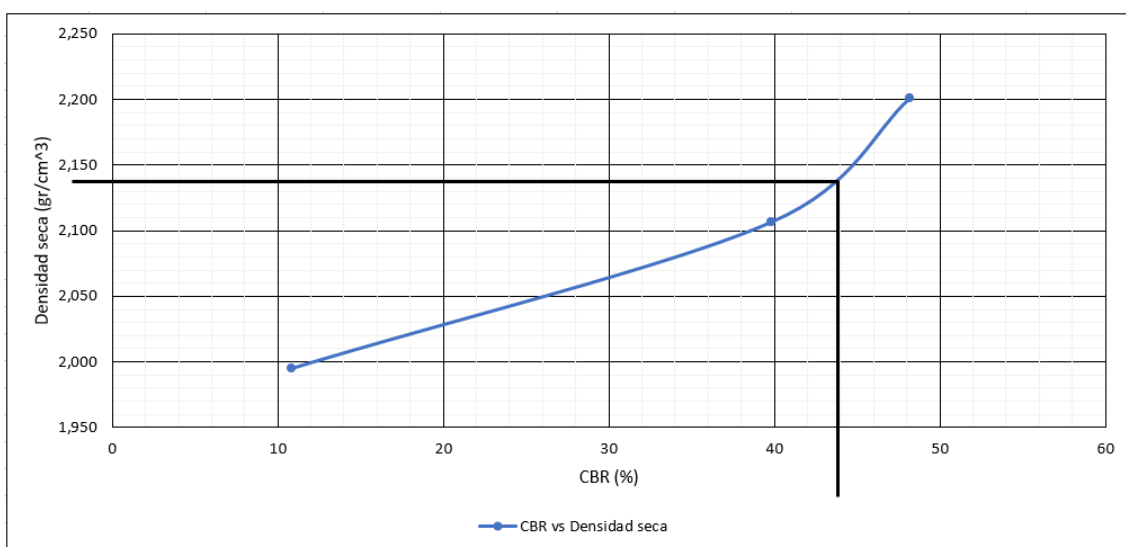
### 3.3.3.3.1 Material de Cantera N°1

En la siguiente tabla se encuentran los valores promedio encontrados luego de la compactación de las probetas cilíndricas.

N° de golpes	Densidad húmeda (gr/cm <sup>3</sup> )	Humedad (%)	Densidad seca (gr/cm <sup>3</sup> )	Comp. Relativa (%)	CBR (%)
56	2,35	6,8	2,201	99,8	48
25	2,25	6,7	2,106	95,5	40
12	2,13	6,7	1,995	90,5	11

**Tabla 19** - Resultados arrojados para el material de la cantera N°1.

Las lecturas tomadas durante el ensayo de penetración se encuentran en las planillas de cálculos del anexo correspondiente a la actividad N°2. A su vez en la misma sección se encuentran las curvas de Lectura vs Carga arrojadas por el ensayo con sus correcciones ya realizadas.



**Imagen 28** - Curva CBR vs Densidad seca del material granular de la cantera N°1.

Como se puede observar en el gráfico anterior de CBR vs Densidad seca, el material granular de la cantera N°1, para un 97% de la densidad seca máxima lograda en el ensayo de compactación alcanzó un CBR de aproximadamente 44%, hace que el material sea apto para la constitución de sub-bases tanto de pavimentos rígidos como de flexibles.

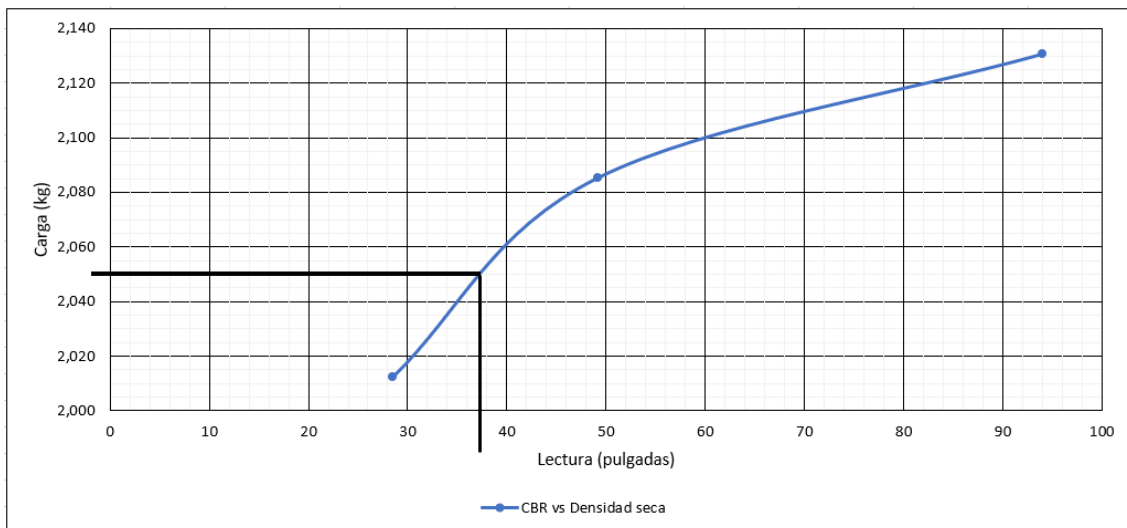
### 3.3.3.3.2 Material de Cantera N°2

El material proveniente de la cantera N°2 fue ensayado de la misma manera que el anterior, obteniendo los siguientes resultados.

N° de golpes	Densidad húmeda (gr/cm <sup>3</sup> )	Humedad (%)	Densidad seca (gr/cm <sup>3</sup> )	Comp. Relativa (%)	CBR (%)
56	2,35	10,3	2,131	100,7	94
25	2,30	10,1	2,085	98,5	49
12	2,22	10,3	2,012	95,1	28

**Tabla 20** - Resultados obtenidos de la compactación de probetas.

En el anexo correspondiente a esta actividad se encuentran las planillas de cálculo con la información de cada uno de los especímenes ensayados.



**Imagen 29** - Curva CBR vs Densidad seca del material granular de la cantera N°2.

El material de la cantera N°2 a pesar de presentar un CBR de aproximadamente 94%, para el caso de una energía de compactación con 56 golpes, se pudo observar que tampoco cumple con los lineamientos establecidos para poder conformar bases granulares de pavimentos.

### 3.3.4 Conclusiones

Partiendo de los resultados arrojados por el ensayo de compactación, para el material proveniente de la cantera N°1 se obtuvieron valores densidad seca máxima y humedad óptima considerados como normales para los “0-20”.

A primera vista el material de la cantera N°2 posee una granulometría abierta ya que contiene mucha cantidad de partículas mayores a 19 mm y gran porcentaje de finos, lo que consecuentemente hace que la humedad óptima aumente y disminuya la densidad máxima que puede llegar a alcanzar.

En cambio, tomando los resultados obtenidos del ensayo de valor soporte, el CBR del material granular de la cantera N°2 resultó mayor que su homónimo de la cantera N°1, sin embargo, ninguno de los dos cumple con los requerimientos establecidos por la Municipalidad de Córdoba nombrados en el capítulo anterior (80% de CBR para un 97% de la densidad seca máxima).

De esta manera se pudo llegar a la conclusión de que los mismos, en la mayoría de los casos, no satisfacen los requisitos para la conformación de bases de pavimentos, cuando se los pretende utilizar en su estado natural. Siempre es necesario, por ejemplo, la modificación de su estructura granular con la adición de agregados pétreos a fin de lograr aumentar su CBR, aumentar el espesor de la capa granular, utilizar otro tipo de material cuyas características cumplan con los requisitos, etc

*\*Los procedimientos de todos los ensayos realizados en esta actividad se encuentran en la Normas de Vialidad Nacional, las cuales se ubican en el apéndice al final de este informe.*

*\*Todos los resultados obtenidos tanto durante como después de los ensayos se encuentran en las planillas de cálculo del anexo correspondiente a esta actividad.*

### 3.4 Actividad N°3: Estudio de materiales presentes para acceso a predio de CONIFERAL S.A.C.I.F en Villa Allende.

#### 3.4.1 Objetivo

Las actividades desarrolladas tuvieron el siguiente objetivo:

- Evaluar las propiedades de los materiales presentes como así también de las capas que conforman las vías de acceso al predio, tales como calidad, homogeneidad y resistencia.

#### 3.4.2 Localización

Los trabajos fueron realizados en la localidad de Villa Allende, Provincia de Córdoba, sobre calle Calamuchita. Esta vía es la considerada como el acceso al predio de la empresa CONIFERAL S.A.

En la siguiente imagen se observa la ubicación y extensión de la calle Calamuchita.

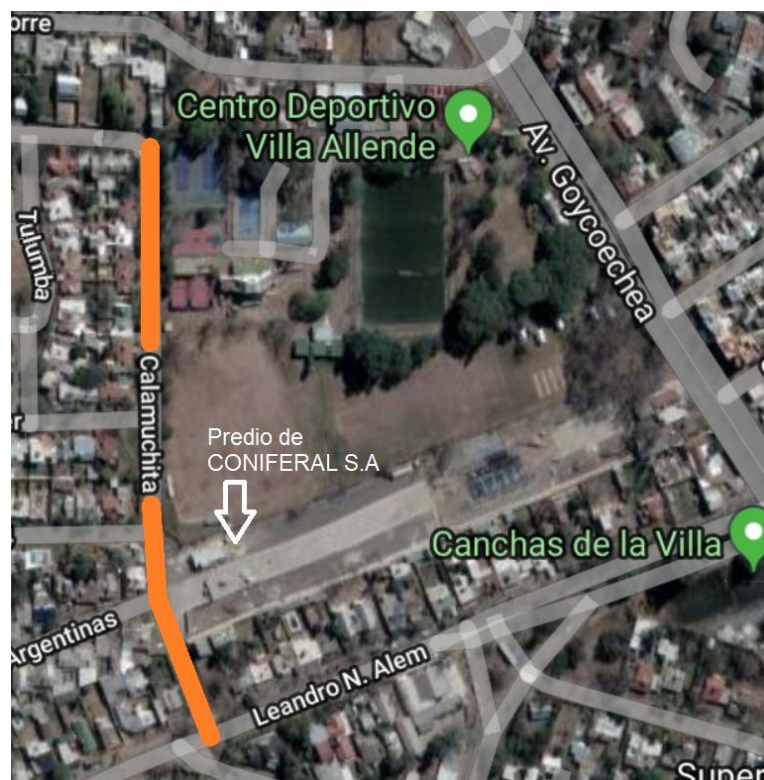


Imagen 30 - Ubicación del predio de CONIFERAL S.A

#### 3.4.3 Trabajos realizados

Con el fin de alcanzar el objetivo planteado, se realizaron trabajos de campo en la localidad de Villa Allende y trabajo de gabinete en la empresa OCIR, los cuales se presentan a continuación.



### 3.4.3.1 Trabajos de campo

#### 3.4.3.1.1 Ensayos DCP (Penetrómetro Dinámico de Cono)

El Dynamic Cone of Penetration (DCP por sus siglas) o mejor conocido como Penetrómetro Dinámico de Cono es un equipo que operado manualmente, permite evaluar la resistencia que posee un material a ser penetrado por un cono de 20 mm de diámetro con 60° de ángulo de ataque. También nos permite determinar el grado de heterogeneidad y la uniformidad de compactación de una sección de material.

El ensayo utiliza la energía producida por una masa de 8 kg de peso, la cual se deja caer libremente desde una altura de 575 mm. El operador eleva la masa hasta su tope para luego dejarla caer haciendo que la misma golpee contra el yunque y así lograr que el cono penetre en el material. Luego la resistencia a la penetración que presenta el material se mide en términos de una tasa penetración dinámica (mm/golpe), valor que fue utilizado para estimar el CBR in-situ a través de una correlación apropiada.

Esta resistencia dependerá de la densidad relativa y del perfil del material penetrado, ya que el valor de la tasa de penetración varía con la profundidad debido principalmente a los cambios de densidad y/o resistencia, los cuales se deben a los cambios de material o de grado de compactación en la sección penetrada.

#### Puntos relevados.

Se realizaron 6 ensayos DCP a lo largo de vía principal de acceso al predio de CONIFERAL S.A, donde los mismos se realizaron según la distribución que muestra la siguiente imagen.

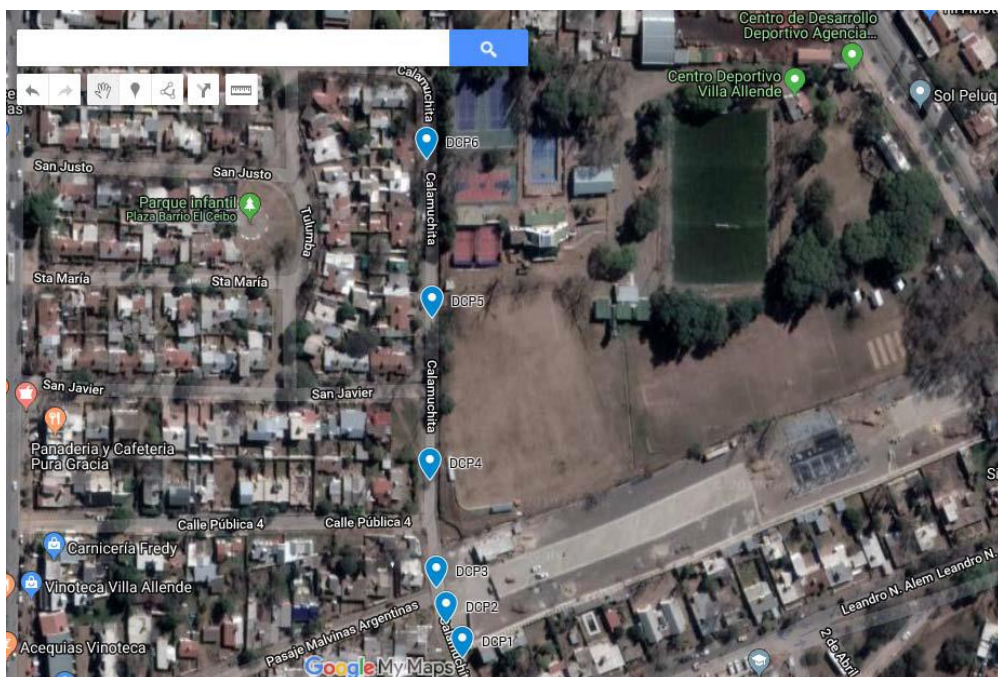


Imagen 31 - Localización de los distintos ensayos DCP realizados.

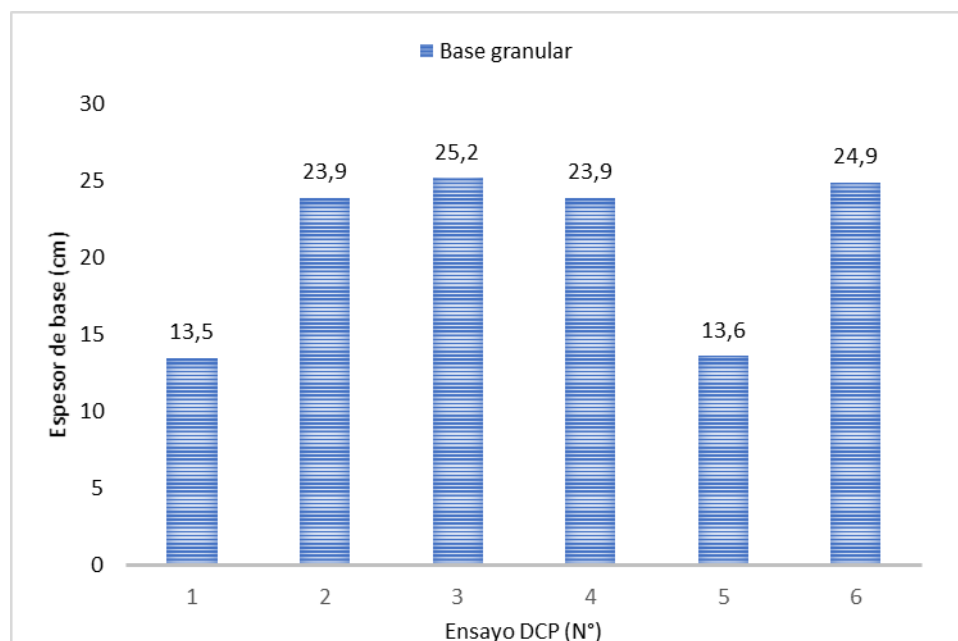


De los 6 ensayos realizados, 4 de ellos (DCP N°1, N°4, N°5 y N°6) pudieron alcanzar una profundidad de entre 70 cm y 80 cm, mientras que para los ensayos DCP N°2 y N°3 alcanzaron una profundidad de aproximadamente 25 cm, debido a que el cono de penetración se encontró durante su recorrido con materiales (gravas o piedras) que impedían su penetración y por lo tanto generaban el rebote del equipo,

Como se dijo anteriormente, con este ensayo se logró determinar los espesores de las capas que conforman la sección penetrada y además determinar una tasa de penetración, la cual se correlacionó para obtener el valor de CBR in-situ. Dichos resultados se observan en la Tabla N°21.

Ensayo	Base granular			Subrasante	
	Espesor (cm)	DN (mm/golpe)	CBR (%)	DN (mm/golpe)	CBR (%)
DCP 1	13,5	4,8	57	38,7	6
DCP 2	23,9	3,9	73	-	-
DCP 3	25,2	5,1	65	-	-
DCP 4	23,9	2,4	121	17,6	15
DCP 5	13,6	7,3	37	28,3	9
DCP 6	24,9	4,5	62	13,3	20

**Tabla 21** - Espesor, DN y CBR in situ de capa granular y subrasante.



**Imagen 32** - Espesores de base granular medidos en los distintos DCP realizados.

Con los valores aportados por la tabla N°21 se estimó que el espesor promedio de la base granular corresponde a un valor de 20,8 cm. De la misma forma se pudo llegar a un valor de tasa de penetración promedio de 4,53 mm/golpe para

la capa granular y un valor de 26,8 mm/golpe para la subrasante. Con la tasa de penetración que se obtuvo de los distintos DCP, se procedió a estimar el valor de CBR in situ para ambas capas mostrados en la tabla N°21. La correlación utilizada corresponde al Transport Research Laboratory (Reino Unido), la cual se expresa a continuación.

$$\text{Log}_{10}(\text{CBR in situ}) = 2,48 - 1,057\text{Log}_{10}(\text{DN})$$

Con lo comentado anteriormente, la imagen N°33 muestra los valores de CBR in situ de la base granular y subrasante.

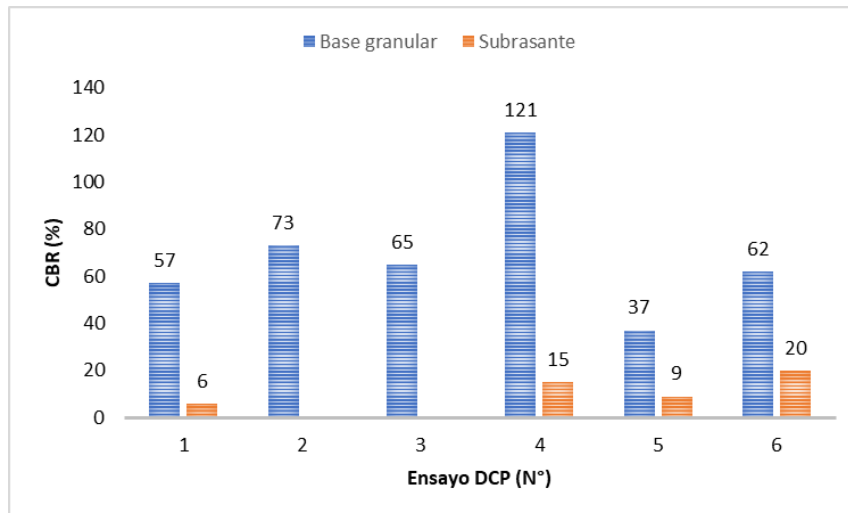


Imagen 33 - Valores de CBR in situ

Los valores arrojados por los ensayos fueron procesados mediante el uso del software UK DCP 3.1.

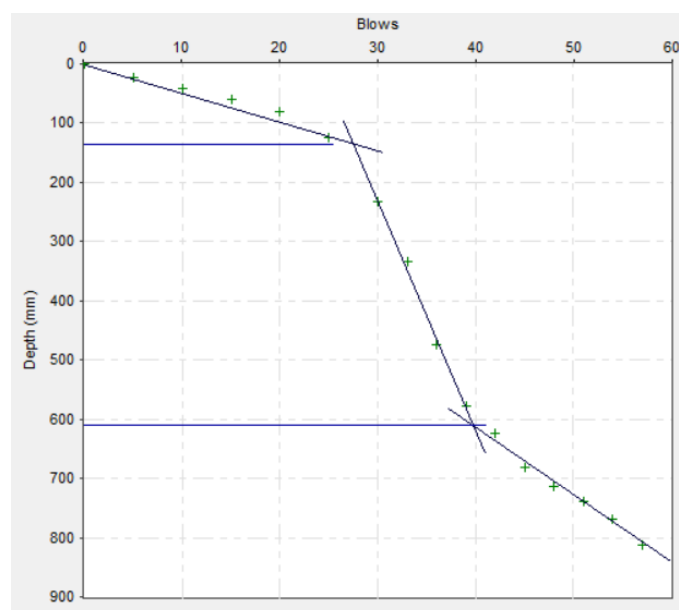
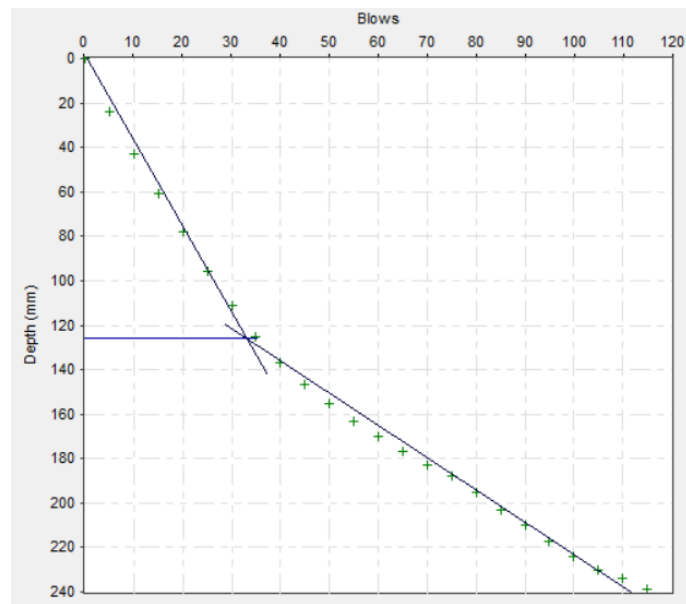
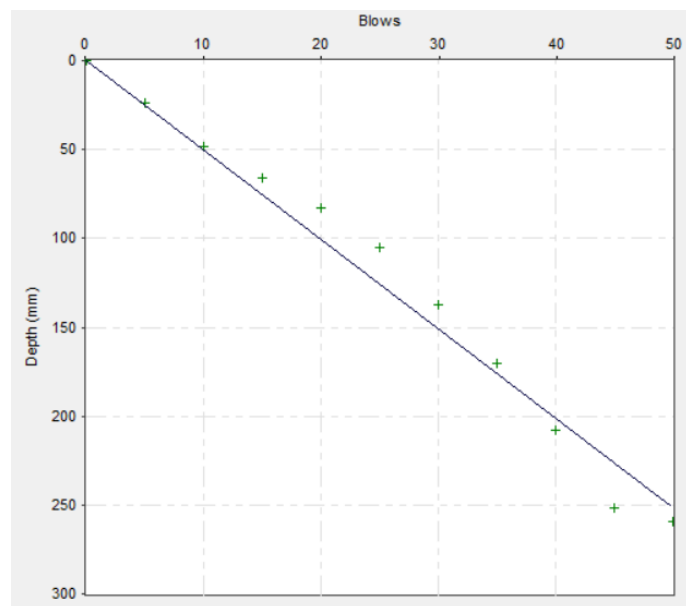


Imagen 34 - Espesor y número de capas del ensayo DCP N°1



**Imagen 35** - Espesores y número de capas del ensayo DCP N°2



**Imagen 36** - Espesor y número de capas del ensayo DCP N°3

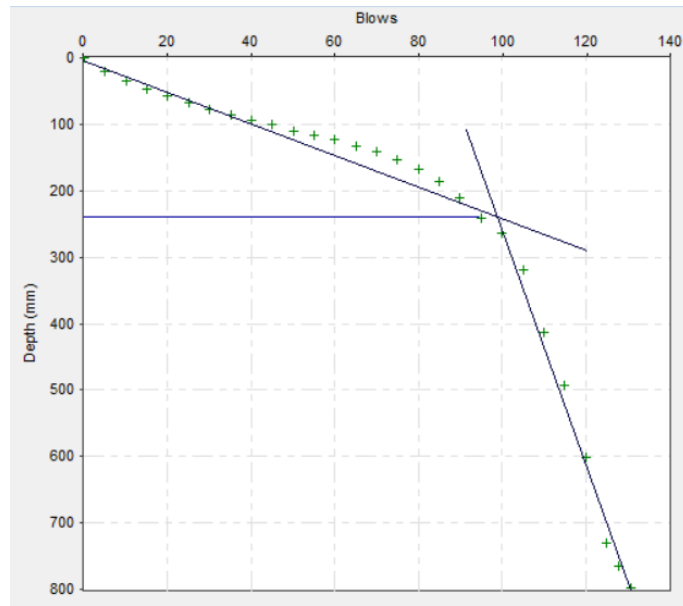


Imagen 37 - Espesor y número de capas del ensayo DCP N°4

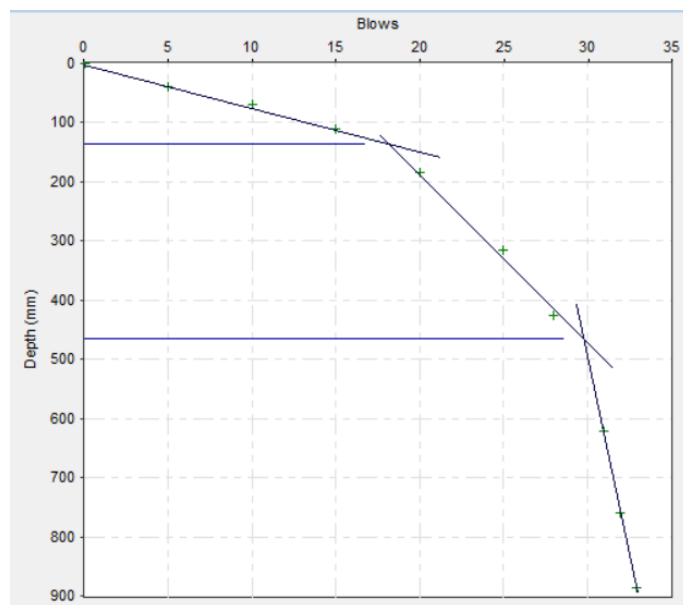
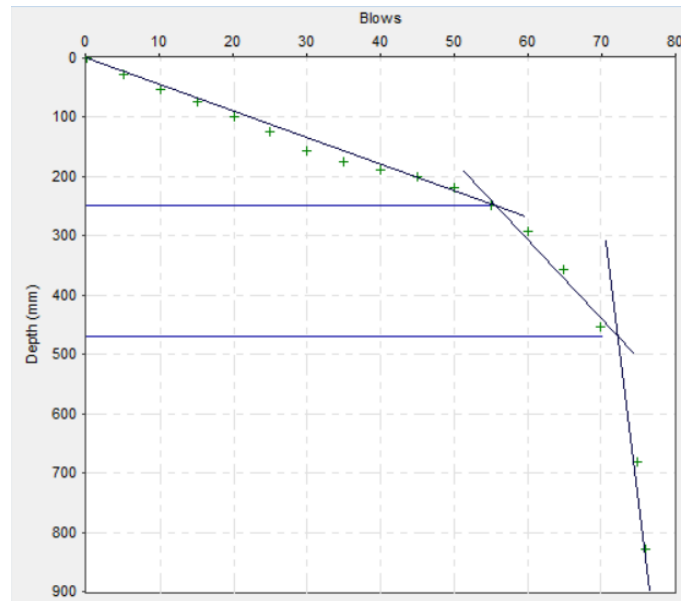


Imagen 38 - Espesores y número capas del ensayo DCP N°5



**Imagen 39** - Espesores y número de capas del ensayo DCP N°6

A partir del análisis de la Tabla N°21 se puede decir que:

- El menor espesor de base granular medido fue el correspondiente al ensayo N°1 (13,5 cm), el cual se realizó en proximidades a una discontinuidad en la superficie de la base, mejor conocida como "bache". La presencia de este elemento permitió llegar a la conclusión de que la pérdida de material se debe principalmente a la acción del escurrimiento de agua.



**Imagen 40** - Ensayo DCP N°1 realizado sobre "bache"

- Junto a lo descrito anteriormente, también se puede observar que el menor valor de CBR in situ de la subrasante es el correspondiente al ensayo N°1, debido a la presencia de agua lo que genera un mayor grado de saturación de esta capa.
- En el ensayo N°4 se puede observar el valor más grande de CBR in situ de la base granular, esto se debió a que el sitio en donde se practicó el DCP tenía un menor grado de humedad.



**Imagen 41** - Ensayo DCP N°4 y Ensayo DCP N°6

#### **3.4.3.1.2 Control de compactación por método del cono de arena (Norma VN-E8-66)**

Con el objetivo de evaluar el grado de compactación de la base granular, se procedió a realizar la determinación de la densidad in situ mediante el método del cono de arena. Para esto se ejecutaron 3 (tres) ensayos los cuales coincidieron con la posición de los ensayos DCP N°1, N°4 y N°6, lo cual se ilustra en la imagen N°42, correspondiente al punto N°1.





**Imagen 42** - Ensayo de Cono de Arena en punto N°1



**Imagen 43** - Problemas de escurrimiento de agua descritos anteriormente

Además, en la tabla N°22 se pueden observar los valores obtenidos para cada punto de densidad in situ y humedad natural de la base granular.

Ensayo de Cono de Arena N°	Densidad in situ (gr/cm <sup>3</sup> )	Humedad natural (%)
1	2,185	3,7
2	2,038	3,2
3	2,027	4,5

**Tabla 22** - Valores de Densidad in situ y Humedad natural

Con los valores mostrados en la tabla anterior se puede llegar a las siguientes conclusiones:

- En el ensayo N°1 se da el valor más grande de densidad in situ debido principalmente a que por allí se da el mayor flujo de tránsito y por lo tanto esto genera una mayor consolidación del material (tramos comprendido entre calle Leandro N. Alem y calle Pública N°4)
- Como se dijo anteriormente, el ensayo N°2, cuya posición coincidió con la posición del ensayo DCP N°4, arrojó el menor valor de humedad natural. Por este motivo se confirma la correspondencia con el valor más grande de CBR hallado.
- Para los ensayos N°2 y N°3 la densidad es mucho menor ya que, en esos tramos de la vía de acceso, el tránsito es mucho menor a comparación del tramo en donde se ejecutó el ensayo N°1.

### 3.4.3.2 Trabajos de gabinete

#### 3.4.3.2.1 Clasificación del material superficial (Norma VN-E4-84)

La clasificación del material constituyente de la capa granular se realizó según el sistema de clasificación de suelos H.R.B (Highway Research Board), el cual basa sus fundamentos en los distintos tipos de comportamientos observados para suelos destinados a obras viales.

Los suelos se agrupan en siete grupos básicos, los cuales van desde los tipos A-1 a los tipos A-7, donde estos a su vez se dividen en otros subgrupos, a partir de datos arrojados por:

- La distribución granulométrica de sus partículas
- Límites de consistencia (límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad)
- Índice de grupo del material según el sistema H.R.B

Para realizar dicho procedimiento se utilizó el material extraído al momento de la perforación de la capa granular, correspondiente a cada uno de los ensayos de cono de arena, donde se buscó establecer la calidad y uniformidad de este a lo largo de la vía de acceso principal al predio de CONIFERAL S.A.C.I.F

En la tabla N°23 se establecen los valores de límite líquido, límite plástico, índice de plasticidad y porcentaje pasante del tamiz N°200 obtenidos de las 3 muestras.

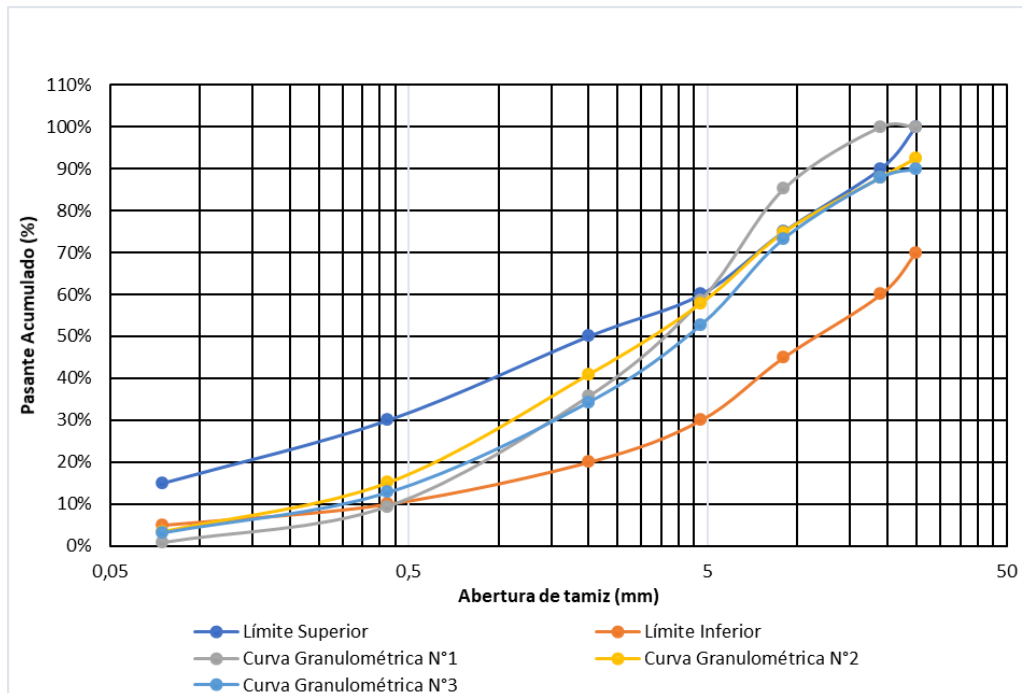
Muestra	H.R.B	LL (%)	LP (%)	IP (%)	PTN°200 (%)
1	A-1-a	27,1	22,2	4,9	0,7
2	A-1-a	28,0	22,7	4,8	3,3
3	A-1-a	28,0	23,5	4	3,1

**Tabla 23** - Límites, granulometría y clasificación H.R.B

Los valores mostrados en la tabla anterior nos permiten arribar a la conclusión de que el material que conforma la capa granular está constituido principalmente

por fragmentos de rocas, gravas y arena, y el mismo a su vez es uniforme a lo largo de toda la vía de acceso al predio.

En la imagen N°44 se observan las 3 curvas granulométricas obtenidas de los ensayos con sus correspondientes límites superior e inferior especificados por la Municipalidad de Córdoba. Se puede notar que la curva correspondiente a la muestra N°1 es la única que no satisface el entorno granulométrico como consecuencia de la erosión generada por el escurrimiento de agua afirmado anteriormente.



**Imagen 44** - Curvas y entorno granulométrico

### 3.4.3.2 Compactación del material superficial (Norma VN-E5-93)

Posterior a lo realizado anteriormente, se procedió a la extracción de material superficial con el cual se ejecutó el ensayo de compactación o también llamado Proctor Modificado. El objetivo de este ensayo se basa en estudiar la variación del valor de la densidad seca del material en función de los contenidos de humedad, cuando es sometido a un determinado esfuerzo de compactación, el cual depende de varios factores como lo son:

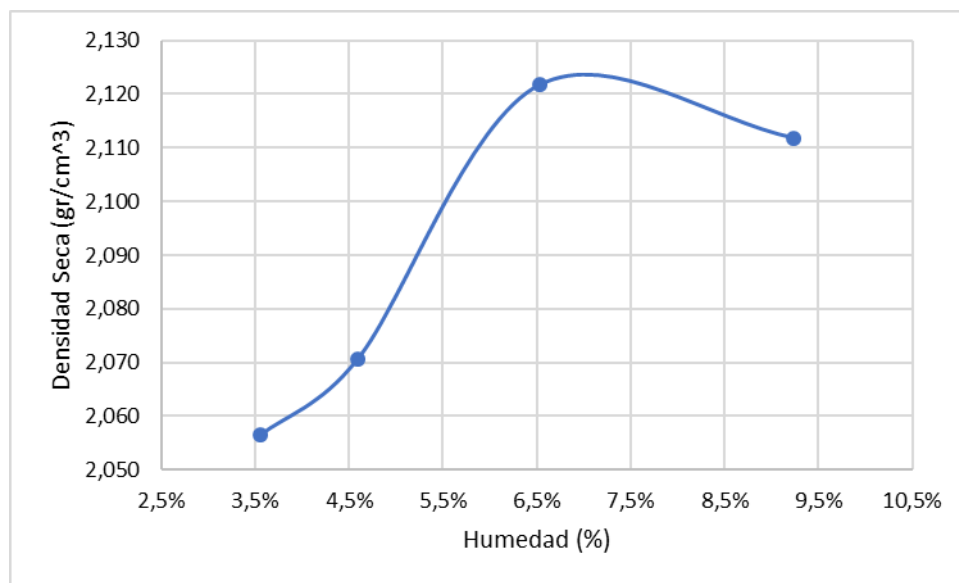
- Altura de caída del pisón
- Peso del pisón
- Número de capas
- Número de golpes del pisón
- Volumen del molde utilizado

En la tabla N°24 e imagen N°45 se muestra como varía la densidad seca en función del contenido de humedad del material. Por ende, en la tabla N°25 se

pueden observar los valores de densidad seca máxima y humedad óptima obtenidos del ensayo de compactación.

Punto N°	Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	Humedad (%)
1	2,049	2,9%
2	2,057	3,6%
3	2,071	4,6%
4	2,122	6,5%
5	2,112	9,2%

**Tabla 24** - Valores de Densidad Seca vs Humedad



**Imagen 45** - Curva Humedad-Densidad Seca

Densidad Seca Máxima (gr/cm <sup>3</sup> )	Humedad Óptima (%)
2,122	6,5

**Tabla 25** - Densidad seca máxima y Humedad óptima del ensayo

Con esto se logró establecer el grado de compactación del material correlacionándolo con el valor de densidad in situ obtenido en el ensayo del cono de arena, lo cual se muestra en la tabla N°26 a continuación.

Punto N°	Densidad in situ (gr/cm <sup>3</sup> )	Densidad seca máxima (gr/cm <sup>3</sup> )	Grado de compactación (%)
1	2,185	2,122	103,0
2	2,038	2,122	96,0
3	2,027	2,122	95,5

**Tabla 26** - Grado de compactación para los distintos puntos.

### 3.4.4 Conclusiones

A modo de cierre, se pudo establecer que el material superficial presente en las vías de acceso al predio poseía características y propiedades que lo volvían apto para la construcción de la base granular del pavimento adoquinado sugerido por la empresa.

Estas características y propiedades son:

- Material perteneciente a la clase A-1-a, lo que lo vuelve apto para la conformación de estas capas.
- Valores de densidad seca máxima y humedad óptima se encuentran dentro del rango considerado como normal (2,1 a 2,3 gr/cm<sup>3</sup>).
- Valores de densidad in situ mayores al 95%.
- Los valores de CBR entre 60% y 70% corresponden a espesores de capa mayores a 20 cm.

Estos resultados arrojados durante los distintos ensayos fueron posteriormente utilizados para la determinación de los espesores de cada una de las capas que conformaran el paquete estructural del pavimento mencionado anteriormente.

*\*Los procedimientos de todos los ensayos realizados en esta actividad se encuentran en la Normas de Vialidad Nacional, las cuales se ubican en el apéndice al final de este informe.*

*\*Todos los resultados obtenidos tanto durante como después de los ensayos se encuentran en las planillas de cálculo del anexo correspondiente a esta actividad.*

### **3.5 Actividad N°4: Estudio de propiedades de ligantes de Holcim S.A destinados a la estabilización de caminos rurales.**

#### **3.5.1 Objetivo**

La empresa Holcim S.A desarrollo dos tipos de ligantes destinados principalmente a la estabilización de caminos rurales o también llamados como caminos tranquera adentro.

#### **3.5.2 Localización**

La empresa Holcim S.A solicitó al Laboratorio Vial de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales que realizará el estudio sobre el cambio de propiedades físicas y químicas que estos ligantes pueden generar en un material granular como el “0-20” (es el más utilizado en caminos rurales), para posteriormente tomar una decisión sobre cuál de estos será comercializado en un futuro.

#### **3.5.3 Trabajos realizados**

Para la determinación sobre cuál de los ligantes aportados por Holcim S.A será comercializado, se requirió únicamente la ejecución de los siguientes ensayos:

- 1- Ensayos de identificación sobre el material granular aportado por Holcim S.A (análisis granulométrico y límites de consistencia).
- 2- Compactación del material junto con un 3% (con respecto al peso seco) de ligante N°1 y N°2, siguiendo el procedimiento como si fuese una mezcla suelo-cemento o suelo-cal.



**Imagen 46** - A la izquierda de la foto se observa al Ligante N°2 y a su derecha el Ligante N°1



### 3.5.3.1 Ensayos de identificación

#### 3.5.3.1.1 Análisis granulométrico (Norma VN-E7-65)

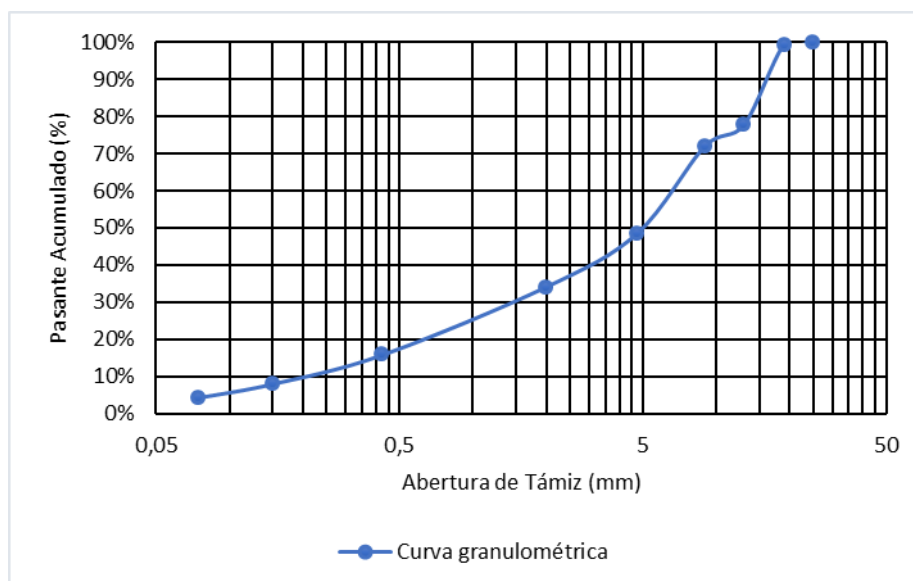
Al igual que para los anteriores materiales granulares trabajados, se procedió a determinar la distribución porcentual del tamaño de las partículas que constituyen el 0-20 aportado por la empresa Holcim S.A.

En la tabla N°27 se encuentran los porcentajes retenidos y pasantes acumulados para una muestra de material de 10,24 kg.

Tamiz	Abertura (mm)	Ret Acum (%)	Pas Acum (%)
1"	25	0,0%	100,0%
3/4"	19	0,8%	99,2%
1/2"	13	22,4%	77,6%
3/8"	9,5	28,0%	72,0%
N°4	4,75	51,4%	48,6%
N°10	2	65,9%	34,1%
N°40	0,425	84,2%	15,8%
N°100	0,15	92,0%	8,0%
N°200	0,075	95,7%	4,3%

**Tabla 27** - Retenidos y pasantes acumulados obtenidos del ensayo

Para ilustrarlo de una mejor manera a continuación se muestra la curva granulométrica del material, la cual nos permitió llegar a la conclusión de que este presenta una granulometría cerrada. Esto significa que los vacíos dejados por las partículas de mayor diámetro son llenados por las partículas de menor diámetro.



**Imagen 47** - Curva granulométrica del material

### 3.5.3.1.2 Límites de consistencia

#### 3.5.3.1.2.1 Límite Líquido (Norma VN-E2-65)

Continuando con los ensayos de identificación del material, se procedió a determinar el valor de límite líquido de este. Para ello se utilizó nuevamente el aparato de Casagrande visto anteriormente y una balanza con precisión al decigramo, ambos aportados por el Laboratorio Vial.

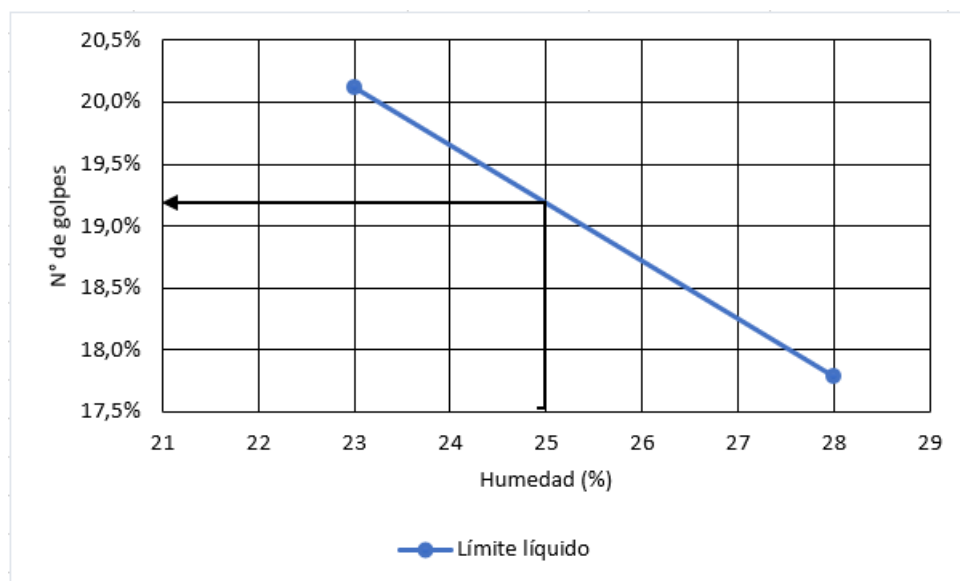


**Imagen 48** - Instrumentos utilizados para realizar este ensayo

A continuación, se muestran los resultados arrojados por este ensayo.

Punto N°	Humedad (%)	N° de golpes
1	20,1%	23
2	17,8%	28

**Tabla 28** - Humedades y N° de golpes para ambos puntos del ensayo



**Imagen 49** - Determinación del LL del material

LL (%)	N° de golpes
19,2%	25

**Tabla 29** - Límite líquido hallado del gráfico anterior

### 3.5.3.1.2.2 Límite Plástico e Índice de Plasticidad (Norma VN-E3-65)

Debido a la baja plasticidad que presentó el material granular, primero se determinó el valor de humedad correspondiente al límite líquido, para luego tomar muestra del material ensayado con el fin de amasarlo hasta que adquiriera una consistencia plástica para así comenzar con el armado de los cilindros de 3 mm de diámetro.

Una vez que se logró percibir de la formación de fisuras y grietas en la superficie de los cilindros, se los pesó y secó para así poder establecer la humedad correspondiente al límite plástico.

Peso Húmedo (gr)	Peso Seco (gr)	Peso de agua (gr)	LP (%)
5,6	4,9	0,7	14,3%

**Tabla 30** - Peso húmedo, seco, de agua y LP de la muestra

Con ambos valores de límite líquido y límite plástico se determinó el valor de índice de plasticidad del material.

