

**OBTENCIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO Y LÍMITE PLÁSTICO USANDO EL
PENETRÓMETRO DE CONO DE CAÍDA Y LA CAZUELA DE CASAGRANDE
PARA LA COMBINACIÓN DE UN SUELO 50% CAOLÍN Y 50% DIATOMEA**

**DAMARIS ZULEID DÍAZ RODRÍGUEZ
LEIDY TATIANA LLANTÉN MARÍN**

**CÓDIGO: 504655
CÓDIGO: 504730**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
BOGOTÁ D.C
2017**

**OBTENCIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO Y LÍMITE PLÁSTICO USANDO EL
PENETRÓMETRO DE CONO DE CAÍDA Y LA CAZUELA DE CASAGRANDE
PARA LA COMBINACIÓN DE UN SUELO 50% CAOLÍN Y 50% DIATOMEA**

**DAMARIS ZULEID DÍAZ RODRÍGUEZ
LEIDY TATIANA LLANTÉN MARÍN**

**CÓDIGO: 504655
CÓDIGO: 504730**

**Trabajo de grado para optar al título de
Ingeniero Civil**

**Director
JUAN CARLOS RUGE CARDENAS
Ingeniero Civil**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
BOGOTÁ D.C
2017**



Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:
Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

Para leer el texto completo de la licencia, visita:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra

hacer obras derivadas

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.

Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá D.C, 13 de Diciembre de 2017

AGRADECIMIENTOS

Dios, por permitirnos alcanzar tan importante logro

Carlos Díaz, Martha Rodríguez; Wilmer Llantén, María Marín, nuestros padres por el apoyo incondicional, la motivación y la Fe en el transcurso de la carrera.

Gracias Dios por permitirme alcanzar un logro de tantos sueños que quiero realizar en mi vida, sé que eres participe de cada paso que doy. Mi familia siempre ha sido el motor de mi vida. Agradezco inmensamente a mi madre Maria Ruth Marín Rueda y a mi padre Wilmer Alonso Llantén Sánchez por su amor, cariño y comprensión. Han hecho de mí una mejor persona y profesional. Este logro lo dedico a mi familia por creer en mí, aunque en varios momentos de mi carrera tuve percances, ustedes siempre fueron el bastón que necesite para levantarme y seguir con el camino.

Ingeniero Juan Carlos Ruge, gracias por los conocimientos compartidos y la orientación desde el inicio hasta la culminación de este proyecto.

Universidad Católica de Colombia, así como al personal de laboratorio y docentes, por el conocimiento aportado.

Satty que descansa en paz en el cielo de los perros.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1. GENERALIDADES.....	18
1.1 POSIBLE TITULO.....	18
1.2 ALTERNATIVA.....	18
1.3 LINEA DE INVESTIGACION.....	18
2. INTRODUCCION.....	19
3. PLANTEAMIENTO Y FORMULACION DEL PROBLEMA.....	20
4. ANTECEDENTE Y JUSTIFICACIÓN.....	21
5. OBJETIVOS.....	22
5.1 OBJETIVO GENERAL.....	22
5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	22
6. ALCANCE Y LIMITACIONES.....	23
7. MARCO DE REFERENCIA.....	24
7.1 MARCO TEORICO.....	24
7.2 MARCO CONCEPTUAL.....	26
7.2.1 SUELO CAOLINITICO.....	27
7.2.2 SUELOS DIATOMEAS.....	27
7.2.3 MÉTODO DE CASAGRANDE.....	27
7.2.4 MÉTODO PENETRÓMETRO DE CONO DE CAÍDA.....	28
7.2.5 MUESTREO.....	29
7.3 MARCO HISTÓRICO.....	30
7.4 ESTADO DEL ARTE.....	30
8. METODOLOGÍA.....	34
8.1 FASE 1 – RECOPIACION DE INFORMACION.....	34
8.2 FASE 2 – CARACTERIZACIÓN DE LA MEZCLA DE LAS MUESTRAS.....	34
8.2.1 ENSAYO DE PENETRÓMETRO DE CONO DE CAÍDA.....	34
8.2.2 ENSAYO DE CASAGRANDE.....	41
8.2.3 ENSAYO LÍMITE PLÁSTICO – ROLLITOS.....	46
8.3 FASE 3 – ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	48
9. RESULTADOS.....	49
9.1 RESULTADOS PENETRÓMETRO DE CONO DE CAÍDA.....	49
9.1.1 ENSAYO LÍMITE LÍQUIDO.....	49
9.1.2 ENSAYO LÍMITE PLÁSTICO – MÉTODO DUOBLE FALL CONE.....	55
9.1.3 ENSAYO LÍMITE PLÁSTICO – MÉTODO FENG 2000.....	60

9.2 RESULTADOS MÉTODO DE CASAGRANDE	65
9.2.1 ENSAYO LÍMITE PLÁSTICO – MÉTODO ROLLITOS.....	65
9.2.2 ENSAYO LÍMITE LÍQUIDO.....	67
10. ANALISIS DE RESULTADOS.....	73
10.1 PENETRÓMETRO DE CONO DE CAÍDA VS CASAGRANDE	73
10.1.1 ENSAYO LÍMITE LÍQUIDO.....	73
10.1.2 ENSAYO LÍMITE PLÁSTICO – MÉTODO DOBLE PESO.....	81
10.1.3 ENSAYO LÍMITE PLÁSTICO – MÉTODO FENG 2000	88
11. RECOMENDACIONES	96
12. CONCLUSIONES	97
13. BIBLIOGRAFÍA	98

INDICE DE TABLAS

Pág.

Tabla 1 Especificaciones y Dimensiones de los Conos para el Limite Liquido	29
Tabla 2 Especificaciones y Dimensiones de los Conos para el Limite Plástico	29
Tabla 3 Limites Líquidos determinados con el cono sueco y la Copa de Casagrande	32
Tabla 4 Resultados de Laboratorio - Cono Británico LL	50
Tabla 5 Resultados de Laboratorio - Cono Ruso LL	51
Tabla 6 Resultados de Laboratorio - Cono Colombiano LL	52
Tabla 7 Resultados de Laboratorio - Canadiense LL	53
Tabla 8 Resultados de Laboratorio - Cono Indio LL	54
Tabla 9 Resultados de Laboratorio - Cono Británico LP	55
Tabla 10 Resultados de Laboratorio - Cono Ruso LP	56
Tabla 11 Resultados de Laboratorio – Cono Colombiano LP	57
Tabla 12 Resultados de Laboratorio – Cono Canadiense LP	58
Tabla 13 Resultados de Laboratorio – Cono Indio LP	59
Tabla 14 Resultados de Laboratorio – Cono Británico LP	60
Tabla 15 Resultados de Laboratorio – Cono Ruso LP	61
Tabla 16 Resultados de Laboratorio – Cono Colombiano LP	62
Tabla 17 Resultados de Laboratorio – Cono Canadiense LP	63
Tabla 18 Resultados de Laboratorio – Cono Indio LP	64
Tabla 19 Resultados de Laboratorio – Método Rollitos LP Ensayo 1	65
Tabla 20 Resultados de Laboratorio – Método Rollitos LP Ensayo 2	65
Tabla 21 Resultados de Laboratorio – Método Rollitos LP Ensayo 3	66
Tabla 22 Resultados de Laboratorio – Método Rollitos LP Ensayo 4	66
Tabla 23 Resultados de Laboratorio – Método Rollitos LP Ensayo 5	67
Tabla 24 Resultados de Laboratorio – LL Casagrande Ensayo 1	67
Tabla 25 Resultados de Laboratorio – LL Casagrande Ensayo 2	68
Tabla 26 Resultados de Laboratorio – LL Casagrande Ensayo 3	69
Tabla 27 Resultados de Laboratorio – LL Casagrande Ensayo 4	70
Tabla 28 Resultados de Laboratorio – LL Casagrande Ensayo 5	71
Tabla 29 Resultados W% del LL Cono Británico Vs Casagrande	73
Tabla 30 % Error Cono Británico VS Casagrande LL	74
Tabla 31 Resultados W% del LL Cono Ruso Vs Casagrande	75
Tabla 32 % Error Ruso VS Casagrande LL	76
Tabla 33 Resultados W% del LL Cono Colombiano Vs Casagrande	76
Tabla 34 % Error Colombiano VS Casagrande LL	77
Tabla 35 Resultados W% del LL Cono Canadiense Vs Casagrande	78

Tabla 36 % Error Canadiense VS Casagrande LL.....	79
Tabla 37 Resultados W% del LL Cono Indio Vs Casagrande	79
Tabla 38 % Error Indio VS Casagrande LL	80
Tabla 39 W% de LL Penetrómetro de cono de caída Vs Casagrande	80
Tabla 40 Resultados W% del LP Cono Británico Vs Casagrande	81
Tabla 41 % Error Británico Vs Casagrande LP	82
Tabla 42 Resultados W% del LP Cono Ruso Vs Casagrande	83
Tabla 43 % Error Ruso Vs Casagrande LP	83
Tabla 44 Resultados W% del LP Cono Colombiano Vs Casagrande	84
Tabla 45 Colombiano Vs Casagrande LP	84
Tabla 46 Resultados W% del LP Cono Canadiense Vs Casagrande	85
Tabla 47 Canadiense Vs Casagrande LP	86
Tabla 48 Resultados W% del LP Cono Indio Vs Casagrande	86
Tabla 49 Indio Vs Casagrande LP	87
Tabla 50 W% de LP Penetrómetro de cono de caída Vs Casagrande- Doble peso	87
Tabla 51 Resultados W% del LP Cono Británico (FENG 2000) Vs Casagrande ...	88
Tabla 52 % Error Británico Vs Casagrande LP- FENG 2000	89
Tabla 53 Resultados W% del LP Cono Ruso (FENG 2000) Vs Casagrande.....	89
Tabla 54 % Error Ruso Vs Casagrande LP- FENG 2000	90
Tabla 55 Resultados W% del LP Cono Colombiano (FENG 2000) Vs Casagrande	91
Tabla 56 % Error Colombiano Vs Casagrande LP- FENG 2000.....	91
Tabla 57 Resultados W% del LP Cono Canadiense (FENG 2000) Vs Casagrande	92
Tabla 58 % Error Canadiense Vs Casagrande LP- FENG 2000.....	92
Tabla 59 Resultados W% del LP Cono Indio (FENG 2000) Vs Casagrande	93
Tabla 60 % Error Indio Vs Casagrande LP- FENG 2000	94
Tabla 61 W% de LP Penetrómetro de cono de caída Vs Casagrande - FENG 2000	94

INDICE DE ILUSTRACIONES

	Pág.
Ilustración 1 Penetrómetro de Cono de Caída	24
Ilustración 2 Cazuela de Casagrande	25
Ilustración 3 Penetrómetro Cono de Caída Utilizado para efectuar los ensayos de Laboratorio.....	28
Ilustración 4 Limite Liquido	32
Ilustración 5 Materiales	35
Ilustración 6 Conos y Recipientes.....	36
Ilustración 7 Arcilla Diatomea 150g.....	36
Ilustración 8 Arcila Caolín 150g	37
Ilustración 9 Muestra para ensayo 300g Caolín + Diatomea	37
Ilustración 10 Muestra más adición de Agua	38
Ilustración 11 Mezcla Homogénea de Muestra	38
Ilustración 12 Penetrómetro de Cono más Muestra	39
Ilustración 13 Penetración a 5s.....	39
Ilustración 14 Muestra de suelo previa a llevar al horno	40
Ilustración 15 Muestra en Horno	40
Ilustración 16 Materiales y Equipo Casagrande.....	42
Ilustración 17 Preparación de la Muestra.....	42
Ilustración 18 Muestra enrasada en aparato.....	43
Ilustración 19 Montaje masa de suelo en aparato.....	43
Ilustración 20 Ilustración Ranura a masa de suelo	44
Ilustración 21 Ejecución del Ensayo	44
Ilustración 22 Masa de suelo finalizado ensayo.....	44
Ilustración 23 Muestra lista para retirar	45
Ilustración 24 Porción de muestra para análisis.....	45
Ilustración 25 Rollo de muestra arcillosa	46
Ilustración 26 Rollo en varios pedazos	47
Ilustración 27 Muestra lista para llevar al horno	47

INDICE DE GRAFICAS

Pág.

Gráfica 1 Contenido de Humedad VS LL %.....	26
Gráfica 2 Correlación entre los límites líquidos de diversos suelos obtenidos con la copa de Casagrande y el cono sueco, secados en el HC.....	32
Gráfica 3 %W VS Penetración - Cono Británico LL	50
Gráfica 4 %W VS Penetración - Cono Ruso LL.....	51
Gráfica 5 %W VS Penetración - Cono Colombiano LL	52
Gráfica 6 %W VS Penetración - Cono Canadiense LL	53
Gráfica 7 %W VS Penetración - Cono Indio LL	54
Gráfica 8 %W VS Penetración - Cono Británico LP	55
Gráfica 9 %W VS Penetración - Cono Ruso LP.....	56
Gráfica 10 %W VS Penetración - Cono Colombiano LP	57
Gráfica 11 %W VS Penetración - Cono Colombiano LP	58
Gráfica 12 %W VS Penetración - Cono Indio LP	59
Gráfica 13 %W VS Penetración - Cono Británico LP	60
Gráfica 14 %W VS Penetración - Cono Ruso LP.....	61
Gráfica 15 %W VS Penetración - Cono Colombiano LP.....	62
Gráfica 16 %W VS Penetración - Cono Canadiense LP.....	63
Gráfica 17 %W VS Penetración - Cono Indio LP	64
Gráfica 18 %W VS N° Golpes LL Ensayo 1	68
Gráfica 19 %W VS N° Golpes LL Ensayo 2.....	69
Gráfica 20 %W VS N° Golpes LL Ensayo 3.....	70
Gráfica 21 %W VS N° Golpes LL Ensayo 4.....	71
Gráfica 22 %W VS N° Golpes LL Ensayo 5.....	72
Gráfica 23 Cono Británico VS Casagrande LL.....	74
Gráfica 24 Cono Ruso VS Casagrande LL	75
Gráfica 25 Cono Colombiano VS Casagrande LL.....	77
Gráfica 26 Cono Canadiense VS Casagrande LL.....	78
Gráfica 27 Cono Indio VS Casagrande LL.....	80
Gráfica 28 General del comportamiento del W% del LL Penetrómetro de cono de caída Vs Casagrande	81
Gráfica 29 Cono Británico Vs Casagrande LP	82
Gráfica 30 Cono Ruso Vs Casagrande LP	83
Gráfica 31 Cono Colombiano Vs Casagrande LP.....	84
Gráfica 32 Cono Canadiense Vs Casagrande LP	85
Gráfica 33 Cono Indio Vs Casagrande LP	86
Gráfica 34 General del comportamiento del W% del LP Penetrómetro de cono de caída Vs Casagrande -Doble peso	88

Gráfica 35 Cono Británico Vs Casagrande LP - FENG 2000.....	89
Gráfica 36 Cono Ruso Vs Casagrande LP - FENG 2000	90
Gráfica 37 Cono Colombiano Vs Casagrande LP - FENG 2000.....	91
Gráfica 38 Cono Canadiense Vs Casagrande LP - FENG 2000.....	92
Gráfica 39 Cono Cano Indio Vs Casagrande LP - FENG 2000	93
Gráfica 40 General del comportamiento del W% del LP Penetrómetro de cono de caída Vs Casagrande -FENG 2000	95

INDICE DE ANEXOS

Pág.

Anexo 1 resultados de laboratorio y lectura del % w - británico II (penetrometro de cono de caída)	101
Anexo 2 resultados de laboratorio y lectura del % w - ruso II (penetrometro de cono de caída)	102
Anexo 3 resultados de laboratorio y lectura del % w – colombiano II (penetrometro de cono de caída)	103
Anexo 4 resultados de laboratorio y lectura del % w – canadiense II (penetrometro de cono de caída)	104
Anexo 5 resultados de laboratorio y lectura del % w – indio II (penetrometro de cono de caída)	105
6 resultados de laboratorio y lectura del % w - británico Ip (método: double fall cone).....	106
Anexo 7 resultados de laboratorio y lectura del % w - ruso Ip (método: double fall cone).....	107
Anexo 8 resultados de laboratorio y lectura del % w - colombiano Ip (método: double fall cone).....	108
Anexo 9 resultados de laboratorio y lectura del % w – canadiense Ip (método: double fall cone).....	109
Anexo 10 resultados de laboratorio y lectura del % w – indio Ip (método: double fall cone).....	110
Anexo 11 resultados de laboratorio y lectura del % w – británico Ip (método: feng 2000).....	111
Anexo 12 resultados de laboratorio y lectura del % w – ruso Ip (método: feng 2000)	112
Anexo 13 resultados de laboratorio y lectura del % w – colombiano Ip (método: feng 2000).....	113
Anexo 14 resultados de laboratorio y lectura del % w – canadiense Ip (método: feng 2000).....	114
Anexo 15 resultados de laboratorio y lectura del % w – indio Ip (método: feng 2000).....	115

GLOSARIO

ACCESORIO DE DESLIZAMIENTO: Un dispositivo opcional que facilita la lectura de la distancia que la punta del Penetrómetro dinámico de cono (PDC) penetra dentro del suelo. Generalmente va asegurado al yunque del aparato o a la varilla inferior y se sostiene y se desliza sobre una escala independiente o puede estar sostenido por una varilla externa y deslizar a lo largo de la varilla inferior del Penetrómetro. (INVIAS, 2007)

ARCILLA: Partículas submicroscópicas en forma de escamas de mica, minerales arcillosos y otros minerales. Las arcillas se definen como partículas menores a 0.002mm, y no contienen necesariamente materiales arcillosos. (Das, Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, 1985)

CAOLÍN: Es una arcilla blanca procedente de la descomposición de rocas feldespáticas y puede venir mezclada con cuarzo, feldespato y minerales ferruginosos. (POLITECNICA, s.f.)

CONSOLIDACIÓN: La Consolidación es un proceso de disminución de volumen que se produce en un lapso de tiempo y que es debido a un incremento de las cargas sobre el suelo, tiene como objetivo determinar el decremento de volumen que sufre un suelo al tener cargas encima o con el peso propio y la velocidad con el que este se produce. (Rodríguez, 2012)

CONTENIDO GRAVIMÉTRICO DE HUMEDAD W (%): Relación expresada como un porcentaje entre: a) la masa de agua contenida en los poros del suelo o de la roca, y b) la masa de las partículas sólidas del suelo o de la roca. (ICONTEC, Proyecto de Norma Técnica Colombiana NTC 4630, 2012)

DIATOMEA: Son un organismo unicelular microscópico, un tipo de algas, uno de los tipos de fitoplancton más habitual, del que se conocen más de 200 tipos. En ocasiones las diatomeas se presentan en colonias. Una característica especial de las algas Diatomeas es que están rodeadas por una pared celular formada de sílice opalina o dióxido de silicio hidratado. (NATURAL, s.f.)

ESTADO LÍQUIDO: Condición del suelo en la que este se deforma por la sola acción de la gravedad, o bajo la acción de tensiones de cortante muy bajas, de manera que su comportamiento corresponde al de un fluido viscoso, y su resistencia al cortante es inferior a 2 kPa (2×10^{-2} kg/cm²). (ICONTEC, Proyecto de Norma Técnica Colombiana NTC 4630, 2012)

ESTADO PLÁSTICO: Condición del suelo en la que este responde a los esfuerzos cortantes con deformaciones no recuperables; corresponde a una resistencia al

cortante en el intervalo 2 kPa - 170 kPa. (ICONTEC, Proyecto de Norma Técnica Colombiana NTC 4630, 2012)

ÍNDICE DE PLASTICIDAD: Es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico de un suelo. (Das, Fundamentos de Ingeniería Geotécnica , 1985)

LÍMITE DE CONTRACCIÓN: Contenido de agua con el cual el suelo no sufre ningún cambio adicional de volumen con la pérdida de agua. (Das, Principios de Ingeniería de Cimentaciones, 1999)

LÍMITES DE ATTERBERG: El contenido de agua, en porcentaje en el que la transición de estado sólido a semisólido tiene lugar, se define como límite de contracción. El contenido de agua en el punto de transición de estado semisólido a plástico es el límite plástico, y de estado plástico a líquido, es el límite líquido. (Das, Fundamentos de Ingeniería Geotécnica , 1985)

LÍMITE PLÁSTICO: Contenido de agua en porcentaje, con el cual el suelo, al ser enrollado en rollitos de 3.2mm de diámetro, se desmorona. El límite plástico es el límite inferior de la etapa plástica del suelo. (Das, Fundamentos de Ingeniería Geotécnica , 1985)

PENETRÓMETRO DE CONO DE CAÍDA: Popular en Europa y Asia, parece ofrecer una mayor precisión (menos propenso) a los errores del operador, método para determinar los límites de líquido y plástico, Se suspende un cono con un ángulo de vértice de 30° y una masa total de 80 gramos arriba, pero solo en contacto con, la muestra de suelo. El cono puede caer libremente por un período de 5 segundos. El contenido de agua correspondiente a una penetración de cono de 20 mm define el límite líquido. (Budhu, 2015)

MUESTREO: Consiste en la obtención de una porción del material con el que se pretende construir una estructura o bien del material que ya forma parte de la misma, de tal manera que las características de la porción obtenida sean representativas del conjunto. El muestreo, además, incluye las operaciones de envase, identificación y transporte de las muestras.

PERMEABILIDAD: Es la capacidad de una masa de suelo o terreno de permitir el flujo de líquidos a través de un gradiente hidráulico. En el diseño de cimentaciones, por lo general lo único que es necesario saber es la permeabilidad en condiciones de saturación. Las permeabilidades de casi todos los tipos de suelo son muy variables y dependen en gran medida de variaciones relativamente pequeñas de la masa edafológica. (Abreu, 2012)

PRUEBAS DE LABORATORIO: Básicamente, las pruebas de laboratorio generan datos más exactos sobre las propiedades ingenieriles del suelo o terreno que las interpretaciones de las pruebas simples de campo (siempre que las muestras sean

en verdad representativas de las condiciones del subsuelo). El análisis de suelos en laboratorios se ha desarrollado hasta convertirse en una maraña de pruebas interrelacionadas, con una variedad de criterios y métodos. (Abreu, 2012)

SUELO: Agregado no cementado de granos minerales y materia orgánica descompuesta (partículas sólidas). Junto con el líquido y gas que ocupan los espacios vacíos entre las partículas sólidas. (Das, Fundamentos de Ingeniería Geotécnica , 1985)

RESUMEN

Se toma una muestra de arcilla Caolín 50% más Diatomea Colombiana 50%, por medio de la norma NTC4630 se establecen los parámetros acerca de cómo se debe realizar el ensayo de cazuela de Casagrande, la norma INVIAS 125 para la obtención del límite líquido y la norma INVIAS 126 para el límite plástico. Con los resultados obtenidos se pretende hacer una comparación entre el método del Penetrómetro de cono de caída y la Cazuela de Casagrande, con el fin de obtener los límites líquidos y límite plástico de la muestra de suelo, utilizando cinco conos de diferentes países tales como: Colombiano, Canadiense, Británico, Indio y Ruso; Los valores obtenidos del contenido de humedad son diferentes, pues los conos que se establecen para esta práctica dependen de sus diferentes dimensiones y pesos, finaliza el estudio con la comparación de los resultados obtenidos al ejecutar los ensayos y sus respectivos cálculos por medio de cada método determinado.

ABSTRACT

A sample of 50% Kaolin clay plus 50% Colombian Diatomea is taken, using the NTC4630 standard, the parameters are established about how the Casagrande casserole test should be carried out, the INVIAS 125 standard for obtaining the liquid limit and the INVIAS 126 standard for the plastic limit. With the results obtained, it is intended to make a comparison between the fall cone Penetrometer method and the Casagrande Casserole, in order to obtain the liquid limits and plastic limit of the soil sample, using five cones from different countries such as: Colombian, Canadian, British, Indian and Russian; The values obtained from the moisture content are different, since the cones established for this practice depend on their different dimensions and weights, the study ends with the comparison of the results obtained when performing the tests and their respective calculations by means of each method determined.

PALABRAS CLAVE

Arcilla, Ensayo, Humedad, Muestreo, Suelo

1. GENERALIDADES

1.1 POSIBLE TITULO

Obtención del Límite Líquido y Límite Plástico usando el Penetrómetro de Cono de Caída y la Cazuela de Casagrande para la combinación de un suelo 50% Caolín y 50% Diatomea.

1.2 ALTERNATIVA

Trabajo de Investigación: Se llevará a cabo bajo las determinadas especificaciones del Director de Proyecto, a partir de los conocimientos adquiridos en el transcurso de la carrera y el respectivo levantamiento bibliográfico, a fin de ejecutar los procesos bajo la normatividad vigente (NTC 4630) y posterior evaluación de los resultados obtenidos.

1.3 LINEA DE INVESTIGACION

Materiales

2. INTRODUCCION

Los suelos que poseen cohesión según su naturaleza y contenido de agua, logran mostrar propiedades que los clasifican en los siguientes estados: sólido, semi-sólido, plástico o semi-líquido. La cantidad de agua o saturación es el límite al que se origina el cambio de estado y varía en un suelo u otro.

La técnica más usada para medir estos límites se conoce como el método de Albert Atterberg el cual se lleva a cabo por medio de la cazuela de Casagrande para determinar el límite líquido, y el método de los Rollitos para determinar el límite plástico, obteniendo el contenido de humedad con los cuales se producen los cambios de estado, o más conocidos como límites de Atterberg. Estos marcan una disgregación arbitraria pero suficiente en la práctica en los cuatro estados citados anteriormente, entre los diferentes tipos de arcilla que se encuentran en la actualidad, está el Caolín Amarillo, este tipo de arcilla es de alta pureza caracterizada por su color predominante, y por sus múltiples aplicaciones industriales, y la Diatomea cuyas propiedades físicas provienen del silíceo de algas unicelulares, considerado como un óptimo material de filtración.

Teniendo en cuenta que los Doctores Arturo Casagrande y Albert Atterberg lograron un gran avance en la obtención de los límites líquidos y plásticos del suelo, es evidente que estos límites comprenden un amplio campo donde hace falta un profundo estudio, a través de estas investigaciones se ha permitido manejar características de los suelos finos trabajando muestras muy pequeñas, económicas y equipos simples.

De esta manera se genera un macro proyecto en donde se utilizarán diferentes tipos de suelos, estos serán estudiados por varios grupos de trabajo para la obtención de los límites de Atterberg. Se empleará el Penetrómetro de Cono de Caída o Penetrómetro de Vassilief, cuyo respaldo se encuentra en la norma británica BS 1377-1990; este se utiliza como método alternativo para determinar los límites líquidos y plásticos de una muestra de suelo, analizando su pertinencia se compararán los resultados arrojados por el método de la Cazuela de Casagrande con los obtenidos por el método del Penetrómetro de Cono Caída, con el fin de determinar cuál de los dos métodos es el más asertivo, cual disminuirá el margen de error, reducirá los tiempos de ejecución del ensayo, y por ende cuál será la mejor y más óptima alternativa.

3. PLANTEAMIENTO Y FORMULACION DEL PROBLEMA

Tomando el ensayo original desarrollado por Atterberg (1911), donde la pericia del operador influía en los resultados obtenidos; y la mecanización del ensayo por Casagrande (1932), las normas de todo el mundo han acogido como metodología para la obtención del Límite Líquido (LL) y Límite Plástico (LP), el ensayo de la Cazuela de Casagrande y el método de los Rollitos.

Aunque los resultados arrojados por el método de Atterberg son pertinentes, se genera un importante número de errores en la ejecución del ensayo, teniendo en cuenta que el margen de error varía en la experticia del operador, debido a esto se pretende implementar un método alternativo para la ejecución de los ensayos, el cual consiste en el Penetrómetro de Cono de Caída basado en la norma británica 1975 (BS 1377), De esta forma se plantea la siguiente formulación:

¿Será posible que el ensayo ejecutado con el Penetrómetro de Cono de Caída minimice los errores y proporcione mayor eficiencia, al momento de hallar los Límites de Atterberg con la combinación de dos arcillas, debido a que es esencialmente una prueba estática y no dinámica como la cazuela de Casagrande?

4. ANTECEDENTE Y JUSTIFICACIÓN

Durante años se han venido practicando ensayos que permitan determinar el contenido de humedad y la cohesión de los diferentes tipos de suelos, a fin de establecer las características propias de la muestra como compresibilidad, permeabilidad, compactación, expansión, así como los esfuerzos y el tipo de suelo en concreto que permitan el mejoramiento y estudio del mismo.

Un suelo al entrar en contacto con el agua, puede presentar los siguientes estados: sólido, líquido, semisólido y plástico dependiendo la cantidad de agua que este contenga. Según Albert, estos suelos pueden fluir como Semilíquidos si su contenido de humedad es excesivo, al perder agua tendrá una reacción Plástica, Semisólida o Sólida.

En dicha transición el suelo presenta un cambio de estado de líquido a plástico, lo que se conoce como Limite Líquido (LL). Por otro lado, cuando el suelo cambia de un estado plástico a semisólido y recíprocamente, se precisa como Limite Plástico (LP), denominados con el nombre de su autor Límites de Atterberg.

Por años se han venido efectuando ensayos tales como la Cazuela de Casagrande (AASHTO 89) y el método de los Rollitos (AASHTO 90) para determinar el LL y LP de diferentes tipos de suelos, cuyos resultados no eran tan precisos teniendo en cuenta que dependen tanto del aparato como de la persona que lo opera, por esta razón se empezaron a llevar a cabo investigaciones de diversas alternativas físicamente fundamentadas que permitieran la obtención de estos estados con resultados más exactos.

El Limite Líquido de una muestra de suelo se llevó a cabo por medio del método de la Cazuela de Casagrande, el cual hace referencia al nombre de su autor, y para determinar el Limite Plástico se realizaba el ensayo por el método de los rollitos. Con la intención de comparar los resultados obtenidos con otros métodos existentes y lograr mayor precisión en los resultados, se dio paso al empleo del Penetrómetro de Cono de Caída el cual permite determinar los valores tanto del LL como el LP, y se ha venido utilizando en países europeos y asiáticos.

El ensayo de Cono de Caída consiste en colocar una muestra de suelo sobre un recipiente metálico, un cono con las debidas especificaciones que se deja caer para que la punta del cono penetre el suelo, determinando así el LL y el LP, teniendo en cuenta la distancia de penetración en un tiempo estimado. Para lograr la medida contundente de penetración se realizan varias repeticiones que posteriormente serán promediadas a fin de obtener un valor más exacto. En el desarrollo de este proyecto se llevará a cabo este ensayo con una muestra de suelo de 50% Caolín y 50% Diatomea.

5. OBJETIVOS

5.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar el Límite Líquido y Límite Plástico utilizando el Penetrómetro de Cono de Caída y la Cazuela de Casagrande para la combinación de un suelo 50% Caolín y 50% Diatomea

5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudiar las características de plasticidad de la combinación de una muestra de arcilla de Caolín y Diatomea.
- Evaluar el uso y características del Penetrómetro de Cono de Caída como instrumento que permitirá establecer el Límite Líquido y Límite Plástico de la combinación de dos arcillas.
- Realizar los ensayos de laboratorio que permitan determinar el Límite Líquido y el Límite Plástico por medio del método de Cono de Caída y la Cazuela de Casagrande.
- Analizar los resultados obtenidos determinando que tan pertinente es el método del Penetrómetro de Cono de Caída frente al método de la Cazuela de Casagrande, por medio un estudio comparativo del comportamiento y características propias de la muestra en relación a los métodos utilizados.

6. ALCANCE Y LIMITACIONES

Este proyecto culminará con la determinación y aplicabilidad del ensayo Penetrómetro de Cono frente al método tradicional de Casagrande para determinar el LL y LP de una muestra de suelo conformado por Caolín (50%) más Diatomea Colombiana (50%), el cual proporcionará mayor información sobre este primer método, analizando los resultados obtenidos, realizando la comparación metodológica; Además de conocer las ventajas y desventajas entre ambos métodos y analizando que tan pertinente es el método del Penetrómetro de Cono frente al método tradicional.

El alcance de este proyecto se limita a la comparación y caracterización de un suelo Caolinitico + Diatomea, tanto los ensayos de laboratorio como el análisis comparativo que resulte de la ejecución de dichos muestreos sólo serán válidos para este tipo de suelo, que permitirán determinar la precisión y confiabilidad de cada uno de los métodos.

Para el desarrollo y ejecución de este proyecto se compró el Penetrómetro de cono así como las respectivas puntas cónicas (Británico, Colombiano, Ruso, Indio y Canadiense) utilizadas para la determinación de los límites de consistencia, los cuales quedarán a disposición de la Universidad Católica de Colombia para que sea implementado en las prácticas correspondientes como nueva alternativa para la obtención del LL y LP.

