

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



**“INFLUENCIA DEL INDICE PLÁSTICO EN EL CONTENIDO
ÓPTIMO DE HUMEDAD EN SUELOS ARCILLOSOS”**

PROYECTO DE TESIS DE INVESTIGACIÓN

Para Optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

Presentado por el Bachiller:

OCON INFANTE, JAIME

ASESOR: Dra. Ing. ROSA HAYDEE LLIQUE MONDRAGÓN

CAJAMARCA – PERÚ

2013

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



**“INFLUENCIA DEL INDICE PLÁSTICO EN EL CONTENIDO
ÓPTIMO DE HUMEDAD EN SUELOS ARCILLOSOS”**

PROYECTO DE TESIS DE INVESTIGACIÓN

Para Optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

Presentado por el Bachiller:

OCON INFANTE, JAIME

ASESOR: Dra. Ing. ROSA HAYDEE LLIQUE MONDRAGÓN

CAJAMARCA – PERÚ

2013

ÍNDICE

Contenido	Página
Índice de tablas y figuras.....	iv
Dedicatoria.....	viii
Agradecimientos.....	ix
Resumen.....	x
Abstract.....	xi
Introducción.....	xii
CAPÍTULO I – MARCO TEÓRICO	
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Bases teóricas.....	1
1.2.1 Generalidades.....	1
1.2.2 Límites de atterberg.....	1
1.2.3 Plasticidad y límites de consistencia.....	2
1.2.4 Utilización práctica de los límites de atterberg.....	4
1.2.5 Límite líquido.....	5
1.2.6 Curva de flujo de límite líquido.....	6
1.2.7 Secado.....	9
1.2.8 Acanalador.....	10
1.2.9 Limite plástico.....	10
1.2.10 Análisis granulométrico.....	11
1.2.11 Clasificación e identificación de suelos.....	11
1.2.12 Compactación.....	15
1.2.13 Contenido de humedad óptima.....	17
1.2.14 Densidad.....	17
CAPÍTULO II – PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO	
2.1 Planteamiento del Problema.....	19
2.1.1 Selección del problema.....	19
2.1.2 Formulación del problema.....	19
2.1.3 Justificación de la investigación.....	19
2.1.4 Limitaciones y restricciones de la investigación.....	20

2.2	Objetivos de la Investigación.....	21
2.3	Hipótesis.....	21
2.4	Variables.....	21
2.5	Tipos de Investigación y Análisis.....	21
2.5.1	Tipo de Investigación.....	21
2.5.2	Tipo de análisis.....	21
2.6	Metodología y Procedimiento.....	22
2.6.1	Criterios para la ubicación de calicatas y muestreo.....	22
2.6.2	Ensayos de laboratorio.....	22
2.7	Diseño metodológico.....	26
2.7.1	El universo de la investigación.....	26
2.7.2	Técnicas e instrumentos para obtener los datos.....	26
2.7.3	Población de la investigación.....	27
2.7.4	Forma de tratamiento de los datos.....	27
2.7.5	Forma de análisis de las informaciones.....	27

CAPÍTULO III – ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1	Resultado de la investigación.....	28
3.1.1.	Resultados de laboratorio de suelos.....	28
3.1.2.	Análisis suelos arcillosos de alta plasticidad.....	49
3.1.3.	Análisis suelos arcillosos de baja plasticidad.....	50
3.2	Análisis de la información.....	51

CAPÍTULO IV – CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1	Conclusiones.....	52
4.2	Recomendaciones.....	52

REFERENCIAS BLIBLIOGRÁFICAS.....	53
---	-----------

ANEXOS

Anexo 01. Panel fotográfico.....	54
Anexo 02. Pruebas de normalidad Anderson-darling.....	57
Anexo 03. Calculo de los ensayos analizados.....	60

ÍNDICE DE TABLAS

Contenido	Página
Tabla 1. Factor de corrección del límite líquido.....	8
Tabla 2. Clasificación de suelos sistema AASHTO.	12
Tabla 3. Sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS).....	14
Tabla 4. Parámetros del próctor modificado	16
Tabla 5. Determinación del método a utilizar próctor modificado.....	17
Tabla 6. Análisis granulométrico muestra N° 1.....	28
Tabla 7. Límites de consistencia muestra N° 1.....	28
Tabla 8. Proctor modificado muestra N° 1.....	29
Tabla 9. Análisis granulométrico muestra N° 2.....	29
Tabla 10. Límites de consistencia muestra N° 2.....	29
Tabla 11. Proctor modificado muestra N° 2.....	30
Tabla 12. Análisis granulométrico muestra N° 3.....	30
Tabla 13. Límites de consistencia muestra N° 3.....	31
Tabla 14. Proctor modificado muestra N° 3.....	31
Tabla 15. Análisis granulométrico muestra N° 4.....	32
Tabla 16. Límites de consistencia muestra N° 4.....	32
Tabla 17. Proctor modificado muestra N° 4.....	32
Tabla 18. Análisis granulométrico muestra N° 5.....	33
Tabla 19. Límites de consistencia muestra N° 5.....	33
Tabla 20. Proctor modificado muestra N° 5.....	34
Tabla 21. Análisis granulométrico muestra N° 6.....	34
Tabla 22. Límites de consistencia muestra N° 6.....	34
Tabla 23. Proctor modificado muestra N° 6.....	35
Tabla 24. Análisis granulométrico muestra N° 7.....	35
Tabla 25. Límites de consistencia muestra N° 7.....	36
Tabla 26. Proctor modificado muestra N° 7.....	36
Tabla 27. Análisis granulométrico muestra N° 8.....	37
Tabla 28. Límites de consistencia muestra N° 8.....	37
Tabla 29. Proctor modificado muestra N° 8.....	37
Tabla 30. Análisis granulométrico muestra N° 9.....	38

Tabla 31. Límites de consistencia muestra N° 9.....	38
Tabla 32. Proctor modificado muestra N° 9.....	39
Tabla 33. Análisis granulométrico muestra N° 10.....	39
Tabla 34. Límites de consistencia muestra N° 10.....	39
Tabla 35. Proctor modificado muestra N° 10.....	40
Tabla 36. Análisis granulométrico muestra N° 11.....	41
Tabla 37. Límites de consistencia muestra N° 11.....	41
Tabla 38. Proctor modificado muestra N° 11.....	42
Tabla 39. Análisis granulométrico muestra N° 12.....	42
Tabla 40. Límites de consistencia muestra N° 12.....	43
Tabla 41. Proctor modificado muestra N° 12.....	43
Tabla 42. Análisis granulométrico muestra N° 13.....	44
Tabla 43. Límites de consistencia muestra N° 13.....	44
Tabla 44. Proctor modificado muestra N° 13.....	45
Tabla 45. Análisis granulométrico muestra N° 14.....	45
Tabla 46. Límites de consistencia muestra N° 14.....	46
Tabla 47. Proctor modificado muestra N° 14.....	46
Tabla 48. Análisis granulométrico muestra N° 15.....	47
Tabla 49. Límites de consistencia muestra N° 15.....	47
Tabla 50. Proctor modificado muestra N° 15.....	48
Tabla 51. Clasificación de los suelos y parámetros de compactación.....	48
Tabla 52. Resultados de arcillas de alta plasticidad.	49
Tabla 53. Resultados de arcillas de baja plasticidad.	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Contenido	Pagina
Figura 1. Límites de Atterberg.....	2
Figura 2. Trayectoria humedad – volumen de un suelo amasado.....	4
Figura 3. Deslizamiento de un suelo en el límite líquido.....	6
Figura 4. Curva de flujo del límite líquido.....	6
Figura 5. Acanalador de la astm y acanalador de casagrande.....	10
Figura 6. Carta de plasticidad para clasificación de suelos partículas finas.....	15
Figura 7. Curva granulométrica muestra N° 1.....	28
Figura 8. Grafica límite líquido muestra N° 1.....	28
Figura 9. Densidad seca vs contenido de humedad optima muestra N° 1.....	29
Figura 10. Curva granulométrica muestra N° 2.....	29
Figura 11. Grafica límite líquido muestra N° 2.....	30
Figura 12. Densidad seca vs contenido de humedad optima muestra N° 2.....	30
Figura 13. Curva granulométrica muestra N° 3.....	30
Figura 14. Grafica límite líquido muestra N° 3.....	31
Figura 15. Densidad seca vs contenido de humedad optima muestra N° 3.....	31
Figura 16. Curva granulométrica muestra N° 4.....	32
Figura 17. Grafica límite líquido muestra N° 4.....	32
Figura 18. Densidad seca vs contenido de humedad optima muestra N° 4.....	33
Figura 19. Curva granulométrica muestra N° 5.....	33
Figura 20. Grafica límite líquido muestra N° 5.....	33
Figura 21. Densidad seca vs contenido de humedad optima muestra N° 5.....	34
Figura 22. Curva granulométrica muestra N° 6.....	34
Figura 23. Grafica límite líquido muestra N° 6.....	35
Figura 24. Densidad seca vs contenido de humedad optima muestra N° 6.....	35
Figura 25. Curva granulométrica muestra N° 7.....	35
Figura 26. Grafica límite líquido muestra N° 7.....	36
Figura 27. Densidad seca vs contenido de humedad optima muestra N° 7.....	36
Figura 28. Curva granulométrica muestra N° 8.....	37
Figura 29. Grafica límite líquido muestra N° 8.....	37
Figura 30. Densidad seca vs contenido de humedad optima muestra N° 8.....	38
Figura 31. Curva granulométrica muestra N° 9.....	38

Figura 32. Grafica límite líquido muestra N° 9.....	38
Figura 33. Densidad seca vs contenido de humedad optima muestra N° 9.....	39
Figura 34. Curva granulométrica muestra N° 10.....	39
Figura 35. Grafica límite líquido muestra N° 10.....	40
Figura 36. Densidad seca vs contenido de humedad optima muestra N° 10.....	40
Figura 37. Curva granulométrica muestra N° 11.....	41
Figura 38. Grafica límite líquido muestra N° 11.....	41
Figura 39. Densidad seca vs contenido de humedad optima muestra N° 11.....	42
Figura 40. Curva granulométrica muestra N° 12.....	42
Figura 41. Grafica límite líquido muestra N° 12.....	43
Figura 42. Densidad seca vs contenido de humedad optima muestra N° 12.....	43
Figura 43. Curva granulométrica muestra N° 13.....	44
Figura 44. Grafica límite líquido muestra N° 13.....	44
Figura 45. Densidad seca vs contenido de humedad optima muestra N° 13.....	45
Figura 46. Curva granulométrica muestra N° 14.....	45
Figura 47. Grafica límite líquido muestra N° 14.....	46
Figura 48. Densidad seca vs contenido de humedad optima muestra N° 14.....	46
Figura 49. Curva granulométrica muestra N° 15.....	47
Figura 50. Grafica límite líquido muestra N° 15.....	47
Figura 51. Densidad seca vs contenido de humedad optima muestra N° 15.....	48
Figura 52. Curva aplicativa índice de plasticidad vs contenido de humedad óptima para arcillas de alta plasticidad.....	49
Figura 53. Curva aplicativa índice de plasticidad vs contenido de humedad óptima para arcillas de baja plasticidad.....	50
Figura 54. Ensayo de análisis granulométrico en laboratorio.....	54
Figura 55. Ensayo de límites de consistencia en laboratorio.....	54
Figura 56. Ensayo de proctor modificado en laboratorio.....	54
Figura 57. Muestreo de material arcilloso cantera maqui maqui.....	55
Figura 58. Muestreo de material arcilloso talud carretera Cajamarca Bambamarca.....	55
Figura 59. Muestreo de material arcilloso cantera carachugo.....	56
Figura 60. Muestreo de material arcilloso talud carretera Cajamarca Bambamarca Km 14+100.....	55

DEDICATORIA

A Dios

Por iluminar el camino de mi vida.

A Mis Padres, Víctor y María Catalina

Con eterna gratitud por saber guiarme y apoyarme en todo instante a lo largo de mi existencia, hasta concretar el anhelo de mi vida, el de ser profesional.

A Roxana.

Por su cariño que siempre me ha brindado, y quien nunca me permitirá decir que estoy sólo.

A todos mis demás seres queridos y amigos, por su apoyo moral y sus sanos consejos que contribuyeron a cristalizar esta meta.

Jaime

AGRADECIMIENTO

Expreso mi profundo y sincero agradecimiento a mis asesores: Dra. Ingeniera Rosa Haydee Llique Mondragón, Ingeniero Marco Silva Silva, por su colaboración y su asistencia permanente para el desarrollo de la Tesis, al brindar su tiempo y aportes basados en su experiencia, lo que nos impulsa a seguir su digno ejemplo.

Así mismo un especial reconocimiento y agradecimiento a cada uno de nuestros profesores que durante los años de estudio enseñaron con esmero la esencia de esta hermosa profesión: Ingeniería Civil.

Mi especial reconocimiento y agradecimiento a la Facultad de Ingeniería, compañeros y amigos, que de una u otra manera nos apoyaron durante los años de estudio, haciendo posible la culminación de mi carrera y durante el desarrollo de la tesis para lograr la culminación.

A mi Alma Mater, la Universidad Nacional de Cajamarca, representada en la Facultad de Ingeniería, por acogerme en sus claustros hasta verme formado profesional.

RESUMEN

OCÓN INFANTE, Jaime (2013). Influencia del índice plástico en el contenido óptimo de humedad de suelos arcillosos. Tesis profesional. Facultad de Ingeniería. Universidad nacional de Cajamarca, páginas 1 al 85.

El estudio se ha realizado en suelos arcillosos del distrito de Cajamarca, determinándose la influencia del índice plástico con el contenido óptimo de humedad de suelos arcillosos de alta y baja plasticidad, se inició con la recopilación de información teórica, recopilación de 15 muestras diferentes de suelos arcillosos, ejecución de ensayos de laboratorio de suelos: granulometría, límite líquido, límite plástico, compactación próctor modificado, clasificación de suelos mediante el sistema AASHTO y SUCS, y finalmente se obtuvo una curva aplicativa entre índice de plasticidad y el contenido óptimo de humedad, y se determinó la relación que hay entre el índice de plasticidad y el contenido óptimo de humedad, observándose que el índice de plasticidad a medida que se incrementa tiene un valor máximo con el cual se obtiene el máximo contenido de humedad óptima, una vez obtenido el máximo contenido de humedad óptima y a medida que el índice de plasticidad se incrementa el contenido de humedad óptima decrece para suelos arcillosos de alta y baja plasticidad.

Palabras Clave: Índice de plasticidad, contenido óptimo de humedad.

ABSTRACT

OCÓN INFANTE, Jaime (2013). Influence of plastic index optimum moisture content of clay soils. Professional thesis. Faculty of Engineering. National University of Cajamarca, pages 1 to 85.

The study was conducted in clay soils Cajamarca district, determining the influence of plastic index optimum moisture content of clay soils of high and low plasticity, began with the collection of information theory, compilation of 15 different soil samples clay implementing soil laboratory testing: grain size, liquid limit, plastic limit, modified Proctor compaction, soil classification by AASHTO and USCS system, and finally obtained a curve applicative between plasticity index and optimum moisture content, and determined the relationship between the plasticity index and the optimum moisture content, showing that the plasticity index increases as it has a maximum value with which to obtain the maximum optimum moisture content, after obtaining maximum optimum moisture content and as the plasticity index increases the moisture content decreases to clayey soils optimal high and low plasticity.

Keywords: plasticity index, optimum moisture content.

INTRODUCCIÓN

En el trabajo práctico el ingeniero civil se enfrenta con muy diversos e importantes problemas en el terreno. Todas las estructuras de ingeniería civil, edificios, puentes, carreteras, túneles, muros, torres, canales o presas, deben cimentarse sobre la superficie de la tierra o dentro de ella. Para que una estructura se comporte satisfactoriamente debe poseer una cimentación adecuada.

Por tal motivo se debe hacer la compactación de la subrasante de las obras y para ello se necesita saber el contenido óptimo de humedad para lograr la mejor compactación del suelo, utilizándose grandes cantidades de material (muestras de tierra) para ser estudiado en laboratorio de mecánica de suelos y obtener el contenido óptimo de humedad, siendo en algunos casos difícil el transporte de este material y a la vez costoso, debido a que hay lugares inaccesibles, ante la necesidad de contar con un mecanismo más práctico, rápido y fácil de encontrar el contenido óptimo de humedad se ha planteado realizar la presente tesis de Investigación evaluando diferentes muestras de suelos arcillosos del distrito de Cajamarca para determinar la influencia del índice de plasticidad en el contenido óptimo de humedad a través de una curva aplicativa y evaluar la relación que hay entre el índice de plasticidad y el contenido óptimo de humedad, evaluación que servirá como una guía para facilitar el trabajo.

CAPÍTULO I

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO

1.1. ANTECEDENTES

1.1.1. Internacionales

En el estudio de la influencia del índice de plasticidad en el contenido óptimo de humedad en suelos arcillosos, no se ha encontrado a la fecha investigaciones realizadas al respecto en el ámbito internacional.

1.1.2. Nacionales

Referente a la influencia del índice de plasticidad en el contenido óptimo de humedad en suelos arcillosos en el ámbito nacional, a la fecha no se ha encontrado investigaciones.

1.1.3. Locales

En el ámbito Local no existen investigaciones realizadas al respecto.

1.2. BASES TEÓRICAS

1.2.1. Generalidades

Las obras de Ingeniería Civil están íntimamente ligadas con los suelos; ya sea para emplearlos como terreno de fundación y/o como material de construcción; y como sabemos, estos suelos están distribuidos en estratos verticales y horizontales con propiedades muy singulares que hacen variar las cualidades de dicho suelo y por consiguiente los hacen buenos o malos para el uso que se les pretenda dar.(Wihem, P. 1996)

1.2.2. Límites de Atterberg

Los límites de Atterberg o también llamados límites de consistencia se basan en el concepto de que los suelos finos, presentes en la naturaleza, pueden encontrarse en diferentes estados, dependiendo de su propia naturaleza y la cantidad de agua que contengan. Así, un suelo se puede encontrar en un estado sólido, semisólido, plástico y líquido o viscoso (ver Fig.1). La arcilla, por ejemplo,

si está seca se encuentra muy suelta o en terrones, añadiendo agua adquiere una consistencia similar a una pasta, y añadiendo más agua adquiere una consistencia fluida. (Manual Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona, 1999)

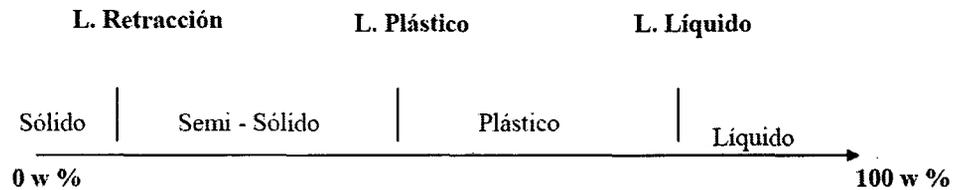


Fig.1 Límites de Atterberg

El contenido de agua con que se produce el cambio entre estados varía de un suelo a otro y en mecánica de suelos interesa fundamentalmente conocer el rango de humedades para el cual el suelo presenta un comportamiento plástico, es decir, acepta deformaciones sin romperse (plasticidad). Se trata de la propiedad que presentan los suelos hasta cierto límite.

El método usado para medir estos límites de humedad fue ideado por el científico sueco Albert Atterberg en el año 1911. Los límites de Atterberg son propiedades, valores de humedad de los suelos que se utilizan en la identificación y clasificación de un suelo. (Manual Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona, 1999)

1.2.3. Plasticidad y Límites de Consistencia

Albert Atterberg definió como plasticidad la capacidad que tenía un suelo de ser deformado sin agrietarse, ni producir rebote elástico. A su vez observó que los suelos arcillosos en condiciones húmedas son plásticos y se vuelven muy duros en condiciones secas, que los limos no son necesariamente plásticos y se vuelven menos duros con el secado, y que las arenas son desmenuzables en condiciones sueltas y secas. También observó que existían arcillas altamente plásticas y otras de baja plasticidad.

Los límites establecidos por Atterberg para diferenciar los distintos estados de consistencia se deben obtener a partir de la fracción que pasa por el tamiz N° 40, descartando la porción retenida.

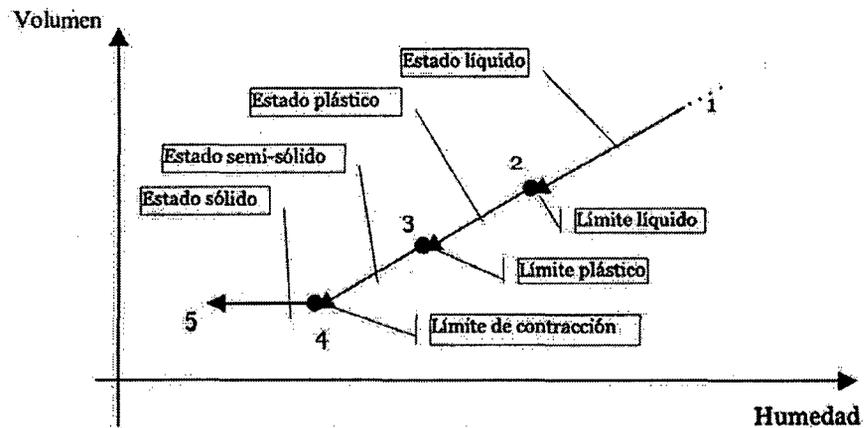


Fig.2 Trayectoria humedad –volumen de un suelo amasado.

La frontera entre el estado sólido y semisólido se llama límite de contracción o de retracción y se define como la humedad presente al haber añadido agua suficiente para llenar todos los huecos de una pastilla de suelo seca. Se trata de la humedad máxima de un suelo para la cual una pérdida de humedad no causa disminución de volumen de suelo. La frontera entre los estados semisólido y plástico se llama límite plástico, y se obtiene midiendo el contenido de humedad del suelo cuando comienzan a agrietarse pequeños cilindros de suelo de 3 mm de diámetro. A la frontera entre el límite plástico y líquido se le llama límite líquido y se determina midiendo la humedad que contiene el suelo cuando con 25 golpes se cierra una ranura de 13 mm de longitud mediante un aparato normalizado (ver Fig.2). Atterberg encontró que la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico, denominado índice de plasticidad (IP), representaba una medida satisfactoria del grado de plasticidad de un suelo. Luego sugirió que estos dos límites sirvieran de base en la clasificación de los suelos plásticos. Acorde al valor del índice de plasticidad, distinguió los siguientes materiales.

- Suelos desmenuzables ($IP < 1$)
- Suelos débilmente plásticos ($1 < IP < 7$)
- Suelos medianamente plásticos ($7 < IP < 15$)
- Suelos altamente plásticos ($IP > 15$)

Todos los límites se expresan en porcentaje de agua contenida sobre suelo seco. (Manual Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona, 1999)

1.2.4. Utilización Práctica de los Límites de Atterberg

En la actualidad, los límites de Atterberg son las determinaciones que con más asiduidad se practican en los laboratorios de Mecánica del Suelo. Su utilidad deriva de que, gracias a la experiencia acumulada en miles de determinaciones, es suficiente conocer sus valores para poderse dar una idea bastante clara del tipo de suelo y sus propiedades. Como por otra parte, se trata de determinaciones sencillas y rápidas, permiten una pronta identificación de los suelos y la selección adecuada de muestras típicas para ser sometidas a ensayos más complicados.

Los límites de Atterberg pertenecen, junto al análisis granulométrico, al tipo de ensayos de identificación. Pero, si el análisis granulométrico nos permite conocer la magnitud cuantitativa de la fracción fina, los límites de Atterberg nos indican su calidad, completando así el conocimiento del suelo. Frecuentemente se utilizan los límites directamente en las especificaciones para controlar los suelos a utilizar en terraplenes. (Shuan, 2004)

El Índice de Plasticidad, que indica la magnitud del intervalo de humedades en el cual el suelo posee consistencia plástica.

Índice de plasticidad:

$$IP = W_L - W_P$$

Donde:

WL = Límite líquido

W_p = Límite plástico

W_n = Humedad natural

Debe tenerse en cuenta, no obstante, que todos los límites e índices, a excepción del límite de retracción, se determinan en suelos que han sido amasados para formar una mezcla uniforme suelo-agua. Este proceso de amasado conduce al ablandamiento de la masa como consecuencia de la destrucción del ordenamiento de las moléculas bipolares de agua, a la reorientación de las láminas de arcilla y a la ruptura de la estructura que el suelo adquiere durante su formación por sedimentación o consolidación. Al cesar el proceso de amasado, las láminas de arcilla vuelven a orientarse y las moléculas de agua adquieren ligazón, pero la estructura del suelo no vuelve a ser la misma. Por tanto, habrá que señalar que los límites no dan indicación alguna sobre la estructura del suelo o de los enlaces residuales entre partículas que pudieran haberse desarrollado en el terreno natural. (Shuan, 2004)

1.2.5. Límite Líquido

Es el contenido de humedad por debajo del cual el suelo se comporta como un material plástico. A este nivel de contenido de humedad el suelo está en el vértice de cambiar su comportamiento al de un fluido viscoso, El valor calculado deberá aproximarse al centésimo y se realiza con material que pase el tamiz de 0.425 mm (N° 40). El límite líquido como fue definido por Atterberg ha estado sujeto a distintas variaciones en su determinación. Fue Terzaghi, quien le sugirió a Casagrande en 1927, que diseñara un dispositivo mecánico que pudiera eliminar en la medida de lo posible los errores del operador en la determinación del mismo.