LL(%)	LP(%)	IP(%)
19,2%	14,3%	4,9%

**Tabla 31** - Valores de LL, LP e IP

Como conclusión podemos decir que este 0-20 aportado por la empresa Holcim S.A, si bien posee un IP similar a los anteriormente ensayados, los valores tanto de LL y LP son significativamente menores en aproximadamente un 7%. Si se ingresara con estos resultados obtenidos al cuadro perteneciente a la clasificación de suelos H.R.B, este material se ubicaría dentro del grupo de los A-1-a.

### 3.5.3.2 Compactación como mezcla suelo-cemento o suelo-cal (Norma VN-E19-66)

A diferencia de los procedimientos típicos de compactación de mezclas suelo-cemento o suelo-cal, en los cuales el porcentaje de ligante a utilizar se debe determinar mediante el uso de ábacos para el caso de la cal, mientras que para el cemento se debe realizar el ensayo de Normas de Vialidad Nacional E19-66,

la empresa Holcim S.A nos requirió el estudio de las modificaciones en cuanto a densidad seca y humedad que se produjeron en mezclas suelo-ligante, con un porcentaje de ligante de 3% en peso seco del material granular.

Este ensayo tiene el mismo objetivo que las demás compactaciones vistas anteriormente, determinar la variación de la densidad seca de un material en función de distintos contenidos de humedad, para luego establecer el valor de densidad seca máxima logrado para un contenido de humedad que llamaremos humedad óptima.

La principal diferencia con respecto a los anteriores ensayos de compactación fue que este último se ejecutó como Proctor Estándar o AASHTO T-99, el cual reúne las siguientes características

- Diámetro del molde: 10,1 cm
- Altura de caída del pisón: 30,5 cm
- Peso del pisón: 2,5 Kg
- N° de capas: 3
- N° de golpes por cada capa: 25

En la siguiente imagen podemos apreciar el instrumental aportado por el Laboratorio Vial de la FCEFyN, con el que se ejecutó este ensayo.



**Imagen 50** - Pisón y molde de compactación utilizados.



**Imagen 51** - Balanza tipo "Roberval" de capacidad de 20 kg y precisión de 1 gr.



**Imagen 52** - Juego de pesas de la balanza Roberbal

También es necesario detallar que el procedimiento establecido por la norma de Vialidad Nacional requiere que el material (de una muestra) retenido por el tamiz de  $\frac{3}{4}$ " o 19 mm no se tenga en cuenta, por lo tanto, el porcentaje de ligante a agregar se determinó en función del material pasante de dicho tamiz.

La fórmula utilizada para la determinación del porcentaje de ligante a usar fue la siguiente:

$$P_L = \frac{P_S * L}{100 - L}$$

Donde:

Pl: Peso del ligante a incorporar

Ps: Peso seco de la mezcla

L: Porcentaje de ligante a utilizar (3%)

### 3.5.3.2.1 Ensayo realizado con Ligante N°1

En las siguientes imágenes y tablas se pueden observar procedimientos y resultados obtenidos del ensayo de compactación para el Ligante N°1.



**Imagen 53** - Proceso de saturación del retenido del tamiz N°4



**Imagen 54** - Mezcla de Ligante con el pasante del tamiz N°4.

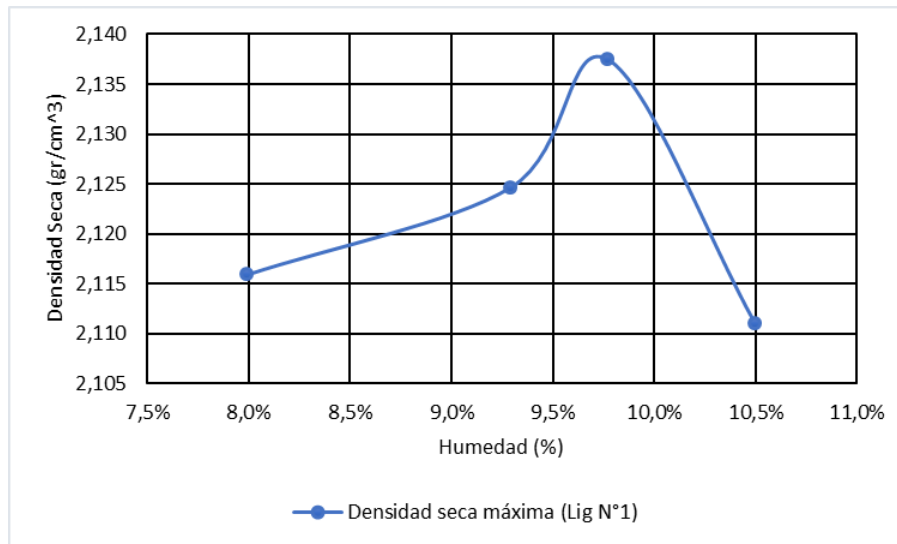
Peso de Muestra (gr)	Retenido T N°4	Pasante T N°4	Peso de Ligante (gr)
10170	5250	4920	314,5

**Tabla 32** - Peso total de la muestra, retenido y pasante del tamiz N°4 y peso del ligante N°1.



Punto N°	Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	Humedad (%)
1	2,116	8,0%
2	2,125	9,3%
3	2,137	9,8%
4	2,111	10,5%

**Tabla 33** - Valores de densidad seca y humedad obtenido durante la compactación.



**Imagen 55** - Variación de la densidad de la mezcla en función de la humedad.

### 3.5.3.2.2 Ensayo realizado con Ligante N°2

De la misma manera, se muestran imágenes con los trabajos realizados en el 2do ensayo de compactación ejecutado respectivamente con el Ligante N°2.

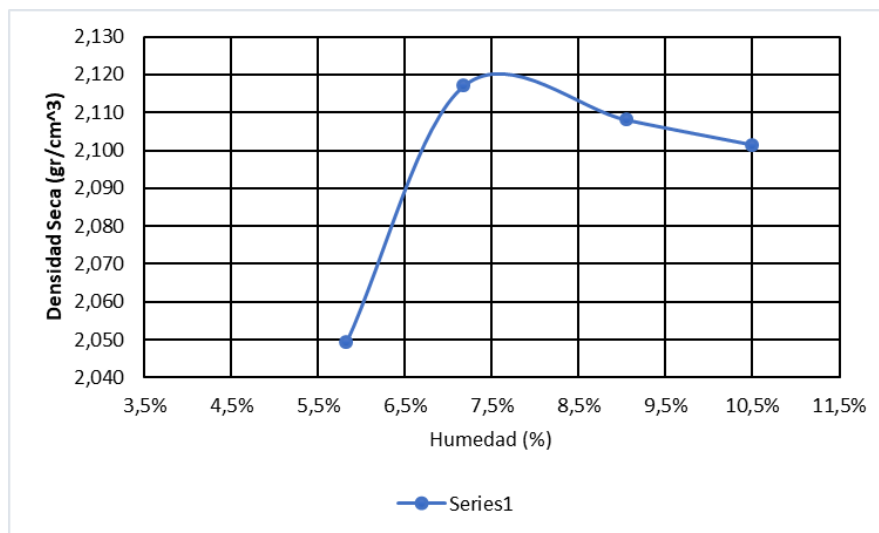


**Imagen 56** - Mezclado y amasado del material granular, ligante y agua correspondiente al 2do punto del ensayo.

En la tabla N°34 e imagen N°57, observan los valores de densidad seca y humedad logrados durante la compactación del material granular.

Punto N°	Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	Humedad (%)
1	2,016	4,2%
2	2,049	5,8%
3	2,117	7,2%
4	2,108	9,1%
5	2,001	10,5%

**Tabla 34** - Valores de densidad seca y humedad obtenido durante la compactación.



**Imagen 57** - Variación de la densidad de la mezcla en función de la humedad.

A modo de cierre, se presenta la siguiente tabla con los resultados obtenidos para ambos ensayos.

Resultados	Ligante N°1	Ligante N°2
Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	2,137	2,117
Humedad (%)	9,8%	7,2%

**Tabla 35** - Resultados obtenidos en los ensayos.

### 3.5.4 Conclusiones

Como vemos, las densidades secas de ambas mezclas son similares, pero con la salvedad de que el Ligante N°2 nos arrojó una menor humedad óptima con respecto a la mezcla con Ligante N°1.

Para posteriormente poder tomar una decisión sobre que ligante es más conveniente de utilizar y/o comercializar, se deberán conformar probetas a base de mezclas de suelo-ligante N°1 y suelo-ligante N°2 (ambas compactadas a sus

correspondientes densidades secas máximas para sus humedades óptimas) a fin de someterlas a compresión y con ello determinar cuál de las mezclas posee una mayor resistencia.

*\*Los procedimientos de todos los ensayos realizados en esta actividad se encuentran en la Normas de Vialidad Nacional, las cuales se ubican en el apéndice al final de este informe.*

*\*Todos los resultados obtenidos tanto durante como después de los ensayos se encuentran en las planillas de cálculo del anexo correspondiente a esta actividad.*

### 3.6 Actividad N°5: Determinación de densidad seca máxima de suelo destinado a la construcción de subrasantes de pavimentos.

#### 3.6.1 Objetivo

La última de las actividades desarrolladas durante la PS, consistió únicamente en la realización del ensayo de compactación Proctor Modificado o AASHTO T-180, en el Laboratorio Vial de la FCEFyN, a un material fino (suelo) destinado a la conformación de subrasantes de calles en el barrio Costas de Manantiales.

#### 3.6.2 Localización

En la imagen N° 58 y N° 59 se muestran tanto la ubicación del barrio Costas de Manantiales como también de la distribución de los lotes y vías de acceso a estos, pertenecientes a la empresa EDISUR S.A.

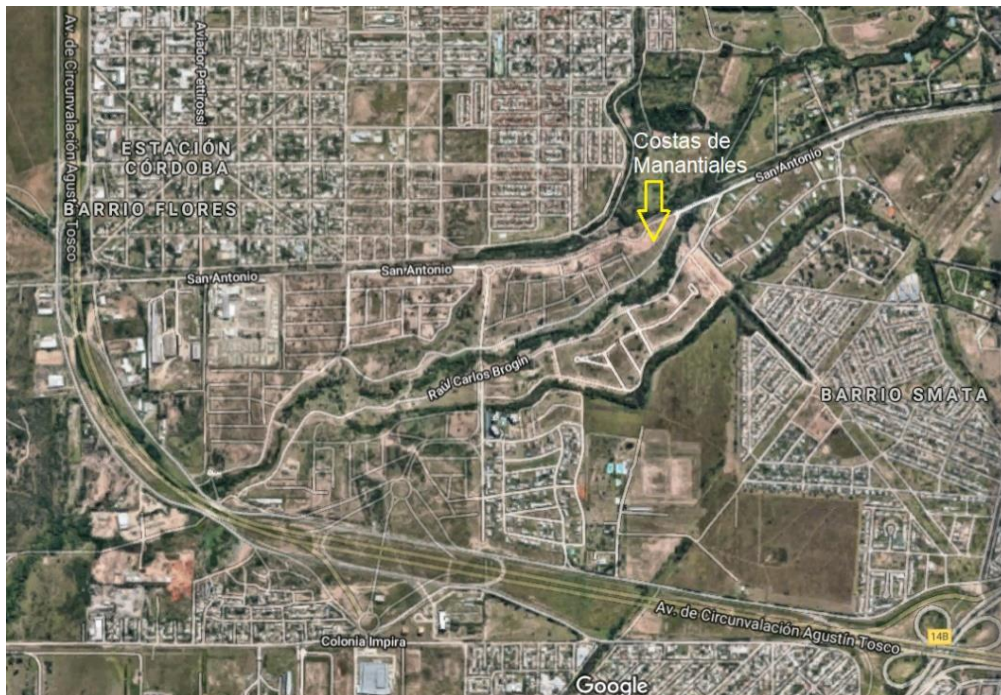


Imagen 58 - Ubicación de Costas de Manantiales



**Imagen 59** - Distribución de vías y lotes de Costas de Manantiales.

### 3.6.3 Trabajos realizados.

La empresa EDISUR S.A solicitó únicamente la realización del ensayo de compactación sobre el suelo, el cual está destinado a la construcción de las respectivas subrasantes de las vías mostradas en la anterior imagen. El ensayo como se dijo anteriormente fue desarrollado bajo la modalidad de Proctor Modificado o AASHTO T-180.

#### 3.6.3.1 Ensayo de Compactación (Norma VN-E19-66)

Al igual que cuando se realizó el ensayo de compactación sobre el material granular o “0-20”, para este caso se utilizaron los instrumentos descritos en la variante V de la Norma de Vialidad Nacional E19-66.

Variante	Molde (mm)	Peso de pisón (Kg)	Altura en caída (cm)	N° de Capas	N° de Golpes
I	101,6	2,5	30,5	3	25
II	101,6	4,53	45,7	5	25
III	101,6	2,5	30,5	3	35
IV	152,4	2,5	30,5	3	56
V	152,4	4,53	45,7	5	56

**Tabla 36** - Variantes establecidas por la norma para realizar el ensayo de compactación.

En las siguientes imágenes se muestran distintos momentos captados durante el desarrollo del ensayo.





**Imagen 60** - Compactación correspondiente al 2do punto del ensayo.



**Imagen 61** - Compactación correspondiente al 4to punto del ensayo.



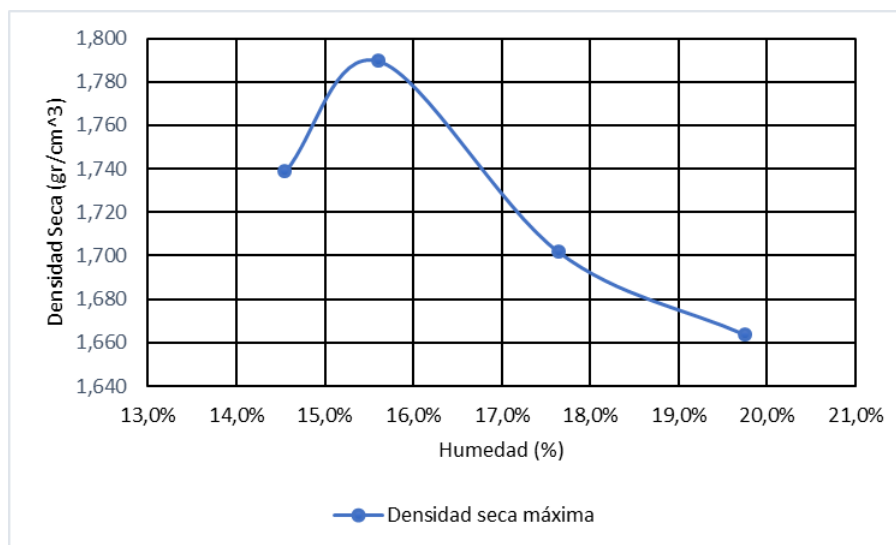


**Imagen 62** - Diferencia de aspectos entre material seco (centro), con humedad de 14,5% (izq.) y con humedad de 17,6% (der.)

Los resultados de densidad seca y humedad arrojados por el Proctor Modificado se encuentran en la siguiente tabla y gráfico.

Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	Humedad (%)
1,739	14,5%
1,789	15,6%
1,702	17,6%
1,664	19,8%

**Tabla 37** - Valores de densidad seca para los distintos contenidos de humedad ensayados.



**Tabla 38** - Curva de humedad vs densidad seca del suelo ensayado.

### 3.6.4 Conclusiones

Por lo tanto, con lo visto anteriormente, el suelo (clásico loess cordobés) deberá ser compactado en obra a una densidad seca máxima de aproximadamente  $1,789 \text{ gr/cm}^3$  con un contenido de humedad óptimo de 15,6 %. Luego de realizar esta tarea, el control de dichos valores deberá hacerse mediante el ensayo de densidad in situ o conocido también como método del cono de arena con el objetivo de evitar problemas futuros (erosión, cambios volumétricos, etc) que se pueden llegar a manifestar en la superficie de los pavimentos.

*\*Los procedimientos de todos los ensayos realizados en esta actividad se encuentran en la Normas de Vialidad Nacional, las cuales se ubican en el apéndice al final de este informe.*

*\*Todos los resultados obtenidos tanto durante como después de los ensayos se encuentran en las planillas de cálculo del anexo correspondiente a esta actividad.*

## Capítulo N°4: Conclusiones

Muchas veces se centra la mirada en lo que sucede sobre la superficie de los pavimentos, ya sea en la carpeta de rodamiento en el caso de los flexibles o en la losa de hormigón para el caso de los rígidos, sin embargo, gran parte de los problemas que se presentan se deben, entre otras cosas, a la mala calidad de los materiales constituyentes de las capas inferiores de un pavimento. Por ello es de gran necesidad y de vital importancia seleccionar los materiales adecuados para la conformación de las capas inferiores del paquete estructural tales como la base granular, sub-base granular y subrasante.

Uno de los objetivos perseguidos (y alcanzados) durante el transcurso de esta PS fue el de poder caracterizar lo mejor posible todos aquellos materiales viales destinados a formar parte de obras de índole vial, por eso como conclusión se puede decir que es de gran importancia seguir los procedimientos descritos en las distintas normas que los rigen de la manera mas solidaria que se pueda y no como se quiera, a fin de evitar problemas futuros. Esto también no se hubiese podido lograr sino se utilizaban los equipos y elementos adecuados y/o normalizados a fin de poder ejecutar de la mejor manera cada uno de los procesos.

Por consiguiente, a partir de haber podido realizar un gran numero de ensayos sobre estos materiales, he adquirido una buena experiencia en cuanto a características y comportamientos que presentan estos elementos para en un futuro poder resolver de la mejor manera proyectos y/o conflictos que se puedan presentar durante la vida profesional.

De igual manera, se ha podido familiarizar con respecto al uso de elementos y equipos necesarios para la ejecución de los distintos ensayos, y así en un futuro poder desenvolverme con mayor fluidez en el ámbito laboratorial.

En menor medida, pero no por eso menos importante, he podido adaptarme a los distintos plazos de entrega tanto de los resultados como de los informes de manera de poder distribuir eficientemente los días en los que debía realizar los distintos ensayos sobre los materiales provistos por los distintos clientes.

## Bibliografía

- Normas de Vialidad Nacional
- Apunte de Laboratorio – Cátedra de Geotecnia II – FCEFyN – UNC
- Apunte de Transporte III – Cátedra de Transporte III – FCEFyN – UNC
- Guía AASHTO para Diseño de Estructuras de Pavimentos – Año 1993
- Fundamentos de Ingeniería Geotécnica – Braja M. Das
- Pavimentos – Ingeniería Civil I – UTN
- [pavimentos.blogspot.com](http://pavimentos.blogspot.com)
- [www.construmatica.com](http://www.construmatica.com)

## **Anexos de Actividades Desarrolladas**

*Anexo de Actividad N°1: Análisis granulométrico, límites de  
consistencia, ensayo de compactación y valor soporte relativo.*



**PLANILLA DE CÁLCULO**

**OBRA: Manantiales**

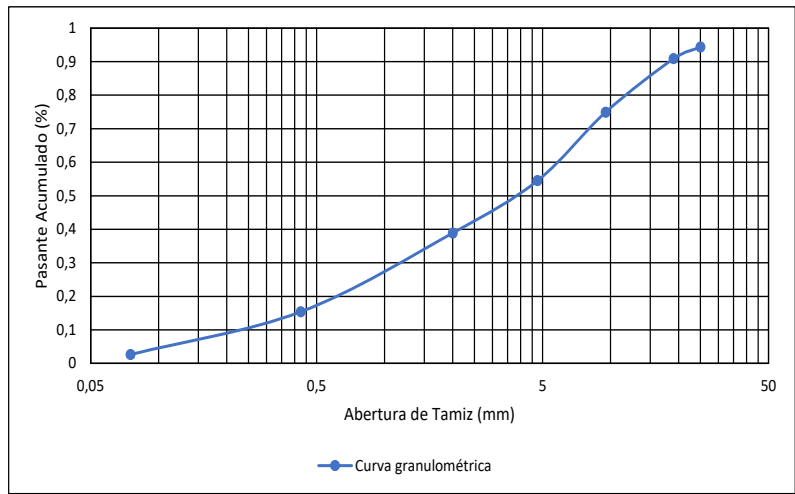
FECHA: 08/05/19  
 COMITENTE: EDISUR S.A  
 MATERIAL: GRANULAR 0/20

PLANILLA: 1/1  
 NORMA: VN-E7-65

**ANÁLISIS MECÁNICO DE MATERIALES GRANULARES**

Peso Seco total inicial (Pt) =	10626
PC (gr)	1325
PA (gr)	5594
f = PC/PA	4,22

Tamiz	Abertura (mm)	Pasante (gr)	Pasante Acumulado (%)
1"	25	9681	94,3
3/4"	19	9325	90,9
3/8"	9	7686	74,9
4,0	4,75	5594	54,5
10,0	2	3990	38,9
40,0	0,425	1579	15,4
200,0	0,075	270	2,6



Resumen: Material de granulometría cerrada

Observaciones:

**PLANILLA DE CÁLCULO**

**OBRA: Manantiales**

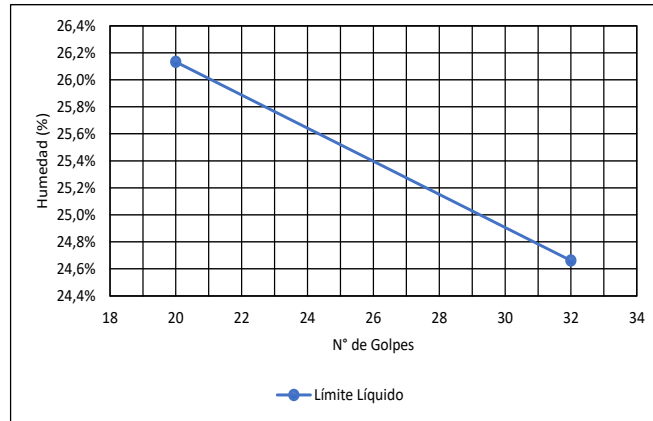
FECHA: 08/05/19  
 COMITENTE: EDISUR S.A  
 MATERIAL: GRANULAR 0/20

PLANILLA: 1/1  
 NORMA: VN-E2-65  
 VN-E3-65

**LÍMITES DE CONSISTENCIA**

**Límite Líquido**

Peso húmedo (gr)	Nº de Golpes	Peso seco (gr)	Peso de agua (gr)	Humedad (%)	Límite Líquido (%)
24,23	20	19,21	5,02	26,1	25,5
23,05	32	18,49	4,56	24,7	



**Límite Plástico**

Peso húmedo (gr)	Peso seco (gr)	Peso de agua (gr)	Límite Plástico (%)
9,98	8,35	2	19,5

**Índice Plástico**

Límite Líquido (%)	Límite Plástico (%)	Índice Plástico (%)
25,5	19,5	6,0

Observaciones: Material que presenta límite líquido pero baja plasticidad

<b>PLANILLA DE CÁLCULO</b>	
<b>OBRA: Manantiales</b>	
FECHA: 08/05/19	PLANILLA: 1/1
COMITENTE: EDISUR S.A	NORMA: VN-E5-93
MATERIAL: GRANULAR 0/20	

**ENSAYO DE COMPACTACIÓN DE SUELOS**

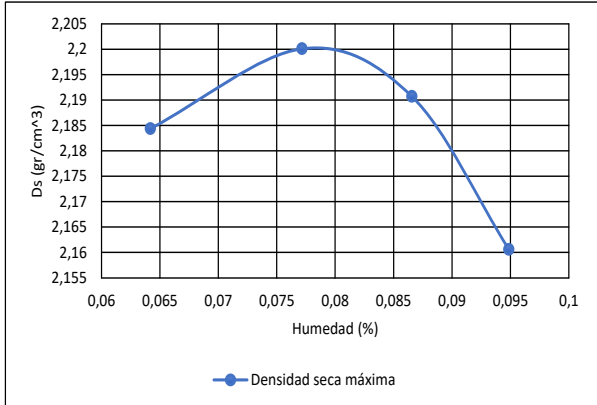
Ensayo	Diám. del molde (mm)	Peso del pisón (kg)	Altura de caída (cm)	Número de capas	Número de golpes
I	101,6	2,5	30,5	3	25
II	101,6	4,54	45,7	5	25
III	101,6	2,5	30,5	3	35
IV	152,4	2,5	30,5	3	25
V	152,4	4,54	45,7	5	56

Características del ensayo:

- Tipo de ensayo: V	- Altura de caída (cm): 45,7
- Diámetro del molde (mm): 152,4	- Número de capas: 5
- Peso del pisón (kg): 4,54	- Número de golpes: 56

Punto N°	Wm + Ws (gr)	Wm (gr)	Ws (gr)	Vm (cm <sup>3</sup> )	Dh (gr/cm <sup>3</sup> )
1	7927	3050	4877	2098	2,325
2	8022	3050	4972	2098	2,370
3	8044	3050	4994	2098	2,380
4	8013	3050	4963	2098	2,366

Punto N°	Wsh (gr)	Wss (gr)	Ww (gr)	Humedad (%)	Ds (gr/cm <sup>3</sup> )
1	1061	997	64	6,4%	2,184
2	1005	933	72	7,7%	2,200
3	1117	1028	89	8,7%	2,191
4	1004	917	87	9,5%	2,161



Resultados:  
 Densidad seca máxima = 2,200 gr/cm<sup>3</sup>  
 Humedad óptima = 7,7 %

**PLANILLA DE CÁLCULO**

**OBRA: Manantiales**

**ENSAYO DE VALOR SOPORTE E HINCHAMIENTO**

FECHA: 14/08/19 PLANILLA: 1/2  
 COMITENTE: EDISUR S.A NORMA: VN-E6-84  
 MATERIAL: GRANULAR 0/20

**COMPACTACIÓN DE PROBETAS**

**Características del ensayo:**

Tipo de ensayo: Dinámico N°1 (Simplificado)  
 Peso del martillo (kg): 4,54 Fecha compactación: 09/08/19  
 Altura de caída (cm): 45,7 Fecha penetración: 13/08/19  
 Número de capas: 5 Días de embebimiento: 4  
 Humedad óptima (%): 7,7 Sobrecarga emb. (kg): 4,54  
 Densidad máx. (g/cm<sup>3</sup>): 2,200 Sobrecarga pen. (kg): 4,54

N° de golpes	Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	Humedad (%)	Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	Comp. relativa (%)
56	2,37	7,7	2,203	100,2
25	2,29	7,3	2,132	96,9
12	2,16	7,6	2,005	91,1

**DETERMINACION DEL HINCHAMIENTO**

Molde	N° de golpes	Altura probeta (mm)	Hinchamiento (mm)				Porcentaje (%)
			1° día	2° día	3° día	4° día	
0	56	117					0,00
0	56	117					0,00
0	25	117					0,00
0	25	117					0,00
0	12	117					0,00
0	12	117					0,00

**RESUMEN CBR vs. DENSIDAD**

N° de golpes	CBR (%)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	% Densidad máxima (g/cm <sup>3</sup> )
56	39	2,203	100,1
25	27	2,132	96,9
12	10	2,005	91,1

**PLANILLA DE CÁLCULO**

**OBRA: Manantiales**

**ENSAYO DE VALOR SOPORTE E HINCHAMIENTO**

FECHA: 14/08/19  
 COMITENTE: EDISUR S.A  
 MATERIAL: GRANULAR 0/20

PLANILLA: 2/2  
 NORMA: VN-E6-84

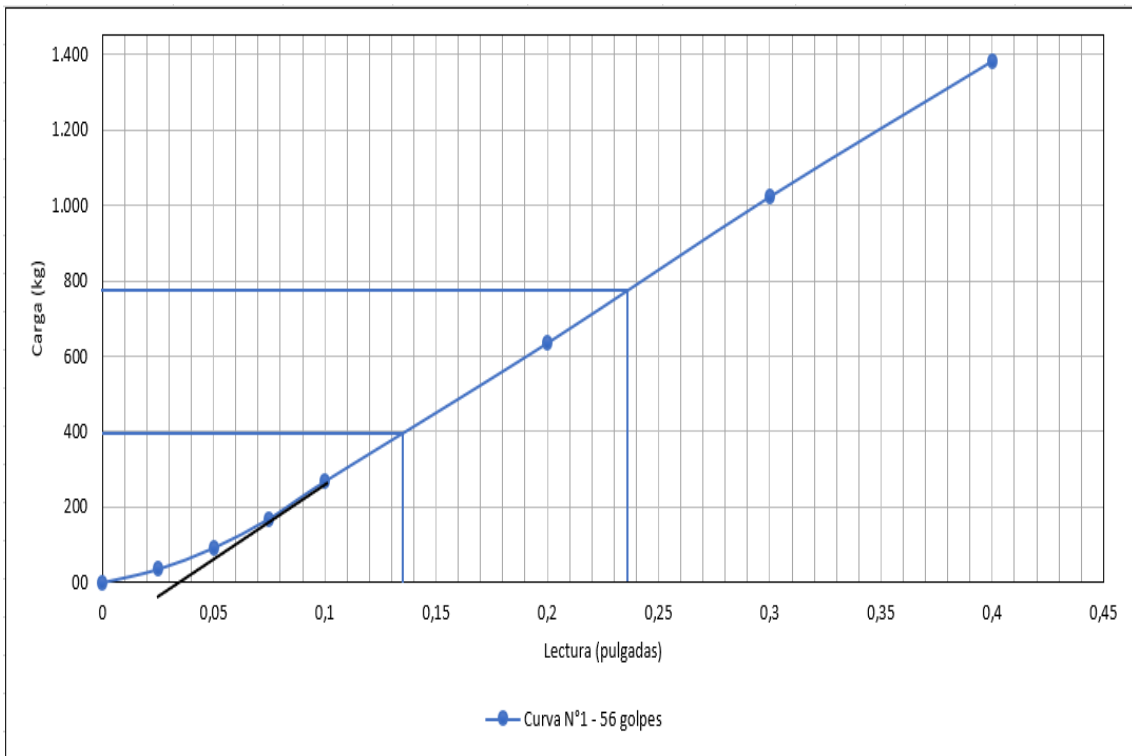
**PENETRACION Y CARGAS PROMEDIOS**

Carga máxima (kg): 5000  
 Factor de aro (kg/div): 14,12

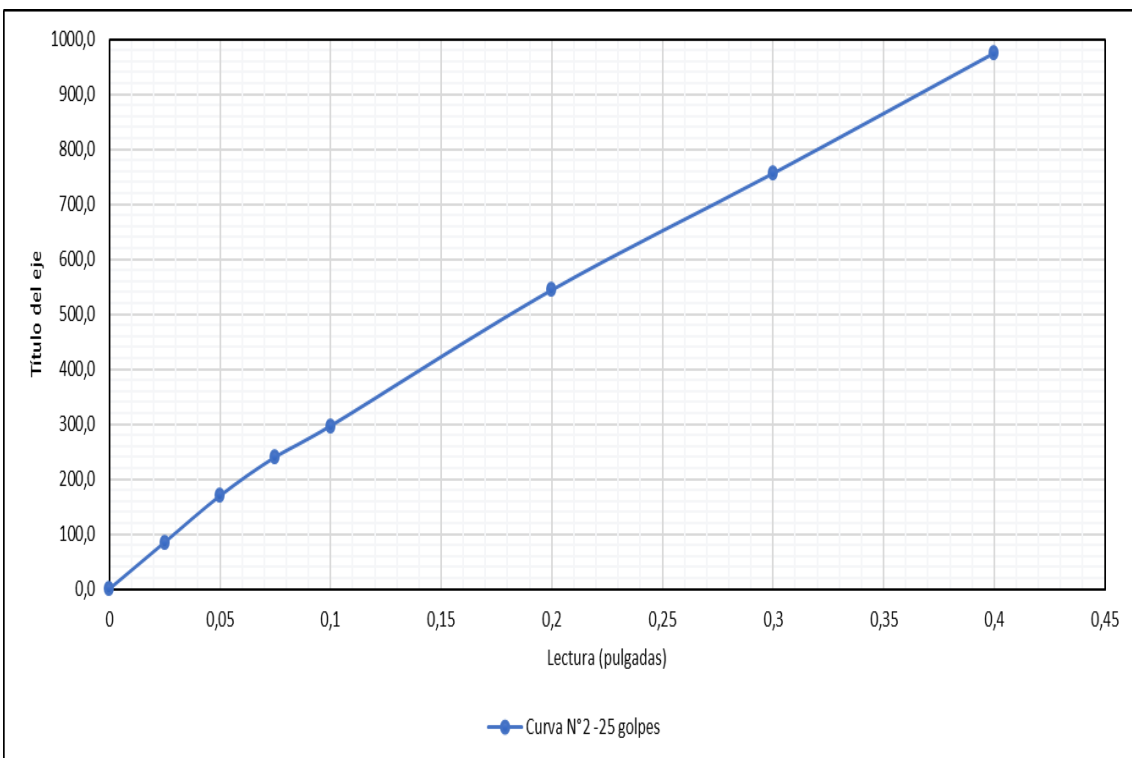
Penetración	(pulg)	0,025	0,050	0,075	0,100	0,200	0,300	0,400	CBR Probeta	
Factor de cálculo	(1/kg)				0,0738	0,0492	0,0389	0,0321		
Molde										
12	Dial	(div)	3	7	12	19	45	73	98	39
	Carga	(kg)	42,4	98,9	169,5	268,3	635,6	1031,0	1384,1	
	Corregida	(kg)				400,0	790,0			
	Cálculo	(%)				30	39			
13	Dial	(div)	6	12	17	21	39	54	69	27
	Carga	(kg)	84,7	169,5	240,1	296,6	550,8	762,7	974,5	
	Corregida	(kg)				296,6	550,8			
	Cálculo	(%)				22	27			
3	Dial	(div)	3	5	7	8	14	18	22	10
	Carga	(kg)	42,4	70,6	98,9	113,0	197,7	254,2	310,7	
	Corregida	(kg)				113,0	197,7			
	Cálculo	(%)				8	10			

**RESUMEN CBR vs. DENSIDAD**

Nº de golpes	CBR (%)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	% Densidad máxima (g/cm <sup>3</sup> )
56	39	2,203	100,1
25	27	2,132	96,9
12	10	2,005	91,1



**Imagen 63** - Curva Lectura vs Carga de la probeta N°1.



**Imagen 64** - Curva Lectura vs Carga de la probeta N°2.



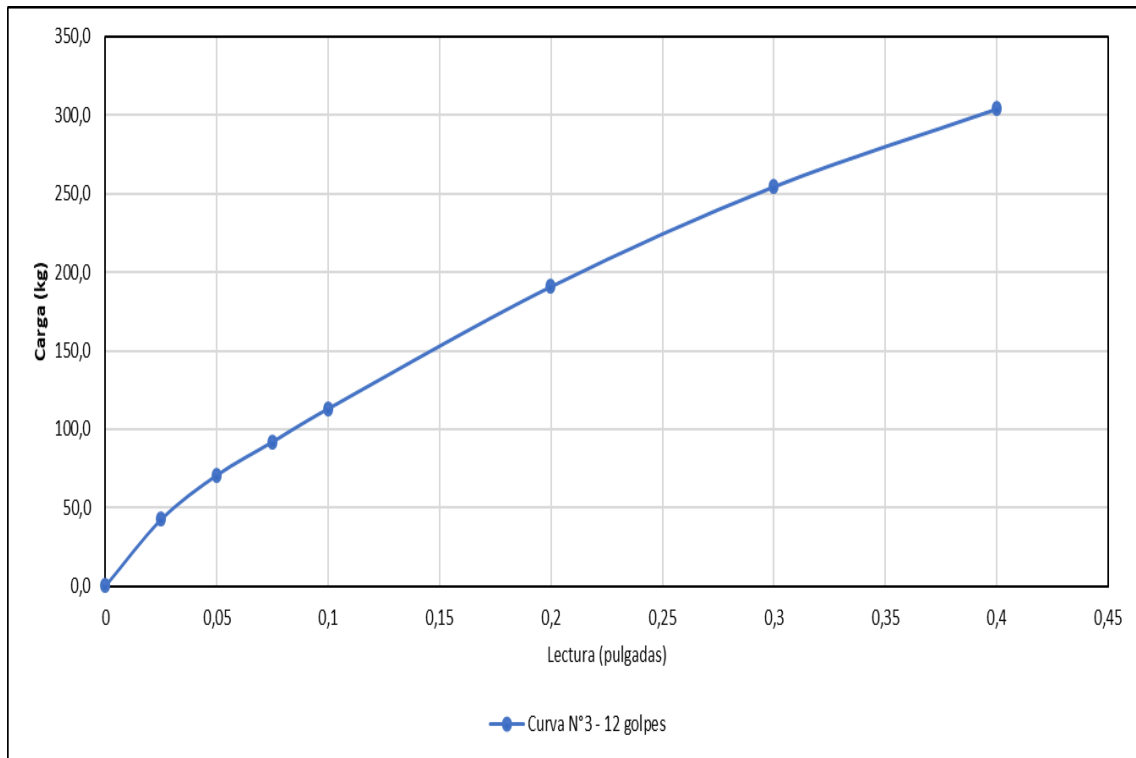


Imagen 65 - Curva Lectura vs Carga de la probeta N°3.

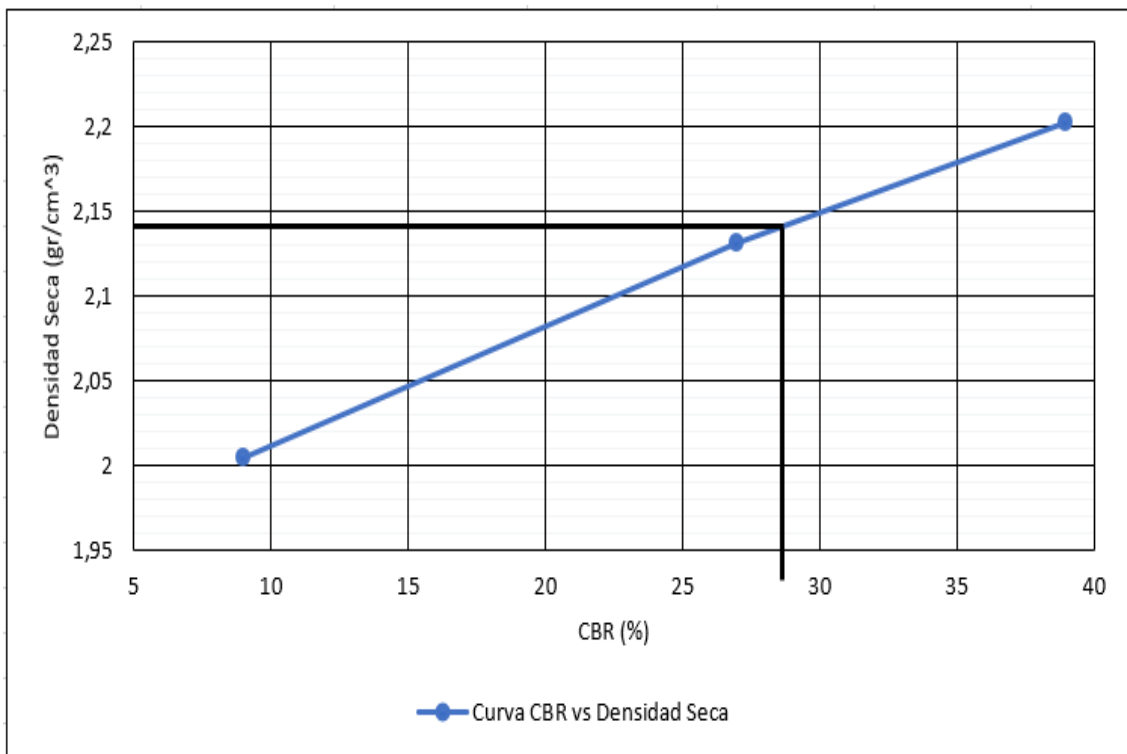


Imagen 66 - Curva CBR vs Densidad seca.

*Anexo de Actividad N°2: Ensayos de compactación y valor soporte  
relativo.*

**PLANILLA DE CÁLCULO**

**OBRA: Estudio de material granular de Cantera N°1**

FECHA: 13/08/19  
 COMITENTE: EDISUR S.A.  
 MATERIAL: GRANULAR 0/20

PLANILLA: 1/2  
 NORMA: VN-E19-66

**ENSAYO DE COMPACTACIÓN DE SUELOS**

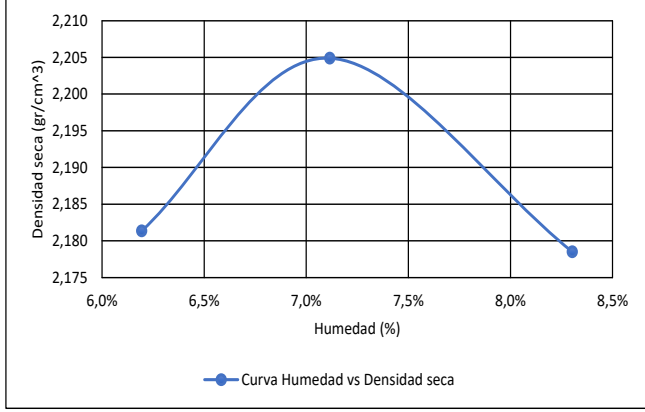
Ensayo	Diám. del molde (mm)	Peso del pisón (kg)	Altura de caída (cm)	Número de capas	Número de golpes
I	101,6	2,5	30,5	3	25
II	101,6	4,54	45,7	5	25
III	101,6	2,5	30,5	3	35
IV	152,4	2,5	30,5	3	25
V	152,4	4,54	45,7	5	56

Características del ensayo:

- Tipo de ensayo: V
- Diámetro del molde (mm): 152,4
- Peso del pisón (kg): 4,54
- Altura de caída (cm): 45,7
- Número de capas: 5
- Número de golpes: 56

Punto N°	Wm + Ws (gr)	Wm (gr)	Ws (gr)	Vm (cm <sup>3</sup> )	Dh (gr/cm <sup>3</sup> )
1	7910	3050	4860	2098	2,316
2	8005	3050	4955	2098	3,362
3	8000	3050	4950	2098	2,359

Punto N°	Wsh (gr)	Wss (gr)	Ww (gr)	Humedad (%)	Ds (gr/cm <sup>3</sup> )
1	1200	1130	70	6,2	2,181
2	1400	1307	93	7,1	2,205
3	1500	1385	115	8,3	2,179



Resultados:  
 Densidad seca máxima = 2,205 gr/cm<sup>3</sup>  
 Humedad óptima = 7,1 %

**PLANILLA DE CÁLCULO**

**OBRA: Estudio de material granular de Cantera N°2**

FECHA: 13/08/19  
 COMITENTE: EDISUR S.A.  
 MATERIAL: GRANULAR 0/20

PLANILLA: 2/2  
 NORMA: VN-E19-66

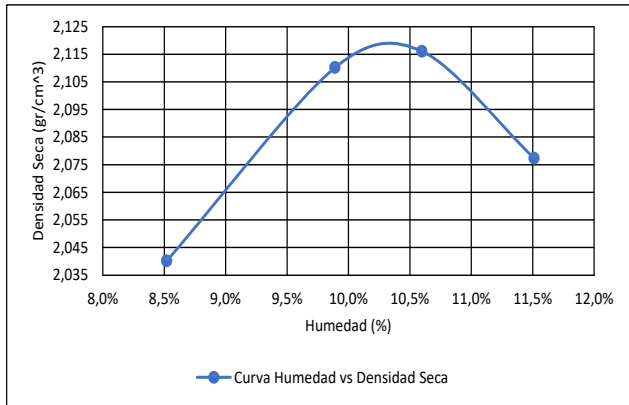
**ENSAYO DE COMPACTACIÓN DE SUELOS**

Ensayo	Diám. del molde (mm)	Peso del pisón (kg)	Altura de caída (cm)	Número de capas	Número de golpes
I	101,6	2,5	30,5	3	25
II	101,6	4,54	45,7	5	25
III	101,6	2,5	30,5	3	35
IV	152,4	2,5	30,5	3	25
V	152,4	4,54	45,7	5	56

Características del ensayo:  
 - Tipo de ensayo: V  
 - Diámetro del molde (mm): 152,4  
 - Peso del pisón (kg): 4,54  
 - Altura de caída (cm): 45,7  
 - Número de capas: 5  
 - Número de golpes: 56

Punto N°	Wm + Ws (gr)	Wm (gr)	Ws (gr)	Vm (cm <sup>3</sup> )	Dh (gr/cm <sup>3</sup> )
1	7695	3050	4645	2098	2,214
2	7915	3050	4865	2098	2,319
3	7960	3050	4910	2098	2,340
4	7910	3050	4860	2098	2,316

Punto N°	Wsh (gr)	Wss (gr)	Ww (gr)	Humedad (%)	Ds (gr/cm <sup>3</sup> )
1	1210	1115	95	8,5	2,040
2	1000	910	90	9,9	2,110
3	1200	1085	115	10,6	2,116
4	1550	1390	160	11,5	2,077



Resultados:  
 Densidad seca máxima = 2,116 gr/cm<sup>3</sup>  
 Humedad óptima = 10,6 %

**PLANILLA DE CÁLCULO**

**OBRA: Estudio de material granular de Cantera N°1**

FECHA: 13/08/19  
 COMITENTE: EDISUR S.A  
 MATERIAL: GRANULAR 0/20

PLANILLA: 1/2  
 NORMA: VN-E13-67

**PESO ESPECÍFICO APARENTE Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS PÉTREOS GRUESOS**

Peso total inicial (Pt) =	24920
---------------------------	-------

Retenido Támiz 3/4" (gr)	Pasante Támiz 3/4" (gr)	% Retenido (G)	% Pasante (F)
1795	23125	7,2	92,8

Psss (gr)	Cesto vacío sum. (gr)	Cesto + muestra sum. (gr)	Ps (gr)
1752	478	1550	1740

P.E.A	P.E.A.S	P.E.A.Sat	Abs (%)
2,605	2,559	2,576	0,7

Humedad óptima (%)	Humedad óptima correg. (%)	Densidad seca máxima (gr/cm <sup>3</sup> )	Densidad seca máxima corregida (gr/cm <sup>3</sup> )
7,1	<b>6,7</b>	2,205	<b>2,228</b>

Observaciones:

**PLANILLA DE CÁLCULO**

**OBRA: Estudio de material granular de Cantera N°2**

FECHA: 13/08/19  
 COMITENTE: EDISUR S.A  
 MATERIAL: GRANULAR 0/20

PLANILLA: 2/2  
 NORMA: VN-E13-67

**PESO ESPECÍFICO APARENTE Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS PÉTREOS GRUESOS**

Peso total inicial (Pt) =	22910
---------------------------	-------

Retenido Támiz 3/4" (gr)	Pasante Támiz 3/4" (gr)	% Retenido (G)	% Pasante (F)
3525	19385	15,4	84,6

Psss (gr)	Cesto vacío sum. (gr)	Cesto + muestra sum. (gr)	Ps (gr)
3530	478	2638	3470

P.E.A	P.E.A.S	P.E.A.Sat	Abs (%)
2,649	2,553	2,577	1,7

Humedad óptima (%)	Humedad óptima correg. (%)	Densidad seca máxima (gr/cm <sup>3</sup> )	Densidad seca máxima corregida (gr/cm <sup>3</sup> )
10,6	<b>9,2</b>	2,116	<b>2,176</b>

Observaciones:





**PLANILLA DE CÁLCULO**

**OBRA: Estudio de material granular de Cantera N°1**

**ENSAYO DE VALOR SOPORTE E HINCHAMIENTO**

FECHA: 22/08/19  
 COMITENTE: EDISUR S.A  
 MATERIAL: GRANULAR 0/20

PLANILLA: 2/2  
 NORMA: VN-E6-84

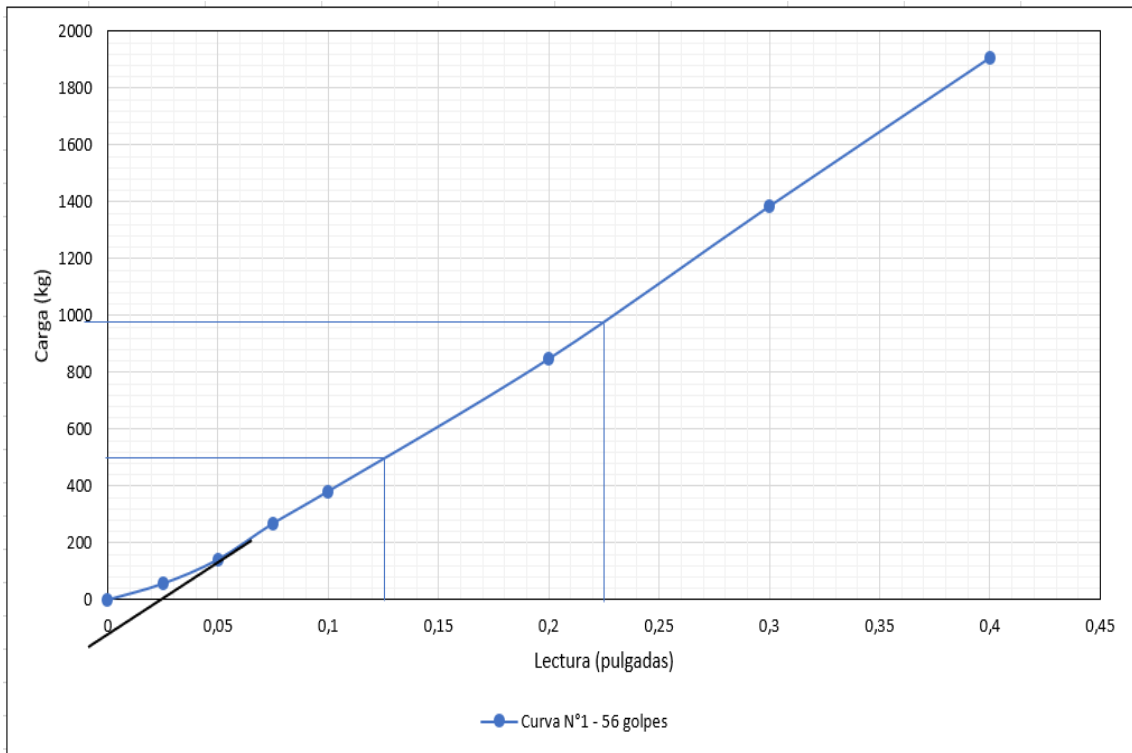
**PENETRACION Y CARGAS PROMEDIOS**

Carga máxima (kg): 5000  
 Factor de aro (kg/div): 14,12

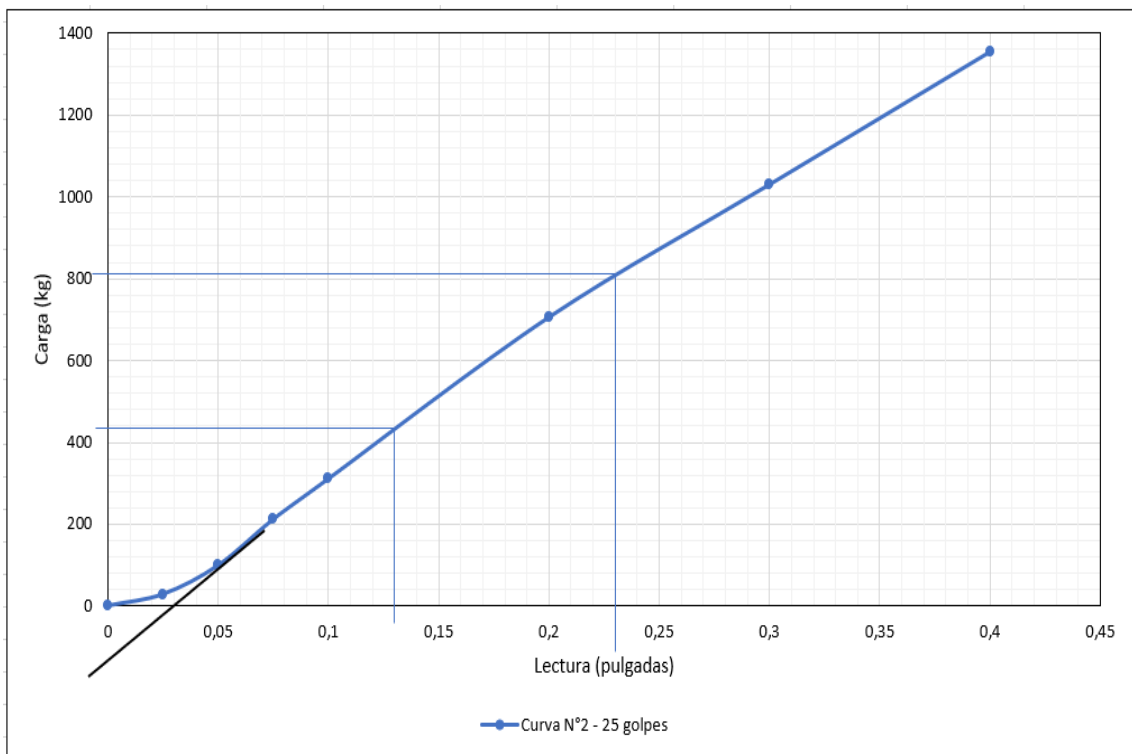
Penetración	(pulg)	0,025	0,050	0,075	0,100	0,200	0,300	0,400	CBR Probeta	
Factor de cálculo	(1/kg)				0,0738	0,0492	0,0389	0,0321		
<b>Molde</b>										
12	Dial	(div)	4	10	19	27	60	98	135	48
	Carga	(kg)	56,5	141,2	268,3	381,3	847,4	1384,1	1906,7	
	Corregida	(kg)				500,0	980,0			
	Cálculo	(%)				37	48			
3	Dial	(div)	2	7	15	22	50	73	96	40
	Carga	(kg)	28,2	98,9	211,9	310,7	706,2	1031,0	1355,8	
	Corregida	(kg)				439,0	810,0			
	Cálculo	(%)				32	40			
13	Dial	(div)	1	3	5	7	14	21	27	11
	Carga	(kg)	14,1	42,4	70,6	98,9	197,7	296,6	381,3	
	Corregida	(kg)				120,0	220,0			
	Cálculo	(%)				9	11			

**RESUMEN CBR vs. DENSIDAD**

Nº de golpes	CBR (%)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	% Densidad máxima (g/cm <sup>3</sup> )
56	48	2,200	99,8
25	40	2,107	95,6
12	11	1,996	90,5



**Imagen 67** - Curva Lectura vs Carga de la probeta N°1.



**Imagen 68** - Curva Lectura vs Carga de la probeta N°2.

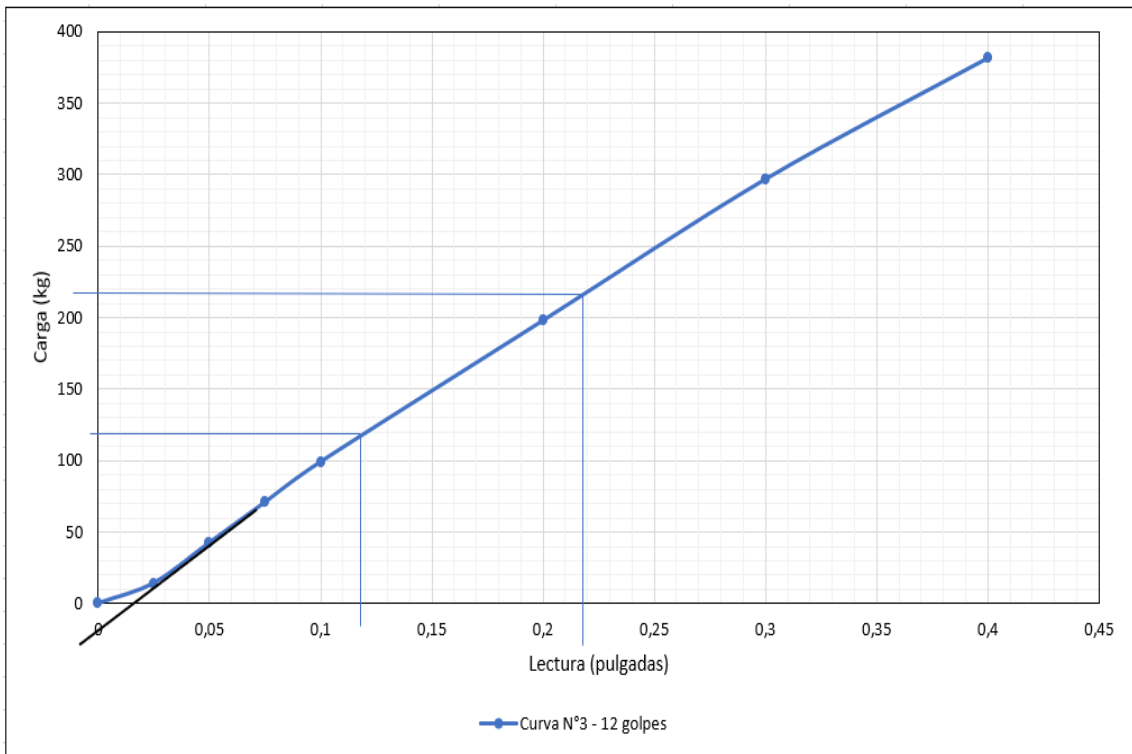


Imagen 69 - Curva Lectura vs Carga de la probeta N°3.

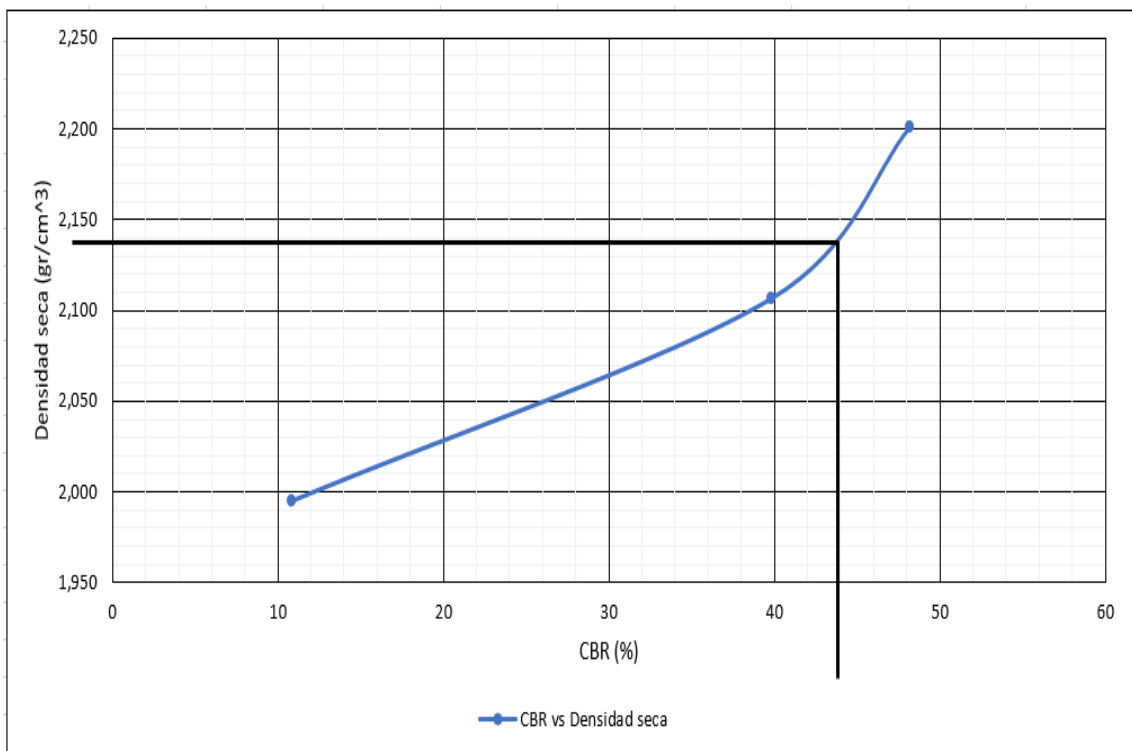


Imagen 70 - Curva CBR vs Densidad seca.

**PLANILLA DE CÁLCULO**

**OBRA: Estudio de material granular de Cantera N°2**

**ENSAYO DE VALOR SOPORTE E HINCHAMIENTO**

FECHA: 22/08/19 PLANILLA: 1/2  
 COMITENTE: EDISUR S.A NORMA: VN-E6-84  
 MATERIAL: GRANULAR 0/20

**COMPACTACIÓN DE PROBETAS**

**Características del ensayo:**

Tipo de ensayo: Dinámico N°1 (Simplificado)  
 Peso del martillo (kg): 4,54 Fecha compactación: 16/08/19  
 Altura de caída (cm): 45,7 Fecha penetración: 20/08/19  
 Número de capas: 5 Días de embebimiento: 4  
 Humedad óptima (%): 10,6 Sobrecarga emb. (kg): 4,54  
 Densidad máx. (g/cm<sup>3</sup>): 2,116 Sobrecarga pen. (kg): 4,54

N° de golpes	Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	Humedad (%)	Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	Comp. relativa (%)
56	2,35	10,3	2,131	100,7
25	2,30	10,1	2,084	98,5
12	2,22	10,3	2,013	95,1

**DETERMINACION DEL HINCHAMIENTO**

Molde	N° de golpes	Altura probeta (mm)	Hinchamiento (mm)				Porcentaje (%)
			1° día	2° día	3° día	4° día	
0	56	117					0,00
0	56	117					0,00
0	25	117					0,00
0	25	117					0,00
0	12	117					0,00
0	12	117					0,00

**RESUMEN CBR vs. DENSIDAD**

N° de golpes	CBR (%)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	% Densidad máxima (g/cm <sup>3</sup> )
56	94	2,131	100,7
25	49	2,085	98,5
12	28	2,013	95,1

**PLANILLA DE CÁLCULO**

**OBRA: Estudio de material granular de Cantera N°2**

**ENSAYO DE VALOR SOPORTE E HINCHAMIENTO**

FECHA: 22/08/19  
 COMITENTE: EDISUR S.A  
 MATERIAL: GRANULAR 0/20

PLANILLA: 2/2  
 NORMA: VN-E6-84

**PENETRACION Y CARGAS PROMEDIOS**

Carga máxima (kg): 5000  
 Factor de aro (kg/div): 14,12

Penetración	(pulg)	0,025	0,050	0,075	0,100	0,200	0,300	0,400	CBR Probeta	
Factor de cálculo	(l/kg)				0,0738	0,0492	0,0389	0,0321		
Molde										
14	Dial	(div)	2	4	13	31	99	158	201	94
	Carga	(kg)	28,2	56,5	183,6	437,8	1398,2	2231,5	2838,8	
	Corregida	(kg)				1040,0	1910,0			
	Cálculo	(%)				77	94			
5	Dial	(div)	2	6	13	25	58	80	95	49
	Carga	(kg)	28,2	84,7	183,6	353,1	819,2	1129,9	1341,7	
	Corregida	(kg)				600,0	1000,0			
	Cálculo	(%)				44	49			
2	Dial	(div)	7	13	18	23	41	55	68	28
	Carga	(kg)	98,9	183,6	254,2	324,8	579,1	776,8	960,4	
	Corregida	(kg)				324,8	579,1			
	Cálculo	(%)				24	28			

**RESUMEN CBR vs. DENSIDAD**

N° de golpes	CBR (%)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	% Densidad máxima (g/cm <sup>3</sup> )
56	94	2,131	100,7
25	49	2,085	98,5
12	28	2,013	95,1

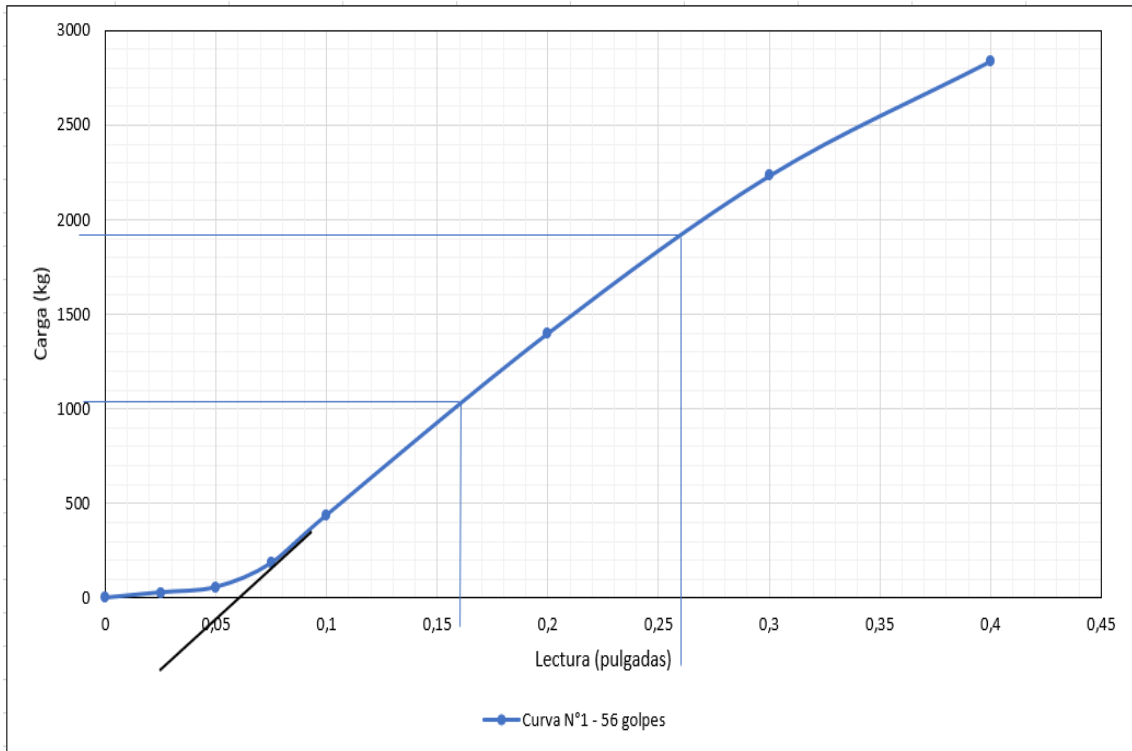


Imagen 71 - Curva Lectura vs Carga de la probeta N°1.

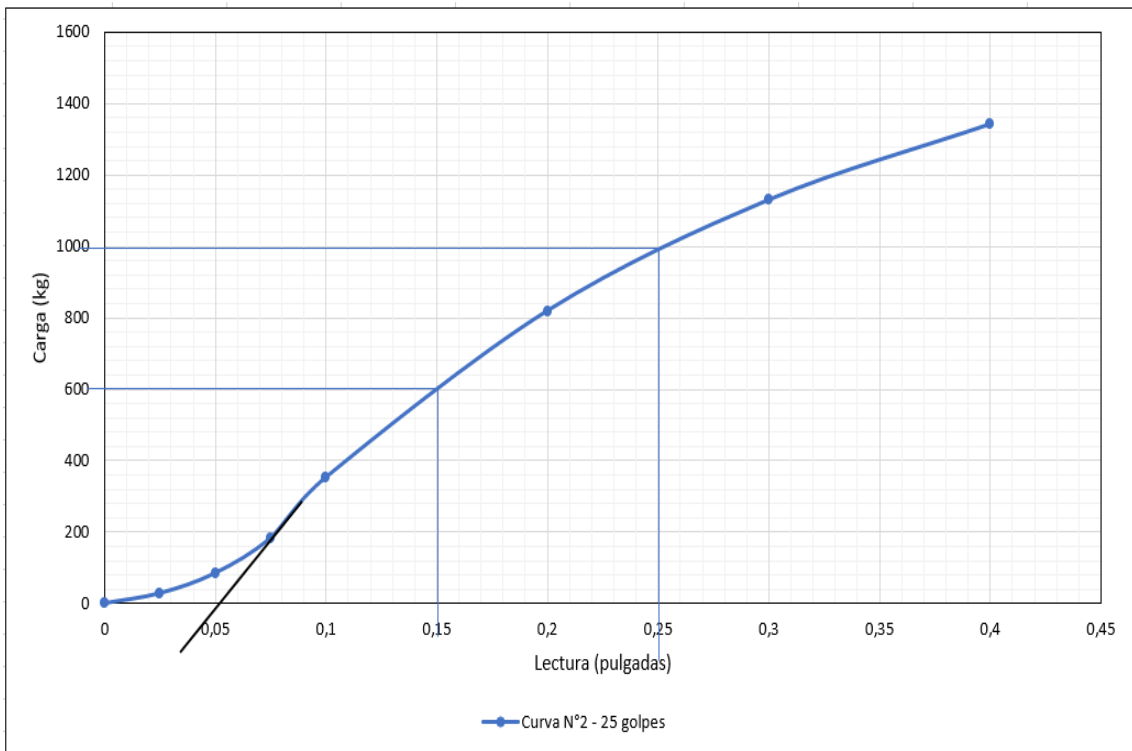


Imagen 72 - Curva Lectura vs Carga de la probeta N°2.



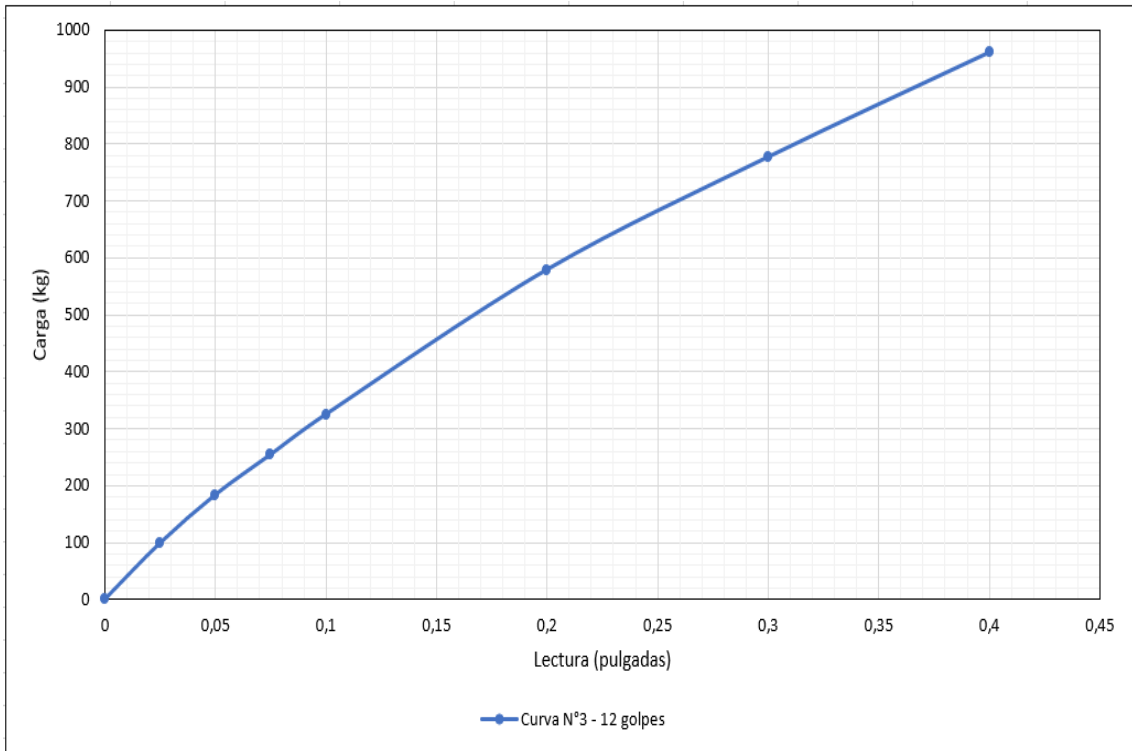


Imagen 73 - Curva Lectura vs Carga de la probeta N°3.

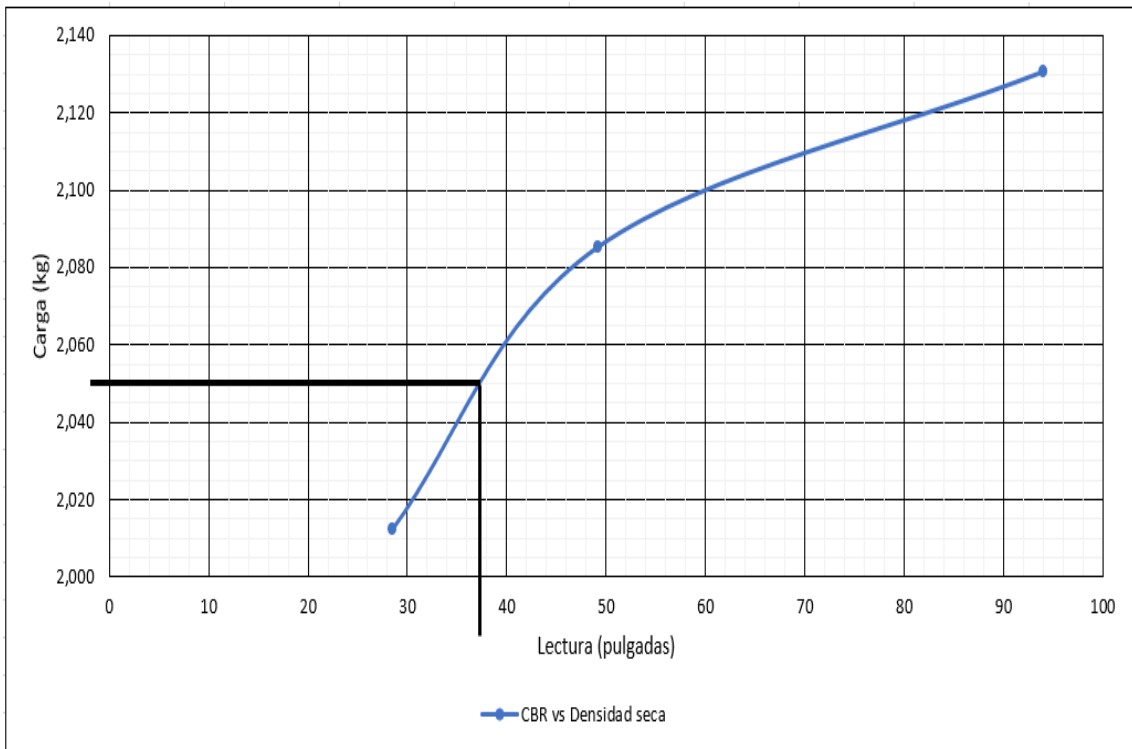


Imagen 74 - Curva CBR vs Densidad seca.

*Anexo de Actividad N°3: Ensayos DCP, densidad in situ,  
identificación y compactación.*

**PLANILLA DE CÁLCULO**

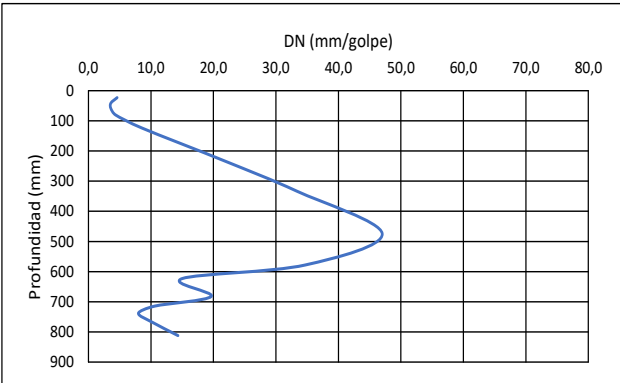
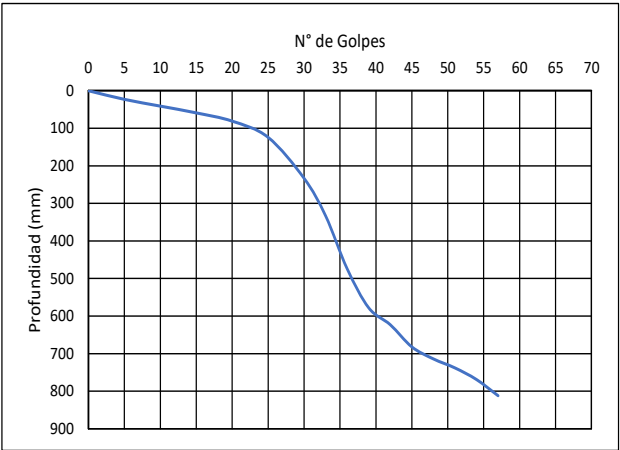
**OBRA: Predio de CONIFERAL S.A.C.I.F**

FECHA: 16/04/19  
 COMITENTE: CONIFERAL S.A.C.I.F  
 MATERIAL: BASE EXISTENTE

PLANILLA: 1/6  
 NORMA: ASTM D6951

**ENSAYO PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (DCP)**

Golpes	Prof. (mm)	DN (mm/g)
0	0	0
5	23	4,6
5	41	3,6
5	59	3,6
5	81	4,4
5	124	8,6
5	233	21,8
3	333	33,3
3	474	47,0
3	578	34,7
3	623	15,0
3	682	19,7
3	714	10,7
3	738	8,0
3	769	10,3
3	812	14,3



Resumen:

Capa	Espesor (mm)	DN (mm/g)
1	135	4,8
2	476	38,7
3	201	11,3

Observaciones: Coincide con densidad in situ D1.

**PLANILLA DE CÁLCULO**

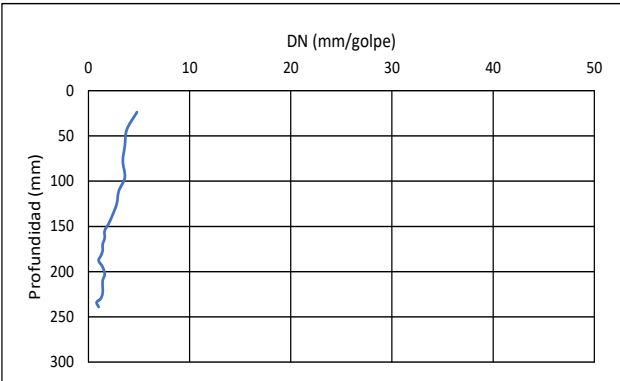
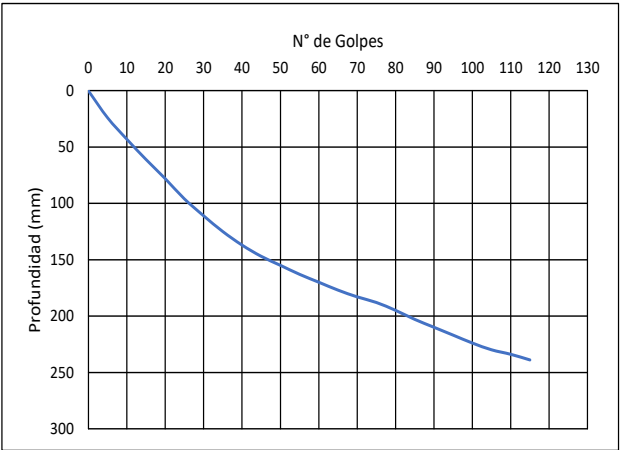
**OBRA: Predio de CONIFERAL S.A.C.I.F**

FECHA: 16/04/19  
 COMITENTE: CONIFERAL S.A.C.I.F  
 MATERIAL: BASE EXISTENTE

PLANILLA: 2/6  
 NORMA: ASTM D6951

**ENSAYO PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (DCP)**

Golpes	Prof. (mm)	DN (mm/g)
0	0	0
5	24	4,8
5	43	3,8
5	61	3,6
5	78	3,4
5	96	3,6
5	111	3,0
5	125	2,8
5	137	2,4
5	147	2,0
5	155	1,6
5	163	1,6
5	170	1,4
5	177	1,4
5	183	1,2
5	188	1,0
5	195	1,4
5	203	1,6
5	210	1,4
5	217	1,4
5	224	1,4
5	230	1,2
5	234	0,8
5	239	1,0



Resumen:

Capa	Espesor (mm)	DN (mm/g)
1	239	3,9

Observaciones:

**PLANILLA DE CÁLCULO**

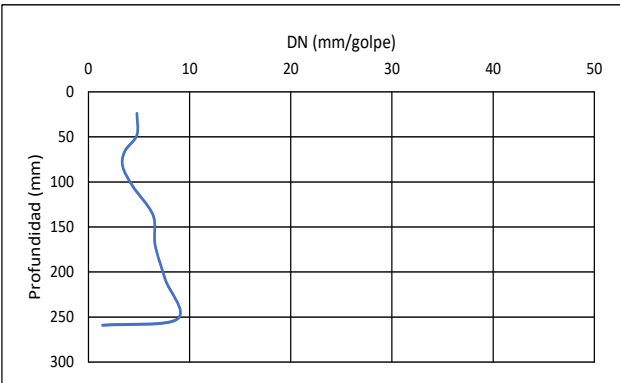
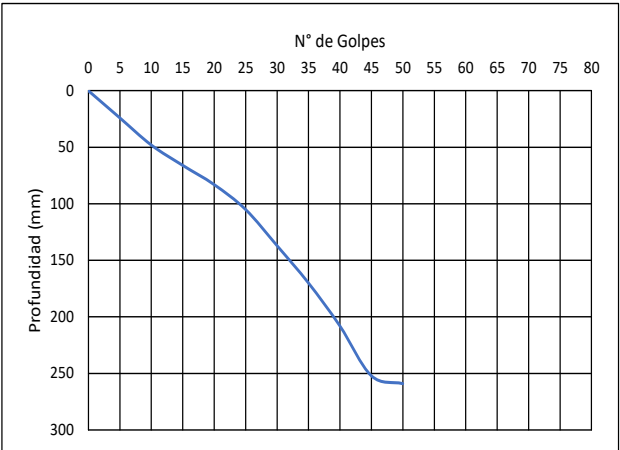
**OBRA: Predio de CONIFERAL S.A.C.I.F**

FECHA: 16/04/19  
 COMITENTE: CONIFERAL S.A.C.I.F  
 MATERIAL: BASE EXISTENTE

PLANILLA: 3/6  
 NORMA: ASTM D6951

**ENSAYO PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (DCP)**

Golpes	Prof. (mm)	DN (mm/g)
0	0	0
5	24	4,8
5	48	4,8
5	66	3,6
5	83	3,4
5	105	4,4
5	137	6,4
5	170	6,6
5	208	7,6
5	252	8,8
5	259	1,4



Resumen:

Capa	Espesor (mm)	DN (mm/g)
1	252	5,1

Observaciones:

**PLANILLA DE CÁLCULO**

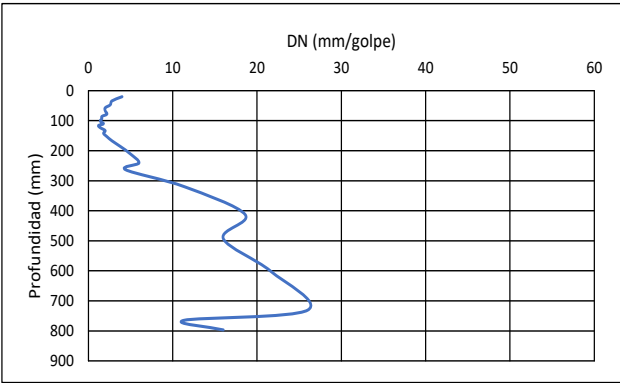
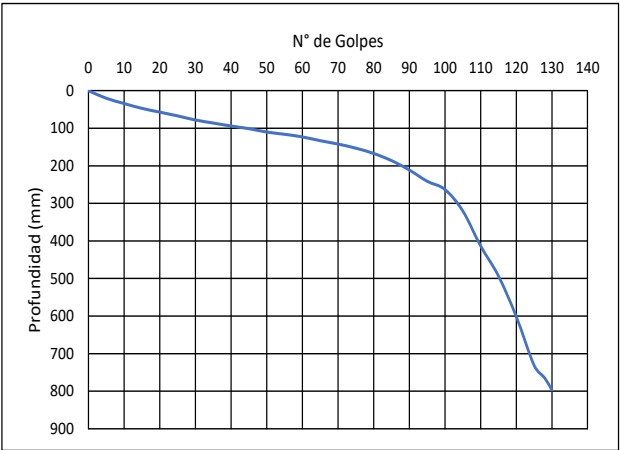
**OBRA: Predio de CONIFERAL S.A.C.I.F**

FECHA: 16/04/19  
 COMITENTE: CONIFERAL S.A.C.I.F  
 MATERIAL: BASE EXISTENTE

PLANILLA: 4/6  
 NORMA: ASTM D6951

**ENSAYO PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (DCP)**

Golpes	Prof. (mm)	DN (mm/g)
0	0	0
5	20	4,0
5	34	2,8
5	47	2,6
5	57	2,0
5	67	2,0
5	78	2,2
5	86	1,6
5	94	1,6
5	101	1,4
5	110	1,8
5	116	1,2
5	123	1,4
5	133	2,0
5	142	1,8
5	153	2,2
5	167	2,8
5	186	3,8
5	211	5,0
5	241	6,0
5	263	4,4
5	320	11,4
5	413	18,6
5	493	16,0
5	601	21,6
5	731	26,0
3	765	11,3
2	797	16,0



Resumen:

Capa	Espesor (mm)	DN (mm/g)
1	239	2,4
2	558	17,6

Observaciones: Coincide con densidad in situ D2.

**PLANILLA DE CÁLCULO**

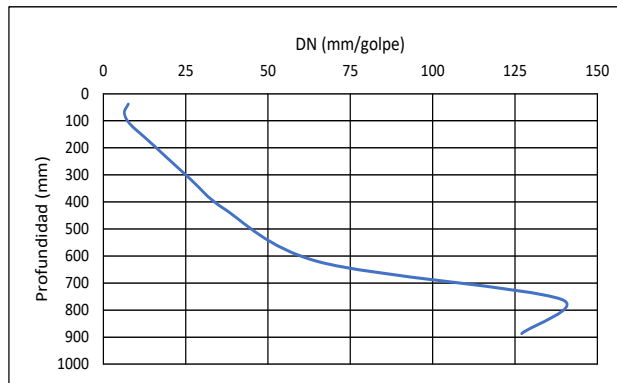
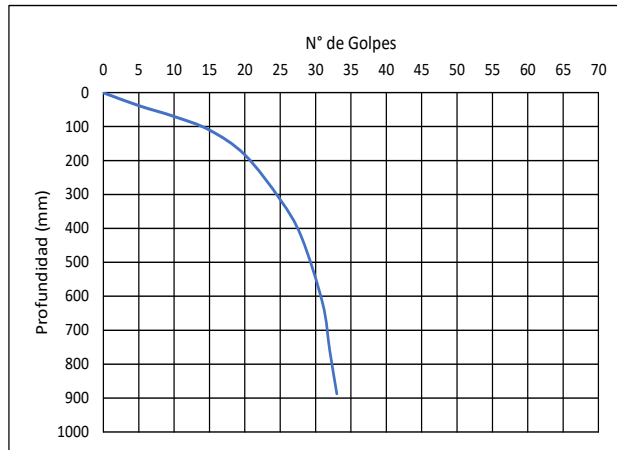
**OBRA: Predio de CONIFERAL S.A.C.I.F**

FECHA: 16/04/19  
 COMITENTE: CONIFERAL S.A.C.I.F  
 MATERIAL: BASE EXISTENTE

PLANILLA: 5/6  
 NORMA: ASTM D6951

**ENSAYO PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (DCP)**

Golpes	Prof. (mm)	DN (mm/g)
0	0	0
5	38	7,6
5	70	6,4
5	110	8,0
5	183	14,6
5	315	26,4
3	425	36,7
3	621	65,3
1	760	139,0
1	887	127,0



Resumen:

Capa	Espesor (mm)	DN (mm/g)
1	136	7,3
2	330	28,3
3	421	133,2

Observaciones:



**PLANILLA DE CÁLCULO**

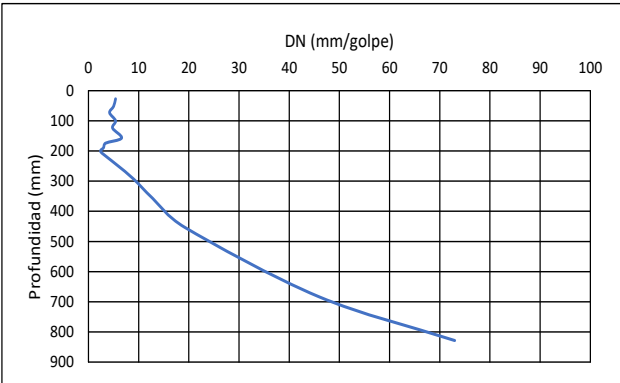
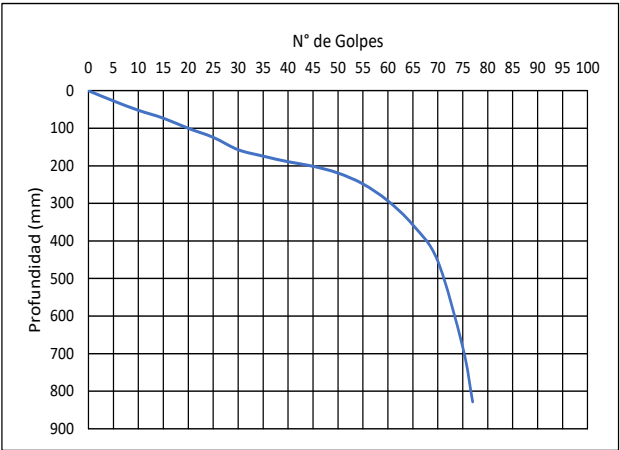
**OBRA: Predio de CONIFERAL S.A.C.I.F**

FECHA: 16/04/19  
 COMITENTE: CONIFERAL S.A.C.I.F  
 MATERIAL: BASE EXISTENTE

PLANILLA: 6/6  
 NORMA: ASTM D6951

**ENSAYO PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (DCP)**

Golpes	Prof. (mm)	DN (mm/g)
0	0	0
5	27	5,4
5	52	5,0
5	73	4,2
5	100	5,4
5	124	4,8
5	157	6,6
5	174	3,4
5	189	3,0
5	201	2,4
5	219	3,6
5	248	5,8
5	293	9,0
5	357	12,8
5	453	19,2
5	682	45,8
2	828	73,0



Resumen:

Capa	Espesor (mm)	DN (mm/g)
1	249	4,5
2	220	13,3
3	359	99,4

Observaciones: Coincide con densidad in situ D3.