7. MARCO DE REFERENCIA

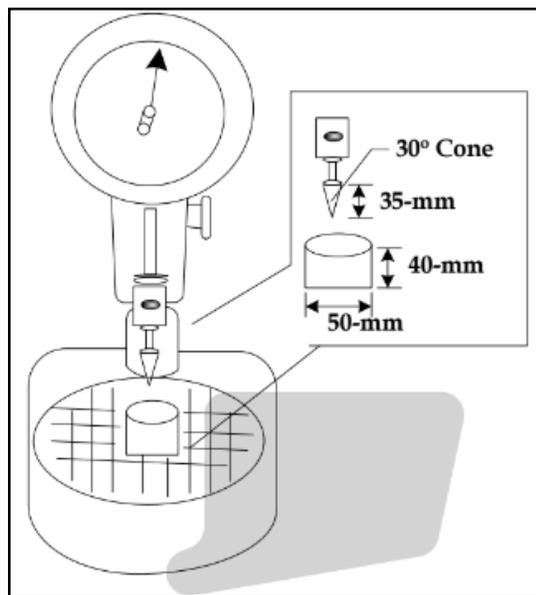
7.1 MARCO TEORICO

En varios países se han llevado a cabo ensayos con el Penetrómetro de Cono (ver Ilustración 1) para la determinación del LL y LP aunque como alternativa se usa el método de Casagrande que se observa en la Ilustración 2, el cual es el más utilizado dado que los aparatos tecnológicos con los que cuentan, no están adaptados a los nuevos sistemas de clasificación de suelos.

En Europa se llevó a cabo un estudio para comparar los resultados obtenidos y diferencias entre cada uno de los métodos, examinando diferentes tipos de suelos arcillosos y determinando sus características mineralógicas, clasificación granulométrica, LL y LP, plasticidad, gravedad específica de las partículas sólidas entre otras.

Para llevar a cabo este ensayo tomaron 100 valores obtenidos al determinar el LL, los resultados obtenidos se analizaron por medio de métodos estadísticos indicaban que el límite de líquido arrojado por el método de cono de caída era generalmente 2,2 puntos porcentuales superior al obtenido por la Cazuela de Casagrande, por lo cual se determinó el revisar de esa manera, los estudios existentes de clasificación de suelos a fin de reducir el margen de error.

Ilustración 1 Penetrómetro de Cono de Caída



Fuente: (Al-Sharify, 2008)

El método de Casagrande utilizado para la obtención del LL y LP presenta varias limitaciones. El Penetrómetro de Cono proporciona mejor eficiencia y puede ser

utilizado tantas veces como sea posible en un mismo ensayo, sin que el resultado varíe considerablemente. Sin embargo se realiza una comparación entre los valores obtenidos con el LL a partir del método de Penetrómetro de Cono y el método Casagrande, el cual se determina que el último de estos no es satisfactorio, ya que presentan diferentes estudios sobre la intensidad de remover los suelos en el LL presentados en solo los rangos de 3 y 0,7 KPa por debajo y por encima de la plasticidad del suelo (A. Mohajerani BE, 1999).

Uno de los procesos para la determinación del LL en el país de Europa incluye la variedad de métodos basados en Casagrande con diferentes mecanismos y dos basados sobre el Penetrómetro de Cono. El Penetrómetro de Cono es un método que comprende el método Swedish y British que usa respectivamente en sus dimensiones 60 grados / 60 gramos y 30 grados / 80gramos. (Eric Ferrell, 1997)

Ilustración 2 Cazuela de Casagrande



Fuente: Autores, 2017.

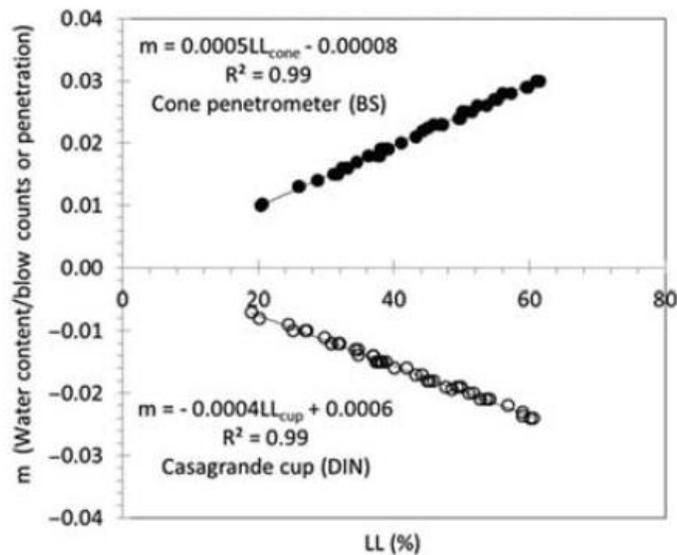
Los resultados al determinar el LL por medio de los dos métodos, fueron muy similares aunque los valores arrojados por el Penetrómetro de cono son proporcionalmente pequeños, en la siguiente grafica se puede apreciar la relación entre el LL obtenido con los dos métodos respectivamente.

Es considerable la diferencia entre los métodos de Penetrómetro de cono de caída y el método de Casagrande, donde se evidencia que se obtiene un límite líquido y plástico inferior en arcillas naturales, ya que en las arcillas Caolinítica puras estándar son mayores estos límites.

Según los ensayos realizados a las 50 arcillas obtenidas los sedimentos del Mar Báltico y del Mar del Norte, donde varios proyectos de parques están actualmente construidos o planificados, el método de Casagrande tiene varias Insuficiencias, como el problema de cortar una Ranura ideal, la necesidad de estimar la cuantía de Cierre de la ranura y la tarda velocidad de operación a diferencia del Penetrómetro de cono de caída el cual es el Método estándar y estático utilizado en los laboratorios de mecánica de suelos de Gran Bretaña.

El Penetrómetro de cono de caída produce el Limite Líquido y Limite Plástico de Albert con mayor asertividad como lo señala (Spagnoli, 2012), en una investigación realizada durante la construcción y planificación de proyectos internacionales cuyo objetivo era comparar los resultados arrojados por Casagrande y el Penetrómetro, los cuales fueron realizados en arcillas naturales Caoliníticas e Ilíticas, donde los resultados mostraban que los valores obtenidos por Casagrande eran ligeramente inferiores a los obtenidos por el Penetrómetro de cono, los cuales fueron determinados por medio de una ecuación de regresión.

Gráfica 1 Contenido de Humedad VS LL %



Fuente: (Spagnoli, 2012)

7.2 MARCO CONCEPTUAL

En el campo de la Ingeniería, los suelos se describen como un agregado no cementado de granos minerales y materia orgánica según (Al-Sharify, 2008), compuesto por vacíos que permiten el paso del agua entre las partículas sólidas, el suelo es usado en la Ingeniería Civil como base de todos los proyectos, para el apoyo de cimentaciones de edificaciones e infraestructuras y demás.

7.2.1 Suelo Caolinitico.

Los suelos Caolínicas son minerales que provienen de la arcilla producto de la descomposición de Feldespatos, se pueden encontrar en diversos colores dependiendo las impurezas que contenga, estos minerales arcillosos absorben agua por ende tienen una baja plasticidad, es un material moldeable, aislante eléctrico, resistente a temperaturas altas, tiene varios usos actualmente, desde estéticos hasta constructivos, para el desarrollo de este proyecto se utilizará el Caolín y la Diatomea arcillas que están incluidas en el presupuesto para su respectiva compra y de las cuales se proyecta determinar el LL y LP.

7.2.2 Suelos Diatomeas.

Los depósitos de tierra de diatomeas en todo el mundo se han convertido en un foco especial de investigación considerando algunos resultados no convencionales (altos valores) relacionados con los parámetros de resistencia al corte, especialmente el ángulo de fricción interno Φ' (Díaz, 1992) (Cheng, 2007) materia o partículas finas.

Investigaciones realizadas por (B. Caicedo, D. Zuluaga, C. Slebi, 2014) donde se han considerado dos especies de diatomeas, tendientes a identificar la variación en la resistencia al cizallamiento, compresibilidad y criterios de caracterización, sobre la base de la variación de la especie.

De los resultados se pudo concluir que los métodos convencionales de clasificación y caracterización (Casagrande) no son totalmente adecuados para el estudio de suelos Diatomeos. En ambas especies resultó evidente la mayor proporción de huecos a medida que aumentaba el contenido de diatomeas, esto se puede explicar por las estructuras de los microporos. A partir del parámetro de resistencia en Triaxial se puede observar que los valores de (ϕ') aumentaron a medida que el contenido de diatomeas fue mayor, que el fenómeno se observó en ambas especies pero en magnitud diferente. (B. Caicedo, D. Zuluaga, C. Slebi, 2014)

7.2.3 Método de Casagrande.

El Límite Líquido se determinará de una muestra de suelo 50% Caolín y 50% Diatomea que será seleccionada por medio del ensayo granulométrico que posteriormente entrará en contacto con el agua, este será depositado en la Cazuela esférica de bronce y luego dividido en dos partes por medio de un artefacto con punta.

Luego se hace fluir por medio de 25 golpes a una altura de 10mm a fin de que las dos partes se vuelvan a unir a una longitud de 13mm aproximadamente, según la NTC 4630, para determinar el LL por medio de este método es necesario realizar

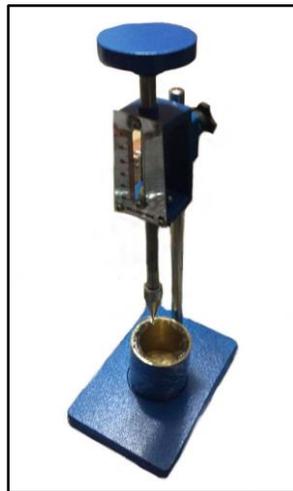
varios ensayos cuyos resultados serán promediados finalmente, por medio de una gráfica, la humedad del suelo y los cálculos correspondientes permitiendo de esta forma determinar el LL por medio de interpolación que se definirá como el porcentajes de humedad que contenga la muestra con respecto a su peso propio, en donde pasa del estado líquido al plástico.

Para determinar el LP se realizará el ensayo con la misma muestra de suelo utilizada para el ensayo anterior por medio del método de los Rollitos, donde se determina el contenido de humedad amasando dicha muestra hasta formar rollos de 3mm de diámetro que serán llevados al horno determinando el contenido gravimétrico de agua como límite plástico (ICONTEC, Norma Técnica Colombiana 129, 1995).

7.2.4 Método Penetrómetro de Cono de Caída.

Se lleva a cabo tomando una muestra de suelo con las mismas características usadas por el método de Casagrande introduciendo la muestra en un recipiente cilíndrico, posteriormente se ajusta el Penetrómetro con los diferentes conos (Tabla 1) que se encuentran incluidos en el presupuesto de este informe, para su debida compra y que se ajustaran a la punta del Penetrómetro el cual ya fue comprado por los integrantes del Macro proyecto y se evidencia en la ilustración 4, a fin de que penetre la muestra bajo la acción de su peso propio a una profundidad de 20mm, de igual manera se procederá a ejecutar este ensayo varias veces, se realiza la gráfica correspondiente entre la distancia de penetración y contenido de humedad de la muestra que permitirán determinar el LL y LP por medio de interpolación.

Ilustración 3 Penetrómetro Cono de Caída Utilizado para efectuar los ensayos de Laboratorio



Fuente: Ing. Juan Carlos Ruge (Director Trabajo de Grado) 2017

Si bien los dos ensayos aportan óptimos resultados, la ejecución del ensayo por el método de Casagrande depende de la persona que los esté ejecutando por ende arrojan un margen de error relativamente alto de ser realizados por distintos

operarios, caso contrario de llevar a cabo los ensayos por medio del método del Penetrómetro de cono.

Tabla 1 Especificaciones y Dimensiones de los Conos para el Limite Liquido

TIPO DE CONO	CONO			RECIPIENTE		Penetración (mm)	Tiempo de penetración (s)
	Peso (g)	Ángulo (grados)	Altura (mm)	Diámetro (mm)	Profundidad (mm)		
Británico	80	30	35	55	40	20	5
Ruso	76	30	25	37	20	10	10
Indio	148	31	38.48	50	50	25.4	5
Colombiano	75	45	No especifica	55	40	20	5
Canada	60	60	No especifica	40	20	20	5

Fuente: Autores, 2017.

Tabla 2 Especificaciones y Dimensiones de los Conos para el Limite Plástico

TIPO DE CONO	CONO			RECIPIENTE		Penetración (mm)	Tiempo de penetración (s)
	Peso (g)	Ángulo (grados)	Altura (mm)	Diámetro (mm)	Profundidad (mm)		
Británico	240	30	35	55	40	20	5
Ruso	228	30	25	37	20	10	10
Indio	444	31	38.48	50	50	25.4	5
Colombiano	225	45	No especifica	55	40	20	5
Canada	180	60	No especifica	55	40	20	5

Fuente: Autores, 2017.

7.2.5 Muestreo.

Para facilitar la aplicación de la experiencia previa al estudio de las condiciones nuevas del suelo, es necesario disponer de un sistema estándar de identificación de suelos o terrenos. Con ese fin, la clasificación de estos se basa generalmente en propiedades físicas que se evalúan según procedimientos normalizados. Las pruebas de evaluación de las propiedades de los suelos o de sus reacciones ante cargas constan de procedimientos de laboratorio y campo. (Abreu, 2012)

La muestra a utilizar es la combinación de arcillas Caolín y Diatomea las cuales serán compradas según los parámetros establecidos y teniendo en cuenta lo estipulado en las normas (NTC 3674, NTC 129 y ASTM D420) para seleccionar y mantener el suelo en las operaciones de muestreo. Las muestras obtenidas utilizando el procedimiento en húmedo deben ser conservadas con su contenido gravimétrico de saturación natural antes de que la preparación adquiera una parte significativa de la muestra total, suficiente para tener de 150 g a 200 g de material que pase el tamiz # 40 (425 µm).

La muestra seca y triturada puede partirse o seccionarse para obtener la cantidad de material necesaria para el ensayo. Las muestras saturadas se mezclarán totalmente en un recipiente con una espátula o mezclador y se extraerá una parte

representativa con una cuchara retirando dos o más cucharadas de la muestra mezclada según lo establecido en la Norma (ICONTEC, Norma Técnica Colombiana 129, 1995).

7.3 Marco Histórico

Han sido varios los ensayos ejecutados y que han dado lugar a numerosas, pero no muy aisladas conclusiones tal como presenta (Al-Sharify, 2008) un diario dedicado a realizar estudios e investigaciones de temas ingenieriles y en el cual presenta un informe para determinar el LP por medio del ensayo de Penetrómetro de Cono.

Los resultados y análisis arrojados de dicha práctica demuestran que para conseguir un valor promedio satisfactorio del LP basta con realizar tres o cuatro pruebas y simultáneamente se puede determinar el LL lo que representa un ahorro en tiempo significativo.

The British Standard (BS 1377: 1990) como lo soporta el artículo escrito por (Feng, 2004), recomienda el método del Penetrómetro de cono como la mejor alternativa para determinar LL, Teniendo en cuenta que para la ejecución de este ensayo se necesita un recipiente que sostenga la muestra, surge la preocupación con respecto al aire que puede afectar la muestra durante el llenado, ante dicho acontecimiento Feng recomendó reemplazar el recipiente por un anillo con las mismas dimensiones que permitiera la preparación de la muestra.

Con los anillos utilizados en la muestra se determinan los correspondientes límites para cada muestra, con respecto a los LP de los tres tipos de arcilla usados para esta práctica presentan una variación ligera, mientras que los obtenidos del LL tienen una variación significativa.

7.4 ESTADO DEL ARTE

Como lo indica (Spagnoli, 2012) en su artículo sobre la comparación de los métodos de Casagrande y Penetrómetro de Cono utilizados para determinar el LL en una muestra de caolín puro y arcilla, el método de Casagrande presenta múltiples deficiencias, como la de cortar una ranura ideal sobre la masa de suelo y la estimación a ojo de la medida e la misma son contar la proporción específica de la muestra que en grandes rasgos se evidencia la dependencia total de la ejecución del método con el operario.

El análisis principal de dicha investigación, surgió de la necesidad de caracterizar los suelos existentes de un tramo en específico proyectado para llevar a cabo la ejecución de un proyecto de parques eólicos que estaba en ejecución y próximos a construir en el Mar del Norte y el Báltico de las costas Alemanas, donde se

ejecutarían por vez primera los ensayos de laboratorio por el método del Penetrómetro de Cono, dado que las especificaciones técnicas para dichas pruebas se ajustaban a los métodos tradicionales.

En un ensayo de laboratorio realizado en la Universidad de Aalborg (Ibsen, 2011), el cual fue ejecutado para determinar el LL y LP tanto por el método de la Cazuela de Casagrande como el Penetrómetro de Cono y realizar las comparaciones entre los resultados obtenidos, se ha evidenciado que este último tiene una particularidad sobre el método de Casagrande, dado que los resultados no dependen de la persona que está ejecutando dicho ensayo, por esta razón los resultados pueden ser comparados independiente de quien esté operando el aparato, por otro lado se recomienda revisar en qué condiciones se encuentran los conos de penetración, dado que el mal estado o desgaste de los mismos pueden afectar considerablemente en los resultados.

Los parámetros para el inicio de la investigación regían en la necesidad de comparar la pericia de ambos métodos de acuerdo a lo dispuesto en la norma, los ensayos fueron ejecutados por el mismo operador con el fin de minimizar el margen de error humano donde como resultado se obtuvo datos más precisos para las muestras ejecutadas con el Penetrómetro de Cono, el cual se determinó por medio de un gráfico debido a la regresión lineal en donde se evidenciaba que el método de Casagrande arrojaba unos resultados ligeramente inferiores en comparación al método del Penetrómetro.

Para la determinación del LL por medio del Penetrómetro de Cono y la Cazuela de Casagrande con el cono Sueco, se realiza un estudio en el Instituto de Ingeniería donde se comprueba estadísticamente que este cono aunque proporciona valores ligeramente diferentes al método tradicional, permite determinar el LL de diferentes muestras de suelo, y dicho estudio arroja los resultados que se presentan a continuación:

Tabla 3 Limites Líquidos determinados con el cono sueco y la Copa de Casagrande

SUELO	CONO SUECO X	COPA DE CASAGRANDE Y	DIF	DIF/CONO	Yreg	
1	BENT-CAOLIN	40.4	35.5	4.9	0.1212871	39.8957
2		58	60	-2	-0.034483	62.522044
3		60	62.5	-2.5	-0.041667	65.093219
4		80.5	91	-10.5	-0.130435	91.447767
5		84.5	94.5	-10	-0.118343	98.590118
6		100	118	-18	-0.18	116.51673
7		120	146.5	-26.5	-0.220833	142.22848
8		137.5	169.5	-32	-0.232727	164.72627
9		155	194	-39	-0.251613	187.22405
10		175	220	-45	-0.257143	212.9358
11		199	249.7	-50.7	-0.254774	243.78991
12		215	276	-61	-0.283721	264.35931
13	CD. DE MEXICO	325	389	-64	-0.196923	405.77396
14	CH-LA PEÑA	80.2	84.4	-4.2	-0.052369	91.06209
15	CHICOASEN	33	30.2	2.8	0.0848485	30.382351
16	SC	33.1	31.9	1.2	0.0362538	30.51091
17	SAN VICENTE	33.9	31.7	2.2	0.0648968	31.53938
18	SM	34	32.9	1.1	0.0323529	31.667939
19	MH-NECAXA	76.6	77.4	-0.8	-0.010444	86.433975

Regression Output:	
Constant	-12.042
Std Err of Y Est	6.674494
R Squared	0.995822
No. of Observations	19
Degrees of Freedom	17
X Coefficient(s)	1.2855877
Std Err of Coef.	0.020195

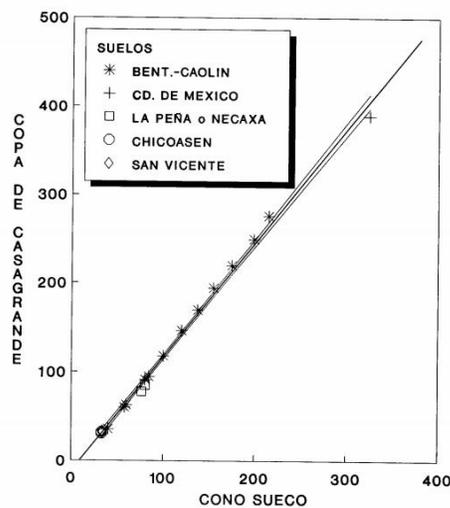
Fuente: (Mendoza)

Esta tabla comprende el contenido de humedad arrojado por ambos métodos, en un rango entre 30 y 90%, se incluye la diferencia entre los LL de cada método, y la diferencia relativa DIF/WLcono para cada muestra de suelo que se estudió.

Gráfica 2 Correlación entre los limites líquidos de diversos suelos obtenidos con la copa de Casagrande y el cono sueco, secados en el HC

Ilustración 4 Limite Liquido

HORNO DE CONVECCION - OPERADOR 1



Fuente: (Mendoza)

Como se observa en la gráfica, y según lo establecido en los análisis del estudio en mención, existe una excelente correlación lineal entre ambas determinaciones, se observa en general que el LL obtenido con la cazuela de Casagrande es mayor al determinado por el cono sueco, y se logró verificar estadísticamente que existe correlación lineal entre ambos métodos tal como se aprecia en la gráfica.

De este estudio se determina que el cono sueco es menos dependiente del factor humano que la cuchara de Casagrande, la menor dispersión en los resultados con el cono, se traduce en una recta de regresión con pendiente muy cercana a la unidad, se concluye de los resultados obtenidos en este estudio que la penetración de un cono con caída libre, arroja una medida más consistente de la resistencia al esfuerzo cortante que la implícita en el cierre de la ranura practicada con la cuela de Casagrande.

Del mismo modo se observa que la que le LL obtenido con la cazuela de Casagrande es mayor hasta en un 20% que el determinado mediante el cono sueco, sin duda el método tradicional sirve de base al sistema de clasificación de los suelos finos internacionalmente utilizados y se ha correlacionado con múltiples propiedades mecánicas, por tanto parece conveniente el contenido de humedad obtenido por Casagrande a partir del valor obtenido por el Penetrómetro de Cono, para lo que se usarían las correlaciones obtenidas y bien modificar para la cual se defina el contenido de humedad o incluso de juzgarse conveniente, cambiar las dimensiones del cono para igualar los resultados arrojados por una técnica y otra.
(Mendoza)

8. METODOLOGÍA

Para llevar a cabo el desarrollo del presente proyecto de investigación “Obtención del Límite Líquido y Límite Plástico usando el Penetrómetro de Cono de Caída y la Cazuela de Casagrande para la combinación de un suelo 50% Caolín y 50% Diatomea”, se realizaron los respectivos ensayos de laboratorio para determinar el contenido de humedad de la mezcla de los dos tipos de arcilla (Caolín y Diatomea), se plantearon las siguientes etapas que permitirán determinar los pasos a seguir para la culminación del proyecto a entregar.

8.1 FASE 1 – RECOPIACION DE INFORMACION

Planteamiento del problema seguido de una recopilación de información pertinente a fin de afianzar los conocimientos y tener una idea más clara de los materiales y sus características, los límites de consistencia, estudios, resultados obtenidos anteriormente y generalidades a nivel nacional e internacional, sobre el uso adecuado de los equipos a utilizar para llevar a cabo los estudios propuestos.

8.2 FASE 2 – CARACTERIZACIÓN DE LA MEZCLA DE LAS MUESTRAS

Se analizó la información obtenida y se procede con la caracterización de la mezcla de los dos tipos de arcilla, seguido de la ejecución de los ensayos de laboratorio que se ejecutaron de la siguiente manera: 10 ensayos para determinar el LL y LP por el método de Casagrande y 50 ensayos de Penetrómetro de Cono de Caída respectivamente donde se efectuaron 5 ensayos por cada referencia de cono; teniendo en cuenta las características físico químicas tanto del Caolín como la Diatomea, arcillas con las que se llevó a cabo la investigación del presente proyecto con 4 muestras a diferentes humedades y penetraciones por cada límite de consistencia, así como el quipo a utilizar, en este caso el aparato de Casagrande y el Penetrómetro de Cono de Caída, sus medidas, y características de los diversos conos (Ruso, Canadiense, Colombiano, Indio, Británico) con los que se realizaron dichas pruebas de laboratorio.

8.2.1 Ensayo de Penetrómetro de Cono de Caída.

La ejecución de este ensayo se llevó a cabo por medio de la Norma Técnica Colombiana (NTC 4630) Numeral 10 “*Determinación del Limite Liquido y Limite Plástico, Método de Vassilief*” que precisa la obtención de los límites de consistencia

por medio del Penetrómetro de Cono de Caída, el cual determina la resistencia a la penetración del suelo con diferentes conos normalizados y estandarizados.

En primer lugar se debe contar con el equipo necesario para el desarrollo del ensayo, el cual consta de:

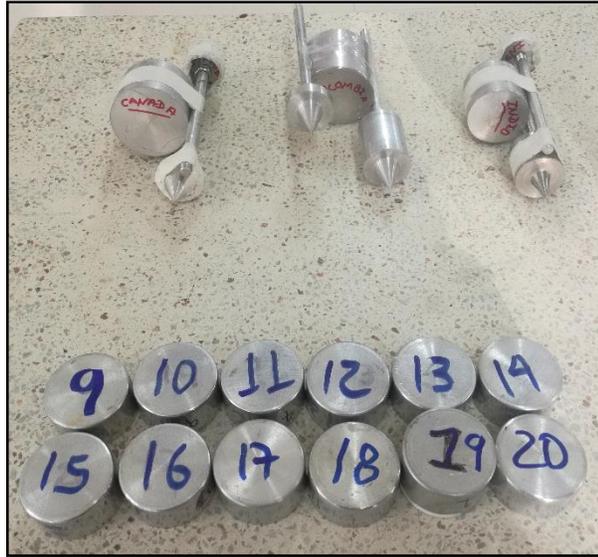
- Una pieza de vidrio plana
- Espátulas
- Recipientes metálicos de 55mm de diámetro y 40mm de profundidad con el borde paralelo a la base
- Recipiente de evaporación de 150mm de diámetro
- Equipo para la determinación del contenido gravimétrico de humedad
- Una botella de lavado con agua destilada
- Un recipiente resistente a la corrosión
- Regla de enrasar de 10mm de longitud o una espátula de borde recto
- Cronometro
- Balanza
- Horno de secado

Ilustración 5 Materiales



Fuente: Autores, 2017.

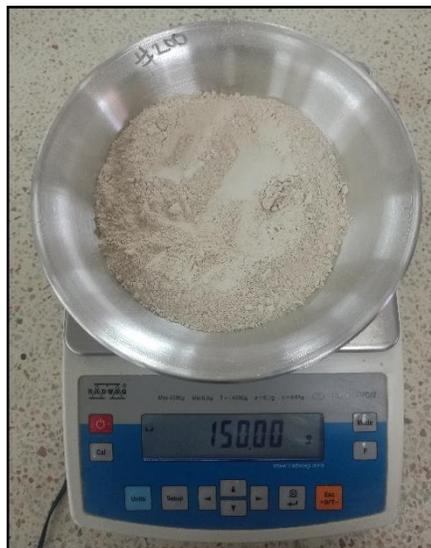
Ilustración 6 Conos y Recipientes



Fuente: Autores, 2017.

Se inicia el ensayo con la selección de 150g de cada material y su respectiva mezcla homogénea, con los 300g de suelo preparado se determinara los límites líquidos y plásticos.

Ilustración 7 Arcilla Diatomea 150g



Fuente: Autores, 2017.

Ilustración 8 Arcila Caolín 150g



Fuente: Autores, 2017.

Ilustración 9 Muestra para ensayo 300g Caolín + Diatomea



Fuente: Autores, 2017.

Se procede con la mezcla de la muestra durante 10 minutos, adicionando agua de tal forma que la penetración este en un rango de 15mm a 25mm; Acto seguido se procede a retirar con la espátula una muestra del material previamente mezclado verificando que este no presente aire atrapado, el cual será depositado en el recipiente del equipo a utilizar para la determinación del contenido gravimétrico de humedad.

Ilustración 10 Muestra más adición de Agua



Fuente: Autores, 2017.

Ilustración 11 Mezcla Homogénea de Muestra



Fuente: Autores, 2017.

Se retira el exceso de suelo enrasando el recipiente hasta obtener una superficie lo más plana posible, se nivela el conjunto de soporte del Penetrómetro, de tal forma que el cono apenas tenga contacto con la muestra, dejando caer el cono por un periodo de 5 segundos, registrando la lectura con una precisión de 0.1mm.

Ilustración 12 Penetrómetro de Cono más Muestra



Fuente: Autores, 2017.

Ilustración 13 Penetración a 5s



Fuente: Autores, 2017.

Se realiza el mismo procedimiento adicionando a la muestra diferentes cantidades de agua, teniendo en cuenta que las lecturas entre la primera y segunda penetración este en un rango de entre 0.5mm y 1.0mm, registrando el promedio de las lecturas realizadas, que para el caso de este proyecto fueron de 4.

A continuación se toma una muestra de suelo del área de penetración la cual será llevada a horno, y posteriormente determinando su contenido de humedad.

Ilustración 14 Muestra de suelo previa a llevar al horno



Fuente: Autores, 2017.

Ilustración 15 Muestra en Horno



Fuente: Autores, 2017

Se lleva a cabo el ensayo con los respectivos conos para la determinación del LL y LP, repitiendo el procedimiento 4 veces por cada tipo de cono teniendo en cuenta que las masas de los conos para determinar cada límite son diferentes, utilizando la

misma muestra de suelo, se calcula el contenido gravimétrico de humedad para cada espécimen de ensayo.

8.2.2 Ensayo de Casagrande

La ejecución de este ensayo se llevó a cabo por medio de la Norma Técnica Colombiana (NTC 4630) Numeral 9 “*Determinación del Limite Líquido, Método de Casagrande*” que precisa la obtención de los límites de consistencia por medio de un aparato mecánico compuesto de un recipiente esférico de bronce suspendido de un bastidor diseñado para controlar su caída sobre una base de caucho duro y un ranurador.

En primer lugar se debe contar con el equipo necesario para el desarrollo del ensayo, el cual consta de:

- Una base de caucho duro
- Soporte de caucho
- Recipientes metálicos
- Leva
- Bastidor
- Equipo motorizado (opcional)
- Ranurador
- Calibrador
- Taras
- Balanza
- Recipiente para almacenamiento
- Tamices
- Botella de vidrio
- Horno de secado
- Recipiente de lavado

Se procede con la respectiva calibración del aparato, teniendo en cuenta que no presente desgaste, ajustando la altura de caída a 10mm.

Ilustración 16 Materiales y Equipo Casagrande



Fuente: Autores, 2017.

Se inicia el ensayo con la adición de una determinada muestra de suelo preparada, de tal manera que quede simétrica en el recipiente que descansa sobre la base alcanzando una profundidad de 10mm aproximadamente, se enrasa la muestra de tal forma que presente una superficie en lo posible plana.

Ilustración 17 Preparación de la Muestra



Fuente: Autores, 2017.

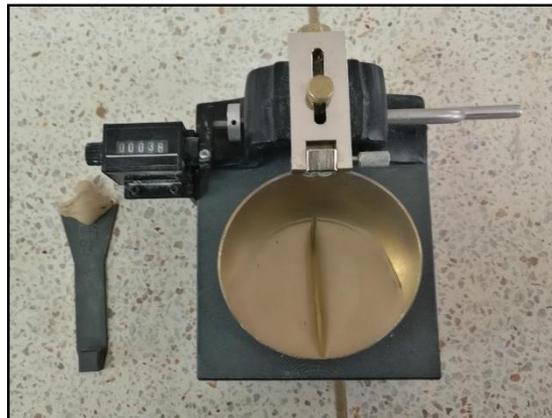
Ilustración 18 Muestra enrasada en aparato



Fuente: Autores, 2017.

Se hace un orificio longitudinal con el ranurador, de tal forma que divida el espécimen dos partes de lado a lado del recipiente, se procede a dejar caer el recipiente girando la manivela a una distancia de 13mm de longitud en el fondo de la ranura a 2 golpes por segundo.

Ilustración 19 Montaje masa de suelo en aparato



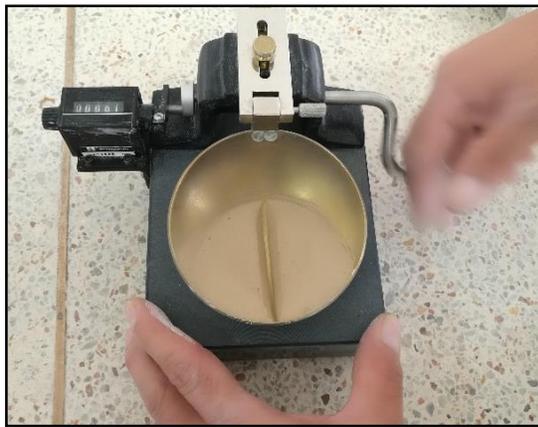
Fuente: Autores, 2017.

