

TRABAJO DE GRADO

Velocímetro de imágenes de partícula aplicado al límite líquido



Universidad
del Cauca

Autores:

Vanessa del Rosario Alpala Aguilar

Giselle Natalia Erazo Bastidas

Director:

Lucio Gerardo Cruz Velasco

Co-director:

Eugenio Chavarro Barreto

Facultad de Ingeniería Civil

Universidad del Cauca

Ingeniería Civil

Septiembre, 2025

VELOCÍMETRO DE IMÁGENES DE PARTÍCULA APLICADO AL LÍMITE LÍQUIDO



Universidad
del Cauca

Autores:

Vanessa del Rosario Alpala Aguilar

100420011663

Giselle Natalia Erazo Bastidas

100420011673

Director:

Lucio Gerardo Cruz Velasco

Co-director:

Eugenio Chavarro Barreto

Facultad de Ingeniería Civil

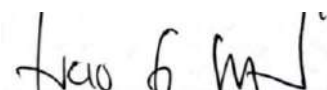
Programa de Ingeniería Civil

Universidad del Cauca

Septiembre, 2025

NOTA DE ACEPTACIÓN

El director y los jurados han evaluado este documento, y luego de haber escuchado la sustentación realizada por el estudiante, lo encuentran satisfactorio, por lo cual autorizan a las estudiantes para desarrollar las gestiones pertinentes para optar por el título de ingenieras civiles.



Firma del director de Trabajo de Grado
Ing. Lucio Gerardo Cruz Velasco



Firma del Jurado
Ing. Andrea Carolina Paredes Cerón



Firma del Jurado
Ing. Luis Fernando Garces

Popayán, 12 de septiembre de 2025.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco en primer lugar a Dios, por acompañarme en todo este proceso, darme sabiduría, paciencia y fortaleza para culminar mi carrera. A mi universidad, por formarme no solo como profesional, sino también como ser humano, y a todas las personas que hicieron parte de este recorrido: docentes, compañeros y quienes, de manera directa o indirecta, contribuyeron a enriquecer esta experiencia, de la cual también me llevo grandes amistades que guardaré siempre en el corazón. De manera muy especial agradezco a mi mamá, Rosario Aguilar, quien siempre estuvo presente para mí en cada momento y a quien dedico principalmente este logro; a mis hermanos Jorge y Liliana Alpala, que me impulsaron, me dieron a conocer esta hermosa carrera y fueron siempre mi motivación para ser mejor; y a mi papá, Leovigildo Alpala, que a pesar de la distancia nunca dejó de apoyarme ni de brindarme palabras de aliento. También quiero expresar mi gratitud a mi compañera de tesis y de universidad, Giselle Erazo, cuya compañía y amistad hicieron de este recorrido una experiencia más valiosa y significativa, y finalmente a Santiago Díaz y su familia, quienes me brindaron apoyo incondicional a lo largo de la carrera, estuvieron siempre en los momentos más difíciles y me regalaron su amor y respaldo, por lo cual estaré profundamente agradecida.

Agradezco profundamente a mi mamá, Teresa Bastidas Cerón, por su amor incondicional, por ser mi ejemplo de fortaleza y dedicación, y por acompañarme en cada paso de este camino académico; a mi papá, José Omar Erazo Moreno, por su esfuerzo, consejos y constante respaldo que me motivaron a dar siempre lo mejor de mí; y de manera especial a mi compañera de tesis, Vanessa Alpala, con quien compartí aprendizajes, retos y logros que hicieron de este proceso una experiencia enriquecedora y significativa.

Tabla de contenido

1	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	Justificación	2
1.2	Objetivos.....	3
1.2.1	Objetivo general	3
1.2.2	Objetivos específicos.....	3
1.3	Hipótesis (Pregunta de investigación)	3
1.4	Metodología.....	3
2	MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTES	8
2.1	PIV en geotecnia de campo	8
2.2	PIV en ensayos de Geotecnia.....	9
2.3	PIV para determinar velocidades de flujo.....	10
2.4	Comportamiento de suelos limosos y límite líquido	12
2.5	Límite líquido	13
2.6	Software de PIV.....	15
2.6.1	PIVLab	15
2.6.2	GeoPIV_RG	15
2.6.3	OpenPiv	16
2.6.4	UraPiv.....	16
2.7	Funcionamiento de Software PIVLab.....	17
2.8	Evaluación de imágenes.....	17
2.9	Correlación cruzada directa (DCC)	19
2.10	Transformada de Fourier discreta (DFT) y técnicas DFT avanzadas	20
3	SELECCIÓN DE MUESTRAS Y RECOLECCIÓN.....	23
4	DISEÑO DEL EXPERIMENTO, MONTAJE DEL EQUIPO Y MANEJO DEL SOFTWARE	31
4.1	Diseño del experimento y montaje del equipo.....	31
4.2	Manejo del software – PIVlab	40
4.2.1	Procesamiento de imágenes y obtención de datos de velocidad y breve mención de cómo se cargaron y procesaron las imágenes en PIVLab.....	40
4.2.2	¿Cuántos ensayos se realizaron?.....	46
4.2.3	Explicación de cómo se extrajo la información de velocidad de las partículas.	

4.2.4	Depuración de datos: criterios usados para eliminar valores atípicos o inconsistentes.....	47
5	PRUEBAS DE LABORATORIO Y OBTENCION DE DATOS	48
5.1	Clasificación de suelos, datos de limites líquidos y limites plásticos.....	52
5.1.1	Suelo vereda La Cabuyera, Vía Popayán- Santander (Cauca) MH001	54
5.1.2	Pr0+500 Vía al Huila, suelo amarillo MH0002.....	56
5.1.3	Talud de Fac. Contables, suelo amarillo MH003	57
5.1.4	Pr0+500 Vía al Huila, suelo rojo MH004	58
5.1.5	Entrada a Pueblillo, suelo rojo MH005	59
5.1.6	Suelo vereda El Charco, Vía Popayán-El Tambo (cauca) Talud 1 ML001 ...	60
5.1.7	Suelo vereda El Charco, Vía Popayán-El Tambo (cauca) Talud 4 ML002 ...	61
5.1.8	Suelo Proporcionado 50%Talud 1 y 50% Talud 4 ML003	62
5.1.9	Suelo Proporcionado 70%Talud 1 y 30% Talud 4 ML004	63
5.1.10	Suelo Proporcionado 70%Talud 4 y 30% Talud 1 ML005	64
5.2	Procesamiento de los datos obtenidos en PIVlab	66
5.2.1	Comportamiento observado del flujo de partículas.....	66
5.2.2	Desplazamiento completo del talud (desde la pata hasta la cabeza)	66
5.2.3	Cálculo teórico de la velocidad mínima de flujo.....	66
6	PROCESAMIENTO DE DATOS, OBTENCIÓN DE RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS.....	68
6.1	VELOCIDADES EXPERIMENTALES DE SUELOS MH (limos de alta plasticidad)	68
6.1.1	Suelo vereda La Cabuyera, Vía Popayán- Santander (Cauca) MH001	68
6.1.2	Suelo vía al huila PR 0+500 (amarillo) MH002.....	82
6.1.3	Talud de Facultad de Contables, suelo Amarillo MH003	83
6.1.4	Pr 0+500 Vía al Huila, suelo rojo MH004	85
6.1.5	Pr 0+500 Entrada a Pueblillo, Suelo rojo MH005.....	86
6.2	VELOCIDADES EXPERIMENTALES DE SUELOS ML (limos de baja plasticidad)	88
6.2.1	Suelo vereda El Charco, Vía Popayán-El Tambo (Cauca) Talud 1 ML001...	88
6.2.2	Suelo vereda El Charco, Vía Popayán-El Tambo (Cauca) Talud 4 ML002...	90
6.2.3	Suelo Proporcionado 50%Talud 1 y 50% Talud 4 ML003	91
6.2.4	Suelo Proporcionado 70%Talud 1 y 30% Talud 4 ML004	93