**PLANILLA DE CÁLCULO**  
**OBRA: Manantiales**

FECHA: 16/4/2019  
COMITENTE: CONFIERAL S.A. C.I.F  
MATERIAL: BASE EXISTENTE

PLANILLA: 1/1  
NORMA: VN-E8-66

**PLANILLA DE CÁLCULO - ENSAYO DE DENSIDAD - METODO DE LA ARENA**

Pozo Nº	Fecha	Psh (gr)	Pss (gr)	Humedad in situ (%)	Arena inicial (gr)	Arena remanente (gr)	Constante cono (gr)	Arena pozo (gr)	Densidad arena (gr/cm <sup>3</sup> )	Volumen pozo (cm <sup>3</sup> )	Densidad in situ (gr/cm <sup>3</sup> )	Densidad máxima (gr/cm <sup>3</sup> )	GC (%)
D1	16/4	2400	2314	3,7	3706	1103	1173	1430	1,350	1059	2,185	2,122	102,9
D2	16/4	1506	1460	3,2	3660	1520	1173	967	1,350	716	2,038	2,122	96,1
D3	16/4	1853	1773	4,5	3823	1469	1173	1181	1,350	875	2,027	2,122	95,5
D4													
D5													
D6													
D7													
D8													
D9													
D10													

OBSERVACIONES POZO:

- Nº1: Realizado sobre el material de base
- Nº2: Realizado sobre el material de base
- Nº3: Realizado sobre el material de base
- Nº4:
- Nº5:
- Nº6:
- Nº7:
- Nº8:
- Nº9:
- Nº10:

**PLANILLA DE CÁLCULO**

**OBRA: Predio de CONIFERAL S.A.C.I.F**

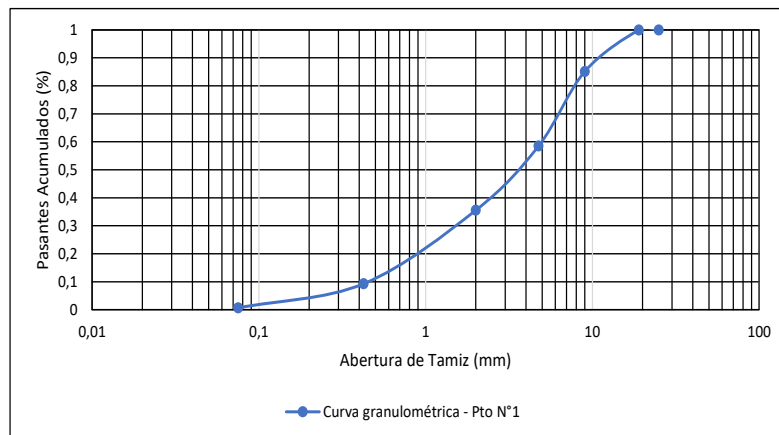
FECHA: 16/04/19  
 COMITENTE: CONIFERAL S.A.C.I.F  
 MATERIAL: BASE EXISTENTE (D1)

PLANILLA: 1/3  
 NORMA: VN-E7-65

**ANÁLISIS MECÁNICO DE MATERIALES GRANULARES**

Peso Seco total inicial (Pt) = 2314

Tamiz	Abertura (mm)	Pasante (gr)	Pasante Acumulado (%)
1"	25	2314	100
3/4"	19	2314	100
3/8"	9	1971	85,2
4,0	4,75	1354	58,5
10,0	2	824	35,6
40,0	0,425	216	9,3
200,0	0,075	16	0,7



Resumen: Material de granulometría cerrada

Observaciones: Coincide con DCP N°1

**PLANILLA DE CÁLCULO**

**OBRA: Predio de CONIFERAL S.A.C.I.F**

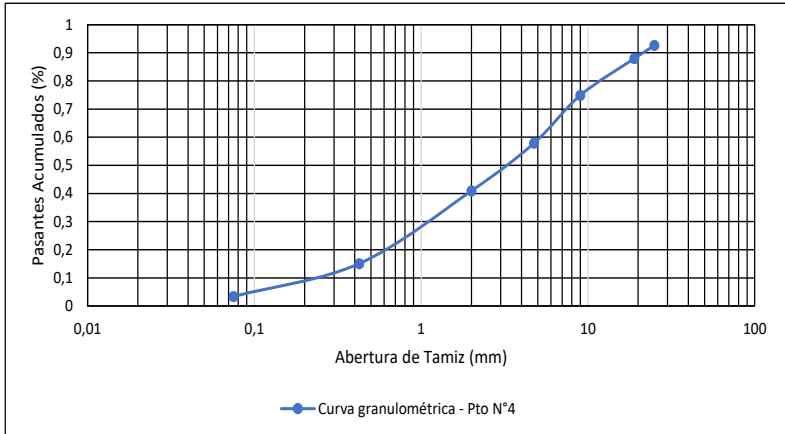
FECHA: 16/04/19  
 COMITENTE: CONIFERAL S.A.C.I.F  
 MATERIAL: BASE EXISTENTE (D2)

PLANILLA: 2/3  
 NORMA: VN-E7-65

**ANÁLISIS MECÁNICO DE MATERIALES GRANULARES**

Peso Seco total inicial (Pt) = 1854

Tamiz	Abertura (mm)	Pasante (gr)	Pasante Acumulado (%)
1"	25	1716	92,6
3/4"	19	1631	88
3/8"	9	1388	74,9
4,0	4,75	1073	57,9
10,0	2	758	40,9
40,0	0,425	279	15
200,0	0,075	62	3,3



Resumen: Material de granulometría cerrada

Observaciones: Coincide con DCP N°4

**PLANILLA DE CÁLCULO**

**OBRA: Predio de CONIFERAL S.A.C.I.F**

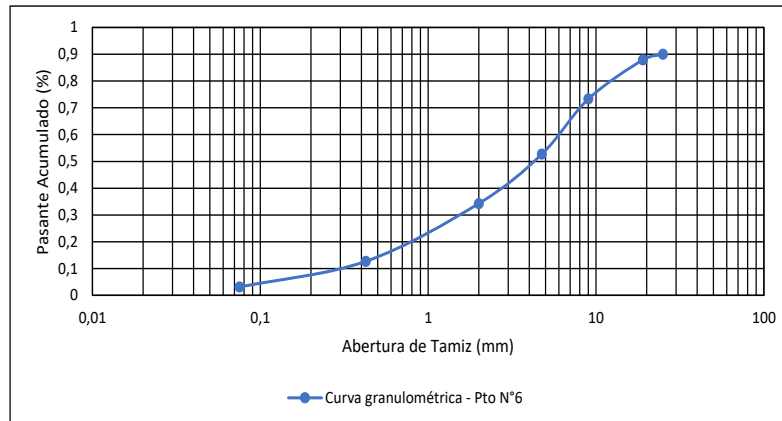
FECHA: 16/04/19  
 COMITENTE: CONIFERAL S.A.C.I.F  
 MATERIAL: BASE EXISTENTE (D3)

PLANILLA: 3/3  
 NORMA: VN-E7-65

**ANÁLISIS MECÁNICO DE MATERIALES GRANULARES**

Peso Seco total inicial (Pt) = 1791

Tamiz	Abertura (mm)	Pasante (gr)	Pasante Acumulado (%)
1"	25	1611	89,9
3/4"	19	1574	87,9
3/8"	9	1313	73,3
4,0	4,75	944	52,7
10,0	2	614	34,3
40,0	0,425	228	12,7
200,0	0,075	56	3,1



Resumen: Material de granulometría cerrada

Observaciones: Coincide con DCP N°6

**PLANILLA DE CÁLCULO**

**OBRA: Predio de CONIFERAL S.A.C.I.F**

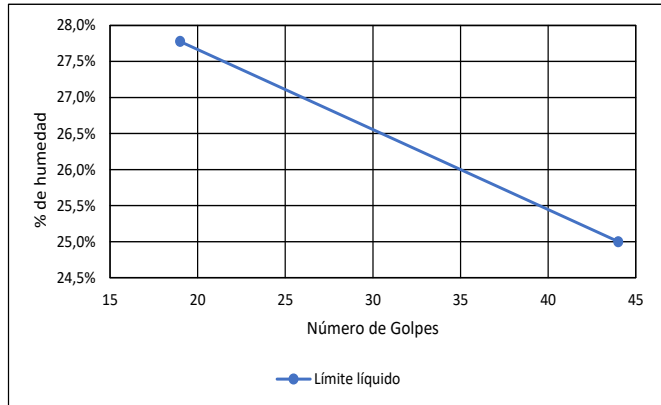
FECHA: 16/04/19  
 COMITENTE: CONIFERAL S.A.C.I.F  
 MATERIAL: BASE EXISTENTE (D1)

PLANILLA: 1/3  
 NORMA: VN-E2-65  
 VN-E3-65

**LÍMITES DE CONSISTENCIA**

**Límite Líquido**

Peso húmedo (gr)	Nº de Golpes	Peso seco (gr)	Peso de agua (gr)	Humedad (%)	Límite Líquido (%)
23	19	18	5	27,8	27,1
15	44	12	3	25,0	



**Límite Plástico**

Peso húmedo (gr)	Peso seco (gr)	Peso de agua (gr)	Límite Plástico (%)
11	9	2	22,2

**Índice Plástico**

Límite Líquido (%)	Límite Plástico (%)	Índice Plástico (%)
27,1	22,2	4,9

Observaciones: Material que presenta límite líquido pero baja plasticidad

**PLANILLA DE CÁLCULO**

**OBRA: Predio de CONIFERAL S.A.C.I.F**

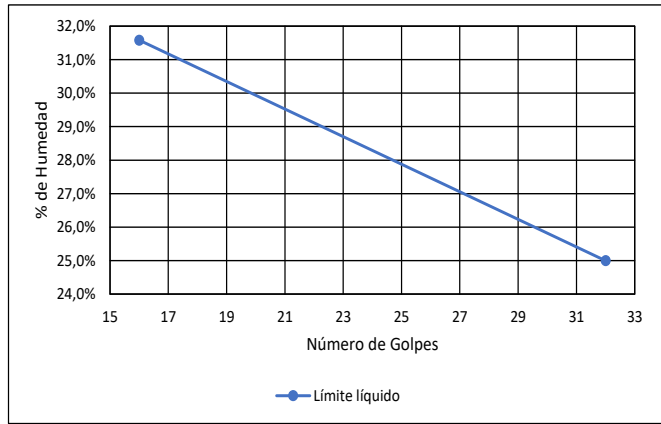
FECHA: 16/04/19  
 COMITENTE: CONIFERAL S.A.C.I.F  
 MATERIAL: BASE EXISTENTE (D2)

PLANILLA: 2/3  
 NORMA: VN-E2-65  
 VN-E3-65

**LÍMITES DE CONSISTENCIA**

**Límite Líquido**

Peso húmedo (gr)	Nº de Golpes	Peso seco (gr)	Peso de agua (gr)	Humedad (%)	Límite Líquido (%)
25	16	19	6	31,6	27,8
25	32	20	5	25,0	



**Límite Plástico**

Peso húmedo (gr)	Peso seco (gr)	Peso de agua (gr)	Límite Plástico (%)
13,5	10,97	2,53	23,1

**Índice Plástico**

Límite Líquido (%)	Límite Plástico (%)	Índice Plástico (%)
27,8	23,1	4,7

Observaciones: Material que presenta límite líquido pero baja plasticidad



**PLANILLA DE CÁLCULO**

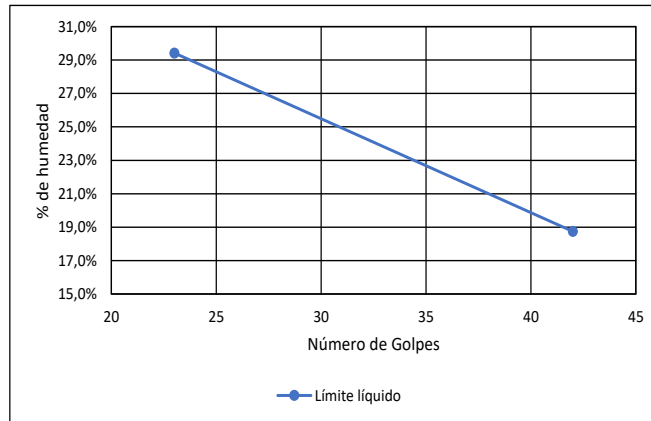
**OBRA: Predio de CONIFERAL S.A.C.I.F**

FECHA: 16/04/19  
 PLANILLA: 3/3  
 COMITENTE: CONIFERAL S.A.C.I.F  
 NORMA: VN-E2-65  
 MATERIAL: BASE EXISTENTE (D3)  
 VN-E3-65

**LÍMITES DE CONSISTENCIA**

**Límite Líquido**

Peso húmedo (gr)	Nº de Golpes	Peso seco (gr)	Peso de agua (gr)	Humedad (%)	Límite Líquido (%)
22	23	17	5	29,4%	28,0
19	42	16	3	18,8%	



**Límite Plástico**

Peso húmedo (gr)	Peso seco (gr)	Peso de agua (gr)	Límite Plástico (%)
21	17	4,00	23,5

**Índice Plástico**

Límite Líquido (%)	Límite Plástico (%)	Índice Plástico (%)
28	23,5	4,5

Observaciones: Material que presenta límite líquido pero baja plasticidad

**PLANILLA DE CÁLCULO**

**OBRA: Predio de CONIFERAL S.A.C.I.F**

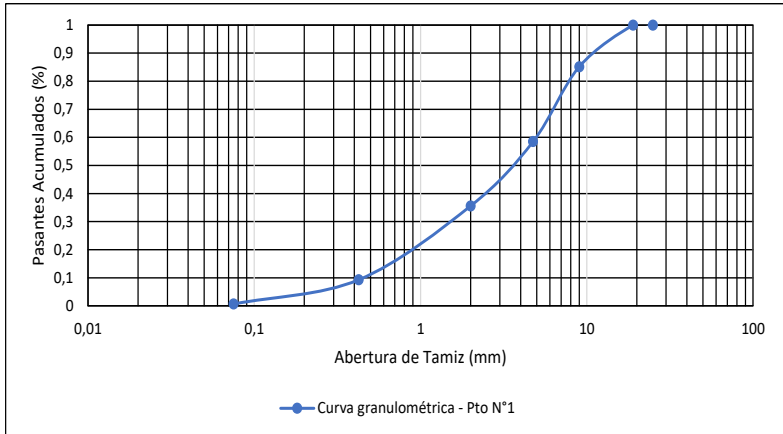
FECHA: 16/04/19  
 COMITENTE: CONIFERAL S.A.C.I.F  
 MATERIAL: BASE EXISTENTE (D1)

PLANILLA: 1/3  
 NORMA: VN-E4-84

**ANÁLISIS MECÁNICO DE MATERIALES GRANULARES**

Tamiz	Abertura (mm)	Pasante Acumulado (%)
1"	25	100
3/4"	19	100
3/8"	9	85,2
4,0	4,75	58,5
10,0	2	35,6
40,0	0,425	9,3
200,0	0,075	0,7

Límites de Atterberg		
Límite Líquido (%)	Límite Plástico (%)	Índice Plástico (%)
27,1	22,2	4,9



**CLASIFICACIÓN DE SUELOS H.R.B**

Resultado: Tipo de suelo (H.R.B) "A-1-a"

Observaciones: Compuesto principalmente por fragmentos de rocas, gravas y arena  
 Excelente comportamiento del suelo como subrasante

**PLANILLA DE CÁLCULO**

**OBRA: Predio de CONIFERAL S.A.C.I.F**

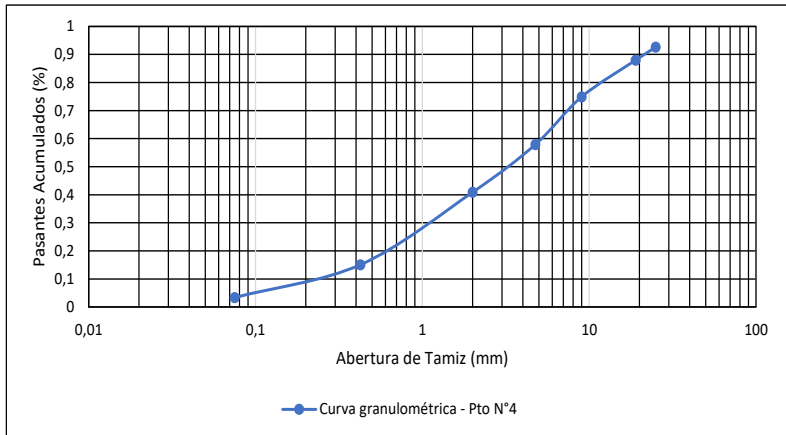
FECHA: 16/04/19  
 COMITENTE: CONIFERAL S.A.C.I.F  
 MATERIAL: BASE EXISTENTE (D2)

PLANILLA: 2/3  
 NORMA: VN-E4-84

**ANÁLISIS MECÁNICO DE MATERIALES GRANULARES**

Tamiz	Abertura (mm)	Pasante Acumulado (%)
1"	25	92,6
3/4"	19	88
3/8"	9	74,9
4,0	4,75	57,9
10,0	2	40,9
40,0	0,425	15
200,0	0,075	3,3

Límites de Atterberg		
Límite Líquido (%)	Límite Plástico (%)	Índice Plástico (%)
27,8	23,1	4,7



**CLASIFICACIÓN DE SUELOS H.R.B**

Resultado: Tipo de suelo (H.R.B) "A-1-a"

Observaciones: Compuesto principalmente por fragmentos de rocas, gravas y arena  
 Excelente comportamiento del suelo como subrasante

**PLANILLA DE CÁLCULO**

**OBRA: Predio de CONIFERAL S.A.C.I.F**

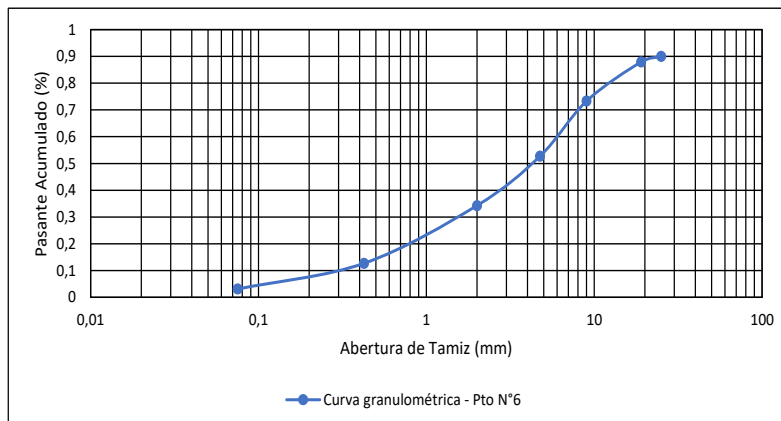
FECHA: 16/04/19  
 COMITENTE: CONIFERAL S.A.C.I.F  
 MATERIAL: BASE EXISTENTE (D2)

PLANILLA: 3/3  
 NORMA: VN-E4-84

**ANÁLISIS MECÁNICO DE MATERIALES GRANULARES**

Tamiz	Abertura (mm)	Pasante Acumulado (%)
1"	25	89,9
3/4"	19	87,9
3/8"	9	73,3
4,0	4,75	52,7
10,0	2	34,3
40,0	0,425	12,7
200,0	0,075	3,1

Límites de Atterberg		
Límite Líquido (%)	Límite Plástico (%)	Índice Plástico (%)
28	23,5	4,5



**CLASIFICACIÓN DE SUELOS H.R.B**

Resultado: Tipo de suelo (H.R.B) "A-1-a"

Observaciones: Compuesto principalmente por fragmentos de rocas, gravas y arena  
 Excelente comportamiento del suelo como subrasante

**PLANILLA DE CÁLCULO**

**OBRA: Predio de CONIFERAL S.A.C.I.F**

FECHA: 16/04/19  
 COMITENTE: CONIFERAL S.A.C.I.F  
 MATERIAL: BASE EXISTENTE

PLANILLA: 1/1  
 NORMA: VN-E5-93

**ENSAYO DE COMPACTACIÓN DE SUELOS**

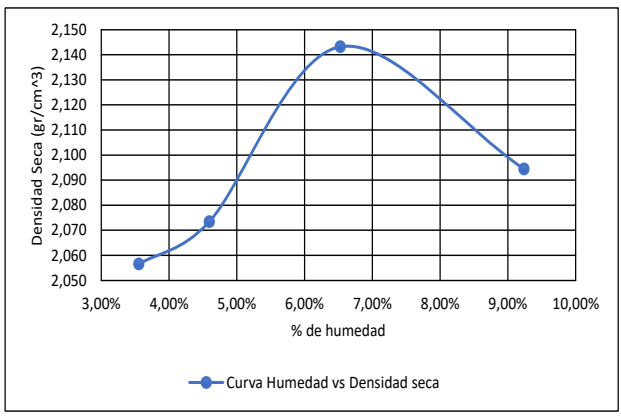
Ensayo	Diám. del molde (mm)	Peso del pisón (kg)	Altura de caída (cm)	Número de capas	Número de golpes
I	101,6	2,5	30,5	3	25
II	101,6	4,54	45,7	5	25
III	101,6	2,5	30,5	3	35
IV	152,4	2,5	30,5	3	25
V	152,4	4,54	45,7	5	56

Características del ensayo:

- Tipo de ensayo: V
- Diámetro del molde (mm): 152,4
- Peso del pisón (kg): 4,54
- Altura de caída (cm): 45,7
- Número de capas: 5
- Número de golpes: 56

Punto N°	Wm + Ws (gr)	Wm (gr)	Ws (gr)	Vm (cm <sup>3</sup> )	Dh (gr/cm <sup>3</sup> )
1	7518,0	3050	4468	2098	2,130
2	7600,0	3050	4550	2098	2,169
3	7840,0	3050	4790	2098	2,283
4	7850,0	3050	4800	2098	2,288

Punto N°	Wsh (gr)	Wss (gr)	Ww (gr)	Humedad (%)	Ds (gr/cm <sup>3</sup> )
1	990	956	34	3,6%	2,057
2	933	892	41	4,6%	2,073
3	979	919	60	6,5%	2,143
4	674	617	57	9,2%	2,094



Resultados:  
 Densidad seca máxima = 2,143 gr/cm<sup>3</sup>  
 Humedad óptima = 6,5%

*Anexo de Actividad N°4: Análisis granulométrico, límites de  
consistencia y compactación de mezclas suelo-cal y suelo-cemento.*

**PLANILLA DE CÁLCULO**

**OBRA: Estudio de Ligantes de HOLCIM S.A**

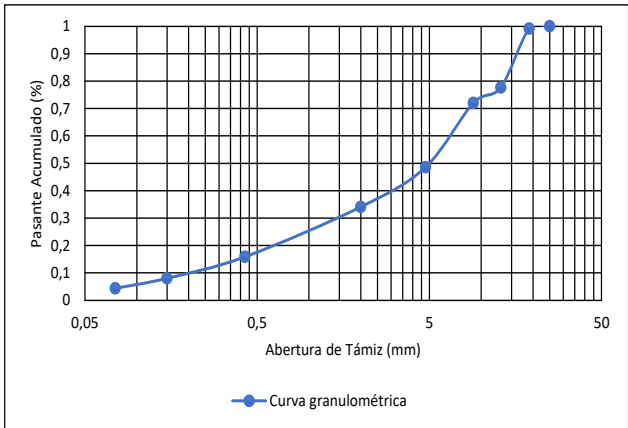
FECHA: 25/07/19  
 COMITENTE: HOLCIM S.A  
 MATERIAL: GRANULAR 0/20

PLANILLA: 1/1  
 NORMA: VN-E7-65

**ANÁLISIS MECÁNICO DE MATERIALES GRANULARES**

Peso Seco total inicial (Pt) =	10240
PC (gr)	1518
PA (gr)	4973
f = PA/PC	3,28

Tamiz	Abertura (mm)	Pasante (gr)	Pasante Acumulado (%)
1"	25	10240	100,0
3/4"	19	10158	99,2
1/2"	13	7951	77,6
3/8"	9	7373	72,0
4,0	4,75	4973	48,6
10,0	2	3489	34,1
40,0	0,425	1622	0,2
100,0	0,15	819	8,0
200,0	0,075	442	4,3



Resumen: Material de granulometría cerrada

Observaciones:



**PLANILLA DE CÁLCULO**

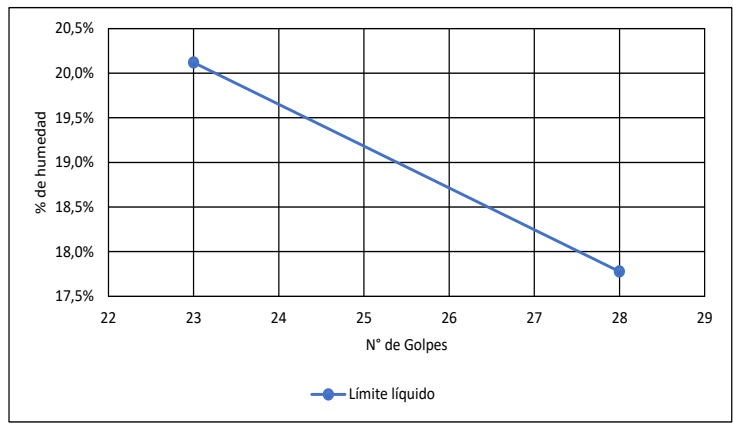
**OBRA: Estudio de Ligantes de HOLCIM S.A**

FECHA: 25/07/19	PLANILLA: 1/1
COMITENTE: HOLCIM S.A	NORMA: VN-E2-65
MATERIAL: GRANULAR 0/20	VN-E3-65

**LÍMITES DE CONSISTENCIA**

**Límite Líquido**

Peso húmedo (gr)	Nº de Golpes	Peso seco (gr)	Peso de agua (gr)	Humedad (%)	Límite Líquido (%)
20,3	23	16,9	3,4	20,1%	19,2
15,9	28	13,5	2,4	17,8%	



**Límite Plástico**

Peso húmedo (gr)	Peso seco (gr)	Peso de agua (gr)	Límite Plástico (%)
5,6	4,9	0,7	14,3

**Índice Plástico**

Límite Líquido (%)	Límite Plástico (%)	Índice Plástico (%)
19,2	14,3	4,9

Observaciones: Material que presenta límite líquido pero baja plasticidad

**PLANILLA DE CÁLCULO**

**OBRA: Estudio de Ligantes de HOLCIM S.A**

FECHA: 25/07/19  
 COMITENTE: EDISUR S.A.  
 MATERIAL: GRANULAR 0/20

PLANILLA: 1/2  
 NORMA: VN-E19-66

**ENSAYO DE COMPACTACIÓN DE MEZCLAS SUELO - CEMENTO Y SUELO - CAL**

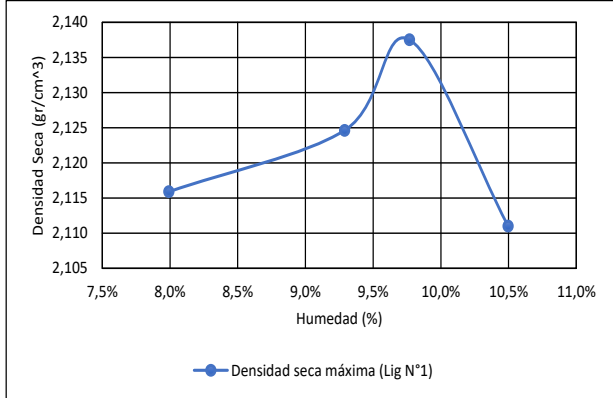
Ensayo	Diám. del molde (mm)	Peso del pisón (kg)	Altura de caída (cm)	Número de capas	Número de golpes
I	101,6	2,5	30,5	3	25
II	101,6	4,54	45,7	5	25
III	101,6	2,5	30,5	3	35
IV	152,4	2,5	30,5	3	25
V	152,4	4,54	45,7	5	56

Características del ensayo:

- Tipo de ensayo: I
- Diámetro del molde (mm): 101,6
- Peso del pisón (kg): 2,5
- Altura de caída (cm): 30,5
- Número de capas: 3
- Número de golpes: 25

Punto N°	Wm + Ws (gr)	Wm (gr)	Ws (gr)	Vm (cm <sup>3</sup> )	Dh (gr/cm <sup>3</sup> )
1	4185	2025	2160	945	2,285
2	4220	2025	2195	945	2,322
3	4243	2025	2218	945	2,346
4	4230	2025	2205	945	2,333

Punto N°	Wsh (gr)	Wss (gr)	Ww (gr)	Humedad (%)	Ds (gr/cm <sup>3</sup> )
1	1000	926	74	8,0%	2,116
2	1000	915	85	9,3%	2,125
3	1000	911	89	9,8%	2,137
4	1000	905	95	10,5%	2,111



Resultados:  
 Densidad seca máxima = 2,137 gr/cm<sup>3</sup>  
 Humedad óptima = 9,8 %

**PLANILLA DE CÁLCULO**

**OBRA: Estudio de Ligantes de HOLCIM S.A**

FECHA: 25/07/19  
 COMITENTE: EDISUR S.A.  
 MATERIAL: GRANULAR 0/20

PLANILLA: 2/2  
 NORMA: VN-E19-66

**ENSAYO DE COMPACTACIÓN DE SUELOS**

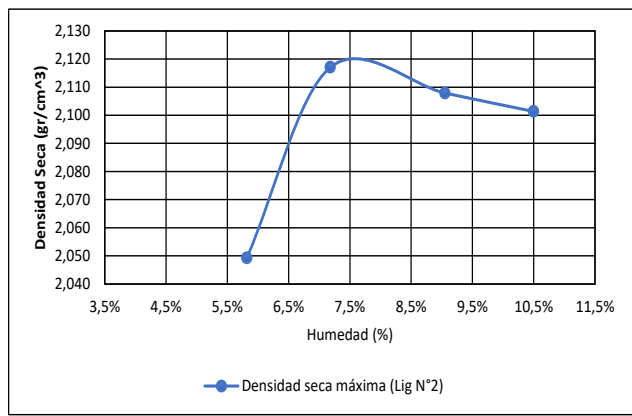
Ensayo	Diám. del molde (mm)	Peso del pisón (kg)	Altura de caída (cm)	Número de capas	Número de golpes
I	101,6	2,5	30,5	3	25
II	101,6	4,54	45,7	5	25
III	101,6	2,5	30,5	3	35
IV	152,4	2,5	30,5	3	25
V	152,4	4,54	45,7	5	56

Características del ensayo:

- Tipo de ensayo: I
- Diámetro del molde (mm): 101,6
- Peso del pisón (kg): 2,5
- Altura de caída (cm): 30,5
- Número de capas: 3
- Número de golpes: 25

Punto N°	Wm + Ws (gr)	Wm (gr)	Ws (gr)	Vm (cm <sup>3</sup> )	Dh (gr/cm <sup>3</sup> )
1	4075	2025	2050	945	2,169
2	4170	2025	2145	945	2,269
3	4198	2025	2173	945	2,299
4	4220	2025	2195	945	2,322

Punto N°	Wsh (gr)	Wss (gr)	Ww (gr)	Humedad (%)	Ds (gr/cm <sup>3</sup> )
1	1000	945	55	5,8%	2,049
2	1000	933	67	7,2%	2,117
3	1000	917	83	9,1%	2,108
4	1000	905	95	10,5%	2,101



Resultados:  
 Densidad seca máxima = 2,117 gr/cm<sup>3</sup>  
 Humedad óptima = 7,2 %

*Anexo de Actividad N°5: Ensayo de compactación.*

**PLANILLA DE CÁLCULO**

**OBRA: Costas de Manantiales**

FECHA: 04/08/19  
 COMITENTE: EDISUR S.A  
 MATERIAL: SUELO

PLANILLA: 1/1  
 NORMA: VN-E5-93

**ENSAYO DE COMPACTACIÓN DE SUELOS**

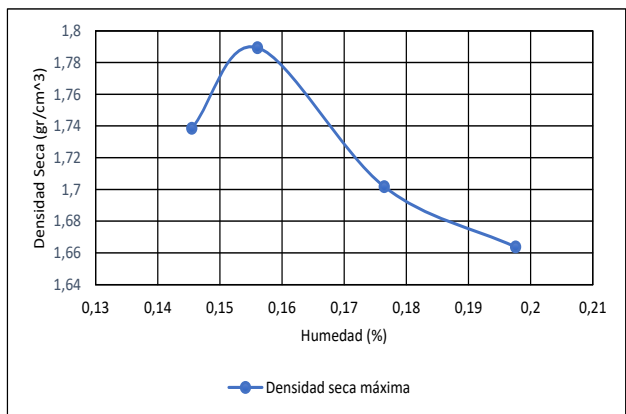
Ensayo	Diám. del molde (mm)	Peso del pisón (kg)	Altura de caída (cm)	Número de capas	Número de golpes
I	101,6	2,5	30,5	3	25
II	101,6	4,54	45,7	5	25
III	101,6	2,5	30,5	3	35
IV	152,4	2,5	30,5	3	25
V	152,4	4,54	45,7	5	56

Características del ensayo:

- Tipo de ensayo: V
- Diámetro del molde (mm): 152,4
- Peso del pisón (kg): 4,54
- Altura de caída (cm): 45,7
- Número de capas: 5
- Número de golpes: 66

Punto N°	Wm + Ws (gr)	Wm (gr)	Ws (gr)	Vm (cm <sup>3</sup> )	Dh (gr/cm <sup>3</sup> )
1	7228	3050	4178	2098	1,991
2	7390	3050	4340	2098	2,069
3	7250	3050	4200	2098	2,002
4	7230	3050	4180	2098	1,992

Punto N°	Wsh (gr)	Wss (gr)	Ww (gr)	Humedad (%)	Ds (gr/cm <sup>3</sup> )
1	1000	873	127	14,5%	1,739
2	1000	865	135	15,6%	1,789
3	1000	850	150	17,6%	1,702
4	1000	835	165	19,8%	1,664



Resultados:  
 Densidad seca máxima = 1,789 gr/cm<sup>3</sup>  
 Humedad óptima = 15,6 %

## **Apéndice: Normas de Vialidad Nacional**

# NORMAS DE ENSAYOS



DIRECCIÓN NACIONAL DE VIALIDAD  
(1° Distrito Buenos Aires)

# NORMA DE ENSAYO

## VN - E2 - 65

### LIMITE LÍQUIDO

[índice](#)

#### 2.1 – OBJETO

Esta norma detalla el procedimiento a seguir para determinar el límite líquido de un suelo.

Límite Líquido: Es el contenido de humedad, expresado en por ciento del peso del suelo seco, existente en un suelo en el límite entre el estado plástico y el estado líquido del mismo. Este límite se define arbitrariamente como el contenido de humedad necesario para que las dos mitades de una pasta de suelo de 1 cm. de espesor fluya y se unan en una longitud de 12 mm., aproximadamente, en el fondo de la muesca que separa las dos mitades, cuando la cápsula que la contiene golpea 25 veces desde una altura de 1 cm., a la velocidad de 2 golpes por segundo.

#### 2.2 – APARATOS

- a. Mortero de porcelana o madera con pilón revestido con goma, de medidas corrientes.
- b. Tamiz IRAM 425 micrómetros (Nº 40).
- c. Cápsula de porcelana o hierro enlozado de 10 a 12 cm., de diámetro.
- d. Espátula de acero flexible con hoja de 75 a 80 mm. de largo y 20 mm. de ancho, con mango de madera.
- e. Aparato para la determinación semimecánica del límite líquido de las dimensiones y demás características indicadas en la figura Nº 1.
- f. Acanalador de bronce o acero inoxidable de las dimensiones y demás características indicadas en la figura Nº 2.
- g. Pesa filtros de vidrio o aluminio de 40 mm. de diámetro y 30 mm. de altura aproximadamente.
- h. Buretas de vidrio con robinetas.
- i. Balanza de precisión con sensibilidad de 1 centigramo.
- j. Estufa para secado de muestras regulable, que asegure temperaturas de 105° C. –110° C.
- k. Elementos varios de uso corriente: bandejas para mezclas de material, rociadores, probetas, espátulas, etc.

#### 2.3 – PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

El ensayo se realiza sobre la fracción del material que pasa por el tamiz IRAM 425 micrómetros (Nº 40). Si se está efectuando la clasificación del suelo según la Norma [VN-E4-84](#), y “Clasificación de Suelos – Índice de Grupos” se utiliza la parte del material que se dejó aparte según lo indicado en el ap. 1.3 (c) de la Norma [VN-E1-65](#) “Tamizado e suelos por vía húmeda”.

##### 1. Suelos finos:

- a. Si se trata de suelo fino se toma por cuarteo una porción de 400 a 500 gr., de suelo secado al aire y se lo hace pasar por el tamiz IRAM 425 micrómetros (Nº



40). La porción retenida por este tamiz se coloca en el mortero y se la desmenuza en el mortero con el pilón revestido en goma. Se tamiza y se repite la operación hasta que pase en su totalidad o se evidencie que la parte retenida está constituida por partículas individuales, de tamaño mayor que la abertura del tamiz.

Debe tenerse en cuenta que la operación de desmenuzar con el pilón del mortero tiene por finalidad deshacer grumos y no romper partículas de arena.

- b. Se reúnen todas las porciones obtenidas y se mezclan cuidadosamente, para obtener un material homogéneo.

## **2. Suelos con material grueso:**

- a. Si la muestra contiene material grueso, se separa éste por tamizado a través del tamiz IRAM 2 mm. (N° 10). Con la parte fina se procede como se indicó en el ap. 2.3 -1-2 (a) y (b).
- b. Si a pesar del desmenuzado se observa que queda material fino adherido a las partículas gruesas, estas se ponen en maceración con la menor cantidad posible de agua y se hacen pasar por el tamiz IRAM 425 micrómetros (N° 40). Se recoge el líquido que pasa, el que será evaporado a sequedad, a temperatura no mayor a 60° C. El residuo se desmenuza, y se incorpora a las demás fracciones ya obtenidas, mezclándose cuidadosamente hasta obtener un material homogéneo.

## **2.4– CALIBRACIÓN DEL APARATO**

Verificar que el aparato de Casagrande para la determinación del límite líquido esté en buenas condiciones de funcionamiento, que el eje sobre el que gira la cápsula no esté desgastado hasta el punto de permitir desplazamientos laterales de la misma; que los tornillos que conectan la cápsula al brazo estén apretados y que la superficie de la cápsula no presente excesivo desgaste.

La base de 50 mm. de espesor, debe ser de ebonita o de madera dura con una placa de ebonita, de no menos de 10 mm. de espesor, firmemente encastrada en la madera.

La cápsula debe ser de bronce pulido, debe tener las dimensiones fijadas en el croquis de la figura N° 1 y su peso, incluido el engarce y la pestaña, debe ser de 205 + ó –5 gr.

El acanalador que acompaña al aparato, debe ser de bronce o de acero inoxidable, con las dimensiones y demás características indicadas en el croquis de la figura N° 2.

La calibración mecánica del aparato se efectúa en la siguiente forma:

- a. Se aflojan los tornillos de regulación, designados T en la figura N° 1.
- b. Se intercala entre la base y la cápsula una chapa de 10 mm. de espesor. Si el acanalador tiene su mango terminado en forma de cubo de 10 mm. de arista, se puede usar para este calibrado.
- c. Mientras se va haciendo girar la manivela que acciona el excéntrico se hace correr la cápsula en uno u otro sentido, hasta que se observe que el excéntrico la libere exactamente desde 10 mm. de altura
- d. Se ajustan los tornillos de regulación. Se retira el espesor colocado y se verifica si la altura de caída libre es exactamente 10 mm. se efectúan los retoques necesarios.

## **2.5– PROCEDIMIENTO**

- a. Se toman 50 o 60 gr. Del material obtenido de acuerdo al título 2.3 y se coloca en una cápsula de hierro enlozado o porcelana, ap. 2.2 (c).

- b. Se humedece con agua destilada o potable de buena calidad, dejándose reposar por lo menos durante 1 hora.
- c. Posteriormente se continúa agregando agua en pequeñas cantidades mezclando cuidadosamente con la espátula después de cada agregado procurando obtener una distribución homogénea de la humedad y teniendo en especial cuidado de deshacer todos los grumos que se vayan formando.
- d. Cuando la pasta adquiere una consistencia tal que, al ser dividida en dos porciones, éstas comiencen a fluir cuando se golpea la cápsula contra la palma de la mano, se transfiere una porción de la misma a la cápsula de bronce del aparato, se la amasa bien y se la distribuye como lo indica la figura N° 3, de manera que el espesor en el centro sea aproximadamente de 1 cm.
- e. Con el acanalador se hace una muesca en forma tal que quede limpio el fondo de la cápsula en un ancho de 2 mm.; la muesca debe seguir una dirección normal al eje de rotación en su punto medio, figura N° 3.
- f. Se acciona la manivela a razón de dos vueltas por segundo, y se cuenta el número de golpes necesarios para que, por fluencia se cierren los bordes inferiores de la muesca, en una longitud de aproximadamente 12 mm.
- g. Verificar si la unión es por fluencia y no por corrimiento de toda la masa. Para esto se procura separar con la espátula los bordes unidos. Si hubo corrimiento de toda la masa la separación se logra fácilmente, quedando limpio el fondo de la cápsula. En cambio si ha habido fluencia, la cápsula mueve únicamente la parte que ataca y el resto queda adherido al fondo de la cápsula.
- h. Se retira una porción de pasta, de peso más o menos 10 gr. de la parte en la que se produjo la unión, y se la coloca en el pesa filtro previamente tarado. Se pesa y se anota en la planilla. También se anotará el peso del pesa filtro, su número de identificación y el número de golpes requeridos para lograr la unión de la pasta.
- i. Se repite estas operaciones dos veces más, con contenidos crecientes de agua, procurando que los números de golpes requeridos para el cierre de la muesca sean, uno mayor y otro menor de 25 golpes.
- j. La pasta colocada en el pesa filtro para cada operación se seca en la estufa a temperatura de 105° a 110° C hasta peso constante.

**NOTA:**

Para los suelos altamente plásticos, arcillas muy pesadas, se deberá preparar la muestra, de acuerdo a lo indicado en los ap. 2.5 (a) y (b) el día anterior al ensayo. Efectuado esto, se cotejará al resultado obtenido al hallado siguiendo el procedimiento normal del ensayo. En caso de obtenerse valores diferentes se adoptará el logrado por la muestra humedecida el día anterior al de ejecución del ensayo.

**2.6– CÁLCULOS:**

- a. La humedad porcentual de cada punto se calcula con la fórmula:

$$H = \frac{P1 - P2}{P2 - Pt} \times 100$$

Donde:

P1= Peso del pesa filtro más la porción pasta de suelo húmedo.

P2= Peso del pesa filtro más el suelo seco.

Pt= Peso del pesa filtro vacío.

- a. Sobre un sistema de coordenadas rectangulares se toma, en abscisas el logaritmo del número de golpes, y en ordenadas el porcentaje de humedad. Se ubican los puntos obtenidos, los que estarán sensiblemente alineados. Se traza la línea recta que mejor ligue a esos puntos y sobre el eje de las ordenadas, en el punto correspondiente a aquel en que esta recta corta la perpendicular trazada las abscisas por el punto correspondiente a 25 golpes, se lee el valor de Límite Líquido. Ver figura N° 4.

## 2.7– OBSERVACIONES.

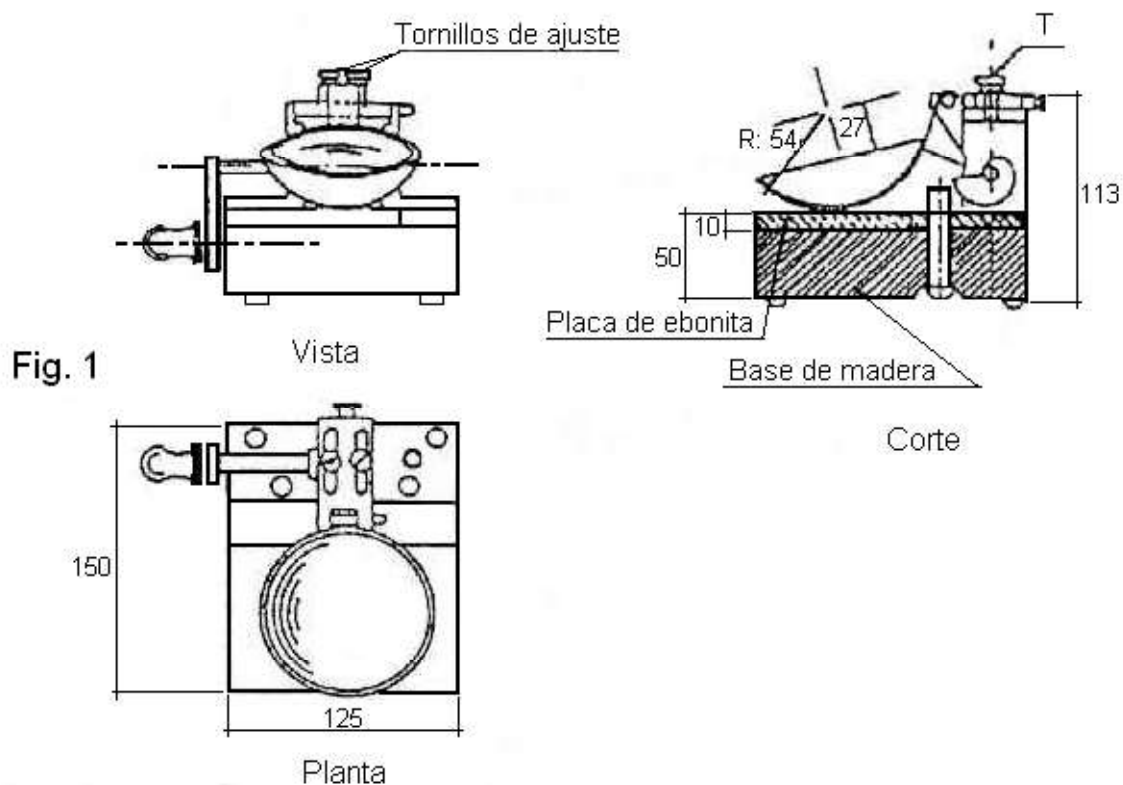
- a. Los mejores resultados se obtienen cuando el número de golpes de los distintos puntos está comprendido entre 20 y 30.
- b. Como variante simplificadora que ahorra mucho tiempo y suministra resultados satisfactorios, se podrá utilizar el método de un solo punto.
- c. Para esto se determina un punto en la forma indicada en ap. 2.5 (a) a (h) y se calcula la humedad en por ciento, anotando el número de golpes necesarios (N) para el cierre de la muesca, procurando que este número de golpes esté comprendido entre 20 y 30 golpes.
- d. Siendo H la humedad en por ciento y N el número de golpes necesarios, el valor del Límite Líquido está dado por la fórmula:

$$LL = \frac{H}{1,419 - 0,3 \log. N}$$

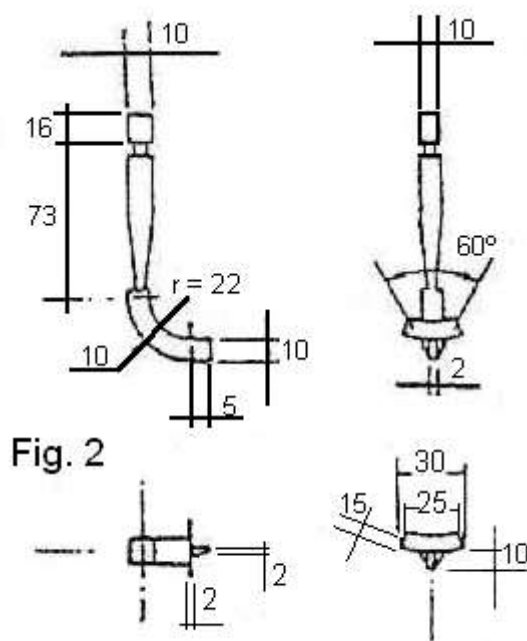
- e. Para mayor comodidad se transcriben los valores del denominador de la expresión anterior, para N comprendido entre 20 y 30.

<b>N</b>	<b>1,419 – 0,3 log. N</b>
20	1,029
21	1,023
22	1,017
23	1,011
24	1,005
25	1,000
26	0,995
27	0,990
28	0,985
29	0,980
30	0,976

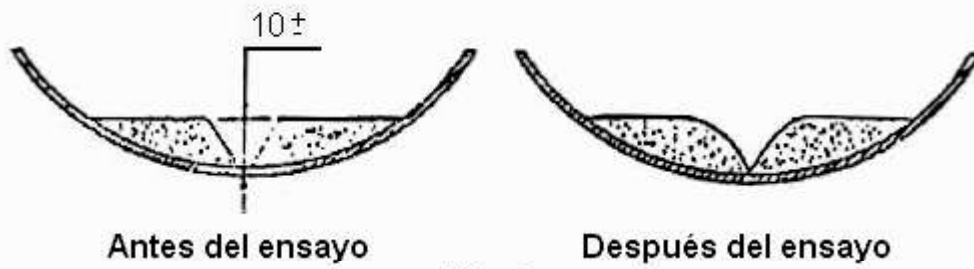
## APARATO SEMIAUTOMATICO PARA DETERMINAR EL LIMITE LIQUIDO



## ACANALADOR



### COLOCACION DE LA PASTA EN LA CAPSULA



**Fig. 3**

NOTA: Todas las medidas están expresadas en mm.



# NORMA DE ENSAYO

## VN - E3 - 65

### LIMITE PLÁSTICO – ÍNDICE DE PLASTICIDAD

[índice](#)

#### 3.1– OBJETO

Esta norma detalla el procedimiento a seguir para determinar el Límite Plástico de un suelo.

**Límite Plástico:** Es el contenido de humedad existente en un suelo, expresado en por ciento del peso de suelo seco, en el límite entre el estado plástico y el estado sólido del mismo.

Este límite se define arbitrariamente como el más bajo contenido de humedad con el cual el suelo, al ser moldeado en barritas cilíndricas de menor diámetro cada vez, comienza a agrietarse cuando las barritas alcanzan a tener 3 mm. de diámetro.

#### 3.2 – APARATOS

- a. Mortero de porcelana o madera con pilón revestido con goma, de medidas corrientes.
- b. Tamiz IRAM 425 micrómetros (N° 40).
- c. Cápsula de porcelana o hierro enlozado de 10 a 12 cm., de diámetro.
- d. Espátula de acero flexible con hoja de 75 a 80 mm. de largo y 20 mm. de ancho, con mango de madera.
- e. Vidrio plano de 30 x 30 cm., o un trozo de mármol de las mismas dimensiones.
- f. Trozos de alambre galvanizado redondos de 3 mm. de diámetro para ser utilizados como elementos de comparación.
- g. Pesa filtros de vidrio o aluminio de 40 mm. de diámetro y 30 mm. de altura aproximadamente.
- h. Buretas de vidrio graduada, con robinete.
- i. Balanza de precisión con sensibilidad de 1 centigramo.
- j. Estufa para secado de muestras regulable, que asegure temperaturas de 105° C. a 110° C.
- k. Elementos varios de uso corriente: bandejas para mezclas de material, rociadores, probetas, espátulas, etc.

**NOTA:** Las dimensiones dadas en los aparatos (c), (d), (e) y (g) son aproximadas.

#### 3.3 – PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

El ensayo se realiza sobre la porción del material que pasa por el tamiz IRAM 425 micrómetros (N° 40). Si se está efectuando la clasificación del suelo según la Norma [VN-E4-84](#), y “Clasificación de Suelos – Índice de Grupos” se utiliza la parte del material que se dejó aparte, de acuerdo a lo indicado en el ap. 1.3 (c) de la Norma [VN-E1-65](#) “Tamizado de Suelos por Vía Húmeda”.

##### 1. Suelos finos:

- a. Si se trata de suelo fino se toma por cuarteo una porción de 400 a 500 gr., de suelo secado al aire y se lo hace pasar por el tamiz IRAM 425 micrómetros (N° 40).



La porción retenida por este tamiz se coloca en el mortero y se la desmenuza con el pilón revestido en goma. Se tamiza y se repite la operación hasta que pase en su totalidad o se evidencie que la parte retenida está constituida por partículas individuales, de tamaño mayor que la abertura del tamiz.

Debe tenerse en cuenta que la operación de desmenuzar con el pilón del mortero tiene por finalidad deshacer grumos y no romper partículas de arena.

- b. Se reúnen todas las porciones obtenidas y se mezclan cuidadosamente, para obtener un material homogéneo.

## **2. Suelos con material grueso:**

- a. Si la muestra contiene material grueso, se separa éste por tamizado a través del tamiz IRAM 2 mm. (Nº 10). Con la parte fina se procede como se indicó en el ap. 3.3 - 1 (a) y (b).
- b. Si a pesar del desmenuzado se observa que queda material fino adherido a las partículas gruesas, estas se ponen en maceración con la menor cantidad posible de agua y se hacen pasar por el tamiz IRAM 425 micrómetros (Nº 40). Se recoge el líquido que pasa, el que será evaporado a sequedad, en estufa, a temperatura no mayor a 60° C. El residuo se desmenuza, y se incorpora a las demás fracciones ya obtenidas, mezclándose cuidadosamente hasta obtener un material homogéneo.