Ilustración 20 Ilustración Ranura a masa de suelo



Fuente: Autores, 2017.

Ilustración 21 Ejecución del Ensayo



Fuente: Autores,2017.

Ilustración 22 Masa de suelo finalizado ensayo



Fuente: Autores, 2017.

Se debe registrar el número de golpes requerido para el cierre de la ranura a una distancia de 13mm aproximadamente, se procede a tomar una porción de la muestra especialmente del sitio de la unión del material.

Ilustración 23 Muestra lista para retirar



Fuente: Autores, 2017.

Ilustración 24 Porción de muestra para análisis



Fuente: Autores, 2017.

Se retira una porción de muestra y lleva al horno para determinar su contenido gravimétrico de humedad, se realiza el mismo procedimiento agregando diferentes contenidos de humedad a la muestra de tal modo que la muestra de suelo luego de hacer la ranura, se cierre en rangos de 25 y 35 golpes, 20 y 30 golpes y 15 a 25 golpes.

8.2.3 Ensayo Límite Plástico – Rollitos.

La ejecución de este ensayo se llevó a cabo por medio de la Norma Técnica Colombiana (NTC 4630) Numeral 13 “*Determinación del Límite Plástico, Método de Rollitos*”. En primer lugar se debe contar con el equipo necesario para el desarrollo del ensayo, el cual consta de:

- Una placa de vidrio esmerilado de 30 cm de lado, de 1 cm de grueso
- Espátula

Se procede seleccionando una porción de 20g muestra de suelo utilizado para determinar el límite líquido en los ensayos anteriores, tomando 1.5g de arcilla y amasando con la yema de los dedos la muestra hasta obtener un diámetro aproximado de 3mm y que forme grietas entre sí de 4 a 6 mm en no más de 2 minutos de amasado.

Ilustración 25 Rollo de muestra arcillosa



Fuente: Autores, 2017.

Ilustración 26 Rollo en varios pedazos



Fuente: Autores, 2017.

Se repite el ensayo con diferentes contenidos de agua, realizando el mismo procedimiento.

Ilustración 27 Muestra lista para llevar al horno



Fuente: Autores, 2017.

8.3 FASE 3 – ANÁLISIS DE RESULTADOS

Una vez culminados los ensayos, se procede a analizar los resultados obtenidos ejecutando una propuesta de correlación de los límites entre las dos metodologías para los conos propuestos por medio de un análisis estadístico, de gráficos y tablas comparativas.

Para la ejecución de los ensayos, se tienen en cuenta la metodología de Casagrande para la determinación del Límite Líquido por medio de la cazuela, la obtención del Límite Plástico se lleva a cabo por medio del método de los rollos, estos estados de consistencia se comparan con los obtenidos por medio del Penetrómetro de Cono de Caída en el cual se emplean dos métodos, el primero de ellos es el método de Double Fall Cone y el método de Feng 2000 el cual consiste en extrapolar la línea de tendencia hasta una penetración de 1mm determinando el contenido de humedad para el límite plástico.

El límite plástico es una propiedad importante del suelo de grano fino, el proceso convencional utilizando el método de Casagrande presenta varias implicaciones negativas sobre la obtención de este, quizás por factores de uso que existen sobre los instrumentos o en el momento de ser ejecutado por el laboratorista (error humano).

Varios estudios han sido realizados por investigadores anteriores para introducir un método alternativo para la determinación del límite plástico del suelo y superar la inconsistencia de los resultados obtenidos del método estándar. El método de Double Fall Cone propuesto por Wood y Wroth (1978) consiste en utilizar un cono más pesado, sugirieron de un cono con 240 g de peso, 3 veces más pesado que el cono de límite de líquido estándar y con la misma geometría y profundidad de penetración. (Ahmad Safuan A Rashid, 2008)

9. RESULTADOS

9.1 RESULTADOS PENETRÓMETRO DE CONO DE CAÍDA

9.1.1 Ensayo Límite Líquido.

Se registra en las tablas los resultados obtenidos en laboratorio de los ensayos realizados a la muestra de suelo, para obtener el Límite Líquido según la NTC 4630 en el numeral 10, se procede a determinar el contenido de humedad de cada ensayo por medio de la fórmula que se relaciona a continuación, seguido de realizar la correspondiente lectura en la gráfica logarítmica, para cada tipo de cono teniendo en cuenta que para una penetración de 20mm se obtiene el LL de los conos: Colombiano, Canadiense y Británico, una penetración de 10mm para el cono Ruso y una penetración de 25.4mm para el cono Indio.

$$\% W = \frac{P1 - P2}{P2 - PT} * 100\% \quad [1]$$

Peso del recipiente = PT

Peso de Recipiente + Suelo Húmedo = P1

Peso de Recipiente + Suelo Seco = P2

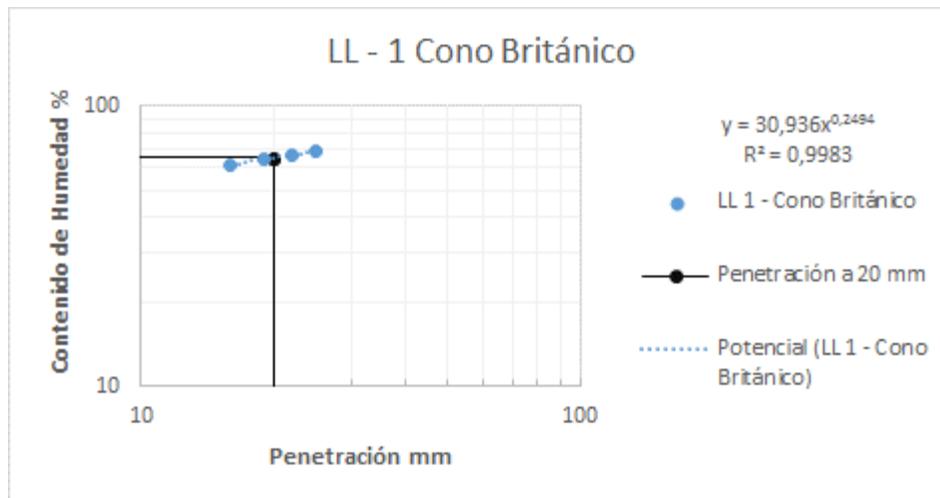
Los resultados obtenidos por cada cono se relacionan a continuación teniendo en cuenta que el procedimiento es el mismo y será comparado con los resultados arrojados por el método de Casagrande.

Tabla 4 Resultados de Laboratorio - Cono Británico LL

Tipo de Cono :	BRITÁNICO	Muestra :	Caolín amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%	
CONO DE PENETRACIÓN LÍMITE LÍQUIDO 1				
Método: Penetrómetro de cono de caída	HUMEDAD			
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4
Penetración (mm)	16	19	22	25
Recipiente (Número)	9	10	11	12
Peso Recipiente (TARA) (PT)	13,77	14,07	13,63	13,59
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P1)	28,02	29,97	28,8	30,79
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)	22,58	23,73	22,73	23,76
Contenido de Humedad (%)	61,75	64,60	66,70	69,12
Contenido de Humedad (%) - lectura grafica	65,54			

Fuente: Autores, 2017.

Gráfica 3 %W VS Penetración - Cono Británico LL



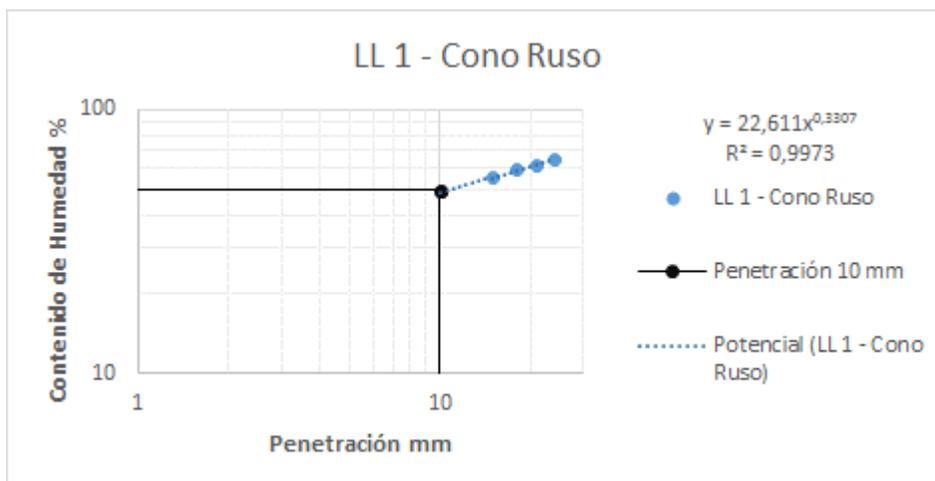
Fuente: Autores, 2017.

Tabla 5 Resultados de Laboratorio - Cono Ruso LL

Tipo de Cono :	RUSO	Muestra :	Caolín amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%		
CONO DE PENETRACIÓN LÍMITE LÍQUIDO 1					
Método: Penetrómetro de cono de caída	HUMEDAD				
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4	
Penetración (mm)	15	18	21	24	
Recipiente (Número)	8	6	5	3	
Peso Recipiente (TARA) (PT)	13.67	13.84	14.13	13.71	
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P1)	30.10	31.69	32.26	30.48	
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)	24.24	25.08	25.35	23.88	
Contenido de Humedad (%)	55.44	58.81	61.59	64.90	
Contenido de Humedad (%) - lectura gráfica	49.75				

Fuente: Autores, 2017.

Gráfica 4 %W VS Penetración - Cono Ruso LL



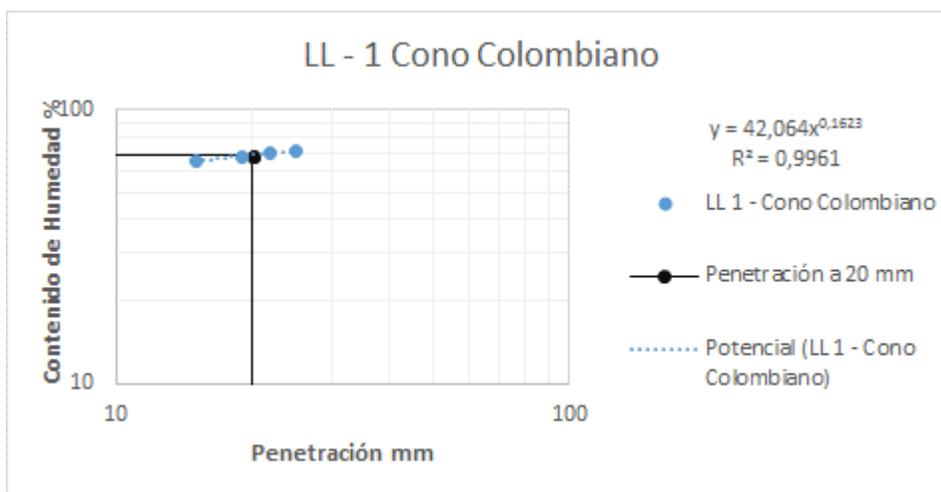
Fuente: Autores, 2017.

Tabla 6 Resultados de Laboratorio - Cono Colombiano LL

Tipo de Cono :	COLOMBIANO	Muestra :	Caolín amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%		
CONO DE PENETRACIÓN LÍMITE LÍQUIDO 1					
Método: Penetrómetro de cono de caída	HUMEDAD				
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4	
Penetración (mm)	15	19	22	25	
Recipiente (Número)	12	20	4	16	
Peso Recipiente (TARA) (PT)	13.60	13.98	12.22	13.61	
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P1)	29.03	25.68	35.91	34.16	
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)	22.93	20.96	26.19	25.63	
Contenido de Humedad (%)	65.38	67.62	69.58	70.97	
Contenido de Humedad (%) - lectura gráfica	68				

Fuente: Autores, 2017.

Gráfica 5 %W VS Penetración - Cono Colombiano LL



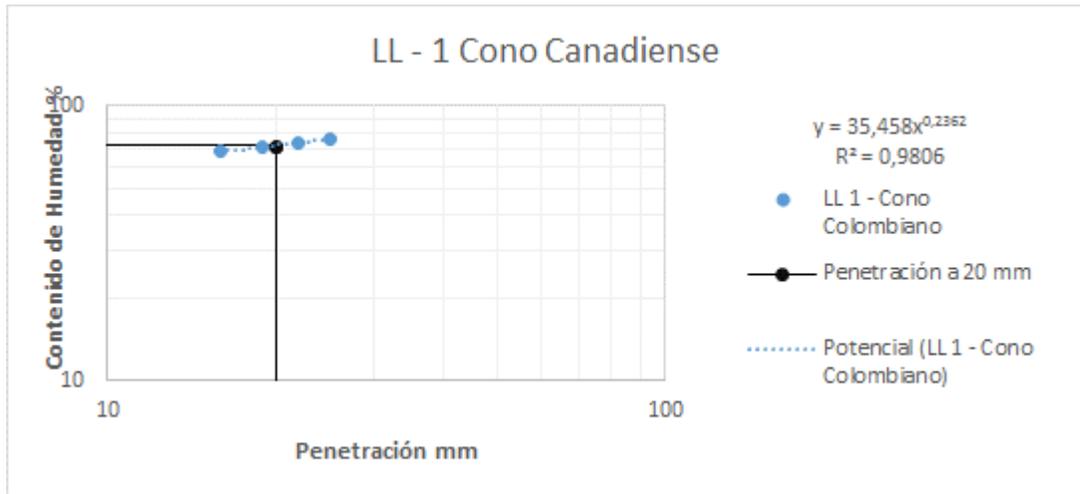
Fuente: Autores, 2017.

Tabla 7 Resultados de Laboratorio - Canadiense LL

Tipo de Cono :	CANADIENSE	Muestra :	Caolín amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%	
CONO DE PENETRACIÓN LÍMITE LÍQUIDO 1				
Método: Penetrómetro de cono de caída	HUMEDAD			
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4
Penetración (mm)	16	19	22	25
Recipiente	18	3	16	11
Peso Recipiente (TARA) (PT)	12.86	12.86	13.6	14.02
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P1)	34.85	36.17	34.05	33.61
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)	25.91	26.5	25.42	25.13
Contenido de Humedad (%)	68.51	70.89	73.01	76.33
Contenido de Humedad (%) - lectura grafica	71.5			

Fuente: Autores, 2017.

Gráfica 6 %W VS Penetración - Cono Canadiense LL



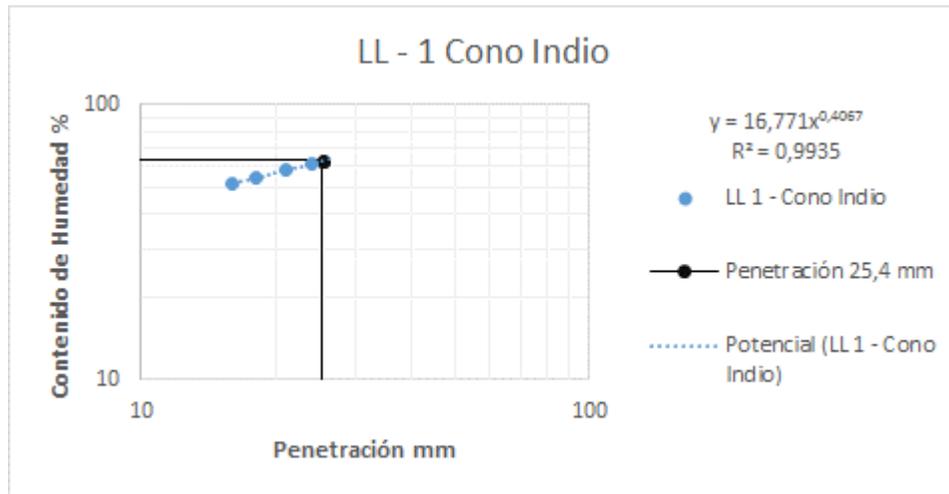
Fuente: Autores, 2017.

Tabla 8 Resultados de Laboratorio - Cono Indio LL

Tipo de Cono :	INDIO	Muestra :	Caolín amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%	
CONO DE PENETRACIÓN LÍMITE LIQUIDO 1				
Método: Penetrómetro de cono de caída	HUMEDAD			
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4
Penetración (mm)	16	18	21	24
Recipiente (Número)	13	15	2	1
Peso Recipiente (TARA) (PT)	14.04	12.83	15.57	13.94
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P1)	34.25	32.16	31.47	33.25
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)	27.38	25.32	25.64	25.94
Contenido de Humedad (%)	51.50	54.76	57.89	60.92
Contenido de Humedad (%) - lectura gráfica	63			

Fuente: Autores, 2017.

Gráfica 7 %W VS Penetración - Cono Indio LL



Fuente: Autores, 2017.

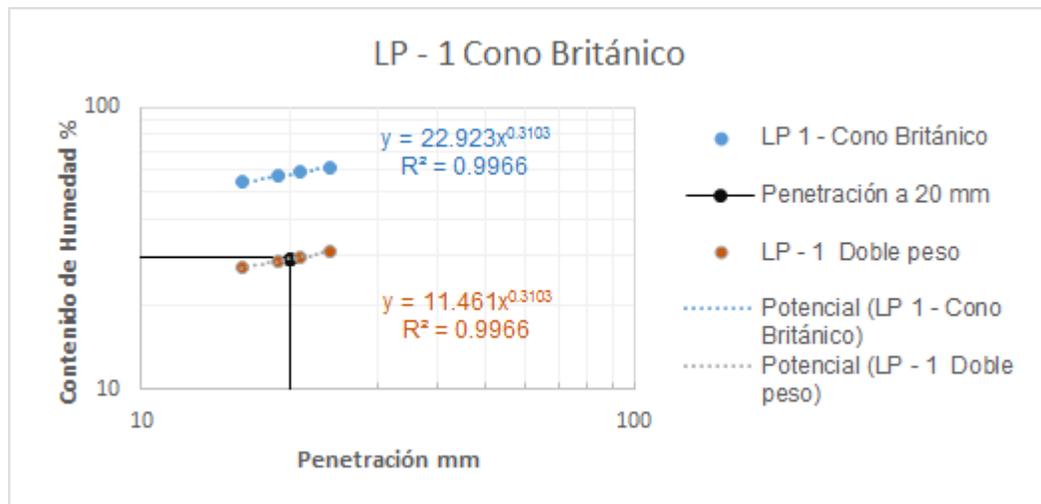
9.1.2 Ensayo Límite Plástico – Método Double Fall Cone

Tabla 9 Resultados de Laboratorio - Cono Británico LP

Tipo de Cono :	BRITÁNICO	Muestra :	Caolín amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%	
CONO DE PENETRACIÓN LÍMITE PLÁSTICO 1				
Metodo: Doble Fall Cone	HUMEDAD			
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4
Penetración (mm)	16	19	21	24
Recipiente (Número)	17	14	19	4
Peso Recipiente (TARA) (PT)	13,77	14	14,01	13,77
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P1)	29,15	30,02	31,45	30,64
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)	23,74	24,21	24,97	24,22
Contenido de Humedad (%)	54,26	56,90	59,12	61,44
Contenido de Humedad (%) (Doble peso)	27,13	28,45	29,56	30,72
Contenido de Humedad (%) - lectura gráfica	29,3			

Fuente: Autores, 2017.

Gráfica 8 %W VS Penetración - Cono Británico LP



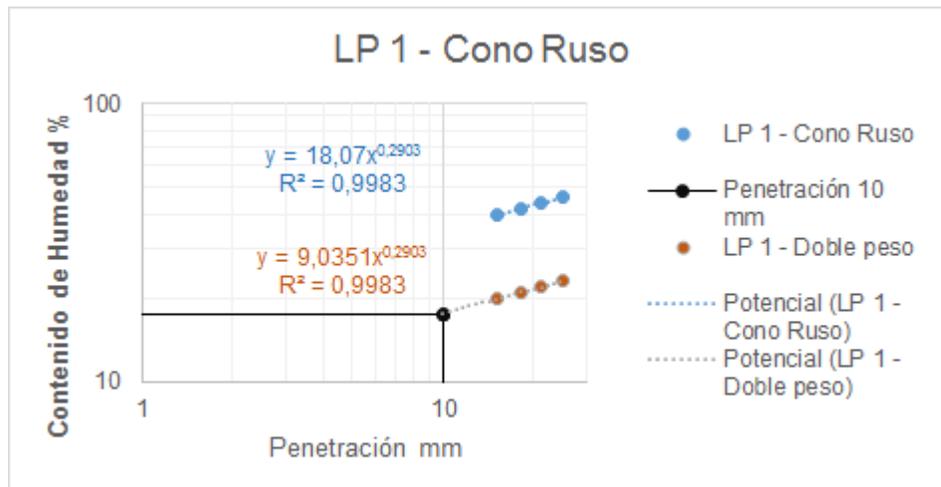
Fuente: Autores, 2017.

Tabla 10 Resultados de Laboratorio - Cono Ruso LP

Tipo de Cono :	RUSO	Muestra :	Caolín amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%	
CONO DE PENETRACIÓN LÍMITE PLÁSTICO 1				
Metodo: Doble Fall Cone	HUMEDAD			
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4
Penetración (mm)	15	18	21	25
Recipiente (Número)	4	21	26	25
Peso Recipiente (TARA) (PT)	12,22	14,08	13,80	13,64
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P1)	29,18	29,57	30,12	30,21
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)	24,37	24,99	25,16	24,99
Contenido de Humedad (%)	39,59	41,98	43,66	45,99
Contenido de Humedad (%) (Doble peso)	19,79	20,99	21,83	23,00
Contenido de Humedad (%) - lectura gráfica	17,5			

Fuente: Autores, 2017.

Gráfica 9 %W VS Penetración - Cono Ruso LP



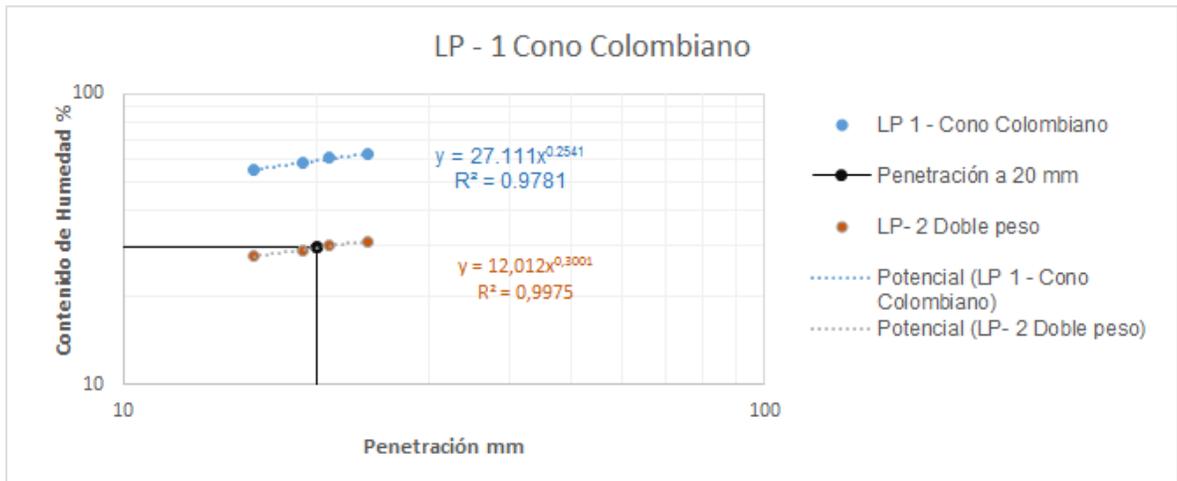
Fuente: Autores, 2017.

Tabla 11 Resultados de Laboratorio – Cono Colombiano LP

Tipo de Cono :	COLOMBIANO	Muestra :	Caolín amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%	
CONO DE PENETRACIÓN LÍMITE PLÁSTICO 1				
Metodo: Doble Fall Cone	HUMEDAD			
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4
Penetración (mm)	16	19	21	24
Recipiente (Número)	8	6	1	2
Peso Recipiente (TARA) (PT)	13,67	13,86	13,95	15,58
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P1)	35,14	34,27	32,81	33,40
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)	27,50	26,78	25,73	26,56
Contenido de Humedad (%)	55,24	57,97	60,10	62,30
Contenido de Humedad (%) (Doble peso)	27,62	28,99	30,05	31,15
Contenido de Humedad (%) - lectura gráfica	29,8			

Fuente: Autores, 2017.

Gráfica 10 %W VS Penetración - Cono Colombiano LP



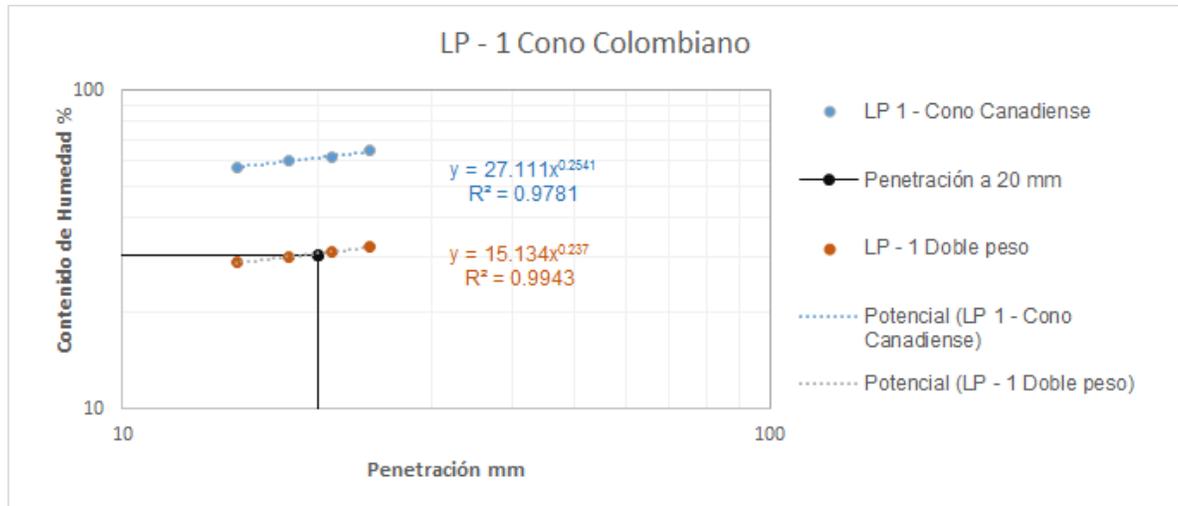
Fuente: Autores, 2017.

Tabla 12 Resultados de Laboratorio – Cono Canadiense LP

Tipo de Cono :	CANADIENSE	Muestra :	Caolín amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%	
CONO DE PENETRACIÓN LÍMITE PLÁSTICO 1				
Metodo: Doble Fall Cone	HUMEDAD			
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4
Penetración (mm)	15	18	21	24
Recipiente (Número)	19	14	20	22
Peso Recipiente (TARA) (PT)	14,88	13,68	13,95	13,51
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P1)	30,17	31,42	32,5	31,92
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)	24,58	24,77	25,4	24,7
Contenido de Humedad (%)	57,63	59,96	62,01	64,52
Contenido de Humedad (%) (Doble peso)	28,81	29,98	31,00	32,26
Contenido de Humedad (%) - lectura gráfica	30,5			

Fuente: Autores, 2017.

Gráfica 11 %W VS Penetración - Cono Colombiano LP



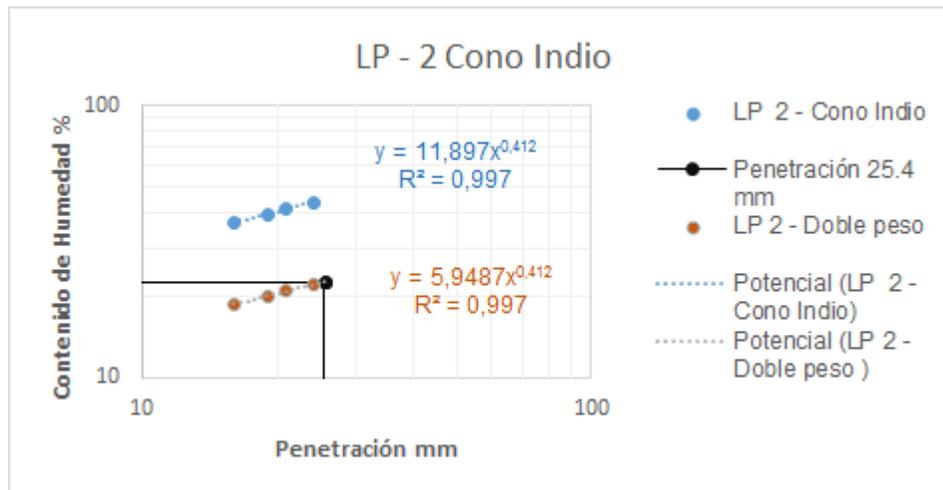
Fuente: Autores, 2017.

Tabla 13 Resultados de Laboratorio – Cono Indio LP

Tipo de Cono :	INDIO	Muestra :	Caolín amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%		
CONO DE PENETRACIÓN LÍMITE PLÁSTICO 2					
Metodo: Doble Fall Cone	HUMEDAD				
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4	
Penetración (mm)	16	19	21	24	
Recipiente (Número)	14	33	32	35	
Peso Recipiente (TARA) (PT)	13,68	13,5	13,48	11,36	
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P1)	30,48	30,17	30,84	31,77	
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)	25,92	25,41	25,71	25,54	
Contenido de Humedad (%)	37,25	39,97	41,95	43,94	
Contenido de Humedad (%) (Doble peso)	18,63	19,98	20,97	21,97	
Contenido de Humedad (%) - lectura gráfica	22,5				

Fuente: Autores, 2017.

Gráfica 12 %W VS Penetración - Cono Indio LP



Fuente: Autores, 2017.

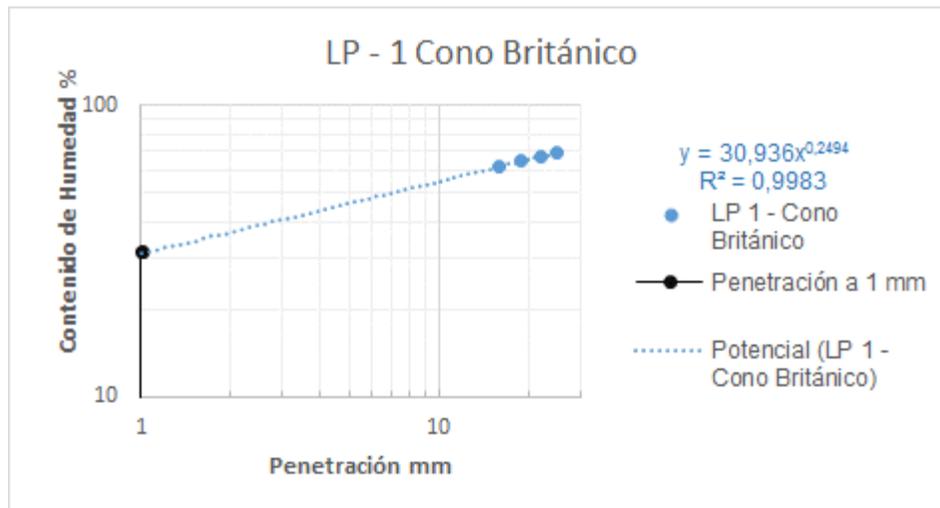
9.1.3 Ensayo Límite Plástico – Método Feng 2000.

Tabla 14 Resultados de Laboratorio – Cono Británico LP

Tipo de Cono :	BRITÁNICO	Muestra :	Caolín amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%	
CONO DE PENETRACIÓN LÍMITE PLÁSTICO 1				
Metodo: Feng 2000	HUMEDAD			
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4
Penetración (mm)	16	19	22	25
Recipiente (Número)	9	10	11	12
Peso Recipiente (TARA) (PT)	13,77	14,07	13,63	13,59
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P1)	28,02	29,97	28,8	30,79
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)	22,58	23,73	22,73	23,76
Contenido de Humedad (%)	61,75	64,60	66,70	69,12
Contenido de Humedad (%) - lectura gráfica (Feng)	31,5			

Fuente: Autores, 2017.