El límite líquido, como ya se ha comentado anteriormente, se estableció como la humedad que tiene un suelo amasado con agua y colocado en una cuchara normalizada, cuando un surco, realizado mediante un acanalador normalizado, que divide dicho suelo en dos mitades, se cierra a lo largo del fondo en una distancia de 13 mm, tras haber dejado caer 25 veces la mencionada cuchara desde una altura de 10 mm sobre una base también normalizada, con una cadencia de 2 golpes por segundo. La altura de caída, como las dimensiones del cascador y las dimensiones de la ranura, como el material de la base, etc., son factores de influencia en los resultados obtenidos.

Para entender el significado del ensayo mediante el dispositivo desarrollado por Casagrande, se puede decir que para golpes secos, la resistencia al corte dinámica de los taludes de la ranura se agota, generándose una estructura de flujo que produce el deslizamiento (ver Fig.3). La fuerza resistente a la deformación puede considerarse como la resistencia al corte de un suelo. La resistencia al corte de todos los suelos en el límite líquido es constante y tiene un valor aproximado de 2,2 kpa. (Shuan, 2004).

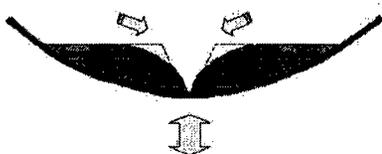


Fig.3 Deslizamiento de un suelo en el límite líquido.

1.2.6. La Curva de Flujo

Casagrande observó que el número de golpes necesarios para cerrar la ranura dependía del contenido de agua del suelo y que cuando una serie de resultados de un suelo se representaba en un gráfico donde el eje de la humedad era aritmético y el eje del número de golpes era logarítmico, esos resultados formaban una línea recta. Esa curva fue llamada curva de flujo.(Norman, 1958)

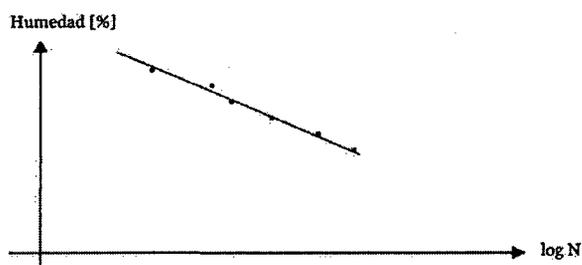


Fig.4 Curva de flujo del límite líquido

Las ventajas de graficar los resultados de este modo son: la curva puede ser dibujada con pocos puntos, se pueden detectar más fácilmente los errores en una

línea recta (escala semilogarítmica) que en una línea curva (escala aritmética) y el índice de flujo puede ser definido por la pendiente de la recta (Fig.4).(Norman, 1958)

Esta curva puede ser representada por la siguiente ecuación:

$$\omega = -F \cdot \log N + C$$

Donde:

ω : contenido de humedad en porcentaje de suelo seco.

F: constante, llamada "índice de flujo".

N: número de golpes.

C: constante.

El número de golpes N puede ser considerado como representada por la fuerza igual a N veces la fuerza ejercida en la aplicación de un solo golpe. La resistencia al corte de un suelo es obviamente proporcional a la fuerza requerida para producir una deformación dada (en el caso tratado, el cierre de la ranura). Entonces, el número de golpes N de la ecuación anterior, puede ser tomado como proporcional a s, la resistencia al corte de un suelo, y puede ser escrita como:

$$w = -F \cdot \log s + C_1$$

Donde: C₁ es diferente a C debido a que está expresado en unidades físicas.

La necesidad de ejecutar muchos ensayos de límites líquidos llevó a desarrollar un método de determinación que tuviese conexión con la curva de flujo, ya que los estudios de Casagrande decían que muestras de un mismo suelo deberían tener curvas de flujo con pendiente constante. J. Eden propuso inicialmente multiplicar la humedad obtenida ω para cierto número de golpes N por un factor de corrección C_n como se muestra en la Tabla 1, suponiendo que la pendiente de la curva de flujo es constante (0.100) para todos los suelos excepto para suelos con gran contenido de materia orgánica o cuando se requiera una exactitud especial en la determinación. (Eden, 1959)

Tabla 1. Factor de corrección del Límite Líquido W.J.Eden.

N	Cn	N	Cn
15	0.950	26	1.004
16	0.955	27	1.008
17	0.962	28	1.012
18	0.968	29	1.015
19	0.973	30	1.019
20	0.977	31	1.022
21	0.983	32	1.025
22	0.987	33	1.028
23	0.992	34	1.031
24	0.996	35	1.034

(Eden, 1959)

Finalmente, Eden obtuvo una recta de pendiente 0,117, obtenida tras numerosas determinaciones, de las que se dedujo que, para un mismo suelo, los puntos correspondientes a distintos grados de humedad formaban una recta en doble escala logarítmica cuya pendiente más probable era ésta.

Una vez establecido 0,117 como pendiente más probable de los distintos grados de humedad de un mismo suelo, independientemente de su origen geológico, la determinación del límite líquido se simplificó en gran parte.

Para obtener el límite líquido de un suelo primero se deberán representar los resultados en una doble escala logarítmica en la que figure en abscisas el número de golpes y en ordenadas la humedad. Una vez dibujados, bastará con trazar una recta de pendiente -0,117 que mejor se adapte a los puntos representados y la humedad del punto de corte con la ordenada correspondiente a los 25 golpes nos dará el límite líquido. No obstante, con la intención de llegar a un equilibrio en la economía, bastará con obtener una determinación entre 25 y 15 golpes y otra entre 35 y 25. La recta de pendiente -0,117 se trazará de la forma que mejor se adapte a estos dos puntos.

También existe otro método aproximado consistente en utilizar un solo punto y, por tanto, sólo requiere un solo ensayo de golpeo. Por dicho punto se traza una paralela a la recta de pendiente -0,117 hasta cortar a la ordenada correspondiente a los 25 golpes. Este método de un solo punto se demostró, durante la realización de una tesis en el Laboratorio del Transporte, que era más exacto al método de

los tres puntos usado previamente al actual. La explicación es que el primer método se apoya en una recta obtenida mediante métodos estadísticos, y libre, por tanto, de errores accidentales, mientras que en el segundo los tres puntos están sujetos a estos errores, y además la recta se traza de forma aproximada.(Eden, 1959)

Naturalmente, lo más exacto sería trazar la paralela a la recta dada que mejor se adaptara al máximo número de puntos, pero hay que llegar a un equilibrio con la economía, por lo cual se utilizan ahora dos puntos. Sin embargo se llegó a la conclusión que el método de un punto era tan exacto como el de los tres puntos descrito, excepto para suelos con límite líquido superior a 120%.(Norman, 1958)

1.2.7. Secado

Otro de los factores influyentes en los resultados de los ensayos del límite líquido es el secado al que se somete el suelo, previamente al machaqueo y tamizado del mismo en aquellos casos en que el suelo a ensayar se encuentra en tal estado que no es posible individualizar manualmente las partículas. Se ha observado, a raíz de diversos ensayos, que el secado en estufa produce una disminución apreciable del límite líquido en suelos orgánicos y algunos inorgánicos, por lo cual no debe usarse este tipo de secado para suelos orgánicos y en los inorgánicos con alto contenido de limo o arcilla. Incluso el secado al aire produce una variación sensible del límite líquido de este tipo de suelos. En algunos casos estas diferencias pueden dar valores de límite líquido inferiores al 30% de los valores obtenidos sobre suelos en estado natural. En casos extremos dicha variación puede ser mayor aún; tal como sucede con las arcillas sulfhídricas, cuyo límite líquido se puede reducir a menos de la mitad tras la oxidación producida por el secado al aire.(Eden, 1959)

1.2.8. Acanalador

Se ha demostrado en diversas investigaciones que dependiendo del acanalador usado se obtienen distintos resultados (ver Fig.5). El acanalador de Casagrande es, en general, el que debe usarse, pues con él se obtiene siempre la misma profundidad de surco. Mientras que el acanalador de la ASTM tiene el inconveniente de no controlar la altura de surco.

En el estudio desarrollado del acanalador se demuestra que el uso del acanalador especificado por la ASTM da, sistemáticamente, valores del límite líquido inferiores al de Casagrande y con mayor dispersión en los resultados. No obstante, en suelos turbosos dicho acanalador es preferible al de Casagrande. (Eden, 1959)



Fig.5 Acanalador de la astm (izquierda) y acanalador de casagrande (derecha)

1.2.9. Límite Plástico

Es el punto en el que se pasa del estado plástico al semisólido, y se mide por la cantidad de agua que contiene un material en el momento en que se pierde la plasticidad y deja de ser moldeable.

El límite plástico es la humedad correspondiente en el cual el suelo se cuartea y quiebra al formar pequeños rollitos ó cilindros pequeños. El ensayo se realiza con la fracción de arcilla que pasa por el tamiz de abertura 400 μ m(Nº40), con un contenido de humedad algo superior al límite plástico. Con esta humedad será posible formar fácilmente una bola con la arcilla sin que se resquebraje.

Conjuntamente con el límite líquido, el límite plástico es usado en la identificación y clasificación de suelos (Shuan, 2004).

1.2.10. Análisis Granulométrico

Llamado también Análisis Mecánico y consistente en la determinación de la distribución de las partículas de un suelo en cuanto a su tamaño, pudiendo obtener así los porcentajes de piedra, grava, arena, limos y arcilla. Este análisis se hace por un proceso de tamizado (análisis con tamices) en suelos de grano grueso, y por un proceso de sedimentación en agua (análisis granulométrico por vía húmeda) en suelos de grano fino. (Polanco, A. 2004)

El peso del suelo secado al aire y seleccionado para el ensayo, será suficiente para las cantidades requeridas para el análisis mecánico, como sigue: Para la porción de muestra retenida en el tamiz de 4,760 mm (N° 4) el peso dependerá del tamaño máximo de las partículas. El tamaño de la porción que pasa tamiz de 4,760 mm (N°4) será aproximadamente de 115 g, para suelos arenosos y de 65 g para suelos arcillosos y limosos. Se puede tener una comprobación de los pesos, así como de la completa pulverización de los terrones, pesando la porción de muestra que pasa el tamiz de 4,760 mm (N° 4) y agregándole este valor al peso de la porción de muestra lavada y secada en el horno, retenida en el tamiz de 4,760 mm (N° 4). (Gutiérrez, 2004)

1.2.11. Clasificación e Identificación de Suelos

a. Sistema AASHTO (Asociación Americana de Funcionarios de Carreteras Estatales y del Transporte).

Este método, divide a los suelos en dos grandes grupos: Una formada por los suelos granulares y otra constituida por los suelos de granulometría fina. Y estos a su vez son clasificados en sub grupos, basándose en la composición granulométrica, el límite líquido y el índice de plasticidad. (Mora, S. 1988).

Tabla2. Clasificación de Suelos Sistema AASHTO

Clasificación General	Materiales Granulares (35% o menos del total pasa el tamiz N° 200)						Materiales limo-arcillosos (más del 35% del total pasa el tamiz N°200)				
	A-1		A-3	A-2			A-4	A-5	A-6	A-7	
Clasificación de grupo	A-1-a	A-1-b	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 A-7-6	
Porcentaje de material que pasa el tamiz N° 10	50 máx.										
N° 40	30 máx.	51 máx.	51 mín.								
N° 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	35 mín.	36 mín.	36 mín.
Características de la fracción que pasa el tamiz N° 40											
Limite Líquido, WL	6 máx.	NP	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	41 mín.
Índice Plástico, IP			10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	11 mín.
Índice de Grupo	0	0	0	4 máx.			8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.	

(Mora, S. 1988)

b. Sistema SUCS (Clasificación Unificada de Suelos).h

Este sistema, como la clasificación anterior, divide a los suelos en dos grandes grupos: granulares y finos. Un suelo se considera grueso si más del 50% de sus partículas se retienen en el tamiz # 200, y finos, si más de la mitad de sus partículas, pasa el tamiz # 200.

Tabla3.Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)

CLASIFICACIÓN EN LABORATORIO				CLASIFICACIÓN EN LABORATORIO								
FINOS $\geq 50\%$ pasa Malla # 200 (0.08 mm.)				GRUESOS $< 50\%$ pasa Malla # 200 (0.08 mm.)								
Tipo de Suelo	Símbolo	Lim. Liq.	Índice de Plasticidad * ID	Tipo de Suelo	Símbolo	% RET Malla N° 4	% Pasa Malla N° 200	CU	CC	** IP		
Limos Inorgánicos	ML	< 50	$< 0.73 (w_l - 20)$ $\dot{\delta} < 4$	Gravas	GW	$> 50\%$ de lo Ret. En 0.08mm	< 5	> 4	1 a 3			
	MH	> 50	$< 0.73 (w_l - 20)$		GP			≤ 6	$< 1 \text{ ó } > 3$			
Arcillas Inorgánicas	CL	< 50	$> 0.73 (w_l - 20)$ $v > 7$		GM		> 12					$< 0.73 (w_l - 20) \text{ ó } < 4$
	CH	> 50	$> 0.73 (w_l - 20)$		GC							$> 0.73 (w_l - 20) \text{ ó } > 7$
Limos o Arcillas Orgánicos	OL	< 50	** w _l seco al horno $\leq 75\%$ del w _l seco al aire	Arenas	SW	$< 50\%$ de lo Ret. En 0.08 mm	< 5	> 6	1 a 3			
	OH	> 50			SP			≤ 6	$< 1 \text{ ó } > 3$			
	Alfamente Orgánicos	P ₁			Materia orgánica fibrosa se carboniza, se quema o se pone incandescente.			SM	> 12			
SC			$> 0.73 (w_l - 20) \text{ y } > 7$									
				* Entre 5 y 12% usar símbolo doble como GW-GC, GP-GM, SW-SM, SP-SC.								
				** Si $IP \cong 0.73 (w_l - 20)$ ó si IP entre 4 y 7 e $IP > 0.73 (w_l - 20)$, usar símbolo doble: GM-GC, SM-SC.								
Si $IP \cong 0.73 (w_l - 20)$ ó si IP entre 4 y 7 E $IP > 0.73 (w_l - 20)$, usar símbolo doble: CL-ML, CH-OH				En casos dudosos favorecer clasificación menos plástica Ej: GW-GM en vez de GW-GC.								
** Si tiene olor orgánico debe determinarse adicionalmente w _l seco al horno				$CU = \frac{D_{60}}{D_{10}}$				$CC = \frac{D_{30}^2}{D_{60} * D_{10}}$				
En casos dudosos favorecer clasificación más plástica Ej: CH-MH en vez de CL-ML.												
Si $w_l = 50$; CL-CH ó ML-MH												

(Mora, S. 1988)

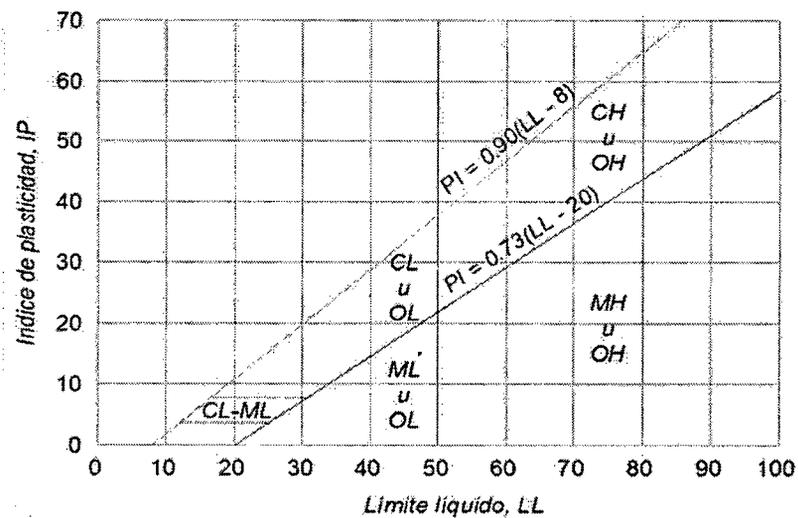


Fig.6 Carta de plasticidad para clasificación de suelos de partículas finas. (Mora, S. 1988)

1.2.12. Compactación

La compactación busca el mejoramiento de las propiedades mecánicas del suelo provocando un aumento de resistencia y una disminución en la capacidad de deformación. Además de estas propiedades, también encontramos la densificación del material lo que disminuye la permeabilidad y la erosión y brinda mayor estabilidad. (Juárez y Rico, 1975)

Las técnicas de compactación son de gran importancia en la mayoría de obras civiles para mejorar el suelo existente sin tener que aplicar sustitución. Tal es el caso de terraplenes de relleno, presas de tierra, pavimentos, cimentaciones, entre otros. En terrenos de arena suelta es mejor aplicar métodos de vibración que permiten una mejor densificación del material, tal como lo sugiere. (Braja, 2001)

La compactación depende de varios factores como por ejemplo:

- Tipo de suelo
- Distribución granulométrica
- Forma de partículas
- Energía de compactación
- contenido de humedad. (Shuan, 2004).

El primer método de compactación desarrollado fue el próctor estándar pero conforme se avanzó en tecnología y se desarrollaron mejores equipos de compactación en campo, se desarrolló el próctor modificado que aplica mayor energía a la muestra. La siguiente ecuación permite obtener la energía que se le aplica a la muestra. (Juárez y Rico, 1975)

La energía de compactación se define como:

$$Ee = \frac{N * w * n * h}{V}$$

Dónde:

E c = Energía de compactación, depende del tipo de ensayo

N = N° de golpes por capa

n = N° de capas

W = Peso del pisón

H = Altura de caída del pisón

V = Volumen del suelo compactado

Tabla4. Parámetros del Próctor Modificado

ASTM D 1557 Próctor Modificado		
Ec = Energía de Compactación	=	56,250 Lb.ft/ft3
W = Peso del martillo	=	10 lb
h = Altura de caída del martillo	=	18 pulgadas
N = Número de golpes por capas	=	depende del molde
n = Número de Capas	=	5
V = Volumen de molde cm3	=	depende del método de prueba

(Shuan, 2004)

Tabla 5. Determinación del Método a Utilizar Próctor Modificado

Determinación del Método ASTM D 1557 Próctor Modificado						
Método	% Acum. Retenido N°4	% Acum. Retenido 3/8"	% Acum. Retenido 3/4"	Material a usar	Vol. Molde (pie ³)	Golpes /capa
A	≤ 25%	-	-	Pasa N° 4	1/30	25
B	> 20%	≤ 20%	-	Pasa 3/8"	1/30	25
C	-	> 20%	≤ 30%	Pasa 3/4"	1/13.3	56

(Shuan, 2004)

- Método C Aplicable a material con 30% máximo retenido en tamiz ¾", si el material tiene más del 5% en peso de tamaño mayor al utilizado en la prueba, se debe corregir los resultados. (Shuan, 2004)

1.2.13. Contenido de Humedad Óptima

El contenido de agua bajo el cual se alcanza el máximo peso específico seco se llama contenido de agua óptimo.

La prueba de laboratorio usada generalmente para obtener el peso específico seco máximo de compactación y el contenido de agua óptimo es la prueba Próctor de compactación. (Braja 1985).

1.2.14. Densidad

Densidad Húmeda (Dh). Es el peso de la muestra del suelo contenida en la unidad de volumen, se determina como la relación entre el peso (Wm) y su volumen (Vm), se expresa en gr/cm³. (Llique, 2003).

$$Dh = \frac{Wm}{Vm}$$

Contenido de Humedad ($W\%$): Es la cantidad de agua que hay en una muestra de suelo, se determina como la relación que existe entre el peso del agua (W_w) contenida en la muestra y el peso de su fase solida (W_s), generalmente se expresa en porcentaje. (Llique, 2003).

$$W(\%) = \frac{W_w}{W_s} * 100$$

Densidad Seca (D_s). Máxima densidad seca obtenida del ensayo de compactación, se determina a partir de la densidad húmeda y el contenido de humedad con la fórmula que se detalla a continuación (Llique, 2003).

$$D_s = \frac{D_h}{(100 + W\%)} * 100$$

Dónde:

D_s : Densidad seca.

D_h : Densidad húmeda.

$W\%$: Contenido de humedad.

CAPÍTULO II

CAPÍTULO II. PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

2.1. Planteamiento del Problema

En algunos casos es difícil el transporte de material y a la vez costoso, debido a que hay lugares inaccesibles y distanciados, ante la necesidad de contar con un mecanismo más práctico, para determinar el contenido óptimo de humedad ya que dicha información es muy importante para realizar la compactación a nivel de subrasante se busca relacionar el índice de plasticidad con el contenido óptimo de humedad a través de una curva aplicativa, obtenida al realizar varios ensayos de diferentes muestras de suelos arcillosos sobre todo para estudios preliminares y para obras que son de poca envergadura y que servirá como alternativa para facilitar el trabajo.

2.1.1. Selección del Problema

Difícil acceso y alto costo en el transporte de muestras para realizar análisis en laboratorio para obtener el cálculo del contenido óptimo de humedad de suelos arcillosos sobre todo para estudios preliminares y obras que son de poca envergadura.

2.1.2. Formulación del Problema

¿Cuál es la influencia del índice plástico en el contenido óptimo de humedad en suelos arcillosos?

2.1.3. Justificación de la Investigación

- Existen lugares inaccesibles y grandes distancias para el transporte del material que se va analizar en laboratorio de mecánica de suelos (30 a 50kg por muestra) dificulta realizar estudios de suelos por la cantidad de muestra que se necesita.

- La presente investigación contribuirá a tener información del óptimo contenido de humedad de suelos arcillosos, sobre todo para estudios preliminares y para obras que son de poca envergadura, facilitará también el avance del trabajo y permitirá asumir decisiones técnicas en campo al momento de realizar la compactación de subrasantes durante la construcción, realizándose también la evaluación del análisis granulométrico y límites de consistencia.
- La finalidad de esta investigación es obtener una curva aplicativa del contenido óptimo de humedad con el índice de plasticidad facilitando así el trabajo para obtener el contenido óptimo de humedad a través de la evaluación del índice de plasticidad.

2.1.4. Limitaciones y restricciones de la Investigación

Alcances

La presente investigación tiene como propósito determinar una curva aplicativa de la influencia del índice de plasticidad en el contenido óptimo de humedad de suelos arcillosos del distrito de Cajamarca (muestras de material arcilloso de la cantera maqui maqui, cantera carachugo, talud de la carretera cajamarca-shicuana, cajamarca-bambamarca, cajamarca-otuzco, cajamarca-conga), información que servirá de guía para facilitar el trabajo.

Limitaciones

El estudio y la obtención de la curva aplicativa se realizarán con la evaluación de suelos arcillosos de alta y baja plasticidad del distrito de Cajamarca, debido a que la presente investigación se realizará únicamente con suelos arcillosos del distrito antes mencionado.

2.2. Objetivos de la Investigación

2.2.1. Objetivo General

➤ Determinar la influencia del índice de plasticidad en el contenido óptimo de humedad de suelos arcillosos.

2.2.2. Objetivos Específicos

➤ Determinar el índice plástico de las muestras arcillosas.

➤ Determinar el contenido óptimo de humedad de las muestras arcillosas.

➤ Elaborar la curva aplicativa del índice de plasticidad vs contenido de humedad óptima.

2.3. HIPÓTESIS

➤ Si el índice de plasticidad se incrementa, entonces el óptimo contenido de humedad también se incrementa en los suelos arcillosos.

2.4. VARIABLES

➤ Independiente

El índice plástico de suelos arcillosos.

➤ Dependiente

El contenido óptimo de humedad de suelos arcillosos.

2.5. Tipos de Investigación y análisis

2.5.1. Tipo de Investigación

Teniendo en cuenta el propósito de la investigación y de acuerdo a lo que se pretende analizar, este estudio corresponde a una investigación experimental.

2.5.2. Tipo de Análisis

Causa –Efecto

2.6. Metodología y Procedimiento

2.6.1. Criterios para la ubicación de calicatas y muestreo

Para la ubicación de las calicatas de manera práctica se tomó en cuenta en campo las características de suelos arcillosos, siendo estas las muestras básicas para el desarrollo de la presente tesis de investigación y debido a la dificultad para realizar todas las calicatas, también se recolectó muestras en taludes de carreteras (cajamarca-shicuana, cajamarca-bambamarca, cajamarca-otuzco, cajamarca-conga) donde existía material arcilloso en el distrito de Cajamarca.

Con el propósito de obtener dicha información se empleó la excavación manual de calicatas (0.5m x 0.5m x 0.50m), en la mayoría de casos se extrajo la muestra de taludes.

Se recolectaron las muestras y se colocó en bolsas plásticas las que se identificaron mediante tarjetas en las cuales se colocaron el N° de calicata, y se describió las características del suelo.

2.6.2. Ensayos de Laboratorio

Para el desarrollo del presente tesis de investigación se realizaron los siguientes ensayos en el laboratorio de suelos.

2.6.2.1. Ensayo de Análisis Granulométrico

Material

- Muestra seca aproximadamente 1500 gr.

Equipos empleados para realizar el análisis granulométrico.