## **3.4 – PROCEDIMIENTO**

- a. Se toman 15 a 20 gr. del material obtenido de acuerdo al título 3.3 y se colocan en una cápsula de porcelana o de hierro enlozado, ap. 3.2 (c).
- b. Se humedece con agua destilada o potable de buena calidad, dejándose reposar por lo menos durante 1 hora.
- c. Posteriormente se continúa agregando agua en pequeñas cantidades, mezclando cuidadosamente con el espátula después de cada agregado; procurando obtener una distribución homogénea de la humedad y teniendo especial cuidado de deshacer todos los grumos que se vayan formando.
- d. Se continúa el mezclado hasta obtener que la pasta presente una consistencia plástica que permita moldear pequeñas esferas sin adherirse a las manos del operador.
- e. Una porción de la parte así preparada se hace rodar por la palma de la mano sobre láminas de vidrio, ap. 3.2 (e), dándole la forma de pequeños cilindros.
- f. La presión aplicada para hacer rodar la pasta debe ser suficiente para obtener que las barritas cilíndricas mantengan un diámetro uniforme en toda su longitud.
- g. La velocidad con la que se manipula a la pasta haciéndola rodar debe ser tal de obtener de 80 a 90 impulsos por minuto, entendiendo como un impulso un movimiento completo de la mano hacia delante y atrás.
- h. Si el diámetro de los cilindros es menor de 3 mm. de diámetro y no presentan fisuras o signos de desmenuzamiento, se reúnen los trozos y se amasan nuevamente tantas veces como sea necesario.  
La operación también se repite si las barritas cilíndricas se agrietan antes de llegar al diámetro de 3 mm. En este caso se reúne el material amasándolo con más agua hasta completa uniformidad.
- i. el ensayo se da por finalizado cuando las barritas cilíndricas comienzan a figurarse o agrietarse al alcanzar los 3 mm. de diámetro, punto que resulta fácil de establecer comparándolo con los trozos de alambre, ap. 3.2 (f).

- j. Obtenido este estado se colocan las barritas cilíndricas en un pesa filtro, tapándolo de inmediato para evitar evaporación; se pesan y se secan en estufa a 105° C – 110° C hasta peso constante.

**NOTA:** Para los suelos altamente plásticos, arcillas muy pesadas, se deberá preparar una muestra de acuerdo a lo indicado en los ap. 3.4 (a) y (b), en el día anterior al ensayo. Efectuado éste, se cotejará el resultado obtenido con el hallado siguiendo el procedimiento normal de ensayo.

En caso de obtenerse valores diferentes se adoptará el logrado con la muestra humedecida el día anterior al de la ejecución del ensayo.

### 3.5 – CÁLCULOS

El Límite Plástico del suelo se calcula con la siguiente fórmula:

$$LP = \frac{P1 - P2}{P2 - Pt} \times 100$$

Donde:

LP= Límite plástico.

P1= Peso del pesa filtro más el suelo húmedo, al centigramo.

P2= Peso del pesa filtro más el suelo seco, al centigramo.

Pt= Peso del pesa filtro vacío, al centigramo.

### 3.6 – ÍNDICE DE PLASTICIDAD

El índice de plasticidad de un suelo es la diferencia numérica entre los valores del límite líquido y el límite plástico de un mismo suelo.

Es decir:

$$IP = LL - LP$$

### 3.7 – OBSERVACIONES

- Si el suelo presenta características de plasticidad bien definidas, se amasa el suelo con un contenido de humedad que satisfaga las condiciones establecidas en el ensayo del límite plástico y se ejecuta este. Luego se agrega más agua a la pasta restante en la cápsula y se realiza el ensayo del límite líquido.
- Si el suelo tiene poca plasticidad, se realiza primeramente el ensayo de límite líquido y de inmediato con la parte del material restante se ejecuta el ensayo de límite plástico.
- Si el suelo no tiene plasticidad pero si límite líquido. Este caso se presenta cuando al intentar formar la barrita cilíndrica, ésta se rompe antes de alcanzar el diámetro de 3 mm. se determina el límite líquido y se indica IP= 0.
- El suelo no tiene plasticidad ni tampoco puede determinarse el valor del límite líquido. Pasa esto cuando el suelo por su excesiva aridez no permite conformar la pastilla en la cápsula del aparato para la determinación semimecánica del límite líquido (aparato de Casagrande). Se indica entonces sin límite líquido, IP= 0.



# NORMA DE ENSAYO

## VN - E4 - 84

### CLASIFICACIÓN DE SUELOS

[índice](#)

#### 4.1- OBJETO

El sistema de clasificación de suelos del H.R.B\*, para obras de ingeniería, esta basado en el comportamiento de los suelos utilizados en obras viales. Los suelos de similares capacidades portantes y condiciones de servicio, fueron agrupados en siete grupos básicos, desde el A-1 al A-7.

Los suelos de cada grupo tienen, dentro de ciertos límites, características en común. A menudo, dentro de cada grupo hay una amplia variación en las capacidades portantes, cuyos valores pueden ser comunes a distintos grupos. Por ejemplo, un suelo A-2 puede contener materiales con capacidad portante más alta que los de una A-1, y en condiciones excepcionales puede ser inferior a la de los mejores suelos de los grupos A-6 y A-7. En consecuencia, si solo se conoce de un suelo, el grupo a que pertenece en la clasificación del H.R.B\*, su capacidad portante puede variar entre límites amplios. La calidad de los suelos, para ser utilizados en subrasantes, va disminuyendo desde el A-1 al A-7, que es el más pobre.

En los últimos años, estos siete grupos básicos de suelos, fueron divididos en subgrupos y se ideó el índice de grupo, para diferenciar aproximadamente algunos suelos dentro de cada grupo. Los índices de grupo, aumentan su valor con la disminución de la condición del suelo para constituir subrasantes. El crecimiento del índice de grupo, en cada grupo básico de suelos, refleja los efectos combinados de los crecimientos del límite líquido e índice de plasticidad, y el decrecimiento de los materiales gruesos en detrimento de la capacidad portante de las subrasantes.

\*Highway Research Board (H.R.B.)

#### 4.2- CLASIFICACIÓN

La clasificación de suelos comprende dos grandes conjuntos, el de los materiales granulares con 35 % o menos pasando el tamiz IRAM 75 micrómetro (Nº 200) y el de los materiales limo-arcillosos, conteniendo más del 35 % que pasa al tamiz IRAM 75 micrómetros (Nº 200). Cinco fracciones de tamaños se diferencian entre las dimensiones de los siguientes tamices:

#### 4.3- DEFINICIÓN DE “GRAVA”, “ARENA GRUESA”, “ARENA FINA” Y “SUELO ARCILLO-LIMOSO”

##### GRAVA

Pasa tamiz de abertura cuadrada de 3” y retenido en el tamiz IRAM 2,00 mm. (Nº 10).

##### ARENA GRUESA

Pasa tamiz IRAM 2,00 mm. (Nº 10) y retenido en el tamiz IRAM 425 micrómetros (Nº 40).

**ARENA FINA**

Pasa tamiz IRAM 425 micrómetros (Nº 40) y retenido en el tamiz IRAM 75 micrómetros (Nº 200).

**LIMO Y ARCILLA COMBINADOS**

Pasa el tamiz IRAM 75 micrómetros (Nº 200)

Las condiciones y características generales de cada grupo de suelos, se da a continuación:

**4.4 - DESCRIPCIÓN DE LOS GRUPOS Y SUBGRUPOS****4.4.1 – MATERIALES GRANULARES****A-1.-**

Suelos bien graduados, de gruesos a finos, con un ligante no plástico o débilmente plástico.

**A-1-a.**

Suelos en los que predominan fragmentos de piedra, o grava, con o sin material ligante bien graduado.

**A-1-b.**

Suelos en los que predominan arenas gruesas, con o sin material ligante bien graduado.

Algunos suelos A-1, pueden requerir materiales finos para constituir bases firmes. Generalmente suelen ser muy estables bajo la acción de las cargas transmitidas por las ruedas, sin tener en cuenta su contenido de humedad. Pueden usarse satisfactoriamente como bases para delgadas carpetas bituminosas. Los suelos de este grupo son adecuados para superficies granulares de rodamiento.

**A-2.-**

Suelos compuestos por una extendida gama de materiales granulares que no pueden clasificarse en los grupos A-1 o A-3, por el contenido de finos, su plasticidad o ambas cosas a la vez.

**A-2-4 y A-2-5.-**

Suelos con materiales granulares que contienen ligante con características de los grupos A-4 o A-5

**A-2-6 y A-2-7.-**

Suelos con materiales granulares que contienen ligante con características de los grupos A-6 o A-7.

Los suelos A-2 son inferiores a los A-1 por su pobre gradación o inferior ligante, o ambas cosas a la vez.

Pueden ser muy estables con drenaje satisfactorio, y en relación con la cantidad y calidad del ligante, pueden ablandarse con la humedad y presentarse sueltos y polvorientos en épocas de sequías; algunos son dañados por las heladas. Los A-2-4 y A-2-5, bien arenados y compactados, pueden servir de bases. Utilizados como superficie de rodamiento, los A-2-6 y A-2-7, pueden perder estabilidad por efectos de la saturación capilar o falta de drenaje. La calidad de los suelos A-2-6 y A-27 como bases

varía desde buena, cuando el porcentaje de material que pasa por el tamiz IRAM 75 micrómetro (Nº 200) es bajo, hasta dudosa, con alto porcentaje pasando aquel tamiz e índice plástico mayor de 10.

Generalmente los suelos A-2 son adecuados para cubrir subrasantes muy plásticas, cuando se construya un pavimento de hormigón.

### **A-3.**

Suelos compuestos por arenas pobres en ligante y materiales gruesos. Ejemplos típicos de es grupo son, las arenas finas de las playas y de los desiertos (formación eólica) y los materiales depositados por las corrientes de agua y constituidos por arenas finas pobremente graduadas y cantidades limitadas de arena gruesa y grava.

Son comunes en ocasiones y les falta estabilidad bajo la acción de las cargas, a menos que estén bien húmedos. Son ligeramente alterados por la acción de la humedad, no experimentan cambios volumétricos y confinados constituyen adecuadas subrasantes para cualquier tipo de pavimento. No pueden ser compactados con los rodillos “pata de cabra” y se consolidan por vibración o por riegos y cilindrado.

## **4.4.2.-MATERIALES LIMO-ARCILLOSOS**

### **A-4.-**

Suelos compuestos esencialmente de limo, con moderada o poca cantidad de material grueso y sólo pequeña cantidad de arcilla grasa coloidal. Son muy comunes en ciertas ocasiones y secos proveen una superficie de rodamiento firme, con ligero rebote al desaparecer las cargas. Cuando absorben agua rápidamente, sufren expansión perjudicial o pierden estabilidad aún sin manipularlos. Se levantan por la acción de las heladas. Su textura varía ampliamente desde el loam-arenoso hasta el limo y loam-limoso. Los loam-arenosos tienen mejor estabilidad, para diversas densidades, que los limos y los loam-limosos. Sufren pequeñas variaciones de volumen y no producen grandes distorsiones del pavimento, aún cuando hayan sido compactados secos.

Los loam-limosos y limos, no adquieren altas densidades, porque su pobre graduación y carencia de material ligante, da lugar a un gran volumen de vacíos.

Son relativamente inestables con cualquier contenido de humedad, y cuando éste es grande, tienen muy baja estabilidad y valor soporte. Son difíciles de compactar porque el contenido de humedad, para obtener densidad satisfactoria, está dentro de estrechos límites. Secos, estos suelos son elásticos, mostrando considerable rebote cuando deja de actuar la carga. Los más plásticos se expanden al crecer su contenido de humedad. Esto es más fácil de producirse, cuando han sido compactados con una humedad debajo de la óptima. Las carpetas bituminosas requieren importantes capas bases, cuando se empleen suelos de este grupo, como subrasantes.

Cuando el valor hallado resulta negativo, el índice de grupo será registrado como cero (0).

Se tomará el número entero más cercano al valor calculado.

El gráfico correspondiente permite hallar el índice de grupo sumando los valores parciales obtenidos mediante el límite líquido y el índice plástico, partiendo del porcentaje que pasa por el tamiz Nº 200.

Cuando se calcula el índice de grupo de los subgrupos A-2-6 y A-2-7 sólo interviene el valor obtenido a través del índice plástico.

#### 4.5. DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE GRUPO

El índice de grupo en esta clasificación de suelos, se puede determinar con la fórmula basada en la granulometría, límite líquido e índice plástico del suelo, o recurriendo para determinaciones rápidas, a los gráficos confeccionados con este fin.

La fórmula es la siguiente:

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

F= porcentaje de material que pasa por el tamiz IRAM 75 micrómetros (Nº 200), expresado como un número entero. Este porcentaje se expresa en función del material que pasa por el tamiz de 75 mm. ( 3 “ ).

LL = límite líquido

IP = índice plástico

#### 4.6.- EJEMPLOS

A continuación se desarrollan ejemplos de cálculo del índice de grupo.

a) Supongamos un suelo A-6 con las siguientes características:

PT Nº 200= 55 % ; LL = 40 e IP = 25

$$\begin{aligned} IG &= (55-35) [ 0,2 + 0,005 ( 40 - 40 ) ] + 0,01 (55 - 15) (25 - 10) \\ &= 4,0 + 6,0 = 10 \qquad \text{Suelo A-6 (10)} \end{aligned}$$

b) Un suelo A = 4 con PT Nº 200 = 60 %, LL = 25 e IP = 1

$$\begin{aligned} IG &= (60 - 35) [0,2 + 0,005 (25 - 40)] + 0,01 (60 - 15) (1 - 10) \\ &= 25 (0,2 - 0,075) + 0,01 (45) (-9) \\ &= 3,1 - 4,1 = -1,0 \qquad \text{Suelo A = 4 (0)} \end{aligned}$$

c) Un suelo A = 7 con PT Nº 200 = 80 %; LL = 90 e IP = 50

$$\begin{aligned} IG &= (80 - 35) [0,2 + 0,005 (90 - 40)] + 0,01 (80 - 15) (50 - 10) \\ &= 20,3 + 26,0 = 46,3 \qquad \text{Suelo A – 7 (46)} \end{aligned}$$

d) Una suelo A - 2 - 7 con PT Nº 200 = 30 %; LL = 50 e IP = 30

$$\begin{aligned} IG &= 0,01 (30 - 15) (30 - 10) \\ &= 3,0 \qquad \text{Suelo A – 2 – 7 (3)} \end{aligned}$$

Nótese que se usa solamente el valor del IP.

#### 4.7.- BASES PARA LA FORMULA ÍNDICE DE GRUPO

La fórmula desarrollada para evaluar cuantitativamente los materiales granulares con arcilla y los materiales limo arcillosos, se basa en las siguientes consideraciones:

Los materiales A1-a, A1-b, A2-4, A2-5 y A3 son satisfactorios para subrasantes, cuando están adecuadamente drenados y compactados debajo de moderados espesores de pavimento (base y/o capa superficial) compatibles con el tránsito que soportarán, o cuando han sido mejorados por la adición de pequeñas cantidades de un ligante natural o artificial.

Los materiales granulares con arcilla de los grupos A2-6 y A2-7 y los limo-arcillosos de los grupos A4, A5, A6 y A7 varían en su comportamiento como material de subrasante desde el equivalente a los buenos suelos A2-4 y A2-5 hasta el regular y pobre, requiriendo una capa de material de sub-base o un espesor mayor de la capa de base para soportar adecuadamente las cargas del tránsito.

El porcentaje mínimo crítico que pasa por el tamiz IRAM 75 micrómetros (Nº 200), es de 35 despreciando la plasticidad y 15 cuando los índices plásticos son mayores que 10.

Se consideran críticos los límites de 40 o mayores.

Para suelos no plásticos o cuando el límite líquido no puede ser determinado, se considerará que el índice de grupo es cero (0).

No hay límite superior para el índice de grupo obtenido con la fórmula. Los valores críticos de PT Nº 200, límite líquido e índice de plasticidad se basan en una evaluación de diferentes organizaciones que practican estos ensayos, sobre comportamiento de subrasantes y capas de base y sub-base.

Bajo condiciones promedio de drenaje y compactación adecuados, el valor soporte de una subrasante puede ser considerado inversamente proporcional al valor del índice de grupo. Un índice de grupo 0 indica un “buen” material de subrasante y otro de 20 o mayor un material “muy pobre”.

#### **A-5.-**

Son suelos similares a los A-4, con la diferencia que incluyen materiales muy pobremente graduados y otros como micas, y diatomeas que proveen elasticidad y dan lugar a baja estabilidad. No son muy comunes en ciertas ocasiones. Rebotan al dejar de actuar la carga, aún estando secos. Sus propiedades elásticas intervienen desfavorablemente en la compactación de las bases flexibles que integran y no son adecuados para subrasantes de delgadas bases de este tipo o carpetas bituminosas. Están sujetos al levantamiento por la acción de las heladas.

#### **A-6.-**

Suelos que están compuestos por arcillas con moderada o despreciable cantidad de material grueso. Son suelos muy comunes. En estado plástico, con variada consistencia, absorben agua sólo cuando son manipulados.

Tienen buen valor soporte compactados a máxima densidad; pero, lo pierden al absorber agua. Son compresibles, con poco rebote al dejar de actuar la carga y muy expansivos compactados en subrasantes con humedad debajo de la óptima. Los índices de plasticidad mayores de 18, indican alta cohesión del material ligante (arcilla y coloides) con bajos contenidos de humedad. Poseen muy poca fricción interna, y baja estabilidad para altos contenidos de humedad.

Colocados y “conservados” con poca humedad, son aceptables en terraplenes y subrasantes. La presión capilar del agua, que se ejerce por el secado, es de tal intensidad que acerca las partículas del suelo, formando una masa compacta y densa.

Este proceso se pone en evidencia por la formación de grietas de contracción en épocas de sequía.

Como estos suelos tienen poros muy pequeños, el agua se mueve lentamente por ellos, aún bajo considerable carga hidrostática. Absorben agua o se secan muy lentamente, a menos que sean manipulados. Son difíciles de drenar. Mientras el movimiento del agua gravitacional es lento, la presión capilar que empuja el agua de las porciones húmedas a las secas, es muy grande, e importantes fuerzas expansivas se desarrollan por este motivo.

No son adecuados para usar como subrasantes, bajo delgadas bases flexibles o carpetas bituminosas, por los grandes cambios volumétricos al variar la humedad y su bajo valor soporte al humedecerse.

Entre los suelos más pesados de este grupo y los pavimentos de hormigón, debe interponerse una capa de otros materiales, para prevenir distorsiones del pavimento o la producción del “bombeo”. Todos los pavimentos flexibles necesitan la interposición de capas de suelos A-1 o A-2 o piedra partida, para prevenir la acción de la arcilla sobre las bases flexibles, con pérdida de su capacidad portante.

#### **A-7.-**

Como en los suelos A-6, predominan en éstos la arcilla, pero debido a la presencia de partículas uniformes de limo, materia orgánica, escamas de mica o carbonato de calcio, son elásticos. Bajo cierto contenido de humedad se deforman rápidamente bajo la acción de la carga, y muestran apreciable rebote al desaparecer aquella. Poseen las mismas características de los suelos A-6 y el mismo comportamiento constituyendo subrasantes en otras aplicaciones de la construcción. Además de los altos cambios volumétricos al variar la humedad, bajo valor soporte al humedecerse, necesidad de interposición de capas de otros materiales para separarlos del pavimento, etc., los suelos A-7 son elásticos y rebotan al dejar de actuar las cargas, lo que impide la adecuada compactación y los hacen inaceptables como subrasantes para pavimentos flexibles.

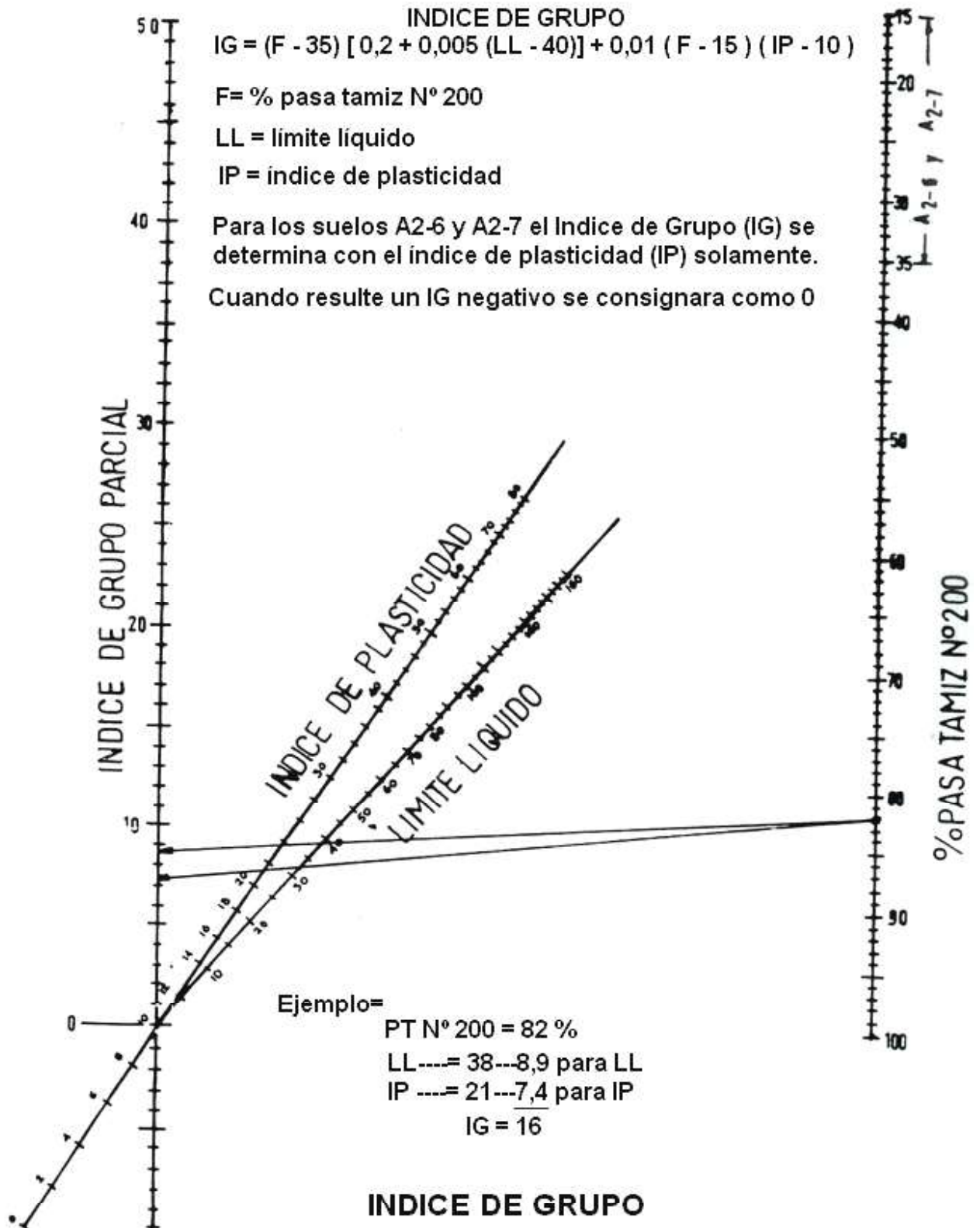
#### **A-7-5.-**

Suelos como los A-7 con moderados índices de plasticidad en relación al límite líquido, pueden ser altamente elásticos y sujetos a considerables cambios volumétricos.

#### **A-7-6.-**

Suelos como los A-7 con altos índices de plasticidad en relación al límite líquido y sujetos a extremados cambios volumétricos. Suelos compuestos de turbas blandas y tierras abonadas que, tienen grandes cantidades de materia orgánica y humedad y no pueden ser usados en subrasantes y terraplenes o cualquier otro tipo de construcción.

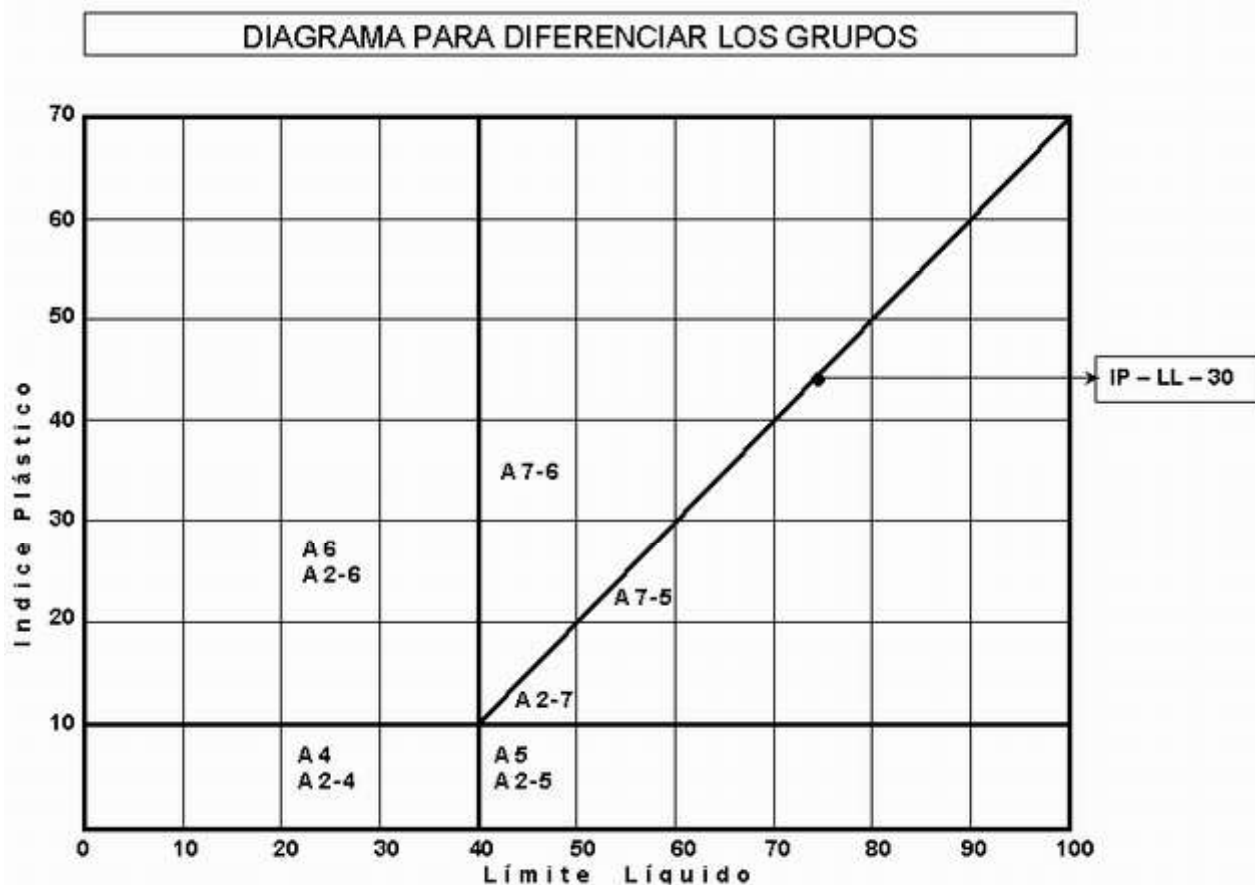




## Planilla N° 1: CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS PARA SUBRASANTES

CLASIFICACIÓN GENERAL	SUELOS GRANULARES Pasa tamiz IRAM 75 Micrones (N° 200) hasta el 35 %			SUELOS ARCILLO-LIMOSOS Pasa tamiz IRAM 75 Micrones (N° 200) más del 35 %			
	A-1	A-3 <sup>(1)</sup>	A-2	A-4	A-5	A-6	A-7
Ensayo de tamizado por vía húmeda. Porcentaje que pasa por:  Tamiz IRAM de 2 mm. (N° 10) Tamiz IRAM 425 micrones (N° 40) Tamiz IRAM 75 micrones (N° 200)	- Máx. 50 Máx. 25	- Mín. 51 Máx. 10	- - Máx. 35	- - Mín. 36	- - Mín. 36	- - Mín. 36	- - Mín. 36
Características de la fracción que pasa el tamiz IRAM 425 micrones (N° 40):							
Límite Líquido (LL)				Máx. 40	Mín. 41	Máx. 40	Mín. 41
Índice Plástico (IP)	Máx. 6	Sin plast.	-	Máx. 10	Máx. 10	-	Mín. 11
COMPORTAMIENTO COMO SUBRASANTE	Excelente a bueno			Regular a pobre			

(1) La colocación del grupo A-3 antes del grupo A-2, en planilla, es necesario para mantener el proceso de clasificación “por eliminación de izquierda a derecha”, pero no significa que el suelo A-3 sea superior al A-2.





Planilla N° 2: CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS PARA SUBRASANTES (CON SUBGRUPOS)

CLASIFICACIÓN GENERAL	SUELOS GRANULARES Pasa tamiz IRAM 75 micrómetros (N° 200) hasta el 35%						SUELOS ARCILLOSO-LIMOSO Pasa tamiz IRAM 75 micrómetros (N° 200) más del 35%					
	A - 1		A - 3	A - 2				A - 4	A - 5	A - 6	A - 7	
CLASIFICACIÓN POR GRUPOS	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5	A-7-6
Ensayo de tamizado por vía húmeda Porcentaje que pasa por:												
Tamiz IRAM de 2 mm. N° 10	Máx 50											
Tamiz IRAM de 425 micrómetros N° 40	Máx 30	Máx 50	Mín 51									
Tamiz IRAM de 75 micrómetros N° 200	Máx 15	Máx 25	Máx 10	Máx 35	Máx 35	Máx 35	Máx 35	Mín 36	Mín 36	Mín 36	Mín 36	Mín 36
Características de la fracción que pasa por tamiz IRAM 425 micrómetros N° 40												
Límite Líquido	-	-	-	Máx 40	Mín 41	Máx 40	Mín 41	Máx 40	Mín 41	Máx 40	Mín 41	Mín 41
Índice de Plasticidad	Máximo 6	No plástico		Máx 10	Máx 10	Mín 11	Mín 11	Máx 10	Máx 10	Mín 11	Mín 11	Mín 11
CONSTITUYENTES PRINCIPALES DE TIPOS MAS COMUNES	Fragmentos de rocas, grava y arena		Arena fina	Gravas y arenas arcillosas limosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos		
COMPORTAMIENTO GENERAL COMO SUBRASANTE	Excelente a bueno						Regular a pobre					

El Índice Plástico del Sub-Grupo A - 7 - 5 es igual o menor que LL - 30. el Índice Plástico del Sub-Grupo A - 7 - 6 es mayor que LL - 30.-

# NORMA DE ENSAYO

## VN - E5 - 93

# COMPACTACIÓN DE SUELOS

[índice](#)

### 5.1- OBJETO

Esta norma detalla el procedimiento a seguir para estudiar las variaciones del peso unitario de un suelo en función de los contenidos de humedad, cuando se lo somete a un determinado esfuerzo de compactación.

Permite establecer la Humedad óptima con la que se obtiene el mayor valor del Peso unitario, llamado Densidad seca máxima.

### 5.2- APARATOS

- a. Moldes cilíndricos de acero para compactación con tratamiento superficial para que resulten inoxidable (Cincado, cadmiado, etc.) de las características y dimensiones indicadas en las figura 1 y figura 2.
- b. Pisones de compactación, de acero tratado superficialmente, con las características y dimensiones que se dan en la figura 3.
- c. Aparato mecánico de compactación que permita regular el peso, la altura de caída del pisón y el desplazamiento angular del molde o pisón (opcional).
- d. Balanza de precisión, de 1 Kg. de capacidad con sensibilidad de 0,01 gramo.
- e. Balanza tipo Roberval de por lo menos 20 Kg. de capacidad, con sensibilidad de 5 gramos.
- f. Dispositivo para extraer el material compactado del interior del molde (opcional).
- g. Cuchilla de acero o espátula rígida, cuya hoja tenga por lo menos 20 cm. de longitud.
- h. Pesa filtros de vidrio o aluminio de 40 mm. de diámetro y 30 mm. de altura.
- i. Tamiz IRAM 19 mm. (3/4")
- j. Tamiz IRAM 4,75 mm. (N° 4)
- k. Dispositivo para pulverizar agua.
- l. Bandeja de hierro galvanizado de 660 x 400 x 100 mm.
- m. Bandeja de hierro galvanizado de 150 x 50 mm.
- n. Espátula de acero, de forma rectangular, con las características indicadas en la figura 4.
- o. Elementos de uso corriente en laboratorio: estufas, probetas graduadas, cucharas, etc.

NOTA: Las dimensiones dadas en los ap. g), l), m), son aproximadas.

### 5.3- FORMA DE OPERAR DE ACUERDO CON LAS CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS DEL MATERIAL.

- a. Si se trata de suelo que pasa totalmente por el tamiz IRAM 4,8 mm. (N° 4), se opera con todo el material librado por dicho tamiz. Si la cantidad de material que queda retenida en ese tamiz es pequeña, igual o menor de 5 %, puede incorporarse a la muestra realizándose el ensayo con el total del suelo. Si la porción retenida es apreciable, mayor del 5 %, se opera como si se tratara de material granular.

- b. Cuando se emplean materiales granulares, o sea los que tienen más del 5 % retenido sobre el tamiz IRAM 4,75 mm. (N° 4), se pasa la muestra representativa por el tamiz IRAM 19 mm. (3/4"), debiendo realizarse el ensayo cuando se correlacione éste con el ensayo de Valor Soporte, según norma VN-E6-68, únicamente con la fracción librada por este tamiz.
  - c. Si el peso del material retenido por el tamiz IRAM 19 mm. (3/4") es menor del 15 % del peso total de la muestra, cuando no se correlacione este ensayo con el Valor Soporte, según norma VN-E6-68, después de realizar el ensayo de acuerdo al título 5.4 ap. 2, deberá efectuarse la corrección por material grueso de los resultados obtenidos, tal como se indica en el párrafo 5.7. Para tal fin es necesario determinar el peso específico del material en la condición de saturado y a superficie seca y la humedad de absorción del mismo.
  - d. Si el material retenido por el tamiz IRAM 19 mm. (3/4") es superior al 15 % del peso total de la muestra y no se deba correlacionar este ensayo con el Valor Soporte según Norma VN-E6-68 no se harán correcciones por la incidencia del material grueso, pero deberá tenerse la precaución, al verificar las densidades logradas en obra de aplicar la fórmula que se detalla en el ap. d) del título 5.8 Observaciones.
  - e. Únicamente en los casos en que se deba correlacionar este ensayo con el Valor Soporte, según Norma VN-E6-68 el ensayo de Compactación se ejecutará con material que pase el tamiz IRAM 19 mm. (3/4"), compensando el material retenido por este tamiz, por un mismo peso de materia comprendido entre el tamiz IRAM 19 mm. (3/4") y el tamiz IRAM 4,8 mm. (N° 4). La granulometría del material corrector será la misma que la de la fracción contenida en el material a ensayar que pasa por criba de 3/4" y retiene el tamiz IRAM 4,75 mm. (N° 4), teniendo en cuenta las cribas intermedias.
1. Cuando el porcentaje de material retenido por el tamiz IRAM 19 mm. (3/4") sea inferior al 15 %, se compensará el material en su totalidad.
  2. Cuando el porcentaje de material retenido por el tamiz IRAM 19 mm. (3/4") sea superior al 15 %, se compensará hasta dicho porcentaje desechándose en la compensación el excedente.
- A los efectos de la exigencia de compactación, este apartado no tendrá vigencia.

#### 5.4- PROCEDIMIENTO

De acuerdo con las características del material a ensayar se presentan dos casos:

##### a. Material "fino"

Corresponde a suelos que cumplan con lo especificado en el ap. 5.3 (a).

Preparación de la muestra:

- a. Para cada punto de la curva Humedad-densidad se requieren aproximadamente 2500 gramos de material seco. Si se trata de suelo no muy plástico y sin partículas quebradizas puede usarse la misma muestra para todo el ensayo.
- b. Se prepara material suficiente para seis puntos. El ensayo normal requiere cinco puntos, tres en la rama ascendente y dos en la descendente de la curva Humedad-Densidad, pero eventualmente puede requerirse un sexto punto.
- c. La porción de suelo destinada a un punto se distribuye uniformemente en el fondo de la bandeja (ap. 5.2-l).  
Con la ayuda del dispositivo adecuado (ap. 5.2-k) se agrega el agua prevista para tal punto y con la espátula (ap. 5.2-n) se homogeniza bien.

#### NOTA:

Si el material a ensayar presenta dificultades para la homogeneización del agua incorporada, se preparan las seis porciones con contenidos de humedad crecientes, de dos en dos unidades aproximadamente.

Se mezclan los más homogéneamente posible y se dejan en ambiente húmedo durante 24 horas.

### Compactación de la probeta

- d. Se opera con el molde de 101,6 mm. de diámetro. La energía de compactación quedará determinada por el tipo de pisón, cantidad de capas y número de golpes por capa.

A continuación se dan las características de los distintos tipos de ensayos de compactación a realizar:

ENSAYO	MOLDE mm.	PESO PISÓN Kg.	ALTURA CAÍDA EN	Nº de CAPAS	Nº de GOLPES
I	101,6	2,5	30,5	3	25
II	101,6	4,53	45,7	5	25
III	101,6	2,5	30,5	3	35

- e. Se verifican las constantes del molde: Peso del molde (Pm) sin collar pero con base y su volumen interior (V).
- f. Cuando se considere que la humedad está uniformemente distribuida se arma el molde y se lo apoya sobre una base firme. Con una cuchara de almacenero, o cualquier otro elemento adecuado, se coloca dentro del molde una cantidad de material suelto que alcance una altura un poco mayor del tercio o del quinto de la altura del molde con el collar de extensión, si se han de colocar tres o cinco capas respectivamente.
- g. Con el pisón especificado (2,5 Kg. ó 4,54 Kg.) se aplica el número de golpes previstos (25, 35, 56, etc.) uniformemente distribuidos sobre la superficie del suelo.

Para esto debe cuidarse que la camisa guía del pisón apoye siempre sobre la cara interior del molde, se mantenga bien vertical y se la desplace después de cada golpe de manera tal, que al término del número de golpes a aplicar, se haya recorrido varias veces la superficie total del suelo.

- h. Se repite la operación indicada en el párrafo anterior las veces que sea necesaria para completar la cantidad de capas previstas, poniendo en tal caso, la cantidad de suelo necesaria para que, al terminar de compactar la última capa, el molde cilíndrico quede lleno y con un ligero exceso, 5 a 10 mm. En caso contrario, debe repetirse íntegramente el proceso de compactación.
- i. Se retira con cuidado el collar de extensión.

Con una regla metálica, puede servir de espátula, ap. 5.2 (g), se limpia el exceso de material.

Se limpia exteriormente el molde con un pincel y se pesa (Ph).

- j. Se saca la probeta del molde, con el extractor de probetas si se dispone de él, o mediante la cuchilla o espátula, en caso contrario. Se toma una porción de suelo que sea promedio de todas las capas, se coloca en un pesa filtro y se pesa. Se seca en estufa a 100-105° C, hasta peso constante, para efectuar la determinación de humedad.

- k. Se repiten las operaciones indicadas en los párrafos anteriores, ap (f) a (j), con cada una de las porciones de muestra preparadas para los otros puntos. Si se opera con una sola porción, estas operaciones se repiten luego de haber desmenuzado cuidadosamente el material sobrante e incorporado un 2% de agua más, aproximadamente, para cada uno de los puntos a determinar.

- I. Se da por finalizado el ensayo cuando se tiene la certeza de tener dos puntos de descenso en la curva Humedad-Densidad.

a. **Material granular**

Corresponde a suelos que cumplan con las características granulométricas indicadas en el párrafo 5 -3 (b).

Preparación de la muestra:

- a. Para cada punto de la curva Humedad - Densidad, se requieren alrededor de 6000 gamos de material seco.
- b. Igual que en el caso de suelos finos se requieren 5 puntos y se prevé la eventualidad de un 6° punto. Por lo tanto, se preparan 36 Kg. de material y por cuidadoso cuarteo se lo divide en seis porciones para otros tantos puntos.

**Compactación de la probeta**

- c. Se opera con el molde de 152,4 mm. de diámetro. Previa verificación de sus constantes, se lo coloca sobre una base firme y se realizan las operaciones indicadas en los párrafos (f) a (l) del título anterior 5.4 - (1), con la salvedad de que: Los huecos que quedan al ser arrancadas las piedras emergentes, al enrasar la cara superior de la probeta, deben ser rellenados con material fino y compactados con una espátula rígida.

La humedad de cada punto se determina de acuerdo al párrafo (j), sobre una cantidad de material no menor de 1000 gramos y secándolo en bandeja (Ap. 5.2 - m). En el siguiente cuadro, se dan las características de los distintos tipos de ensayo de compactación a realizar:

ENSAYO	MOLDE mm.	PESO PISÓN Kg.	ALTURA CAÍDA EN	Nº de CAPAS	Nº de GOLPES
IV	152,4	2,5	30,5	3	56
V	152,4	4,53	45,7	5	56

**5.5- CÁLCULOS Y RESULTADOS**

Para cada contenido de humedad de la probeta, determinado en la forma indicada en los párrafos precedentes, se calculan:

- a. La densidad húmeda ( $D_h$ ) del suelo compactado, aplicando la fórmula:

$$D_h = \frac{P_h - P_m}{V}$$

Donde:

$P_h$  = Peso del molde con el material compactado húmedo.

$P_m$  = Peso del molde.

$V$  = Volumen interior del molde.

- b. La densidad seca ( $D_s$ ), que se obtiene mediante la fórmula:

$$D_s = \frac{D_h \times 100}{100 + H}$$

Donde:

$D_h$  = Densidad húmeda.

H = Humedad, en %, del material compactado.

### TRAZADO DE LA CURVA HUMEDAD DENSIDAD

- c. En un sistema de ejes rectangulares se llevan en abscisas, los valores de la humedad porcentual, y en ordenadas los de la densidad seca.
- d. Los puntos así obtenidos se unen por un trazo continuo obteniéndose de este modo una curva que va ascendiendo con respecto a la densidad, pasa por un máximo y luego desciende.
- e. El punto máximo de la curva así obtenida indica, en ordenadas, la densidad máxima ( $D_s$ ) que puede lograrse con la energía de compactación empleada y en abscisas la humedad óptima (H) que se requiere para alcanzar aquella densidad.

### 5.6- PLANILLAS Y CURVAS

- a. La marcha del ensayo se lleva anotada en una planilla similar al modelo que se adjunta.
- b. El trazado de la curva Humedad-Densidad se realiza en el cuadrículado que se encuentra al pie de la planilla, adoptando las escalas que sean más convenientes en cada caso.

### 5.7- INCIDENCIA DEL MATERIAL GRUESO

Cuando, conforme a lo indicado en ap. 5.3 (c), en la muestra ensayada se tuvo hasta el 15 % de material retenido por el tamiz IRAM 19 mm. (3/4"), se determina la incidencia del material de tamaño mayor que este último tamiz, utilizando las fórmulas que se indican a continuación:

- a. Humedad óptima corregida

Se la calcula con la siguiente fórmula:

$$H_c = \frac{(G \times H_a) + (F \times H)}{100}$$

Donde:

$H_c$  = Humedad óptima corregida.

G = Porcentaje de material retenido por el tamiz IRAM 19 mm. (3/4").

$H_a$  = Porcentaje de humedad absorbida por el material, en condición de saturado y a superficie seca, retenido por el tamiz IRAM 19 mm. (3/4").

F = Porcentaje de material que pasa por el tamiz IRAM 19 mm. (3/4").

H = Humedad óptima resultante para el material que pasa por el tamiz IRAM 19 mm. (3/4"), expresada en por ciento.

- b. Densidad máxima corregida

Se la obtiene reemplazando valores en la siguiente fórmula:

Donde:

$$D_{mc} = \frac{100}{\frac{G}{d_g} + \frac{F}{D_s}}$$



Donde:

$D_{mc}$  = Densidad máxima corregida.

$G$  = Porcentaje de material retenido por el tamiz IRAM 19 mm. (3/4").

$F$  = Porcentaje de material que pasa el tamiz IRAM 19 mm. (3/4").

$d_g$  = Peso específico del material, en condición de saturado y a superficie seca, retenido en el tamiz IRAM 19 mm.(3/4").

$D_s$  = Densidad seca máxima obtenida en el ensayo de compactación ejecutado con el material librado por el tamiz IRAM 19 mm. (3/4").

#### NOTA:

Los valores obtenidos con la fórmula dada en el ap. 5.7(b) tienen tendencia a ser mayores que los reales. La diferencia es pequeña para valores de  $G$  hasta 15%.

### 5.8- OBSERVACIONES

- La introducción de las variantes con que es posible ejecutar el ensayo de compactación: tamaño del molde, número de capas, cantidad de golpes por cada y peso total del pisón, se justifica en ciertos casos, por la naturaleza de los suelos a utilizar, las características de la obra a ejecutar o la capacidad de los equipos que se prevé emplear.
- Para la fijación de la humedad del primer punto del ensayo juega un papel muy importante la experiencia del operador. En ausencia de ésta, puede servir de referencia el valor del límite plástico. En general, el valor de la humedad óptima es algo inferior al límite plástico y atento a que deben conseguirse tres puntos en la rama ascendente de la curva Humedad – densidad, resulta relativamente fácil dar un valor aproximado a la humedad que debe tener el suelo en ese primer punto.
- En laboratorios importantes, donde se ejecute un gran número de ensayos se recomienda emplear el aparato mecánico de compactación.
- Cuando se apliquen los resultados del ensayo de compactación a materiales granulares que tengan un porcentaje mayor del 15 % retenido sobre el tamiz IRAM 19 mm., no se efectuarán correcciones por la incidencia de material grueso (ver ap. 5.3-d), y se deberá aplicar al controlar las densidades logradas en obra, la siguiente fórmula:

$$D_{sc} = \frac{P_t - P_r}{V_t - V_r}, \text{ siendo } V_r = \frac{P_r}{d_g}$$

Donde:

$D_{sc}$  = Densidad seca corregida.

$P_t$  = Peso total de la muestra extraída del pozo.

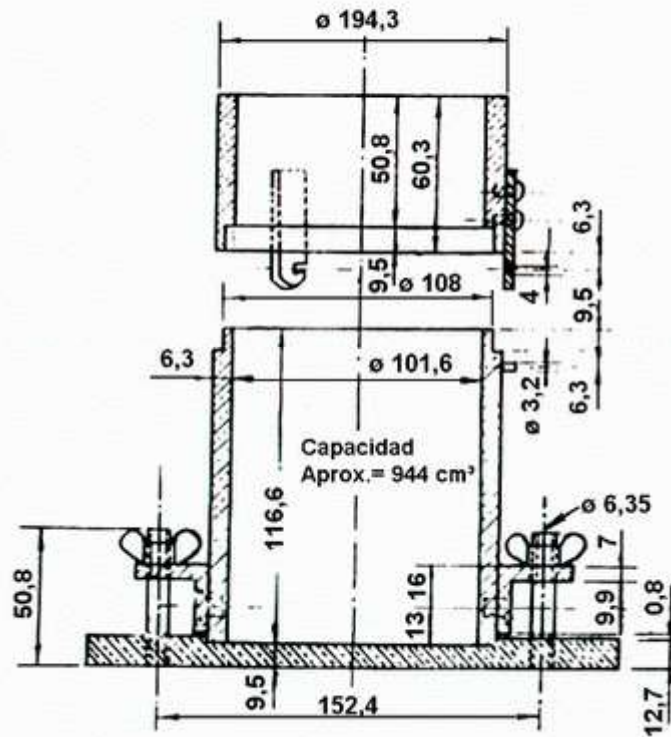
$P_r$  = Peso del material retenido por el tamiz IRAM 19 mm. (3/4").

$V_r$  = Volumen ocupado por el material retenido por el tamiz IRAM 19 mm. (3/4").

$V_t$  = Volumen total del pozo.