6.2.5	Suelo Proporcionado 70% Talud 4 y 30% Talud 1 ML005	94
7	DISCUSION Y CONCLUSIONES	96
8	BIBLIOGRAFÍA	110

Tabla de ilustraciones

Ilustración 1. Metodología.....	5
Ilustración 2. Estructura del Suelo Inalterado	13
Ilustración 3. Estructura del suelo remoldeado o amasado	13
Ilustración 4. Deslizamiento de un suelo en el límite líquido	14
Ilustración 5. Análisis DPIV en PIVlab. Resumen del flujo de trabajo y las funciones implementadas que se presentan en las siguientes secciones.	18
Ilustración 6. Representación gráfica de la correlación.....	19
Ilustración 7. DDC y DFT.	20
Ilustración 8. DFT.	21
Ilustración 9. Zonas de Popayán con puntos de muestreo suelos MH	26
Ilustración 10. Zonas de Popayán con puntos de muestreo suelo MH	27
Ilustración 11. Zonas de Popayán con puntos de muestreo suelos ML	27
Ilustración 12. Recolección de muestra de Vía al Huila en el PR 2 MH001.....	28
Ilustración 13. Recolección de muestra de K0+500 vía al Huila MH002	28
Ilustración 14. Recolección de muestra Talud de Facultad de Contables UNICAUCA MH003.....	28
Ilustración 15. Toma de muestras de K0+500 vía al Huila MH004.....	29
Ilustración 16. Toma de muestras de K0+500 Entrada Pueblillo MH005.....	29
Ilustración 17. Toma de muestras Sobre la vía Popayán – El Tambo ML001	29
Ilustración 18. Toma de muestras Sobre la vía Popayán – El Tambo ML002	30
Ilustración 19. Trípode para Cámara	31
Ilustración 20. Trípode de Luz	31
Ilustración 21. Cinta métrica	32
Ilustración 22. Cazuela de Casagrande.....	32
Ilustración 23. Ranurador Plano	33
Ilustración 24. Ranurador curvo	33
Ilustración 25 Acrílico.	33
Ilustración 26. Espátula y cuchillo	34
Ilustración 27. Tamices, platonos y vasos	34
Ilustración 28. Agua destilada	35
Ilustración 29. Altura Celular-Base de cazuela de Casagrande.....	35
Ilustración 30. Altura Celular-Cazuela.....	36
Ilustración 31. Medida desde patas del trípode-borde mesón	36
Ilustración 32. medida desde aro de luz -mesón.....	37
Ilustración 33. Medida desde linterna de celular-mesón	37
Ilustración 34. Ojo de pollo del Trípode de cámara	38
Ilustración 35. Toma de la medida real-Cazuela	38
Ilustración 36. Verificación de altura de caída	39
Ilustración 37. Montaje final del suelo	39
Ilustración 38. Grabación del ensayo de límite líquido	40
Ilustración 39. Importación o cargue de imágenes	41
Ilustración 40. Configuración de PIVLab.....	42

Ilustración 41. Selección de una distancia de referencia	43
Ilustración 42. Calibración en cuánto los píxeles que corresponden a la imagen	43
Ilustración 43. Desplazamiento hacia el centro en los cuadrantes superiores	44
Ilustración 44. Definir un área de interés	45
Ilustración 45. Análisis de cada fotograma	45
Ilustración 46. Resultado de velocidades analizadas.....	46
Ilustración 47 Equipo límite	48
Ilustración 48 Suelo espatulado.....	49
Ilustración 49 Montaje del suelo en la cazuela.....	49
Ilustración 50 Se quitan vacíos y se enraza a no más de 1cm de altura	50
Ilustración 51 Se ranura el suelo.....	50
Ilustración 52 El ranurador debe pasarse perpendicular a la cazuela	51
Ilustración 53 Los taludes se cierran en determinado punto	51
Ilustración 54 Se toma el testigo de humedad	52
Ilustración 55. Grafica de Humedad vs Golpes.....	53
Ilustración 56. Grafica de Humedad vs Golpes MH001	55
Ilustración 57. Grafica de Humedad vs Golpes MH002	56
Ilustración 58. Grafica de Humedad vs Golpes MH003	57
Ilustración 59. Grafica de Humedad vs Golpes MH004	58
Ilustración 60. Grafica de Humedad vs Golpes MH005	59
Ilustración 61. Grafica de Humedad vs Golpes ML001.....	60
Ilustración 62. Grafica de Humedad vs Golpes ML002.....	61
Ilustración 63. Grafica de Humedad vs Golpes ML003.....	62
Ilustración 64. Grafica de Humedad vs Golpes.....	63
Ilustración 65. Grafica de Humedad vs Golpes.....	64
Ilustración 66. Carta de plasticidad USCS	65
Ilustración 67 Abertura de la cazuela.	67
Ilustración 68. Velocidades para un punto del límite líquido - 15 golpes MH001.....	69
Ilustración 69. Velocidades para un punto del límite líquido - 15 golpes MH001.....	70
Ilustración 70. Velocidades para un punto del límite líquido - 19 golpes MH001.....	71
Ilustración 71. Velocidades para un punto del límite líquido - 22 golpes MH001.....	72
Ilustración 72. Velocidad vs Golpes a 23 golpes Velocidades para un punto del límite líquido - 23 golpes MH001	73
Ilustración 73. Velocidades para un punto del límite líquido - 23 golpes MH001.....	74
Ilustración 74. Velocidades para un punto del límite líquido - 25 golpes MH001.....	75
Ilustración 75. Velocidades para un punto del límite líquido - 26 golpes MH001.....	76
Ilustración 76. Velocidades para un punto del límite líquido - 27 golpes MH001.....	77
Ilustración 77. Velocidades para un punto del límite líquido - 30 golpes MH001.....	78
Ilustración 78. Velocidades para un punto del límite líquido – 30 golpes MH001.....	79
Ilustración 79. Velocidades para un punto del límite líquido - 34 golpes MH001.....	80
Ilustración 80. Velocidades experimentales vs # Golpes, para todos los números de golpes, Suelo MH001.....	81
Ilustración 81. Velocidad vs Humedad datos compilados MH001	81