- Una balanza. Con sensibilidad de 0.1 g para pesar material.
- Tamices de malla cuadrada: 4,76 mm (N° 4), 2,00 mm (N° 10), 0,840 mm (N° 20), 0,425 mm (N° 40), 0,250 mm (N° 60), 150 mm (N° 100) y 0,075 mm (N° 200).
- Estufa, capaz de mantener temperaturas uniformes y constantes hasta de $110 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ ($230 \pm 9 \text{ }^\circ\text{F}$).
- Recipientes adecuados para el manejo y secado de las muestras.
- Cepillo y brocha, para limpiar las mallas de los tamices.

Procedimiento para análisis granulométrico mediante tamizado por lavado.

- Se ha secado la muestra y mediante cuarteo se ha separado 500g de muestra seca (W_s).
- Se colocó la muestra en un recipiente, se cubrió con agua y dejó durante 24 horas.
- Luego se tamizó la muestra por la malla N° 200 mediante chorro de agua.
- La muestra retenida en la malla N°200 se retiró en un recipiente y se dejó secar.
- Se tamizó la muestra por un juego de tamices, agitando manualmente.
- Determiné los porcentajes de los pesos retenidos en cada tamiz (%RP).

$$\%RP = \frac{PRP}{W_s} * 100$$

- Se determinó los porcentajes retenidos acumulados en cada tamiz %RA, para lo cual se sumaron en forma progresiva los %RP, es decir.

$$\%RA1 = \%RP1$$

$$\%RA2 = \%RP1 + \%RP2$$

$$\%RA3 = \%RP1 + \%RP2 + \%RP3, \text{ etc.}$$

- Determiné los porcentajes acumulados que pasan en cada tamiz.

$$\%quepasa = 100\% - \%R.A$$

- Finalmente he dibujado la curva granulométrica en escala semilogarítmica, en el eje de las abscisas se registró la abertura de las mallas en milímetros, y en el eje de ordenadas se registra los porcentajes acumulados que pasan en las mallas que se utilizan.

2.6.2.2. Ensayo de Límite Líquido

Material

- Suelo seco que pasa la malla N° 40

Equipos empleados:

- Cápsula de porcelana de 115 mm (4 ½") de diámetro aproximadamente.
- Espátula de hoja flexible de unos 75 a 100 mm (3" – 4") de longitud y 20 mm (¾") de ancho aproximadamente.

- Aparato del límite líquido (Copa de Casagrande).
- Acanalador.
- Recipientes de material resistente a la corrosión, y cuya masa no cambie con repetidos calentamientos y enfriamientos, identificando cada una de las taras.
- Balanza con sensibilidad de 0.1 gr.
- Horno Termostáticamente controlado y que pueda conservar temperaturas de $110 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ ($230 \pm 9 \text{ }^\circ\text{F}$) para secar la muestra.

Procedimiento:

- Se tomó una muestra que pese 150 - 200 g de una porción de material completamente mezclado que pase el tamiz de 0.425 mm (N° 40).
- En una cápsula de porcelana se mezcló el suelo con agua mediante una espátula hasta obtener una pasta uniforme, dejándolo saturar 24 horas.
- Se colocó una porción de la pasta en la copa de casagrande, nivelándose mediante la espátula hasta obtener un espesor de 1cm.
- En el centro se realizó una ranura con el acanalador de tal manera que la muestra quedó dividida en dos partes.
- Se elevó y dejó caer la copa mediante la manivela a razón de 2 caídas por segundo hasta que las dos mitades del suelo se pongan en contacto en la parte inferior de la ranura y a lo largo de 1.27 cm se registró el número de golpes.
- Mediante la espátula se retiró la porción de suelo que se ha puesto en contacto en la parte inferior de la ranura y se colocó en una tara para determinar su contenido de humedad.
- Se retiró el suelo remanente de la copa de Casagrande y coloqué en la cápsula de porcelana. Agregué agua si el número de golpes del ensayo anterior ha sido alto, en algunos casos deje perder humedad agregando suelo seco si el número de golpes ha sido bajo (el número de golpes debe estar comprendido entre 6 y 35).
- Luego lavé y sequé la copa junto con el acanalador.
- Se repitió el ensayo como mínimo 2 veces más.
- Dibujé la curva de fluidez (la recta) en escala semilogarítmica, en el eje de las abscisas se registró el número de golpes en escala logarítmica, en el eje de ordenadas los contenidos de humedad en escala natural.

- Se determinó la ordenada correspondiente a los 25 golpes en la curva de fluidez, este valor será el límite líquido del suelo.

2.6.2.3. Ensayo de Límite Plástico

Material

- Una porción de mezcla preparada para el límite líquido.

Equipos empleados para hallar el Límite Plástico.

- Espátula, de hoja flexible, de unos 75 a 100 mm (3" – 4") de longitud por 20 mm (3/4") de ancho.
- Capsula de porcelana, agua.
- Taras identificadas para Almacenaje.
- Balanza, con aproximación a 0.1g.
- Horno termostáticamente controlado regulable a 110 ± 5 °C (230 ± 9 °F).
- Placa de vidrio grueso esmerilado.

Procedimiento:

- A la porción de mezcla preparada para el límite líquido se colocó sobre una placa de vidrio de tal manera que la pasta baje su contenido de humedad.
- Se enrolló la muestra con la mano sobre una placa de vidrio hasta obtener cilindros de 3 mm. de diámetro y que presente agrietamientos, culminado este proceso determinamos su contenido de humedad.
- Se repitió el ensayo una vez más.
- Finalmente el límite plástico es el promedio de los 2 valores de contenidos de humedad.

2.6.2.4. Compactación Próctor Modificado

Materiales

- Equipo de próctor modificado (molde cilíndrico 4", placa de base y anillo de extensión).
- Pisón próctor modificado
- Balanza con precisión de 1 gr.
- Estufa con control de temperatura.
- Probeta 1000 ml., recipientes, espátulas y taras identificadas

Procedimiento de la Compactación

- Obtuve la muestra seca para el ensayo, de acuerdo al método a utilizar (método A).
- Preparé 5 muestras con una determinada cantidad de agua, de tal manera que el contenido de humedad de cada una de ellas varié aproximadamente en 1 ½ % entre ellas.
- Ensamblé el molde cilíndrico con la placa de base y el collar de extensión y el papel filtro.
- Se compactó cada muestra en 5 capas y cada capa a 25 golpes, al terminar de compactar la última capa, se retiró el collar de extensión, se enrasó con la espátula.
- Determiné el contenido de humedad de cada muestra compactada (w%), utilizando muestras representativas de la parte central.
- Luego se determinó la densidad húmeda (Dh).
- También determiné la densidad seca de cada muestra compactada (Ds).

$$Ds = \frac{Dh}{\left(1 + \frac{W\%}{100}\right)}$$

- Dibujé la curva de compactación en escala natural, los datos de contenido de humedad se registra en el eje de las abscisas y los datos de densidad seca en el eje de ordenadas. Finalmente determiné la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad.

2.7. Diseño Metodológico

2.7.1. El Universo de la Investigación

Suelos arcillosos del distrito de Cajamarca.

2.7.2. Técnicas e Instrumentos para Obtener los Datos

Técnicas de Recolección de Información.

Identificamos muestras arcillosas del distrito de Cajamarca para luego extraer muestra mediante excavación de calicatas y taludes realizando la evaluación en

laboratorio: Análisis granulométrico, límite líquido, límite plástico, próctor modificado.

Instrumentos de Recolección de Información.

Equipos necesarios de laboratorio de mecánica de suelos para realizar análisis granulométrico, límite líquido, límite plástico, próctor modificado.

Registro de resultados obtenidos en laboratorio de suelos.

2.7.3. Población de la Investigación

Se realizó la evaluación de 15 diferentes muestras de Suelos arcillosos del distrito de Cajamarca (muestras de material arcilloso de la cantera maqui maqui, cantera carachugo, talud de la carretera cajamarca-shicuana, cajamarca-bambamarca, cajamarca-otuzco, cajamarca-conga).

La presente investigación se basa en un diseño experimental realizando estadísticamente la prueba de normalidad de Anderson – Darling.

$$\text{Tamaño de muestra : } n = \frac{Z^2 S^2}{E^2}$$

Confianza 95% :	Z=	1.96
Desviación estándar :	S=	5
Error de muestreo :	E=	2.55

Por lo tanto $n = 15$ muestras

2.7.4. Forma de Tratamiento de los Datos

Por la gran cantidad de datos a procesar se utilizaron hojas de cálculo excel y el software minitab, las que facilitaron el procesamiento de los mismos para su análisis y evaluación.

2.7.5. Forma de Análisis de las Informaciones

Relacionar el índice de plasticidad con el contenido óptimo de humedad a través de una curva aplicativa, obtenida al realizar 15 ensayos de diferentes muestras de suelos arcillosos de alta y baja plasticidad del distrito de Cajamarca.

CAPÍTULO III

CAPÍTULO III. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1. Resultado de la Investigación

En el proceso de investigación se ha logrado conseguir una curva aplicativa del índice de plasticidad con el contenido óptimo de humedad, realizando la evaluación de los siguientes ensayos: granulometría, límite líquido, límite plástico, compactación próctor modificado, clasificación de suelos mediante el sistema AASHTO y SUCS.

3.1.1. Resultados de los ensayos realizados en el Laboratorio de Suelos.

Tabla 6. Análisis granulométrico muestra N° 1

Tamiz N°	aber.(mm)	% que pasa
3"	76.200	100.00
2"	50.300	96.80
1 1/2"	38.100	96.20
1"	25.400	94.20
3/4"	19.050	93.40
1/2"	12.700	91.80
3/8"	9.525	90.20
1/4"	6.350	87.60
N°4	4.760	85.50
N 10	2.000	81.50
N 20	0.840	77.30
N 30	0.590	75.00
N 40	0.426	72.60
N 60	0.250	68.10
N 100	0.149	64.00
N 200	0.074	58.20

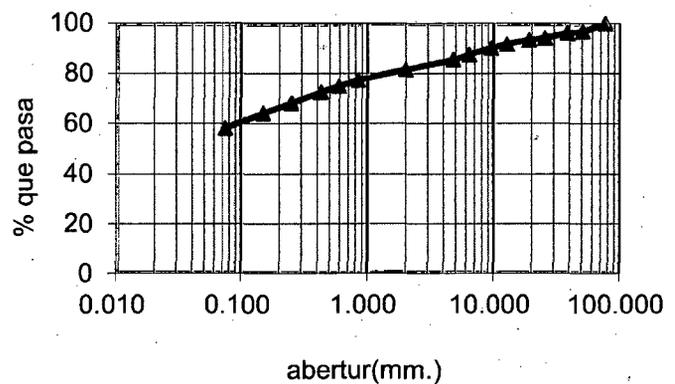


Fig.7 Curva granulométrica muestra N° 1.

Tabla 7. Límites de consistencia muestra N° 1

PESOS	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
	M1	M2	M3	LP1	LP2
W(%)	41.81	43.64	45.53	18.45	19.01
Nº.Golpes	35	25	16	.....	....
LL/LP (%)	43.66			18.73	

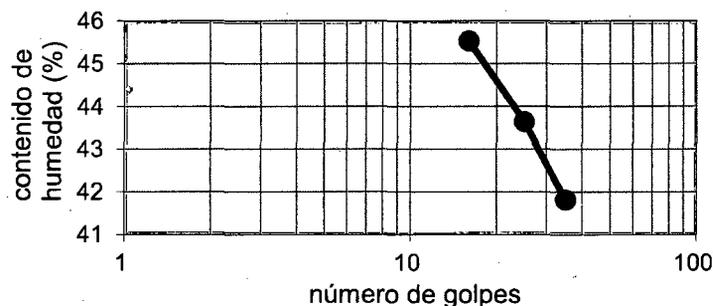


Fig.8 Grafica límite líquido muestra N° 1.

Tabla 8. Proctor modificado muestra N° 1

PUNTO	P1	P2	P3	P4	P5
Contenido de Humedad (%)	15.43	17.35	19.29	21.20	23.14
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.59	1.63	1.66	1.64	1.58

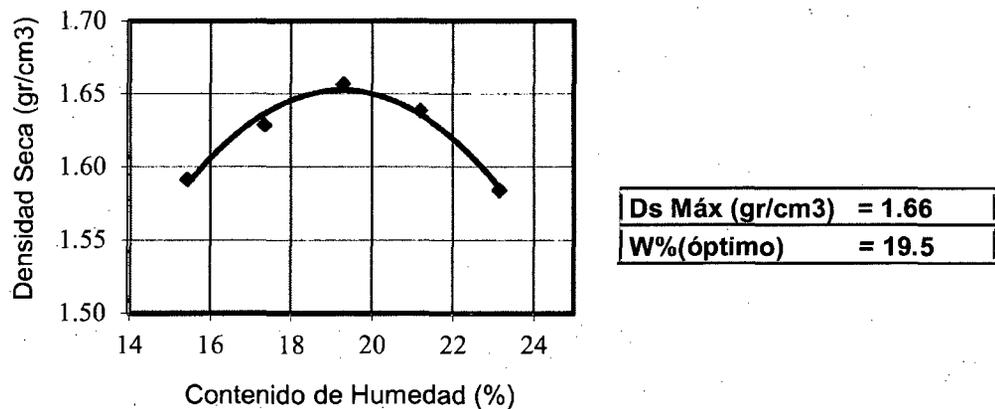


Fig.9 Densidad seca vs contenido de humedad optima muestra N° 1.

Tabla 9. Análisis granulométrico muestra N° 2

TAMIZ N°	ABER.(mm)	% QUE PASA
3"	76.200	100.00
2"	50.300	98.20
1 1/2"	38.100	97.30
1"	25.400	95.70
3/4"	19.050	94.30
1/2"	12.700	92.20
3/8"	9.525	90.80
1/4"	6.350	88.80
N°4	4.760	87.30
N 10	2.000	83.00
N 20	0.840	78.10
N 30	0.590	75.30
N 40	0.426	72.20
N 60	0.250	66.80
N 100	0.149	61.50
N 200	0.074	54.80

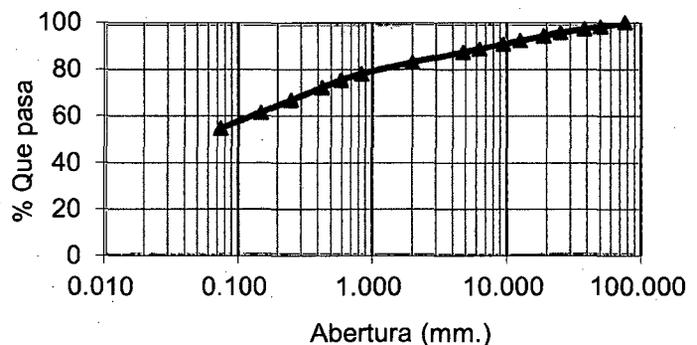


Fig.10 Curva granulométrica muestra N° 2.

Tabla 10. Límites de consistencia muestra N° 2

PESOS	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
	M1	M2	M3	LP1	LP2
W(%)	46.35	48.25	50.10	21.00	21.86
Nº.Golpes	35	25	16	.....	.....
LL/LP (%)	48.23			21.43	

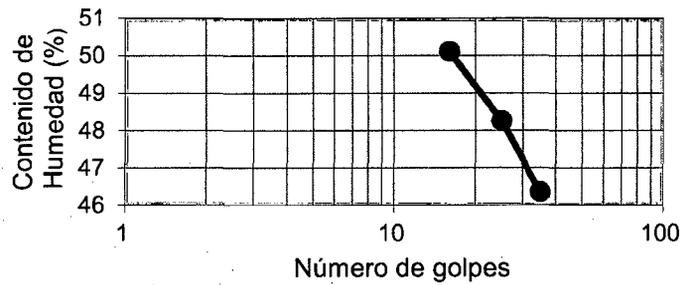


Fig.11 Grafica límite líquido muestra N° 2.

Tabla 11. Proctor modificado muestra N° 2

PUNTO	P1	P2	P3	P4	P5
Contenido de Humedad (%)	15.84	17.77	19.93	22.09	23.64
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.52	1.58	1.62	1.61	1.57

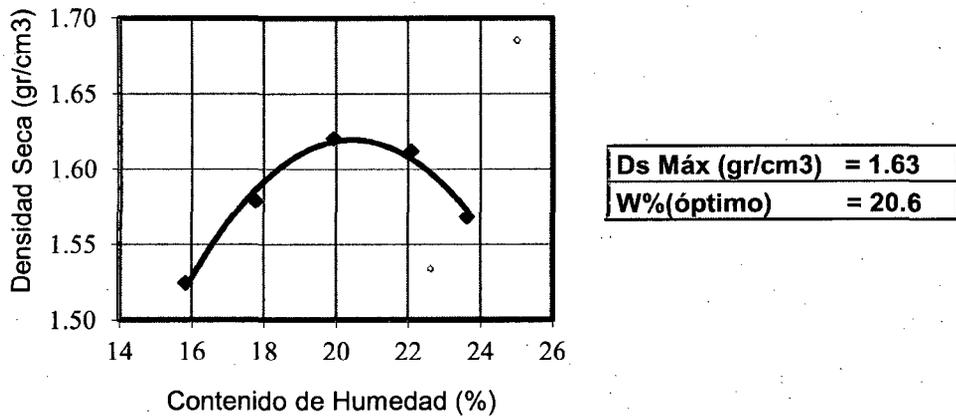


Fig.12 Densidad seca vs contenido de humedad óptima muestra N° 2.

Tabla 12. Análisis granulométrico muestra N° 3

TAMIZ N°	ABER.(mm)	% QUE PASA
1 1/2"	38.100	100.00
1"	25.400	98.40
3/4"	19.050	97.70
1/2"	12.700	97.20
3/8"	9.525	96.60
1/4"	6.350	95.90
N°4	4.760	95.10
N 10	2.000	91.80
N 20	0.840	88.30
N 30	0.590	86.60
N 40	0.426	84.80
N 60	0.250	81.80
N 100	0.149	79.10
N 200	0.074	74.80

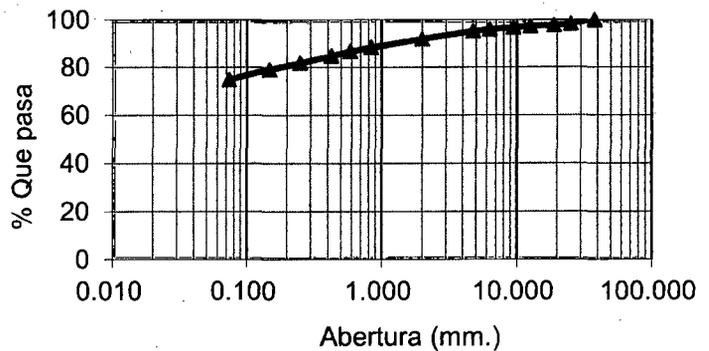


Fig.13 Curva granulométrica muestra N° 3.

Tabla 13. Límites de consistencia muestra N° 3.

PESOS	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
	M1	M2	M3	LP1	LP2
W(%)	44.52	46.47	48.36	25.76	25.88
Nº.Golpes	35	25	16	.....	....
LL/LP (%)	46.45			25.82	

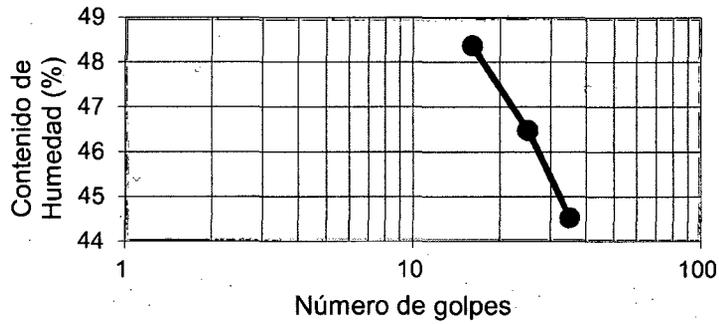


Fig.14 Grafica límite líquido muestra N° 3.

Tabla 14. Proctor modificado muestra N° 3

PUNTO	P1	P2	P3	P4	P5
Contenido de Humedad (%)	26.83	28.73	30.64	32.59	34.52
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.32	1.36	1.39	1.36	1.31

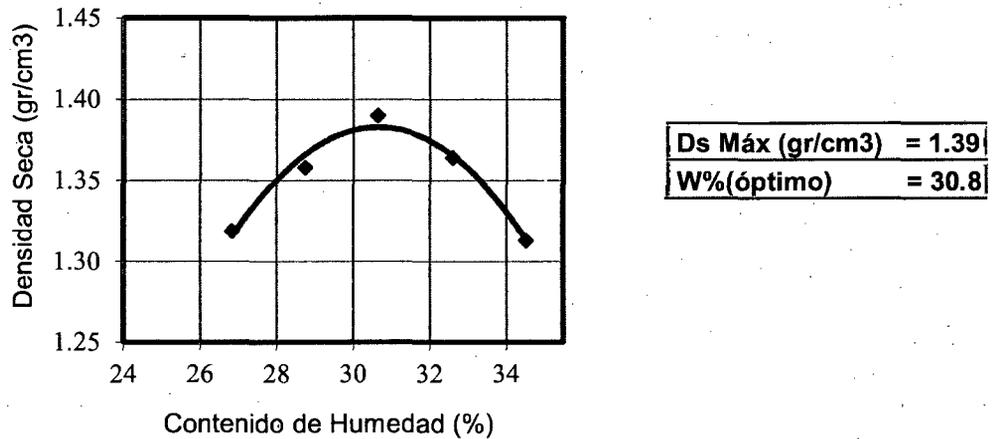


Fig.15 Densidad seca vs contenido de humedad óptima muestra N° 3.

Tabla 15. Análisis granulométrico muestra N° 4

TAMIZ		% QUE
N°	ABER.(mm)	PASA
2"	50.300	100.00
1 1/2"	38.100	99.50
1"	25.400	98.60
3/4"	19.050	97.80
1/2"	12.700	93.90
3/8"	9.525	90.40
1/4"	6.350	86.69
N°4	4.760	83.20
N 10	2.000	74.62
N 20	0.840	68.98
N 30	0.590	67.03
N 40	0.426	65.33
N 60	0.250	62.80
N 100	0.149	60.66
N 200	0.074	57.35

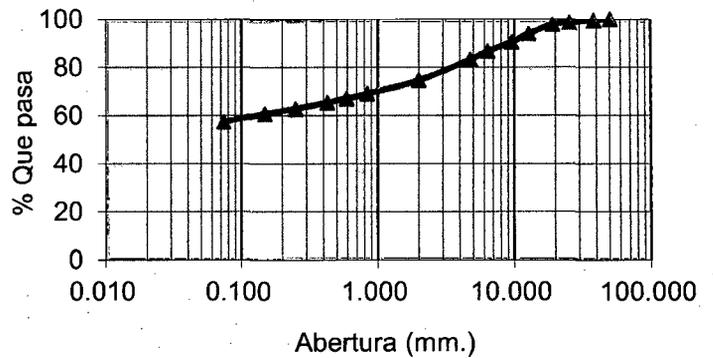


Fig.16 Curva granulométrica muestra N° 4.

Tabla 16. Limites de consistencia muestra N° 4.

PESOS	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
	M1	M2	M3	LP1	LP2
W(%)	48.65	50.58	52.50	27.73	28.07
Nº.Golpes	35	24	16	.....	.....
LL/LP (%)	50.58			27.90	

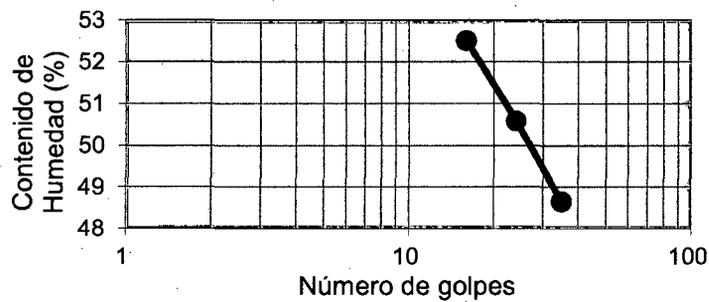


Fig.17 Grafica límite líquido muestra N° 4.

Tabla 17. Proctor modificado muestra N° 4.

PUNTO	P1	P2	P3	P4	P5
Contenido de Humedad (%)	17.41	19.39	21.37	23.23	25.19
Densidad Seca (gr/cm3)	1.52	1.56	1.60	1.56	1.51

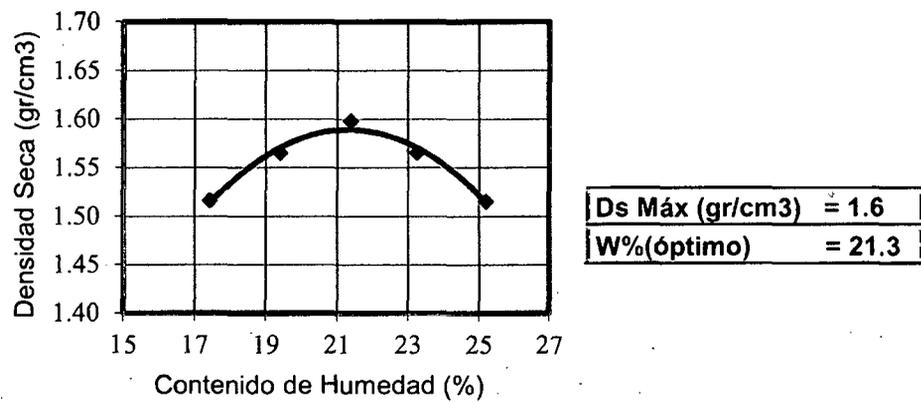


Fig.18 Densidad seca vs contenido de humedad optima muestra N° 4.