Gráfica 13 %W VS Penetración - Cono Británico LP



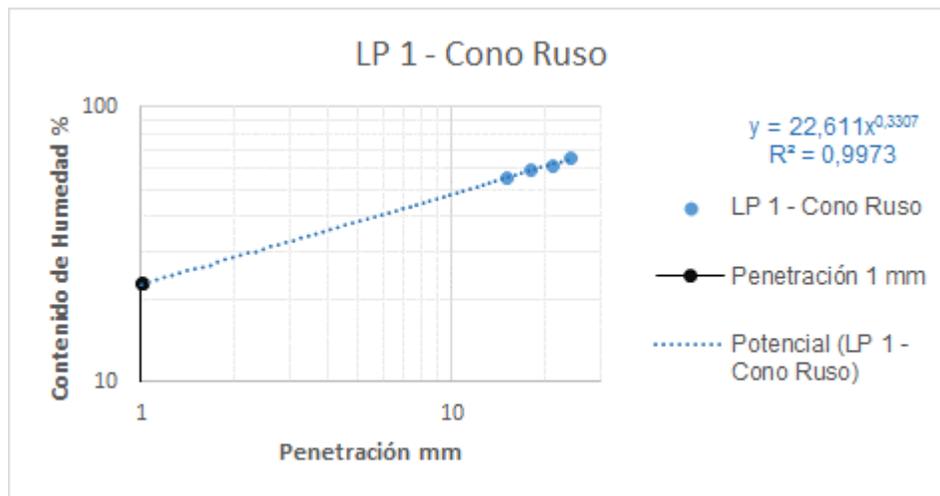
Fuente: Autores, 2017.

Tabla 15 Resultados de Laboratorio – Cono Ruso LP

Tipo de Cono :	RUSO	Muestra :	Caolín amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%	
CONO DE PENETRACIÓN LÍMITE PLÁSTICO 1				
Metodo: Feng 2000	HUMEDAD			
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4
Penetración (mm)	15	18	21	24
Recipiente (Número)	8	6	5	3
Peso Recipiente (TARA) (PT)	13,67	13,84	14,13	13,71
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P1)	30,10	31,69	32,26	30,48
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)	24,24	25,08	25,35	23,88
Contenido de Humedad (%)	55,44	58,81	61,59	64,90
Contenido de Humedad (%) - lectura gráfica (Feng)	23			

Fuente: Autores, 2017.

Gráfica 14 %W VS Penetración - Cono Ruso LP



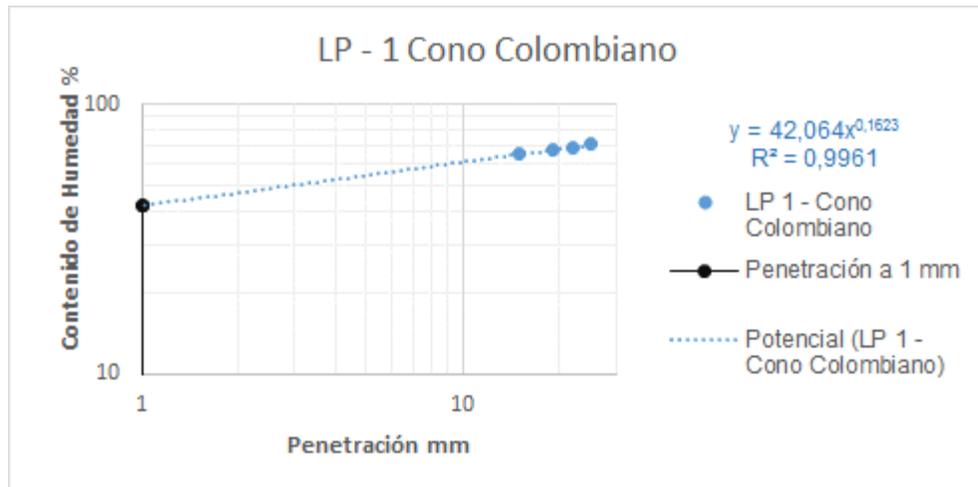
Fuente: Autores, 2017.

Tabla 16 Resultados de Laboratorio – Cono Colombiano LP

Tipo de Cono :	COLOMBIANO	Muestra :	Caolin amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%	
CONO DE PENETRACIÓN LÍMITE PLÁSTICO 1				
Metodo: Feng 2000	HUMEDAD			
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4
Penetración (mm)	15	19	22	25
Recipiente (Número)	12	20	4	16
Peso Recipiente (TARA) (PT)	13,60	13,98	12,22	13,61
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P1)	29,03	25,68	35,91	34,16
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)	22,93	20,96	26,19	25,63
Contenido de Humedad (%)	65,38	67,62	69,58	70,97
Contenido de Humedad (%) - lectura grafica (Feng)	42,5			

Fuente: Autores, 2017.

Gráfica 15 %W VS Penetración - Cono Colombiano LP



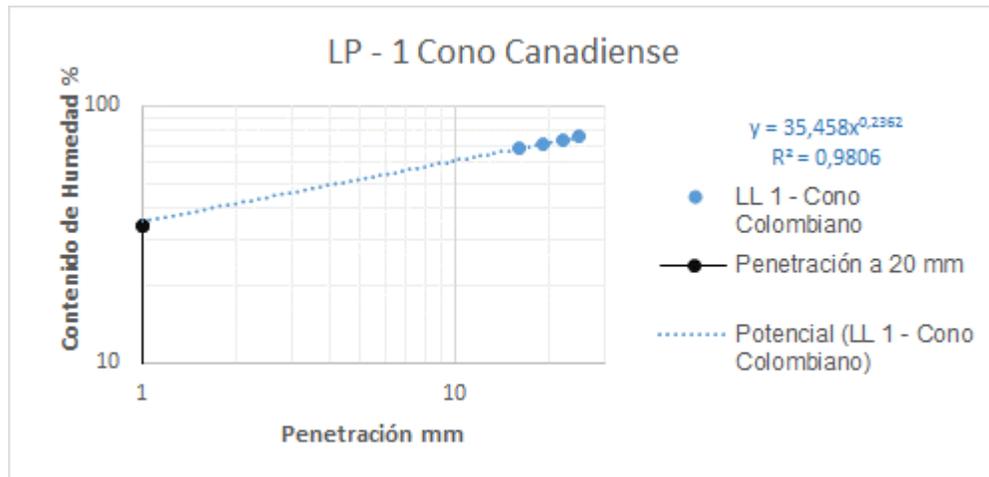
Fuente: Autores, 2017.

Tabla 17 Resultados de Laboratorio – Cono Canadiense LP

Tipo de Cono :	CANADIENSE	Muestra :	Caolín amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%	
CONO DE PENETRACIÓN LÍMITE PLÁSTICO 1				
Metodo: Feng 2000	HUMEDAD			
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4
Penetración (mm)	16	19	22	25
Recipiente (Número)	18	3	16	11
Peso Recipiente (TARA) (PT)	12,86	12,86	13,6	14,02
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P)	34,85	36,17	34,05	33,61
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)	25,91	26,5	25,42	25,13
Contenido de Humedad (%)	68,51	70,89	73,01	76,33
Contenido de Humedad (%) - lectura grafica	34,5			

Fuente: Autores, 2017.

Gráfica 16 %W VS Penetración - Cono Canadiense LP



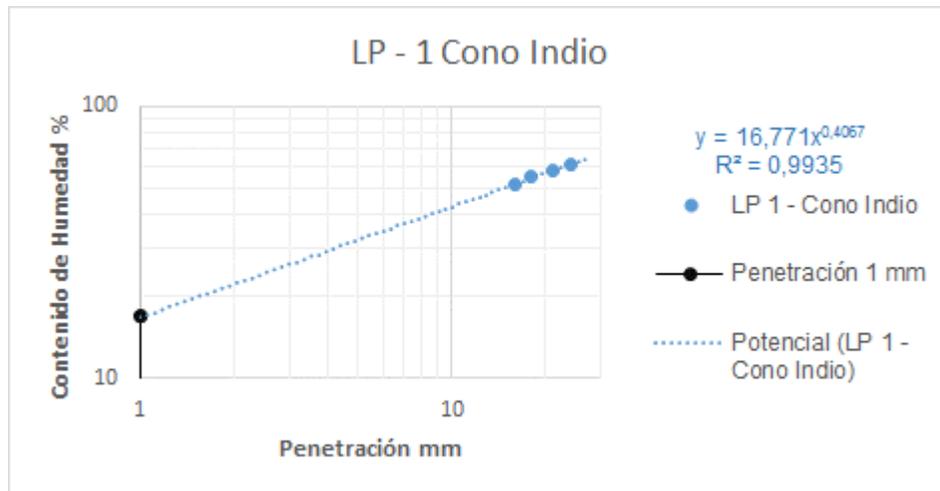
Fuente: Autores, 2017.

Tabla 18 Resultados de Laboratorio – Cono Indio LP

Tipo de Cono :	INDIO	Muestra :	Caolín amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%	
CONO DE PENETRACIÓN LÍMITE PLÁSTICO 1				
Metodo: Feng 2000	HUMEDAD			
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4
Penetración (mm)	16	18	21	24
Recipiente (Número)	13	15	2	1
Peso Recipiente (TARA) (PT)	14,04	12,83	15,57	13,94
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P1)	34,25	32,16	31,47	33,25
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)	27,38	25,32	25,64	25,94
Contenido de Humedad (%)	51,50	54,76	57,89	60,92
Contenido de Humedad (%) - lectura gráfica (Feng)	17			

Fuente: Autores, 2017.

Gráfica 17 %W VS Penetración - Cono Indio LP



Fuente: Autores, 2017.

9.2 RESULTADOS MÉTODO DE CASAGRANDE

9.2.1 Ensayo Límite Plástico – Método Rollitos.

Tabla 19 Resultados de Laboratorio – Método Rollitos LP Ensayo 1

MÉTODO CASAGRANDE LP	Muestra :	Caolin amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%
OBTENCIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO 1		
	HUMEDAD	
	PUNTO 1	PUNTO 2
Penetración (mm)	12	16
Recipiente (Número)	8	6
Peso Recipiente (TARA) (PT)	13.61	13.81
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P1)	17.55	18.06
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)	16.43	16.85
Contenido de Humedad (%)	39.716	39.803

Fuente: Autores, 2017.

Tabla 20 Resultados de Laboratorio – Método Rollitos LP Ensayo 2

MÉTODO CASAGRANDE LP	Muestra :	Caolín amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%
OBTENCIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO 2		
	HUMEDAD	
	PUNTO 1	PUNTO 2
Penetración (mm)	21	24
Recipiente (Número)	7	4
Peso Recipiente (TARA) (PT)	15.57	12.20
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P1)	17.85	18.92
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)	17.20	17.01
Contenido de Humedad (%)	39.877	39.709

Fuente: Autores, 2017.

Tabla 21 Resultados de Laboratorio – Método Rollitos LP Ensayo 3

MÉTODO CASAGRANDE LP	Muestra :	Caolín amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%
OBTENCIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO 3		
	HUMEDAD	
	PUNTO 1	PUNTO 2
Penetración (mm)	18	16
Recipiente (Número)	12	15
Peso Recipiente (TARA) (PT)	13.95	13.77
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P1)	19.21	18.47
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)	17.72	17.14
Contenido de Humedad (%)	39.523	39.460

Fuente: Autores, 2017.

Tabla 22 Resultados de Laboratorio – Método Rollitos LP Ensayo 4

MÉTODO CASAGRANDE LP	Muestra :	Caolín amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%
OBTENCIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO 4		
	HUMEDAD	
	PUNTO 1	PUNTO 2
Penetración (mm)	17	15
Recipiente (Número)	6	22
Peso Recipiente (TARA) (PT)	13.91	13.84
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P1)	20.16	21.42
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)	18.4	19.27
Contenido de Humedad (%)	39.198	39.595

Fuente: Autores, 2017.

Tabla 23 Resultados de Laboratorio – Método Rollitos LP Ensayo 5

MÉTODO CASAGRANDE LP	Muestra :	Caolín amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%
OBTENCIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO 5		
	HUMEDAD	
	PUNTO 1	PUNTO 2
Penetración (mm)	20	13
Recipiente (Número)	2	3
Peso Recipiente (TARA) (PT)	13.93	14.03
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P1)	19.84	20.16
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)	18.16	18.43
Contenido de Humedad (%)	39.716	39.318

Fuente: Autores, 2017.

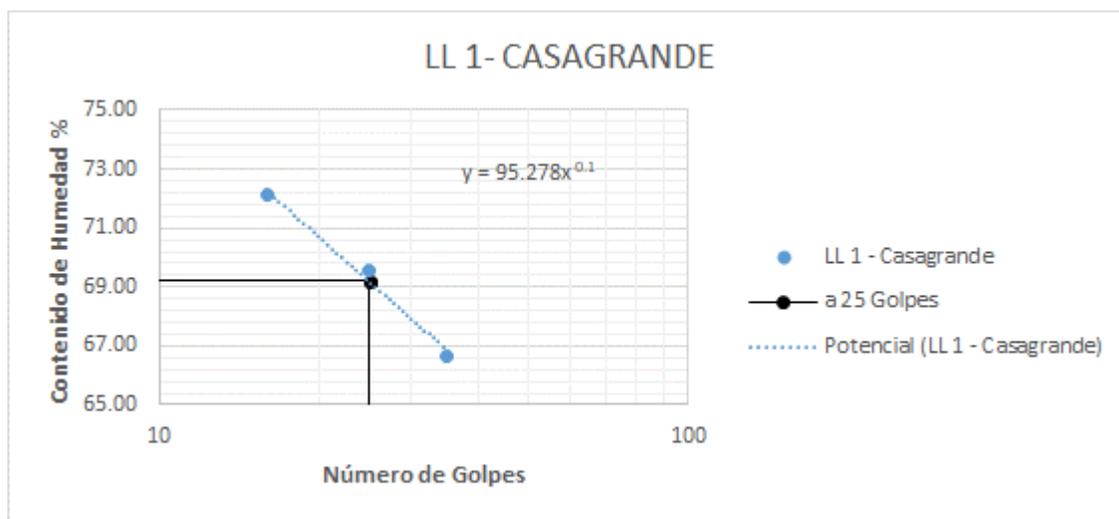
9.2.2 Ensayo Límite Líquido.

Tabla 24 Resultados de Laboratorio – LL Casagrande Ensayo 1

MÉTODO CASAGRANDE	Muestra :	Caolín amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%	
OBTENCIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO 1			
NORMA: NTC 4630	HUMEDAD		
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3
Penetración (mm)	35	25	16
Recipiente (Número)	15	11	5
Peso Recipiente (TARA) (PT)	13.96	13.6	13.71
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P1)	25.16	26.18	28.53
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)	20.68	21.02	22.32
Contenido de Humedad (%)	66.660	69.540	72.125
Contenido de Humedad (%) - A 25 GOLPES	69.2		

Fuente: Autores, 2017.

Gráfica 18 %W VS N° Golpes LL Ensayo 1



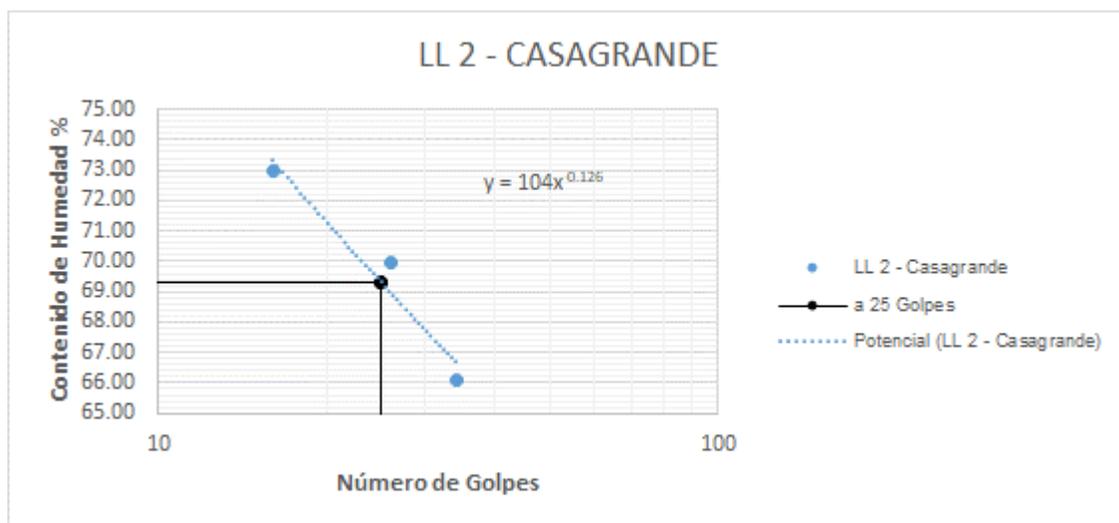
Fuente: Autores, 2017.

Tabla 25 Resultados de Laboratorio – LL Casagrande Ensayo 2

MÉTODO CASAGRANDE	Muestra :	Caolín amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%		
OBTENCIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO 2				
NORMA: NTC 4630	HUMEDAD			
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	
Penetración (mm)	34	26	16	
Recipiente (Número)	1	2	3	
Peso Recipiente (TARA) (PT)	13.91	15.58	12.86	
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P1)	34.17	36.28	35.43	
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)	26.11	27.76	25.91	
Contenido de Humedad (%)	66.066	69.95	72.95	
Contenido de Humedad (%) - A 25 GOLPES	69.3			

Fuente: Autores, 2017.

Gráfica 19 %W VS N° Golpes LL Ensayo 2



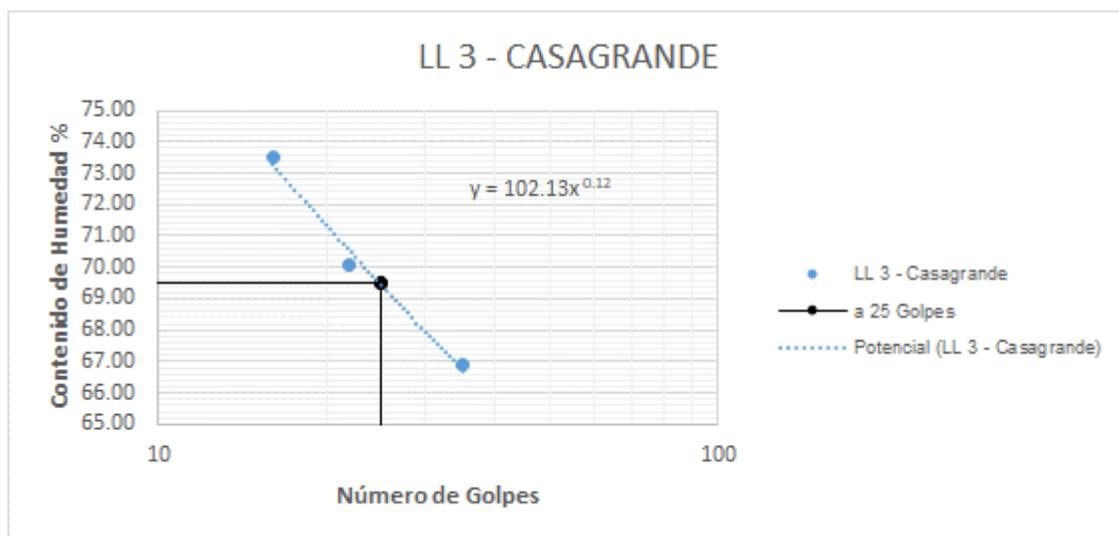
Fuente: Autores, 2017.

Tabla 26 Resultados de Laboratorio – LL Casagrande Ensayo 3

MÉTODO CASAGRANDE	Muestra :	Caolín amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%		
OBTENCIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO 3				
NORMA: NTC 4630	HUMEDAD			
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	
Penetración (mm)	35	22	16	
Recipiente (Número)	8	7	5	
Peso Recipiente (TARA) (PT)	13.65	14.13	13.68	
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P1)	35.81	37.84	36.95	
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)	26.93	28.07	27.09	
Contenido de Humedad (%)	66.860	70.086	73.527	
Contenido de Humedad (%) - A25 GOLPES	69.5			

Fuente: Autores, 2017.

Gráfica 20 %W VS N° Golpes LL Ensayo 3



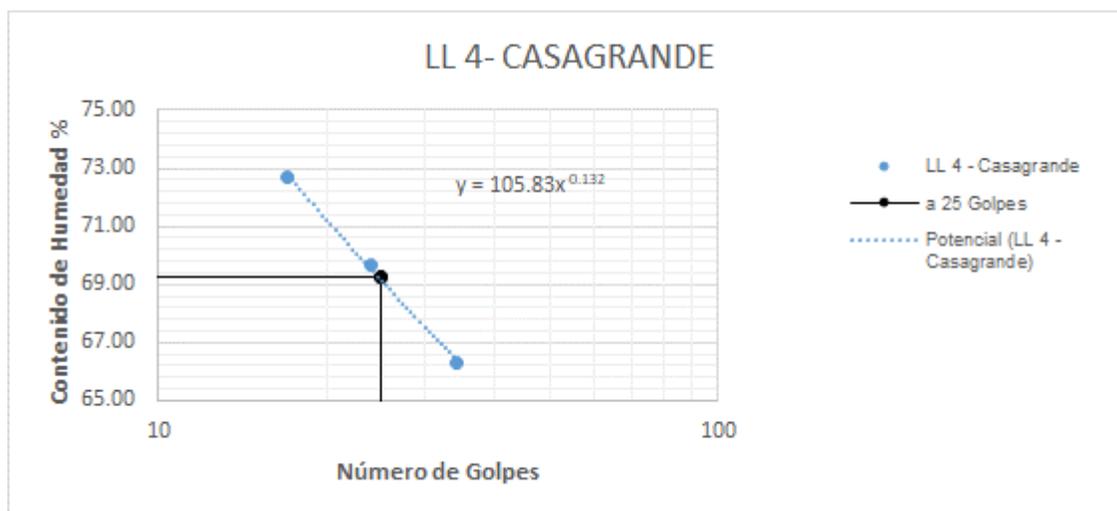
Fuente: Autores, 2017.

Tabla 27 Resultados de Laboratorio – LL Casagrande Ensayo 4

MÉTODO CASAGRANDE	Muestra :	Caolín amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%		
OBTENCIÓN DE L LÍMITE LÍQUIDO 4				
NORMA: NTC 4630	HUMEDAD			
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	
Penetración (mm)	34	24	17	
Recipiente (Número)	3	11	19	
Peso Recipiente (TARA) (PT)	13.68	14.02	14.88	
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P1)	34.97	37.52	37.14	
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)	26.48	27.87	27.77	
Contenido de Humedad (%)	66.328	69.675	72.692	
Contenido de Humedad (%) - A25 GOLPE S	69.26			

Fuente: Autores, 2017.

Gráfica 21 %W VS N° Golpes LL Ensayo 4



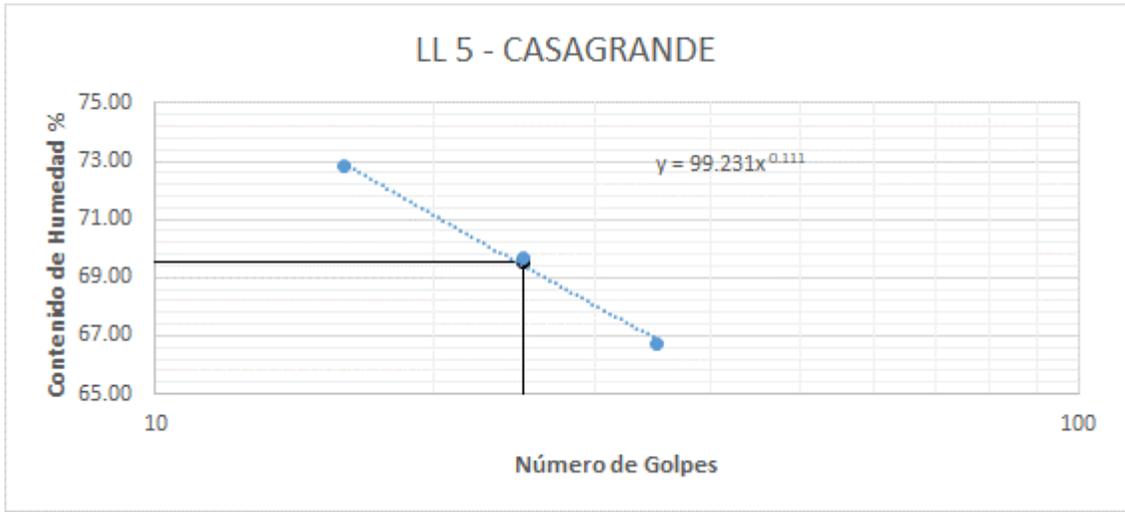
Fuente: Autores, 2017.

Tabla 28 Resultados de Laboratorio – LL Casagrande Ensayo 5

MÉTODO CASAGRANDE	Muestra :	Caolín amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%		
OBTENCIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO 5				
NORMA: NTC 4630	HUMEDAD			
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	
Penetración (mm)	35	25	16	
Recipiente (Número)		2	9	
Peso Recipiente (TARA) (PT)	14.15	15.57	13.76	
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P1)	38.01	37.93	36.47	
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)	28.46	28.75	26.9	
Contenido de Humedad (%)	66.737	69.651	72.831	
Contenido de Humedad (%) - A 25 GOLPES	69.55			

Fuente: Autores, 2017.

Gráfica 22 %W VS N° Golpes LL Ensayo 5



Fuente: Autores, 2017.

10. ANALISIS DE RESULTADOS

10.1 PENETRÓMETRO DE CONO DE CAÍDA VS CASAGRANDE

A continuación se presentan los valores obtenidos por medio del método del Penetrómetro de Cono de Caída VS Casagrande, para la determinación del Límite Líquido y Límite Plástico, donde se evidencia el análisis que se detalla a continuación.

El porcentaje promedio de error, es determinado teniendo en cuenta que se toma el resultado obtenido por medio del Penetrómetro de Cono como el valor experimental y el valor de Casagrande como valor teórico para todos los casos.

10.1.1 Ensayo Límite Líquido.

Para la obtención del límite líquido se realizan 5 tomas de muestra de caolín 50% más Diatomea colombiana 50%, en cada una en estas se registran valores a diferentes penetraciones que están dentro del valor de 20 mm para el cono británico (4 ensayos por cada muestra), se puede visualizar en la Tabla 28, que los valores obtenidos tienen gran semejanza con los valores que se obtienen con el método de Casagrande.

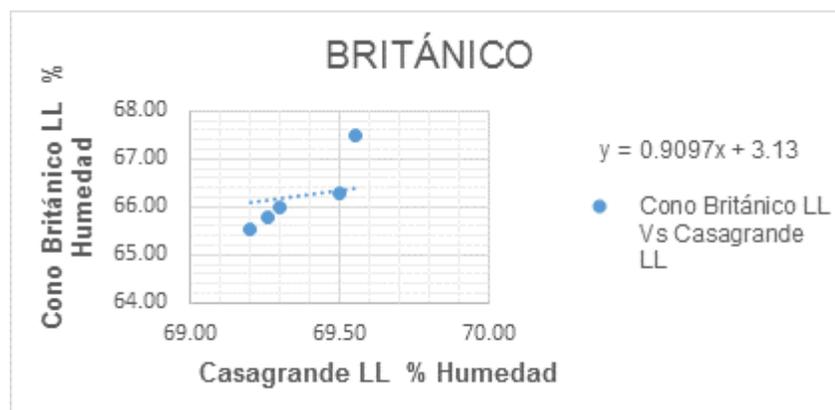
Tabla 29 Resultados W% del LL Cono Británico Vs Casagrande

ENSAYO	CONTENIDO DE HUMEDAD		$\Delta W\%$
	Cono Británico %	Casagrande %	
1	65.54	69.20	3.66
2	65.80	69.26	3.46
3	66.00	69.30	3.30
4	66.30	69.50	3.20
5	67.50	69.55	2.05
		Promedio	3.13

Fuente: Autores.

Sin embargo, se presenta la Gráfica 22, en la cual se puede observar el comportamiento de la muestra en relación del cono británico y Casagrande, su línea de tendencia se representa de manera lineal, en la cual se implementó un ajuste, este consiste en trabajar con la diferencia existente entre los contenidos de humedad en los dos métodos, para así determinar el promedio de este, ver Tabla 28. Por lo tanto la ecuación representante nos sirve para determinar, el contenido de humedad (%) del cono británico en caso de que se desconozca este.

Gráfica 23 Cono Británico VS Casagrande LL



Fuente: Autores, 2017.

Todos los métodos no son el cien por ciento confiables, por eso se opta por calcular el porcentaje de error de los valores del contenido de humedad entre el cono británico y Casagrande. Se toma el valor teórico como el método convencional de Casagrande, y el valor experimental usando el cono británico. Utilizando la ecuación del valor teórico menos valor experimental dividido en valor teórico multiplicando por 100%, se obtienen los valores de la Tabla 29, sin embargo este cálculo se realizó para cada uno de los ensayos propuesto. La representación del promedio se puede interpretar como uno de los mejores conos que presenta una mejor correlación con respecto a Casagrande.

Tabla 30 % Error Cono Británico VS Casagrande LL

Porcentaje de error	Promedio
5.29	4.52
5.00	
4.76	
4.60	
2.95	

Fuente: Autores, 2017.

Se tiene una muestra de Caolín-Diatomea, esta pasa por una serie de adición de agua destilada se obtiene un porcentaje de humedad correspondiente por cada ensayo, ver Tabla 4. La lectura de penetración se hace a partir de los 10 mm con una lectura en tiempo de 10 segundos, se puede observar con claridad que su diferencia entre los contenidos de humedad ver Tabla 30, son mayores al cono

británico ver Tabla 28. Cabe aclarar que la lectura de penetración depende de cada tipo de cono, pues estos fueron diseñados bajo del tipo de suelo correspondiente a su país, es bastante probable que las condiciones del suelo varíen por efectos del clima y nivel freático. Condiciones que afectan de un manera considerable la resistencia del suelo y el ángulo de fricción.

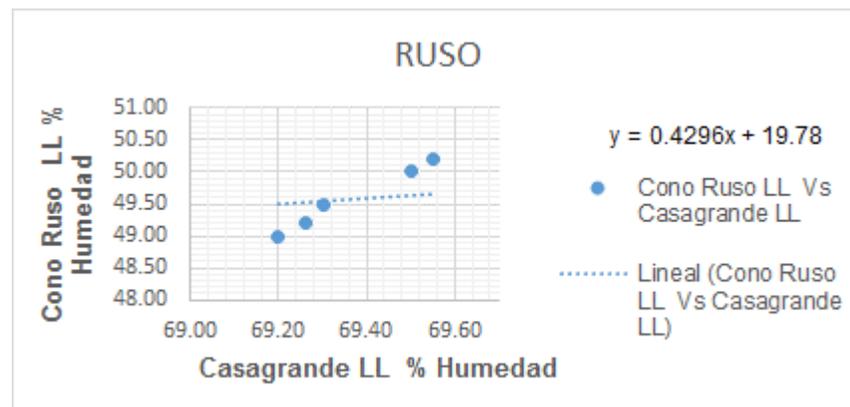
Tabla 31 Resultados W% del LL Cono Ruso Vs Casagrande

ENSAYO	CONTENIDO DE HUMEDAD		$\Delta W\%$
	Cono Ruso %	Casagrande %	
5	49.00	69.20	20.20
3	49.20	69.26	20.06
1	49.50	69.30	19.80
4	50.00	69.50	19.50
2	50.20	69.55	19.35
		Promedio	19.78

Fuente: Autores, 2017.

Sin embargo, se presenta la Grafica 23, en la cual se puede observar el comportamiento de la muestra en relación del cono ruso y Casagrande, su línea de tendencia se representa de manera lineal, en la cual se implementó un ajuste, este consiste en trabajar con la diferencia existente entre los contenidos de humedad en los dos métodos, para así determinar el promedio de este, ver Tabla 30. Por lo tanto la ecuación representante nos sirve para determinar, el contenido de humedad (%) del cono ruso en caso de que se desconozca este.

Gráfica 24 Cono Ruso VS Casagrande LL



Fuente: Autores, 2017.

Según la Tabla 31, el gran porcentaje de error que representa puede ser explicado por el diseño de cono, el cual puede estar influenciado por la condiciones del tipo de suelo que presenta, sin embargo cabe aclarar que el 66 % del territorio ruso es actualmente de permafrost, es decir que a tan solo 30 centímetros de profundidad, el suelo está congelado los 365 días del año (Abelleira, 2010).

Tabla 32 % Error Ruso VS Casagrande LL

Porcentaje de de error	Promedio
29.19	28.52
28.96	
28.57	
28.06	
27.82	

Fuente: Autores, 2017.

Toda la selección del trabajo seguirá con la misma muestra, a diferencia de los conos anteriores, se establece que la lectura del cono colombiano para el hallar el contenido de humedad esta sobre la penetración de 20mm, los datos obtenidos son valores muy cercanos al método convencional de Casagrande. El cono colombiano es la gran diferencia a nivel numérica pues ante los otros conos, pues su diferencia de contenido de humedad está comprendida entre 8.80%- 1.40%, ver Tabla 32.