Ilustración 82. Velocidades experimentales vs # Golpes, para todos los números de golpes, Suelo MH002.....	82
Ilustración 83. Velocidad vs Humedad datos compilados MH002	83
Ilustración 84. Velocidades experimentales vs # Golpes, para todos los números de golpes, Suelo MH003.....	84
Ilustración 85. Velocidad vs Humedad datos compilados MH003	84
Ilustración 86 . Velocidades experimentales vs # Golpes, para todos los números de golpes, Suelo MH004.....	85
Ilustración 87 . Velocidad vs Humedad datos compilados MH004	86
Ilustración 88 . Velocidades experimentales vs # Golpes, para todos los números de golpes, Suelo MH005.....	87
Ilustración 89. Velocidad vs Humedad datos compilados MH005	87
Ilustración 90. Velocidades experimentales vs # Golpes, para todos los números de golpes, Suelo ML001	89
Ilustración 91. Velocidad vs Humedad datos compilados ML001.....	89
Ilustración 92. Velocidades experimentales vs # Golpes, para todos los números de golpes, Suelo ML002	90
Ilustración 93. Velocidad vs Humedad datos compilados ML002.....	91
Ilustración 94. Velocidades experimentales vs # Golpes, para todos los números de golpes, Suelo ML003	92
Ilustración 95. Velocidad vs Humedad datos compilados ML003.....	92
Ilustración 96. Velocidades experimentales vs # Golpes, para todos los números de golpes, Suelo ML004.....	93
Ilustración 97. Velocidad vs Humedad datos compilados ML004.....	94
Ilustración 98. Velocidades experimentales vs # Golpes, para todos los números de golpes, Suelo ML005	95
Ilustración 99. Velocidad vs Humedad datos compilados ML005.....	95
Ilustración 100. Velocidades experimentales vs # Golpes, para todos los Suelos MH.....	96
Ilustración 101. Líneas de Tendencia de Velocidades experimentales vs # Golpes, para todos los Suelos MH	97
Ilustración 102. Velocidades experimentales vs # Golpes, para todos los Suelos ML	98
Ilustración 103. Líneas de Tendencia de Velocidades experimentales vs # Golpes, para todos los Suelos ML	98
Ilustración 104. Velocidad vs Humedad de todos los suelos MH	99
Ilustración 105.Líneas de Tendencia de Velocidades experimentales vs # Humedad, para todos los Suelos MH.....	100
Ilustración 106 .Velocidad vs Humedad de todos los suelos ML	100
Ilustración 107.Líneas de Tendencia de Velocidades experimentales vs # Humedad, para todos los Suelos ML	101
Ilustración 108. cierre ranura a 16 golpes.....	103
Ilustración 109. Cierre de ranura a 24 golpes.....	104
Ilustración 110. Vista cercana del movimiento de un vector de las velocidades analizadas	106

Ilustración 111. Movimiento de vectores	107
Ilustración 112. Límites de consistencia. Casagrande.	108

Tabla de ecuaciones

Ecuación 1 Velocidad de flujo.....	11
Ecuación 2 Correlación de desplazamiento.....	18
Ecuación 3. Ecuación de línea de tendencia.....	54

Tabla de tablas

Tabla 1. Metodología.....	5
Tabla 4. Rangos de golpes usados por cada limite liquido.....	52
Tabla 5. Resultados de Limite liquido de cada línea de tendencia.....	54
Tabla 6. Resultados de límite líquido para muestra MH001	54
Tabla 7. Resultados de Limite liquido de cada línea de tendencia.....	55
Tabla 8. Resultados de límite plástico para muestra MH001	55
Tabla 9. Límites para caracterización del suelo	56
Tabla 10. Resultados de Limite liquido de cada línea de tendencia.....	56
Tabla 11. Límites para caracterización del suelo	56
Tabla 12. Resultados de Limite liquido de cada línea de tendencia.....	57
Tabla 13. Límites para caracterización del suelo	57
Tabla 14. Resultados de Limite liquido de cada línea de tendencia.....	58
Tabla 15. Límites para caracterización del suelo	58
Tabla 16. Resultados de Limite liquido de cada línea de tendencia.....	59
Tabla 17. Límites para caracterización del suelo	59
Tabla 18. Resultados de Limite liquido de cada línea de tendencia.....	60
Tabla 19. Límites para caracterización del suelo	60
Tabla 20. Resultados de Limite liquido de cada línea de tendencia.....	61
Tabla 21. Límites para caracterización del suelo	61
Tabla 22. Resultados de Limite liquido de cada línea de tendencia.....	62
Tabla 23. Límites para caracterización del suelo	62
Tabla 24. Resultados de Limite liquido de cada línea de tendencia.....	63
Tabla 25. Límites para caracterización del suelo	63
Tabla 26. Resultados de Limite liquido de cada línea de tendencia.....	64
Tabla 27. Límites para caracterización del suelo	64
Tabla 28. Resumen de propiedades de los suelos.....	65
Tabla 29. Identificador de suelos MH	68
Tabla 30. Velocidades experimentales, 15 golpes.....	68
Tabla 31. Velocidades experimentales, 15 golpes.....	69
Tabla 32. Velocidades experimentales, 19 golpes.....	70
Tabla 33. Velocidades experimentales, 22 golpes.....	71
Tabla 34. Velocidades experimentales, 23 golpes.....	72
Tabla 35. Velocidades experimentales, 23 golpes.....	73
Tabla 36. Velocidades experimentales, 25 golpes.....	74
Tabla 37. Velocidades experimentales, 26 golpes.....	75

Tabla 38.Velocidades experimentales, 27 golpes.....	76
Tabla 39. Velocidades experimentales, 30 golpes.....	77
Tabla 40. Velocidades experimentales, 30 golpes.....	78
Tabla 41.Velocidades experimentales, 34 golpes.....	79
Tabla 42.Resumen de velocidades experimentales, para todos los números de golpes, Suelo MH001.....	80
Tabla 43 Resumen de velocidades experimentales, para todos los números de golpes, Suelo MH002.....	82
Tabla 44 Resumen de velocidades experimentales, para todos los números de golpes, Suelo MH003.....	83
Tabla 45 Resumen de velocidades experimentales, para todos los números de golpes, Suelo MH004.....	85
Tabla 46 Resumen de velocidades experimentales, para todos los números de golpes, Suelo MH005.....	86
Tabla 47. Identificador de suelos ML.....	88
Tabla 48. Resumen de velocidades experimentales, para todos los números de golpes, Suelo ML001	88
Tabla 49. Resumen de velocidades experimentales, para todos los números de golpes, Suelo ML002	90
Tabla 50.Resumen de velocidades experimentales, para todos los números de golpes, Suelo ML003	91
Tabla 51 Resumen de velocidades experimentales, para todos los números de golpes, Suelo ML004	93
Tabla 52.Resumen de velocidades experimentales, para todos los números de golpes, Suelo ML005	94
Tabla 53. Velocidades experimentales promedio, Velocidades en el límite líquido y Distancia de cierre, Suelos MH	102
Tabla 54.Velocidades experimentales promedio, Velocidades en el límite líquido y Distancia de cierre, Suelos ML.....	102
Tabla 55. Clasificación del Coeficiente de variación	103
Tabla 56. Comparación de Velocidad teórica vs Velocidad Experimental.....	105