Tabla 18. Análisis granulométrico muestra N° 5.

N°	TAMIZ ABER.(mm)	% QUE PASA
2"	50.300	100.00
1 1/2"	38.100	100.00
1"	25.400	97.30
3/4"	19.050	95.00
1/2"	12.700	91.30
3/8"	9.525	89.30
1/4"	6.350	86.30
N°4	4.760	84.30
N 10	2.000	79.90
N 20	0.840	74.80
N 30	0.590	72.00
N 40	0.426	69.20
N 60	0.250	63.90
N 100	0.149	58.70
N 200	0.074	51.20

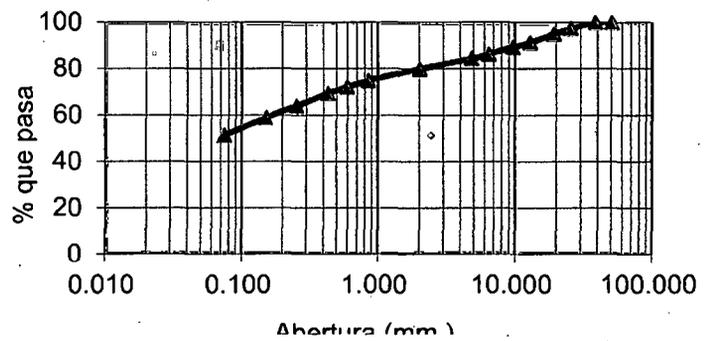


Fig.19 Curva granulométrica muestra N° 5.

Tabla 19. Límites de consistencia muestra N° 5.

PESOS	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
	M1	M2	M3	LP1	LP2
W(%)	52.30	54.30	56.25	26.07	27.04
Nº.Golpes	35	24	16	.....	....
LL/LP (%)	54.28			26.55	

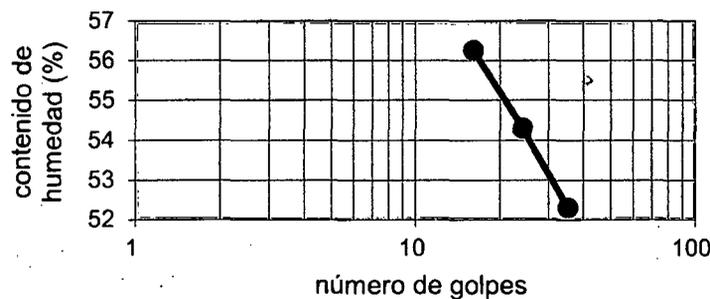


Fig.20 Grafica límite líquido muestra N° 5.

Tabla 20. Proctor modificado muestra N° 5.

PUNTO	P1	P2	P3	P4	P5
Contenido de Humedad (%)	15.36	17.71	20.07	21.97	24.14
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.63	1.68	1.70	1.66	1.62

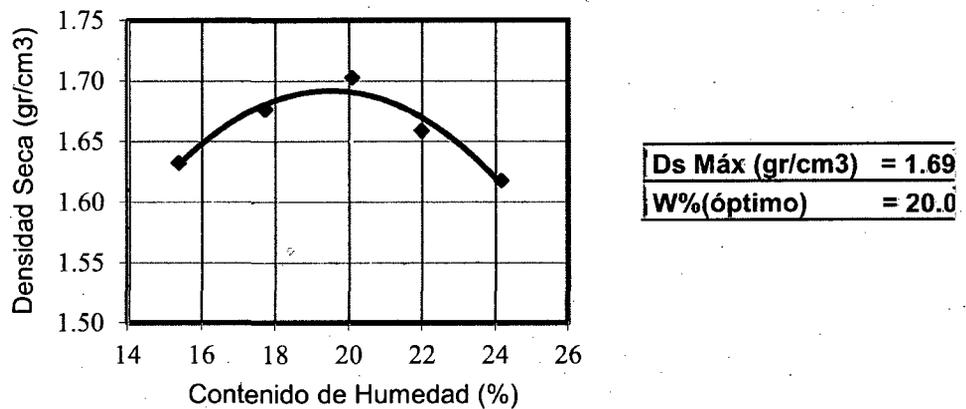


Fig.21 Densidad seca vs contenido de humedad optima muestra N° 5.

Tabla 21. Análisis granulométrico muestra N° 6.

N°	TAMIZ ABER.(mm)	% QUE PASA
3"	76.200	100.00
2"	50.300	96.50
1 1/2"	38.100	96.20
1"	25.400	94.90
3/4"	19.050	93.50
1/2"	12.700	91.50
3/8"	9.525	89.70
1/4"	6.350	87.40
N°4	4.760	85.80
N 10	2.000	82.30
N 20	0.840	78.40
N 30	0.590	76.20
N 40	0.426	73.90
N 60	0.250	69.30
N 100	0.149	64.50
N 200	0.074	57.10

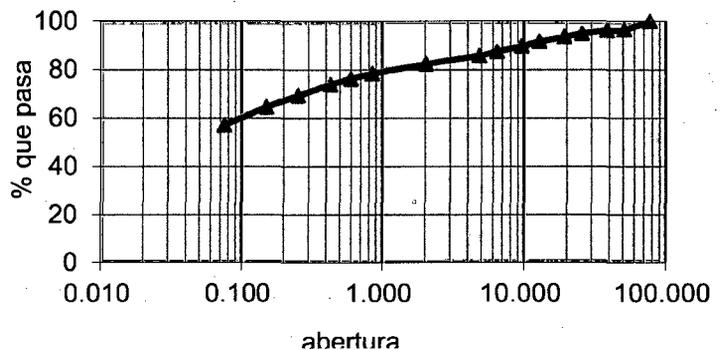


Fig.22 Curva granulométrica muestra N° 6.

Tabla 22. Límites de consistencia muestra N° 6.

PESOS	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
	M1	M2	M3	LP1	LP2
W(%)	46.67	48.51	50.40	24.80	25.69
Nº.Golpes	35	25	16	.....	....
LL/LP (%)	48.53			25.24	

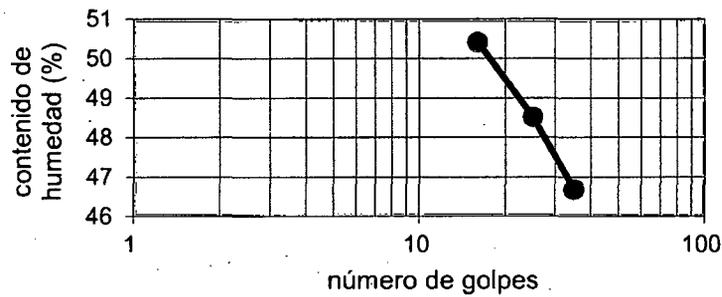


Fig.23 Grafica límite líquido muestra N° 6.

Tabla 23. Proctor modificado muestra N° 6.

PUNTO	P1	P2	P3	P4	P5
Contenido de Humedad (%)	14.40	16.32	18.21	20.16	22.09
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.59	1.63	1.65	1.64	1.60

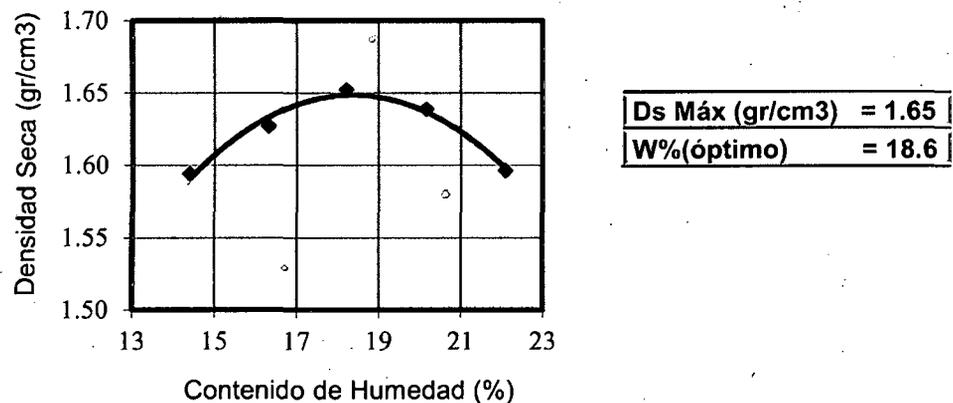


Fig.24 Densidad seca vs contenido de humedad optima muestra N° 6.

Tabla 24. Análisis granulométrico muestra N° 7.

N°	TAMIZ ABER.(mm)	% QUE PASA
3"	76.200	100.00
2"	50.300	97.40
1 1/2"	38.100	97.40
1"	25.400	96.40
3/4"	19.050	94.90
1/2"	12.700	90.90
3/8"	9.525	88.30
1/4"	6.350	85.80
N°4	4.760	83.30
N 10	2.000	79.40
N 20	0.840	76.20
N 30	0.590	72.00
N 40	0.426	68.40
N 60	0.250	62.50
N 100	0.149	59.80
N 200	0.074	58.50

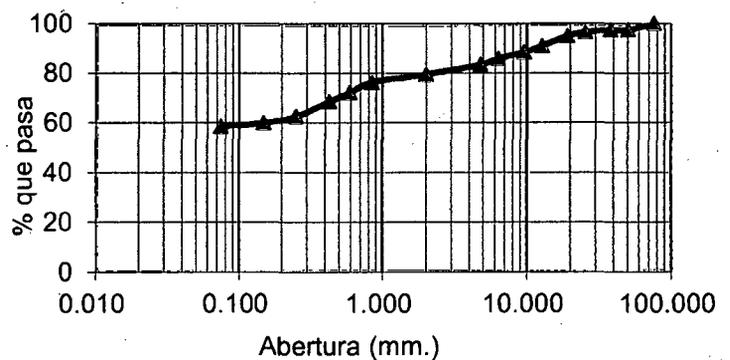


Fig.25 Curva granulométrica muestra N° 7.

Tabla 25. Límites de consistencia muestra N° 7.

PESOS	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
	M1	M2	M3	LP1	LP2
W(%)	46.82	48.83	50.68	26.62	25.35
Nº.Golpes	33	23	16	.....	....
LL/LP (%)	48.78			25.98	

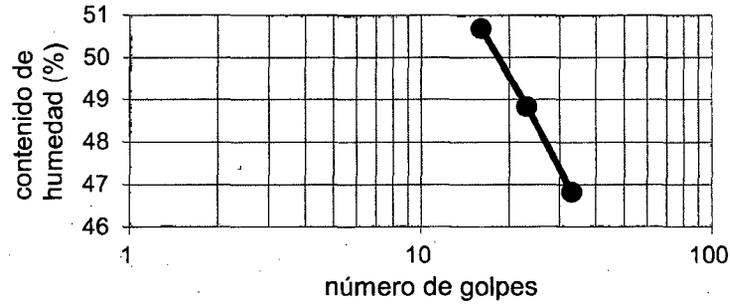


Fig.26 Grafica límite líquido muestra N° 7.

Tabla 26. Proctor modificado muestra N° 7.

PUNTO	P1	P2	P3	P4	P5
Contenido de Humedad (%)	21.74	23.33	25.01	27.53	28.09
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.47	1.56	1.65	1.63	1.57

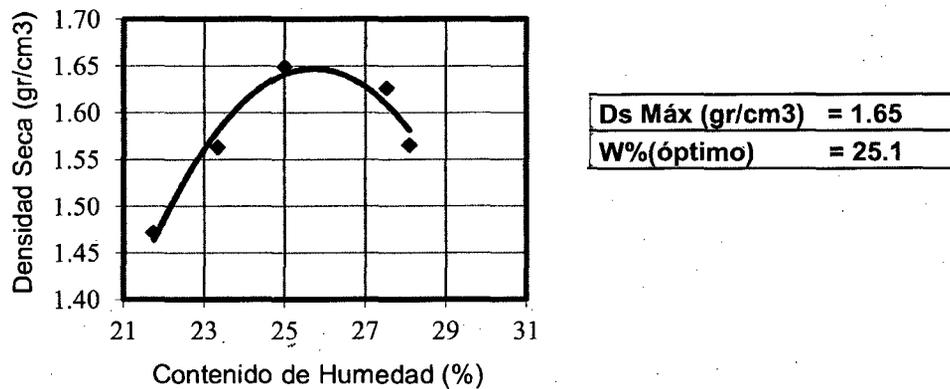


Fig.27 Densidad seca vs contenido de humedad óptima muestra N° 7.

Tabla 27. Análisis granulométrico muestra N° 8.

N°	TAMIZ ABER.(mm)	% QUE PASA
3"	76.200	100.00
2"	50.300	98.20
1 1/2"	38.100	96.90
1"	25.400	95.90
3/4"	19.050	94.60
1/2"	12.700	90.10
3/8"	9.525	86.00
1/4"	6.350	80.50
N°4	4.760	74.60
N 10	2.000	64.20
N 20	0.840	56.20
N 30	0.590	53.70
N 40	0.426	51.60
N 60	0.250	48.70
N 100	0.149	46.30
N 200	0.074	42.50

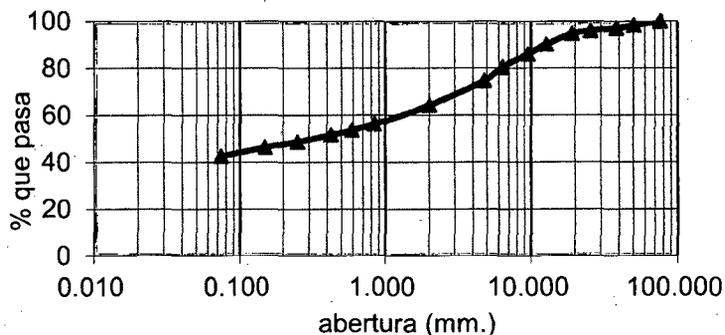


Fig.28 Curva granulométrica muestra N° 8.

Tabla 28. Limites de consistencia muestra N° 8.

PESOS	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
	M1	M2	M3	LP1	LP2
W(%)	33.80	35.60	37.54	19.02	19.63
N°.Golpes	35	25	17	....	....
LL/LP (%)	35.65			19.33	

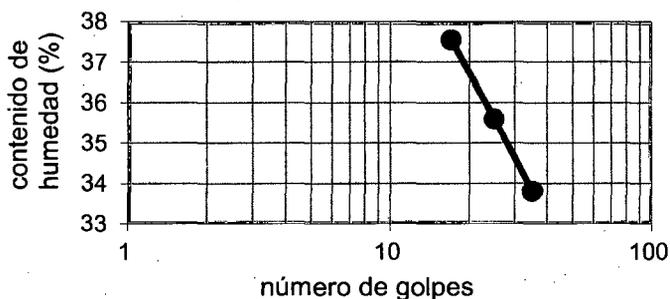


Fig.29 Grafica límite líquido muestra N° 8.

Tabla 29. Proctor modificado muestra N° 8.

PUNTO	P1	P2	P3	P4	P5
Contenido de Humedad (%)	15.87	17.77	19.72	21.68	23.57
Densidad Seca (gr/cm3)	1.56	1.60	1.65	1.64	1.59

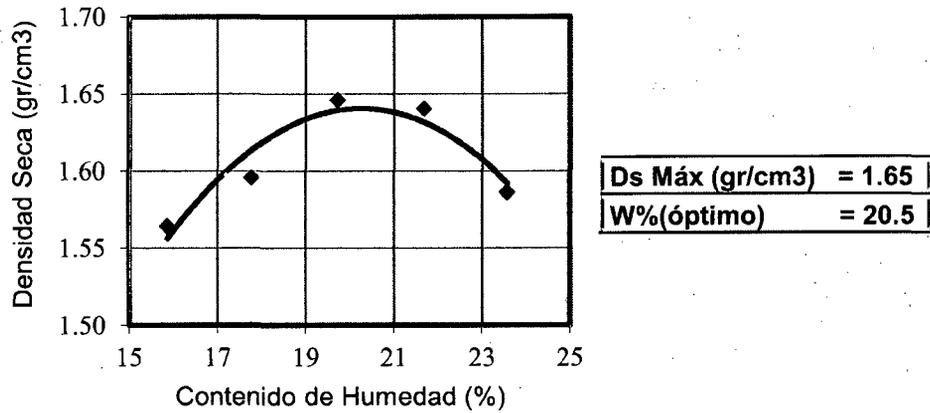


Fig.30 Densidad seca vs contenido de humedad optima muestra N° 8.

Tabla 30. Análisis granulométrico muestra N° 9.

N°	TAMIZ ABER.(mm)	% QUE PASA
3"	76.200	95.10
2"	50.300	90.50
1 1/2"	38.100	89.40
1"	25.400	87.00
3/4"	19.050	85.50
1/2"	12.700	82.10
3/8"	9.525	80.30
1/4"	6.350	76.70
N°4	4.760	74.70
N 10	2.000	69.00
N 20	0.840	63.00
N 30	0.590	60.30
N 40	0.426	58.10
N 60	0.250	55.00
N 100	0.149	52.50
N 200	0.074	49.30

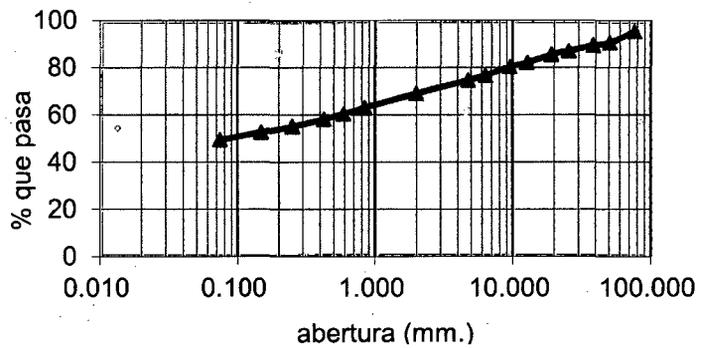


Fig.31 Curva granulométrica muestra N° 9.

Tabla 31. Limites de consistencia muestra N° 9.

PESOS	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
	M1	M2	M3	LP1	LP2
W(%)	37.37	39.23	41.21	17.35	17.69
Nº.Golpes	35	25	17	.....	.....
LL/LP (%)	39.27			17.52	

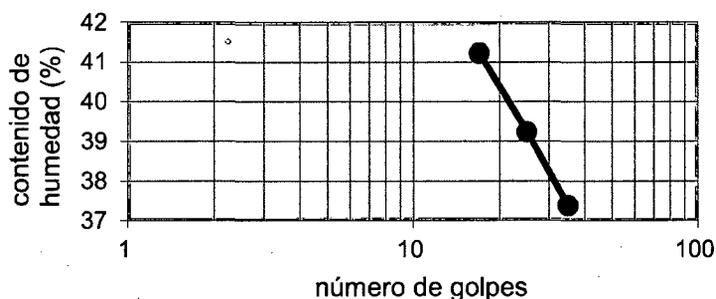


Tabla 32. Proctor modificado muestra N° 9.

PUNTO	P1	P2	P3	P4	P5
Contenido de Humedad (%)	11.53	13.48	15.46	17.44	19.42
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.65	1.73	1.79	1.75	1.66

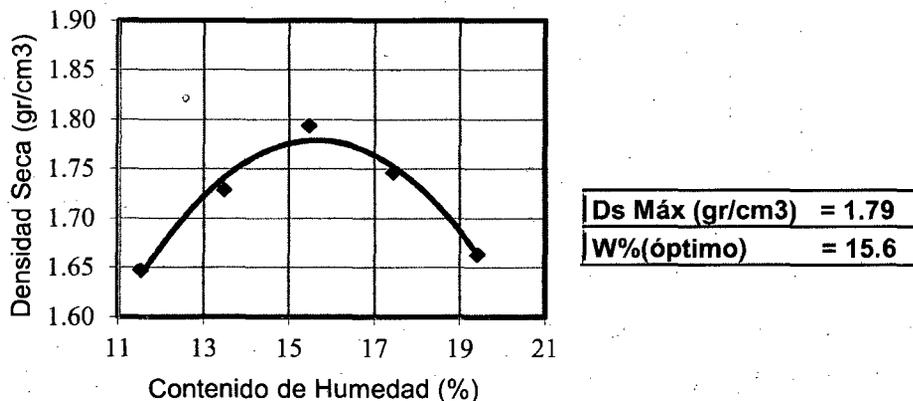


Fig.33 Densidad seca vs contenido de humedad optima muestra N° 9.

Tabla 33. Análisis granulométrico muestra N° 10.

TAMIZ N°	ABER.(mm)	% QUE PASA
3"	76.200	
2"	50.300	100.00
1 1/2"	38.100	95.80
1"	25.400	94.70
3/4"	19.050	94.10
1/2"	12.700	92.40
3/8"	9.525	91.20
1/4"	6.350	89.50
N°4	4.760	87.10
N 10	2.000	81.80
N 20	0.840	76.10
N 30	0.590	73.40
N 40	0.426	71.30
N 60	0.250	66.50
N 100	0.149	64.70
N 200	0.074	60.40

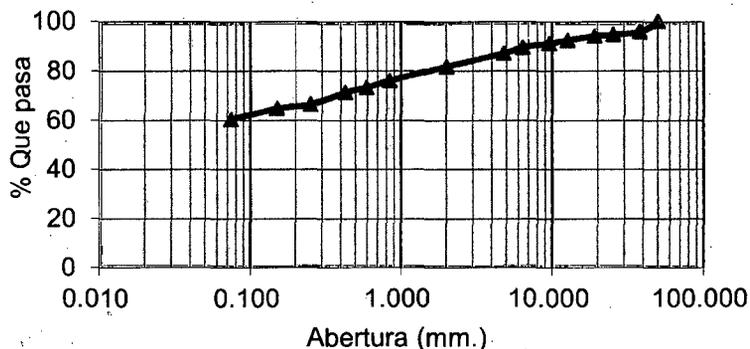


Fig.34 Curva granulométrica muestra N° 10.

Tabla 34. Límites de consistencia muestra N° 10.

PESOS	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
	M1	M2	M3	LP1	LP2
W(%)	55.84	56.76	57.84	24.21	24.95
Nº.Golpes	35	25	15	.....	....
LL/LP (%)	56.81			24.58	

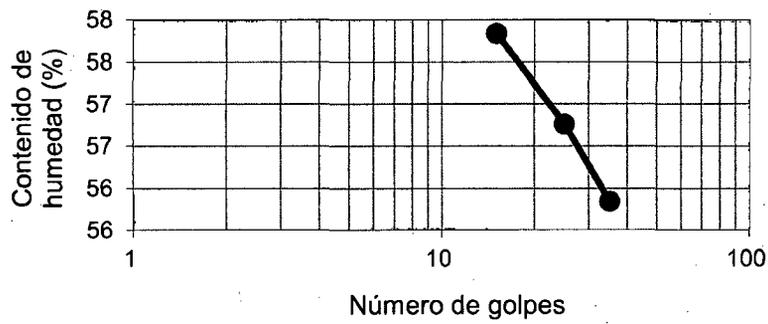
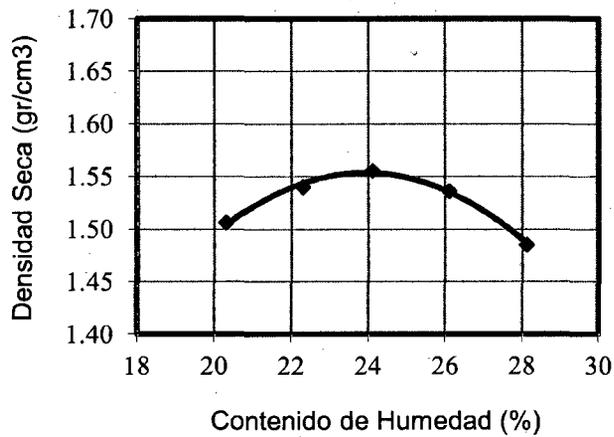


Fig.35 Grafica límite líquido muestra N° 10.

Tabla 35. Proctor modificado muestra N° 10.

PUNTO	P1	P2	P3	P4	P5
Contenido de Humedad (%)	20.31	22.31	24.11	26.10	28.12
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.51	1.54	1.56	1.54	1.49



Ds Máx (gr/cm³)	= 1.56
W%(óptimo)	= 24.4

Fig.36 Densidad seca vs contenido de humedad optima muestra N° 10.

Tabla 36. Análisis granulométrico muestra N° 11.

N°	TAMIZ ABER.(mm)	% QUE PASA
3"	76.200	100.00
2"	50.300	100.00
1 1/2"	38.100	100.00
1"	25.400	100.00
3/4"	19.050	99.70
1/2"	12.700	99.70
3/8"	9.525	99.50
1/4"	6.350	99.20
N°4	4.760	98.90
N 10	2.000	98.90
N 20	0.840	98.60
N 30	0.590	98.30
N 40	0.426	97.80
N 60	0.250	96.20
N 100	0.149	93.10
N 200	0.074	90.80

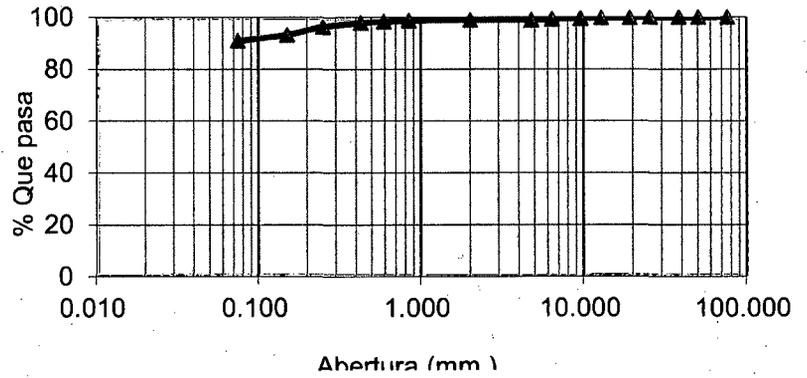


Fig.37 Curva granulométrica muestra N° 11.