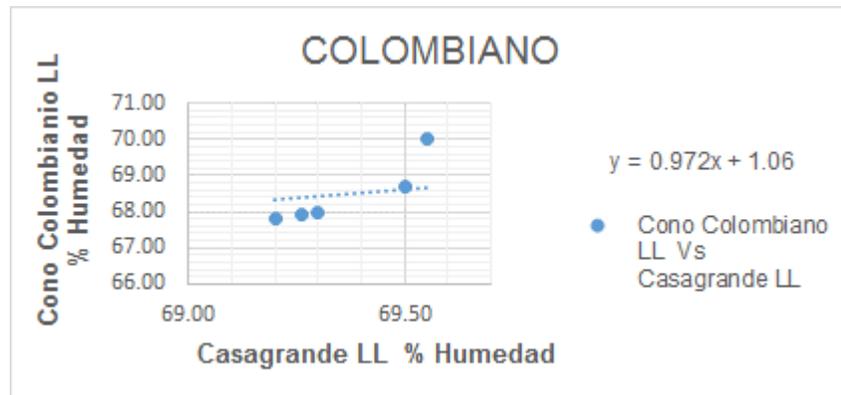
Tabla 33 Resultados W% del LL Cono Colombiano Vs Casagrande

ENSAYO	CONTENIDO DE HUMEDAD		$\Delta W\%$
	Cono Colombiano %	Casagrande %	
2	67.80	69.20	1.40
4	67.90	69.26	1.36
1	68.00	69.30	1.30
3	68.70	69.50	0.80
5	70.00	69.55	0.45
		Promedio	1.06

Fuente: Autores, 2017.

Sin embargo, se presenta la Grafica 24, en la cual se puede observar el comportamiento de la muestra en relación del cono colombiano y Casagrande, su línea de tendencia se representa de manera lineal, en la cual se implementó un ajuste, este consiste en trabajar con la diferencia existente entre los contenidos de humedad en los dos métodos, para así determinar el promedio de este, ver Tabla 32. Por lo tanto la ecuación representante nos sirve para determinar, el contenido de humedad (%) del cono colombiano en caso de que se desconozca este.

Gráfica 25 Cono Colombiano VS Casagrande LL



Fuente: Autores, 2017.

Se establece un porcentaje de error entre el método del cono colombiano y el método de Casagrande, el cual presenta uno de los mejores valores de 1,53% de error con respecto a los demás conos, lo cual indica que el método del cono es fiable para determinar los límites líquido de este tipo de suelo Caolín-Diatomea. Además que este método es óptimo en cuestión de repetibilidad a diferencia de Casagrande.

Tabla 34 % Error Colombiano VS Casagrande LL

Porcentaje de de error	Promedio
2.02	1.53
1.96	
1.88	
1.15	
0.65	

Fuente: Autores, 2017.

Durante la obtención del límite LL por medio del cono canadiense, se puede observar que los datos obtenidos presenta un poca diferencia entre los dos métodos, sin embargo el cono canadiense es el segundo en comparación con el cono colombiano, en el cual sus datos tiene una mayor proximidad, claro que está por encima del valor de Casagrande ver Tabla 34.

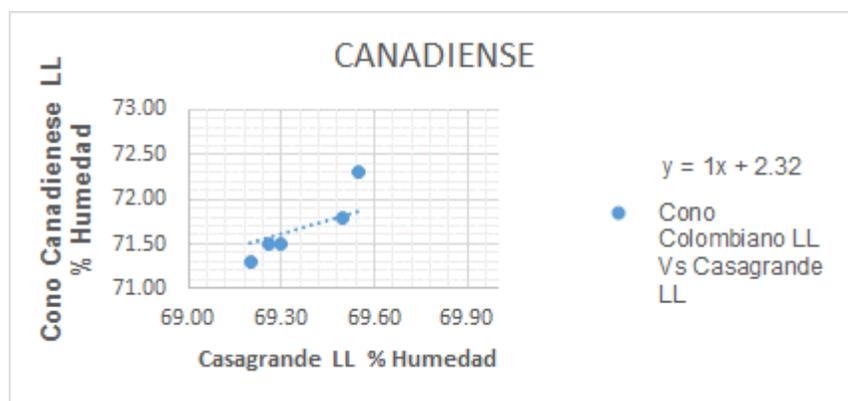
Tabla 35 Resultados W% del LL Cono Canadiense Vs Casagrande

ENSAYO	CONTENIDO DE HUMEDAD		$\Delta W\%$
	Cono Canadiense %	Casagrande %	
4	71.30	69.20	2.10
1	71.50	69.26	2.24
3	71.50	69.30	2.20
5	71.80	69.50	2.30
2	72.30	69.55	2.75
		Promedio	2.32

Fuente: Autores, 2017.

Sin embargo, se presenta la Gráfica 25, en la cual se puede observar el comportamiento de la muestra en relación del cono canadiense y Casagrande, su línea de tendencia se representa de manera lineal, en la cual se implementó un ajuste, este consiste en trabajar con la diferencia existente entre los contenidos de humedad en los dos métodos, para así determinar el promedio de este, ver Tabla 34. Por lo tanto la ecuación representante nos sirve para determinar, el contenido de humedad (%) del cono canadiense en caso de que se desconozca este.

Gráfica 26 Cono Canadiense VS Casagrande LL



Fuente: Autores, 2017.

Los errores son comunes en cualquier prueba de laboratorio, esta implementación del método de Casagrande y el Penetrómetro de cono de caída, son susceptibles ya sea por el laboratorista quien lo ejecuta y/o el estado del equipo. Aunque el cono canadiense presenta un porcentaje de error muy pequeño en comparación al cono ruso ver Tabla 31 y 35 .nuevamente se puede establecer qué las dimensiones del cono y lecturas de las penetraciones en un tiempo determinado, influyen de manera importante sobre la interpretación del contenido de humedad para la obtención del límite líquido.

Tabla 36 % Error Canadiense VS Casagrande LL

Porcentaje de de error	Promedio
3.03	3.34
3.23	
3.17	
3.31	
3.95	

Fuente: Autores, 2017.

La obtención del contenido de humedad (%) de la muestra Caolín – Diatomea, está comprendida en la lectura de penetración a 25,4mm y dimensiones características de este cono indio. A pesar de que la lectura no sea de 20mm como en el caso del cono colombiano, británico y canadiense. Los datos representativos del cono indio están sobre una diferencia entre el 6.55% - 7.70%, esta es la diferencia entre las humedades por el cono y Casagrande, ver Tabla 36.

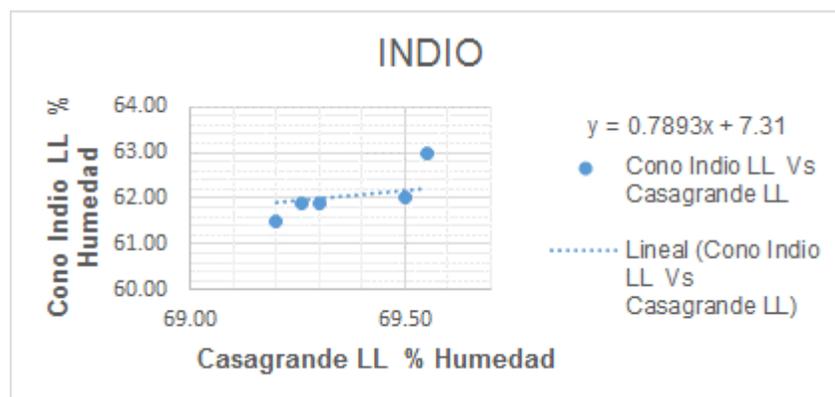
Tabla 37 Resultados W% del LL Cono Indio Vs Casagrande

ENSAYO	CONTENIDO DE HUMEDAD		$\Delta W\%$
	Cono Indio %	Casagrande%	
3	61.50	69.20	7.70
2	61.87	69.26	7.39
4	61.90	69.30	7.40
5	62.00	69.50	7.50
1	63.00	69.55	6.55
		Promedio	7.31

Fuente: Autores, 2017.

Para la estructura de la Grafica 26, se tiene en cuenta los valores del contenido de humedad por cada ensayo realizado para el cono indio, ver Tabla 7. El promedio de las humedades emplea para la ecuación presente en el gráfico ya nombrado, sin embargo es claro determinara que este ajuste se utiliza para la hallar el contenido de humedad (%) para el cono indio, en caso de que se quiera representar para el cono indio.

Gráfica 27 Cono Indio VS Casagrande LL



Fuente: Autores, 2017.

Tabla 38 % Error Indio VS Casagrande LL

Porcentaje de error	Promedio
11.13	10.54
10.67	
10.68	
10.79	
9.42	

Fuente: Autores, 2017.

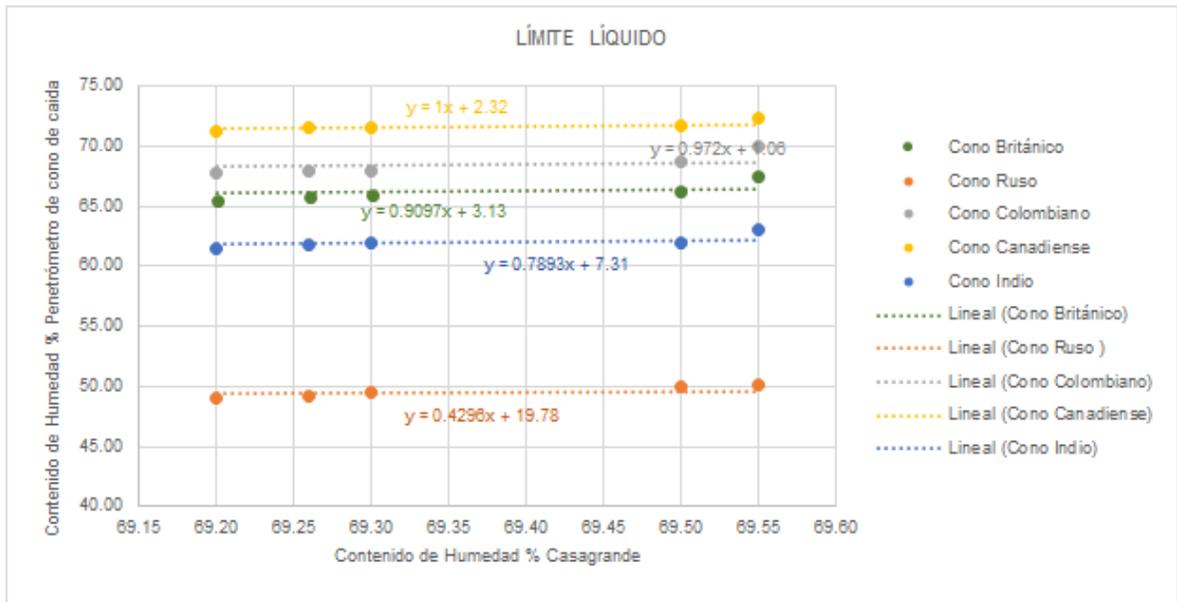
De esta forma se realiza la comparación general para los Límites Líquidos obtenidos por cada tipo de cono VS los Límites Líquidos determinados por el método de Casagrande y se establece lo siguiente:

Tabla 39 W% de LL Penetrómetro de cono de caída Vs Casagrande

CONTENIDO DE HUMEDAD %	MÉTODO					CASAGRANDE
	CONO					
	BRITÁNICO	RUSO	COLOMBIANO	CANADIENSE	INDIO	
65.54	49.00	67.80	71.30	61.50	69.20	
65.80	49.20	67.90	71.50	61.87	69.26	
66.00	49.50	68.00	71.50	61.90	69.30	
66.30	50.00	68.70	71.80	62.00	69.50	
67.50	50.20	70.00	72.30	63.00	69.55	

Fuente: Autores, 2017.

Gráfica 28 General del comportamiento del W% del LL Penetrómetro de cono de caída Vs Casagrande



Fuente: Autores, 2017.

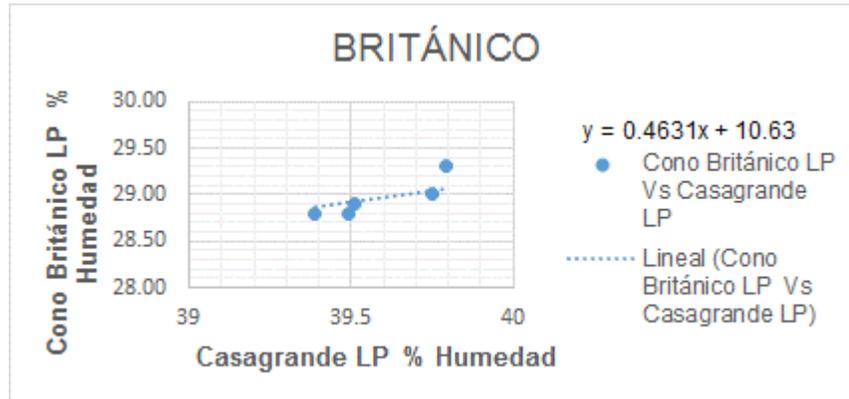
10.1.2 Ensayo Límite Plástico – Método Double Fall Cone

Tabla 40 Resultados W% del LP Cono Británico Vs Casagrande

ENSAYO	CONTENIDO DE HUMEDAD		$\Delta W\%$
	Cono Británico %	Casagrande %	
2	28.80	39.39	10.59
5	28.80	39.49	10.69
3	28.90	39.51	10.61
4	29.00	39.75	10.75
1	29.30	39.79	10.49
		Promedio	10.63

Fuente: Autores, 2017.

Gráfica 29 Cono Británico Vs Casagrande LP



Fuente: Autores, 2017.

Tabla 41 % Error Británico Vs Casagrande LP

Porcentaje de error	Promedio
26.88	26.84
27.07	
26.85	
27.04	
26.36	

Fuente: Autores, 2017.

Se observa en la gráfica la curva que hace referencia al contenido de humedad del ensayo por el Penetrómetro de cono y Casagrande en valor porcentual por medio del método de doble peso en el cual según las especificaciones técnicas del cono Británico debe determinarse el límite plástico a una penetración de 20mm en escala logarítmica.

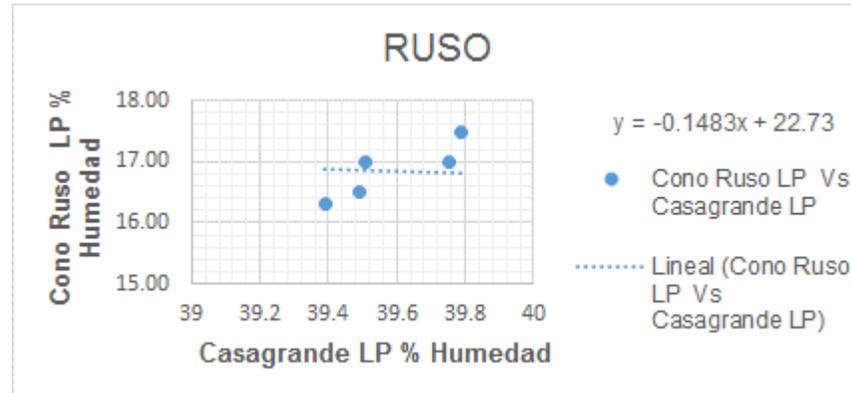
Se evidencia que los valores obtenidos por Casagrande son mayores en comparación a los del Penetrómetro de cono, se determina para el punto de intersección de la recta el promedio de las diferencias entre ambos métodos la cual se establece de 10.30% de contenido de humedad, el porcentaje de error para este método es del 26.84%.

Tabla 42 Resultados W% del LP Cono Ruso Vs Casagrande

ENSAYO	CONTENIDO DE HUMEDAD		$\Delta W\%$
	Cono Ruso %	Casagrande %	
5	16.30	39.39	23.09
4	16.50	39.49	22.99
3	16.98	39.51	22.53
2	17.00	39.75	22.75
1	17.50	39.79	22.29
		Promedio	22.73

Fuente: Autores, 2017.

Gráfica 30 Cono Ruso Vs Casagrande LP



Fuente: Autores, 2017.

Tabla 43 % Error Ruso Vs Casagrande LP

Porcentaje de error	Promedio
58.62	57.42
58.22	
57.02	
57.23	
56.02	

Fuente: Autores, 2017.

Según el los cálculos realizados, se observa que el porcentaje de error obtenido para este cono es el mayor de los obtenidos para este método, el comportamiento que pudo estar afectando este cono, se puede ver comprometido con las características del mismo cono, teniendo en cuenta que es un cono diseñado para suelos de altas latitudes, incluso donde las condiciones climáticas afectan considerablemente las condiciones físico químicas del suelo.

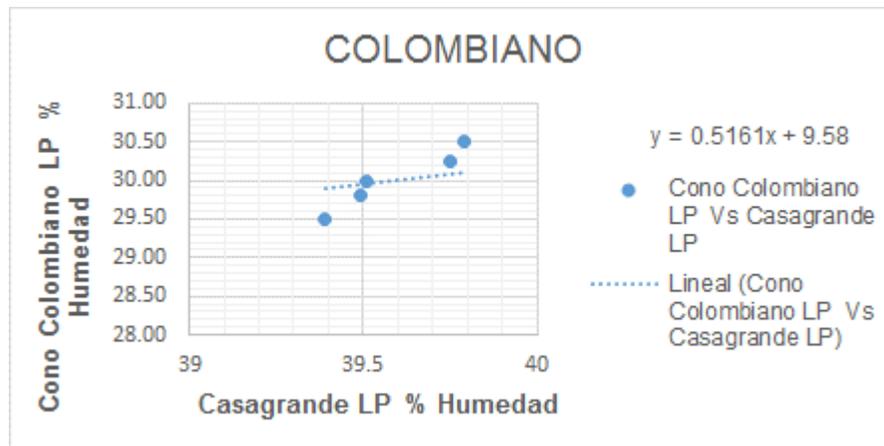
Se evidencia que los valores obtenidos por Casagrande son casi el doble en comparación con los del Penetrómetro de cono, se determina para el punto de intersección de la recta el promedio de las diferencias entre ambos métodos la cual se establece de 22.73% de contenido de humedad, el porcentaje de error para este método es del 52.42%.

Tabla 44 Resultados W% del LP Cono Colombiano Vs Casagrande

ENSAYO	CONTENIDO DE HUMEDAD		$\Delta W\%$
	Cono Colombiano %	Casagrande %	
3	29.50	39.39	9.89
1	29.80	39.49	9.69
2	30.00	39.51	9.51
4	30.25	39.75	9.50
5	30.50	39.79	9.29
		Promedio	9.58

Fuente: Autores, 2017.

Gráfica 31 Cono Colombiano Vs Casagrande LP



Fuente: Autores, 2017.

Tabla 45 Colombiano Vs Casagrande LP

Porcentaje de error	Promedio
25.11	24.19
24.54	
24.07	
23.90	
23.35	

Fuente: Autores, 2017.

Los datos arrojados en el análisis del cono colombiano, presenta un porcentaje de error en un rango intermedio en comparación con los otros conos, la relación entre los valores obtenidos de cada método es muy próxima, lo que reduce el error considerablemente.

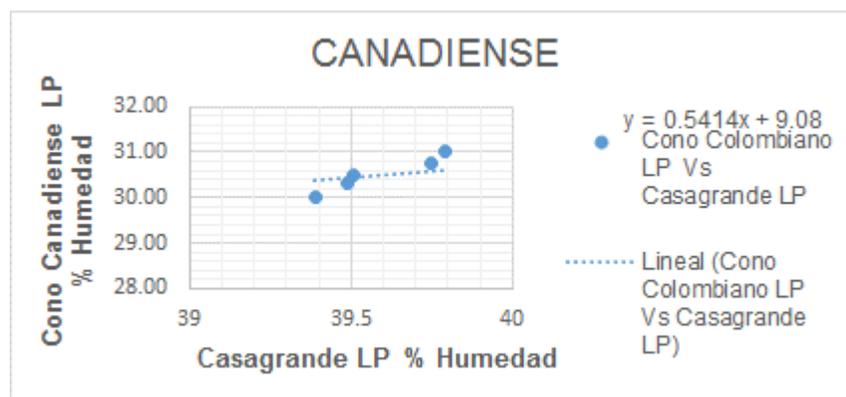
Se determina para el punto de intersección de la recta el promedio de las diferencias entre ambos métodos la cual se establece de 9.58% de contenido de humedad, el porcentaje de error para este método es del 24.19%.

Tabla 46 Resultados W% del LP Cono Canadiense Vs Casagrande

ENSAYO	CONTENIDO DE HUMEDAD		$\Delta W\%$
	Cono Canadiense %	Casagrande %	
5	30.00	39.39	9.39
3	30.30	39.49	9.19
1	30.50	39.51	9.01
4	30.75	39.75	9.00
2	31.00	39.79	8.79
		Promedio	9.08

Fuente: Autores, 2017.

Gráfica 32 Cono Canadiense Vs Casagrande LP



Fuente: Autores, 2017.

Tabla 47 Canadiense Vs Casagrande LP

Porcentaje de error	Promedio
23.84	22.93
23.27	
22.80	
22.64	
22.09	

Fuente: Autores, 2017.

Los datos arrojados en el análisis del cono canadiense, presenta un porcentaje de error en un rango intermedio muy próximo al obtenido con el cono colombiano, la relación entre los valores obtenidos de cada método es muy próxima, lo que reduce el error considerablemente aceptable.

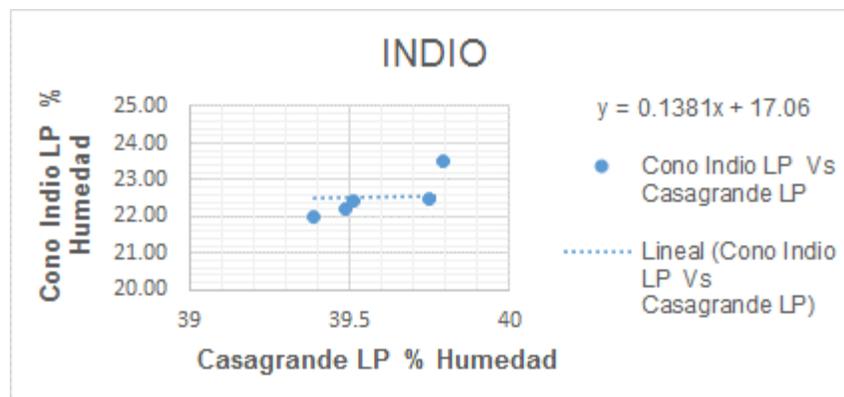
Se determina para el punto de intersección de la recta el promedio de las diferencias entre ambos métodos la cual se establece de 9.08% de contenido de humedad el cual presenta un comportamiento directamente proporcional, el porcentaje de error para este método es del 22.93%.

Tabla 48 Resultados W% del LP Cono Indio Vs Casagrande

ENSAYO	CONTENIDO DE HUMEDAD		$\Delta W\%$
	Cono Indio %	Casagrande %	
5	21.98	39.39	17.41
3	22.20	39.49	17.29
4	22.45	39.51	17.06
2	22.50	39.75	17.25
1	23.50	39.79	16.29
		Promedio	17.06

Fuente: Autores, 2017.

Gráfica 33 Cono Indio Vs Casagrande LP



Fuente: Autores, 2017.

Tabla 49 Indio Vs Casagrande LP

Porcentaje de error	Promedio
44.20	43.10
43.78	
43.18	
43.40	
40.94	

Fuente: Autores, 2017.

Los datos arrojados en para el análisis del cono canadiense, presenta un porcentaje de error en un rango intermedio muy próximo al obtenido con el cono indio, la relación entre los valores obtenidos de cada método es muy próxima, lo que aumenta considerablemente el error obtenido, este aumento en el error se pudo generar por las dimensiones del cono en relación con las características de humedad presentes en la muestra de suelo.

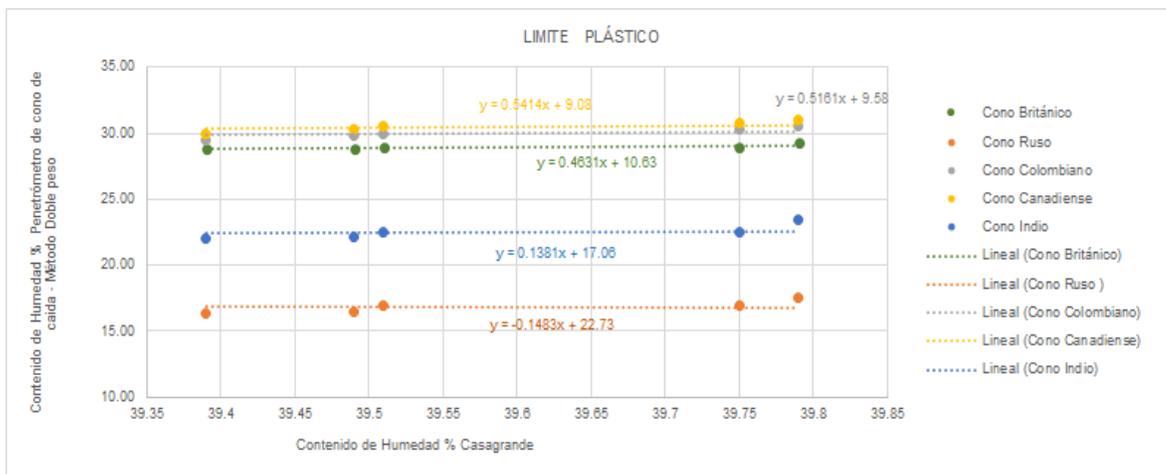
Se determina para el punto de intersección de la recta el promedio de las diferencias entre ambos métodos la cual se establece de 17.06% de contenido de humedad el cual presenta un comportamiento directamente proporcional, el porcentaje de error para este método es del 43.10%.

Tabla 50 W% de LP Penetrómetro de cono de caída Vs Casagrande- Doble peso

CONTENIDO DE HUMEDAD %	MÉTODO					CASAGRANDE
	CONO					
	BRITÁNICO	RUSO	COLOMBIANO	CANADIENSE	INDIO	
28.80	16.30	29.50	30.00	21.98	39.39	
28.80	16.50	29.80	30.30	22.20	39.49	
28.90	16.98	30.00	30.50	22.45	39.51	
29.00	17.00	30.25	30.75	22.50	39.75	
29.30	17.50	30.50	31.00	23.50	39.79	

Fuente: Autores, 2017.

Gráfica 34 General del comportamiento del W% del LP Penetrómetro de cono de caída Vs Casagrande - Doble peso



Fuente: Autores, 2017.

Se evidencia en la gráfica que las curvas correspondientes a los conos Británico y Canadiense y Colombiano, presentan un comportamiento similar teniendo en cuenta que se encuentran en un rango óptimo medido tanto por Casagrande como por el Penetrómetro de Cono, los conos Ruso e Indio presentan una diferencia considerable entre ellos y en comparación con los otros conos, teniendo en cuenta que presentan una distribución alrededor del 15.5% y el 25% de contenido de humedad por Penetrómetro de Cono, siendo los valores más pequeños obtenidos con este método.

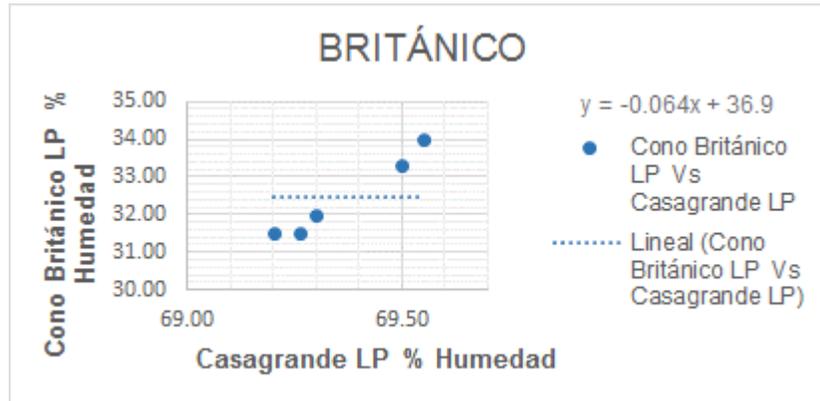
10.1.3 Ensayo Límite Plástico – Método Feng 2000

Tabla 51 Resultados W% del LP Cono Británico (FENG 2000) Vs Casagrande

ENSAYO	CONTENIDO DE HUMEDAD		Δ W%
	Cono Británico %	Casagrande %	
1	31.50	69.20	37.70
4	31.50	69.26	37.76
3	32.00	69.30	37.30
2	33.30	69.50	36.20
5	34.00	69.55	35.55
		Promedio	36.90

Fuente: Autores, 2017.

Gráfica 35 Cono Británico Vs Casagrande LP - FENG 2000



Fuente: Autores, 2017.

Tabla 52 % Error Británico Vs Casagrande LP- FENG 2000

Porcentaje de error	Promedio
54.48	53.20
54.52	
53.82	
52.09	
51.11	

Fuente: Autores, 2017.

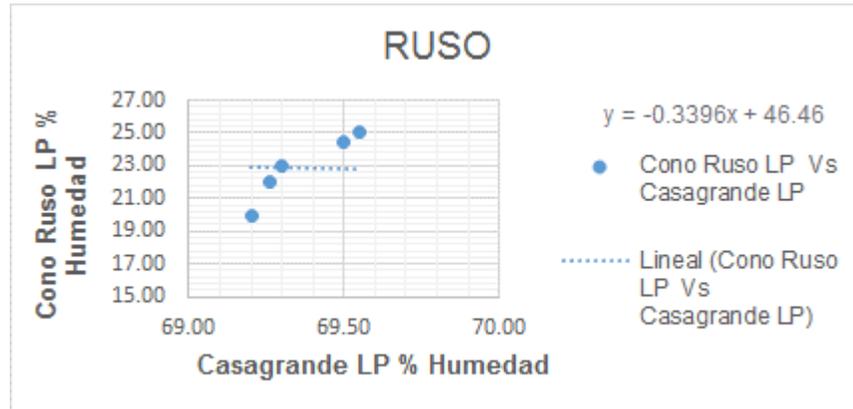
Se observa que el contenido de humedad determinado por el método de Casagrande supera en aproximadamente el doble los valores del cono Británico, presentando una relación desfavorable, se determina el promedio de la diferencia entre los conos estudiados y se establece como el punto de corte en la recta arrojando un valor de 36.9% y establece una distribución muy dispersa, el promedio de error en porcentaje se determina de 53.20%

Tabla 53 Resultados W% del LP Cono Ruso (FENG 2000) Vs Casagrande

ENSAYO	CONTENIDO DE HUMEDAD		$\Delta W\%$
	Cono Ruso %	Casagrande %	
5	20.00	69.20	49.20
3	22.00	69.26	47.26
1	23.00	69.30	46.30
4	24.50	69.50	45.00
2	25.00	69.55	44.55
		Promeido	46.46

Fuente: Autores, 2017.

Gráfica 36 Cono Ruso Vs Casagrande LP - FENG 2000



Fuente: Autores, 2017.

Tabla 54 % Error Ruso Vs Casagrande LP- FENG 2000

Porcentaje de error	Promedio
71.10	66.99
68.24	
66.81	
64.75	
64.05	

Fuente: Autores, 2017.

La muestra de caolín- diatomea por medio del método de feng 2000, se pretende hallar el limite plástico, claro está que dentro de las lecturas del contenido de humedad los valores ya conocidos, se le debe extrapolar la línea hacia atrás, pues este método necesita hacerse de manera obligatoria la lectura hasta 1mm de penetración, por tal motivo los valores obtenidos por el cono ruso tienden a ser muy desfavorables y presentar un rango comprendido entre 20%- 25%.ver Tabla 52.

La Grafica 35 muestra la relación del comportamiento del material usando el cono ruso en comparación del método de Casagrande, se puede establecer que dentro de la ecuación expuesta en la gráfica ya mencionada, su punto de intersección es el promedio de los contenidos de humedad, ver Tabla 52. La ecuación hallada representa, una de quizás lagunas formas en determinar el limite plástico del cono ruso ,en dado caso que solo se conozca el dato del LP de Casagrande.