RESUMEN

Esta investigación aborda la determinación de la velocidad de flujo en los limos cerca del límite líquido, proponiendo una herramienta objetiva de análisis basada en procesamiento de imágenes conforme a la norma INV-125. Mediante un enfoque experimental en el laboratorio de suelos de la Universidad del Cauca, se utilizaron técnicas tradicionales y velocimetría de imágenes de partículas con PIVLab, con una cámara fija sobre la cazuela de Casagrande, para capturar el desplazamiento del suelo en función de humedad y número de golpes. Se procesaron imágenes de suelos MH y ML de Popayán, construyendo curvas velocidad vs humedad y velocidad vs número de golpes, donde se observó una relación lineal marcada con R^2 cercano a 1 indicando que mayor número de golpes implica menor velocidad. La comparación entre la velocidad teórica y las velocidades experimentales reveló discrepancias significativas, con un coeficiente de variación del 63,9%. Este resultado es coherente, dado que la velocidad teórica representa un valor mínimo de referencia, por lo que experimentalmente se espera obtener valores mayores, se determinó que la velocidad de los limos en el límite líquido es la misma. Lo anterior respalda el uso de la Velocimetría de Imágenes de Partículas (PIV) como una alternativa más precisa para caracterizar la mecánica del suelo, el método propuesto permite medir de forma objetiva y detallada el comportamiento de los suelos en el límite líquido, y sus resultados ofrecen mejoras potenciales para la práctica geotécnica y la normativa local.

1 INTRODUCCIÓN

En el ámbito de la ingeniería geotécnica, la correcta caracterización de los suelos es fundamental para garantizar la estabilidad y seguridad de cualquier obra civil. Uno de los parámetros más utilizados para esta caracterización es el límite líquido, el cual permite clasificar los suelos según su plasticidad y su comportamiento en condiciones de saturación. Tradicionalmente, este parámetro se determina mediante el ensayo de Casagrande, que consiste en contar el número de golpes necesarios para cerrar una ranura en una muestra de suelo. Sin embargo, este método presenta un componente subjetivo importante, ya que depende directamente del criterio del operador para determinar el cierre adecuado de la ranura.

A partir de esta problemática, se planteó la necesidad de desarrollar un enfoque más objetivo que permitiera observar el comportamiento del suelo desde una perspectiva dinámica y cuantificable. Para ello, se recurrió al uso de Velocimetría de Imágenes de Partículas (PIV), una técnica que ha demostrado ser eficaz en el estudio de flujos en mecánica de fluidos y que, recientemente, ha empezado a aplicarse en investigaciones geotécnicas.

Este trabajo se centró en evaluar la velocidad de flujo de suelos limosos (tipos MH y ML) al ser sometidos al ensayo de límite líquido. La hipótesis inicial partía de suponer que, al alcanzar el mismo número de golpes, las velocidades de flujo debían ser similares, dado que todos los suelos se encontrarían en una condición de plasticidad comparable.

La metodología aplicada combinó la norma INV-125 con el análisis de imágenes mediante software especializado PIVLab, permitiendo así la creación de una herramienta semiautomatizada que podría integrarse en los laboratorios de geotecnia para obtener mediciones más precisas y confiables.

Este estudio no solo ofrece un avance técnico en la caracterización de suelos, sino que también contribuye al desarrollo de métodos innovadores que pueden ser replicables en otras regiones con condiciones geológicas similares. Asimismo, promueve una lectura más integral de los ensayos clásicos, incorporando tecnología digital para mejorar la calidad de los datos y apoyar decisiones de diseño más acertadas en proyectos de infraestructura.

1.1 Justificación

La determinación del límite líquido del suelo, en la construcción es de vital importancia. Bajo la norma estandarizada lo que se busca es asegurar la estabilidad y la durabilidad de la estructura desde la cimentación. El cumplimiento de la norma garantiza que el suelo cumpla los requisitos técnicos y de calidad. En Colombia es común que se presenten suelos expansivos y con una plasticidad alta, que representan un riesgo geotécnico como, por ejemplo, asentamientos excesivos, que tiene diferentes tratamientos que existen y que se investigan y se proporcionan en base a índices como el del límite líquido.

En el título H de la NSR 10 están establecidos los lineamientos para una caracterización geotécnica estándar, como parte del reglamento, se presentan las normas técnicas NTC, del Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, ICONTEC, y la Sociedad Americana para Ensayos y Materiales, ASTM; la NTC 1494, NTC 4630 y la ASTM D 4318, presentan el ensayo para determinar el límite líquido, parámetro que permite saber si un suelo es no cohesivo o granular, si es susceptible o no a la licuación, permite clasificar los suelos expansivos, entre otras aplicaciones que presenta el mismo título.

A pesar de su importancia, los estudios específicos sobre la velocidad de flujo en suelos cercanos al límite líquido son escasos, en particular para los suelos MH, que predominan en la región de Popayán. La velocidad de flujo constituye un indicador fundamental del comportamiento mecánico de los suelos, ya que está ligado con la resistencia al corte y la estabilidad estructural. Sin embargo, la evaluación de este aspecto en este contexto ha sido más bien limitada, lo que representa una oportunidad para la generación de nuevos conocimientos que beneficiarán no solo el diseño de soluciones geotécnicas sino también la actualización de la normativa local.

1.2 Objetivos

A partir de los requerimientos para el desarrollo del proyecto se establecieron sus objetivos, los cuales se presentan a continuación,

1.2.1 Objetivo general

Proporcionar una herramienta no subjetiva apoyada en procesamiento de imágenes para la determinación de la velocidad de flujo en el límite líquido mediante la norma INV-125, para suelos de la ciudad de Popayán.

1.2.2 Objetivos específicos

- Realizar una revisión bibliográfica sobre el uso de velocímetro de imágenes de partícula (VIP, PIV) en geotecnia de campo, ensayos en geotecnia y en la determinación del límite líquido.
- Escoger una herramienta computacional existente para el análisis de imágenes mediante velocímetro de imágenes de partícula (VIP - PIV).
- Establecer un procedimiento práctico y semiautomático implementando el procesamiento de imágenes para determinar curvas de velocidad de flujo vs humedad, y velocidad de flujo vs número de golpes para el ensayo del límite líquido mediante la norma INV-125, para dos suelos de la ciudad de Popayán.

1.3 Hipótesis (Pregunta de investigación)

Las velocidades de flujo son consistentes según las características de los suelos MH y ML en el límite líquido, medidas con ayuda de un velocímetro de imágenes de partícula, ya que los suelos estarán en un estado de fluido comparable y con una consistencia uniforme.

Las diferencias en su composición mineralógica, distribución de partículas y la estructura interna podrían ser las causales por las cuales la hipótesis planteada no se cumpliera.