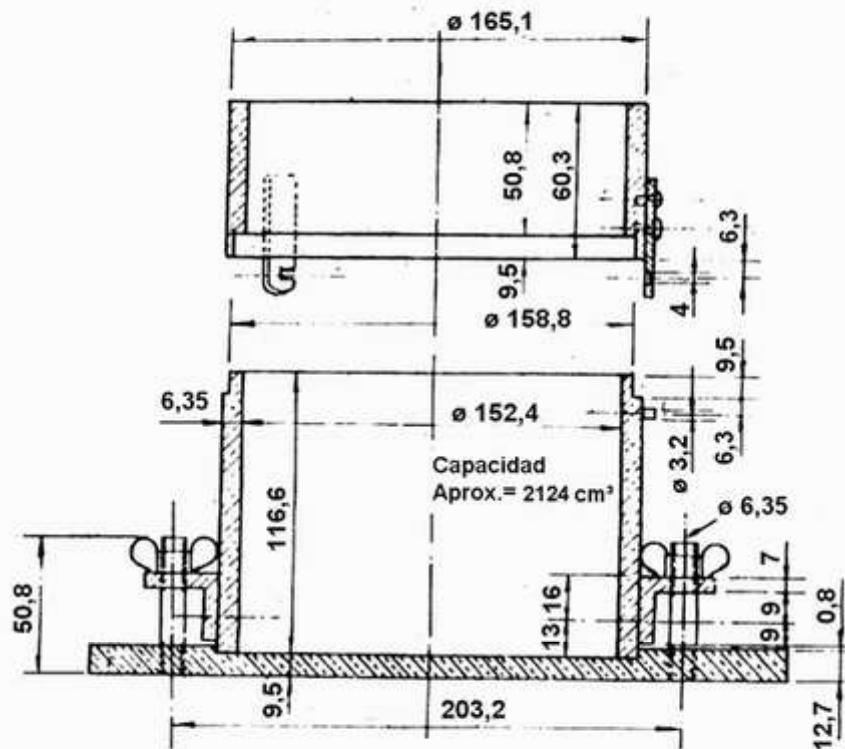
$d_g$  = Peso específico del material, en condición de saturado y a superficie seca, retenido en el tamiz IRAM 19 mm. (3/4").

**Detalle del molde para el  
Ensayo de Compactación  
Diámetro = 101,6 mm.**



**Figura N° 1**

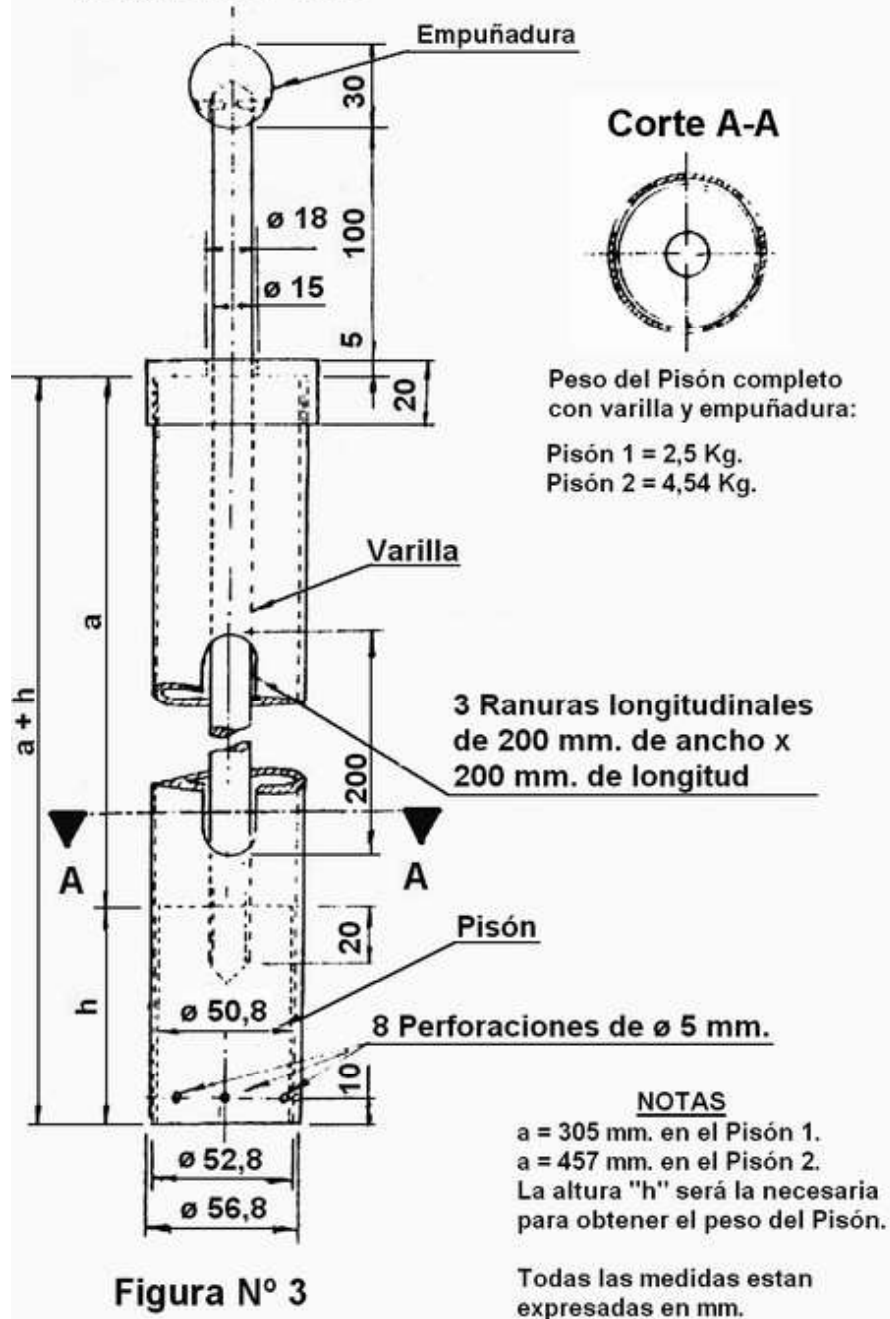
**Detalle del molde para el  
Ensayo de Compactación  
Diámetro = 152,4 mm.**



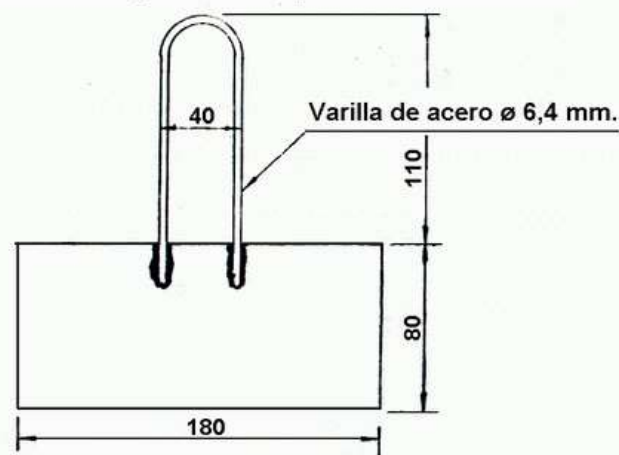
**Figura N° 2**



### Detalle del Pisón



### Espátula rectangular de chapa de acero de 2 mm.

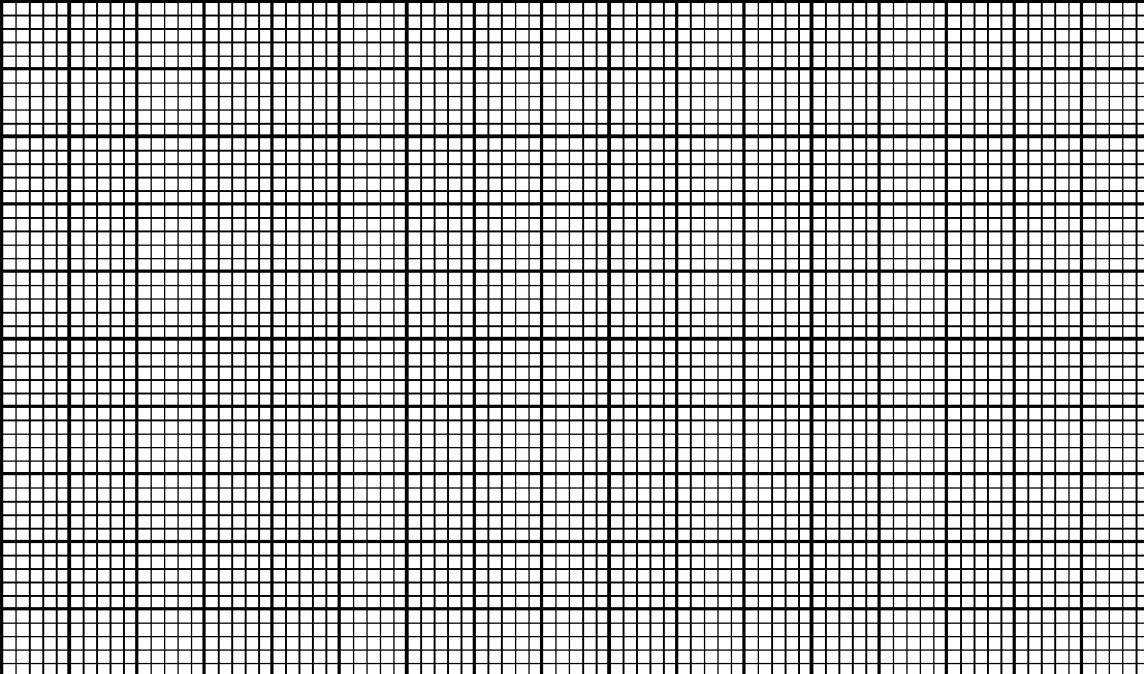


**Figura N° 4**

ENSAYO DE COMPACTACIÓN.....Capas.....Golpes.....Pisón.....  
 N° de muestra.....Ruta.....  
 N° de análisis.....Tramo.....  
 N° de orden.....Progresiva.....

Punto N°	% Aproximado de Agua	Peso del Cilindro + Suelo Húmedo	Tara del Cilindro	Peso Suelo Húmedo	Volumen del Cilindro	PESO ESPECIFICO APARENTE	
						Húmedo (a)	Seco <sup>(1)</sup>
Punto N°	Pesa Filtro N°	Pesa Filtro + Suelo Húmedo	Pesa Filtro + Suelo Seco	Tara del Pesa Filtro	Agua	Suelo Seco	% de Humedad (b)

$$^{(1)} = \frac{100 \times (a)}{100 + (b)}$$

Material	L.L.	L.P.	Granulometria	Tamiz Pasa%																		
<b>DENSIDAD</b>																						

CONTENIDO DE HUMEDAD

# NORMA DE ENSAYO

## VN - E6 - 84

# DETERMINACIÓN DEL VALOR SOPORTE E HINCHAMIENTO DE SUELOS

[índice](#)

## 6.1- OBJETO

Esta norma detalla el procedimiento a seguir para conocer el “valor soporte relativo” de un suelo y determinar su hinchamiento.

- a. Valor Soporte Relativo (V.S.R.) de un suelo es la resistencia que ofrece al punzado una probeta del mismo, moldeada bajo ciertas condiciones de densificación y humedad, y ensayada bajo condiciones preestablecidas. Se la expresa como porcentaje respecto de la resistencia de un suelo tipo tomado como patrón.
- b. Hinchamiento es el aumento porcentual de altura, referido a la altura inicial, que experimente una probeta de suelo cuando la humedad de la misma aumenta por inmersión, desde la humedad inicial de compactación hasta la alcanzada por la probeta al término del periodo de inmersión.

## 6. II – ENSAYO PREVIO A EFECTUAR

De acuerdo a la norma de ensayo VN-E5-67 “Compactación de suelo” determinar la densidad seca máxima y humedad óptima correspondiente, empleando la energía de compactación adoptada en el proyecto de la obra para la cual se efectuarán las determinaciones.

## 6. III – MÉTODOS DE ENSAYO

Se considera cuatro posibles variantes para efectuar este ensayo

- 1° Método estático a carga fija preestablecida.
- 2° Método estático a densidad prefijada.
- 3° Método dinámico N° 1 (simplificado).
- 4° Método dinámico N° 2 (completo).

## 6. IV- MÉTODO ESTÁTICO A CARGA FIJA PREESTABLECIDA

### 6. IV-1 APARATOS

- a. Molde de compactación cilíndrico, de acero tratado superficialmente para hacerlo inoxidable (cinchado, cadmiado, etc.), de las características y dimensiones indicadas en la figura N° 1; provisto además de una base desmontable sin perforaciones.
- b. Plato perforado con vástago de altura regulable y pesa adicional, todo de material inoxidable y peso total de 4,450 Kg., de las características y dimensiones indicadas en las figura N° 2 y figura N° 3. Se requiere uno por cada molde disponible para el ensayo.

- c. Pesas adicionales para hinchamiento. Para cada molde se necesitan seis pesas de 2,27 kg. cada una. Serán de material inoxidable y de las características y dimensiones indicadas en la figura N° 4.
- d. Pesas para penetración. Deberá proveerse un juego para cada prensa disponible y consiste en una pesa anular de 4,54 Kg. y seis pesas de 2,27 Kg. cada una, de acuerdo a las características y dimensiones indicadas en la figura N° 5.
- e. Pisón de compactación para moldeo de probetas, de las características y dimensiones indicadas en la figura N° 6.
- f. Trípode de material inoxidable, con dial extensométrico (precisión 0,01 mm.) para medir variaciones de altura de las características y dimensiones indicadas en la figura N° 7.
- g. Pileta, o recipiente adecuado de dimensiones tales que permitan la inmersión total del molde dentro del agua.
- h. Prensa de ensayo de accionamiento mecánico o hidráulico con comando manual, capaz de aplicar esfuerzos de hasta 5.000 Kg. y que permita lograr sin dificultad una velocidad de avance de 1,25 mm./minuto. Provista de tres aros dinamométricos de 1000, 3000 y 5000 Kg. respectivamente, con sus diales extensométricos de 0,01 de precisión mínima.
- i. Prensa hidráulica de compactación capaz de producir esfuerzos totales de hasta 60 toneladas con velocidad regulable, permitiendo lograr sin dificultades la de 1,25 mm./minuto.
- j. Pistón de penetración de 49,53 mm. de diámetro con las características y dimensiones indicadas en la figura N° 3.
- k. Dial extensométrico de 25 mm. de carrera, con precisión de 0,1 mm., montado sobre un soporte, similar al indicado en la figura N° 9, que pueda ser fijado al pistón penetración.
- l. Elementos varios de uso corriente: Estufa regulable a 105 – 110° C, balanza de 20 Kg. sensible al gramo, regla metálica enrasadora, bandejas, espátulas, probetas, rociadores, tamices IRAM 19 mm. (3/4") y 4,75 mm. (N° 4), etc.

## 6. IV-2. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

- a. Se secan alrededor de 50 Kg. de suelo hasta que se convierta en friable bajo la acción de una llana o espátula. El secado podrá realizarse al aire o en estufa pero siempre que la temperatura no exceda de 60° C. En caso de que el material contenga partículas mayores de 19 mm. se secan 100 Kg.
- b. El material utilizado para el ensayo pasará en su totalidad por el tamiz IRAM 19 mm. (3/4"). Si en la muestra a ensayar existe material retenido por dicho tamiz, la porción retenida se reemplaza por igual cantidad de material que pase por el mismo y sea retenido por el tamiz IRAM 4,75 mm. (N° 4), hasta un máximo de 15 % tal como se indica en 5.3 (c) y 5.3 (d) de la norma VN-E5-67.

## 6. IV-3. MOLDEO DE LAS PROBETAS

- a. Cada probeta se preparará con una cantidad de suelo seco tal que al ser compactada, se obtenga 12 cm. de altura  $\pm$  2 cm. Si en el momento previo al moldeo, el suelo contiene algo de humedad, se determina ésta sobre 100 a 1000 gr. (según la granulometría). Sea H' (%) esta humedad; entonces la cantidad de suelo con esa humedad a pesar para cada probeta es igual a:

$$Ph = Ps \left[ 1 + \frac{H'}{100} \right] \text{ gramos}$$

- b. Se moldean cinco probetas con contenidos crecientes de humedad, de tal modo que pueda trazar una curva densidad - humedad similar a la de ensayo de compactación. La probeta a ensayar deberá moldearse con la humedad correspondiente a la máxima densidad.
- c. La cantidad de agua adicional a cada probeta se calcula mediante la fórmula:

$$A = \frac{P_s \times H}{100}$$

siendo:

A= Agua Total

H = Humedad por ciento.

Si el suelo ya tiene una cierta humedad inicial (H'), a la cantidad Ph de suelo calculado como se explicó en "a" se le adiciona

$$P_s \left[ \frac{H - H'}{100} \right] \text{ gramos de agua}$$

- d. Para moldear la probeta, una vez establecida la cantidad necesaria de suelo, se pesa esta más 40 – 50 gr. aproximadamente y se extiende en una capa de espesor uniforme en el fondo de una bandeja de dimensiones adecuadas. Se mide la cantidad necesaria de agua calculada según se expresó en "c", y con la ayuda del rociador se va humedeciendo el suelo mezclando al mismo tiempo con una espátula, hasta una distribución uniforme de la humedad. Se toman 40 - 50 gr. de suelo que se colocan en un pesa filtro, se pesan y se llevan a estufa hasta peso constante para determinar la humedad. Si se trata de suelos granulares en vez de tomar un exceso de 40 -50 gr., se tomarán 1000 gr. aproximadamente.
- e. Se prepara el molde ajustándolo sobre la base sin perforaciones. Se va colocando dentro el suelo humedecido, en capas, compactándolo ligeramente al mismo tiempo con la ayuda de una varilla de hierro aproximadamente 20 mm. de diámetro y 500 mm. de longitud.
- f. Se lleva el conjunto a la prensa de compactación (IV.1-i) y se carga con una velocidad de avance del plato de la prensa igual a 1,25 mm./minuto, hasta lograr una presión total de 140 Kg./cm<sup>2</sup> (hasta la carga de 70 Kg./cm<sup>2</sup> la velocidad de avance puede ser mayor).  
Una vez alcanzada la presión de 140 Kg./cm<sup>2</sup>, se mantiene la carga durante 1 minuto. Se descarga en forma suave en poco más o menos 20 segundos.
- g. Se retira el molde de la prensa, se mide la profundidad libre hl. Si la profundidad total del molde es igual a ht, la altura (h) de la probeta es igual a:

H = ht – hl, que como se dijo debe oscilar en los 12 cm. con una tolerancia de 2 cm. en más o en menos.

**NOTA:** Al verificar la humedad de la probeta destinada al ensayo su valor no debe diferir del deseado en + ó – 0,5.

A los efectos de evaluar la influencia de la posible variación de humedad con que se compactó el suelo en obra, se deberán moldear, además cuatro probetas a la densidad máxima de la curva de compactación, pero con humedades que abarquen el límite de trabajabilidad del suelo en obra. Se moldearán con dos humedades del lado seco y con dos humedades del lado húmedo de la curva de compactación.

Para esto deberá tenerse en cuenta que la carga con que se compactará, no será la establecida en esta norma, sino la necesaria para que con las distintas humedades se logren probetas con la densidad máxima.

#### 6. IV-4. EJECUCIÓN DEL ENSAYO.

- a. Se sustituye la base del molde colocando en su lugar la base perforada.
- b. Se coloca sobre la superficie del suelo un disco de papel de filtro, u otro de naturaleza absorbente, de 15,2 cm. de diámetro. Sobre éste se coloca el plato perforado, especificado en el apartado IV.1-b, y las pesas adicionales que sean necesaria (IV.1-c).
- c. Se coloca sobre el molde el trípode con extensómetro especificado en IV.1-k.
- d. Se regula el vástago del plato hasta que su extremo superior toque el vástago del dial que debe estar a cero.
- e. Se ajusta en esa posición y se retira el trípode.
- f. Se lleva el conjunto a la pileta llena de agua, de tal modo que se cubra totalmente el molde, colocando una capa de arena fina en el fondo para que el agua tenga libre acceso por ambos extremos de la probeta.
- g. La probeta será mantenida durante cuatro días en inmersión midiéndose todos los días el “hinchamiento”, colocando el trípode con el extensómetro y registrándose las variaciones de altura diarios (en centésima de milímetro).
- h. Completado el 4º día de inmersión y después de haberse leído el hinchamiento total, en valor absoluto, se retira el molde de la pileta. Se elimina el agua libre inclinando el molde durante un minuto, mientras se sujetan firmemente los pesos adicionales. Luego se deja drenar en posición vertical durante 15 minutos.
- i. Se coloca el molde en la base de la prensa de ensayo, ya provista del aro dinamométrico adecuado, se retiran el plato perforado y las sobrecargas. Se coloca sobre la superficie del suelo la sobrecarga anular de 4,54 Kg. de peso. Se hace asentar el pistón de penetración a través del orificio central aplicando una carga de 4,54 Kg.
- j. Se colocan los diales en cero y se agregan las sobrecargas calculadas en igual cantidad que las usadas durante el período de inmersión. El dial que mide las penetraciones debe fijarse al pistón de penetración y apoyar su vástago libre sobre el borde del molde o sobre un punto fijo solidario con él.
- k. Se aplican las cargas suavemente a una velocidad de avance del pistón igual a 1,27 mm./minuto. Se anotan las lecturas del dial del aro dinamométrico obtenidas para penetraciones de 0,64 mm., 1,27 mm., 1,91 mm., 2,54 mm., 5,1 mm., 7,6 mm., 10,2 mm., y 12,7 mm.  
Las cuatro primeras lecturas servirán posteriormente para efectuar la corrección de la curva penetración – cargas en el caso que la misma resulta cóncava arriba.
- l. Se descarga la prensa de penetración, se retira el molde y se quitan las sobrecargas. Se toma una muestra de la capa superficial hasta 2,5 cm. de profundidad para determinar la humedad. Se extrae también una muestra representativa en todo el espesor de la probeta para obtener la humedad promedio de la probeta embebida.

#### 6. IV-5 RESULTADOS

##### Cálculo de hinchamiento:

El hinchamiento se calcula por medio de la siguiente fórmula:



$$\text{Hinchamiento \%} = \frac{h_n \times 100}{h}$$

$h_n$  = Lectura del hinchamiento en el último día de inmersión en ( cm. )

$h$  = altura de la probeta en cm.

### Cálculo del Valor Soporte:

a. Representación gráfica y corrección de lecturas.

En un sistema de ejes rectangulares, se llevan en abscisas los valores de penetración en mm. y sobre las ordenadas los valores de las lecturas del aro dinamométrico.

Uniendo por un trazo continuo puntos experimentales determinados en el ensayo, se obtiene una curva similar a alguna de las representadas en la figura 10.

b. Si la curva obtenida toma la forma señalada con (1), es decir, sin cambios de curvatura no corresponde hacer corrección y para el cálculo se toman directamente los valores de lectura correspondiente a las penetraciones de 2,5 mm.; 5,1 mm.; 7,6 mm.; 10,1 mm.; 12,7 mm. obtenidas al realizar el ensayo.

c. Si la curva presenta la forma señalada en (2), es decir, con cambio de curvatura, se traza la tangente T por el punto de inflexión. Esta tangente corta el eje de las abscisas en un punto A que será el nuevo origen de las penetraciones. En consecuencia los puntos correspondientes a las penetraciones 1° - 2° - 3° - 4° y 5° se obtendrán corriendo los valores 2,5 mm.; 5,1 mm.; 7,6 mm.; 10,1 mm.; y 12,7 mm. hacia la derecha en una distancia "d" igual a la distancia de A al origen.

d. Los verdaderos valores dinamométricos "L" a aplicarse en los cálculos se obtendrán en las ordenadas que corresponden a los puntos en que la curva de penetración intercepte la perpendicular trazada por los valores corregidos para cada penetración.

e. Multiplicando la lectura "L", del dinamómetro por su factor y dividiendo el producto por la sección del pistón de penetración, se obtiene en Kg./cm<sup>2</sup> la resistencia a la penetración ofrecida por el suelo estudiado. Llamando: RPU a la resistencia a la penetración, L a la lectura del dial del aro dinamométrico, S a la sección en cm<sup>2</sup> del pistón de penetración y F al factor de cálculo del aro empleado, se tiene que:

$$\text{RPU} = \frac{\text{L.F.}}{\text{S}} \text{ (Kg./cm}^2\text{)} \quad (1)$$

f. Experimentalmente el autor del método encontró que la resistencia a la penetración RPU en Kg./cm<sup>2</sup> para las sucesivas etapas de penetración que ofrecía el suelo considerado como tipo de comparación, son para la condición embebida.

### Penetración

Nº	mm.	<u>Pulgada</u>	<u>RPU<sub>n</sub></u> (Kg./cm <sup>2</sup> )
1 <sup>a</sup> .	2,5	0,1	70
2 <sup>a</sup> .	5,1	0,2	105
3 <sup>a</sup> .	7,6	0,3	133
4 <sup>a</sup> .	10,1	0,4	161
5 <sup>a</sup> .	12,7	0,5	182

g. El Valor Soporte Relativo de un suelo se obtiene mediante la fórmula:

$$\text{VSR} = \frac{\text{RPU}}{\text{RPU}_n} \times 100$$

h. Reemplazando RPU por su valor según fórmula (1) se tiene:

$$\text{VSR} = \frac{L \cdot F \cdot 100}{S \cdot \text{RPU}_n} \quad (2)$$

i. Aplicando ésta fórmula y reemplazando en ellas S y RPU n por sus valores para cada penetración, (S = 19,3471 cm<sup>2</sup>); RPU n obtenidos en la tabla del punto f), se obtiene para cada penetración y con los valores L1; L2; L3, correspondientes:

### Penetración

VSR (Embebido)

$$\begin{aligned} 1^a. & \quad L1 F \left( \frac{100}{19,3471 \times 70} \right) \\ 2^a. & \quad L2 F \left( \frac{100}{19,3471 \times 105} \right) \\ 3^a. & \quad L3 F \left( \frac{100}{19,3471 \times 133} \right) \\ 4^a. & \quad L4 F \left( \frac{100}{19,3471 \times 161} \right) \\ 5^a. & \quad L5 F \left( \frac{100}{19,3471 \times 182} \right) \end{aligned}$$

Calculando la parte numérica que se constate para cada penetración resulta en definitiva:

### PENETRACIÓN

VSR (Embebido)

$$\begin{aligned} 1^a & \quad L1F \quad x \quad 0,0738 \\ 2^a & \quad L2F \quad x \quad 0,0492 \\ 3^a & \quad L3F \quad x \quad 0,0389 \\ 4^a & \quad L4F \quad x \quad 0,0321 \\ 5^a & \quad L5F \quad x \quad 0,0284 \end{aligned}$$

j. Estos factores numéricos de cálculo son invariables cualesquiera que sean los factores de los aros dinamométricos utilizados. Pero en cada laboratorio pueden simplificarse los cálculos efectuando de una sola vez por todos los productos. F x 0,0738; F x 0,0492, etc., para cada aro disponible, obteniéndose en esta forma los "Factores definitivos de Cálculo", que multiplicados por las lecturas, registradas para cada penetración darán directamente los valores del VSR.



- k. El VSR estará dado por el valor correspondiente a la penetración de 2,5 mm. Si el valor de la penetración de 5,1 mm. es mayor que el anterior se repetirá el ensayo. Si en la verificación el valor de la penetración de 5,1 mm. sigue siendo mayor, deberá informarse éste como resultado del VSR.

### Cálculo de Humedades

Las humedades de moldeo y las otras dos citadas en ap. IV.3, se calculan por la fórmula siguiente:

$$H \% = \frac{(Ph - Ps) 100}{Ps - Pt}$$

donde:

Ph = Peso del pesa filtro + suelo húmedo

Ps = Peso del pesa filtro + suelo seco

Pt = Peso del pesa filtro vacío

H = Humedad por ciento

### **6. IV-6. INFORME**

Los resultados se consignan en una planilla similar al modelo siguiente: ver Planilla "A".

### **6. IV-7. OBSERVACIONES**

- a. Cálculo de la sobrecarga.

La sobrecarga a utilizar nunca debe ser inferior a 4,54 Kg. y debe ser igual al peso que se colocará encima de cada suelo con una apreciación + ó - 2,27 Kg. En base a lo dicho se deberá estimar el V.S.R. del suelo a ensayar y de este dato supuesto, deducir el espesor de la estructura que soportará. Este espesor multiplicado por la sección del molde y por la "densidad" de las distintas capas de la estructura, dará el valor de la sobrecarga a colocar.

La sobrecarga será de la misma magnitud tanto para el período de embebimiento, como durante el ensayo de penetración.

- b. La elección del aro dinamométrico a utilizar en el ensayo de penetración, es función del suelo ensayado, y será el criterio del operador el que en definitiva definirá.

Pero pueden tenerse en cuenta las indicaciones siguientes:

Suelos finos no calcáreos tienen en general valor soporte bajo, y en estos casos debe utilizarse el aro de 1.000 Kg. y aún de 500 Kg. si se dispone de éste.

Suelos granulares sin cohesión (excluidas las toscas) pueden tener valor soporte un poco más elevado, pero sin llegar a valores grandes. Pueden utilizarse el aro de 3.000 Kg., aunque en la generalidad de los casos basta con el de 1.000 Kg.

Suelos granulares bien graduados con cohesivo adecuado, toscas duras con cohesivo, en general tienen elevado valor soporte y se impone el uso del aro de 5.000 Kg.

La elección del aro dinamométrico es de importancia, pues si se ensaya un suelo de poco valor soporte, con un aro de gran capacidad, se obtendrán lecturas muy bajas, para las cuales el aro de prueba tiene en general poca precisión.

- c. El ensayo debe efectuarse por duplicado; y si los resultados difieren en más de un 20 % uno de otro, especialmente en las dos primeras penetraciones, debe efectuarse un tercer ensayo. Si el material no alcanza para este tercer ensayo, debe informarse el que acusa menores valores.
- d. La humedad de moldeo, debe ser la más próxima posible a la humedad fijada para el ensayo. Si la misma excediera este valor en 0,5 debe repetirse el ensayo.
- e. Si la muestra ensayada tiene material granular la humedad después de embebida se determina con la totalidad de la probeta, secando en bandeja para obtener mayor precisión.
- f. Si el material a ensayar presenta dificultades para su mezcla homogénea con el agua incorporada, se mezcla lo más uniformemente posible y se deja en ambiente húmedo durante 24 horas. Después de este período deberá volverse a mezclar.

## 6. V. MÉTODO ESTÁTICO A DENSIDAD PREFIJADA

6. V-1. APARATOS: Son los mismos que en el método anterior.

### 6. V-2. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

- a. El material utilizado para el ensayo pasará en su totalidad por el tamiz IRAM 19 mm. (3/4"). Si en la muestra a ensayar existe material retenido por dicho tamiz, la porción retenida se reemplaza por igual cantidad de material que pasa por el mismo y sea retenida por el tamiz IRAM 4,75 mm. (N° 4) hasta un máximo de 15 % tal como se indica en 5.3 (e) de la norma VN-E5-67. La cantidad de material a secar será similar a la del método anterior.
- b. Las probetas a ensayar se compactarán con la prensa indicada en el apartado IV.1-i, a la densidad y humedad establecida en el proyecto. Deberán tener una vez compactadas 12 cm. de altura.
- c. Cálculo de peso de material seco y agua necesaria para compactar cada probeta. El molde mide 15,24 cm. de diámetro y como la probeta debe tener 12 cm. de altura su volumen será igual a:

$$\frac{d^2\pi}{4} \times 12 \text{ cm.} = 15,24 \text{ cm.} \times 15,24 \text{ cm.} \times 0,7854 \times 12 \text{ cm.} = 2.189 \text{ cm.}$$

En consecuencia la cantidad de suelo seco ( Ps ) a compactar es igual a:

Ps = 2.189 X ds siendo ds la densidad prefijada.

Si en el momento de compactar la muestra retiene algo de humedad, se determinará ésta (H' %). Entonces la cantidad de suelo con humedad (Ph) a pesar es igual:

$$Ph = Ps \left[ 1 + \frac{H'}{100} \right] \text{ gramos}$$

Si la humedad a incorporar es igual a H % la cantidad de agua necesaria se obtiene por la fórmula:

$$\text{Agua total} = \frac{Ps \times H}{100} \text{ gramos}$$

y si el suelo ya tiene una humedad, inicial H' la cantidad de agua a agregar se obtiene mediante

$$\text{Agua parcial} = P_s \frac{(H - H')}{100} \text{ gramos}$$

## 6. V-3. PROCEDIMIENTO

### Moldeo de la probeta

- a. Establecida según se explicó en el título anterior la cantidad necesaria de suelo, se pesa ésta con más de 30 ó 40 gr. y se extiende en una capa de espesor uniforme en el fondo de una bandeja de dimensiones adecuadas.  
Se mide la cantidad necesaria de agua, calculada según se detalló en el título anterior y con la ayuda de un rociador se va humedeciendo el suelo, mezclando al mismo tiempo con una espátula, hasta obtener una distribución uniforme de la humedad. Se toman 50 gr. del suelo que se colocan en un pesa filtro, se pesa y se lleva a estufa hasta peso constante para determinar humedad.

**Nota:** Si se trata de suelos granulares en vez de tomar un exceso de 50 gr. se tomarán 1000 gramos.

- b. Se prepara el molde, ajustándolo sobre la base sin perforaciones. Se va colocando dentro el suelo humedecido de acuerdo a lo indicado, en capas, compactando ligeramente al mismo tiempo con la ayuda de una varilla de hierro aproximadamente 20 mm. de diámetro y 500 mm. de longitud.
- c. Una vez colocado todo el suelo dentro del molde, se coloca el pisón de compactación (ap. IV.1-c) de manera que quede a la vista el frente graduado en mm.
- d. Se lleva el conjunto a la prensa de compactación y se carga con una velocidad de avance del plato de la prensa igual a 1,25 mm./minuto, hasta que el pisón de compactación haya penetrado en el molde en una longitud igual a:  $h - 12\text{cm.}$ ; siendo  $h$  la altura interior total del molde.

En la práctica, conviene hacer entrar el pisón 1 ó 2 mm. más para compensar la recuperación elástica que generalmente se produce.

Se mantiene la carga aplicada durante un minuto y luego se descarga. Se registra en toneladas la carga aplicada, que es la necesaria para obtener la densidad buscada.

## 6. V-4. EJECUCIÓN DEL ENSAYO.

- a. Se procede en la misma forma que en el método anterior.
- b. Igualmente que en el método anterior y a los efectos de evaluar la influencia de la posible variación de humedad con que se compacte el suelo en obra, se deberán moldear, además cuatro probetas a la densidad prefijada pero con humedades que abarquen el límite práctico de trabajabilidad del suelo en obra.

Se moldearán con dos humedades del lado seco y con 2 humedades del lado húmedo de la curva del ensayo de compactación.

## 6. V-5. RESULTADOS

Se procede en la misma forma que en el método anterior.

## 6. V-6. OBSERVACIONES

Se tendrán en cuenta las mismas que en el método anterior.

## 6. VI- METODO DINAMICO N° 1 (SIMPLIFICADO)

### 6. VI-1. APARATOS

- a. Moldes de compactación cilíndricos de acero tratados superficialmente para volverlos inoxidable de las características y dimensiones indicadas en la figura N° 11.
- b. Compactador mecánico: con pisones de 4,54 Kg. de peso, con un mecanismo que permita regular su caída libre en 45,7 cm. y 30,5 cm. y dar a la base un desplazamiento angular entre 40° y 45° por golpe.
- c. Trípode: de material inoxidable con dial extensométrico de 0,01 mm. de precisión para medir variaciones de altura de características y dimensiones indicadas en la figura N° 6.
- d. Prensa de penetración: con pistón de penetración de 49,63 mm. de diámetro, de accionamiento mecánico, comando manual, que permita lograr una velocidad de avance del pistón de 1,27 mm./minuto.
- e. Aros dinamométricos: de 500; 1000; 3000 y 5000 Kg. respectivamente con sus diales extensométricos de 0,01 mm. de precisión mínima.
- f. Disco espaciador: de 61,2 mm. de espesor y con un diámetro de 15,24 cm. Para obtener una altura de probeta de 11,66 cm. en todos los casos. Ver figura N° 12.
- g. Platos perforados: con vástago de altura regulable y peso adicional, todo de material inoxidable, con un peso total de 4,54 kg. y de dimensiones dadas en las figuras N° 2 y figura N° 3 (uno por molde).
- h. Pesas adicionales para henchimientos: seis pesas por molde, de 2,27 Kg. cada una de material inoxidable y de dimensiones indicadas en la figura N° 4.
- i. Pesas de penetración: deberá proveerse un juego por prensa y consiste en: una pesa de 4,54 g. y seis pesas de 2,27 Kg. cada una de dimensiones indicadas en la figura N° 5.
- j. Dial extensométrico de 25 mm. de carrera de precisión mínima de 0,01 mm. montado sobre un soporte que será fijado al pistón de penetración (Ver figura N° 9).
- k. Elementos varios de uso corriente: Estufa regulable a 105 - 110° C, balanza de 20 Kg. sensible al gramo; bandeja para mezclar el material, llanas, regla de 20 cm. de longitud para enrasar, espátulas, probetas, rociadores cronómetros, etc.

### 6. VI-2. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

El método que se describe a continuación es para cuando se especifica en obra el 95 % o el 98 % de la densidad del ensayo de compactación, realizado con 5 capas y pisón de 4,5 Kg., altura de caída 45,7 cm. y 56 golpes por capa.

Cuando se especifique el 100 % de la densidad de este ensayo o de cualquier otro, se moldearán solo dos probetas con la humedad óptima correspondiente.

El suelo no contiene partículas de tamaño superior a 19 mm. (3/4").

- a. Se secan alrededor de 40 Kg. de suelo, hasta que éste se convierte en friable bajo la acción de una llana o espátula.  
El secado podrá realizarse al aire o en estufa, pero siempre que la temperatura no exceda los 60° C.
- b. Se desmenuza la muestra evitando reducir el tamaño de las partículas individuales.

- c. Se mezcla bien el suelo y por cuarteo se separan 6 porciones de aproximadamente 6 Kg. cada una.
- d. Se agrega agua hasta llevarla a la humedad óptima previamente determinada de acuerdo al ensayo VN-E5-67. Se amasa cuidadosamente la muestra para obtener humedad homogénea.  
La muestra se encuentra lista para ser compactada. De la misma forma se preparan otras cinco muestras.

El suelo contiene partículas mayores de 19 mm. (3/4")

- e. Se tratan alrededor de 80 Kg. de acuerdo a lo especificado en los párrafos anteriores (a) y (b).
- f. Se pasa la muestra por el tamiz IRAM 19 mm. (3/4") y lo retenido en el mismo se sustituye por igual cantidad (en peso) de material que pasa por dicho tamiz IRAM 19 mm. (3/4") y sea retenido por el de 4,8 mm. (N° 4) hasta un máximo del 15 % tal como se indica en 5.3-e de la norma VN-E5-67.
- g. Se mezclan bien estos materiales y se preparan por cuarteo seis muestras de 6 kilogramos aproximadamente.
- h. Se agrega agua hasta llevarla a la humedad óptima previamente determinada de acuerdo al ensayo VN-E5-67. Se amasa cuidadosamente la muestra para obtener humedad homogénea.  
La muestra se encuentra lista para ser compactada. De la misma manera se preparan otras cinco muestras.
- i. Los apartados IV.2-b); V.2-a); VI.2-f) y VII.2-b) quedan modificados en el sentido de que, la compactación del material retenido en el tamiz IRAM 19 mm. (3/4") se realizará como se indica en los apartados 5.3-c) y 5.3-d) en la Norma VN-E5-67. Especificación complementaria.

## 6. VI-3. COMPACTACIÓN DE LA MUESTRA

- a. Pesar 6 moldes vacíos, con sus collares de extensión y placas de base.
- b. Se coloca el disco espaciador en el molde y se compacta la primera muestra en cinco capas con 56 golpes por capa. La segunda muestra se compacta con igual número de capas pero con 25 golpes por capa y la tercera también en cinco capas y 12 golpes por capa. Se preparan dos probetas para cada condición.  
Si se exige el 100 % de la densidad del ensayo de compactación mencionado en VI.2 o de cualquier otro ensayo, se moldearán dos probetas en esa condición.
- c. Se determina la humedad de cada probeta sacando una muestra representativa del suelo, (no menor de 40 gr. en los suelos finos y mayor de 1000 gr. en los granulares), antes de la compactación y otra del material sobrante una vez terminada la misma. La humedad de ambas muestras no deberán diferir = 0,5 de la óptima del respectivo ensayo de compactación.  
De no cumplirse este requisito deberá repetirse el ensayo. Mientras se efectúe la compactación de la probeta, la bandeja que contiene la muestra de suelo deberá cubrirse con un paño húmedo a los efectos de evitar la evaporación de la humedad
- d. Quitar el collar de extensión y enrasar la muestra con una regla metálica recortándola a ras del borde. En el caso de materiales granulares los huecos que quedan al ser arrancadas las piedras emergentes, deben ser rellenados con material fino y compactadas con una espátula rígida.
- e. Colocar un papel de filtro sobre la cara enrasada. Aflojar la base, retirar el disco espaciador, dar vuelta el molde de manera que la parte superior quede abajo. Fijar de nuevo la base, colocar un papel de filtro en la cara ahora superior, ajustar



el collar de extensión y pesar todo el conjunto. La muestra se encuentra lista para el ensayo de hinchamiento.

#### **6. VI-4. DETERMINACIÓN DEL HINCHAMIENTO.**

Se procederá en forma similar a la indicada para el método estático. Ver título IV- 4 (ap. c al ap. h).

#### **6. VI-5. ENSAYO DE PENETRACIÓN.**

Se procederá en forma similar a la detallada en el método estático. Ver título IV.4 (ap. i al ap. l)

#### **6. VI-6. RESULTADOS:**

##### Cálculo del hinchamiento

El hinchamiento se calcula por medio de la siguiente fórmula:

$$\text{Hinchamiento \%} = \frac{hn \times 100}{11.66}$$

hn = Lectura del hinchamiento en el último día de inmersión (en cm.)

11,66 = Altura de la probeta

##### Cálculo del Valor Soporte:

Se procede de acuerdo a lo detallado para el método estático. Ver título VI.5 desde ap. (a) al ap. (k) inclusive.

1. En el caso que se especifique el 95 % o el 98 % de la densidad del ensayo de compactación realizado con pisón de 4,54 Kg., caída de 45,7 cm., 5 capas y 56 golpes por capa se lleva, en un sistema de ejes rectangulares, sobre las abscisas los valores de V.S.R. de las probetas ensayadas y compactadas con 12 golpes, 25 golpes y 56 golpes por cada capa respectivamente y sobre las ordenadas los valores de las densidades de cada una de ellas.

Uniendo por un trazo continuo los puntos así determinados se obtiene un diagrama como el representado en la figura 13.

Entrando con el 95 % o el 98 % de la densidad máxima del ensayo de compactación, se intercepta a la curva y bajando una perpendicular desde el punto de intersección, donde ésta corta el eje de las abscisas se obtiene un valor de V.S.R. Este valor deberá ser mayor o igual que el especificado.

#### **6. VI-7. OBSERVACIONES**

Ver el título IV.7 ap. (a) al ap. (f) inclusive.

#### **6. VII. METODO DINAMICO N° 2 (COMPLETO)**

##### **6. VII-1. APARATOS.**

Son los detallados para el método dinámico N° 1. Ver título VI.1.

##### **6. VII-2. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA.**

Teniendo en cuenta que será necesario obtener una curva densidad - humedad (con cinco puntos como mínimo) para tres distintas energías unitarias de comparación, se procederá en forma similar a la del método dinámico N° 1 (ver título VI.2) con las siguientes variantes.

- a. Para el caso de ensayar suelos que no contienen partículas de tamaño superior a 19 mm. (3/4”), se deberán secar 110 Kg. de material.
- b. Si se tienen suelos con partículas mayores de 19 mm. (3/4”) se sacará una muestra de 220 Kg.

En ambos casos cada muestra deberá dividirse en 18 partes iguales. Por otra parte, cada una de estas porciones deberá humedecerse con diferentes cantidades de agua, en forma tal de obtener una curva de compactación para cada una de las energías empleadas y además, que todas ellas abarquen el “rango de humedad” con el cual se permitirá trabajar en obra.

Estas curvas se obtendrán siguiendo las indicaciones contenidas en la presente norma y a la VN-E5-67 “Compactación de suelos”.

### **6. VII-3. COMPACTACIÓN DE LA MUESTRA**

Se obtendrán tres curvas de compactación, moldeando las probetas en cinco capas cada una, pero con 56 golpes por capa para la primera curva, 25 golpes por capa para la segunda y 12 golpes por capa para la tercer curva.

El procedimiento para compactar las probetas es similar al detallado para el método dinámico N° 1 (título VI.3) debiendo ser sometida posteriormente cada probeta al ensayo de hinchamiento y luego al de penetración.

### **6. VII.4 DETERMINACIÓN DEL HINCHAMIENTO.**

Se seguirá el proceso detallado para el método estático en el título IV-4 (ap. c al ap.h).

### **6. VII.5 ENSAYO DE PENETRACIÓN**

Se procederá en forma similar al método estático. Ver título IV-4 (ap. i al ap. l).

### **6. VII.6 RESULTADOS.**

#### **a. ARENAS Y GRAVAS FRIABLES**

Estos suelos son generalmente de fácil compactación a alta densidad y con altos contenidos de humedad. Las probetas deben prepararse con alta energía de compactación y con contenidos de humedad similares a las que se utilizarán en el terreno.

Si se comprueba que el valor soporte no se reduce al embeber las probetas, no es necesario repetir la inmersión en ensayos a realizar posteriormente.

#### **b. SUELOS COHESIVOS**

En estos suelos es necesario obtener información apta para determinar su comportamiento en un entorno previsible de contenidos de humedad, por medio de probetas representativas.

En este caso se utilizará el método indicado en VII - Método Dinámico N° 2 (Completo).

Para verificar la validez de los resultados de ensayos de compactación, se vuelcan los datos de densidad máxima y trabajo de compactación por unidad de volumen. Generalmente deberá obtenerse una relación lineal en el diagrama.

En la figura N° 14 a, se indica un caso típico. En la figura N° 14 b se han representado los resultados de un ensayo. En el Diagrama A, figuran las curvas de compactación, densidad - humedad en líneas llenas y para las energías que corresponden al Método Dinámico N° 2.

En el diagrama B se indican las correspondientes relaciones humedad - valor soporte.

En el diagrama C, se representan las relaciones entre densidad y valor soporte para los puntos correspondientes de los diagramas A y B.

Utilizando los resultados de los diagramas A y B pueden volcarse en el diagrama C líneas de igual contenido de humedad, representadas en este caso por líneas cortadas. Cada línea vertical en el diagrama C indica valor soporte constante.

Pueden así hallarse en orden sucesivo puntos de igual valor soporte que estarán definiendo valores numéricos de humedad y densidad.

De esta forma se obtienen líneas de igual valor soporte en el Diagrama A, marcando como líneas cortadas, que se superponen a las curvas de densidad. El diagrama A permite sacar conclusiones sobre el valor soporte a adoptar, las que surgen del ejemplo siguiente:

Se ha especificado una densidad mínima del 95 % de la máxima según Ensayo V (Norma VN-E5-67). La humedad de compactación puede ser controlada en obra entre el 16 % y el 20 %.

El valor soporte oscilará entre el 7 % y el 9 % en este caso. Si la humedad de compactación en obra descendiera al 13 %, el valor soporte también descendería al 6 %.

### **c. SUELOS EXPANSIVOS**

El procedimiento a aplicar es igual al del caso b, aunque el objetivo es distinto. En este caso se debe determinar el contenido de humedad y la densidad que minimizan la expansión.

La humedad y densidad apropiadas pueden no ser respectivamente la óptima y la máxima determinadas en el ensayo de compactación.

En general la mínima expansión y el mayor valor soporte embebido se obtienen a humedad de moldeo algo superior a la óptima.

Debe adicionarse a las curvas de la figura N° 14 b las curvas de igual hinchamiento. Se seleccionan de esta manera los límites de densidad y humedad que permitan limitar el hinchamiento y obtener los mayores valores de valor soporte y densidad posibles. Cuando se considere necesario limitar el hinchamiento mediante sobrecargas, los ensayos deberán determinar las presiones necesarias. Se realizarán probetas adicionales, usando pesos adicionales de sobrecarga al embeber.

## **6. VII. 7- OBSERVACIONES**

Además de tener en cuenta las observaciones dadas para el método estático (Ver título IV.7) es recomendable que.