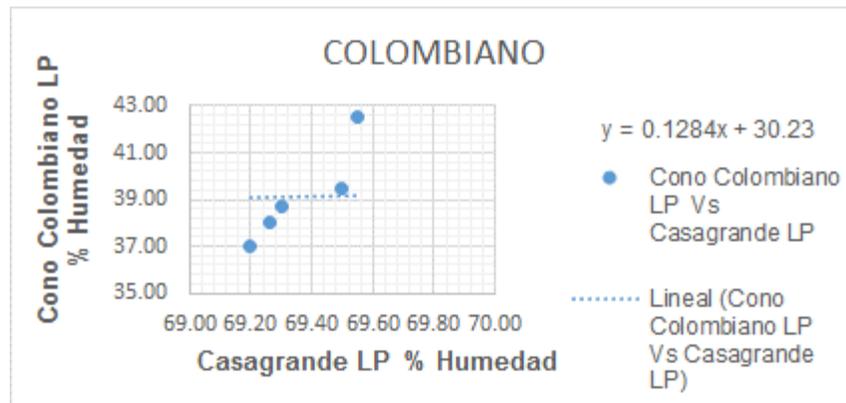
El porcentaje del cono ruso es uno de los conos el cual presenta mayores porcentajes d erro, quizá este método no sea el más óptimo para determinar el LP, ya que su error es de 66,99%

Tabla 55 Resultados W% del LP Cono Colombiano (FENG 2000) Vs Casagrande

ENSAYO	CONTENIDO DE HUMEDAD		$\Delta W\%$
	Cono Colombiano %	Casagrande %	
4	37.00	69.20	32.20
3	38.00	69.26	31.26
5	38.68	69.30	30.62
2	39.50	69.50	30.00
1	42.50	69.55	27.05
		Promedio	30.23

Fuente: Autores, 2017.

Gráfica 37 Cono Colombiano Vs Casagrande LP - FENG 2000



Fuente: Autores, 2017.

Tabla 56 % Error Colombiano Vs Casagrande LP- FENG 2000

Porcentaje de error	Promedio
46.53	43.58
45.13	
44.18	
43.17	
38.89	

Fuente: Autores, 2017.

Los datos arrojados en para el análisis del cono colombiano presentan un porcentaje de error en un rango próximo entre el Canadiense y el Británico, la relación entre los valores obtenidos por ambos métodos es casi el doble comparando la una con la otra, lo que aumenta considerablemente el error obtenido, este aumento en el error se pudo generar por las dimensiones del cono en relación con las características de humedad presentes en la muestra de suelo.

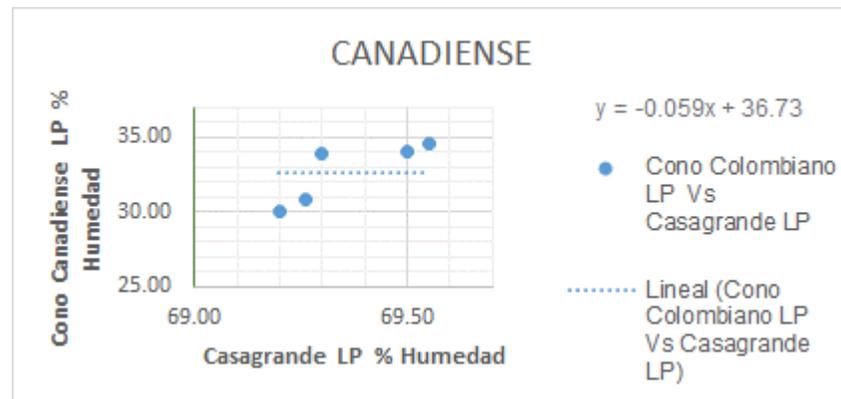
Se determina para el punto de intersección de la recta el promedio de las diferencias entre ambos métodos la cual se establece de 36.73% de contenido de humedad, el porcentaje de error para este método es del 43.58%.

Tabla 57 Resultados W% del LP Cono Canadiense (FENG 2000) Vs Casagrande

ENSAYO	CONTENIDO DE HUMEDAD		$\Delta W\%$
	Cono Canadiense %	Casagrande %	
4	30.00	69.20	39.20
5	30.80	69.26	38.46
3	33.87	69.30	35.43
2	34.00	69.50	35.50
1	34.50	69.55	35.05
		Promedio	36.73

Fuente: Autores, 2017.

Gráfica 38 Cono Canadiense Vs Casagrande LP - FENG 2000



Fuente: Autores, 2017.

Tabla 58 % Error Canadiense Vs Casagrande LP- FENG 2000

Porcentaje de error	Promedio
56.65	52.96
55.53	
51.13	
51.08	
50.40	

Fuente: Autores, 2017.

La grafica muestra una relación muy dispersa de los puntos evaluados, el cono canadiense presentan un porcentaje de error en un rango próximo entre el Colombiano, la relación entre los valores obtenidos por ambos métodos es casi el doble comparando la una con la otra, lo que aumenta considerablemente el error obtenido.

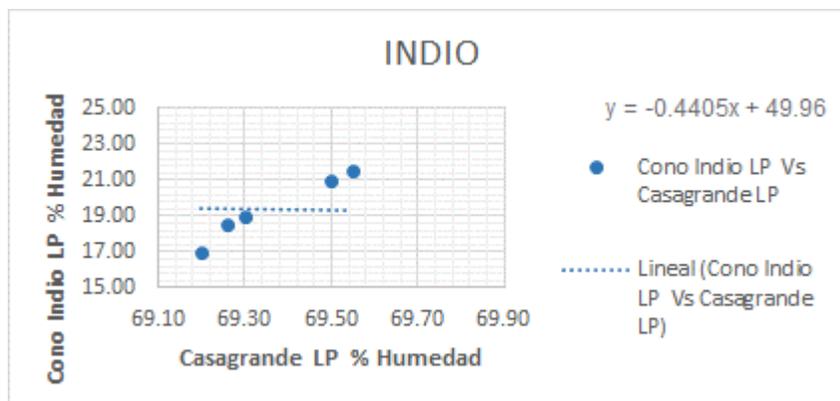
Se determina para el punto de intersección de la recta el promedio de las diferencias entre ambos métodos la cual se establece de 36.73% de contenido de humedad, el porcentaje de error para este método es del 52.96%.

Tabla 59 Resultados W% del LP Cono Indio (FENG 2000) Vs Casagrande

ENSAYO	CONTENIDO DE HUMEDAD		Δ W%
	Cono Indio %	Casagrande %	
1	17.00	69.20	52.20
5	18.50	69.26	50.76
4	19.00	69.30	50.30
3	21.00	69.50	48.50
2	21.50	69.55	48.05
		Promedio	49.96

Fuente: Autores, 2017.

Gráfica 39 Cono Cano Indio Vs Casagrande LP - FENG 2000



Fuente: Autores, 2017.

Tabla 60 % Error Indio Vs Casagrande LP- FENG 2000

Porcentaje de error	Promedio
75.43	72.04
73.29	
72.58	
69.78	
69.09	

Fuente: Autores, 2017.

El cono indio presenta aún más datos desfavorables en comparación con el cono ruso, esto se debe a la penetración que tiene el cono indio (25,4 mm), al instante de extrapolar la línea este valor se ve afectado, primero por la distribución de sus datos y el recorrido que debe tener al extrapolar la línea hasta la penetración de 1mm. Obtenido así valores de contenido de humedad muy bajos (véase en Tabla 58), que en relación a Casagrande no parece ser un buen método para implementarlo en la muestra de Caolín-Diatomea.

La Grafica 58, representa el comportamiento y la ecuación, su punto de intersección es utilizado en base al promedio del contenido de humedad (%), ver Tabla 58. La ecuación está en base a una línea de tendencia lineal, pero no en base a sus datos.

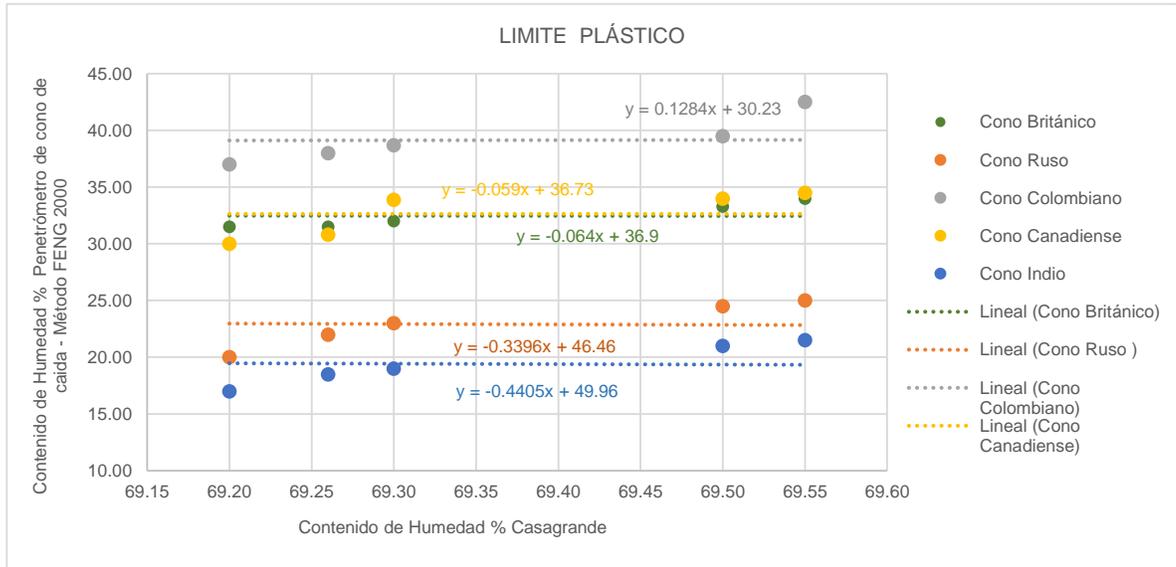
Todo método que se realice en el laboratorio comprende un porcentaje de error, dentro del método de FENG 200, se establece que el cono indio presenta un error muy grande a diferencia de los conos: colombiano, británico, ruso y canadiense. Puede establecerse que la muestra no está en relación con el método por que más del 50% presenta un error. Ver Tabla 59

Tabla 61 W% de LP Penetrómetro de cono de caída Vs Casagrande - FENG 2000

CONTENIDO DE HUMEDAD %	MÉTODO					CASAGRANDE
	CONO					
	BRITÁNICO	RUSO	COLOMBIANO	CANADIENSE	INDIO	
31.50	20.00	37.00	30.00	17.00	39.39	
31.50	22.00	38.00	30.80	18.50	39.49	
32.00	23.00	38.68	33.87	19.00	39.51	
33.30	24.50	39.50	34.00	21.00	39.75	
34.00	25.00	42.50	34.50	21.50	39.79	

Fuente: Autores, 2017.

Gráfica 40 General del comportamiento del W% del LP Penetrómetro de cono de caída Vs Casagrande - FENG 2000



Fuente: Autores, 2017.

Se puede observar en la gráfica que las curvas formadas por los conos correspondientes a el Británico, Canadiense y Colombiano, presentan un comportamiento próximo teniendo en cuenta que se encuentran en un rango de 30% y 42% aproximadamente en relación con el Penetrómetro de Cono, los conos Ruso e Indio presentan una diferencia considerable entre ellos y en comparación con los otros conos.

Para una mejor aclaración se puede observar la Gráfica 39 , en el cual se puede establecer que sí existe una relación entre los métodos de los conos y Casagrande , sin embargo se representa algunos rangos entre cada cono para conocer una mejor relación entre estos:

Cono indio y Cono ruso: rango 15%- 25%

Cono británico y Cono canadiense: rango 30%- 35%

Cono colombiano: rango 37%-44%

11.RECOMENDACIONES

Durante la ejecución del ensayo es importante establecer una serie de parámetros que se tuvieron en cuenta para la obtención del contenido de humedad, para agregar el agua destilada a la muestra, se comienza con cantidades pequeñas, en este caso, la adición de está puede variar en cantidades dependiendo del tipo de la muestra, ya que se busca un punto donde el material es maleable y homogéneo ver Ilustración 8.

En cuanto a la repetibilidad (Casagrande): este debe ser ejecutado por un solo operador y en un mismo instrumento y en días diferentes, ya que puede alterarse los resultados, dependiendo la experticia del operario. Norma INVIAS- 125

Dentro de los instrumentos que se utilizan para el método del Penetrómetro de cono de caída, se debe tener en cuenta que la punta del cono debe estar sin un doblez, para que los resultados sean lo más certero posible.

Tener una clara información acerca de los diferentes conos utilizados en este proyecto para la obtención del límite líquido y plástico, cuyos conos son: colombiano, británico, indio, ruso y Canadiense. Por tanto se debe tener un conocimiento global de sus dimensiones, tales como Profundidad (mm), peso (g), altura (mm), diámetro (mm), ángulo (grados) y lecturas de penetración (mm) con el tiempo que le pertenece a cada uno, ver Tabla 1 y Tabla 2.

Cantidad de datos, Para todo el ensayo de laboratorio es importante la cantidad de ensayos que se le puedan elaborar a una muestra de suelo, sin embargo en el proyecto de la obtención del límite líquido y plástico en comparación al método de Casagrande se establece que se trabaja 5 ensayos por cada cono. Si se desea realizar este mismo ensayo; es decir la misma muestra o diferente recuerde que los valores obtenidos pueden estar variando por la cantidad de ensayos realizados y material escogido. Sin duda alguna todos los suelos no tiene el mismo comportamiento fisicoquímico al mezclar con agua destilada.

12. CONCLUSIONES

Se determina que efectivamente la ejecución de los ensayos por medio del Penetrómetro de Cono de Caída, permite determinar la plasticidad de la mezcla de suelo estudiado.

Por medio del levantamiento bibliográfico y el desarrollo del presente proyecto, se logra determinar las características de plasticidad de la combinación de una muestra de suelo arcillosa, haciendo un análisis general sobre el comportamiento de cada muestra en determinado ensayo, se observa que es posible estudiar los valores obtenidos por medio del método propuesto Penetrómetro de Cono de Caída con los determinados por medio del método tradicional, teniendo en cuenta las características físico químicas tanto del Caolín como de la Diatomea.

Se llevan a cabo los ensayos de laboratorio, registrando la descripción procedimental tanto del método de Casagrande como el Penetrómetro de Cono de Caída que permitieron determinar los límites de consistencia para la combinación de la muestra de arcillas, se presenta el desarrollo de los respectivos ensayos así como el registro fotográfico para su obtención, que proporcionan una idea más clara de la metodología de ejecución de las pruebas, materiales utilizados, equipo y marco procedimental, que permitieran un análisis cualitativo y cuantitativo de los Límites Líquido y Plástico, por cada método ejecutado.

Una de las eficiencias entre la obtención del límite líquido esta comprendidas por medio del porcentaje de error, el cual permite determinar cuál de los métodos tuvo una mayor relación con los datos obtenidos de Casagrande. El cono colombiano con un 1.53% de error, se postula como un método viable para la muestra de Caolín-Diatomea. Aunque los demás conos presentan características diferentes en dimensión y lecturas de penetración a un tiempo de terminado, estos arrojan porcentajes de error entre el 3,13% hasta 28,52%.

13. BIBLIOGRAFÍA

- A. Mohajerani BE, P. S. (1999). Assessment Calibration for the cone penetrometer liquid limit. Australian: RMIT University.
- Abelleira, F. (2010). El incierto futuro de Rusia. (99-4).
- Abreu, D. J. (2012). *LA MECÁNICA DE SUELOS Y LAS CIMENTACIONES*. España.
- Ahmad Safuan A Rashid, k. A. (2008). Determination of plastic limit of soil using modified methods.
- Al-Sharif, M. H.-D. (2008). A Proposed Approach for Plastic Limit Determination. *Journal of Engineering and Development*, 12, 109.
- Azadi, M. R., & Monfared, S. R. (2012). Fall Cone Test Parameters and Their. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*.
- B, C. (1991). *Comparison of the Casagrande and Fall Cone Penetrometer Methods*. Grecia : Engineering Geology.
- B. Caicedo, D. Z. (2014). CHARACTERIZATION PARAMETERS AND MECHANICAL RESPONSE IN DIATOMACEOUS.
- Badillo, E. J., & Rodriguez, R. A. (1981). *Mecanica de Suelos*. Mexico D.F: Limusa 3 Ed.
- Blázquez, Á. R. (2016). *Aplicabilidad del Penetrómetro Cónico en la determinación del Límite Líquido en suelos de baja y media plasticidad* . San Vicente del Raspeig, Alicante, España: Escuela Politécnica Superior .
- Budhu, M. (2015). *Soil Mechanics Fundamentals*. Arizona, USA.
- Caicedo, Zuluaga, & Slebi. (2014). CHARACTERIZATION PARAMETERS AND MECHANICAL RESPONSE IN DIATOMACEOUS.
- Campbell, D. A., & Blackford, J. W. (1984). *Fall Cone Method used to determine the Liquid Limit of Soil* . Denver, Colorado.
- Cevikbilen, G., & Budhu, M. (2016). Shear Viscosity of Clays in the Fall Cone Test. *Geotechnical Testing Journal*, 6.
- CONSTRUMATICA. (s.f.). Obtenido de ARQUITECTURA INGENIERIA Y CONSTRUCCION:
<http://www.construmatica.com/construpedia/Caol%C3%ADn>

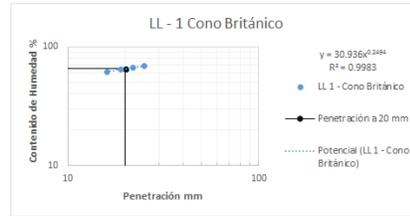
- Das, B. M. (1985). *Fundamentos de Ingenieria Geotécnica* . Sacramento, California: International Thomson Editores .
- Das, B. M. (1999). *Principios de Ingenieria de Cimentaciones*. Mexico D.F: International Thomson Editores 4 Ed.
- Eric Ferrell, T. C. (1997). ETC 5 Fall-Cone Study. *GROUND ENGINEERING JANUARY*, 4.
- Feng, T. (2004). Determining the consistency limits of high plasticity clays by the BS fall cone method . *PAPER*, 56-57.
- Gómez, H. L. (2012). *LIMITES DE ATTERBERG*. Proyecto de Grado, Universidad de los Andes. Obtenido de https://documentodegrado.uniandes.edu.co/documentos/200812536_fecha_2013_06_18_parte_1.pdf
- Hernandez, L., & Suescun, E. (2016). Trabajo de Grado. *Manual de Obras de Bioingenieria en Zonas de Laderas con Procesos de remocion de masas para altitudes superiores a 3000 MSNM-Localidad de Sumapaz Bogota DC*. Bogota, Colombia.
- Hrubesova, E., Lunackova, B., & Brodzki, O. (2016). Comparision on Liquid of Soils resulted from Casagrande text and modiflicated cone Penetrometer methodology. *ELSERVIER*, 7.
- Ibsen, B. N. (2011). Comparison of liquid limit of highly plastic clay by. *Pan-Am CGS Geotechnical Conference*, 3.
- ICONTEC. (1995). *Norma Tecnica Colombiana 129*. Colombiana: ICONTEC.
- ICONTEC. (2012). Proyecto de Norma Tecnica Colombiana NTC 4630.
- Igmes. (2005). *Panorama Minero*. Obtenido de Caolin y Arcillas Caoliniticas: http://www.igme.es/PanoramaMinero/Historico/2005_06/CAOLIN%20Y%20ARC%20CAOL2005.pdf
- INVIAS. (2007). *MÉTODO DE ENSAYO NORMAL PARA EL USO DEL PENETRÓMETRO DINÁMICO*.
- Luna, A. S. (- de --- de 2012). Determinacion del Limite Liquido y Plastico de Suelos mediante el uso del Penetrometro Conico. quito, ecuador.
- Luna, S. C. (2012). *Determinacion del LL y LP de los suelos mediante el uso de penetrometro Conico*. Quito: Universidad Catolica de Ecuador.
- Mendoza, M. (s.f.). *Determinacion del Limite Liquido de suelos con el cono Sueco*. Mexico.

- NATURAL, C. S. (s.f.). *CLUB SALUD NATURAL*. Recuperado el 22 de 10 de 2010, de <http://www.clubsaludnatural.com/profiles/blogs/tierra-de-diatomea-o-tierra-blanca>
- Osorio, S. (19 de 11 de 2010). *Geotecnia.Sor. Blogspot*. Obtenido de Consistencia del Suelo - Límites de Atterberg - Límite Líquido: http://geotecnia-sor.blogspot.com.co/2010/11/consistencia-del-suelo-limites-de_19.html
- POLITECNICA, B. U. (s.f.). *ARCHIVO DIGITAL UPM*. Recuperado el 10 de 2017
- Quiminet. (14 de 03 de 2012). *QuimiNet.com*. Obtenido de El uso de la arcilla en aplicaciones industriales: <https://www.quiminet.com/articulos/el-uso-de-la-arcilla-en-aplicaciones-industriales-2703873.htm>
- R, T., M, C., J, G., J, S., L, H., J, R., & R, Z. (2013). *Universidad de Alicante*. Obtenido de <http://web.ua.es/es/ginter/>
- Rodriguez, A. P. (2012). *Manual de Prácticas de Laboratorio de mecanica de suelos I*.
- Romero, E. G. (s.f.). *Las Arcillas y sus Usos*. Obtenido de <http://www.uclm.es/users/higueras/yymm/Arcillas.htm>
- Santos, J., Malagon, P., & Cordoba, E. (2009). Caracterizacion de arcilas y preparacion de pastas para ceramicas para la fabricacion de tejas y ladrillos en la region de Barichara, Santander. *Portal de Revistas UN*.
- Spagnoli, G. (2012). Comparison between Casagrande and drop-cone methods to calculate liquid limit for pure clay. *Departament of Maritime Technologies*.
- Wasti, Y. (2016). Liquid and Plastic Limits as Determined from the Fall Cone. *TECHNICAL NOTE*.
- Wasty, Y., & Bezirci, M. H. (12 de 1985). Determination of the consistency limits of soils by the fall cone test. Oriente Medio, Ankara, Turquia .

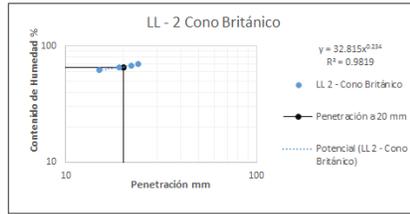
ANEXOS

Anexo 1 Resultados de Laboratorio y lectura del % w - Británico LL (Penetrómetro de Cono de Caída)

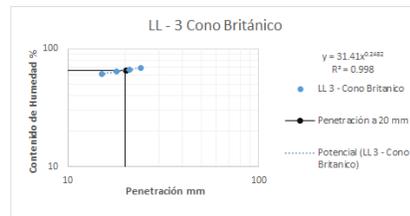
Tipo de Cono :	BRITÁNICO	Muestra :	Caolin amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%	
CONO DE PENETRACIÓN LÍMITE LÍQUIDO 1				
Método: Penetrómetro de cono de caída	HUMEDAD			
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4
Penetración (mm)	16	19	22	25
Recipiente (Número)	9	10	11	12
Peso Recipiente (TARA) (PT)	13.77	14.07	13.63	13.59
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P1)	28.02	29.97	28.8	30.79
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)	22.58	23.73	22.73	23.76
Contenido de Humedad (%)	61.75	64.60	66.70	69.12
Contenido de Humedad (%) - lectura gráfica	65.54			



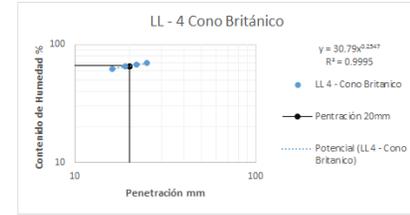
Tipo de Cono :	BRITÁNICO	Muestra :	Caolin amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%	
CONO DE PENETRACIÓN LÍMITE LÍQUIDO 2				
Método: Penetrómetro de cono de caída	HUMEDAD			
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4
Penetración (mm)	15	19	22	24
Recipiente (Número)	14	13	17	19
Peso Recipiente (TARA) (PT)	13.67	14.01	13.91	14.88
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P1)	26.1	34.89	27.94	29.97
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)	21.34	26.66	22.3	23.78
Contenido de Humedad (%)	62.06	65.06	67.22	69.55
Contenido de Humedad (%) - lectura gráfica	65.8			



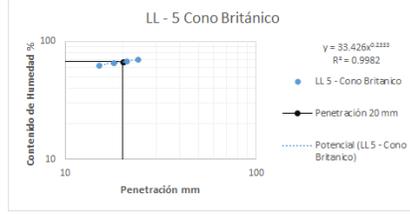
Tipo de Cono :	BRITÁNICO	Muestra :	Caolin amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%	
CONO DE PENETRACIÓN LÍMITE LÍQUIDO 3				
Método: Penetrómetro de cono de caída	HUMEDAD			
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4
Penetración (mm)	15	18	21	24
Recipiente (Número)	3	1	6	8
Peso Recipiente (TARA) (PT)	12.87	13.95	13.88	13.69
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P1)	29.21	26.31	28.35	28.95
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)	22.98	21.48	22.55	22.71
Contenido de Humedad (%)	61.62	64.14	68.90	69.18
Contenido de Humedad (%) - lectura gráfica	66			



Tipo de Cono :	BRITÁNICO	Muestra :	Caolin amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%	
CONO DE PENETRACIÓN LÍMITE LÍQUIDO 4				
Método: Penetrómetro de cono de caída	HUMEDAD			
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4
Penetración (mm)	16	19	22	25
Recipiente (Número)	9	1	6	8
Peso Recipiente (TARA) (PT)	13.76	13.93	13.84	13.65
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P1)	30.45	32.67	35.07	34.72
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)	24.04	25.27	26.51	26.05
Contenido de Humedad (%)	62.35	65.26	67.56	69.92
Contenido de Humedad (%) - lectura gráfica	66.3			



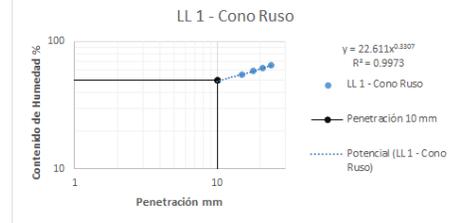
Tipo de Cono :	BRITÁNICO	Muestra :	Caolin amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%	
CONO DE PENETRACIÓN LÍMITE LÍQUIDO 5				
Método: Penetrómetro de cono de caída	HUMEDAD			
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4
Penetración (mm)	15	18	21	24
Recipiente (Número)	7	20	2	4
Peso Recipiente (TARA) (PT)	14.14	13.93	15.57	12.20
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P1)	36.52	38.45	36.82	37.05
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)	27.89	28.72	28.22	26.81
Contenido de Humedad (%)	62.76	65.79	67.98	70.09
Contenido de Humedad (%) - lectura gráfica	67.5			



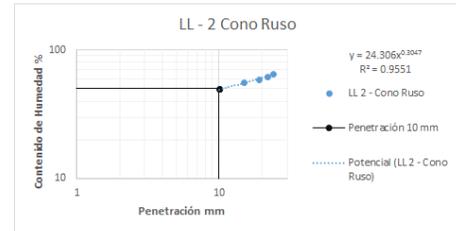
Fuente: Autores, 2017.

Anexo 2 Resultados de Laboratorio y lectura del % w - Ruso LL (Penetrómetro de Cono de Caída)

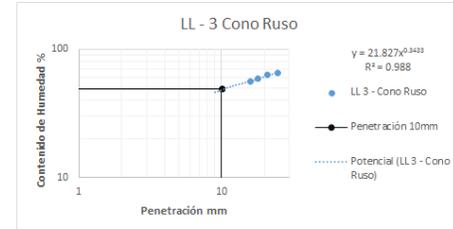
Tipo de Cono :	RUSO	Muestra :	Caolín amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%			
CONO DE PENETRACIÓN LÍMITE LÍQUIDO 1						
Método: Penetrómetro de cono de caída	HUMEDAD					
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4		
Penetración (mm)	15	18	21	24		
Recipiente (Número)	8	6	5	3		
Peso Recipiente (TARA) (PT)	13.67	13.84	14.13	13.71		
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P1)	30.10	31.69	32.26	30.48		
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)	24.24	25.08	25.35	23.88		
Contenido de Humedad (%)	55.44	58.81	61.59	64.90		
Contenido de Humedad (%) - lectura gráfica	49.75					



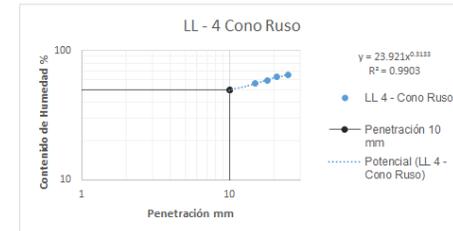
Tipo de Cono :	RUSO	Muestra :	Caolín amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%			
CONO DE PENETRACIÓN LÍMITE LÍQUIDO 2						
Método: Penetrómetro de cono de caída	HUMEDAD					
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4		
Penetración (mm)	15	19	22	24		
Recipiente (Número)	7	4	2	1		
Peso Recipiente (TARA) (PT)	13.86	13.77	13.97	13.90		
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P1)	31.61	32.78	33.19	32.58		
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)	25.24	25.75	25.84	25.23		
Contenido de Humedad (%)	55.98	58.68	61.92	64.87		
Contenido de Humedad (%) - lectura gráfica	50.2					



Tipo de Cono :	RUSO	Muestra :	Caolín amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%			
CONO DE PENETRACIÓN LÍMITE LÍQUIDO 3						
Método: Penetrómetro de cono de caída	HUMEDAD					
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4		
Penetración (mm)	16	18	21	25		
Recipiente (Número)	12	11	9	10		
Peso Recipiente (TARA) (PT)	12.16	14.02	13.65	13.57		
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P1)	30.50	31.26	30.84	31.79		
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)	23.90	24.86	24.22	24.58		
Contenido de Humedad (%)	56.22	59.04	62.63	65.49		
Contenido de Humedad (%) - lectura gráfica	49.2					



Tipo de Cono :	RUSO	Muestra :	Caolín amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%			
CONO DE PENETRACIÓN LÍMITE LÍQUIDO 4						
Método: Penetrómetro de cono de caída	HUMEDAD					
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4		
Penetración (mm)	15	18	21	25		
Recipiente (Número)	18	20	19	17		
Peso Recipiente (TARA) (PT)	13.22	13.10	14.01	13.17		
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P1)	31.68	34.05	35.63	34.81		
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)	25.06	26.29	27.30	26.26		
Contenido de Humedad (%)	55.91	58.83	62.68	65.32		
Contenido de Humedad (%) - lectura gráfica	50					



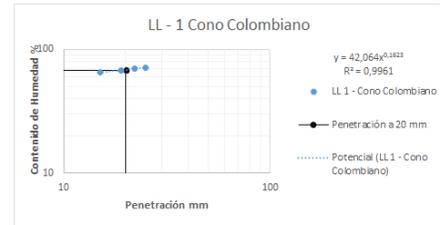
Tipo de Cono :	RUSO	Muestra :	Caolín amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%			
CONO DE PENETRACIÓN LÍMITE LÍQUIDO 5						
Método: Penetrómetro de cono de caída	HUMEDAD					
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4		
Penetración (mm)	16	19	21	24		
Recipiente (Número)	15	16	14	13		
Peso Recipiente (TARA) (PT)	12.83	13.57	14.00	13.60		
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P1)	30.49	31.92	30.74	35.23		
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)	24.09	25.12	24.31	26.63		
Contenido de Humedad (%)	56.84	58.87	62.37	66.00		
Contenido de Humedad (%) - lectura gráfica	50					



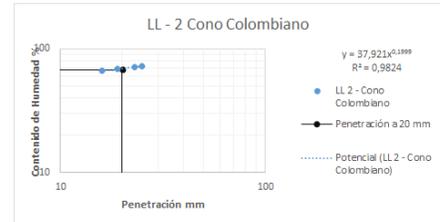
Fuente: Autores, 2017.