1.4 Metodología

Para el desarrollo de este estudio, se adoptó un enfoque experimental que integró técnicas tradicionales de laboratorio con herramientas digitales de análisis de imágenes. La investigación se realizó en el laboratorio de geotecnia de la Universidad del Cauca y tuvo como eje principal la evaluación de la velocidad de flujo en suelos limosos mediante el uso de Velocimetría de Imágenes de Partículas (PIV).

Inicialmente, se llevó a cabo una revisión bibliográfica centrada en la aplicación del PIV en contextos geotécnicos, lo que permitió entender su funcionamiento, sus ventajas frente a métodos convencionales y su potencial para mejorar la precisión en la caracterización de suelos. A partir de esta revisión, se seleccionó el programa PIVLab, compatible con MATLAB, por su eficiencia, versatilidad y fiabilidad.

Posteriormente, se recolectaron muestras de 5 suelos MH y 2 ML (No se pudo encontrar los 5 suelos ML, por tanto, se hicieron 3 mezclas con proporciones 50-50, 70-30 y 30-70 con los dos que se hallaron) en distintos puntos de la ciudad de Popayán. Estas fueron preparadas conforme a los procedimientos normalizados, asegurando condiciones de homogeneidad en cuanto a humedad y granulometría, para garantizar resultados comparables. Cada tipo de suelo fue ensayado en cuatro condiciones distintas de humedad, para abarcar un rango amplio alrededor del límite líquido.

Se diseñó y adecuó un sistema de captura de imágenes que consistió en una cámara de alta resolución, instalada de forma fija sobre la cazuela de Casagrande. Este sistema fue calibrado cuidadosamente, controlando las condiciones de luz, enfoque y estabilidad durante el ensayo, con el fin de obtener secuencias de imágenes nítidas que permitieran un análisis preciso del desplazamiento de partículas.

Durante la ejecución del ensayo de límite líquido según la norma INV-125, se capturaron videos de cada repetición, los cuales luego fueron procesados en secuencias de imágenes. Estas imágenes fueron analizadas mediante PIVLab, software que permite calcular la velocidad de flujo a partir del desplazamiento de partículas en intervalos de tiempo definidos.

Una vez procesadas las imágenes, se obtuvieron datos de velocidad para cada combinación de número de golpes y contenido de humedad. Estos datos se usaron para construir curvas de velocidad de flujo en función de la humedad y del número de golpes, diferenciando entre los tipos de suelo analizados. Las curvas permitieron identificar tendencias, comportamientos típicos y posibles diferencias significativas entre los suelos MH y ML.

Finalmente, se realizó un análisis que permitió validar la eficacia de la metodología propuesta y formular recomendaciones para su posible implementación en laboratorios geotécnicos,

además, poder desarrollar bases de datos que relacione la velocidad de flujo con el tipo de suelo.

Ilustración 1. Metodología

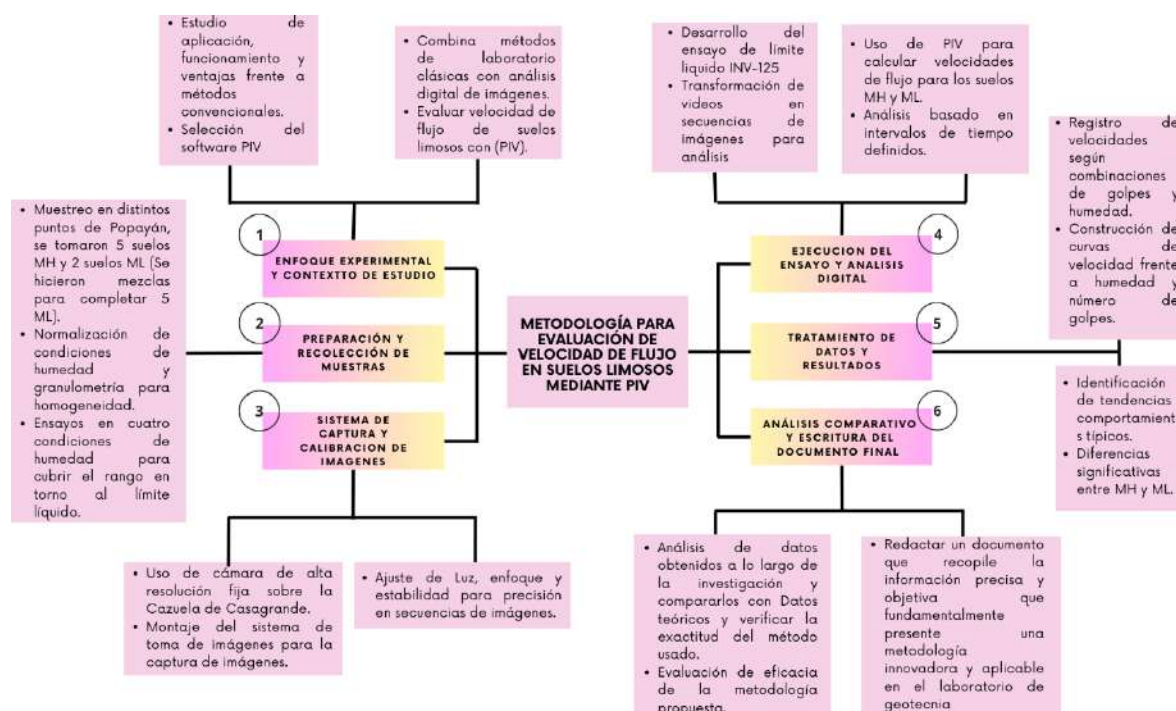


Tabla 1. Metodología

Actividad	Objetivo	Duración
Actualización del marco teórico de PIV en geotecnia	Revisar los avances sobre el uso del PIV en el campo de la geotecnia y específicamente en la determinación de velocidades de flujo en suelos limosos.	2 semana
Revisión de software de PIV	Realizar la búsqueda del software óptimo, tanto en funcionamiento, efectividad y costos.	2 semana
Obtención de suelos para la determinación de límite líquido mediante norma INV-125	Realizar un muestreo de 5 suelos MH y 2 ML (No se pudo encontrar los 5 suelos ML, por tanto, se hicieron 3 mezclas con proporciones 50-50, 70-30 y 30-70 con los dos que se hallaron) de la ciudad	1 semana

Actividad	Objetivo	Duración
	de Popayán, que permita realizar su obtención de límite líquido de manera más eficiente para tener datos más exactos para esto se tomaran cinco muestras para cada tipo de suelo.	
Montaje del sistema de toma de imágenes para la determinación de las velocidades de flujo	Realizar un sistema adecuado que permita capturar imágenes que faciliten la determinación de la velocidad de flujo en el programa de PIV.	2 semanas
Realización del ensayo de límite líquido con la norma INV-125.	Para cada una de las cinco muestras de un tipo de suelo, se determinará tres veces el límite líquido. Se obtendrá el número de golpes para el límite líquido, además de un número de golpes por arriba y por debajo del límite.	2 semanas
Determinación de velocidad de flujo	Configurar los parámetros de preprocesamiento y correlación para calcular los vectores en función de su velocidad, lo que facilita identificar áreas de mayor o menor flujo.	2 semanas
Creación de curvas de velocidad de flujo vs humedad, y velocidad de flujo vs número de golpes.	Analizar los vectores para obtener la velocidad promedio, asociándola con la humedad y los golpes correspondientes y graficar las relaciones.	2 semanas
Análisis de resultados	Con los datos obtenidos a lo largo de la investigación y compararlos con datos estándar y verificar la exactitud del método usado	2 semanas