Tabla 37. Limites de consistencia muestra N° 11.

PESOS	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
	M1	M2	M3	LP1	LP2
W(%)	54.67	56.66	59.10	31.14	31.35
N°.Golpes	35	26	15	.....	....
LL/LP (%)	56.81			31.24	

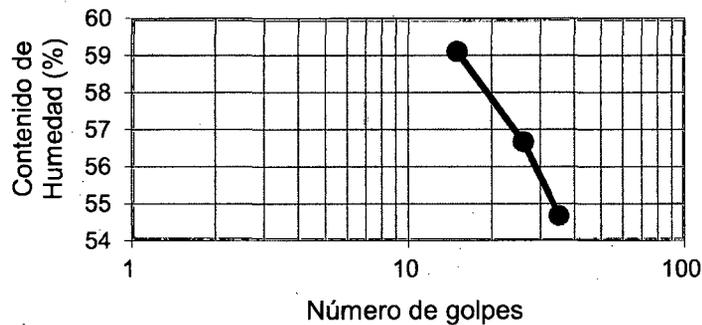


Fig.38 Grafica límite líquido muestra N° 11.

Tabla 38. Proctor modificado muestra N° 11.

PUNTO	P1	P2	P3	P4	P5
Contenido de Humedad (%)	28.27	30.83	32.12	33.40	37.49
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.34	1.41	1.43	1.39	1.31

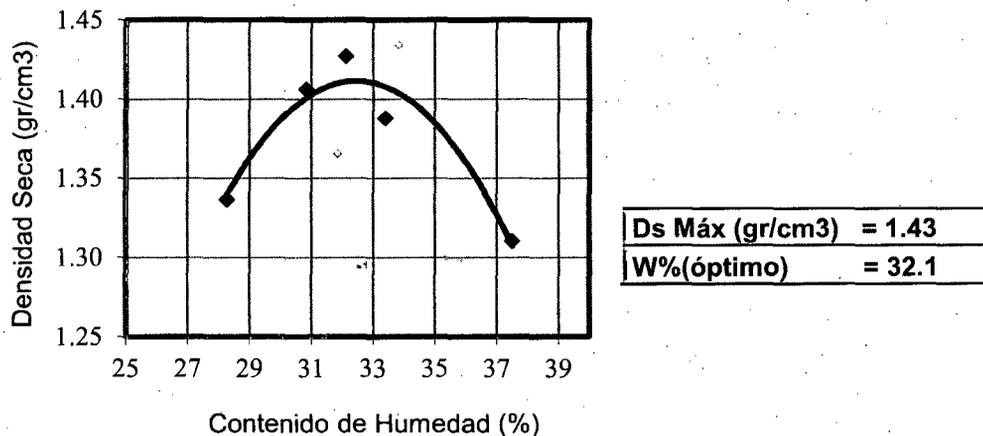


Fig.39 Densidad seca vs contenido de humedad optima muestra N° 11.

Tabla 39. Análisis granulométrico muestra N° 12.

N°	TAMIZ ABER.(mm)	% QUE PASA
3"	76.200	100.00
2"	50.300	100.00
1 1/2"	38.100	100.00
1"	25.400	99.20
3/4"	19.050	98.60
1/2"	12.700	97.50
3/8"	9.525	96.70
1/4"	6.350	95.50
N°4	4.760	95.10
N 10	2.000	91.50
N 20	0.840	87.90
N 30	0.590	86.50
N 40	0.426	85.40
N 60	0.250	83.40
N 100	0.149	81.60
N 200	0.074	77.80

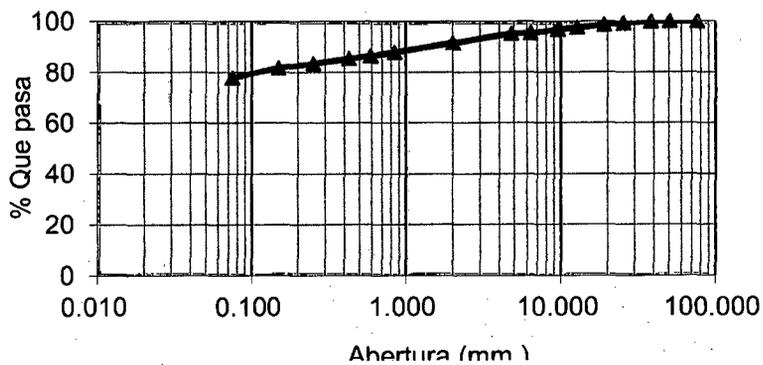


Fig.40 Curva granulométrica muestra N° 12.

Tabla 40. Límites de consistencia muestra N° 12.

PESOS	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
	M1	M2	M3	LP1	LP2
W(%)	52.00	53.78	55.68	26.35	26.17
Nº.Golpes	35	25	16	....	....
LL/LP (%)	53.82			26.26	

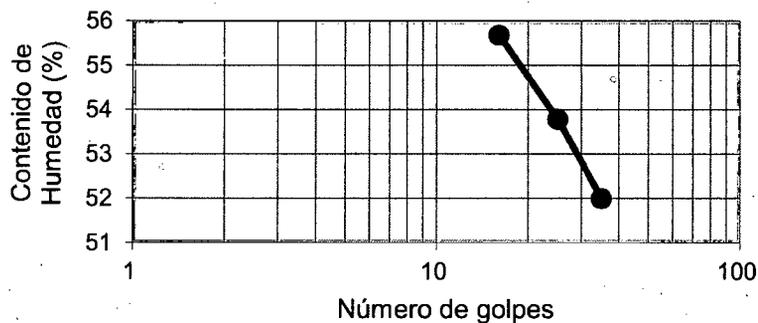


Fig.41 Grafica límite líquido muestra N° 12.

Tabla 41. Proctor modificado muestra N° 12.

PUNTO	P1	P2	P3	P4	P5
Contenido de Humedad (%)	28.63	31.86	35.48	37.32	38.41
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.39	1.43	1.41	1.37	1.35

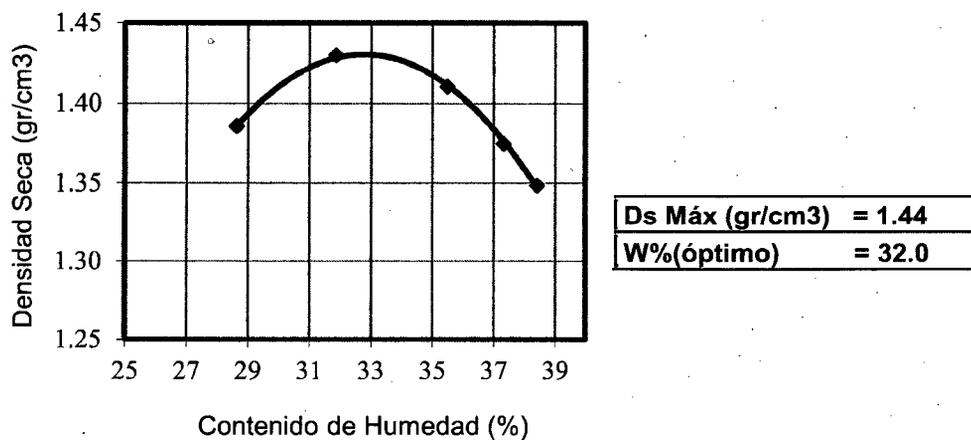


Fig.42 Densidad seca vs contenido de humedad optima muestra N° 12.

Tabla 42. Análisis granulométrico muestra N° 13.

TAMIZ N°	ABER.(mm)	% QUE PASA
3"	76.200	
2"	50.300	100.00
1 1/2"	38.100	99.20
1"	25.400	97.90
3/4"	19.050	96.60
1/2"	12.700	94.50
3/8"	9.525	93.30
1/4"	6.350	90.70
N°4	4.760	87.60
N 10	2.000	82.50
N 20	0.840	77.90
N 30	0.590	75.00
N 40	0.426	73.90
N 60	0.250	70.90
N 100	0.149	67.10
N 200	0.074	61.60

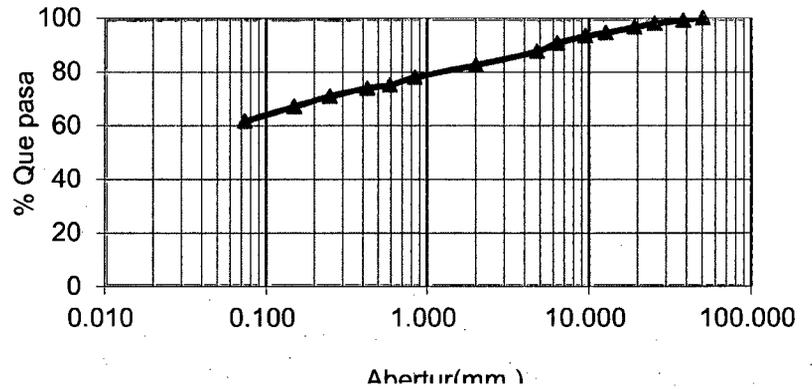


Fig.43 Curva granulométrica muestra N° 13.

Tabla 43. Limites de consistencia muestra N° 13.

PESOS	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
	M1	M2	M3	LP1	LP2
W(%)	50.80	52.00	53.50	27.71	27.76
Nº.Golpes	35	25	15	.....	....
LL/LP (%)	52.10			27.74	

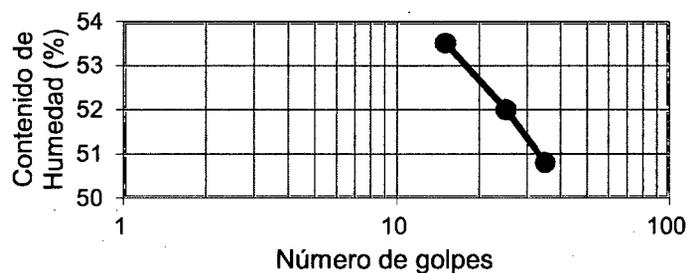
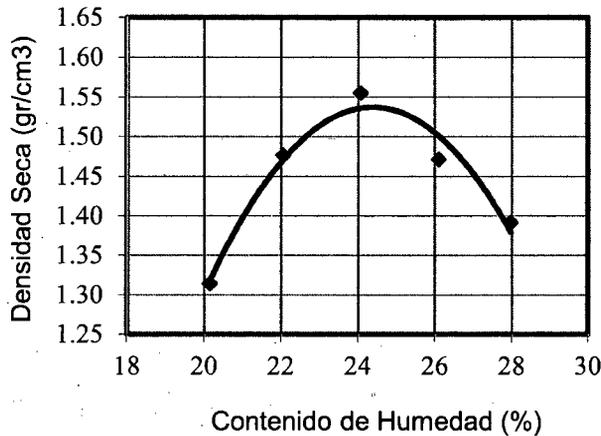


Fig.44 Grafica límite líquido muestra N° 13.

Tabla 44. Proctor modificado muestra N° 13.

PUNTO	P1	P2	P3	P4	P5
Contenido de Humedad (%)	20.15	22.06	24.08	26.10	27.97
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.31	1.48	1.55	1.47	1.39



Ds Máx (gr/cm³) = 1.56
W%(óptimo) = 24.1

Fig.45 Densidad seca vs contenido de humedad optima muestra N° 13.

Tabla 45. Análisis granulométrico muestra N° 14.

N°	TAMIZ ABER.(mm)	% QUE PASA
3"	76.200	
2"	50.300	100.00
1 1/2"	38.100	99.70
1"	25.400	98.40
3/4"	19.050	96.70
1/2"	12.700	93.90
3/8"	9.525	92.00
1/4"	6.350	90.70
N°4	4.760	87.90
N 10	2.000	80.60
N 20	0.840	73.60
N 30	0.590	70.30
N 40	0.426	68.20
N 60	0.250	63.80
N 100	0.149	59.70
N 200	0.074	54.90

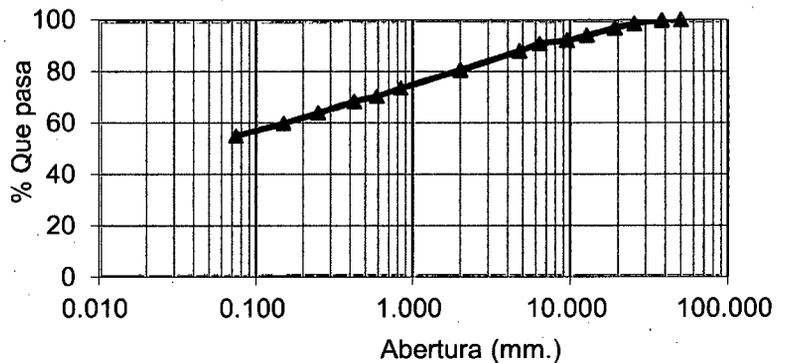


Fig.46 Curva granulométrica muestra N° 14.

Tabla 46. Límites de consistencia muestra N° 14.

PESOS	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
	M1	M2	M3	LP1	LP2
W(%)	50.07	51.30	52.79	26.72	26.83
Nº.Golpes	35	25	15	.....	....
LL/LP (%)	51.39			26.77	

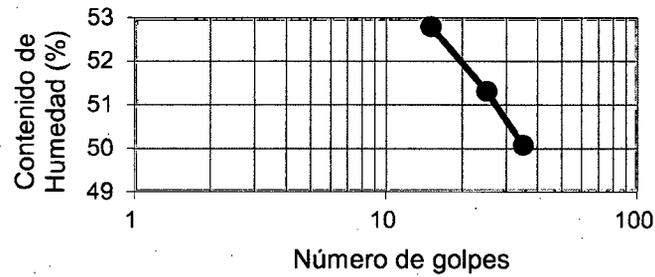


Fig.47 Grafica límite líquido muestra N° 14.

Tabla 47. Proctor modificado muestra N° 14.

PUNTO	P1	P2	P3	P4	P5
Contenido de Humedad (%)	14.25	16.08	18.03	20.00	22.05
Densidad Seca (gr/cm3)	1.36	1.48	1.60	1.51	1.42

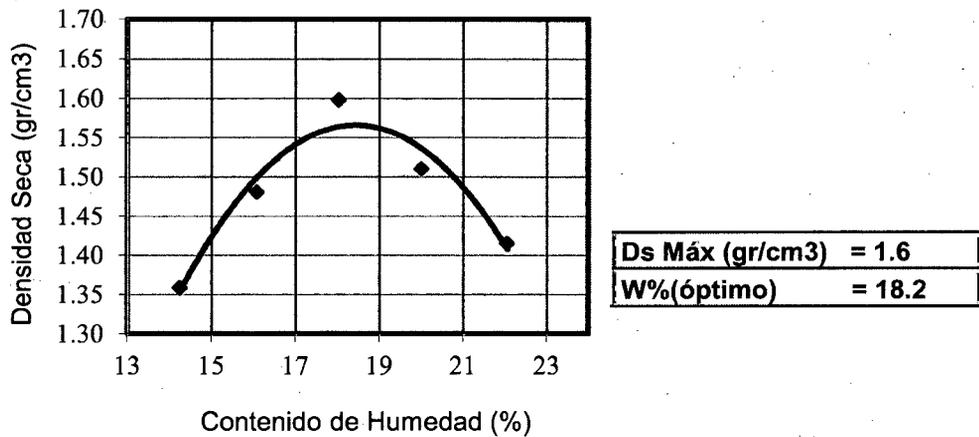


Fig.48 Densidad seca vs contenido de humedad óptima muestra N° 14.

Tabla 48. Análisis granulométrico muestra N° 15.

TAMIZ N°	ABER.(mm)	% QUE PASA
3"	76.200	
2"	50.300	100.00
1 1/2"	38.100	93.30
1"	25.400	91.50
3/4"	19.050	90.50
1/2"	12.700	89.00
3/8"	9.525	88.20
1/4"	6.350	84.80
N°4	4.760	80.00
N 10	2.000	76.70
N 20	0.840	72.80
N 30	0.590	70.40
N 40	0.426	69.30
N 60	0.250	66.00
N 100	0.149	64.00
N 200	0.074	60.40

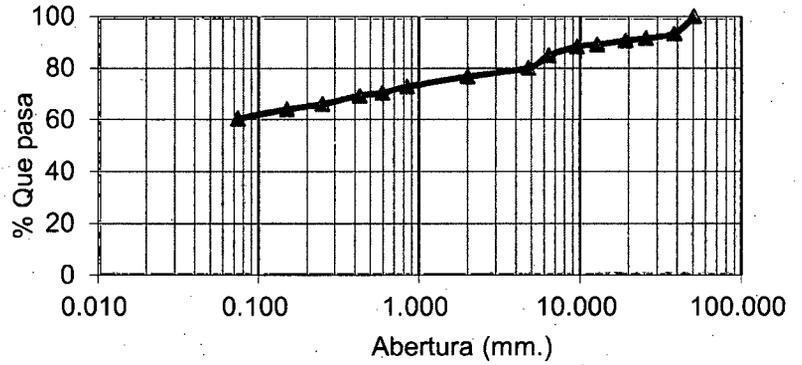


Fig.49 Curva granulométrica muestra N° 15.

Tabla 49. Limites de consistencia muestra N° 15.

PESOS	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
	M1	M2	M3	LP1	LP2
W(%)	55.85	57.03	58.02	22.78	22.77
N°.Golpes	34	25	15	.....	....
LL/LP (%)	56.97			22.78	

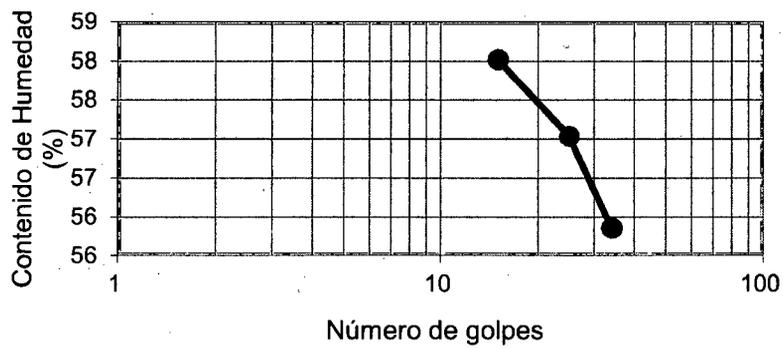


Fig.50 Grafica límite líquido muestra N° 15.

Tabla 50. Proctor modificado muestra N° 15.

PUNTO	P1	P2	P3	P4	P5
Contenido de Humedad (%)	18.43	20.44	22.49	24.48	11.94
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.53	1.59	1.58	1.54	2.75

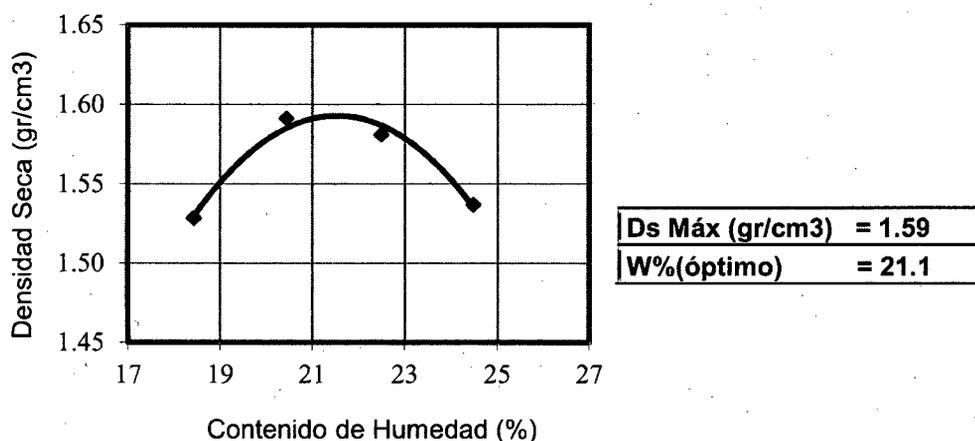


Fig.51 Densidad seca vs contenido de humedad optima muestra N° 15.

Tabla 51. Clasificación de los suelos y parámetros de compactación.

Muestra N°	LL	LP	IP	CLASIFICACIÓN		DsMáx (gr/cm ³)	W%(óptimo)
				AASHTO	SUCS		
M-1	43.66	18.73	24.93	A-7 (14)	CL	1.66	19.50
M-2	48.23	21.43	26.80	A-7 (12)	CL	1.63	20.60
M-3	46.45	25.82	20.63	A-7 (15)	CL	1.39	30.80
M-4	50.58	27.90	22.67	A-7 (13)	CH	1.60	21.30
M-5	54.28	26.55	27.73	A-7 (11)	CH	1.69	20.00
M-6	48.53	25.24	23.29	A-7 (13)	CL	1.65	18.60
M-7	48.78	25.98	22.80	A-7 (13)	CL	1.65	25.10
M-8	35.65	19.33	16.32	A-6 (3)	CL	1.65	20.50
M-9	39.27	17.52	21.75	A-6(7)	CL	1.79	15.60
M-10	56.81	24.58	32.23	A-7(20)	CH	1.56	24.40
M-11	56.81	31.24	25.56	A-7(20)	CH	1.43	32.10
M-12	53.82	26.26	27.56	A-7(20)	CH	1.44	32.00
M-13	52.10	27.74	24.36	A-7 (15)	CH	1.56	24.10
M-14	51.39	26.77	24.61	A-7 (11)	CH	1.60	18.20
M-15	56.97	22.78	34.19	A-7(20)	CH	1.59	21.10

3.1.2. Análisis suelos arcillosos de alta plasticidad.

Del gráfico observamos que se obtiene el máximo contenido de humedad óptima (32.5%) cuando el valor del índice de plasticidad crece hasta 29, también se observa que cuando el índice de plasticidad sigue creciendo el óptimo contenido de humedad decrece a partir de los valores antes mencionados.

Tabla 52. Resultados de arcillas de alta plasticidad.

Muestra Nº	LL	LP	IP	CLASIFICACIÓN		DsMáx (gr/cm3)	W%(óptimo)
				AASHTO	SUCS		
M-4	50.58	27.90	22.67	A-7 (13)	CH	1.60	21.30
M-5	54.28	26.55	27.73	A-7 (11)	CH	1.69	20.00
M-10	56.81	24.58	32.23	A-7(20)	CH	1.56	24.40
M-11	56.81	31.24	25.56	A-7(20)	CH	1.43	32.10
M-12	53.82	26.26	27.56	A-7(20)	CH	1.44	32.00
M-13	52.10	27.74	24.36	A-7 (15)	CH	1.56	24.10
M-14	51.39	26.77	24.61	A-7 (11)	CH	1.60	18.20
M-15	56.97	22.78	34.19	A-7(20)	CH	1.59	21.10

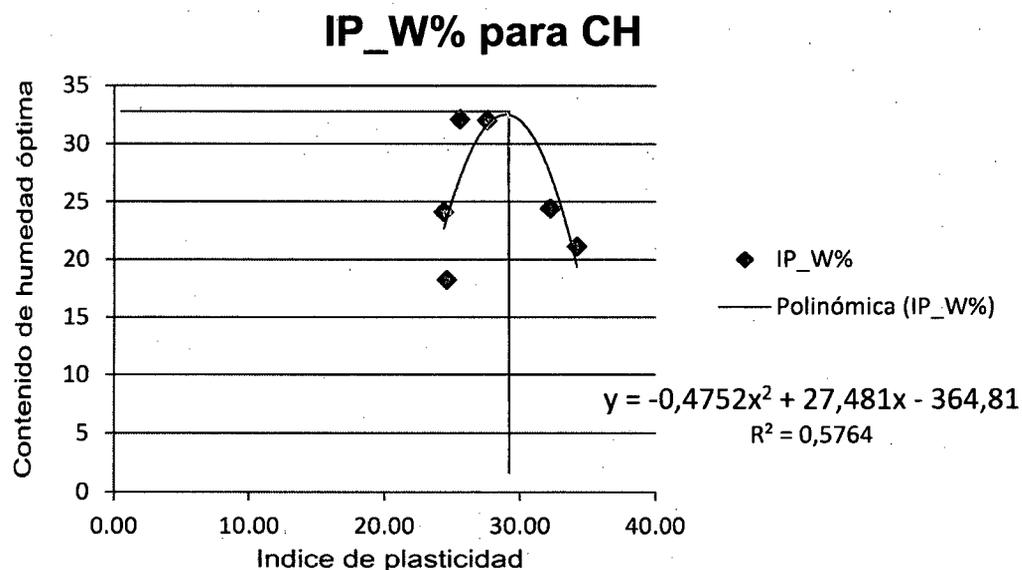


Fig.52 Curva aplicativa índice de plasticidad vs contenido de humedad óptima para arcillas de alta plasticidad.