Anexo 3 Resultados de Laboratorio y lectura del % w – Colombiano LL (Penetrometro de Cono de Caída)

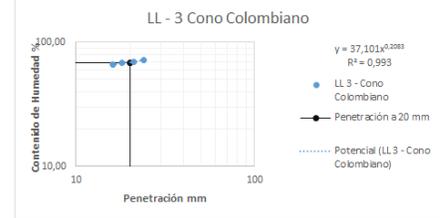
Tipo de Cono :	COLOMBIANO	Muestra :	Caolín amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%			
CONO DE PENETRACIÓN LÍMITE LÍQUIDO 1						
Norma : NTC - 4630	HUMEDAD					
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4		
Penetración (mm)	15	19	22	25		
Recipiente (Número)	12	20	4	16		
Peso Recipiente (TARA) (PT)	13,60	13,98	12,22	13,61		
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P1)	29,03	25,68	35,91	34,16		
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)	22,93	20,96	26,19	25,63		
Contenido de Humedad (%)	65,38	67,62	69,58	70,97		
Contenido de Humedad (%) - lectura gráfica	68					



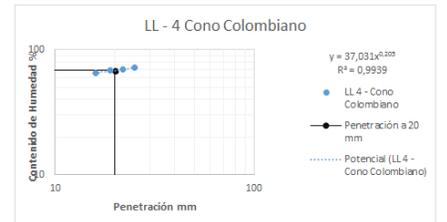
Tipo de Cono :	COLOMBIANO	Muestra :	Caolín amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%			
CONO DE PENETRACIÓN LÍMITE LÍQUIDO 2						
Norma : NTC - 4630	HUMEDAD					
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4		
Penetración (mm)	16	19	23	25		
Recipiente (Número)	14	3	19	13		
Peso Recipiente (TARA) (PT)	13,68	12,86	14,88	14,04		
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P1)	35,16	31,45	35,27	33,87		
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)	26,61	23,91	26,84	25,53		
Contenido de Humedad (%)	66,13	68,24	70,48	72,58		
Contenido de Humedad (%) - lectura gráfica	67,8					



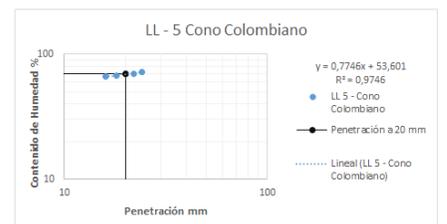
Tipo de Cono :	COLOMBIANO	Muestra :	Caolín amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%			
CONO DE PENETRACIÓN LÍMITE LÍQUIDO 3						
Norma : NTC - 4630	HUMEDAD					
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4		
Penetración (mm)	16	18	21	24		
Recipiente (Número)	5	15	2	11		
Peso Recipiente (TARA) (PT)	13,67	13,96	15,58	13,63		
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P1)	32,25	33,87	34,21	32,89		
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)	24,87	25,81	26,54	24,84		
Contenido de Humedad (%)	65,89	68,02	69,98	71,81		
Contenido de Humedad (%) - lectura gráfica	68,7					



Tipo de Cono :	COLOMBIANO	Muestra :	Caolín amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%			
CONO DE PENETRACIÓN LÍMITE LÍQUIDO 4						
Norma : NTC - 4630	HUMEDAD					
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4		
Penetración (mm)	16	19	22	25		
Recipiente (Número)	17	7	9	1		
Peso Recipiente (TARA) (PT)	13,90	14,18	13,77	13,95		
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P1)	30,43	31,80	32,25	30,47		
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)	23,90	24,67	24,67	23,57		
Contenido de Humedad (%)	65,30	67,97	69,54	71,73		
Contenido de Humedad (%) - lectura gráfica	67,9					



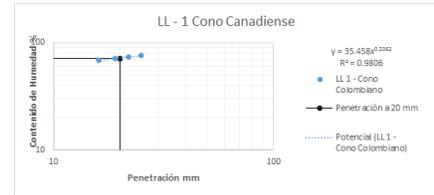
Tipo de Cono :	COLOMBIANO	Muestra :	Caolín amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%			
CONO DE PENETRACIÓN LÍMITE LÍQUIDO 5						
Norma : NTC - 4630	HUMEDAD					
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4		
Penetración (mm)	16	18	22	24		
Recipiente (Número)	18	10	6	8		
Peso Recipiente (TARA) (PT)	13,64	14,07	13,86	13,67		
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P1)	33,05	34,45	33,21	35,62		
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)	25,34	26,21	25,24	26,39		
Contenido de Humedad (%)	65,90	67,87	70,04	72,56		
Contenido de Humedad (%) - lectura gráfica	70					



Fuente: Autores, 2017.

Anexo 4 Resultados de Laboratorio y lectura del % w – Canadiense LL (Penetrometro de Cono de Caída)

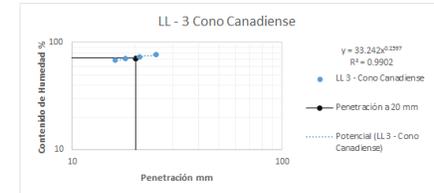
Tipo de Cono :	CANADIENSE	Muestra :	Caolín amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%			
CONO DE PENETRACIÓN LIMITE LIQUIDO 1						
Método: Penetrómetro de cono de caída	HUMEDAD					
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4		
Penetración (mm)	16	19	22	25		
Recipiente	18	3	16	11		
Peso Recipiente (TARA) (PT)	12.96	12.96	13.6	14.02		
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P1)	34.85	36.17	34.05	33.61		
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)	25.91	26.5	25.42	25.13		
Contenido de Humedad (%)	68.51	70.89	73.01	76.33		
Contenido de Humedad (%) - lectura grafica	71.5					



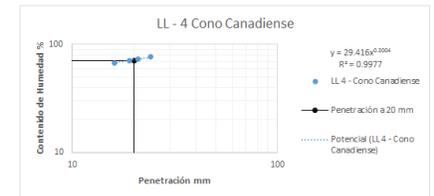
Tipo de Cono :	CANADIENSE	Muestra :	Caolín amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%			
CONO DE PENETRACIÓN LIMITE LIQUIDO 2						
Método: Penetrómetro de cono de caída	HUMEDAD					
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4		
Penetración (mm)	15	18	21	24		
Recipiente (Número)	4	3	9	14		
Peso Recipiente (TARA) (PT)	13.74	13.68	13.69	14.05		
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P1)	32.45	33.64	32.17	31.3		
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)	24.85	25.38	24.33	23.8		
Contenido de Humedad (%)	68.41	70.60	73.68	76.92		
Contenido de Humedad (%) - lectura grafica	72.3					



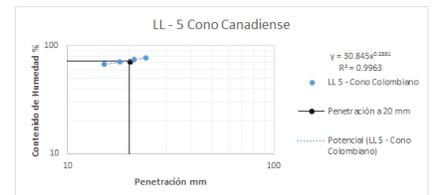
Tipo de Cono :	CANADIENSE	Muestra :	Caolín amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%			
CONO DE PENETRACIÓN LIMITE LIQUIDO 3						
Método: Penetrómetro de cono de caída	HUMEDAD					
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4		
Penetración (mm)	16	18	21	25		
Recipiente (Número)	4	6	5	13		
Peso Recipiente (TARA) (PT)	13.71	13.84	14.12	13.6		
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P1)	33.68	34.01	33.87	38.16		
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)	25.6	25.65	25.5	27.52		
Contenido de Humedad (%)	67.96	70.79	73.55	76.44		
Contenido de Humedad (%) - lectura grafica	71.5					



Tipo de Cono :	CANADIENSE	Muestra :	Caolín amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%			
CONO DE PENETRACIÓN LIMITE LIQUIDO 4						
Método: Penetrómetro de cono de caída	HUMEDAD					
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4		
Penetración (mm)	16	19	21	24		
Recipiente (Número)	1	2	10	17		
Peso Recipiente (TARA) (PT)	13.89	13.96	14.07	13.9		
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P1)	30.45	32.17	30.48	30.95		
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)	23.76	24.61	23.53	23.56		
Contenido de Humedad (%)	67.78	70.99	73.47	76.50		
Contenido de Humedad (%) - lectura grafica	71.3					



Tipo de Cono :	CANADIENSE	Muestra :	Caolín amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%			
CONO DE PENETRACIÓN LIMITE LIQUIDO 5						
Método: Penetrómetro de cono de caída	HUMEDAD					
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4		
Penetración (mm)	15	18	21	24		
Recipiente (Número)	20	12	15	8		
Peso Recipiente (TARA) (PT)	13.95	13.62	12.83	13.67		
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P1)	31.63	32.24	35.06	32.18		
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)	24.53	24.49	25.6	24.13		
Contenido de Humedad (%)	67.11	71.30	74.08	76.96		
Contenido de Humedad (%) - lectura grafica	71.8					

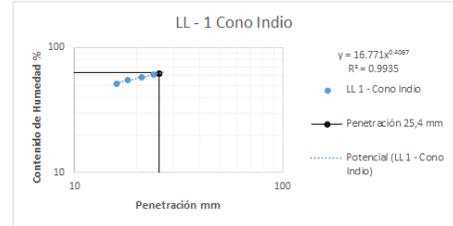


78.00

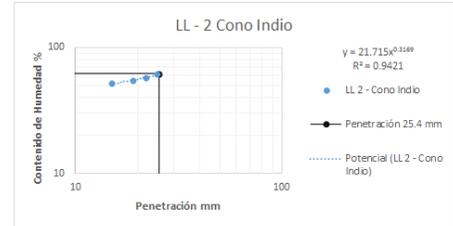
Fuente: Autores, 2017.

Anexo 5 Resultados de Laboratorio y lectura del % w – Indio LL (Penetrometro de Cono de Caída)

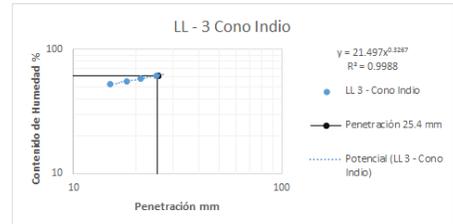
Tipo de Cono :	INDIO	Muestra :	Caolín amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%			
CONO DE PENETRACIÓN LIMITE LIQUIDO 1						
Método: Penetrómetro de cono de caída		HUMEDAD				
		PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4	
Penetración (mm)		16	18	21	24	
Recipiente (Número)		13	15	2	1	
Peso Recipiente (TARA) (PT)		14.04	12.83	15.57	13.94	
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P1)		34.25	32.16	31.47	33.25	
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)		27.38	25.32	25.64	25.94	
Contenido de Humedad (%)		51.50	54.76	57.89	60.92	
Contenido de Humedad (%) - lectura gráfica		63				



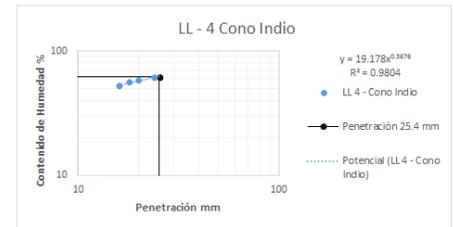
Tipo de Cono :	INDIO	Muestra :	Caolín amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%			
CONO DE PENETRACIÓN LIMITE LIQUIDO 2						
Método: Penetrómetro de cono de caída		HUMEDAD				
		PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4	
Penetración (mm)		15	19	22	25	
Recipiente (Número)		3	6	7	8	
Peso Recipiente (TARA) (PT)		12.86	13.87	14.16	13.67	
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P1)		30.8	30.63	31.45	30.83	
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)		24.67	24.75	25.14	24.32	
Contenido de Humedad (%)		51.91	54.04	57.47	61.13	
Contenido de Humedad (%) - lectura gráfica		61.87				



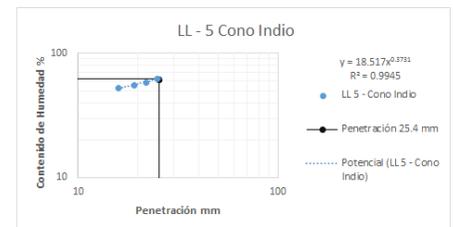
Tipo de Cono :	INDIO	Muestra :	Caolín amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%			
CONO DE PENETRACIÓN LIMITE LIQUIDO 3						
Método: Penetrómetro de cono de caída		HUMEDAD				
		PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4	
Penetración (mm)		15	18	21	25	
Recipiente (Número)		9	10	11	12	
Peso Recipiente (TARA) (PT)		13.66	15.57	14	12.21	
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P1)		33.27	34.65	35.84	33.21	
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)		26.55	27.86	27.83	25.2	
Contenido de Humedad (%)		52.13	55.25	57.92	61.66	
Contenido de Humedad (%) - lectura gráfica		61.5				



Tipo de Cono :	INDIO	Muestra :	Caolín amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%			
CONO DE PENETRACIÓN LIMITE LIQUIDO 4						
Método: Penetrómetro de cono de caída		HUMEDAD				
		PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4	
Penetración (mm)		16	18	20	24	
Recipiente (Número)		4	5	16	18	
Peso Recipiente (TARA) (PT)		13.9	13.67	13.95	13.67	
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P1)		30.74	33.95	31.87	30.7	
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)		24.93	26.68	25.28	24.23	
Contenido de Humedad (%)		52.67	55.88	58.16	61.27	
Contenido de Humedad (%) - lectura gráfica		61.9				



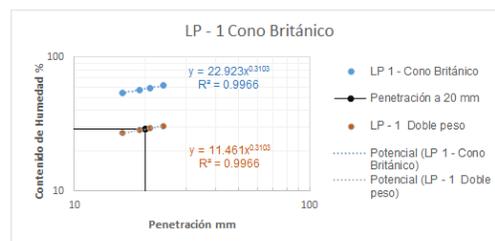
Tipo de Cono :	INDIO	Muestra :	Caolín amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%			
CONO DE PENETRACIÓN LIMITE LIQUIDO 5						
Método: Penetrómetro de cono de caída		HUMEDAD				
		PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4	
Penetración (mm)		16	19	22	25	
Recipiente (Número)		17	19	20	14	
Peso Recipiente (TARA) (PT)		13.9	14.01	13.95	13.68	
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P1)		32.67	33.17	34.54	30.45	
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)		26.23	26.33	26.96	24.04	
Contenido de Humedad (%)		52.230333	55.519481	58.262875	61.872587	
Contenido de Humedad (%) - lectura gráfica		62				



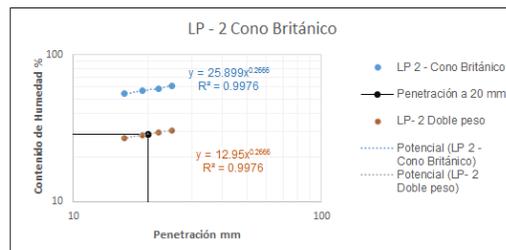
Fuente: Autores, 2017.

6 Resultados de Laboratorio y lectura del % w - Británico LP (Método: Double Fall Cone)

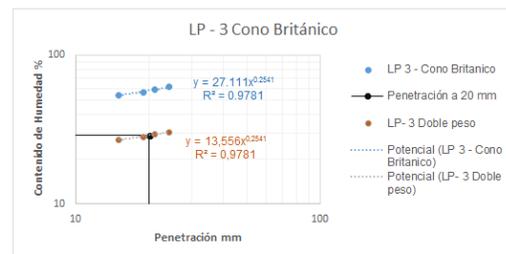
CONO BRITÁNICO				
Tipo de Cono :	BRITÁNICO	Muestra :	Caolin amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%	
CONO DE PENETRACIÓN LÍMITE PLÁSTICO 1				
Metodo: Double Fall Cone	HUMEDAD			
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4
Penetración (mm)	16	19	21	24
Recipiente (Número)	17	14	19	4
Peso Recipiente (TARA) (PT)	13,77	14	14,01	13,77
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P1)	29,15	30,02	31,45	30,64
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)	23,74	24,21	24,97	24,22
Contenido de Humedad (%)	54,26	56,90	59,12	61,44
Contenido de Humedad (%) (Doble peso)	27,13	28,45	29,56	30,72
Contenido de Humedad (%) - lectura gráfica	29,3			



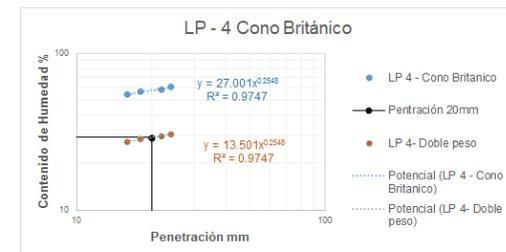
CONO BRITÁNICO				
Tipo de Cono :	BRITÁNICO	Muestra :	Caolin amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%	
CONO DE PENETRACIÓN LÍMITE PLÁSTICO 2				
Metodo: Double Fall Cone	HUMEDAD			
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4
Penetración (mm)	16	19	22	25
Recipiente (Número)	16	9	13	5
Peso Recipiente (TARA) (PT)	13,57	13,65	14,01	14,13
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P1)	30,41	30,85	31,35	31,06
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)	24,48	24,63	24,92	24,63
Contenido de Humedad (%)	54,35	56,65	58,94	61,24
Contenido de Humedad (%) (Doble peso)	27,18	28,32	29,47	30,62
Contenido de Humedad (%) - lectura gráfica	28,8			



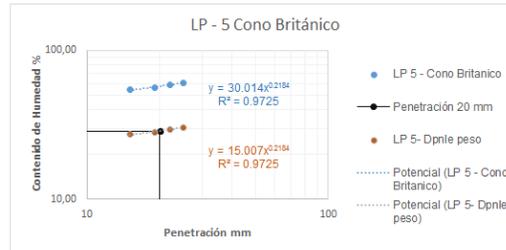
CONO BRITÁNICO				
Tipo de Cono :	BRITÁNICO	Muestra :	Caolin amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%	
CONO DE PENETRACIÓN LÍMITE PLÁSTICO 3				
Metodo: Double Fall Cone	HUMEDAD			
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4
Penetración (mm)	15	19	21	24
Recipiente (Número)	6	8	2	22
Peso Recipiente (TARA) (PT)	13,84	13,67	13,97	13,51
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P1)	34,63	33,77	32,79	31,6
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)	27,32	26,5	25,82	24,74
Contenido de Humedad (%)	54,23	56,66	58,82	61,09
Contenido de Humedad (%) (Doble peso)	27,11	28,33	29,41	30,54
Contenido de Humedad (%) - lectura gráfica	28,9			



CONO BRITÁNICO				
Tipo de Cono :	BRITÁNICO	Muestra :	Caolin amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%	
CONO DE PENETRACIÓN LÍMITE PLÁSTICO 4				
Metodo: Double Fall Cone	HUMEDAD			
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4
Penetración (mm)	16	18	22	24
Recipiente (Número)	20	10	3	1
Peso Recipiente (TARA) (PT)	14,01	13,57	13,71	13,9
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P1)	30,65	31,72	31,36	32,81
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)	24,78	25,14	24,82	25,65
Contenido de Humedad (%)	54,50	56,87	58,87	60,94
Contenido de Humedad (%) (Doble peso)	27,25	28,44	29,43	30,47
Contenido de Humedad (%) - lectura gráfica	29			



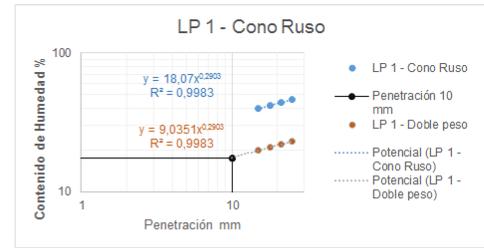
CONO BRITÁNICO				
Tipo de Cono :	BRITÁNICO	Muestra :	Caolin amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%	
CONO DE PENETRACIÓN LÍMITE PLÁSTICO 5				
Metodo: Double Fall Cone	HUMEDAD			
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4
Penetración (mm)	15	19	22	25
Recipiente (Número)	24	11	12	7
Peso Recipiente (TARA) (PT)	13,84	14,02	12,16	13,86
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P1)	33,7	33,16	34,25	30,67
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)	26,69	26,25	26,07	24,3
Contenido de Humedad (%)	54,55	56,50	58,81	61,02
Contenido de Humedad (%) (Doble peso)	27,28	28,25	29,40	30,51
Contenido de Humedad (%) - lectura gráfica	28,8			



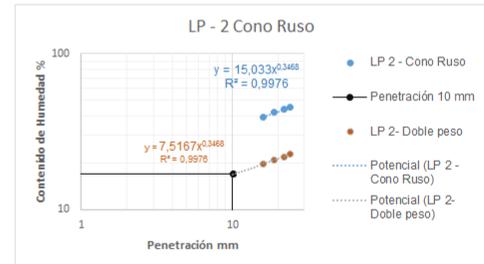
Fuente: Autores, 2017.

Anexo 7 Resultados de Laboratorio y lectura del % w - Ruso LP (Método: Double Fall Cone)

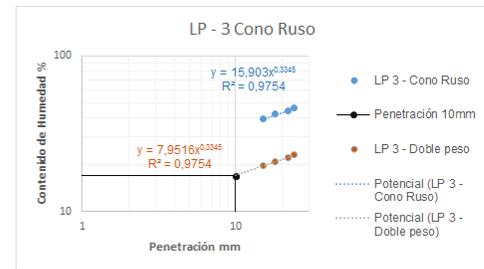
Tipo de Cono :	RUSO	Muestra :	Caolín amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%			
CONO DE PENETRACIÓN LÍMITE PLÁSTICO 1						
Método: Double Fall Cone		HUMEDAD				
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4		
Penetración (mm)	15	18	21	25		
Recipiente (Número)	4	21	26	25		
Peso Recipiente (TARA) (PT)	12,22	14,08	13,80	13,64		
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P1)	29,18	29,57	30,12	30,21		
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)	24,37	24,99	25,16	24,99		
Contenido de Humedad (%)	39,59	41,98	43,66	45,99		
Contenido de Humedad (%) (Doble peso)	19,79	20,99	21,83	23,00		
Contenido de Humedad (%) - lectura gráfica	17,5					



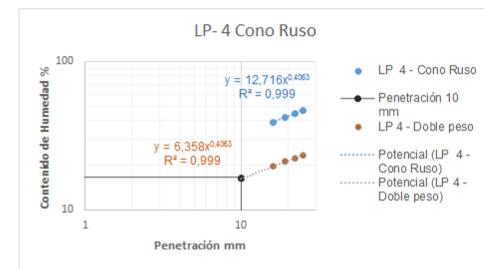
Tipo de Cono :	RUSO	Muestra :	Caolín amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%			
CONO DE PENETRACIÓN LÍMITE PLÁSTICO 2						
Método: Double Fall Cone		HUMEDAD				
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4		
Penetración (mm)	16	19	22	24		
Recipiente (Número)	16	28	22	35		
Peso Recipiente (TARA) (PT)	13,83	13,94	13,51	11,36		
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P1)	31,43	34,12	33,50	30,17		
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)	26,47	28,16	27,41	24,31		
Contenido de Humedad (%)	39,24	41,91	43,81	45,25		
Contenido de Humedad (%) (Doble peso)	19,62	20,96	21,91	22,63		
Contenido de Humedad (%) - lectura gráfica	17					



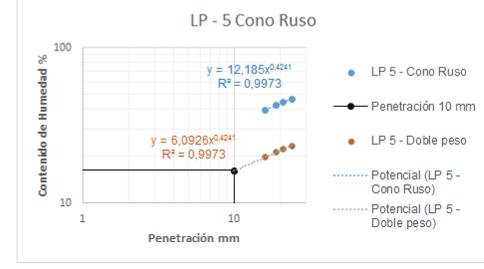
Tipo de Cono :	RUSO	Muestra :	Caolín amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%			
CONO DE PENETRACIÓN PLÁSTICO 3						
Método: Double Fall Cone		HUMEDAD				
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4		
Penetración (mm)	15	18	22	24		
Recipiente (Número)	32	23	27	18		
Peso Recipiente (TARA) (PT)	13,48	13,64	13,87	13,64		
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P1)	30,45	33,84	32,25	32,63		
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)	25,66	27,86	26,63	26,60		
Contenido de Humedad (%)	39,33	42,05	44,04	46,53		
Contenido de Humedad (%) (Doble peso)	19,66	21,03	22,02	23,26		
Contenido de Humedad (%) - lectura gráfica	16,98					



Tipo de Cono :	RUSO	Muestra :	Caolín amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%			
CONO DE PENETRACIÓN LÍMITE PLÁSTICO 4						
Método: Double Fall Cone		HUMEDAD				
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4		
Penetración (mm)	16	19	22	25		
Recipiente (Número)	19	34	24	29		
Peso Recipiente (TARA) (PT)	14,88	12,23	13,84	13,72		
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P1)	31,48	30,66	31,43	30,40		
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)	26,81	25,19	26,00	25,07		
Contenido de Humedad (%)	39,15	42,21	44,65	46,96		
Contenido de Humedad (%) (Doble peso)	19,57	21,10	22,33	23,48		
Contenido de Humedad (%) - lectura gráfica	16,5					



Tipo de Cono :	RUSO	Muestra :	Caolín amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%			
CONO DE PENETRACIÓN LÍMITE PLÁSTICO 5						
Método: Double Fall Cone		HUMEDAD				
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4		
Penetración (mm)	16	19	21	24		
Recipiente (Número)	17	31	33	30		
Peso Recipiente (TARA) (PT)	13,90	12,25	13,50	13,07		
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P1)	30,75	31,63	32,80	31,00		
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)	25,99	25,84	26,86	25,29		
Contenido de Humedad (%)	39,37	42,60	44,46	46,73		
Contenido de Humedad (%) (Doble peso)	19,69	21,30	22,23	23,36		
Contenido de Humedad (%) - lectura gráfica	16,3					



Fuente: Autores, 2017.

Anexo 8 Resultados de Laboratorio y lectura del % w - Colombiano LP (Método: Double Fall Cone)

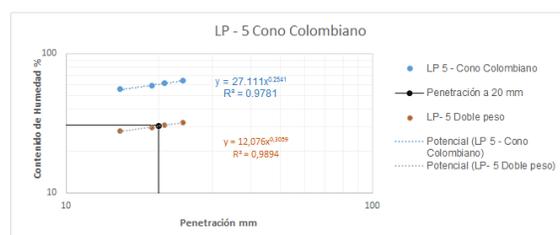
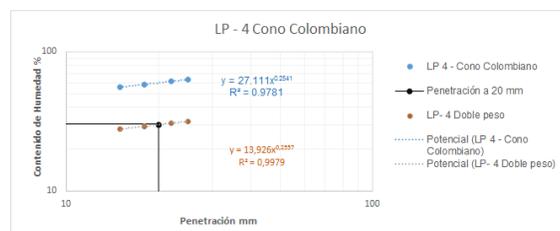
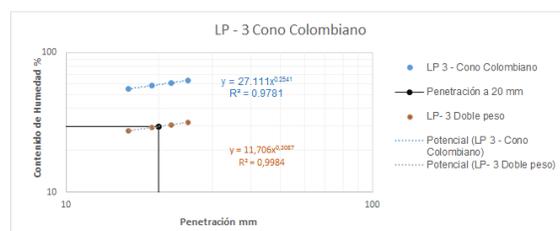
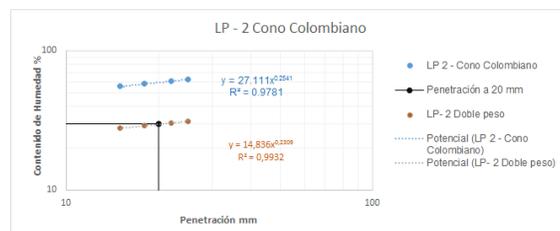
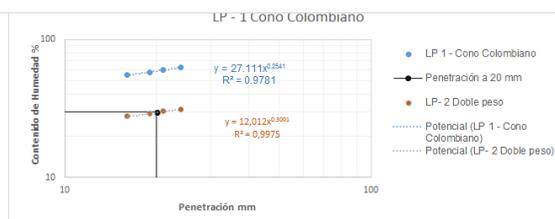
Tipo de Cono :	COLOMBIANO	Muestra :	Caolín amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%
CONO DE PENETRACIÓN LÍMITE PLÁSTICO 1			
Metodo: Double Fall Cone		HUMEDAD	
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3 PUNTO 4
Penetración (mm)	16	19	21 24
Recipiente (Número)	8	6	1 2
Peso Recipiente (TARA) (PT)	13,67	13,86	13,95 15,58
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P1)	35,14	34,27	32,81 33,40
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)	27,50	26,78	25,73 26,56
Contenido de Humedad (%)	55,24	57,97	60,10 62,30
Contenido de Humedad (%) (Doble peso)	27,62	28,99	30,05 31,15
Contenido de Humedad (%) - lectura gráfica	29,8		

Tipo de Cono :	COLOMBIANO	Muestra :	Caolín amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%
CONO DE PENETRACIÓN LÍMITE PLÁSTICO 2			
Metodo: Double Fall Cone		HUMEDAD	
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3 PUNTO 4
Penetración (mm)	15	18	22 25
Recipiente (Número)	15	5	13 3
Peso Recipiente (TARA) (PT)	13,96	13,67	14,04 12,86
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P1)	30,17	31,05	30,67 30,81
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)	24,39	24,67	24,42 23,90
Contenido de Humedad (%)	55,42	58,00	60,21 62,59
Contenido de Humedad (%) (Doble peso)	27,71	29,00	30,11 31,30
Contenido de Humedad (%) - lectura gráfica	30		

Tipo de Cono :	COLOMBIANO	Muestra :	Caolín amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%
CONO DE PENETRACIÓN LÍMITE PLÁSTICO 3			
Metodo: Double Fall Cone		HUMEDAD	
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3 PUNTO 4
Penetración (mm)	16	19	22 25
Recipiente (Número)	12	14	20 11
Peso Recipiente (TARA) (PT)	14,80	13,68	13,95 13,63
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P1)	31,27	31,05	30,92 30,48
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)	25,42	24,67	24,49 23,96
Contenido de Humedad (%)	55,08	58,05	61,01 63,12
Contenido de Humedad (%) (Doble peso)	27,54	29,03	30,50 31,56
Contenido de Humedad (%) - lectura gráfica	29,5		

Tipo de Cono :	COLOMBIANO	Muestra :	Caolín amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%
CONO DE PENETRACIÓN LÍMITE PLÁSTICO 4			
Metodo: Double Fall Cone		HUMEDAD	
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3 PUNTO 4
Penetración (mm)	15	18	22 25
Recipiente (Número)	12	17	7 9
Peso Recipiente (TARA) (PT)	13,60	13,90	14,18 13,77
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P1)	32,17	32,40	31,70 30,67
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)	25,53	25,59	25,02 24,12
Contenido de Humedad (%)	55,66	58,25	61,62 63,29
Contenido de Humedad (%) (Doble peso)	27,83	29,13	30,81 31,64
Contenido de Humedad (%) - lectura gráfica	30,25		

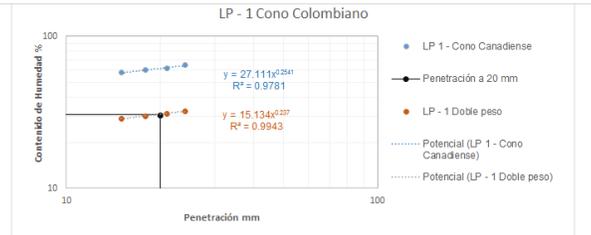
Tipo de Cono :	COLOMBIANO	Muestra :	Caolín amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%
CONO DE PENETRACIÓN LÍMITE PLÁSTICO 5			
Metodo: Double Fall Cone		HUMEDAD	
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3 PUNTO 4
Penetración (mm)	15	19	21 24
Recipiente (Número)	4	18	10 22
Peso Recipiente (TARA) (PT)	12,22	13,64	14,07 13,51
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P1)	30,10	31,07	30,58 31,15
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)	23,72	24,61	24,29 24,27
Contenido de Humedad (%)	55,48	58,89	61,55 63,94
Contenido de Humedad (%) (Doble peso)	27,74	29,44	30,77 31,97
Contenido de Humedad (%) - lectura gráfica	30,5		



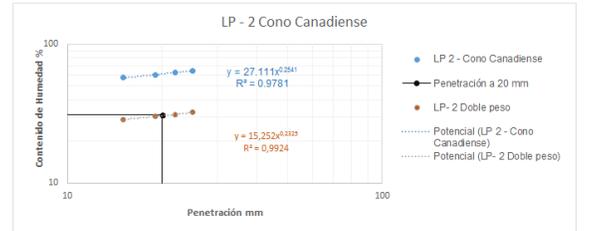
Fuente: Autores, 2017.