Actividad	Objetivo	Duración
Escritura del documento final	Redactar un documento que recopile la información precisa y objetiva que fundamentalmente presente una metodología innovadora y aplicable en el laboratorio de geotecnia.	3 semanas

2 MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTES

2.1 PIV en geotecnia de campo

El velocímetro de partículas de imágenes (PIV) es una metodología que se ha desarrollado ampliamente en la rama de la hidráulica, especialmente en gases y fluidos. También es una herramienta que ha sido implementada en el campo de la geotecnia como apoyo para las prácticas de laboratorio de algunos investigadores. Entre ellos se encuentran Velasco (2004), quien realizó un estudio sobre la medición del campo de desplazamiento en materiales granulares mediante PIV; Niedostatkiewicz et al. (2010), que estudiaron los empujes sobre muros a escala y generaron mapas de deformaciones; Rodríguez (2021), que realizó un análisis de la rotura de taludes mediante procesamiento de imágenes y comparación con modelos numéricos.

Ruíz (2014) evaluó el PIV como método de medición en geotecnia y concluyó que es una herramienta de gran utilidad. Sin embargo, su precisión depende de la calidad de las imágenes, lo que resalta la importancia de las condiciones del montaje, la calibración y la resolución de la imagen. Además, se destacó la economía de su implementación.

En la actualidad, la aplicación del PIV está muy desarrollada en varios campos, pero en la geotecnia, según un estudio realizado por Gómez (2008), la implementación de PIV en estudios geotécnicos no es frecuente. Una de las principales razones es que el PIV está limitado a analizar campos de deformación sólo en dos dimensiones. En la investigación de esta tesis, no se encontró ninguna referencia en la literatura sobre la implementación de PIV para casos biaxiales, excepto por el estudio realizado por Lucio Cruz. Según Velasco (2004), "la aplicación en la Ingeniería Geotécnica nace alrededor de 2001; el pionero en cuanto a la aplicación de este método fue D.J. White en la Universidad de Cambridge (Inglaterra) en 2001 con el artículo 'Measuring soil deformation in geotechnical models using digital images and PIV analysis' y Konrad Nubel en la Universidad de Karlsruhe en 2001-2002 con el artículo 'Visualization of localization in grain skeletons with particle image velocimetry'. Estos autores han continuado publicando sobre este método de medición. Sus publicaciones tratan sobre la medición del campo de desplazamiento o velocidades en modelos donde los test típicos no son apropiados y han desarrollado software y ensayos simples (GeoPIV, D.J. White) sobre la aplicación de esta nueva técnica de medición."

En el trabajo realizado por Lloret (2010), se menciona que "la metodología PIV como método de medición en geotecnia es una herramienta con mucho potencial que permite cuantificar desplazamientos en una gran cantidad de puntos de una imagen. Es especialmente útil en modelos y ensayos de laboratorio donde sea difícil instalar instrumentos de medida tradicionales". Además, Lloret concluyó que "con la experiencia adquirida en los ensayos de laboratorio con la captura de imágenes, se concluyó que una de las variables que afectan la precisión del método PIV es la calidad de las imágenes. Es de suma importancia controlar las condiciones de luz alrededor del ensayo, la posición de la cámara debe ser totalmente estática y se debe controlar la cámara a distancia para evitar movimientos que inducen errores. Si estas condiciones se mantienen con muy buen control, los resultados logran una gran precisión."

2.2 PIV en ensayos de Geotecnia

Al PIV, también se lo puede definir como DIC "correlación de imágenes digitales", y en torno a las normas ASTM, se encontraron las siguientes aplicaciones donde se presenta una herramienta que supera algunas de las limitaciones presentadas por los métodos tradicionales.

En la evaluación de características de fallo del hormigón emplearon la técnica de Correlación de Imágenes Digitales en 3D para analizar el comportamiento de mezclas de hormigón bajo diversas pruebas estandarizadas según normas ASTM. Los resultados demostraron que la DIC es efectiva para identificar características locales de fallo, ofreciendo una comprensión más profunda del comportamiento del hormigón que los métodos tradicionales, los cuales tienden a proporcionar parámetros únicos que no capturan la variabilidad local, Harris, Gheitasi y Hansen (2020).

Lim y Siemens desarrollaron un aparato que utiliza DIC para medir las deformaciones en suelos en condiciones de hinchamiento libre. Este método no solo proporcionó datos precisos sobre el comportamiento de hinchamiento, sino que también ofreció información adicional sobre el comportamiento dependiente del tiempo y el criterio de fin de prueba, mejorando así la interpretación de los resultados de hinchamiento, Lim y Siemens (2013).

En los ensayos triaxiales de suelos, se desarrolló un sistema de medición basado en DIC para capturar y analizar las deformaciones en muestras de suelo cilíndricas. Utilizando cámaras

digitales y un programa de correlación de imágenes, el sistema permitió observar fenómenos como el abarilamiento y la evolución de la banda de corte, proporcionando una visión detallada de las características de deformación de los suelos en ensayos triaxiales, Bhandari, Ochoa y Harkness (2012).

2.3 PIV para determinar velocidades de flujo

El uso de herramientas avanzadas para la medición de flujos en diversos contextos de ingeniería ha permitido grandes avances en la comprensión y optimización de procesos asociados especialmente a la mecánica de fluidos. Dentro de estas herramientas, la Velocimetría por imágenes de partículas se ha posicionado como una técnica esencial debido a su precisión, versatilidad y capacidad para proporcionar datos en tiempo real sin interferir en el comportamiento del flujo. Esta técnica ha sido ampliamente documentada por investigadores, quienes resaltan su contribución al estudio de flujos complejos y su aplicabilidad en múltiples escenarios. En este sentido, Etsin Navales-Upm (2016) describe que la técnica PIV permite obtener campos de velocidades con alta resolución espacial, mediante un análisis basado en imágenes capturadas en intervalos de tiempo conocidos. Este enfoque no intrusivo facilita la medición del desplazamiento de partículas sembradas en el flujo, asegurando la precisión y confiabilidad de los resultados. Gracias a su desarrollo continuo, la técnica ha logrado aplicaciones en contextos más avanzados, consolidándose como una herramienta clave para el análisis de flujos complejos y promoviendo notables avances en la mecánica de fluidos.

Por otra parte, el análisis detallado del flujo requiere descomponer las imágenes obtenidas en áreas más pequeñas o subregiones, conocidas como “áreas de interrogación”. García Ramírez (2005) detalla que estas subregiones permiten realizar estimaciones cuantitativas del desplazamiento de partículas a través de métodos estadísticos, como la auto-correlación y la correlación cruzada. A partir de estas estimaciones, se generan vectores que representan el desplazamiento promedio de las partículas en cada área, lo que posibilita el cálculo de componentes de velocidad en el plano de la lámina de luz. Además, se discuten técnicas complementarias que pueden determinar una tercera componente de velocidad mediante captaciones en diferentes planos, ampliando aún más las posibilidades de análisis.