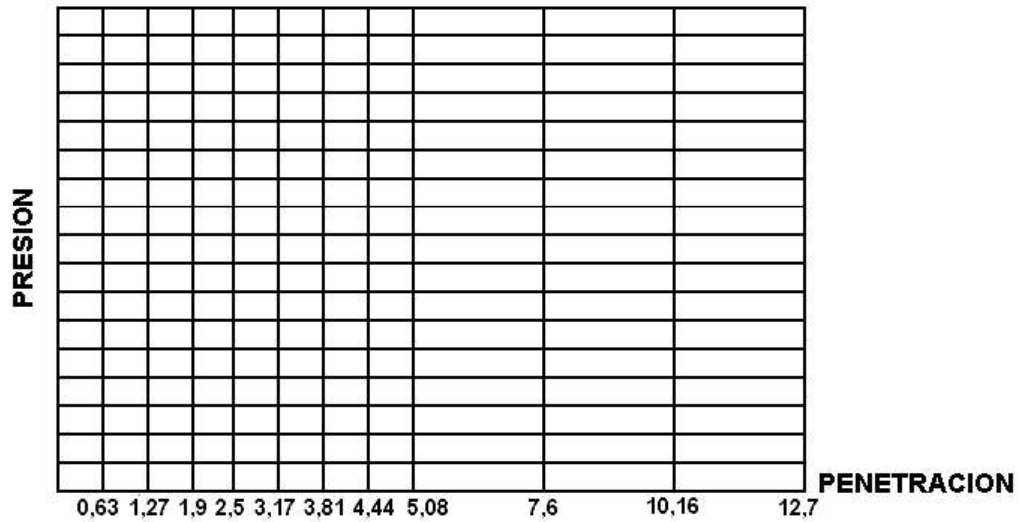
Cuando se ha ensayado un suelo y se encuentra que la diferencia entre el V.S.R. a 56 y 25 golpes difiere mucho de la encontrada entre 25 y 12 golpes, es aconsejable ensayar probetas compactadas con números de golpes intermedios entre 12 y 25; y entre 25 y 56, con el fin de averiguar cual es la zona crítica y adoptar, en consecuencia, las especificaciones.



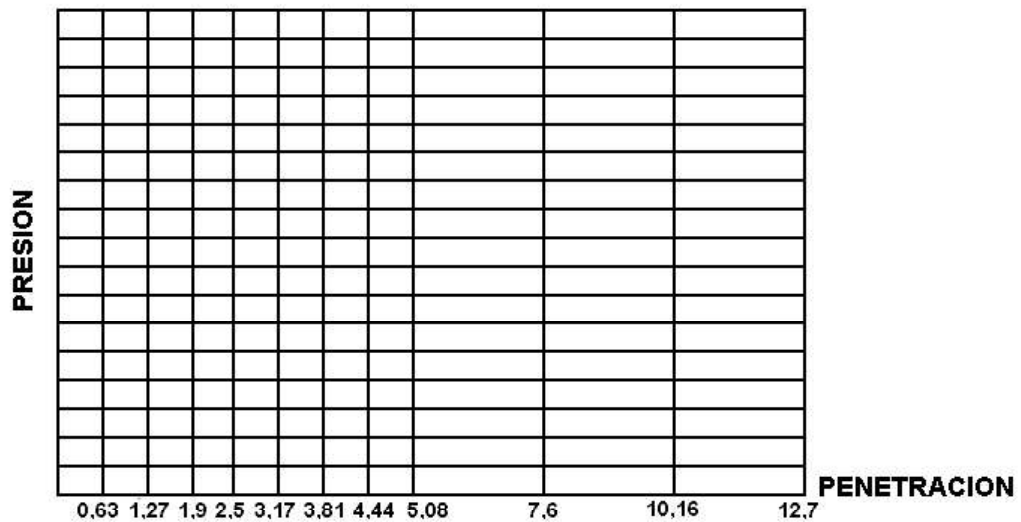


# CURVAS DE PENETRACION

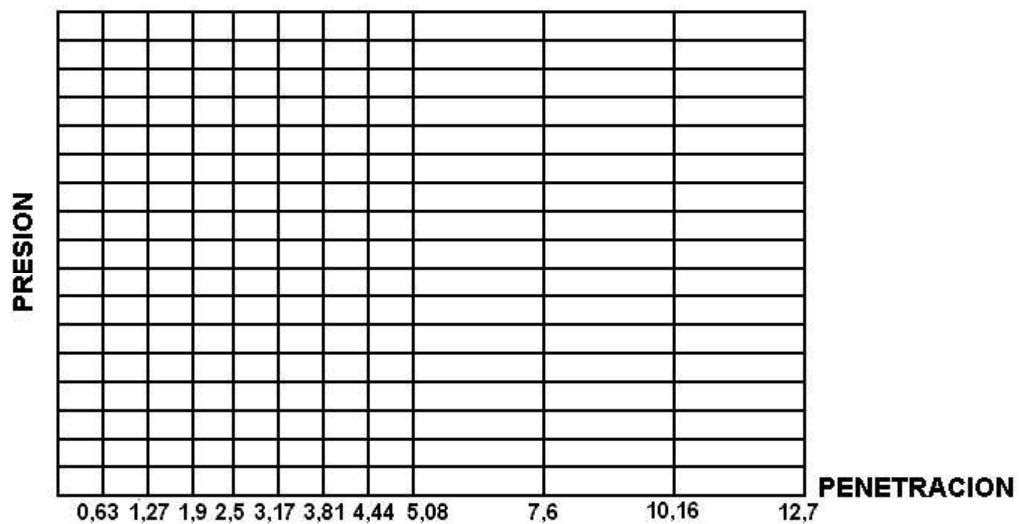
MOLDE N° .....



MOLDE N° .....

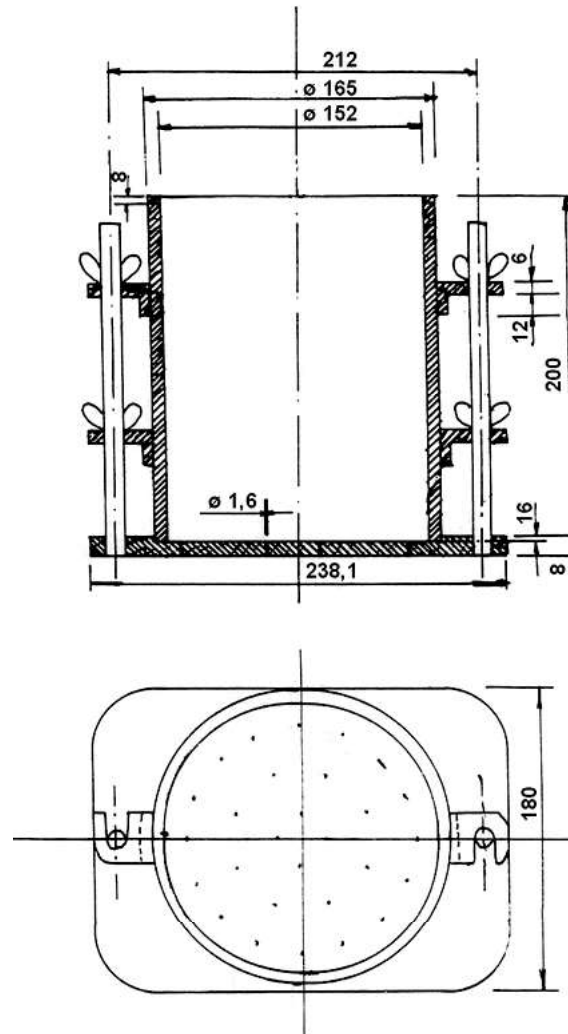


MOLDE N° .....



**Figura N° 1**

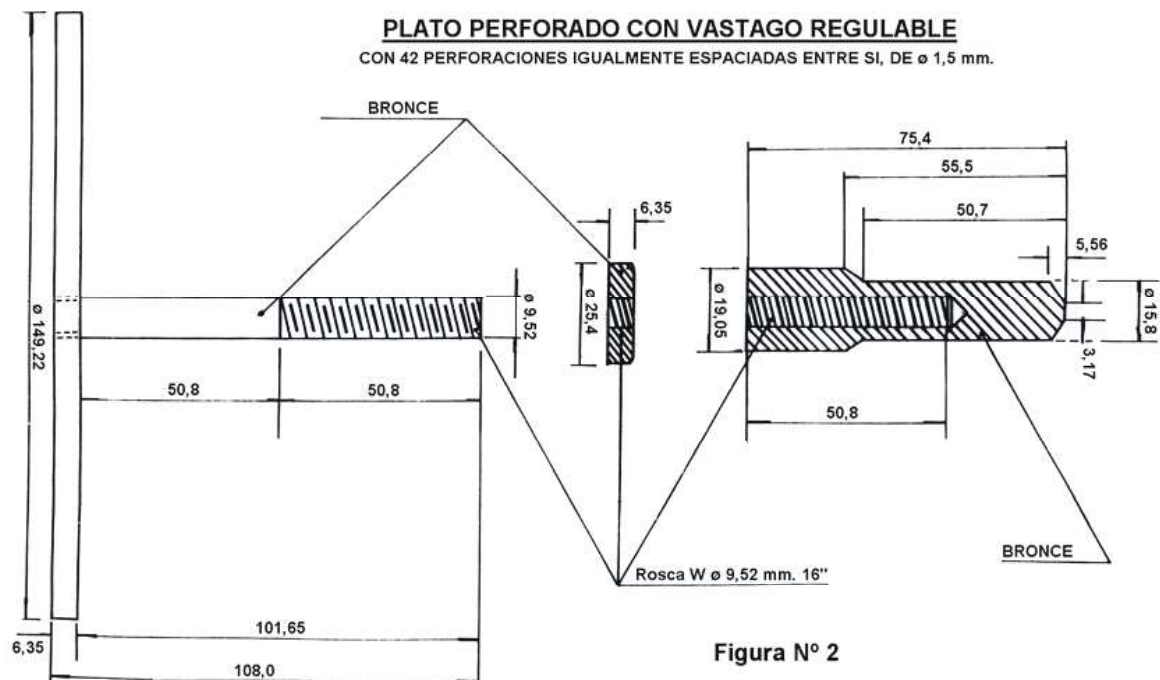
**MOLDE PARA LA DETERMINACION DEL VALOR SOPORTE**



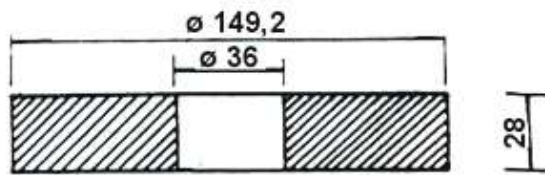
**BASE PERFORADA.  
EN CADA LABORATORIO SE DEBERA CONTAR  
CON UNA BASE SIN PERFORACIONES.**

**PLATO PERFORADO CON VASTAGO REGULABLE**

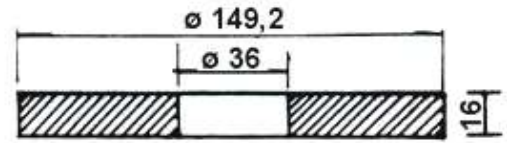
CON 42 PERFORACIONES IGUALMENTE ESPACIADAS ENTRE SI, DE  $\phi$  1,5 mm.



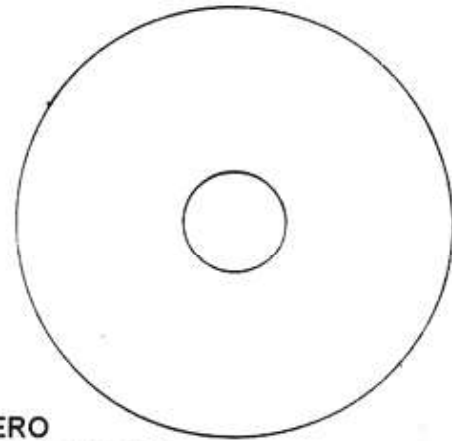
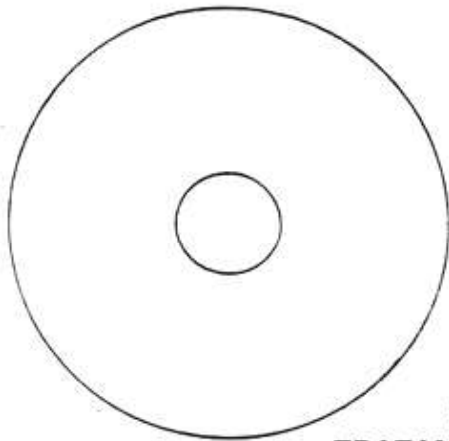
**Figura N° 2**



**Figura N° 3**

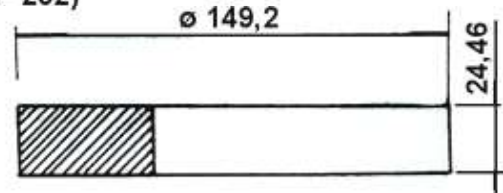
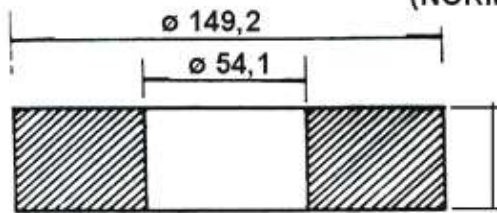


**Figura N° 4**

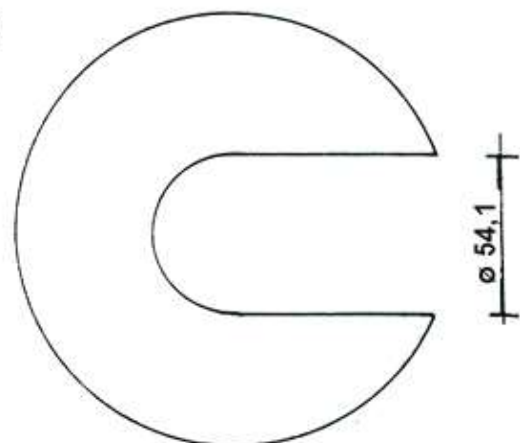
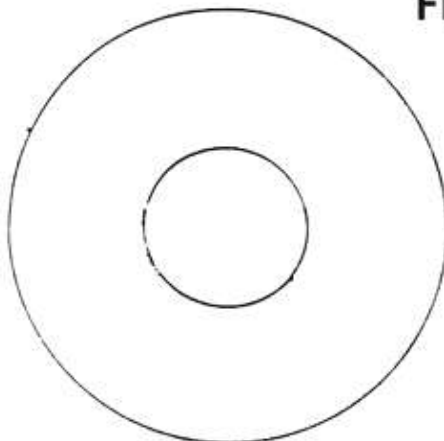


**PESAS**

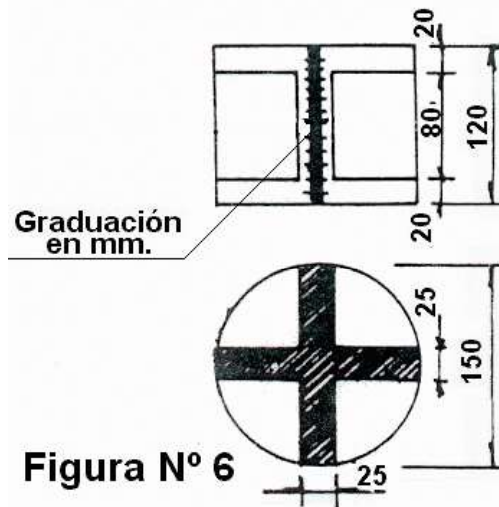
MATERIAL: ACERO  
TRATAMIENTO: CINCADO A FUEGO  
(NORMA IRAM N° 252)



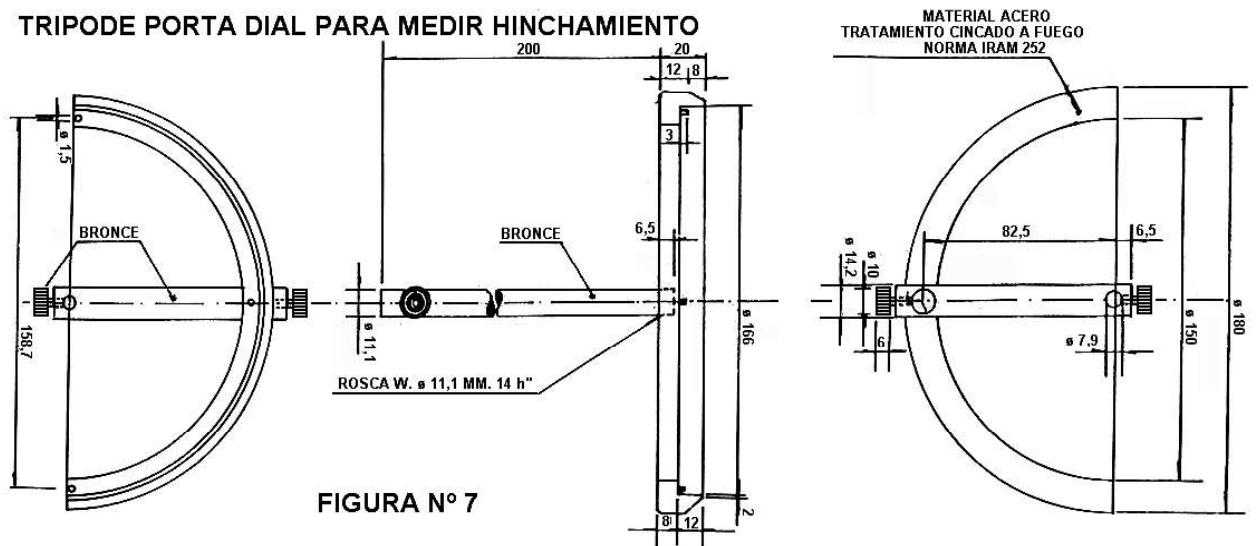
**Figura N° 5**



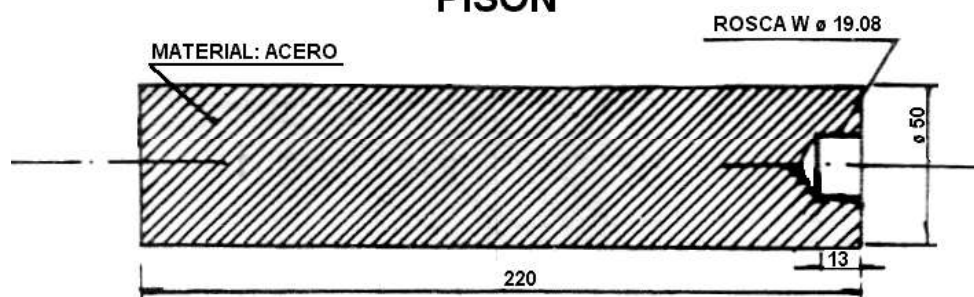
### PISON DE COMPACTACION

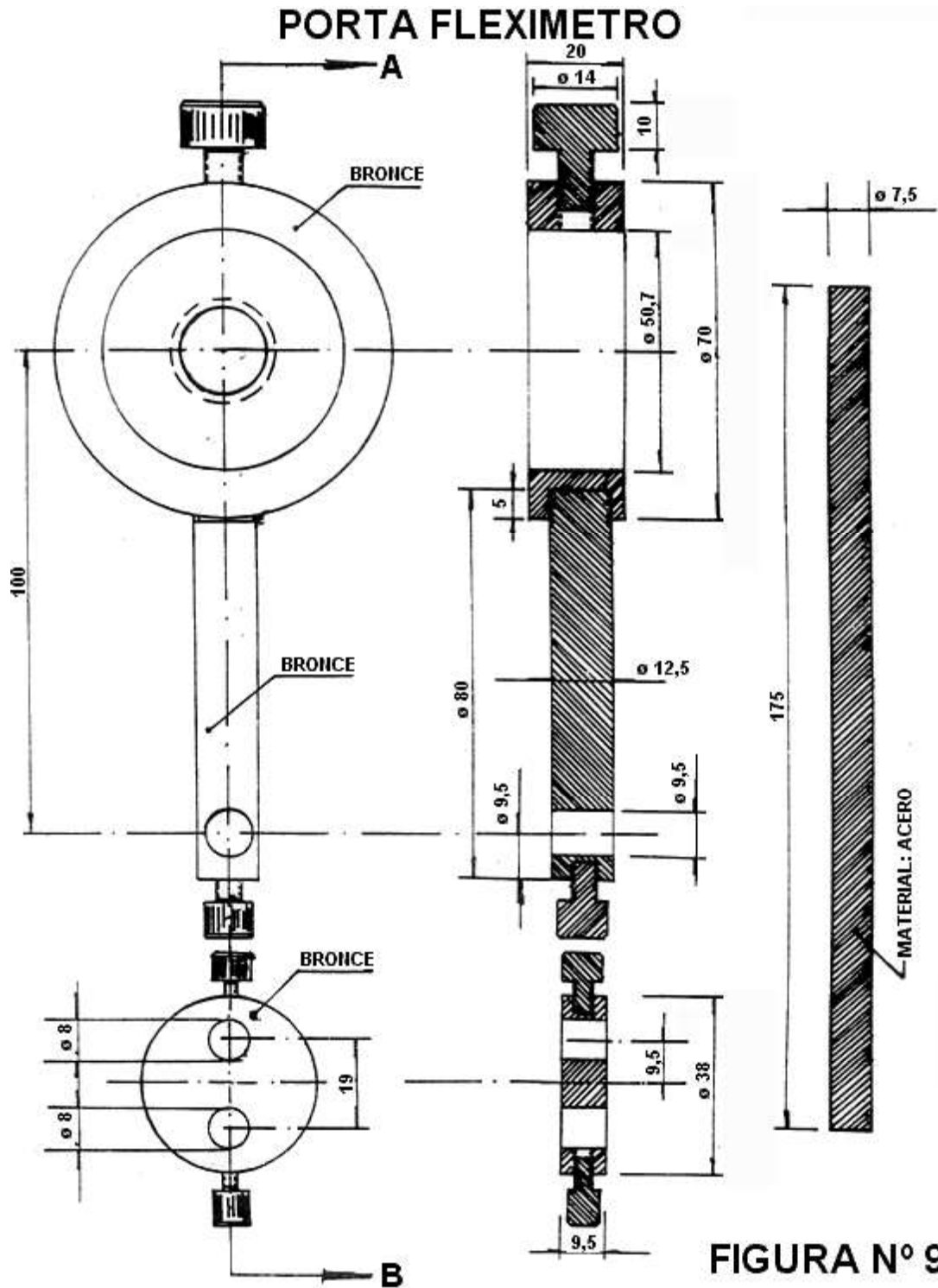


### TRIPODE PORTA DIAL PARA MEDIR HINCHAMIENTO



### PISON

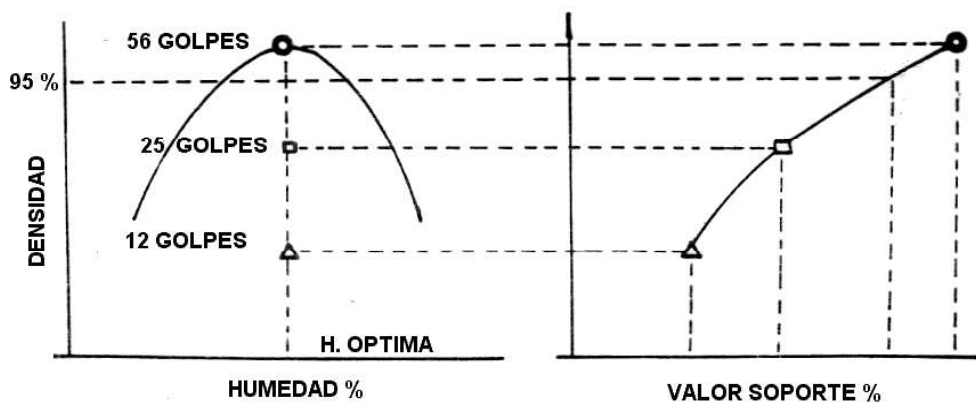
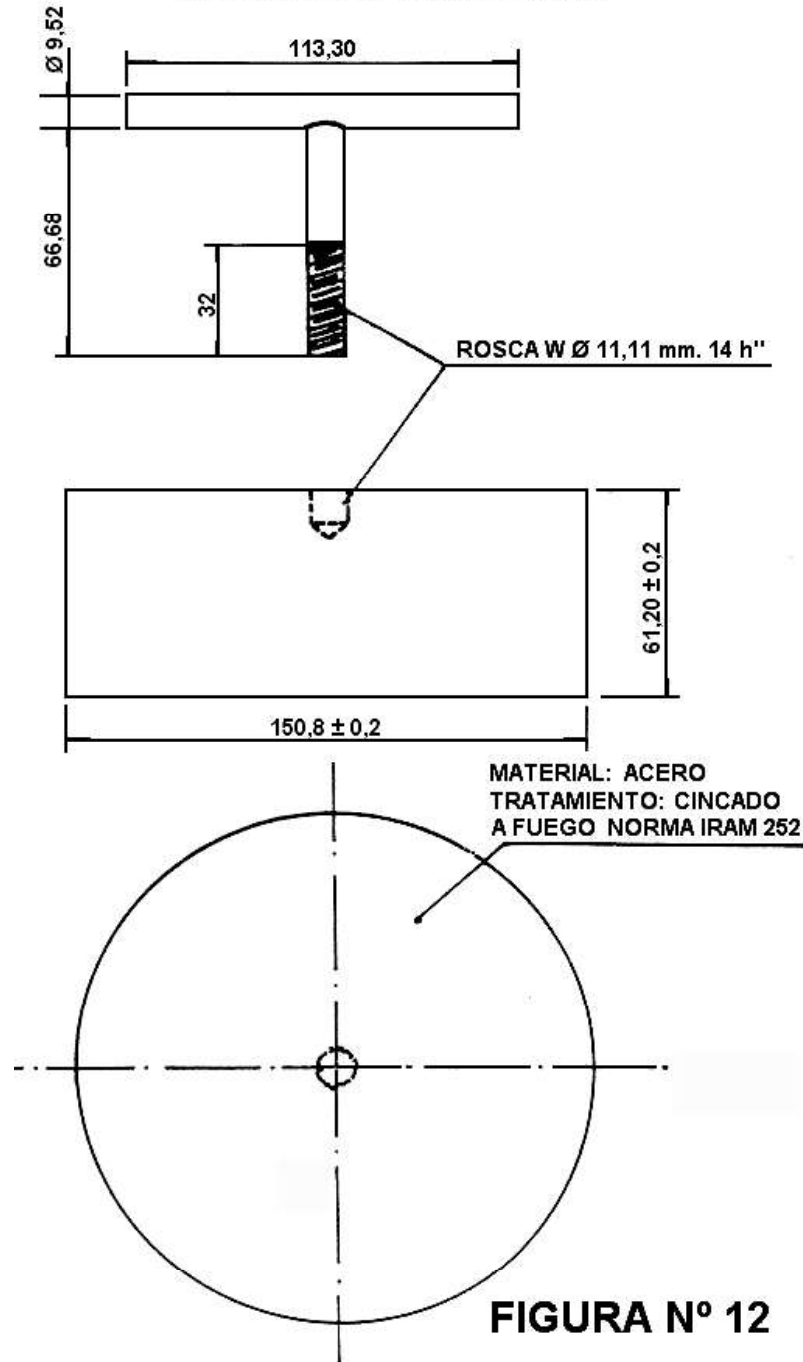








## DISCO ESPACIADOR





**DENSIDAD-ESFUERZO DE COMPACTACION**

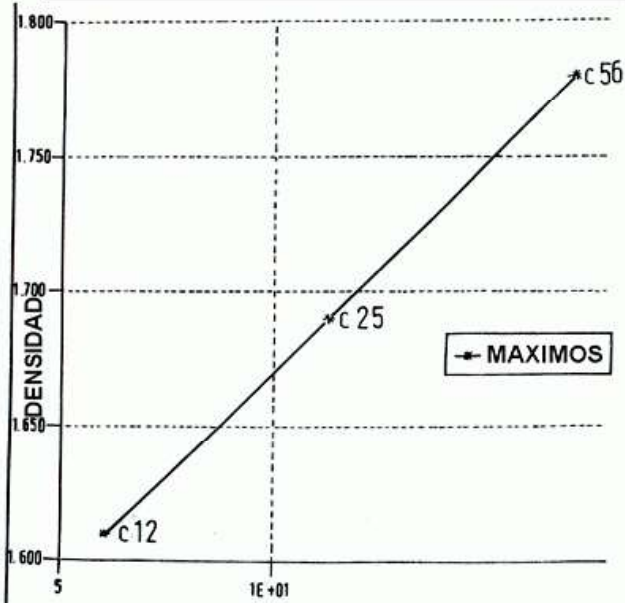


FIGURA 1 ESFUERZOS DE COMPACTACION

SUELO LL= 36%  
IP= 13%

**DENSIDAD - HUMEDAD**

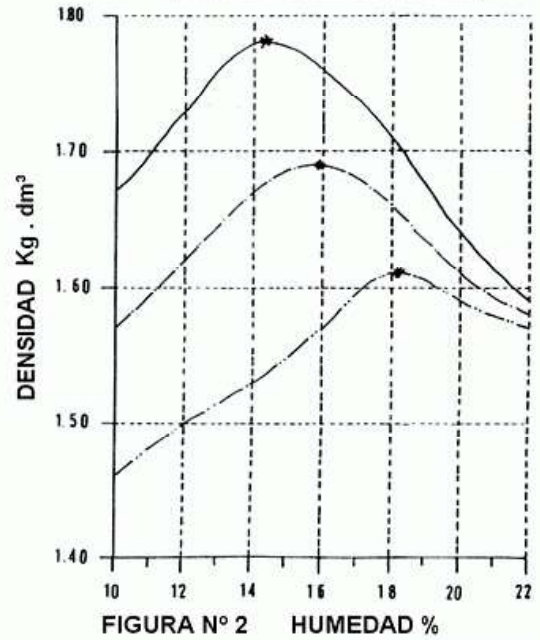


FIGURA N° 2 HUMEDAD %

SUELO LL= 36%  
IP= 13%

—	c. 56
- - -	c. 25
- · -	c. 12

FIGURA N° 14 a

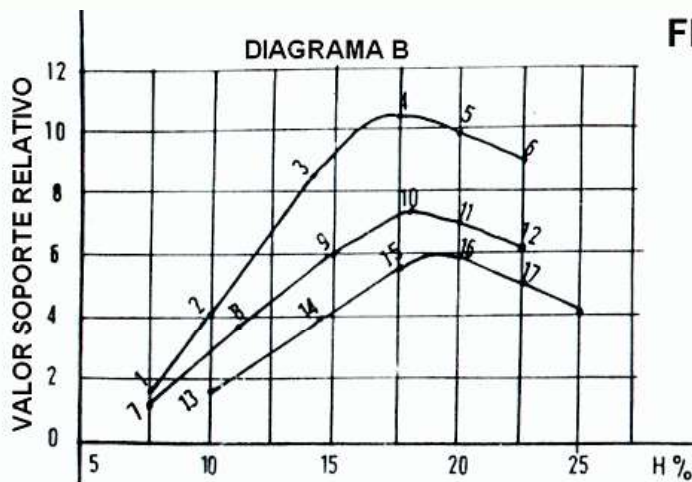
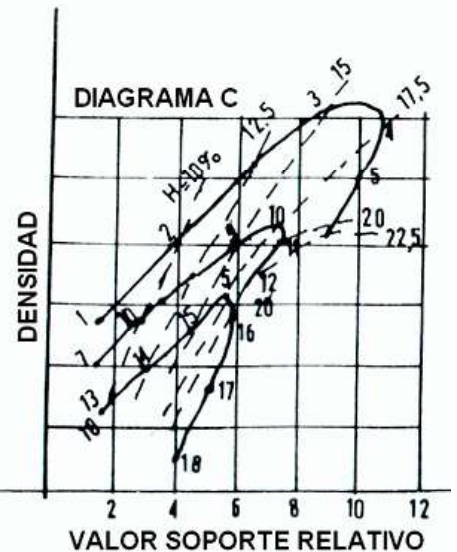
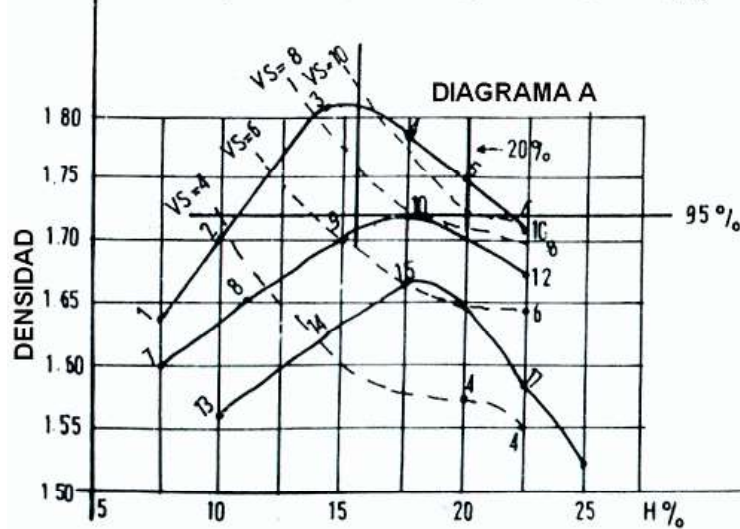


FIGURA N° 14 b

SUELO LL= 36%  
IP= 13%



# NORMA DE ENSAYO

## VN - E7 - 65

# ANÁLISIS MECÁNICO DE MATERIALES GRANULARES

[índice](#)

### 7.1. OBJETO.

Esta norma detalla el procedimiento a seguir para establecer la distribución porcentual de las partículas que componen un material granular, que se usara en la construcción de terraplenes, bases o sub-bases, en función de su tamaño y dibujar la curva representativa del mismo.

### 7.2. APARATOS.

- a. Cribas y tamices. La serie de cribas y tamices normales IRAM establecida en el Pliego de Especificaciones de la Obra, con su correspondiente tapa y fondo.
- b. Tamizadora mecánica.
- c. Bandeja de hierro galvanizado de 600 mm. x 400 mm. x 100 mm.
- d. Bandejas de hierro galvanizado de 300 mm. x 300 mm. x 80 mm.
- e. Bandejas de hierro galvanizado de bordes inclinados. Medidas de fondo 500 mm. x 300 mm. altura 250 mm. Inclinación de los bordes 60° respecto a la horizontal. Con vertedero lateral, provisto de tapón, a unos 30 mm. del fondo.
- f. Balanza tipo Roberval de 25 Kg. de capacidad por plato con sensibilidad de 1 gramo.
- g. Lona de 2 m. x 2 m.
- h. Equipo para cuartear muestras.
- i. Pala ancha y espátulas para manipular el material.
- j. Pileta con plataforma provista lateral para sostener la bandeja de lavado. Canilla provista de un tubo de goma de 1 m. de longitud.
- k. Mortero de porcelana de 20 cm. de diámetro, con mano revestida de goma en uno de sus extremos.
- l. Material de uso corriente en Laboratorio: estufas, calentadores etc.

**NOTA:** Las medidas dadas en los apartados (c), (d), (e), (g), (j) y (k) son aproximadas.

### 7.3. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA.

- a. La cantidad de muestra a ensayar en función del mayor tamaño de sus partículas. Se pueden adoptar como criterio general el siguiente: Llamado D al tamaño, en mm., de las partículas más grandes y P al peso en gramos de la muestra, la cantidad mínima a ensayar deberá ser mayor que 500 D, tomando D en milímetros.  
Por ejemplo: Si estimativamente la mayor partícula de la muestra a ensayar mide 25 mm., se necesita para el ensayo una cantidad de por lo menos 12.500 gramos.
- b. La muestra remitida al laboratorio debe pesar por lo menos cuatro (4) veces la capacidad necesaria para el ensayo, calculada en el párrafo anterior.
- c. En el laboratorio el material debe ser minuciosamente homogenizado volcándolo sobre la lona indicada en ap. (7.2 g) removiéndolo hasta obtener completa uniformidad utilizando para ello la pala ancha ap. (7.2 i).
- d. Si se dispone del equipo cuarteador ap. (7.2 h); por sucesivos pasajes se reduce la muestra hasta tener una cantidad conforme a lo establecido en el ap. (7.3 a).

En caso contrario, el cuarteo del material se ejecuta a mano para lo cual se distribuye el material sobre la lona formando un cono cuya base superior se achata con la pala. Se divide en cuatro sectores aproximadamente iguales, según dos diámetros perpendiculares. Se toman los dos sectores opuestos, se unen y mezclan cuidadosamente. Si la cantidad que resulta es mayor que la que se indica en ap. (7.3 a) se repite en forma idéntica esta operación, tantas veces como sea necesario, hasta obtener una cantidad de material de acuerdo con lo establecido en dicho apartado.

El material así obtenido se seca en estufa a 105° - 110° C. hasta peso constante.

### 7.4. PROCEDIMIENTO

Se consideran dos cosas:

El material que se presenta limpio con partículas sanas y sin películas adheridas y el que tiene apreciable proporción de cohesivos que forman películas adheridas a las partículas de mayor tamaño.

#### 1. Caso de material limpio

- a. Obtenida, como se explico en (7.3 d), la cantidad a ensayar, se pesa ésta y se anota su peso (Pt).
- b. Se pasa el total del material por las distintas cribas ap. (7.2 a), comenzando por la de mayor abertura y se determina el peso retenido por cada criba: P1, P2, P3 respectivamente. Esta operación se completa hasta el tamiz IRAM 4,75 mm. (N° 4).

**NOTA:** Para efectuar el tamizado, colocada la muestra sobre el tamiz de mayor abertura, mientras se mantiene el tamiz ligeramente inclinado con una mano, con la otra se golpea a razón de dos golpes por segundo; después de veinticinco golpes se gira el tamiz horizontalmente 60° golpeándolo suavemente sobre una base firme.

- c. Se pesa la cantidad librada por el tamiz IRAM 4,75 mm. (N° 4). Si este peso es menor que 1500 gr. se prosigue el tamizado por los tamices de la serie ap. (7.2

- a), en la forma indicada en 7.4.1 (b) y se anotan los pesos retenidos por cada tamiz (ver observación 7.7 c).
- d. Si la cantidad librada por el tamiz IRAM 4,75 mm. (N° 4) es mayor que 1500 gramos, se toma por cuarteos una cantidad inferior a ésta última, se pesa (PC) y se prosigue la operación con los restantes tamices de la serie, como se indica en el párrafo anterior, anotando los pesos retenidos por cada tamiz.
2. Caso de materia con películas adheridas a las partículas o mezclado con cohesivo.
- a. Se pesa la cantidad obtenida según ap. (7.3. d), llamémoslo Pt.
- b. Se coloca todo el material dentro de la bandeja para lavado, ap. (7.2 e), se tapa el vertedero, se agrega agua de modo que cubra toda la muestra. Se remueve con una espátula o con la mano, procurando desmenuzar los terrones que pudieran existir. Se deja actuar el agua durante un tiempo más o menos largo, que debe llegar a las 24 horas cuando se trata de cohesivo muy activo.  
Tratándose de arenas finas es conveniente calentar el agua a 80° C.
- c. Se coloca debajo del vertedero un tamiz IRAM 75 micrómetros (N° 200) sobre el cual se pone uno de abertura algo mayor, por ejemplo el de 2 mm. (N°10). Se destapa el vertedero, y se sigue haciendo correr agua dentro de la bandeja removiendo suavemente de modo que la corriente arrastre el material fino. Se sigue la operación hasta que el líquido que pasa a través del tamiz IRAM 75 micrómetros (N° 200) salga limpio.
- d. Se recoge todo el material sobrante en la bandeja y el retenido por los tamices, se seca a peso constante y se anota el peso (P1).
- e. Se prosigue como se indicó desde ap. (7.4. 1. b) hasta (7. 4.1 d).

## 7. 5. CÁLCULOS

### 1. Caso de material limpio

- a. Se resta del material seco total (PT) lo retenido por el tamiz IRAM mayor abertura. Se obtiene así la cantidad librada por ese tamiz: P1. De este peso, P1, se resta lo retenido por el segundo tamiz y se obtiene el peso del material librado por él. Se sigue en esta forma por restas sucesivas hasta el tamiz IRAM 4,75 mm. (N° 4) inclusive. Determinando así el peso total del material que pasa este tamiz valor que llamaremos PA.
- b. Se calcula el cociente PA/PC y se multiplica por este resultado las porciones retenidas por cada uno de los tamices subsiguientes siendo las cantidades resultantes las que se tomaran como sustrayendo en las restas sucesivas indicadas (7.5.1 a).
- c. Los porcentajes de películas que pasan por cada tamiz se calculan por medio de la siguiente fórmula:

$$\% \text{ que pasa} = \frac{P}{Pt} \times 100$$

Donde:

P = Cantidad total librada para cada tamiz.

Pt = Cantidad total de muestra ensayada.

En la planilla N° 1 se desarrolla un ejemplo ilustrativo.

## 2. Caso de material con películas adheridas a las partículas o mezclado con adhesivos.

- a. Se procede igual que en (7- 5. 1 a) hasta el tamiz IRAM 4,75 Mm. (N° 4).
- b. De la porción librada por este tamiz, se resta la parte eliminada por el lavado realizado según 7.4.2, que es Pt- P1. El resultado se divide por Pc, siendo este cociente el factor por el que se multiplican las cantidades retenidas en el tamizado subsiguiente. Los resultados de estas multiplicaciones será los sustraendos de las restas sucesivas.
- c. Para obtener los porcentajes de las partículas que pasan por cada tamiz se utiliza la misma formula indicada en (7.5.1 c).  
En la planilla N° 2 se desarrolla un ejemplo aclaratorio.

## **7. 6. CURVA GRANULOMÉTRICA**

- a. Para el trazado de la curva representativa del material se utiliza un diagrama de coordenadas semilogarítmicas, como el de la planilla adjunta, en el se indican en abscisas el logaritmo de las aberturas de cribas y tamices; y en ordenadas están representados, en escala aritmética, los porcentajes librados por cada criba o tamiz.
- b. Se unen con un trazo continuo los puntos de intersección y se obtiene la representación gráfica de la granulometría del material estudiado.

## **7. 7. OBSERVACIONES**

- a. Cuando se reduce una muestra por cuarteos, siempre debe tomarse el producto total de una operación pesando cuidadosamente el material obtenido. Nunca debe completarse a un peso determinado, quitando o agregando material.
- b. La operación de tamizar a través de mallas de hasta 4,75 mm. (N° 4) no ofrece dificultades. No ocurre lo mismo con las mallas de aberturas pequeñas, pues estas se tapan con facilidad. Deben limpiarse con frecuencia con cepillos adecuados de cerda, o de cerda entremezclada con hilos muy finos de bronce. También se limpian golpeando suavemente el marco del tamiz contra la mesa de trabajo.
- c. Para los tamices IRAM 4,75 mm. (N° 4) y menores, se considera finalizada la tarea del tamizado cuando, luego de un minuto de zarandeo, pasa menos de 1% de la porción que queda retenida.
- d. Durante la ejecución del tamizado no debe forzarse el paso de las partículas a través de los tamices con ningún elemento extraño (mano, pincel, espátula, etc.). Esto es de suma importancia para la conservación, en buen estado de uso, de los tamices especialmente los de aberturas pequeñas.



## Planilla N° 1

### ANÁLISIS MECÁNICO DE MATERIALES GRANULARES

Ruta:		Provincia:	
Tramo:		Fecha:	
Remitente:		Laboratorista:	
N° de muestra:			
Peso Seco total inicial (Pt)	=	9370 g	
Peso Seco total lavado (P1)	=		
Material Seco por lavado (a = Pt – P1)	=		

Tamiz IRAM	Retiene o pasa	%
25 mm. (1 “)	Retiene 0 Pasa 9370	100
19 mm. (3/4 “)	Retiene 1780 Pasa 7590	81
9,5 mm. (3/8 “)	Retiene 2440 Pasa 5150	55
4,75 mm. (N° 4)	Retiene 1495 Pasa 3655	39
Sobre:	$P_c = 865 \text{ g}$ $F = \frac{P_a}{P_c} = \frac{3655}{865} = 4,23$	
2 mm. (N° 10)	Retiene $330 \times 4,23 = 1396$ Pasa 2259	24
425 µm. (N° 40)	Retiene $265 \times 4,23 = 1121$ Pasa 1138	12
150 µm. (N° 100)	Retiene $90 \times 4,23 = 381$ Pasa 757	8
75 µm. (N° 200)	Retiene $45 \times 4,23 = 190$ Pasa 567	6

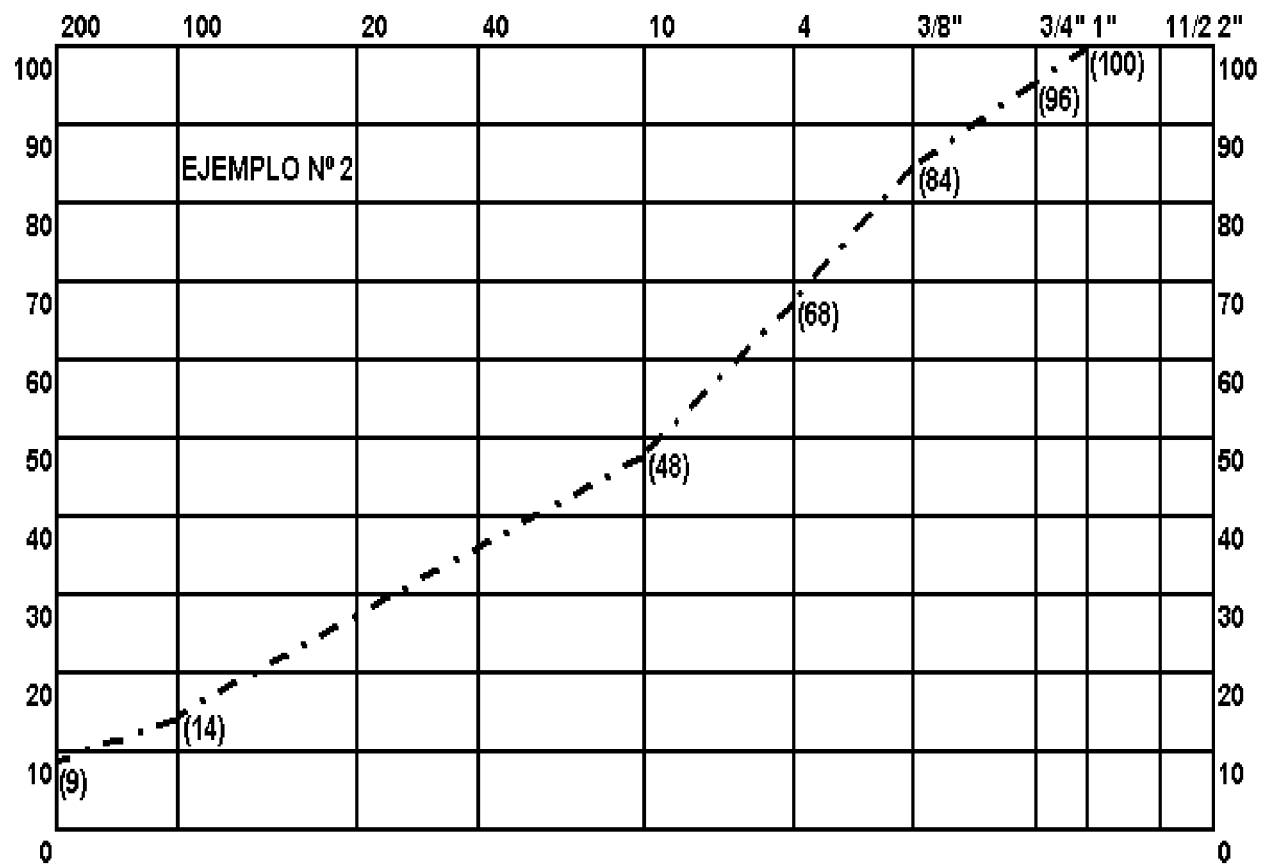
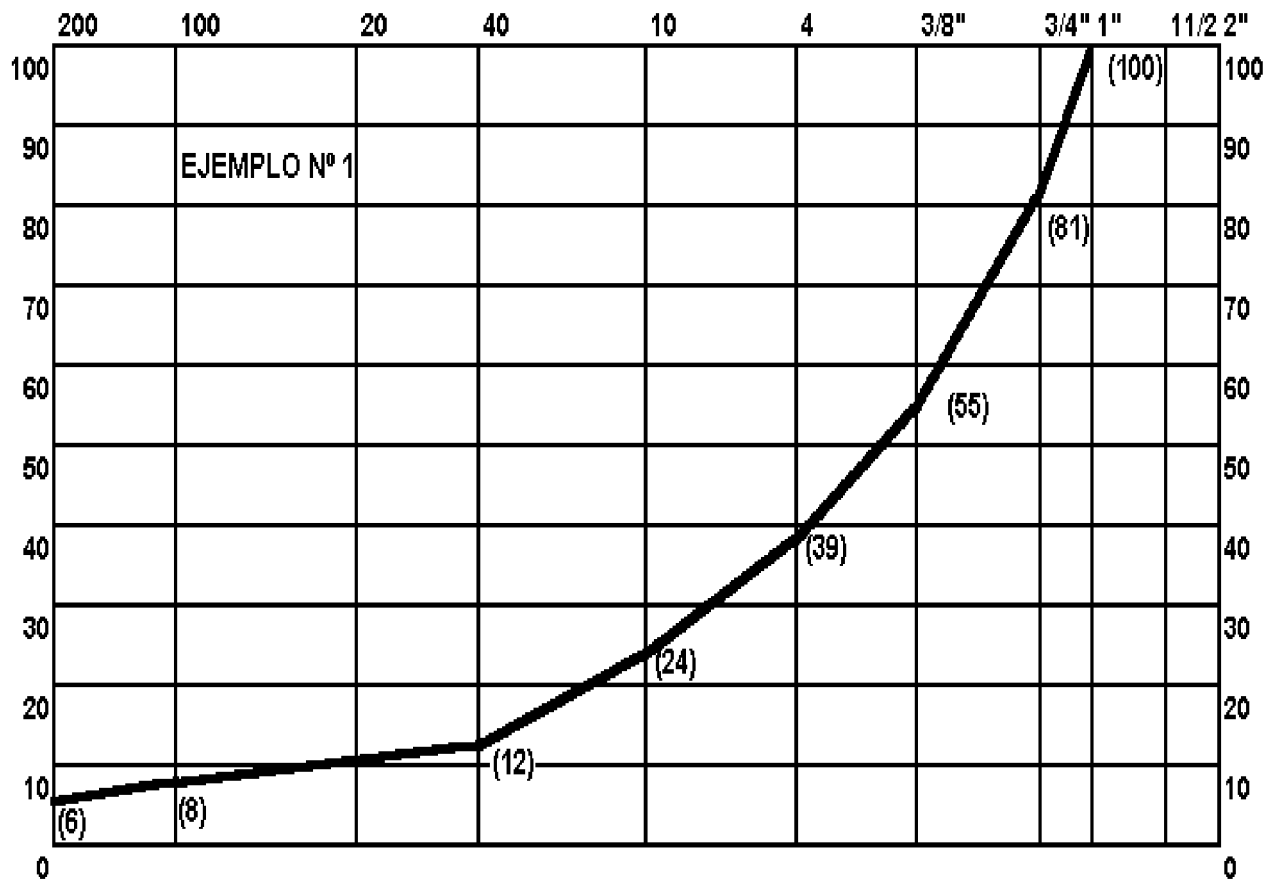
## Planilla N° 2

### ANÁLISIS MECÁNICO DE MATERIALES GRANULARES

Ruta:		Provincia:	
Tramo:		Fecha:	
Remitente:		Laboratorista:	
N° de muestra:			
Peso Seco total inicial (Pt)	=	8760 g	
Peso Seco total lavado (P1)	=	8030 g	
Material Seco por lavado (a = Pt – P1)	=	730 g	

Tamiz IRAM	Retiene o pasa	%
25 mm. (1 “)	Retiene 0 Pasa 8760	100
19 mm. (3/4 “)	Retiene 350 Pasa 8410	96
9,5 mm. (3/8 “)	Retiene 1050 Pasa 7360	84
4,75 mm. (N° 4)	Retiene 1405 Pasa 5955	68
Sobre:	$P_c = 950 \text{ g}$ $P_a = 5955 - 730 = 5225 \text{ g}$ $F = \frac{P_a}{P_c} = \frac{5225}{950} = 5,5$	
2 mm. (N° 10)	Retiene $3200 \times 5,5 = 1760$ Pasa 4195	48
425 µm. (N° 40)	Retiene $350 \times 5,5 = 1925$ Pasa 2270	26
150 µm. (N° 100)	Retiene $190 \times 5,5 = 1045$ Pasa 1225	14
75 µm. (N° 200)	Retiene $80 \times 5,5 = 440$ Pasa 785	9





Ruta.....  
Tramo.....  
Remite.....