El 57.6% del W% es explicado por el IP, dejando un 42.4% para otros factores y el azar. Con coeficiente de determinación: $R^2=0.576$

3.1.3. Análisis para suelos arcillosos de baja plasticidad.

Del grafico observamos que se obtiene el máximo contenido de humedad óptima (28%) cuando el valor del índice de plasticidad crece hasta 20.05, también se observa que cuando el índice de plasticidad sigue creciendo el óptimo contenido de humedad decrece a partir de los valores antes mencionados.

Tabla 53. Resultados de arcillas de baja plasticidad.

Muestra N°	LL	LP	IP	CLASIFICACIÓN		DsMáx (gr/cm3)	W%(óptimo)
				AASHTO	SUCS		
M-1	43.66	18.73	24.93	A-7 (14)	CL	1.66	19.50
M-2	48.23	21.43	26.80	A-7 (12)	CL	1.63	20.60
M-3	46.45	25.82	20.63	A-7 (15)	CL	1.39	30.80
M-6	48.53	25.24	23.29	A-7 (13)	CL	1.65	18.60
M-7	48.78	25.98	22.80	A-7 (13)	CL	1.65	25.10
M-8	35.65	19.33	16.32	A-6 (3)	CL	1.65	20.50
M-9	39.27	17.52	21.75	A-6(7)	CL	1.79	15.60

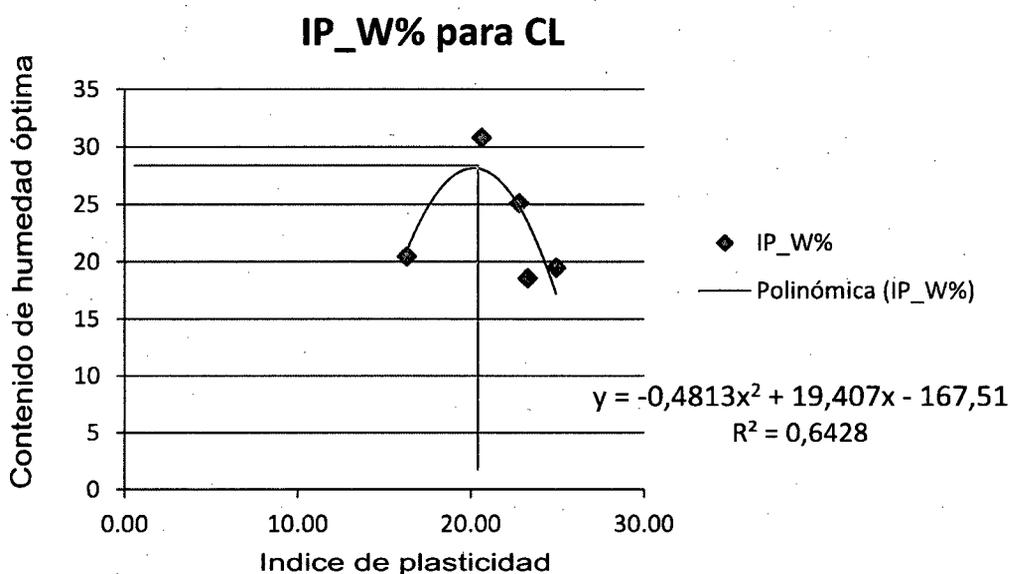


Fig.53 Curva aplicativa índice de plasticidad vs contenido de humedad óptima para arcillas de baja plasticidad.

El 64.2% del w% es explicado por el IP, dejando un 35.8% para otros factores y el azar. Con coeficiente de determinación: $R^2=0.642$.

3.2. Análisis de la Información

El modelo teórico que representa la correlación entre las variables observadas índice de plasticidad y contenido óptimo de humedad, para nuestro caso es una ecuación polinómica de segundo grado, el modelo estimado será de la forma:

$$y_i = b_1 x^2 + b_2 x + b_3$$

Donde: y_i = Contenido de humedad óptima.

X_i = Índice de plasticidad

Para el desarrollo de la presente investigación se ha evaluado 15 muestras diferentes de suelos arcillosos del distrito de Cajamarca, recopilado de 6 lugares diferentes: 02 muestras de la cantera maqui maqui de material arcilloso, 01 muestras del talud de la carretera cajamarca-shicuana, 04 muestras del talud de la carretera cajamarca-bambamarca, 01 muestras del talud de la carretera cajamarca-otuzco, 04 muestras de la cantera carachugo de material arcilloso, 03 muestras del talud de la carretera cajamarca – conga.

Obteniéndose la ecuación de la relación IP_W% para arcillas de alta plasticidad:

$$y = -0,4752x^2 + 27,481x - 364,81$$

Así como la ecuación de la relación IP_W% para arcillas de baja plasticidad:

$$y = -0,4813x^2 + 19,407x - 167,51$$

3.3. Interpretación de la Información

De la evaluación de 15 muestras de suelos arcillosos de alta y baja plasticidad del distrito de Cajamarca se llega a la siguiente interpretación: el índice de plasticidad tiene un valor límite en el cual se obtiene el máximo contenido de humedad óptima, a partir del valor límite cuando el índice de plasticidad sigue incrementándose el máximo contenido de humedad empieza a decrecer.

CAPÍTULO IV

CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES

4.1. Conclusiones

- El índice de plasticidad a medida que se va incrementando llega a un valor máximo con el cual se obtiene el máximo contenido de humedad óptima para suelos arcillosos de alta y baja plasticidad.
- Una vez obtenido el máximo contenido de humedad óptima a medida que se incrementa el índice de plasticidad el máximo contenido de humedad óptima decrece para suelos arcillosos de alta y baja plasticidad del distrito de Cajamarca.
- Para arcillas de alta plasticidad se obtiene el máximo contenido de humedad óptima (32.5%) cuando el valor del índice de plasticidad crece hasta 29, también se observa que cuando el índice de plasticidad sigue creciendo el óptimo contenido de humedad decrece.
- Para arcillas de baja plasticidad se obtiene el máximo contenido de humedad óptima (28%) cuando el valor del índice de plasticidad crece hasta 20.05, también cuando el índice de plasticidad sigue creciendo el óptimo contenido de humedad decrece.

4.2. Recomendaciones

- Se recomienda realizar estudios de investigación sobre la influencia del índice de plasticidad en el contenido óptimo de humedad en suelos granulares.

BIBLIOGRAFÍA

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Das, Braja M. (2001), “Fundamentos de Ingeniería Geotécnica” Y “Principios de Ingeniería de Cimentaciones”.
- Luisa Shuan Lucas (2004), “Laboratorio de Mecánica de Suelos” Universidad Nacional de Ingeniería – FIC.
- Meter Huyen Wihem(1996), Mecánica de Suelos.
- (Manual Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona, 1999).
- Rosa Haydee Llique Mondragón (2003) - Manual de Laboratorio de Mecánica de Suelos- Editorial Universitaria UNC.
- Universidad Nacional de Ingeniería – FIC (2006), “Laboratorio de Mecánica de Suelos”.
- Samuel Mora Quiñones (1998), Mecánica de Suelos y Diseño de Pavimentos.
- Vivar Romero, Germán (1991), “Diseño y Construcción de Pavimentos”, Ediciones CIP.
- Wilfredo Gutiérrez Lazares (2004), “Laboratorio de Mecánica de Suelos” Universidad Nacional de Ingeniería – FIC.
- ASTM D-422, AASHTO T-88, MTC E 107-2000
- ASTM D-4318, AASHTO T-89, MTC E 110-2000
- ASTM D-4318, AASHTO T-90, MTC E 111-2000
- ASTM D-1557, MTC E 115-2000
- NORMA: ASTM D2487 AASHTO M 145

ANEXOS

ANEXOS

ANEXO 01. Panel fotográfico



Fig.54 Análisis Granulométrico.



Fig.55 Límites de consistencia.



Fig.56 Próctor Modificado.

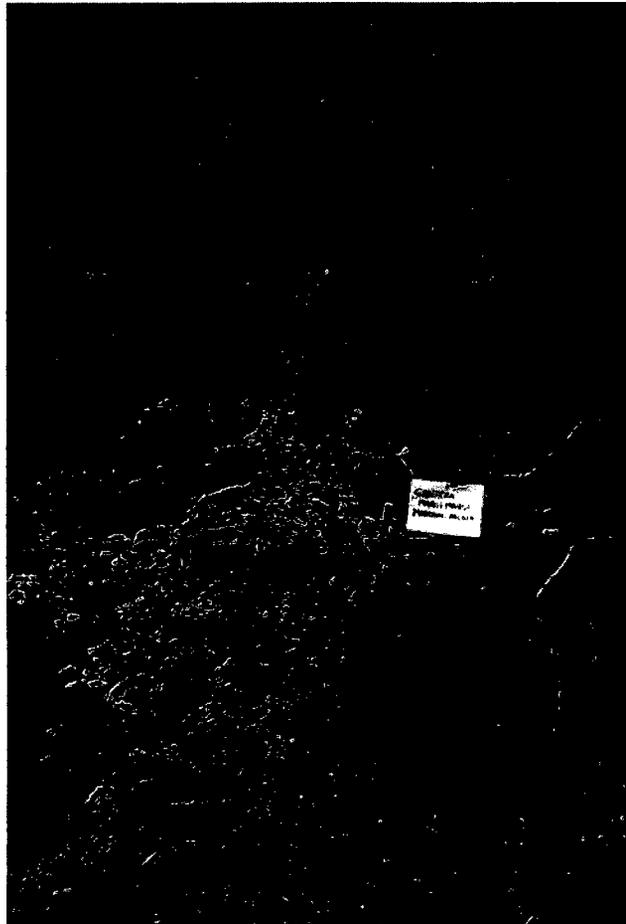


Fig.57 Muestreo material arcilloso cantera maqui maqui.
Coordenadas UTM E=13797.11 N=28206.36



Fig.58 Muestreo talud carretera Cajamarca Bambamarca.
Km.24+00

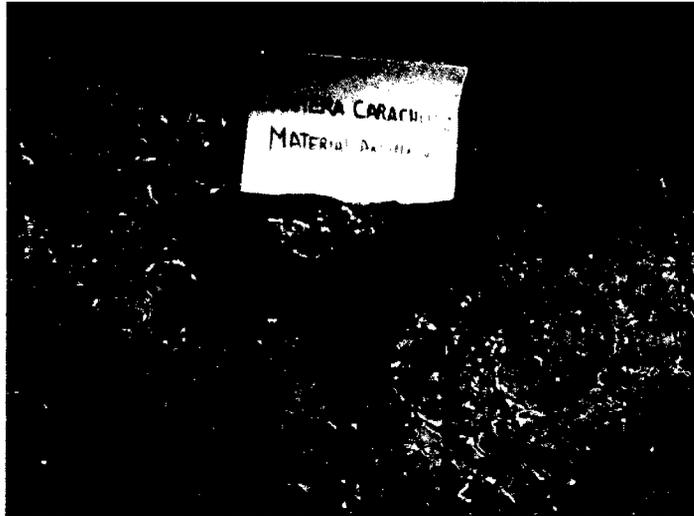


Fig.59 Muestreo material arcilloso cantera carachugo.
Coordenadas UTM E=13498.21 N=28251.06

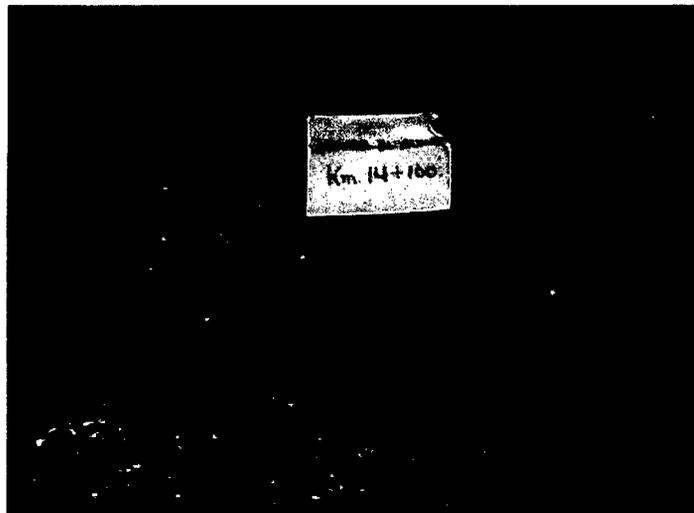


Fig.60 Muestreo talud carretera Cajamarca Bambamarca.
Km.14+100

ANEXO 02. Prueba de normalidad de Anderson – Darling para el IP(índice plasticidad) y el W%(óptimo contenido de humedad).

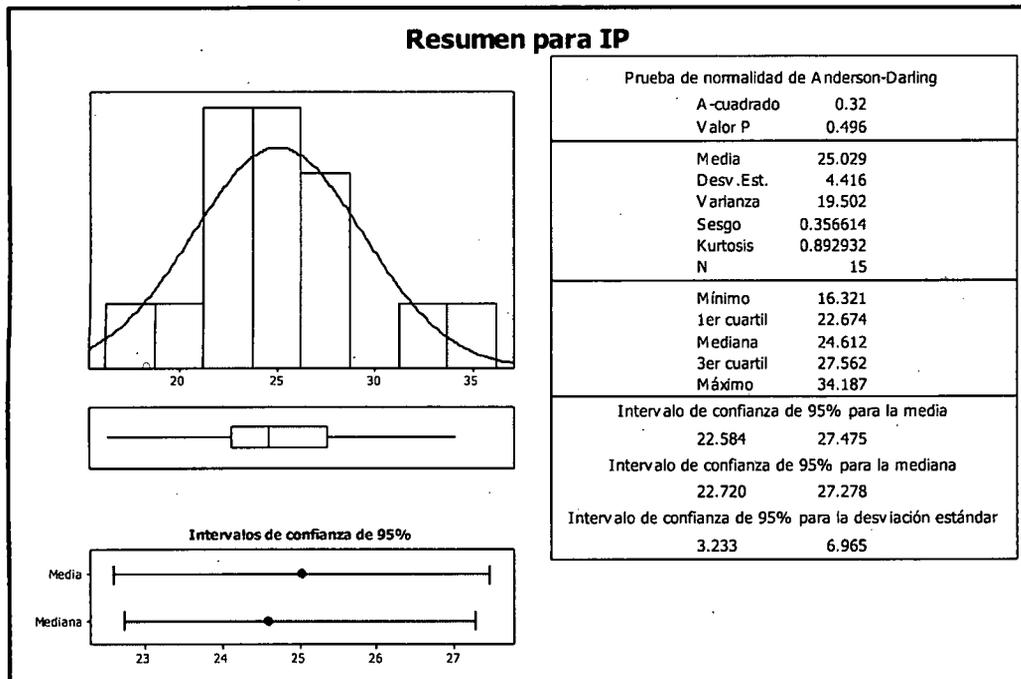


Fig.61 Prueba de normalidad para el índice de plasticidad.

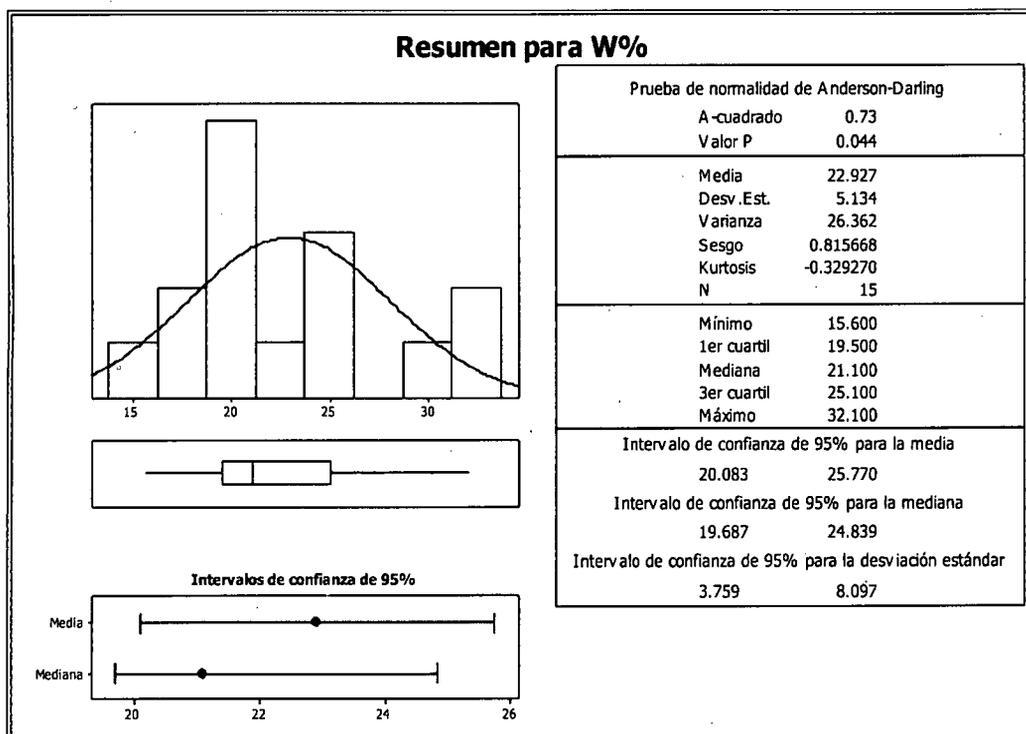


Fig.62 Prueba de normalidad para el óptimo contenido de humedad.

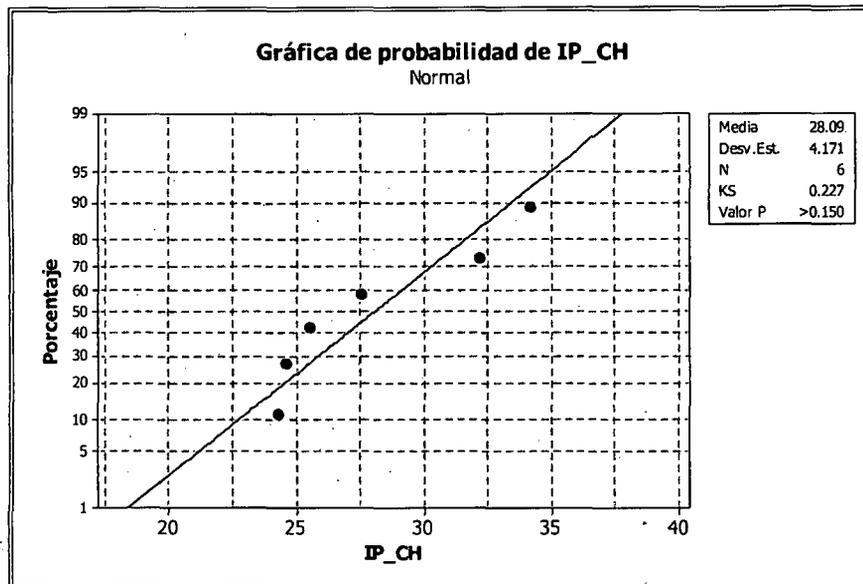


Fig.63 Probabilidad normal IP-CH.

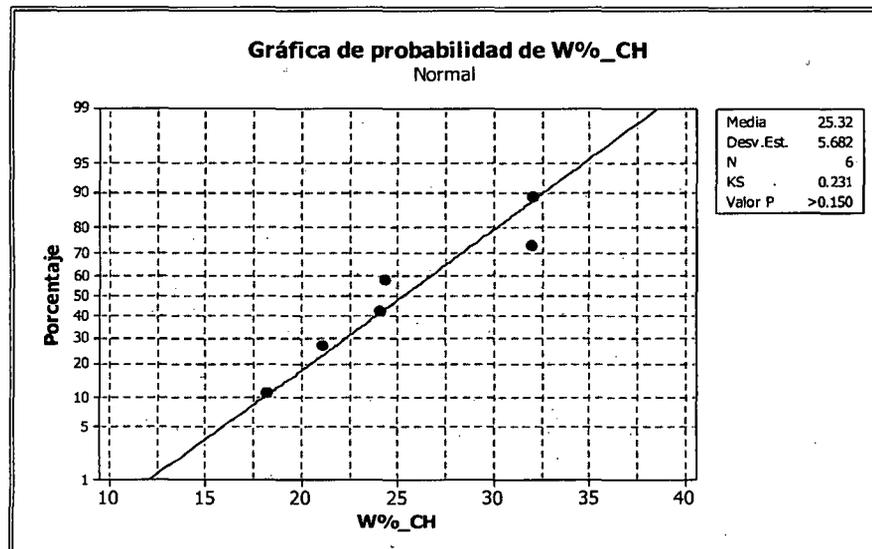


Fig.64 Probabilidad normal W%-CH.

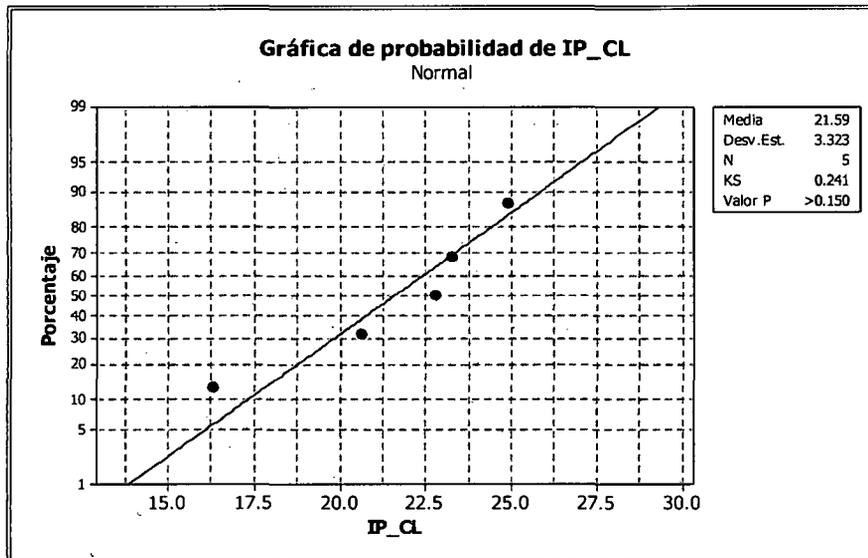


Fig.65 Probabilidad normal IP-CL.

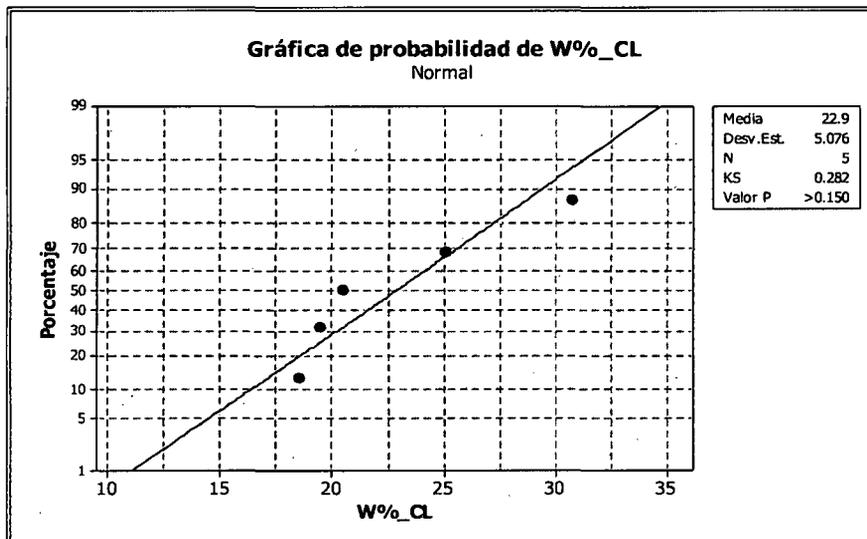


Fig.66 Probabilidad normal W%-CL.

Ubicación del Muestreo : Cantera maqui maqui de material arcilloso.
 Muestra N° : M -1
 Color : Amarillo

Tabla 54. Cálculo del análisis granulométrico. ASTM D 422

N°	TAMIZ ABER.(mm)	PRP (gr)	%RP	%RA	% QUE PASA
3"	76.200	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.300	48.20	3.21	3.21	96.80
1 1/2"	38.100	9.10	0.61	3.82	96.20
1"	25.400	30.30	2.02	5.84	94.20
3/4"	19.050	10.80	0.72	6.56	93.40
1/2"	12.700	24.90	1.66	8.22	91.80
3/8"	9.525	23.60	1.57	9.79	90.20
1/4"	6.350	39.80	2.65	12.45	87.60
N°4	4.760	31.20	2.08	14.53	85.50
N 10	2.000	59.50	3.97	18.49	81.50
N 20	0.840	62.50	4.17	22.66	77.30
N 30	0.590	35.30	2.35	25.01	75.00
N 40	0.426	36.40	2.43	27.44	72.60
N 60	0.250	67.50	4.50	31.94	68.10
N 100	0.149	60.20	4.01	35.95	64.00
N 200	0.074	88.00	5.87	41.82	58.20
Pérdida por lavado		872.7	58.18	100.00	0.00
TOTAL		1500.00	100.00		

Tabla 55. Cálculo de límites de consistencia. ASTM D 4318

PESOS	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
	M1	M2	M3	LP1	LP2
N° de Tara	LA-14	LA-9	LA-12	004	002
Wt (gr)	14.18	14.19	13.83	7.84	7.77
Wmh + t (gr)	34.97	34.96	34.83	14.58	14.72
Wms + t (gr)	28.84	28.65	28.26	13.53	13.61
Wms (gr)	14.66	14.46	14.43	5.69	5.84
W w (gr)	6.13	6.31	6.57	1.05	1.11
W(%)	41.81	43.64	45.53	18.45	19.01
N°.Golpes	35	25	16	.....	....
LL/LP (%)	43.66			18.73	

Tabla 56. Cálculo de la máxima densidad seca y contenido óptimo de humedad.