Asimismo, Scharnowski y Kähler (2020) profundizan en el cálculo de la velocidad del flujo, a partir del desplazamiento de la imagen de partículas $\Delta \vec{x}$ el plano de la imagen entre dos registros sucesivos con una separación temporal de Δt la velocidad del flujo $\vec{v}$ En el plano de medición se estima de la siguiente manera (véase Ecuación 1):

Ecuación 1 Velocidad de flujo

$$\vec{v} = \frac{\Delta \vec{x}}{\Delta t} = \frac{1}{M} \frac{\Delta \vec{x}}{\Delta t}$$

con $\Delta \vec{x}$ siendo M el desplazamiento de la partícula trazadora y M el aumento óptico. El aumento y la separación temporal deben adaptarse al flujo de interés para garantizar que la trayectoria estimada de la partícula (línea recta entre dos ubicaciones) represente la verdadera en una buena aproximación. Si la separación temporal se vuelve demasiado larga, las líneas de corriente curvas o las aceleraciones convectivas pueden causar errores de sesgo resolubles. Si existen errores debido a aceleraciones, se deben aplicar técnicas de pulsos múltiples para resolver adecuadamente los fenómenos de flujo. Scharnowski, S., & Kähler, C. J. (2020)

Si las partículas trazadoras siguen fielmente el movimiento del flujo, la incertidumbre de la velocidad estimada depende del desplazamiento de la imagen de la partícula. $\Delta \vec{x}$ la separación temporal Δt y el aumento óptico M de acuerdo con la ecuación. La incertidumbre de medición asociada con Δt suele ser despreciable siempre que la combinación de la velocidad del flujo y el aumento no requiera una separación temporal en el rango de microsegundos o incluso nanosegundos. M se puede determinar con una incertidumbre de aproximadamente el 1 % si el espesor de la lámina de luz es pequeño y la distancia de observación grande. Sin embargo, es evidente que cualquier error en M conducirá a resultados sesgados incluso cuando la precisión de la medición sea alta. Por lo tanto, una calibración adecuada es muy importante para obtener datos precisos y exactos. Si el equipo está cuidadosamente alineado, la mayor parte de la incertidumbre de la medición suele estar asociada con la $\Delta \vec{x}$ determinación. Como la incertidumbre de $\Delta \vec{x}$ depende de muchas variables, la estimación de $\sigma_{\Delta x}$ suele ser bastante difícil. Scharnowski, S., & Kähler, C. J. (2020)

2.4 Comportamiento de suelos limosos y límite líquido

El caudal de los suelos limosos describe un factor importante para entender su comportamiento mecánico, mucho más cuando se acercan a las condiciones de límite líquido. El límite líquido es un parámetro clave que permite la clasificación de los suelos finos en cuanto a su plasticidad y sensibilidad a los movimientos en condiciones de saturación. Según el estudio de Pacay García (2017), la determinación del límite líquido mediante el uso de los métodos de copa de Casagrande y penetrómetro de cono permite obtener valores críticos que pueden afectar la deformación y el caudal en suelos muy plásticos.

Por otro lado, el análisis del comportamiento mecánico del talud de la carretera Loja-Malacatos realizado por Durán Córdova y Segarra Morales (2020) destacó la influencia de la precipitación acumulada en la velocidad de desplazamiento del suelo. En este caso, el factor crítico de seguridad para el perfil formado por limos y arenas limosas de baja plasticidad es 0,64, con velocidades de desplazamiento de hasta 0,091 m/mes. Estos resultados confirman una relación directa entre la saturación inducida por la precipitación y la pérdida de estabilidad del suelo y pueden extrapolarse a análisis de caudales en suelos limosos en condiciones similares.

Finalmente, el estudio complementario de Taha et al. (2019) analizaron cómo el contenido de humedad afecta las propiedades mecánicas y la resistencia al corte de suelos limosos en el artículo, Efecto del contenido de humedad sobre la resistencia al corte y la deformación de suelos de grano fino. Este trabajo destaca que la cohesión del suelo disminuye a medida que el contenido de agua se acerca al límite líquido, lo que puede aumentar los caudales en condiciones de estrés hídrico.

En el límite líquido, el suelo limoso muestra un comportamiento característico como el de un fluido, altamente deformable, similar a un fluido espeso. Esto sucede debido a la saturación; en esta condición, el agua reduce drásticamente la fricción entre las partículas y, por lo tanto, permite una gran deformación incluso con pequeñas tensiones aplicadas. Esta condición lo hace muy propenso a fluir cuando hay agua, lo que es peligroso para la estabilidad en taludes o estructuras no estabilizadas. Además, su comportamiento depende de la composición mineralógica. Los suelos limosos con arcillas dispersas generalmente tienen un límite líquido

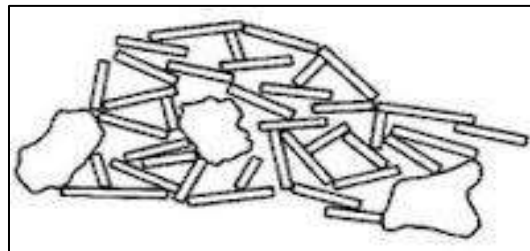
más alto debido a su capacidad para retener más agua; los limos puros son menos cohesivos y, por lo tanto, muestran valores de límite líquido más bajos y menor resistencia al flujo.

Los estudios analizados destacan la relevancia de la saturación y las condiciones hidráulicas sobre los caudales en suelos limosos, especialmente en casos de alta plasticidad o fuertes precipitaciones.

2.5 Límite líquido

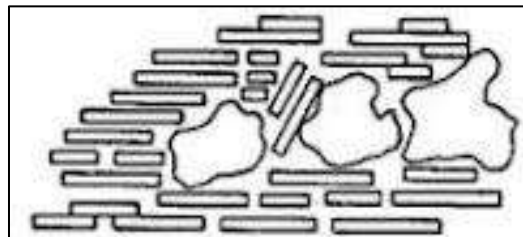
El comportamiento del suelo en el límite líquido este dado por una transición entre el estado líquido y plástico del suelo, esto lo reafirma Osorio Santiago (2010), donde menciona que, El límite líquido es el contenido de agua, expresado en porcentaje respecto al peso del suelo seco, que delimita la transición entre el estado líquido y plástico de un suelo remoldeado o amasado. En la Ilustración 2 y la Ilustración 3 podemos observar un esquema hipotético del estado de un suelo antes y después del ensayo de Límites de Atterberg:

Ilustración 2. Estructura del Suelo Inalterado



Fuente: Tomado de https://geotecnia-sor.blogspot.com/2010/11/consistencia-del-suelo-limites-de_19.html