### ENSAYO DE GRANULOMETRIA

Tamices de aberturas cuadradas – Entre paréntesis aberturas redondas correspondientes

Tamaño de las partículas en mm.	200	140	100	80	60	50	40	30	20	16	10	8 (12.5)	4 (7.5)	1.4	3/8 (12)	1/2 (5/8)	3/4 (1)	1 (1.4)	1 1/2 (2)	25.40	36.10	
Porcentaje que pasa																						

Progresiva	Muestra Nº	Trozo de Representación	L. L.	I. P.	Relación de finos

.....  
.....  
.....

.....  
Laboratorista  
.....  
Jefe Laboratorio

# NORMA DE ENSAYO

## VN - E8 - 66

# CONTROL DE COMPACTACIÓN POR EL MÉTODO DE LA ARENA

[índice](#)

## 8.1. OBJETOS

Esta norma detalla el procedimiento a seguir para determinar en el terreno el peso unitario de un suelo compactado, corrientemente denominado densidad, y establecer si el grado de compactación logrado cumple las condiciones previstas.

## 8.2. APARATOS

- a. Dispositivo que permite el escurrimiento uniforme del material utilizado para la medición del volumen, ver figura N° 1.
- b. Cilindro de hierro de las características y dimensiones indicadas en la figura N° 2.
- c. Bandeja de hierro, con orificio central, de las dimensiones y características indicadas en la figura N° 3.
- d. Cortafríos, cucharas, espátulas u otras herramientas adecuadas para efectuar un hoyo en el terreno y retirar el material removido.
- e. Balanza de por lo menos 5 Kg. de capacidad con sensibilidad de 1 gramo.
- f. Frascos o latas con cierre hermético (para recoger el material retirado del hoyo).
- g. Bolsa de material plástico y/o recipiente de plástico u otro material con tapa preferentemente roscada, de 4 lt. o más de capacidad.
- h. Tamices IRAM 850  $\mu\text{m}$ . (N° 20) y 600  $\mu\text{m}$  (N° 30)
- i. Elementos de uso corriente en laboratorio: probetas, espátulas, palas, pinceles de cerda etc.

## 8.3. CALIBRACIÓN DEL APARATO

- a. Se seca en la estufa, hasta peso constante, 20 a 25 Kg. de arena silicia de granos redondeados y uniformes.
- b. Por tamizado se separa la fracción que pasa tamiz IRAM 850  $\mu\text{m}$ . (N° 20) y queda retenida en el tamiz IRAM 600  $\mu\text{m}$ . (N° 30).

### NOTA

No es indispensable utilizar estos tamices. Pueden elegirse cualesquiera dos tamices de la serie IRAM, siempre que la arena obtenida cumpla con la condición de que dos determinaciones consecutivas de su peso unitario (ap. 8.3. f), no dan variaciones mayores del 1 %.

No conviene emplear arena muy fina porque se puede trabar al libre movimiento del robinete y provocar vibraciones que modificarían la acomodación de la arena al caer en el pozo.

- c. Se determina el volumen,  $V_c$ , del cilindro (ap. 8.2. b). hasta los 150 mm. de altura.
- d. Se verifica el buen funcionamiento y ajuste de las partes móviles del aparato indicado en ap. 8.2. a.

- e. Se llena el recipiente superior del dispositivo (ap. 8.2. a). con un peso conocido, P1, de la arena preparada según el ap. b. Se apoya firmemente el embudo sobre una superficie plana y rígida, se abre el robinete rápidamente  $\frac{1}{4}$  de vuelta de tal modo que la arena fluya libremente, hasta constatar que el embudo está totalmente lleno. Se cierra el robinete y se pasa la cantidad de arena sobrante en el recipiente superior, P2.  
Por diferencia se determina el peso de la arena necesaria para llenar el embudo,  $P_e = P_1 - P_2$ .  
Esta operación se repite cuidadosamente tres veces y se establece como valor de  $P_e$  el promedio. Los valores individuales no deberán diferir entre sí más de 5 g.
- f. Se apoya el embudo en el encastre superior del cilindro, de volumen conocido  $V_c$ , colocado sobre una superficie perfectamente lisa.  
Se carga el recipiente superior con el mismo peso de arena P1 que se utilizó en el ap. e. Se gira el robinete rápidamente  $\frac{1}{4}$  de vuelta, esperando hasta que la arena termine de correr y se determina el peso, P3, de la arena que quedó en el recipiente.  
Se repite cuidadosamente tres veces esta operación y se toma como valor de  $P_1 - P_3$  al promedio las tres determinaciones. Los valores individuales de cada determinación no deberán diferir entre sí en más de 10 g.
- g. Se pesan varias cantidad de arena zarandeada iguales a P1 y se introduce cada una de ellas en un envase adecuado (ap. 8.2. g). Conviene preparar dos o tres medidas más de arena que el número de ensayos que se prevé efectuar.

#### 8.4. PROCEDIMIENTO

- a. Si el lugar donde debe realizarse la determinación presenta una superficie lisa, se elimina todo el material suelto con el pincel seco y se apoya el embudo del dispositivo, ap. ap. 8.2. a, marcando su contorno para que después de ejecutado el hoyo, cuya densidad piensa determinarse, sea posible colocar el embudo en el mismo lugar.  
Si la superficie presenta pequeñas irregularidades, antes de eliminar el polvo con el pincel se empareja con una pala ancha.
- b. Con ayuda del cortafrió y la cuchara, o con cualquier otra herramienta adecuada, ap. 8.2.d, se ejecuta un hoyo cuyo diámetro será por lo menos de 10 cm. en el caso de suelos finos y tendrá el valor máximo (16 cm.) cuando se trate de suelos granulares. Sus paredes serán lisas verticales, con una profundidad igual al espesor que pretenda controlarse. Se recoge cuidadosamente todo el material retirado del hoyo, colocándolo dentro de uno de los frascos de cierre hermético (ap. 8.2.f), a medida que se lo va extrayendo.  
Completada la perforación se ajusta el cierre y se identifica el frasco debidamente.
- c. Se vacía el contenido de uno de los envases, preparado según lo establecido en ap. 8.3 g., en el recipiente superior del aparato, ap. ap. 8.2. a, colocado previamente con su embudo en coincidencia con la marca dejada en la superficie (apartado a.)
- d. Se abre el robinete rápidamente  $\frac{1}{4}$  de vuelta, evitando trepidaciones y se hace fluir libremente la arena dentro de hoyo hasta que permanezca en reposo. Se cierra el robinete y se recoge la arena sobrante en el recipiente, colocándola debidamente identificada en el mismo envase en que venía. Se levanta con cuidado la arena limpia que cayó y se guarda en un recipiente cualquiera para utilizarla posteriormente, previo retamizado.
- e. Si la superficie en donde se efectúa la determinación es irregular y no es posible emparejarla, la operación debe realizarse utilizando la bandeja (ap. 8.2.c) para tener en cuenta el volumen de arena necesario para alisar la cara superior de la

- perforación. Es necesario en este caso, para cada hoyo, disponer de dos envases llenos de arena de peso P1.
- f. En el lugar elegido se limpia cuidadosamente la superficie eliminando con el pincel todo el material suelto. Se coloca sobre la misma bandeja (ap. 8.2.c), asegurándola en forma tal que no pueda moverse. Se coloca el dispositivo (ap. 8.2. a) introduciendo el embudo en el orificio de la bandeja, hecho esto se llena el recipiente superior con el contenido de uno de los envases. Se abre el robinete permitiendo que la arena fluya hasta que se mantenga en reposo. Se retira el aparato y se vierte la arena sobrante en el envase cuyo contenido se utilizó. Por diferencia se obtiene luego el peso de la arena utilizada, Pe1.
  - g. Se limpia toda la arena suelta que cayó sobre la superficie del pozo y la bandeja. Se realiza luego, cuidando de no mover la bandeja, un hoyo en el espesor a controlar con diámetro igual al del agujero de la bandeja y se continúa la determinación en la forma ya indicada en el apartado 8.4. b),c) y d).
  - h. Se pasa todo el material depositado en el recipiente hermético, al efectuar el hoyo. Llamemos Ph a este peso.
  - i. Se coloca dicho material en una bandeja y se seca a estufa a 105 - 100° c hasta peso constante. Llamemos Ps a dicho paso.
  - j. Se pasa la arena sobrante de la operación descrita en el ap. 8.4.d. Llamemos P4 a este peso.

## 8.5. CALCULOS

- a. Constante del embudo: Es igual al peso de la arena que llena el embudo cuando este apoya sobre una superficie plana (ver ap.8.3.c)

Su valor es:  $Pe = P1 - P2$

- b. Peso unitario de la arena seca: Se lo obtiene aplicando de fórmula (ver ap. 8.3. f):

$$da = \frac{P1 - P3 - Pe}{Vc}$$

Donde:

P1= Peso de la arena colocada en el recipiente antes del ensayo.

P3= Peso arena remanente.

Pe= Constante del embudo.

Vc= Volumen del cilindro.

- c. Densidad de la muestra seca.

Si se realizó la determinación sobre una superficie lisa (ap.8.4.a), se calcula con la fórmula:

$$Ds = \frac{Ps \times da}{P1 - P4 - Pe}$$

Donde:

Ds= Densidad del suelo seco.

Ps= Peso del suelo seco

da= Peso unitario de la arena seca

P1= Peso inicial de la arena empleada en la determinación.  
P4= Peso de la arena sobrante  
Pe= Constante del embudo.

Si se efectuó la determinación sobre una superficie irregular, ap. 8.4.e, la fórmula a aplicar es:

$$D_s = \frac{P_s \times d_a}{P_1 - P_4 - P_{e1}}$$

Donde  $P_s$ ,  $d_a$ ,  $P_1$  y  $P_4$  tienen la significación antes expresada y  $P_{e1}$  es el peso de la arena utilizada descrito en ap. 8.4.f.

d. La humedad de la muestra: En el momento del ensayo se calcula mediante la expresión:

$$H\% = \frac{P_h - P_s}{P_s} \times 100$$

Donde:

H= Contenido de humedad, en porcentaje.  
Ph= Peso del suelo húmedo.  
Ps= Peso del suelo seco.

e. Grado de compactación logrado: Se establece aplicando la fórmula:

$$C = \frac{D_s}{D} \times 100$$

Siendo:

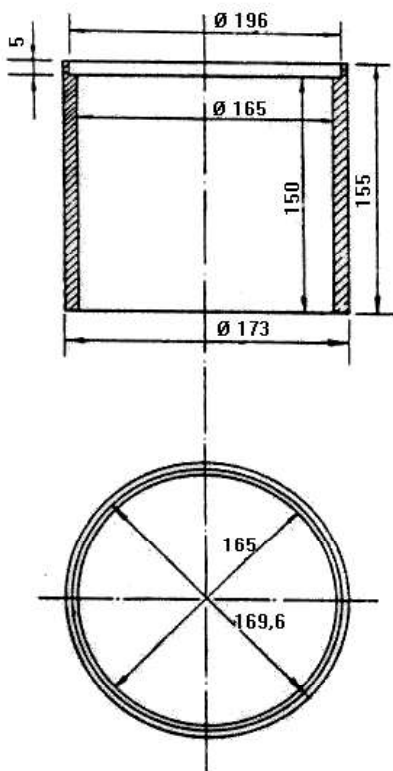
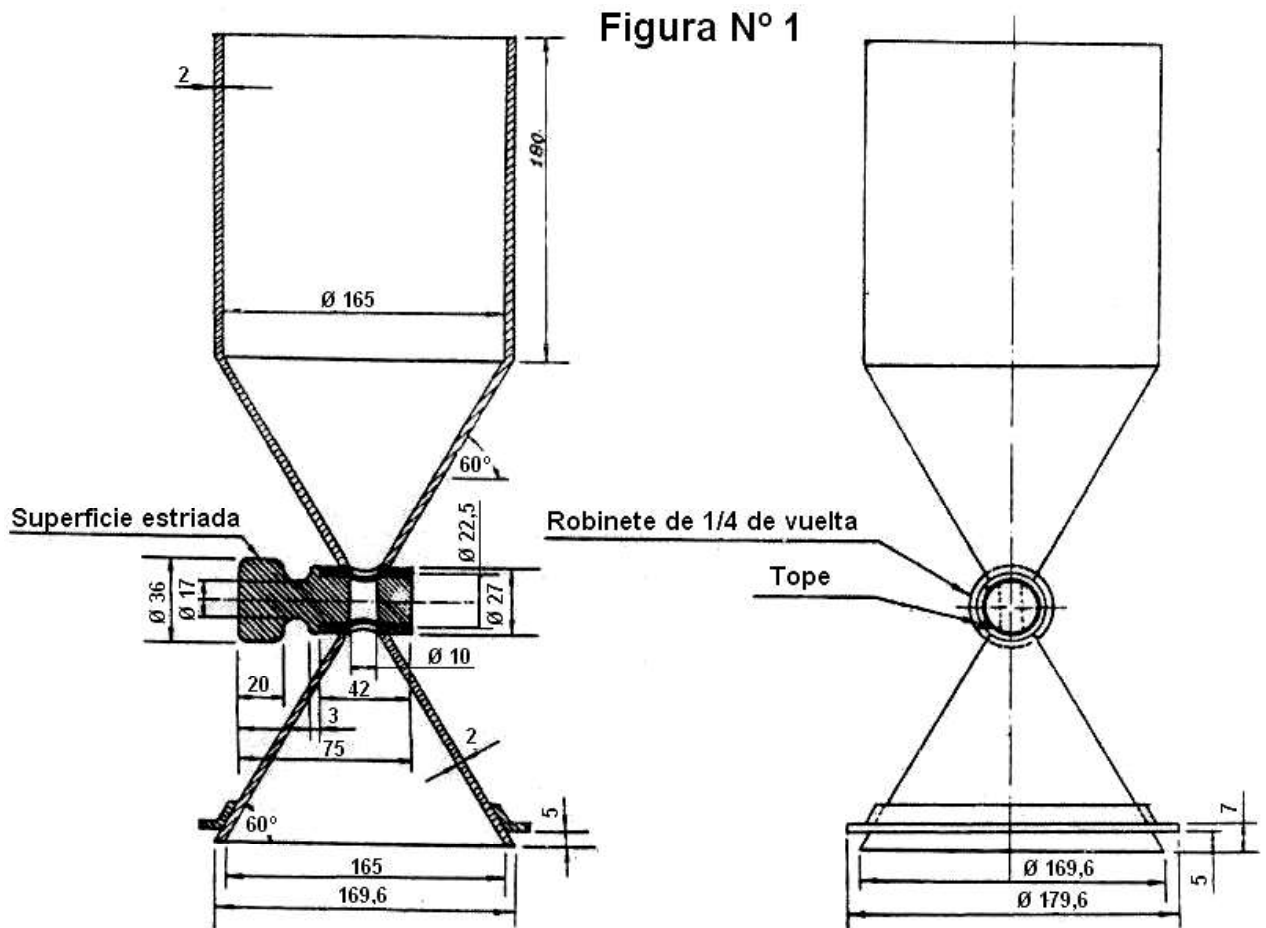
C= Porcentaje de compactación obtenido con relación a la compactación especificada.

$D_s$ = Densidad lograda ( $\text{Kg./dm}^3$ .)

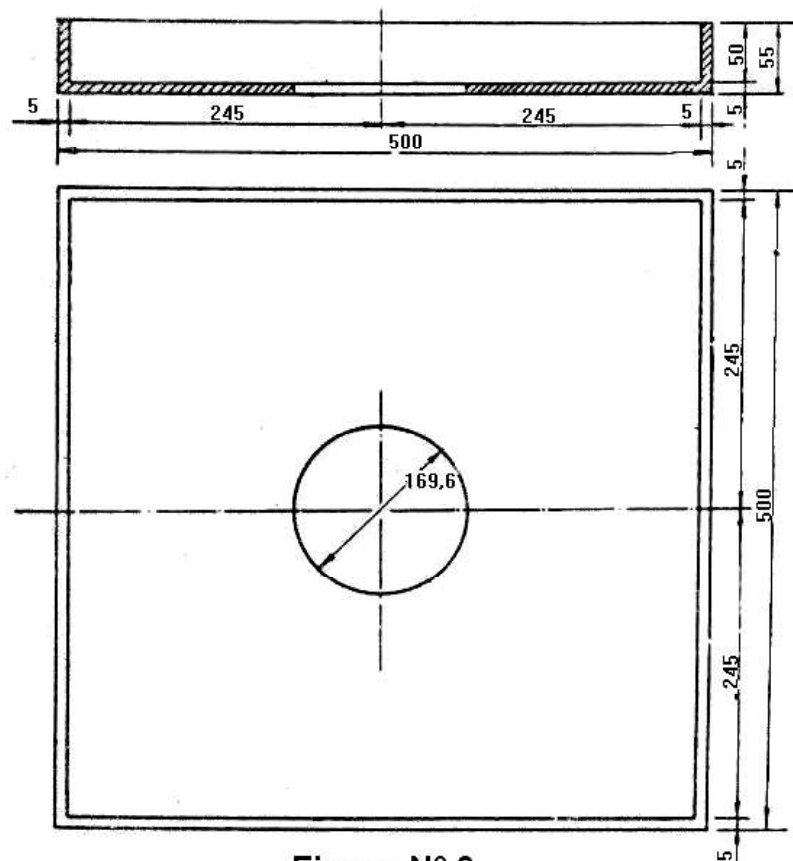
D= Densidad (en  $\text{Kg./dm}^3$ ) que debió obtenerse según lo indicado en el Pliego de Especificaciones de la obra.

## 8.6. OBSERVACIONES

- Es de gran importancia que el material empleado (arena) para llenar el pozo esté constituido por granos de tamaño, naturaleza y peso uniforme, lo más redondeados que sea posible, a fin de asegurar una distribución homogénea, con un índice de vacíos aproximadamente constante.
- La humedad determinada en ap. 8.5.d no es indispensable para el cálculo de la densidad, pero es de gran utilidad su conocimiento para vigilar la marcha de la obra.
- La verificación del grado de compactación alcanzando, como se explica en ap. 8.5.e, se ajusta a lo establecido en los pliegos en vigencia.



**Figura N° 2**



**Figura N° 3**

Nota: Todas las medidas estan expresadas en mm.





# NORMA DE ENSAYO

## VN - E13 - 67

### “PESO ESPECIFICO APARENTE Y ABSORCION DE AGREGADOS PETREOS GRUESOS”

[índice](#)

#### 13- 1 OBJETO

Esta norma detalla el procedimiento a seguir para determinar el peso específico aparente y la absorción de agregados pétreos gruesos.

- a) Peso específico aparente: Es la relación entre el peso de un volumen del material seco a una temperatura dada y el peso de igual volumen de agua destilada a esa temperatura. El volumen incluye los poros impermeables del material.
- b) Peso específico del agregado seco: Es la relación entre el peso de un volumen del material seco a una temperatura dada y el peso de igual volumen de agua destilada estando el material en condición de saturado a superficie seca. El volumen incluye los vacíos permeables e impermeables del material.
- c) Peso específico del agregado saturado: Es la relación entre el peso saturado a superficie seca de un volumen del material a una temperatura dada y el peso de igual volumen de agua destilada. El volumen incluye los vacíos permeables o impermeables del material.
- d) Absorción: Es el volumen de los vacíos permeables del material expresada en por cientos del peso en el aire del mismo secado en estufa a 105°-110°C hasta constancia de peso.

#### 13.2 APARATOS

- a) Tamiz IRAM 4,75 mm. N° 4).
- b) Balanza de 10 kg. de capacidad y sensibilidad al gramo.
- c) Cesto de malla de alambre IRAM 2,36 mm. (N° 8) de forma cilíndrica de 20 cm. de diámetro y 20 cm. de altura aproximadamente.
- d) Recipiente de capacidad suficiente para sumergir el cesto totalmente en agua.
- e) Elementos varios de uso corriente, bandejas para mezclar el material, cucharas, espátulas, estufa para secado de muestras, etc.

#### 13.3 PREPARACION DE LA MUESTRA

- a) Se obtiene una muestra representativa del material a ensayar y se reduce por cuarteos sucesivos hasta un peso de 5 kg. aproximadamente.
- b) Se elimina, por zarandeo, de la muestra así obtenida todo el material que pasa el Tamiz IRAM 4,75 mm. (N° 4).

#### 13- 4 PROCEDIMIENTO

- a) Se lava cuidadosamente el material retenido en el Tamiz IRAM 4.75 mm. (N° 4) en una bandeja con agua hasta eliminar totalmente el polvo y las partículas adheridas a las partículas gruesas.

- b) Se sumerge la muestra lavada en agua limpia a temperatura ambiente durante 24 horas, agitando el recipiente para conseguir que se desprendan totalmente las partículas de aire adheridos al material.
- c) Transcurridas las 24 horas se retira la muestra del agua y se la seca haciéndola rodar sobre un paño absorbente preferentemente húmedo, de manera de eliminar solamente la película de agua superficial que da una apariencia brillante a las partículas. Enjuagar las partículas de mayor tamaño una por una. La superficie de las partículas debe mantenerse opaca y húmeda. Se tendrá especial cuidado de evitar la evaporación al realizar este trabajo.
- d) Se determina el peso de la muestra, saturada a superficies seca, con aproximación al gramo, designado Ph a este valor.
- e) Pesada la muestra se la coloca en el cesto de malla de alambre ap. 13-2-C, cuyo peso vacío y sumergido en agua debe haberse determinado previamente y se determina su peso sumergida en agua, con aproximación al gramo. Llamaremos: Pi = Peso del cesto con la muestra en agua- Peso del cesto vacío en agua.
- f) Se saca la muestra del cesto, se la coloca en una bandeja y se introduce en estufa a 105°- 110°C hasta peso constante se la deja enfriar y se pesa. Designado Ps este valor.

### 13- 5 CALCULOS

#### a) Peso específico aparente

Se determina mediante la fórmula:

$$P.E.A = \frac{Ps}{Ps - Pi}$$

Donde: P: E: A: S: = Peso específico aparente.

Ps= Peso de la muestra seca en estufa a peso constante.

Pi = Peso sumergida en agua de la muestra saturada a superficie seca.

#### b) Peso específico del agregado seco

Para calcularlo se aplica la fórmula siguiente:

$$P.E.A.S = \frac{Ps}{Ph - Pi}$$

Donde:

P.E.A.S = Peso específico del agregado seco

Ph = Peso de la muestra en condición de saturada a superficie seca.

Ps; Pi = Con igual significado que en la fórmula anterior.

#### c) Peso específico del agregado saturado:

Se calcula aplicando la fórmula siguiente:

$$P.E.A.Sat = \frac{Ph}{Ph - Pi}$$

Donde:

P.E.A.Sat = Peso específico del agregado saturado.

Ph = Peso de la muestra saturada a superficie seca.

Pi = Peso de la muestra saturada a superficie seca sumergida en agua.

d) Absorción:

Para su determinación se aplica la fórmula siguiente:

$$A \% = \frac{Ph - Ps}{Ps}$$

Donde:

A% = Absorción en por cientos de peso seco.

Ph = Peso de la muestra saturada a superficie seca.

Ps = Peso de la muestra seca en estufa a peso constante.

### 13- 6 OBSERVACIONES

- a) Los resultados se expresan para los pesos específicos aparente y aparente saturado en números adimensionales y con aproximación al centésimo, para la absorción en porcentaje del peso seco del material y con aproximación al décimo.
- b) Se considerarán correctos los resultados cuando dos determinaciones no difieran en más de 0,02 % para los pesos específicos y en más de 0,05 % para la absorción.

# NORMA DE ENSAYO

## VN - E19 - 66

### “COMPACTACION DE MEZCLAS DE SUELO – CEMENTO Y SUELO - CAL”

[índice](#)

#### 19-1 OBJETO

Esta norma detalla el procedimiento a seguir para estudiar las variaciones del peso de la unidad de volumen de mezclas de suelo y cemento o cal en función de los contenidos de humedad, cuando se las somete a un determinado esfuerzo de compactación.

Permite establecer la Humedad óptima con la que se logra el mayor valor del peso de la unidad de volumen, denominado Densidad Seca máxima.

#### 19-2. APARATOS

- a) Molde de compactación cilíndrico, de acero tratado superficialmente para que resulte inoxidable (cincado, cadmiado, etc.)  
El diámetro del molde es de 101,6 mm. y su altura 116,6 mm.  
Está provisto de base y un collar de extensión del mismo diámetro y 60 mm. de altura. Ver detalle en figura 1.
- b) Pisón de compactación, de acero tratado superficialmente, de 50,8 mm. de diámetro y 305 mm. de carrera siendo su peso de 2,5 kg. (ver fig. 3)
- c) Aparato mecánico de compactación que permita regular el peso y altura de caída del pisón, pudiendo tener desplazamiento angular el molde o el pisón, (opcional).
- d) Balanza del tipo “Roberval”, de por lo menos 20 kg. de capacidad, con sensibilidad mínima de 1 gramo.
- e) Balanza de precisión, de 1 kg. de capacidad, con sensibilidad de 0,01 gramo.
- f) Dispositivo para extraer el material compactado del interior del molde (opcional).
- g) Espátula de acero, de forma rectangular, con las características indicadas en la figura 2.
- h) Bandeja de hierro galvanizado de 600 mm. x 400 mm. x 100 mm.
- i) Cuchillo de acero con borde recto o espátula rígida, cuya hoja tenga por lo menos 20 cm. de longitud.
- j) Bandeja de hierro galvanizado de 150 mm. x 150 mm. x 50 mm.
- k) Tamiz IRAM 19 mm. (3/4”)
- l) Tamiz IRAM 4,8 mm. (N° 4)
- m) Estufa para secar muestras que asegure temperaturas de 105-110° C.
- n) Elementos de uso corriente en laboratorio: pinceles, cucharas, probetas graduadas, mortero de porcelana, pilón revestido con goma, etc.

NOTA: Las dimensiones dadas en los apartados (h), (i), (j) son aproximadas.

#### 19-3 PROCEDIMIENTO

De acuerdo con las características granulométricas del material a ensayar se presentan dos casos: Material fino: cuando la muestra que ha sido secada al aire, pasa totalmente a través del Tamiz IRAM 4,75 (N° 4). Si una parte queda retenida, se

la desmenuza en un mortero utilizando la mano revestida de goma para evitar la destrucción de granos individuales. Si después de esta operación el porcentaje retenido es menor de 5 %, no se lo considera y se realiza el ensayo con parte fina. Si dicho porcentaje es igual o mayor de 5 % se considera a dicho suelo como material grueso.

### 19-3- 1 MATERIAL FINO:

- a) Se mezcla bien todo el material de la muestra a ensayar para lograr su homogeneización.  
Se determina la humedad que aún retiene, expresándola en porcentaje del peso del suelo seco (H'%).
- b) Se pesa, con la precisión de 1 g. una porción de aproximadamente 3000 gramos y se calcula la cantidad exacta de suelo seco, utilizando la fórmula:

$$Ps = \frac{Ph \times 100}{100 \times H'}$$

Donde:

Ps = Peso de la muestra seca

Ph = Peso de la muestra secada al aire

H' = Humedad porcentual retenida por la muestra secada al aire.

- c) Se pesa, con la precisión de 1 g., la cantidad de cemento que se incorporará al suelo para obtener la mezcla con el porcentaje de cemento elegido para ejecutar el ensayo.  
Esta cantidad de cemento, se calcula con la fórmula:

$$Pc = \frac{Ps \times C}{100 - C}$$

Donde:

Pc = Peso del cemento necesario

C = Porcentaje de cemento (con respecto a la mezcla) con que se desea ejecutar el ensayo.

- d) Se agrega al suelo, que ha sido colocado dentro de la bandeja indicada en el ap. 2 h), la cantidad de cemento previamente calculado (Párrafo anterior).  
Se mezcla cuidadosamente hasta que su aspecto revele uniformidad.
- e) Se agrega el agua necesaria para que, con la existente en el suelo, se alcance una humedad que sea del 4 al 6 % inferior a la prevista como valor de la humedad óptima. Se mezcla bien hasta lograr la uniformidad.
- f) Se verifican las constantes del molde de compactación a emplear en el ensayo:  
Peso del molde (Pm) sin collar con base y su volumen interior (V).
- g) Se arma el molde y se lo apoya sobre una base firme.

Con una cuchara de almacenero, o cualquier otro elemento adecuado, se coloca dentro del molde una cantidad de material suelto cuya altura sea aproximadamente la mitad de la altura del molde sin collar de extensión.

- h) Con el pisón se aplican 25 golpes uniformemente distribuidos sobre la superficie del suelo. Debe cuidarse que la camisa guía del pisón apoye siempre sobre la cara interna del molde, se mantenga bien vertical y desplazarla después de cada golpe, de manera tal que al término de los 25 golpes se haya recorrido dos o tres veces la superficie total.
- i) Se repiten dos veces más, las operaciones indicadas en los párrafos anteriores (g) y (h), poniendo en cada caso la cantidad de mezcla de suelo y cemento necesario para que al terminar de compactar la tercer capa, el molde cilíndrico quede lleno con un ligero exceso (5 a 10 mm.). En caso contrario debe repetirse la operación de compactación.
- j) Se retira con cuidado el collar de extensión. Con una regla metálica (puede utilizarse la cuchilla mencionada en el ap. 2. i) se elimina el exceso de material. Se limpia exteriormente el molde con un pincel y se pesa.
- k) Se saca la probeta del molde (se emplea el extractor indicado en el ap. 2 f). Con la cuchilla se desmenuza y se retira una porción que pese por lo menos 100 gramos y sea promedio de las tres capas. Se la coloca en una bandeja (ap.2-j), se pesa y seca en estufa a 105°-110°C, hasta peso constante para determinar la humedad (h).
- l) Se incorpora al material suficientemente desmenuzado, obtenido según el párrafo anterior, el material sobrante de la bandeja. Se agrega agua, en la proporción del 1 al 2 % y se repiten las operaciones indicadas desde el apart. (g) al (k).

**NOTA:** Se considera que el material está convenientemente desmenuzado, cuando se aprecie a simple vista, que pasa por el tamiz IRAM 4,8 mm. (N° 4).

- m) Deberá repetirse el proceso indicado en el párrafo anterior, el número de veces que sea necesario hasta obtener dos puntos en los que el peso del suelo húmedo compactado disminuya.

### **19-3- 2 MATERIAL GRUESO**

- a) Una vez eliminado el material de mayor tamaño que el límite superior especificado, se pasa la muestra sobrante por el tamiz IRAM 19 mm. (3/4) y de 4,75 mm. (N° 4).
- b) Se calculan los porcentajes correspondientes a cada una de las tres fracciones en que queda dividida la muestra: (1), material retenido por el tamiz IRAM 19 mm. (3/4) (2), material que pasa por este tamiz y es retenido por el de 4,75 mm. (3), material que pasa por el tamiz IRAM 4,75 mm. (N° 4). Se toma como 100 % la suma de los pesos de dichas fracciones.
- c) Se pesan separadamente, las cantidades necesarias de las fracciones (2) y (3), con las que se realiza el ensayo, hasta obtener un total de aproximadamente 10 kg. de material.  
Debe tenerse presente que, empleándose para ejecutar el ensayo solamente el material que pase el tamiz IRAM 19 MM. (3/4), Debe tomarse de la fracción (2) una cantidad proporcional a la suma de los porcentajes de las fracciones (1) y (2).
- d) Se pone en remojo, a fin de saturarlo, al material retenido por el tamiz IRAM 4,75 mm. (N° 4) cuyo peso se determinó en el paso anterior.



- e) Se pesa, con la precisión de 1 g. la cantidad de cemento o de cal que debe incorporarse al total del material a ensayar. Se la calcula siguiendo las explicaciones dadas en el ap. 19-3. 1 (c).
- f) Se coloca el material que pasa el tamiz IRAM 4,75 mm (N° 4) cuyo peso se determinó en el ap. (c), en una bandeja. Se le adiciona el cemento y se mezcla cuidadosamente hasta que el aspecto resulte uniforme.
- g) Se agrega el agua necesaria para que, sumada a la existencia en esa fracción del material, se alcance una humedad que sea del 4 al 6 % inferior a la prevista como valor de la Humedad óptima y ser mezcla hasta uniformar.
- h) Se incorpora el material retenido por el tamiz IRAM 4,75 mm (N° 4) ap (d), en la condición de saturado y a superficie seca. Se mezcla minuciosamente hasta lograr uniformidad.
- i) Se realizan las operaciones indicadas en el título 19.3.1, desde el apart. (f) al (m), con la salvedad que al enrasar la superficie compactada deben rellenarse con material fino los huecos que quedan al arrancar partículas gruesas.  
Además para determinar la humedad de cada punto se utilizarán por lo menos 1000 gramos de material. Por otra parte, con respecto a la NOTA incluida en el (apart. e), debe apreciarse, a simple vista, que el total del material pase por el tamiz IRAM 19 mm. y que el 90 % de las partículas originalmente de tamaño menor de 4,75 mm. pasen por el tamiz IRAM 4,75 mm. (N° 4).

#### 19-4 CÁLCULOS y RESULTADOS

Para cada punto, determinado en la forma descripta en los párrafos anteriores, se calcula:

- a) La humedad porcentual, utilizando la fórmula:

$$H = \frac{(Ph' - Ps') 100}{Ps' - T}$$

Donde:

H = Porcentaje de humedad

Ph' = Peso de la bandeja con el material húmedo

Ps' = Peso de la bandeja con el material seco

T = Peso de la bandeja

- b) La densidad en estado húmedo del material compactado, que se obtiene aplicando la fórmula:

$$Dh = \frac{P}{V}$$

Donde

Dh = Densidad del material compactado en estado húmedo.

P = Peso del material compactado húmedo

V = Volumen interior del molde de compactación

c) La densidad, en estado seco, del material compactado mediante la expresión:

$$D_s = \frac{D_h \times 100}{100 + H}$$

Donde:

D<sub>s</sub> = Densidad del material compactado, en estado seco.

D<sub>h</sub> = Densidad del material compactado en estado húmedo.

H = Humedad en porcentaje.

d) En un sistema de ejes coordenados rectangulares, se llevan en abscisas, los valores de humedad porcentual y en ordenadas, los de la densidad en estado seco.

Los puntos así obtenidos se unen con un trazo continuo.

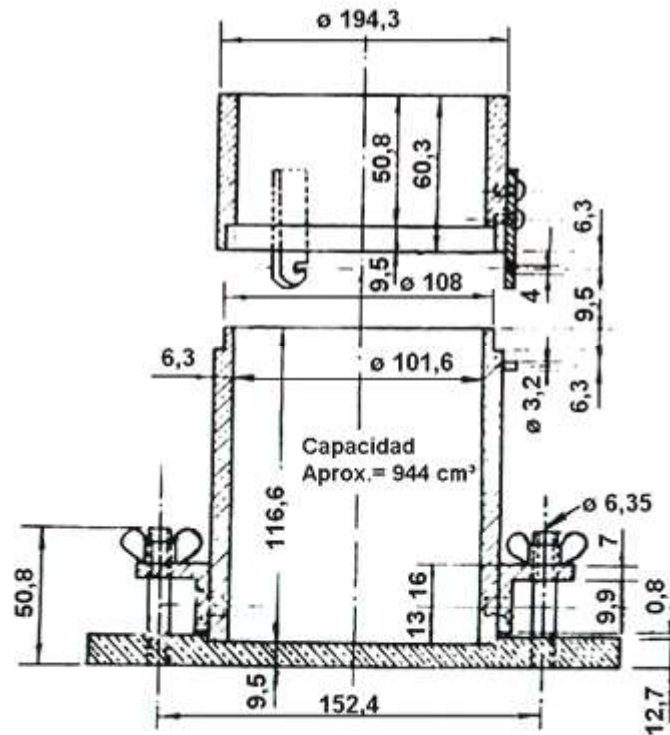
Se logra una curva que va ascendiendo con respecto a la densidad, pasa por un máximo y luego desciende. El punto más alto de la curva indica en ordenadas, la densidad máxima en estado seco (D<sub>s</sub>) que puede lograrse con la energía de compactación empleada y en abscisas, la humedad óptima (H) que se requiere para alcanzar dicha densidad.

**NOTA:** Para anotar las alternativas del ensayo y para el trazado de la curva se utiliza una planilla como la adjunta.

### 19-5. OBSERVACIONES

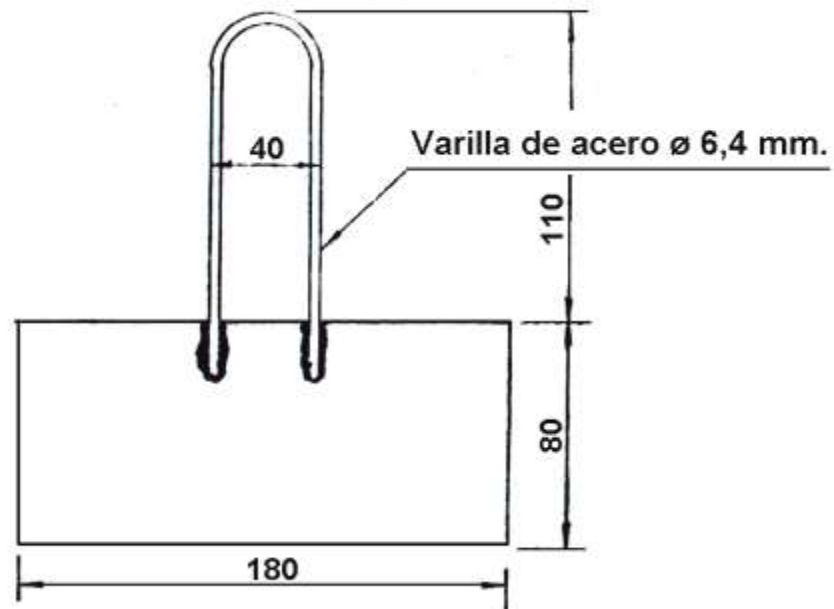
- a) Antes de ser compactadas, las mezclas de suelo cal utilizadas para este ensayo deberán permanecer en cámara húmeda durante 24 horas y con una humedad de alrededor del 70 a 75 % de la probable humedad óptima.
- b) La determinación de la densidad máxima (y por consiguiente de la humedad óptima) debe completarse en menos de dos horas.
- c) Para estimar el valor aproximado de la humedad óptima, que se menciona en los ap. 19-3. 1 (c) y 19.3.2 (g) puede realizarse previamente el ensayo de compactación, según detalla la norma, pero sin la incorporación del cemento pórtland.
- d) En laboratorios importantes, donde se ejecute un gran número de ensayo, se recomienda emplear el dispositivo mecánico de compactación.
- e) Cuando se realice el ensayo con cal, se compactarán las probetas con 35 golpes.

**Detalle del molde para el  
Ensayo de Compactación  
Diámetro = 101,6 mm.**



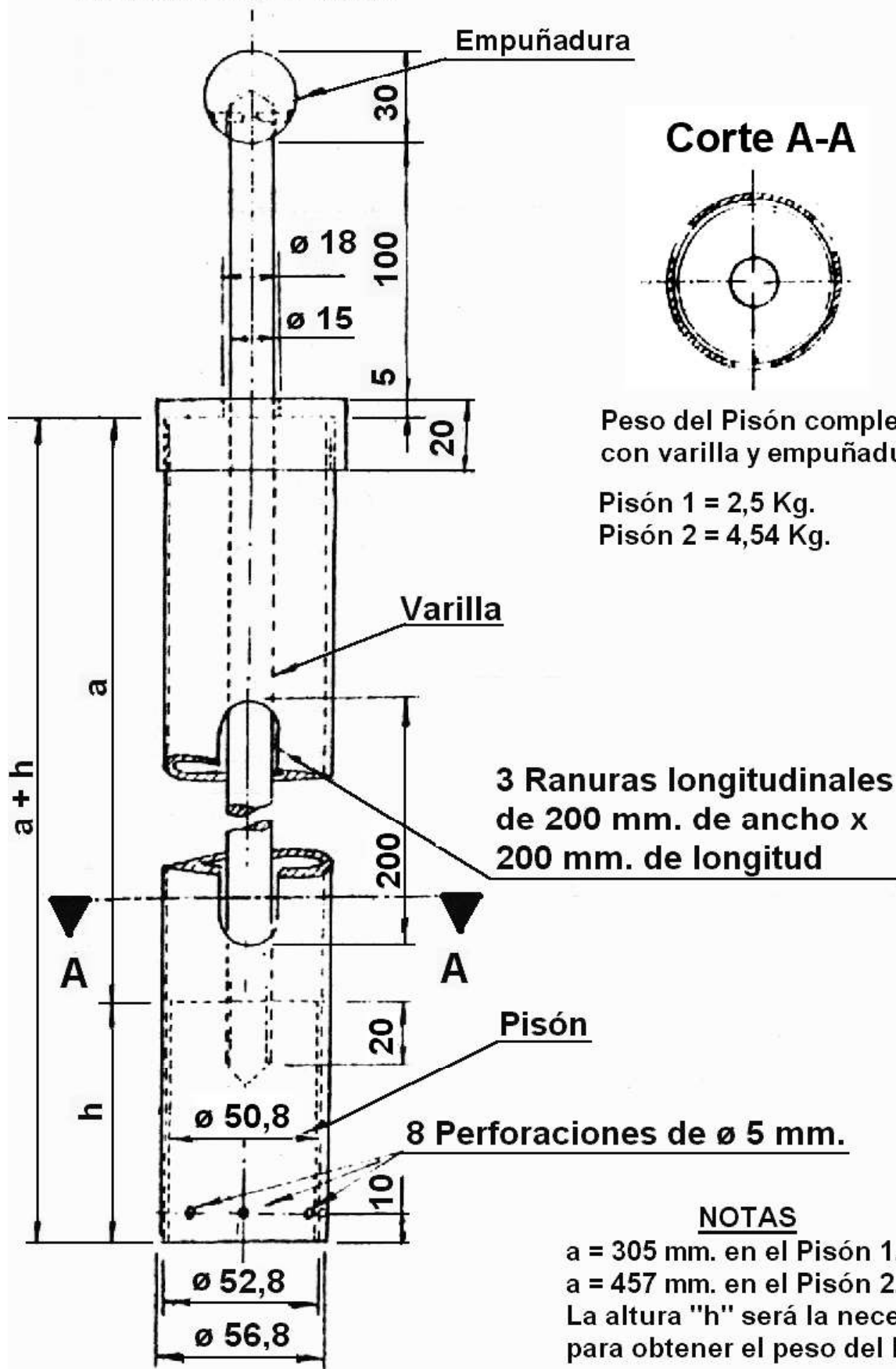
**Figura N° 1**

**Espátula rectangular de chapa de acero de 2 mm.**



**Figura N° 2**

## Detalle del Pisón



**Figura N° 3**

ENSAYO DE COMPACTACIÓN.....Capas.....Golpes.....Pisón.....

N° de muestra.....Ruta.....

N° de análisis.....Tramo.....

N° de orden.....Progresiva.....

Punto N°	% Aproximado de Agua	Peso del Cilindro + Suelo Húmedo	Tara del Cilindro	Peso Suelo Húmedo	Volumen del Cilindro	PESO ESPECIFICO APARENTE	
						Húmedo (a)	Seco <sup>(1)</sup>
Punto N°	Pesa Filtro N°	Pesa Filtro + Suelo Húmedo	Pesa Filtro + Suelo Seco	Tara del Pesa Filtro	Agua	Suelo Seco	% de Humedad (b)

$$^{(1)} = \frac{100 \times (a)}{100 + (b)}$$

Material	L.L.	L.P.	Granulometria	Tamiz																																																																																															
				Pasa%																																																																																															
<b>DENSIDAD</b>																																																																																																			
												<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>																																																																																							