ASTM D 1557-91 (98) AASHTO T 180-70 MTC E 115-2000 (METODO A)

PUNTO	P1	P2	P3	P4	P5
Nº Capas	5	5	5	5	5
Nº Golpes por capa	25	25	25	25	25
Porcentaje de Agua	4%	6%	8%	10%	12%
Molde + Material Húmedo (gr)	5928.00	5998.00	6059.00	6068.00	6035.00
Peso del Molde (gr)	4199.00	4199.00	4199.00	4199.00	4199.00
Peso Material Húmedo (gr)	1729.00	1799.00	1860.00	1869.00	1836.00
Volumen del Molde (cm3)	941.30	941.30	941.30	941.30	941.30
Densidad Húmeda (gr/cm3)	1.84	1.91	1.98	1.99	1.95

CONTENIDO DE HUMEDAD					
Nº de Cápsula	T-23	T-29	T-31	T-21	T-24
Peso de Cápsula (gr)	84.40	77.80	76.20	75.70	73.50
Cápsula + material húmedo (gr)	752.40	722.50	730.40	748.60	731.70
Cápsula + material seco (gr)	663.10	627.20	624.60	630.90	608.00
Peso del agua (gr)	89.30	95.30	105.80	117.70	123.70
Peso del material seco (gr)	578.70	549.40	548.40	555.20	534.50
Contenido de Humedad (%)	15.43	17.35	19.29	21.20	23.14
Densidad Seca (gr/cm3)	1.59	1.63	1.66	1.64	1.58

Ubicación del Muestreo : Talud carretera cantera maqui maqui.
 Muestra N° : M-2 , Color amarillo

Tabla 57. Cálculo del análisis granulométrico. ASTM D 422

TAMIZ	PRP	%RP	%RA	% QUE PASA
Nº	ABER.(mm)	(gr)		
3"	76.200	0.00	0.00	100.00
2"	50.300	27.20	1.81	98.20
1 1/2"	38.100	12.80	0.85	97.30
1"	25.400	24.40	1.63	95.70
3/4"	19.050	21.10	1.41	94.30
1/2"	12.700	31.30	2.09	92.20
3/8"	9.525	21.20	1.41	90.80
1/4"	6.350	29.90	1.99	88.80
Nº4	4.760	23.20	1.55	87.30
N 10	2.000	63.80	4.25	83.00
N 20	0.840	73.80	4.92	78.10
N 30	0.590	41.30	2.75	75.30
N 40	0.426	46.40	3.09	72.20
N 60	0.250	81.50	5.43	66.80
N 100	0.149	80.30	5.35	61.50
N 200	0.074	99.50	6.63	54.80
Pérdida por lavado		822.3	54.82	100.00
TOTAL		1500.00	100.00	

Tabla 58. Cálculo de límites de consistencia. ASTM D 4318

PESOS	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
	M1	M2	M3	LP1	LP2
N° de Tara	LA-24	LA-21	LA-23	0011	0010
Wt (gr)	14.19	14.15	13.64	7.82	7.80
Wmh + t (gr)	35.25	35.75	35.90	14.10	14.21
Wms + t (gr)	28.58	28.72	28.47	13.01	13.06
Wms (gr)	14.39	14.57	14.83	5.19	5.26
W w (gr)	6.67	7.03	7.43	1.09	1.15
W(%)	46.35	48.25	50.10	21.00	21.86
N°.Golpes	35	25	16	.....	....
LL/LP (%)	48.23			21.43	

Tabla 59. Cálculo de la máxima densidad seca y contenido óptimo de humedad.
ASTM D 1557-91 (98) AASHTO T 180-70 MTC E 115-2000 (METODO A)

PUNTO	P1	P2	P3	P4	P5
N° Capas	5	5	5	5	5
N° Golpes por capa	25	25	25	25	25
Porcentaje de Agua	6%	8%	10%	12%	14%
Molde + Material Húmedo (gr)	5862.00	5950.00	6029.00	6052.00	6025.00
Peso del Molde (gr)	4199.00	4199.00	4199.00	4199.00	4199.00
Peso Material Húmedo (gr)	1663.00	1751.00	1830.00	1853.00	1826.00
Volumen del Molde (cm3)	941.69	941.69	941.69	941.69	941.69
Densidad Húmeda (gr/cm3)	1.77	1.86	1.94	1.97	1.94
CONTENIDO DE HUMEDAD					
N° de Cápsula	T-29	T-21	T-24	T-25	T-31
Peso de Cápsula (gr)	74.60	73.50	76.90	84.40	76.20
Cápsula + material húmedo (gr)	716.80	731.10	753.20	740.50	746.80
Cápsula + material seco (gr)	629.00	631.90	640.80	621.80	618.60
Peso del agua (gr)	87.80	99.20	112.40	118.70	128.20
Peso del material seco (gr)	554.40	558.40	563.90	537.40	542.40
Contenido de Humedad (%)	15.84	17.77	19.93	22.09	23.64
Densidad Seca (gr/cm3)	1.52	1.58	1.62	1.61	1.57

Ubicación del Muestreo : Talud carretera cajamarca-shicuana Km.05+900
 Muestra N° : M-3
 Color : Marrón

Tabla 60. Cálculo del análisis granulométrico. ASTM D 422

TAMIZ N°	ABER.(mm)	PRP (gr)	%RP	%RA	% QUE PASA
3"	76.200				
2"	50.300				
1 1/2"	38.100	0.00			100.00
1"	25.400	24.00	1.60	1.60	98.40
3/4"	19.050	10.50	0.70	2.30	97.70
1/2"	12.700	7.50	0.50	2.80	97.20
3/8"	9.525	9.00	0.60	3.40	96.60
1/4"	6.350	10.70	0.71	4.11	95.90
N°4	4.760	11.80	0.79	4.90	95.10
N 10	2.000	48.90	3.26	8.16	91.80
N 20	0.840	53.30	3.55	11.71	88.30
N 30	0.590	25.30	1.69	13.40	86.60
N 40	0.426	27.00	1.80	15.20	84.80
N 60	0.250	44.90	2.99	18.19	81.80
N 100	0.149	40.80	2.72	20.91	79.10
N 200	0.074	63.90	4.26	25.17	74.80
Pérdida por lavado		1122.4	74.83	100.00	0.00
TOTAL		1500.00	100.00		

Tabla 61. Cálculo de límites de consistencia. ASTM D 4318

PESOS	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
	M1	M2	M3	LP1	LP2
N° de Tara	LA-7	LA-9	LA-23	0026	0021
Wt (gr)	13.49	14.19	13.64	7.81	7.79
Wmh + t (gr)	34.98	34.93	34.90	14.40	14.26
Wms + t (gr)	28.36	28.35	27.97	13.05	12.93
Wms (gr)	14.87	14.16	14.33	5.24	5.14
W w (gr)	6.62	6.58	6.93	1.35	1.33
W(%)	44.52	46.47	48.36	25.76	25.88
N°.Golpes	35	25	16	.....	....
LL/LP (%)		46.45		25.82	

Tabla 62. Cálculo de la máxima densidad seca y contenido óptimo de humedad.

ASTM D 1557-91 (98) AASHTO T 180-70 MTC E 115-2000 (METODO A)

PUNTO	P1	P2	P3	P4	P5
Nº Capas	5	5	5	5	5
Nº Golpes por capa	25	25	25	25	25
Porcentaje de Agua	8%	10%	12%	14%	16%
Molde + Material Húmedo (gr)	5774.00	5845.00	5909.00	5902.00	5862.00
Peso del Molde (gr)	4199.00	4199.00	4199.00	4199.00	4199.00
Peso Material Húmedo (gr)	1575.00	1646.00	1710.00	1703.00	1663.00
Volumen del Molde (cm ³)	941.69	941.69	941.69	941.69	941.69
Densidad Húmeda (gr/cm ³)	1.67	1.75	1.82	1.81	1.77

CONTENIDO DE HUMEDAD					
Nº de Cápsula	T-28	T-27	T-25	T-21	T-16
Peso de Cápsula (gr)	74.60	80.20	76.40	75.70	123.40
Cápsula + material húmedo (gr)	728.80	749.10	730.80	739.20	828.80
Cápsula + material seco (gr)	590.40	599.80	577.30	576.10	647.80
Peso del agua (gr)	138.40	149.30	153.50	163.10	181.00
Peso del material seco (gr)	515.80	519.60	500.90	500.40	524.40
Contenido de Humedad (%)	26.83	28.73	30.64	32.59	34.52
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.32	1.36	1.39	1.36	1.31

Ubicación del Muestreo: Talud carretera cajamarca-bambamarca Km.9+200
 Muestra N° : M-4,color amarillo

Tabla 63. Cálculo del análisis granulométrico. ASTM D 422

TAMIZ		PRP	%RP	%RA	% QUE
Nº	ABER.(mm)	(gr)			PASA
2"	50.300				100.00
1 1/2"	38.100	7.50	0.50	0.50	99.50
1"	25.400	13.50	0.90	1.40	98.60
3/4"	19.050	12.00	0.80	2.20	97.80
1/2"	12.700	58.50	3.90	6.10	93.90
3/8"	9.525	52.50	3.50	9.60	90.40
1/4"	6.350	55.70	3.71	13.31	86.69
Nº4	4.760	52.30	3.49	16.80	83.20
N 10	2.000	128.70	8.58	25.38	74.62
N 20	0.840	84.60	5.64	31.02	68.98
N 30	0.590	29.30	1.95	32.97	67.03
N 40	0.426	25.40	1.69	34.67	65.33
N 60	0.250	38.00	2.53	37.20	62.80
N 100	0.149	32.10	2.14	39.34	60.66
N 200	0.074	49.70	3.31	42.65	57.35
Pérdida por lavado		860.2	57.35	100.00	0.00
TOTAL		1500.00	100.00		

Tabla 64. Cálculo de límites de consistencia. ASTM D 4318

PESOS	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
	M1	M2	M3	LP1	LP2
N° de Tara	LA-21	LA-24	LA-5	0026	0010
Wt (gr)	14.15	14.19	14.26	7.81	7.80
Wmh + t (gr)	35.05	34.88	34.97	14.35	14.78
Wms + t (gr)	28.21	27.93	27.84	12.93	13.25
Wms (gr)	14.06	13.74	13.58	5.12	5.45
W w (gr)	6.84	6.95	7.13	1.42	1.53
W(%)	48.65	50.58	52.50	27.73	28.07
N°.Golpes	35	24	16	.....	....
LL/LP (%)		50.58		27.90	

Tabla 65. Cálculo de la máxima densidad seca y contenido óptimo de humedad.
ASTM D 1557-91 (98) AASHTO T 180-70 MTC E 115-2000 (METODO A)

PUNTO	P1	P2	P3	P4	P5
N° Capas	5	5	5	5	5
N° Golpes por capa	25	25	25	25	25
Porcentaje de Agua	6%	8%	10%	12%	14%
Molde + Material Húmedo (gr)	5875.00	5958.00	6025.00	6015.00	5985.00
Peso del Molde (gr)	4199.00	4199.00	4199.00	4199.00	4199.00
Peso Material Húmedo (gr)	1676.00	1759.00	1826.00	1816.00	1786.00
Volumen del Molde (cm3)	941.69	941.69	941.69	941.69	941.69
Densidad Húmeda (gr/cm3)	1.78	1.87	1.94	1.93	1.90

CONTENIDO DE HUMEDAD

	T-29	T-27	T-20	T-28	T-23
N° de Cápsula	T-29	T-27	T-20	T-28	T-23
Peso de Cápsula (gr)	77.80	80.20	73.90	74.60	84.40
Cápsula + material húmedo (gr)	779.70	780.90	775.80	729.80	727.50
Cápsula + material seco (gr)	675.60	667.10	652.20	606.30	598.10
Peso del agua (gr)	104.10	113.80	123.60	123.50	129.40
Peso del material seco (gr)	597.80	586.90	578.30	531.70	513.70
Contenido de Humedad (%)	17.41	19.39	21.37	23.23	25.19
Densidad Seca (gr/cm3)	1.52	1.56	1.60	1.56	1.51

Ubicación del Muestreo : Talud carretera cajamarca-bambamarca - Km.14+100
 Muestra N° : M-5
 Color : Amarillo

Tabla 66. Cálculo del análisis granulométrico. ASTM D 422

N°	TAMIZ	PRP (gr)	%RP	%RA	% QUE PASA
	ABER.(mm)				
3"	76.200				
2"	50.300				100.00
1 1/2"	38.100	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.400	40.50	2.70	2.70	97.30
3/4"	19.050	34.60	2.31	5.01	95.00
1/2"	12.700	55.50	3.70	8.71	91.30
3/8"	9.525	30.00	2.00	10.71	89.30
1/4"	6.350	44.80	2.99	13.69	86.30
N°4	4.760	30.20	2.01	15.71	84.30
N 10	2.000	66.00	4.40	20.11	79.90
N 20	0.840	77.00	5.13	25.24	74.80
N 30	0.590	41.30	2.75	27.99	72.00
N 40	0.426	42.80	2.85	30.85	69.20
N 60	0.250	78.30	5.22	36.07	63.90
N 100	0.149	78.60	5.24	41.31	58.70
N 200	0.074	112.90	7.53	48.83	51.20
Pérdida por lavado		767.5	51.17	100.00	0.00
TOTAL		1500.00	100.00		

Tabla 67. Cálculo de límites de consistencia. ASTM D 4318

PESOS	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
	M1	M2	M3	LP1	LP2
N° de Tara	LA-9	LA-21	LA-12	0010	004
Wt (gr)	14.19	14.15	13.82	7.80	7.84
Wmh + t (gr)	35.04	35.52	35.68	14.28	14.70
Wms + t (gr)	27.88	28.00	27.81	12.94	13.24
Wms (gr)	13.69	13.85	13.99	5.14	5.40
W w (gr)	7.16	7.52	7.87	1.34	1.46
W(%)	52.30	54.30	56.25	26.07	27.04
N°.Golpes	35	24	16	....	....
LL/LP (%)		54.28		26.55	

Tabla 68. Cálculo de la máxima densidad seca y contenido óptimo de humedad.

ASTM D 1557-91 (98) AASHTO T 180-70 MTC E 115-2000 (METODO A)					
PUNTO	P1	P2	P3	P4	P5
Nº Capas	5	5	5	5	5
Nº Golpes por capa	25	25	25	25	25
Porcentaje de Agua	6%	8%	10%	12%	14%
Molde + Material Húmedo (gr)	5972.00	6057.00	6124.00	6104.00	6090.00
Peso del Molde (gr)	4199.00	4199.00	4199.00	4199.00	4199.00
Peso Material Húmedo (gr)	1773.00	1858.00	1925.00	1905.00	1891.00
Volumen del Molde (cm3)	941.69	941.69	941.69	941.69	941.69
Densidad Húmeda (gr/cm3)	1.88	1.97	2.04	2.02	2.01
CONTENIDO DE HUMEDAD					
Nº de Cápsula	T-25	T-22	T-24	T-23	T-21
Peso de Cápsula (gr)	76.40	77.10	73.50	84.40	75.70
Cápsula + material húmedo (gr)	765.90	769.70	768.00	718.90	716.40
Cápsula + material seco (gr)	674.10	665.50	651.90	604.60	591.80
Peso del agua (gr)	91.80	104.20	116.10	114.30	124.60
Peso del material seco (gr)	597.70	588.40	578.40	520.20	516.10
Contenido de Humedad (%)	15.36	17.71	20.07	21.97	24.14
Densidad Seca (gr/cm3)	1.63	1.68	1.70	1.66	1.62

Ubicación del Muestreo: Talud carretera cajamarca-bambamarca Km.20+00
 Muestra Nº : M-6,color amarillo

Tabla 69. Cálculo del análisis granulométrico. ASTM D 422

Nº	TAMIZ ABER.(mm)	PRP (gr)	%RP	%RA	% QUE PASA
3"	76.200				100.00
2"	50.300	52.20	3.48	3.48	96.50
1 1/2"	38.100	5.10	0.34	3.82	96.20
1"	25.400	18.80	1.25	5.07	94.90
3/4"	19.050	21.60	1.44	6.51	93.50
1/2"	12.700	30.50	2.03	8.55	91.50
3/8"	9.525	26.90	1.79	10.34	89.70
1/4"	6.350	34.20	2.28	12.62	87.40
Nº4	4.760	24.30	1.62	14.24	85.80
N 10	2.000	52.10	3.47	17.71	82.30
N 20	0.840	57.90	3.86	21.57	78.40
N 30	0.590	33.30	2.22	23.79	76.20
N 40	0.426	34.80	2.32	26.11	73.90
N 60	0.250	68.30	4.55	30.67	69.30
N 100	0.149	72.60	4.84	35.51	64.50
N 200	0.074	110.60	7.37	42.88	57.10
Pérdida por lavado		856.8	57.12	100.00	0.00
TOTAL		1500.00	100.00		

Tabla 70. Cálculo de límites de consistencia. ASTM D 4318

PESOS	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
	M1	M2	M3	LP1	LP2
Nº de Tara	LA-14	LA-16	LA-18	0003	0026
Wt (gr)	14.18	13.86	13.72	7.91	7.81
Wmh + t (gr)	34.45	34.25	34.16	14.10	14.22
Wms + t (gr)	28.00	27.59	27.31	12.87	12.91
Wms (gr)	13.82	13.73	13.59	4.96	5.10
W w (gr)	6.45	6.66	6.85	1.23	1.31
W(%)	46.67	48.51	50.40	24.80	25.69
Nº.Golpes	35	25	16	.....	....
LL/LP (%)	48.53			25.24	

Tabla 71. Cálculo de la máxima densidad seca y contenido óptimo de humedad.
ASTM D 1557-91 (98) AASHTO T 180-70 MTC E 115-2000 (METODO A)

PUNTO	P1	P2	P3	P4	P5
Nº Capas	5	5	5	5	5
Nº Golpes por capa	25	25	25	25	25
Porcentaje de Agua	4%	6%	8%	10%	12%
Molde + Material Húmedo (gr)	5916.00	5981.00	6038.00	6053.00	6034.00
Peso del Molde (gr)	4199.00	4199.00	4199.00	4199.00	4199.00
Peso Material Húmedo (gr)	1717.00	1782.00	1839.00	1854.00	1835.00
Volumen del Molde (cm3)	941.69	941.69	941.69	941.69	941.69
Densidad Húmeda (gr/cm3)	1.82	1.89	1.95	1.97	1.95
CONTENIDO DE HUMEDAD					
Nº de Cápsula	T-20	T-28	T-22	T-30	T-31
Peso de Cápsula (gr)	73.90	74.60	77.10	76.90	76.20
Cápsula + material húmedo (gr)	743.80	767.30	720.30	742.60	774.70
Cápsula + material seco (gr)	659.50	670.10	621.20	630.90	648.30
Peso del agua (gr)	84.30	97.20	99.10	111.70	126.40
Peso del material seco (gr)	585.60	595.50	544.10	554.00	572.10
Contenido de Humedad (%)	14.40	16.32	18.21	20.16	22.09
Densidad Seca (gr/cm3)	1.59	1.63	1.65	1.64	1.60

Ubicación del Muestreo: Talud carretera cajamarca-bambamarca - Km.24+00
 Muestra N° : M-7
 Color : Amarillo

Tabla 72. Cálculo del análisis granulométrico. ASTM D 422

N°	TAMIZ	PRP (gr)	%RP	%RA	% QUE PASA
	ABER.(mm)				
3"	76.200				100.00
2"	50.300	39.20	2.61	2.61	97.40
1 1/2"	38.100	0.00	0.00	2.61	97.40
1"	25.400	14.80	0.99	3.60	96.40
3/4"	19.050	22.60	1.51	5.11	94.90
1/2"	12.700	60.50	4.03	9.14	90.90
3/8"	9.525	37.90	2.53	11.67	88.30
1/4"	6.350	38.20	2.55	14.21	85.80
N°4	4.760	37.30	2.49	16.70	83.30
N 10	2.000	58.10	3.87	20.57	79.40
N 20	0.840	47.90	3.19	23.77	76.20
N 30	0.590	63.30	4.22	27.99	72.00
N 40	0.426	54.80	3.65	31.64	68.40
N 60	0.250	87.30	5.82	37.46	62.50
N 100	0.149	40.60	2.71	40.17	59.80
N 200	0.074	19.60	1.31	41.47	58.50
Pérdida por lavado		877.9	58.53	100.00	0.00
TOTAL		1500.00	100.00		

Tabla 73. Cálculo de límites de consistencia. ASTM D 4318

PESOS	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
	M1	M2	M3	LP1	LP2
N° de Tara	T-13	T-05	T-14	A-A	H-15
Wt (gr)	39.82	14.37	14.25	30.64	32.46
Wmh + t (gr)	67.10	36.59	34.20	37.30	37.90
Wms + t (gr)	58.40	29.30	27.49	35.90	36.80
Wms (gr)	18.58	14.93	13.24	5.26	4.34
W w (gr)	8.70	7.29	6.71	1.40	1.10
W(%)	46.82	48.83	50.68	26.62	25.35
N°.Golpes	33	23	16	....	....
LL/LP (%)	48.78			25.98	

Tabla 74. Cálculo de la máxima densidad seca y contenido óptimo de humedad.
ASTM D 1557-91 (98) AASHTO T 180-70 MTC E 115-2000 (METODO A)

PUNTO	P1	P2	P3	P4	P5
Nº Capas	5	5	5	5	5
Nº Golpes por capa	25	25	25	25	25
Porcentaje de Agua	22%	24%	26%	28%	30%
Molde + Material Húmedo (gr)	5886.00	6014.00	6140.00	6152.00	6087.00
Peso del Molde (gr)	4199.00	4199.00	4199.00	4199.00	4199.00
Peso Material Húmedo (gr)	1687.00	1815.00	1941.00	1953.00	1888.00
Volumen del Molde (cm3)	941.69	941.69	941.69	941.69	941.69
Densidad Húmeda (gr/cm3)	1.79	1.93	2.06	2.07	2.00

CONTENIDO DE HUMEDAD					
Nº de Cápsula	T-14	T-100	C-4	T-109	C-2
Peso de Cápsula (gr)	127.20	128.30	135.80	120.40	150.30
Cápsula + material húmedo (gr)	654.10	670.60	690.70	629.50	700.70
Cápsula + material seco (gr)	560.00	568.00	579.70	519.60	580.00
Peso del agua (gr)	94.10	102.60	111.00	109.90	120.70
Peso del material seco (gr)	432.80	439.70	443.90	399.20	429.70
Contenido de Humedad (%)	21.74	23.33	25.01	27.53	28.09
Densidad Seca (gr/cm3)	1.47	1.56	1.65	1.63	1.57

Ubicación del Muestreo: Cantera carachugo de material arcilloso.
Muestra N° : M-8,color gris

Tabla 75. Cálculo del análisis granulométrico. ASTM D 422

Nº	TAMIZ ABER.(mm)	PRP (gr)	%RP	%RA	% QUE PASA
3"	76.200				100.00
2"	50.300	26.80	1.79	1.79	98.20
1 1/2"	38.100	19.90	1.33	3.11	96.90
1"	25.400	15.20	1.01	4.13	95.90
3/4"	19.050	19.10	1.27	5.40	94.60
1/2"	12.700	67.50	4.50	9.90	90.10
3/8"	9.525	60.90	4.06	13.96	86.00
1/4"	6.350	83.70	5.58	19.54	80.50
Nº4	4.760	87.30	5.82	25.36	74.60
N 10	2.000	156.10	10.41	35.77	64.20
N 20	0.840	120.50	8.03	43.80	56.20
N 30	0.590	38.20	2.55	46.35	53.70
N 40	0.426	30.80	2.05	48.40	51.60
N 60	0.250	43.30	2.89	51.29	48.70
N 100	0.149	35.60	2.37	53.66	46.30
N 200	0.074	57.60	3.84	57.50	42.50
Pérdida por lavado		637.5	42.50	100.00	0.00
TOTAL		1500.00	100.00		

Tabla 76. Cálculo de límites de consistencia. ASTM D 4318

PESOS	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
	M1	M2	M3	LP1	LP2
N° de Tara	LA-16	LA-3	LA-08	0003	07
Wt (gr)	13.86	14.08	13.97	7.91	7.82
Wmh + t (gr)	34.72	34.61	34.34	14.98	14.34
Wms + t (gr)	29.45	29.22	28.78	13.85	13.27
Wms (gr)	15.59	15.14	14.81	5.94	5.45
W w (gr)	5.27	5.39	5.56	1.13	1.07
W(%)	33.80	35.60	37.54	19.02	19.63
N° Golpes	35	25	17	.....	....
LL/LP (%)	35.65			19.33	

Tabla 77. Cálculo de la máxima densidad seca y contenido óptimo de humedad
ASTM D 1557-91 (98) AASHTO T 180-70 MTC E 115-2000 (METODO B)

PUNTO	P1	P2	P3	P4	P5
N° Capas	5	5	5	5	5
N° Golpes por capa	25	25	25	25	25
Porcentaje de Agua	0%	2%	4%	6%	8%
Molde + Material Húmedo (gr)	5905.00	5968.00	6054.00	6078.00	6044.00
Peso del Molde (gr)	4199.00	4199.00	4199.00	4199.00	4199.00
Peso Material Húmedo (gr)	1706.00	1769.00	1855.00	1879.00	1845.00
Volumen del Molde (cm3)	941.30	941.30	941.30	941.30	941.30
Densidad Húmeda (gr/cm3)	1.81	1.88	1.97	2.00	1.96
CONTENIDO DE HUMEDAD					
N° de Cápsula	T-27	T-25	T-28	T-24	T-31
Peso de Cápsula (gr)	80.20	76.40	74.60	73.50	76.20
Cápsula + material húmedo (gr)	791.50	727.80	738.10	745.80	788.20
Cápsula + material seco (gr)	694.10	629.50	628.80	626.00	652.40
Peso del agua (gr)	97.40	98.30	109.30	119.80	135.80
Peso del material seco (gr)	613.90	553.10	554.20	552.50	576.20
Contenido de Humedad (%)	15.87	17.77	19.72	21.68	23.57
Densidad Seca (gr/cm3)	1.56	1.60	1.65	1.64	1.59

Ubicación del Muestreo : Cantera carachugo de material arcilloso.
 Muestra N° : M-9
 Color : Amarillo

Tabla 78. Cálculo del análisis granulométrico. ASTM D 422

N°	TAMIZ	PRP (gr)	%RP	%RA	% QUE PASA
	ABER.(mm)				
3"	76.200	72.90	4.86	4.86	95.10
2"	50.300	69.60	4.64	9.50	90.50
1 1/2"	38.100	16.90	1.13	10.63	89.40
1"	25.400	35.10	2.34	12.97	87.00
3/4"	19.050	23.30	1.55	14.52	85.50
1/2"	12.700	50.90	3.39	17.91	82.10
3/8"	9.525	27.20	1.81	19.73	80.30
1/4"	6.350	53.80	3.59	23.31	76.70
N°4	4.760	30.30	2.02	25.33	74.70
N 10	2.000	85.20	5.68	31.01	69.00
N 20	0.840	90.40	6.03	37.04	63.00
N 30	0.590	39.20	2.61	39.65	60.30
N 40	0.426	33.70	2.25	41.90	58.10
N 60	0.250	46.10	3.07	44.97	55.00
N 100	0.149	37.80	2.52	47.49	52.50
N 200	0.074	47.50	3.17	50.66	49.30
Pérdida por lavado		740.1	49.34	100.00	0.00
TOTAL		1500.00	100.00		

Tabla 79. Cálculo de límites de consistencia. ASTM D 4318

PESOS	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
	M1	M2	M3	LP1	LP2
N° de Tara	LA-3	LA-9	LA-21	07	0010
Wt (gr)	14.05	14.17	14.14	7.83	7.80
Wmh + t (gr)	34.93	35.04	35.11	14.66	14.72
Wms + t (gr)	29.25	29.16	28.99	13.65	13.68
Wms (gr)	15.20	14.99	14.85	5.82	5.88
W w (gr)	5.68	5.88	6.12	1.01	1.04
W(%)	37.37	39.23	41.21	17.35	17.69
N° Golpes	35	25	17	.....	....
LL/LP (%)	39.27			17.52	

Tabla 80. Cálculo de la máxima densidad seca y contenido óptimo de humedad.