Anexo 9 Resultados de Laboratorio y lectura del % w – Canadiense LP (Método: Double Fall Cone)

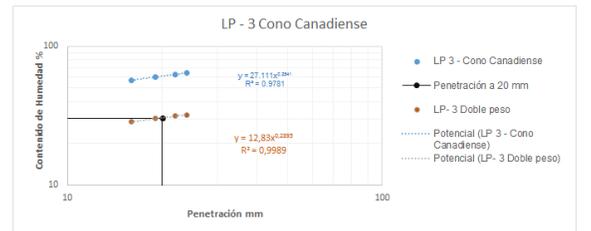
Tipo de Cono :	CANADIENSE	Muestra :	Caolín amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%
CONO DE PENETRACIÓN LÍMITE PLÁSTICO 1			
Metodo: Double Fall Cone		HUMEDAD	
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3
Penetración (mm)	15	18	21
Recipiente (Número)	19	14	20
Peso Recipiente (TARA) (PT)	14,88	13,68	13,95
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P1)	30,17	31,42	32,5
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)	24,58	24,77	25,4
Contenido de Humedad (%)	57,63	59,96	62,01
Contenido de Humedad (%) (Doble peso)	28,81	29,98	31,00
Contenido de Humedad (%) - lectura gráfica	30,5		



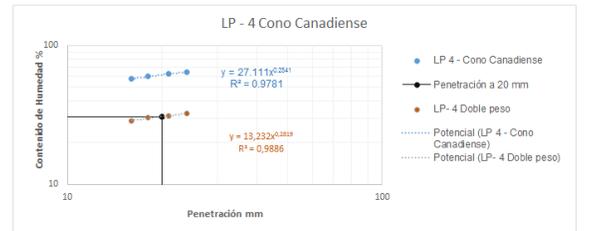
Tipo de Cono :	CANADIENSE	Muestra :	Caolín amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%
CONO DE PENETRACIÓN LÍMITE PLÁSTICO 2			
Metodo: Double Fall Cone		HUMEDAD	
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3
Penetración (mm)	15	19	22
Recipiente (Número)	2	15	5
Peso Recipiente (TARA) (PT)	15,58	13,83	13,67
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P1)	33,67	30,16	33,41
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)	27,07	24,03	25,81
Contenido de Humedad (%)	57,44	60,10	62,60
Contenido de Humedad (%) (Doble peso)	28,72	30,05	31,30
Contenido de Humedad (%) - lectura gráfica	31		



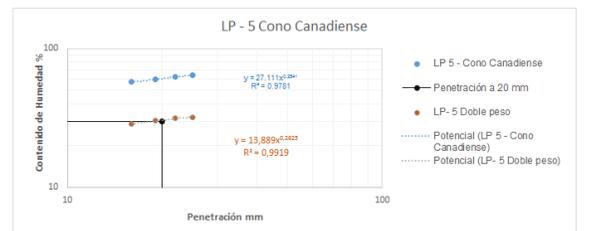
Tipo de Cono :	CANADIENSE	Muestra :	Caolín amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%
CONO DE PENETRACIÓN LÍMITE PLÁSTICO 3			
Metodo: Double Fall Cone		HUMEDAD	
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3
Penetración (mm)	16	19	22
Recipiente (Número)	12	16	17
Peso Recipiente (TARA) (PT)	13,6	13,83	13,9
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P1)	35,4	30,16	31,84
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)	27,46	24,03	24,91
Contenido de Humedad (%)	57,29	60,10	62,94
Contenido de Humedad (%) (Doble peso)	28,64	30,05	31,47
Contenido de Humedad (%) - lectura gráfica	30,3		



Tipo de Cono :	CANADIENSE	Muestra :	Caolín amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%
CONO DE PENETRACIÓN LÍMITE PLÁSTICO 4			
Metodo: Double Fall Cone		HUMEDAD	
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3
Penetración (mm)	16	18	21
Recipiente (Número)	7	9	4
Peso Recipiente (TARA) (PT)	14,19	13,77	12,22
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P1)	30,2	30,51	30,05
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)	24,35	24,22	23,19
Contenido de Humedad (%)	57,52	60,19	62,53
Contenido de Humedad (%) (Doble peso)	28,76	30,10	31,27
Contenido de Humedad (%) - lectura gráfica	30,75		



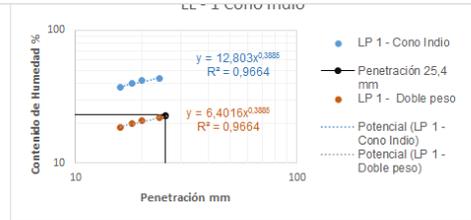
Tipo de Cono :	CANADIENSE	Muestra :	Caolín amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%
CONO DE PENETRACIÓN LÍMITE PLÁSTICO 5			
Metodo: Double Fall Cone		HUMEDAD	
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3
Penetración (mm)	16	19	22
Recipiente (Número)	8	6	10
Peso Recipiente (TARA) (PT)	13,67	13,86	14,07
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P1)	31,42	32,5	33,68
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)	24,95	25,49	26,11
Contenido de Humedad (%)	57,36	60,28	62,87
Contenido de Humedad (%) (Doble peso)	28,68	30,14	31,44
Contenido de Humedad (%) - lectura gráfica	29,9		



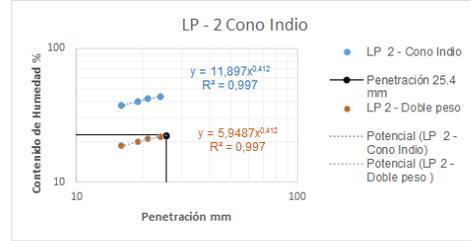
Fuente: Autores, 2017.

Anexo 10 Resultados de Laboratorio y lectura del % w – Indio LP (Método: Double Fall Cone)

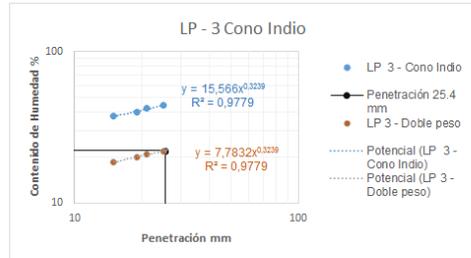
Tipo de Cono :	INDIO	Muestra :	Caolin amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%		
CONO DE PENETRACIÓN LÍMITE PLÁSTICO 1					
Metodo: Double Fall Cone		HUMEDAD			
		PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4
Penetración (mm)	16	18	20	24	
Recipiente (Número)	24	23	22	21	
Peso Recipiente (TARA) (PT)	13,84	13,64	13,51	14,06	
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P1)	30,1	31,43	32,25	33,17	
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)	25,69	26,39	26,74	27,37	
Contenido de Humedad (%)	37,22	39,53	41,65	43,58	
Contenido de Humedad (%) (Doble peso)	18,61	19,76	20,82	21,79	
Contenido de Humedad (%) - lectura gráfica	23				



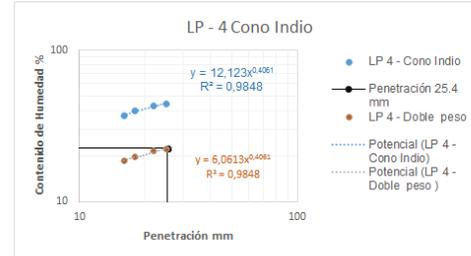
Tipo de Cono :	INDIO	Muestra :	Caolin amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%		
CONO DE PENETRACIÓN LÍMITE PLÁSTICO 2					
Metodo: Double Fall Cone		HUMEDAD			
		PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4
Penetración (mm)	16	19	21	24	
Recipiente (Número)	14	33	32	35	
Peso Recipiente (TARA) (PT)	13,68	13,5	13,48	11,36	
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P1)	30,48	30,17	30,84	31,77	
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)	25,92	25,41	25,71	25,54	
Contenido de Humedad (%)	37,25	39,97	41,95	43,94	
Contenido de Humedad (%) (Doble peso)	18,63	19,98	20,97	21,97	
Contenido de Humedad (%) - lectura gráfica	22,5				



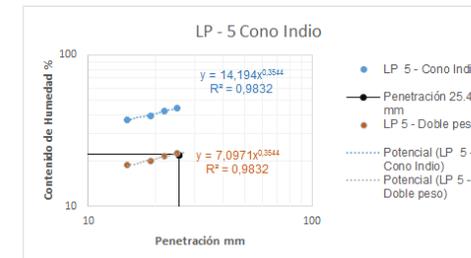
Tipo de Cono :	INDIO	Muestra :	Caolin amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%		
CONO DE PENETRACIÓN LÍMITE PLÁSTICO 3					
Metodo: Double Fall Cone		HUMEDAD			
		PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4
Penetración (mm)	15	19	21	25	
Recipiente (Número)	17	19	18	16	
Peso Recipiente (TARA) (PT)	13,9	14,88	13,64	13,83	
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P1)	31,47	32,85	32,31	32,19	
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)	26,68	27,72	26,76	26,68	
Contenido de Humedad (%)	37,48	39,95	42,30	44,00	
Contenido de Humedad (%) (Doble peso)	18,74	19,98	21,15	22,00	
Contenido de Humedad (%) - lectura gráfica	22,2				



Tipo de Cono :	INDIO	Muestra :	Caolin amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%		
CONO DE PENETRACIÓN LÍMITE PLÁSTICO 4					
Metodo: Double Fall Cone		HUMEDAD			
		PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4
Penetración (mm)	16	18	22	25	
Recipiente (Número)	28	26	27	25	
Peso Recipiente (TARA) (PT)	13,94	13,8	13,87	13,64	
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P1)	30,4	35,16	34,81	32,47	
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)	25,95	29,11	28,52	26,68	
Contenido de Humedad (%)	37,05	39,52	42,94	44,40	
Contenido de Humedad (%) (Doble peso)	18,53	19,76	21,47	22,20	
Contenido de Humedad (%) - lectura gráfica	22,45				



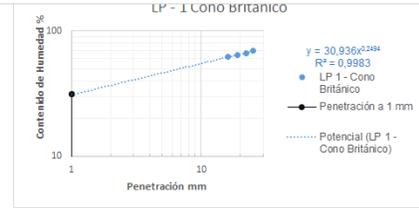
Tipo de Cono :	INDIO	Muestra :	Caolin amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%		
CONO DE PENETRACIÓN LÍMITE PLÁSTICO 5					
Metodo: Double Fall Cone		HUMEDAD			
		PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4
Penetración (mm)	15	19	22	25	
Recipiente (Número)	29	30	31	34	
Peso Recipiente (TARA) (PT)	13,72	13,07	12,21	12,23	
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P1)	30,57	30,63	30,95	30,16	
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)	25,99	25,64	25,35	24,63	
Contenido de Humedad (%)	37,33	39,70	42,62	44,60	
Contenido de Humedad (%) (Doble peso)	18,66	19,85	21,31	22,30	
Contenido de Humedad (%) - lectura gráfica	21,98				



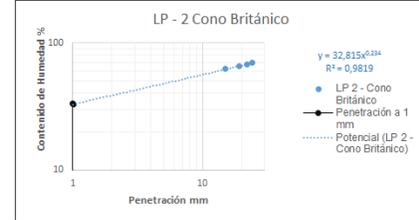
Fuente: Autores, 2017.

Anexo 11 Resultados de Laboratorio y lectura del % w – Británico LP (Método: Feng 2000)

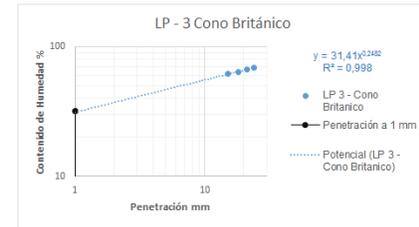
Tipo de Cono :	BRITÁNICO	Muestra :	Caolín amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%			
CONO DE PENETRACIÓN LÍMITE PLÁSTICO 1						
Método: Feng 2000		HUMEDAD				
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4		
Penetración (mm)	16	19	22	25		
Recipiente (Número)	9	10	11	12		
Peso Recipiente (TARA) (PT)	13,77	14,07	13,63	13,59		
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P1)	28,02	29,97	28,8	30,79		
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)	22,58	23,73	22,73	23,76		
Contenido de Humedad (%)	61,75	64,60	66,70	69,12		
Contenido de Humedad (%) - lectura gráfica (Feng)	31,5					



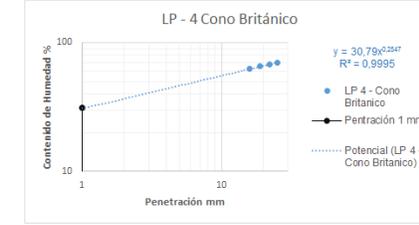
Tipo de Cono :	BRITÁNICO	Muestra :	Caolín amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%			
CONO DE PENETRACIÓN LÍMITE PLÁSTICO 2						
Método: Feng 2000		HUMEDAD				
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4		
Penetración (mm)	15	19	22	24		
Recipiente (Número)	14	13	17	19		
Peso Recipiente (TARA) (PT)	13,67	14,01	13,91	14,88		
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P1)	26,1	34,89	27,94	29,97		
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)	21,34	26,66	22,3	23,78		
Contenido de Humedad (%)	62,06	65,06	67,22	69,55		
Contenido de Humedad (%) - lectura gráfica (Feng)	33,3					



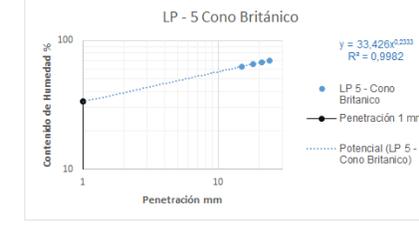
Tipo de Cono :	BRITÁNICO	Muestra :	Caolín amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%			
CONO DE PENETRACIÓN LÍMITE PLÁSTICO 3						
Método: Feng 2000		HUMEDAD				
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4		
Penetración (mm)	15	18	21	24		
Recipiente (Número)	3	1	6	8		
Peso Recipiente (TARA) (PT)	12,87	13,95	13,88	13,69		
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P1)	29,21	26,31	28,35	28,95		
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)	22,98	21,48	22,55	22,71		
Contenido de Humedad (%)	61,62	64,14	66,90	69,18		
Contenido de Humedad (%) - lectura gráfica (Feng)	32					



Tipo de Cono :	BRITÁNICO	Muestra :	Caolín amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%			
CONO DE PENETRACIÓN LÍMITE PLÁSTICO 4						
Método: Feng 2000		HUMEDAD				
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4		
Penetración (mm)	16	19	22	25		
Recipiente (Número)	9	1	6	8		
Peso Recipiente (TARA) (PT)	13,76	13,93	13,84	13,65		
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P1)	30,45	32,67	35,07	34,72		
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)	24,04	25,27	26,51	26,05		
Contenido de Humedad (%)	62,35	65,26	67,56	69,92		
Contenido de Humedad (%) - lectura gráfica (Feng)	31,5					



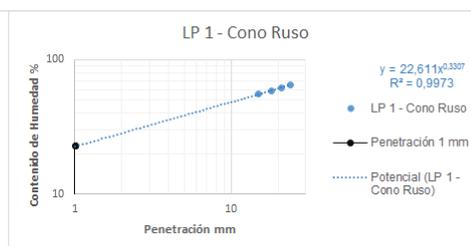
Tipo de Cono :	BRITÁNICO	Muestra :	Caolín amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%			
CONO DE PENETRACIÓN LÍMITE LÍQUIDO 5						
Método: Feng 2000		HUMEDAD				
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4		
Penetración (mm)	15	18	21	24		
Recipiente (Número)	7	20	2	4		
Peso Recipiente (TARA) (PT)	14,14	13,93	15,57	12,20		
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P1)	36,52	38,45	36,82	37,05		
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)	27,89	28,72	28,22	26,81		
Contenido de Humedad (%)	62,76	65,79	67,98	70,09		
Contenido de Humedad (%) - lectura gráfica (Feng)	34					



Fuente: Autores, 2017.

Anexo 12 Resultados de Laboratorio y lectura del % w – Ruso LP (Método: Feng 2000)

Tipo de Cono :	RUSO	Muestra :	Caolín amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%		
CONO DE PENETRACIÓN LÍMITE PLÁSTICO 1					
Metodo: Feng 2000		HUMEDAD			
		PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4
Penetración (mm)	15	18	21	24	
Recipiente (Número)	8	6	5	3	
Peso Recipiente (TARA) (PT)	13,67	13,84	14,13	13,71	
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P1)	30,10	31,69	32,26	30,48	
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)	24,24	25,08	25,35	23,88	
Contenido de Humedad (%)	55,44	58,81	61,59	64,90	
Contenido de Humedad (%) - lectura gráfica (Feng)	23				



Tipo de Cono :	RUSO	Muestra :	Caolín amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%		
CONO DE PENETRACIÓN LÍMITE PLÁSTICO 2					
Metodo: Feng 2000		HUMEDAD			
		PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4
Penetración (mm)	15	19	22	24	
Recipiente (Número)	7	4	2	1	
Peso Recipiente (TARA) (PT)	13,86	13,77	13,97	13,90	
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P1)	31,61	32,78	33,19	32,58	
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)	25,24	25,75	25,84	25,23	
Contenido de Humedad (%)	55,98	58,68	61,92	64,87	
Contenido de Humedad (%) - lectura gráfica (Feng)	25				



Tipo de Cono :	RUSO	Muestra :	Caolín amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%		
CONO DE PENETRACIÓN LÍMITE PLÁSTICO 3					
Metodo: Feng 2000		HUMEDAD			
		PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4
Penetración (mm)	16	18	21	25	
Recipiente (Número)	12	11	9	10	
Peso Recipiente (TARA) (PT)	12,16	14,02	13,65	13,57	
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P1)	30,50	31,26	30,84	31,79	
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)	23,90	24,86	24,22	24,58	
Contenido de Humedad (%)	56,22	59,04	62,63	65,49	
Contenido de Humedad (%) - lectura gráfica (Feng)	22				



Tipo de Cono :	RUSO	Muestra :	Caolín amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%		
CONO DE PENETRACIÓN LÍMITE PLÁSTICO 4					
Metodo: Feng 2000		HUMEDAD			
		PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4
Penetración (mm)	15	18	21	25	
Recipiente (Número)	18	20	19	17	
Peso Recipiente (TARA) (PT)	13,22	13,10	14,01	13,17	
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P1)	31,68	34,05	35,63	34,81	
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)	25,06	26,29	27,30	26,26	
Contenido de Humedad (%)	55,91	58,83	62,68	65,32	
Contenido de Humedad (%) - lectura gráfica (Feng)	24,5				



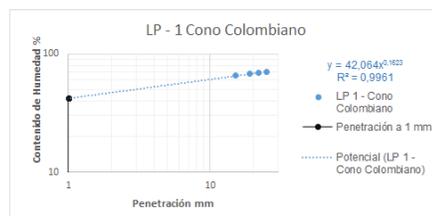
Tipo de Cono :	RUSO	Muestra :	Caolín amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%		
CONO DE PENETRACIÓN LÍMITE PLÁSTICO 5					
Metodo: Feng 2000		HUMEDAD			
		PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4
Penetración (mm)	16	19	21	24	
Recipiente (Número)	15	16	14	13	
Peso Recipiente (TARA) (PT)	12,83	13,57	14,00	13,60	
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P1)	30,49	31,92	30,74	35,23	
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)	24,09	25,12	24,31	26,63	
Contenido de Humedad (%)	56,84	58,87	62,37	66,00	
Contenido de Humedad (%) - lectura gráfica (Feng)	20				



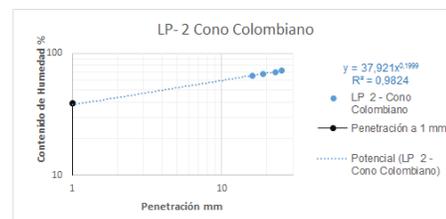
Fuente: Autores, 2017.

Anexo 13 Resultados de Laboratorio y lectura del % w – Colombiano LP (Método: Feng 2000)

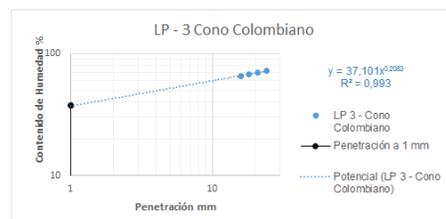
Tipo de Cono :	COLOMBIANO	Muestra :	Caolin amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%			
CONO DE PENETRACIÓN LÍMITE PLÁSTICO 1						
Metodo: Feng 2000	HUMEDAD					
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4		
Penetración (mm)	15	19	22	25		
Recipiente (Número)	12	20	4	16		
Peso Recipiente (TARA) (PT)	13,60	13,98	12,22	13,61		
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P1)	29,03	25,68	35,91	34,16		
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)	22,93	20,96	26,19	25,63		
Contenido de Humedad (%)	65,38	67,62	69,58	70,97		
Contenido de Humedad (%) - lectura grafica (Feng)	42,5					



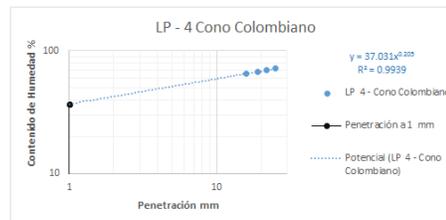
Tipo de Cono :	COLOMBIANO	Muestra :	Caolin amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%			
CONO DE PENETRACIÓN LÍMITE PLÁSTICO 2						
Metodo: Feng 2000	HUMEDAD					
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4		
Penetración (mm)	16	19	23	25		
Recipiente (Número)	14	3	19	13		
Peso Recipiente (TARA) (PT)	13,68	12,86	14,88	14,04		
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P1)	35,16	31,45	35,27	33,87		
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)	26,61	23,91	26,84	25,53		
Contenido de Humedad (%)	66,13	68,24	70,48	72,58		
Contenido de Humedad (%) - lectura grafica (Feng)	39,5					



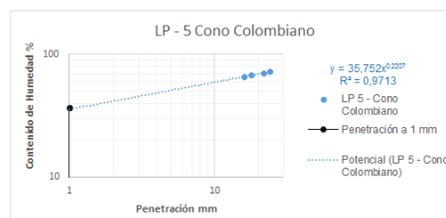
Tipo de Cono :	COLOMBIANO	Muestra :	Caolin amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%			
CONO DE PENETRACIÓN LÍMITE PLÁSTICO 3						
Metodo: Feng 2000	HUMEDAD					
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4		
Penetración (mm)	16	18	21	24		
Recipiente (Número)	5	15	2	11		
Peso Recipiente (TARA) (PT)	13,67	13,96	15,58	13,63		
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P1)	32,25	33,87	34,21	32,89		
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)	24,87	25,81	26,54	24,84		
Contenido de Humedad (%)	65,89	68,02	69,98	71,81		
Contenido de Humedad (%) - lectura grafica (Feng)	38					



Tipo de Cono :	COLOMBIANO	Muestra :	Caolin amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%			
CONO DE PENETRACIÓN LÍMITE PLÁSTICO 4						
Metodo: Feng 2000	HUMEDAD					
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4		
Penetración (mm)	16	19	22	25		
Recipiente (Número)	17	7	9	1		
Peso Recipiente (TARA) (PT)	13,90	14,18	13,77	13,95		
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P1)	30,43	31,80	32,25	30,47		
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)	23,90	24,67	24,67	23,57		
Contenido de Humedad (%)	65,30	67,97	69,54	71,73		
Contenido de Humedad (%) - lectura grafica (Feng)	37					



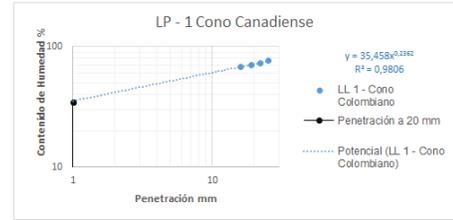
Tipo de Cono :	COLOMBIANO	Muestra :	Caolin amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%			
CONO DE PENETRACIÓN LÍMITE PLÁSTICO 5						
Metodo: Feng 2000	HUMEDAD					
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4		
Penetración (mm)	16	18	22	24		
Recipiente (Número)	18	10	6	8		
Peso Recipiente (TARA) (PT)	13,64	14,07	13,86	13,67		
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P1)	33,05	34,45	33,21	35,62		
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)	25,34	26,21	25,24	26,39		
Contenido de Humedad (%)	65,90	67,87	70,04	72,56		
Contenido de Humedad (%) - lectura grafica (Feng)	36,8					



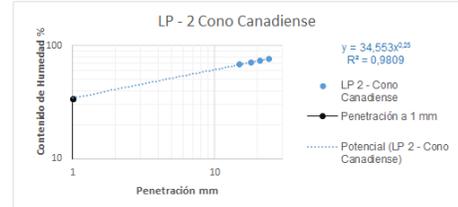
Fuente: Autores, 2017.

Anexo 14 Resultados de Laboratorio y lectura del % w – Canadiense LP (Método: Feng 2000)

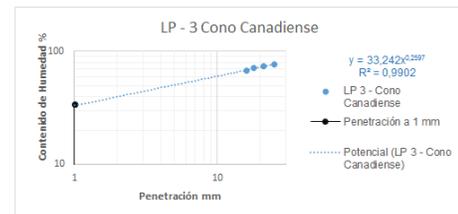
Tipo de Cono :	CANADIENSE	Muestra :	Caolín amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%			
CONO DE PENETRACIÓN LIMITE PLÁSTICO 1						
Metodo: Feng 2000		HUMEDAD				
		PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4	
Penetración (mm)		16	19	22	25	
Recipiente (Número)		18	3	16	11	
Peso Recipiente (TARA) (PT)		12,86	12,86	13,6	14,02	
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P)		34,85	36,17	34,05	33,61	
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)		25,91	26,5	25,42	25,13	
Contenido de Humedad (%)		68,51	70,89	73,01	76,33	
Contenido de Humedad (%) - lectura grafica		34,5				



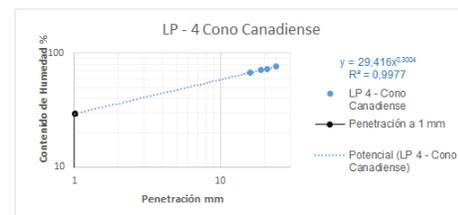
Tipo de Cono :	CANADIENSE	Muestra :	Caolín amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%			
CONO DE PENETRACIÓN LIMITE PLÁSTICO 2						
Metodo: Feng 2000		HUMEDAD				
		PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4	
Penetración (mm)		15	18	21	24	
Recipiente (Número)		4	3	9	14	
Peso Recipiente (TARA) (PT)		13,74	13,68	13,69	14,05	
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P)		32,45	33,64	32,17	31,3	
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)		24,85	25,38	24,33	23,8	
Contenido de Humedad (%)		68,41	70,60	73,68	76,92	
Contenido de Humedad (%) - lectura grafica		34				



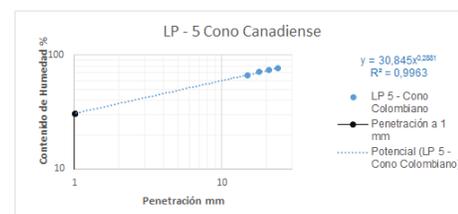
Tipo de Cono :	CANADIENSE	Muestra :	Caolín amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%			
CONO DE PENETRACIÓN LIMITE PLÁSTICO 3						
Metodo: Feng 2000		HUMEDAD				
		PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4	
Penetración (mm)		16	18	21	25	
Recipiente (Número)		4	6	5	13	
Peso Recipiente (TARA) (PT)		13,71	13,84	14,12	13,6	
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P)		33,68	34,01	33,87	38,16	
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)		25,6	25,65	25,5	27,52	
Contenido de Humedad (%)		67,96	70,79	73,55	76,44	
Contenido de Humedad (%) - lectura grafica		33,87				



Tipo de Cono :	CANADIENSE	Muestra :	Caolín amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%			
CONO DE PENETRACIÓN LIMITE PLÁSTICO 4						
Metodo: Feng 2000		HUMEDAD				
		PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4	
Penetración (mm)		16	19	21	24	
Recipiente (Número)		1	2	10	17	
Peso Recipiente (TARA) (PT)		13,89	13,96	14,07	13,9	
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P)		30,45	32,17	30,48	30,95	
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)		23,76	24,61	23,53	23,56	
Contenido de Humedad (%)		67,78	70,99	73,47	76,50	
Contenido de Humedad (%) - lectura grafica		30				



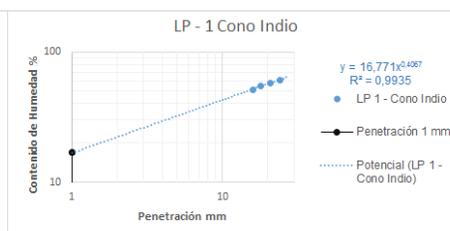
Tipo de Cono :	CANADIENSE	Muestra :	Caolín amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%			
CONO DE PENETRACIÓN LIMITE PLÁSTICO 5						
Metodo: Feng 2000		HUMEDAD				
		PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4	
Penetración (mm)		15	18	21	24	
Recipiente (Número)		20	12	15	8	
Peso Recipiente (TARA) (PT)		13,95	13,62	12,83	13,67	
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P)		31,63	32,24	35,06	32,18	
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)		24,53	24,49	25,6	24,13	
Contenido de Humedad (%)		67,11	71,30	74,08	76,96	
Contenido de Humedad (%) - lectura grafica		30,8				



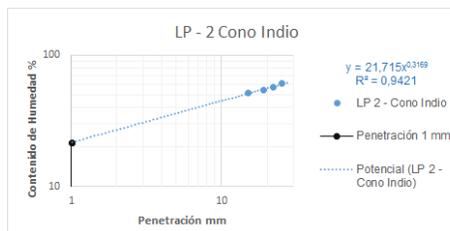
Fuente: Autores, 2017.

Anexo 15 Resultados de Laboratorio y lectura del % w – Indio LP (Método: Feng 2000)

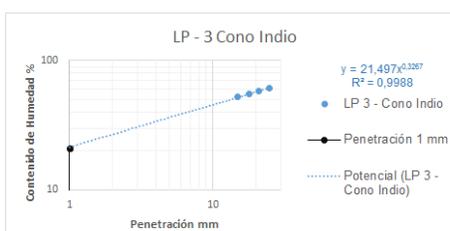
Tipo de Cono :	INDIO	Muestra :	Caolín amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%			
CONO DE PENETRACIÓN LÍMITE PLÁSTICO 1						
Metodo: Feng 2000		HUMEDAD				
		PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4	
Penetración (mm)		16	18	21	24	
Recipiente (Número)		13	15	2	1	
Peso Recipiente (TARA) (PT)		14,04	12,83	15,57	13,94	
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P1)		34,25	32,16	31,47	33,25	
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)		27,38	25,32	25,64	25,94	
Contenido de Humedad (%)		51,50	54,76	57,89	60,92	
Contenido de Humedad (%) - lectura gráfica (Feng)		17				



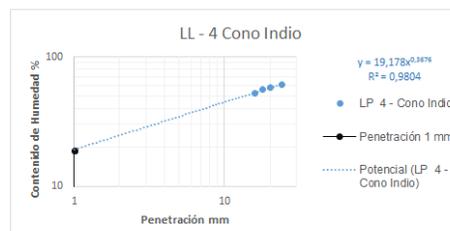
Tipo de Cono :	INDIO	Muestra :	Caolín amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%			
CONO DE PENETRACIÓN LÍMITE PLÁSTICO 2						
Metodo: Feng 2000		HUMEDAD				
		PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4	
Penetración (mm)		15	19	22	25	
Recipiente (Número)		3	6	7	8	
Peso Recipiente (TARA) (PT)		12,86	13,87	14,16	13,67	
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P1)		30,8	30,63	31,45	30,83	
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)		24,67	24,75	25,14	24,32	
Contenido de Humedad (%)		51,91	54,04	57,47	61,13	
Contenido de Humedad (%) - lectura gráfica (Feng)		21,5				



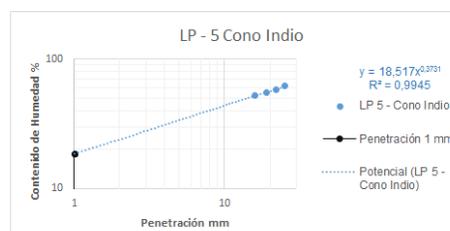
Tipo de Cono :	INDIO	Muestra :	Caolín amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%			
CONO DE PENETRACIÓN LÍMITE PLÁSTICO 3						
Metodo: Feng 2000		HUMEDAD				
		PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4	
Penetración (mm)		15	18	21	25	
Recipiente (Número)		9	10	11	12	
Peso Recipiente (TARA) (PT)		13,66	15,57	14	12,21	
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P1)		33,27	34,65	35,84	33,21	
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)		26,55	27,86	27,83	25,2	
Contenido de Humedad (%)		52,13	55,25	57,92	61,66	
Contenido de Humedad (%) - lectura gráfica (Feng)		21				



Tipo de Cono :	INDIO	Muestra :	Caolín amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%			
CONO DE PENETRACIÓN LÍMITE PLÁSTICO 4						
Metodo: Feng 2000		HUMEDAD				
		PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4	
Penetración (mm)		16	18	20	24	
Recipiente (Número)		4	5	16	18	
Peso Recipiente (TARA) (PT)		13,9	13,67	13,95	13,67	
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P1)		30,74	33,95	31,87	30,7	
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)		24,93	26,68	25,28	24,23	
Contenido de Humedad (%)		52,67	55,88	58,16	61,27	
Contenido de Humedad (%) - lectura gráfica (Feng)		19				



Tipo de Cono :	INDIO	Muestra :	Caolín amarillo 50% mas Diatomea colombiana 50%			
CONO DE PENETRACIÓN LÍMITE PLÁSTICO 5						
Metodo: Feng 2000		HUMEDAD				
		PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4	
Penetración (mm)		16	19	22	25	
Recipiente (Número)		17	19	20	14	
Peso Recipiente (TARA) (PT)		13,9	14,01	13,95	13,68	
Peso Recipiente + Suelo Humedo (P1)		32,67	33,17	34,54	30,45	
Peso Recipiente + Suelo Seco (P2)		26,23	26,33	26,96	24,04	
Contenido de Humedad (%)		52,230333	55,519481	58,262875	61,872587	
Contenido de Humedad (%) - lectura grafica		18,5				



Fuente: Autores, 2017.