ASTM D 1557-91 (98) AASHTO T 180-70 MTC E 115-2000 (METODO B)					
PUNTO	P1	P2	P3	P4	P5
Nº Capas	5	5	5	5	5
Nº Golpes por capa	25	25	25	25	25
Porcentaje de Agua	4%	6%	8%	10%	12%
Molde + Material Húmedo (gr)	5928.00	6045.00	6148.00	6129.00	6068.00
Peso del Molde (gr)	4199.00	4199.00	4199.00	4199.00	4199.00
Peso Material Húmedo (gr)	1729.00	1846.00	1949.00	1930.00	1869.00
Volumen del Molde (cm3)	941.30	941.30	941.30	941.30	941.30
Densidad Húmeda (gr/cm3)	1.84	1.96	2.07	2.05	1.99

CONTENIDO DE HUMEDAD					
Nº de Cápsula	T-28	T-26	T-31	T-30	T-21
Peso de Cápsula (gr)	74.60	75.30	76.20	76.90	75.70
Cápsula + material húmedo (gr)	756.50	712.70	787.90	729.50	720.90
Cápsula + material seco (gr)	686.00	637.00	692.60	632.60	616.00
Peso del agua (gr)	70.50	75.70	95.30	96.90	104.90
Peso del material seco (gr)	611.40	561.70	616.40	555.70	540.30
Contenido de Humedad (%)	11.53	13.48	15.46	17.44	19.42
Densidad Seca (gr/cm3)	1.65	1.73	1.79	1.75	1.66

Ubicación del Muestreo :Cantera carachugo de material arcilloso.

Muestra N° : M-10,color amarillo

Tabla 81. Cálculo del análisis granulométrico. ASTM D 422

Nº	TAMIZ	PRP (gr)	%RP	%RA	% QUE PASA
	ABER.(mm)				
3"	76.200				
2"	50.300	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.100	63.20	4.21	4.21	95.80
1"	25.400	16.90	1.13	5.34	94.70
3/4"	19.050	8.10	0.54	5.88	94.10
1/2"	12.700	25.40	1.69	7.57	92.40
3/8"	9.525	18.30	1.22	8.79	91.20
1/4"	6.350	25.50	1.70	10.49	89.50
Nº4	4.760	36.30	2.42	12.91	87.10
N 10	2.000	79.00	5.27	18.18	81.80
N 20	0.840	85.50	5.70	23.88	76.10
N 30	0.590	40.80	2.72	26.60	73.40
N 40	0.426	31.80	2.12	28.72	71.30
N 60	0.250	71.30	4.75	33.47	66.50
N 100	0.149	27.20	1.81	35.29	64.70
N 200	0.074	64.30	4.29	39.57	60.40
Pérdida por lavado		906.4	60.43	100.00	0.00
TOTAL		1500.00	100.00		

Tabla 82. Cálculo de límites de consistencia. ASTM D 4318

PESOS	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
	M1	M2	M3	LP1	LP2
N° de Tara	B-2	B-16	B-7	A-10	A-9
Wt (gr)	56.80	60.85	53.70	22.00	21.82
Wmh + t (gr)	66.54	70.82	63.77	31.03	28.73
Wms + t (gr)	63.05	67.21	60.08	29.27	27.35
Wms (gr)	6.25	6.36	6.38	7.27	5.53
W w (gr)	3.49	3.61	3.69	1.76	1.38
W(%)	55.84	56.76	57.84	24.21	24.95
N°.Golpes	35	25	15	.....	....
LL/LP (%)	56.81			24.58	

Tabla 83. Cálculo de la máxima densidad seca y contenido óptimo de humedad. ASTM D 1557-91 (98) AASHTO T 180-70 MTC E 115-2000 (METODO A)

PUNTO	P1	P2	P3	P4	P5
N° Capas	5	5	5	5	5
N° Golpes por capa	25	25	25	25	25
Porcentaje de Agua	8%	10%	12%	14%	16%
Molde + Material Húmedo (gr)	5863.00	5930.00	5974.00	5980.00	5948.00
Peso del Molde (gr)	4165.00	4165.00	4165.00	4165.00	4165.00
Peso Material Húmedo (gr)	1698.00	1765.00	1809.00	1815.00	1783.00
Volumen del Molde (cm3)	937.10	937.10	937.10	937.10	937.10
Densidad Húmeda (gr/cm3)	1.81	1.88	1.93	1.94	1.90
CONTENIDO DE HUMEDAD					
N° de Cápsula	T-112	T-105	T-103	T-110	T-102
Peso de Cápsula (gr)	144.20	145.20	138.10	117.10	149.80
Cápsula + material húmedo (gr)	801.10	846.40	817.60	796.30	837.80
Cápsula + material seco (gr)	690.20	718.50	685.60	655.70	686.80
Peso del agua (gr)	110.90	127.90	132.00	140.60	151.00
Peso del material seco (gr)	546.00	573.30	547.50	538.60	537.00
Contenido de Humedad (%)	20.31	22.31	24.11	26.10	28.12
Densidad Seca (gr/cm3)	1.51	1.54	1.56	1.54	1.49

Ubicación del Muestreo : Cantera carachugo de material arcilloso.
 Muestra N° : M-11
 Color :Marrón Oscuro

Tabla 84. Cálculo del análisis granulométrico. ASTM D 422

N°	TAMIZ	PRP (gr)	%RP	%RA	% QUE PASA
	ABER.(mm)				
3"	76.200				100.00
2"	50.300	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.100	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.400	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.050	5.10	0.34	0.34	99.70
1/2"	12.700	0.00	0.00	0.34	99.70
3/8"	9.525	3.10	0.21	0.55	99.50
1/4"	6.350	4.30	0.29	0.83	99.20
N°4	4.760	3.30	0.22	1.05	98.90
N 10	2.000	1.20	0.08	1.13	98.90
N 20	0.840	3.50	0.23	1.37	98.60
N 30	0.590	4.50	0.30	1.67	98.30
N 40	0.426	7.80	0.52	2.19	97.80
N 60	0.250	24.30	1.62	3.81	96.20
N 100	0.149	45.90	3.06	6.87	93.10
N 200	0.074	35.30	2.35	9.22	90.80
Pérdida por lavado		1361.7	90.78	100.00	0.00
TOTAL		1500.00	100.00		

Tabla 85. Cálculo de límites de consistencia. ASTM D 4318

PESOS	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
	M1	M2	M3	LP1	LP2
N° de Tara	LA-19	LA-20	LA-2	0019	0028
Wt (gr)	14.41	14.25	14.50	18.76	16.03
Wmh + t (gr)	35.12	35.43	35.39	25.33	23.32
Wms + t (gr)	27.80	27.77	27.63	23.77	21.58
Wms (gr)	13.39	13.52	13.13	5.01	5.55
W w (gr)	7.32	7.66	7.76	1.56	1.74
W(%)	54.67	56.66	59.10	31.14	31.35
N°.Golpes	35	26	15	....	....
LL/LP (%)	56.81			31.24	

Tabla 86. Cálculo de la máxima densidad seca y contenido óptimo de humedad.

ASTM D 1557-91 (98) AASHTO T 180-70 MTC E 115-2000 (METODO A)					
PUNTO	P1	P2	P3	P4	P5
Nº Capas	5	5	5	5	5
Nº Golpes por capa	25	25	25	25	25
Porcentaje de Agua	10%	12%	14%	16%	18%
Molde + Material Húmedo (gr)	5815.00	5933.00	5976.00	5944.00	5897.00
Peso del Molde (gr)	4200.70	4200.70	4200.70	4200.70	4200.70
Peso Material Húmedo (gr)	1614.30	1732.30	1775.30	1743.30	1696.30
Volumen del Molde (cm ³)	941.69	941.69	941.69	941.69	941.69
Densidad Húmeda (gr/cm ³)	1.71	1.84	1.89	1.85	1.80
CONTENIDO DE HUMEDAD					
Nº de Cápsula	T-28	T-23	T-24	T-25	T-20
Peso de Cápsula (gr)	74.60	84.40	73.40	76.40	74.00
Cápsula + material húmedo (gr)	809.60	813.10	829.10	817.70	828.40
Cápsula + material seco (gr)	647.60	641.40	645.40	632.10	622.70
Peso del agua (gr)	162.00	171.70	183.70	185.60	205.70
Peso del material seco (gr)	573.00	557.00	572.00	555.70	548.70
Contenido de Humedad (%)	28.27	30.83	32.12	33.40	37.49
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.34	1.41	1.43	1.39	1.31

Ubicación del Muestreo : Talud carretera cajamarca-otuzco.

Muestra Nº : M-12

Color :Gris

Tabla 87. Cálculo del análisis granulométrico. ASTM D 422

Nº	TAMIZ ABER.(mm)	PRP (gr)	%RP	%RA	% QUE PASA
3"	76.200				100.00
2"	50.300				100.00
1 1/2"	38.100				100.00
1"	25.400	11.50	0.77	0.77	99.20
3/4"	19.050	10.10	0.67	1.44	98.60
1/2"	12.700	16.20	1.08	2.52	97.50
3/8"	9.525	12.30	0.82	3.34	96.70
1/4"	6.350	17.60	1.17	4.51	95.50
Nº4	4.760	5.20	0.35	4.86	95.10
N 10	2.000	55.20	3.68	8.54	91.50
N 20	0.840	53.90	3.59	12.13	87.90
N 30	0.590	20.50	1.37	13.50	86.50
N 40	0.426	16.80	1.12	14.62	85.40
N 60	0.250	29.30	1.95	16.57	83.40
N 100	0.149	26.90	1.79	18.37	81.60
N 200	0.074	57.40	3.83	22.19	77.80
Pérdida por lavado		1167.1	77.81	100.00	0.00
TOTAL		1500.00	100.00		

Tabla 88. Cálculo de límites de consistencia. ASTM D 4318

PESOS	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
	M1	M2	M3	LP1	LP2
N° de Tara	LA-23	LA-9	LA-18	007	0021
Wt (gr)	13.56	14.08	13.64	7.83	7.79
Wmh + t (gr)	34.87	35.21	35.28	14.16	14.25
Wms + t (gr)	27.58	27.82	27.54	12.84	12.91
Wms (gr)	14.02	13.74	13.90	5.01	5.12
W w (gr)	7.29	7.39	7.74	1.32	1.34
W(%)	52.00	53.78	55.68	26.35	26.17
N°.Golpes	35	25	16	.....	....
LL/LP (%)	53.82			26.26	

Tabla 89. Cálculo de la máxima densidad seca y contenido óptimo de humedad.
ASTM D 1557-91 (98) AASHTO T 180-70 MTC E 115-2000 (METODO A)

PUNTO	P1	P2	P3	P4	P5
N° Capas	5	5	5	5	5
N° Golpes por capa	25	25	25	25	25
Porcentaje de Agua	10%	12%	14%	16%	18%
Molde + Material Húmedo (gr)	5879.00	5976.00	6000.00	5978.00	5958.00
Peso del Molde (gr)	4200.70	4200.70	4200.70	4200.70	4200.70
Peso Material Húmedo (gr)	1678.30	1775.30	1799.30	1777.30	1757.30
Volumen del Molde (cm ³)	941.69	941.69	941.69	941.69	941.69
Densidad Húmeda (gr/cm³)	1.78	1.89	1.91	1.89	1.87
CONTENIDO DE HUMEDAD					
N° de Cápsula	T-22	T-28	T-2/	T-23	T-20
Peso de Cápsula (gr)	77.10	74.60	80.20	84.40	74.00
Cápsula + material húmedo (gr)	755.90	780.70	779.30	793.50	750.40
Cápsula + material seco (gr)	604.80	610.10	596.20	600.80	562.70
Peso del agua (gr)	151.10	170.60	183.10	192.70	187.70
Peso del material seco (gr)	527.70	535.50	516.00	516.40	488.70
Contenido de Humedad (%)	28.63	31.86	35.48	37.32	38.41
Densidad Seca (gr/cm³)	1.39	1.43	1.41	1.37	1.35

Ubicación del Muestreo : Talud carretera cajamarca-minas conga
Muestra N° : M-13
Color : Plomo

Tabla 90. Cálculo del análisis granulométrico. ASTM D 422

N°	TAMIZ	PRP (gr)	%RP	%RA	% QUE PASA
	ABER.(mm)				
3"	76.200				
2"	50.300	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.100	12.00	0.80	0.80	99.20
1"	25.400	19.40	1.29	2.09	97.90
3/4"	19.050	19.50	1.30	3.39	96.60
1/2"	12.700	31.70	2.11	5.51	94.50
3/8"	9.525	18.20	1.21	6.72	93.30
1/4"	6.350	38.60	2.57	9.29	90.70
N°4	4.760	46.80	3.12	12.41	87.60
N 10	2.000	75.90	5.06	17.47	82.50
N 20	0.840	68.80	4.59	22.06	77.90
N 30	0.590	44.00	2.93	24.99	75.00
N 40	0.426	15.90	1.06	26.05	73.90
N 60	0.250	45.50	3.03	29.09	70.90
N 100	0.149	57.30	3.82	32.91	67.10
N 200	0.074	81.90	5.46	38.37	61.60
Pérdida por lavado		924.5	61.63	100.00	0.00
TOTAL		1500.00	100.00		

Tabla 91. Cálculo de límites de consistencia. ASTM D 4318

PESOS	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
	M1	M2	M3	LP1	LP2
N° de Tara	L-9	L-19	L-20	B-2	B-16
Wt (gr)	21.84	21.86	22.16	60.39	57.03
Wmh + t (gr)	33.18	34.05	33.55	70.16	65.36
Wms + t (gr)	29.36	29.88	29.58	68.04	63.55
Wms (gr)	7.52	8.02	7.42	7.65	6.52
W w (gr)	3.82	4.17	3.97	2.12	1.81
W(%)	50.80	52.00	53.50	27.71	27.76
N°.Golpes	35	25	15	.....	....
LL/LP (%)		52.10		27.74	

Tabla 92. Cálculo de la máxima densidad seca y contenido óptimo de humedad.

ASTM D 698-91 (98) AASHTO T 180-70 MTC E 115-2000 (METODO A)

PUNTO	P1	P2	P3	P4	P5
Nº Capas	5	5	5	5	5
Nº Golpes por capa	25	25	25	25	25
Porcentaje de Agua	6%	8%	10%	12%	14%
Molde + Material Húmedo (gr)	5700.00	5910.00	6030.00	5960.00	5890.00
Peso del Molde (gr)	4212.50	4212.50	4212.50	4212.50	4212.50
Peso Material Húmedo (gr)	1487.50	1697.50	1817.50	1747.50	1677.50
Volumen del Molde (cm ³)	942.27	942.27	942.27	942.27	942.27
Densidad Húmeda (gr/cm ³)	1.58	1.80	1.93	1.85	1.78

CONTENIDO DE HUMEDAD

Nº de Cápsula	T-101	T-102	T-111	T-109	T-103
Peso de Cápsula (gr)	137.50	149.70	108.50	120.40	138.10
Cápsula + material húmedo (gr)	641.90	699.20	572.30	533.50	649.10
Cápsula + material seco (gr)	557.30	599.90	482.30	448.00	537.40
Peso del agua (gr)	84.60	99.30	90.00	85.50	111.70
Peso del material seco (gr)	419.80	450.20	373.80	327.60	399.30
Contenido de Humedad (%)	20.15	22.06	24.08	26.10	27.97
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.31	1.48	1.55	1.47	1.39

Ubicación del Muestreo : Talud carretera cajamarca-minas conga

Muestra Nº : M-14, color marrón oscuro

Tabla 93. Cálculo del análisis granulométrico. ASTM D 422

Nº	TAMIZ ABER.(mm)	PRP (gr)	%RP	%RA	% QUE PASA
3"	76.200				
2"	50.300	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.100	4.90	0.33	0.33	99.70
1"	25.400	18.50	1.23	1.56	98.40
3/4"	19.050	25.40	1.69	3.25	96.70
1/2"	12.700	42.50	2.83	6.09	93.90
3/8"	9.525	28.80	1.92	8.01	92.00
1/4"	6.350	19.60	1.31	9.31	90.70
Nº4	4.760	41.60	2.77	12.09	87.90
N 10	2.000	109.20	7.28	19.37	80.60
N 20	0.840	105.90	7.06	26.43	73.60
N 30	0.590	48.70	3.25	29.67	70.30
N 40	0.426	32.40	2.16	31.83	68.20
N 60	0.250	65.80	4.39	36.22	63.80
N 100	0.149	60.50	4.03	40.25	59.70
N 200	0.074	73.30	4.89	45.14	54.90
Pérdida por lavado		81.90	5.46	50.60	49.40
TOTAL		759.00	50.60		

Tabla 94. Cálculo de límites de consistencia. ASTM D 4318

PESOS	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
	M1	M2	M3	LP1	LP2
Nº de Tara	B-9	B-7	B-1	L-17	L-23
Wt (gr)	57.62	53.96	62.67	21.82	21.47
Wmh + t (gr)	69.13	66.76	72.80	29.55	31.02
Wms + t (gr)	65.29	62.42	69.30	27.92	29.00
Wms (gr)	7.67	8.46	6.63	6.10	7.53
W w (gr)	3.84	4.34	3.50	1.63	2.02
W(%)	50.07	51.30	52.79	26.72	26.83
Nº.Golpes	35	25	15	.....	....
LL/LP (%)	51.39			26.77	

Tabla 95. Cálculo de la máxima densidad seca y contenido óptimo de humedad.

ASTM D 1557-91 (98) AASHTO T 180-70 MTC E 115-2000 (METODO A)

PUNTO	P1	P2	P3	P4	P5
Nº Capas	5	5	5	5	5
Nº Golpes por capa	25	25	25	25	25
Porcentaje de Agua	4%	6%	8%	10%	12%
Molde + Material Húmedo (gr)	5675.00	5832.00	5990.00	5920.00	5840.00
Peso del Molde (gr)	4212.50	4212.50	4212.50	4212.50	4212.50
Peso Material Húmedo (gr)	1462.50	1619.50	1777.50	1707.50	1627.50
Volumen del Molde (cm3)	942.27	942.27	942.27	942.27	942.27
Densidad Húmeda (gr/cm3)	1.55	1.72	1.89	1.81	1.73
CONTENIDO DE HUMEDAD					
Nº de Cápsula	A-4	T-112	T-102	T-101	T-109
Peso de Cápsula (gr)	45.30	110.90	149.80	137.40	120.10
Cápsula + material húmedo (gr)	535.30	658.10	703.00	674.90	712.90
Cápsula + material seco (gr)	474.20	582.30	618.50	585.30	605.80
Peso del agua (gr)	61.10	75.80	84.50	89.60	107.10
Peso del material seco (gr)	428.90	471.40	468.70	447.90	485.70
Contenido de Humedad (%)	14.25	16.08	18.03	20.00	22.05
Densidad Seca (gr/cm3)	1.36	1.48	1.60	1.51	1.42

Ubicación del Muestreo : Talud carretera cajamarca-minas conga
 Muestra N° : M-15
 Color : Amarillo

Tabla 96. Cálculo del análisis granulométrico. ASTM D 422

N°	TAMIZ	PRP (gr)	%RP	%RA	% QUE PASA
	ABER.(mm)				
3"	76.200				
2"	50.300	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.100	99.80	6.65	6.65	93.30
1"	25.400	27.10	1.81	8.46	91.50
3/4"	19.050	15.50	1.03	9.49	90.50
1/2"	12.700	22.40	1.49	10.99	89.00
3/8"	9.525	12.80	0.85	11.84	88.20
1/4"	6.350	50.60	3.37	15.21	84.80
N°4	4.760	71.80	4.79	20.00	80.00
N 10	2.000	49.50	3.30	23.30	76.70
N 20	0.840	58.40	3.89	27.19	72.80
N 30	0.590	35.80	2.39	29.58	70.40
N 40	0.426	16.80	1.12	30.70	69.30
N 60	0.250	50.10	3.34	34.04	66.00
N 100	0.149	29.30	1.95	35.99	64.00
N 200	0.074	53.90	3.59	39.59	60.40
Pérdida por lavado		906.2	60.41	100.00	0.00
TOTAL		1500.00	100.00		

Tabla 97. Cálculo de límites de consistencia. ASTM D 4318

PESOS	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
	M1	M2	M3	LP1	LP2
N° de Tara	B-18	B-10	B-5	L-3	L-5
Wt (gr)	73.18	65.93	70.39	22.20	22.00
Wmh + t (gr)	85.43	79.89	82.81	29.96	28.20
Wms + t (gr)	81.04	74.82	78.25	28.52	27.05
Wms (gr)	7.86	8.89	7.86	6.32	5.05
W w (gr)	4.39	5.07	4.56	1.44	1.15
W(%)	55.85	57.03	58.02	22.78	22.77
N°.Golpes	34	25	15	.....	....
LL/LP (%)		56.97		22.78	

Tabla 98. Cálculo de la máxima densidad seca y contenido óptimo de humedad.

ASTM D 1557-91 (98) AASHTO T 180-70 MTC E 115-2000 (METODO A)					
PUNTO	P1	P2	P3	P4	P5
Nº Capas	5	5	5	5	5
Nº Golpes por capa	25	25	25	25	25
Porcentaje de Agua	14%	16%	18%	20%	10%
Molde + Material Húmedo (gr)	5918.00	6018.00	6037.00	6015.00	10731.00
Peso del Molde (gr)	4212.50	4212.50	4212.50	4212.50	4212.50
Peso Material Húmedo (gr)	1705.50	1805.50	1824.50	1802.50	6518.50
Volumen del Molde (cm3)	942.27	942.27	942.27	942.27	2115.49
Densidad Húmeda (gr/cm3)	1.81	1.92	1.94	1.91	3.08
CONTENIDO DE HUMEDAD					
Nº de Cápsula	T-107	T-105	T-110	T-108	R-28
Peso de Cápsula (gr)	111.70	145.20	117.60	112.20	226.20
Cápsula + material húmedo (gr)	682.90	616.60	667.20	699.00	1026.20
Cápsula + material seco (gr)	594.00	536.60	566.30	583.60	940.90
Peso del agua (gr)	88.90	80.00	100.90	115.40	85.30
Peso del material seco (gr)	482.30	391.40	448.70	471.40	714.70
Contenido de Humedad (%)	18.43	20.44	22.49	24.48	11.94
Densidad Seca (gr/cm3)	1.53	1.59	1.58	1.54	2.75