Ilustración 3. Estructura del suelo remoldeado o amasado



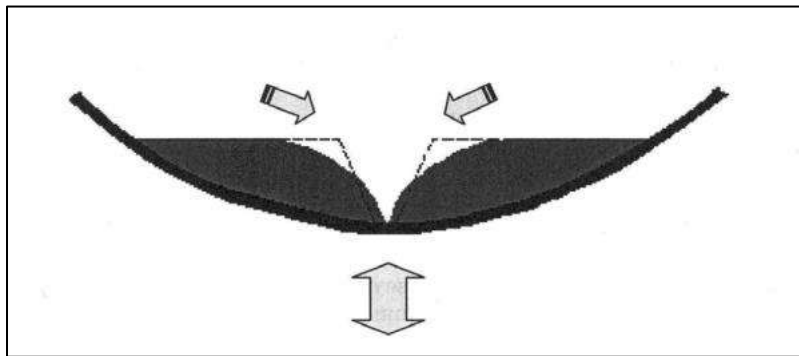
Fuente: Tomado de https://geotecnia-sor.blogspot.com/2010/11/consistencia-del-suelo-limites-de_19.html

Además, Osorio (2010) menciona que, la fuerza que se opone a la fluencia de los lados de la ranura proviene de la resistencia al esfuerzo cortante del suelo, por lo que el número de golpes requerido para cerrar la ranura es una medida de esa resistencia al correspondiente contenido

de agua. De lo anterior puede deducirse que la resistencia de todos los suelos en el límite líquido debe ser la misma, siempre y cuando el impacto sirva solamente para deformar el suelo, como es el caso de los suelos plásticos; pero en el caso de los suelos no plásticos (arenosos), de mayor permeabilidad que las arcillas, las fuerzas de impacto producen un flujo del agua hacia la ranura, con la consecuencia de que el suelo se reblandece en las proximidades de aquella, disminuyendo su resistencia al esfuerzo cortante; por ello en esos suelos, el límite líquido ya no representa un contenido de agua para el cual el suelo presente una resistencia al corte definida.

También es importante mencionar el movimiento del suelo en la Cazuela de Casagrande, donde se ve que para cerrar la ranura, el movimiento se hace desde los taludes, el laboratorio del Departamento de Ingeniería del Terreno dice que, para entender el significado del ensayo mediante el dispositivo desarrollado por Casagrande, se puede decir que para golpes secos, la resistencia al corte dinámica de los taludes de la ranura se agota, generándose una estructura de flujo que produce el deslizamiento (ver Ilustración 4). La fuerza resistente a la deformación puede considerarse como la resistencia al corte de un suelo. La resistencia al corte de todos los suelos en el límite líquido es constante y tiene un valor aproximado de 2,2 kPa.

Ilustración 4. Deslizamiento de un suelo en el límite líquido



Fuente: Tomado de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3282/53973-5>

2.6 Software de PIV

2.6.1 PIVLab

PIVLab es una herramienta fundamental en la Velocimetría de Imágenes de Partículas (PIV), especialmente reconocida por su accesibilidad y precisión en la medición de flujos fluidos mediante imágenes digitales. Desarrollado como un complemento de código abierto para MATLAB, PIVLab. La DPIV es una técnica no intrusiva ampliamente utilizada para mapear cuantitativamente los campos de velocidad de fluidos. Para obtener mediciones precisas, PIVLab incorpora algoritmos avanzados que abarcan desde el precondicionamiento de imágenes hasta la interpolación y el suavizado de datos. Estos procesos son esenciales para evitar errores y asegurar la fiabilidad de los resultados en diversas aplicaciones como lo dice Stamhuis y Thielicke (2014).

En el ámbito de la geotecnia, PIVLab se utiliza para estudiar fenómenos relacionados con el flujo de suelos y materiales granulares. Por ejemplo, en la evaluación del uso de geoceldas sobre suelos arcillosos mediante modelación en centrífuga geotécnica, PIVLab permite analizar con precisión cómo las geoceldas afectan la distribución de esfuerzos y el comportamiento del suelo bajo diferentes cargas, Viana (2018).

Además, PIVLab ha sido comparado con otros programas de software libre como FUDAA-LSPIV para el monitoreo de ríos, demostrando consistentemente su eficiencia y rendimiento superior, especialmente en escenarios con menor densidad de trazadores sintéticos, Alongi (2020). PIVLab amplía las capacidades de investigación en geotecnia al proporcionar herramientas las cuales son accesibles gracias a la licencia proporcionada por la Universidad del Cauca para el análisis detallado de flujos y fenómenos de deformación en materiales geotécnicos, por lo tanto, se convierte en una de las opciones más adecuadas para el proyecto que se piensa ejecutar.

2.6.2 GeoPIV_RG

GeoPIV_RG permite a los investigadores obtener mediciones precisas y detalladas del comportamiento del suelo bajo diferentes condiciones experimentales. Su capacidad para analizar datos complejos de imágenes contribuye significativamente a la comprensión y predicción de fenómenos geotécnicos, mejorando así el diseño y la gestión de infraestructuras

civiles. Es una herramienta especializada en la medición de velocidades y deformaciones mediante la técnica de Velocimetría de Imágenes de Partículas (PIV). Se desarrolló originalmente para aplicaciones en mecánica de fluidos experimental y se adaptó para analizar desplazamientos en estudios geotécnicos, en los campos de deformación y desplazamiento en materiales bajo condiciones controladas, como las simulaciones en centrífuga geotécnica, se utiliza para procesar secuencias de imágenes digitales capturadas antes, durante y después de los ensayos. El software, se basa en MATLAB. Jiménez (2023).

Otro ejemplo es su aplicación en el estudio de la influencia de la inclinación en la estabilidad de taludes reforzados con pasto, donde se emplearon modelos físicos en centrífuga geotécnica. En este estudio, GeoPIV_RG permitió analizar con precisión los desplazamientos y deformaciones del suelo modelado, facilitando la evaluación del comportamiento del refuerzo natural y la respuesta del suelo ante variaciones en la pendiente del talud, Esquivel (2023).

2.6.3 OpenPiv

Es un software en Matlab, Python y C++ para análisis PIV. Combina el know-how de varios desarrolladores basándose en tres paquetes más antiguos: URAPIV, PyPIV y URAPIV-C++. Fue desarrollado por Taylor Z.J Gurka R., Kopp G.A y Liberzon A. en 2010. Se trata de un código de gran simplicidad, en comparación con el resto, que solo realiza un paso en cada análisis. Debido a esto, no se ha obtenido muy buenos resultados, sobre todo en las imágenes de menor calidad. Sanchez (2015)

2.6.4 UraPiv

URAPIV es una caja de herramientas de código abierto de Matlab para el análisis de velocimetría de imágenes de partículas (PIV). La velocimetría de imágenes de partículas es una técnica de medición de imágenes ópticas planas y no intrusivas que permite campos vectoriales de velocidad bidimensionales de alta resolución de flujos laminares y turbulentos. OpenPIV es el sucesor del popular software URAPIV, pero es más rápido, más fácil de usar y mucho más flexible. Gezelter (2006)

2.7 Funcionamiento de Software PIVLab

La estructura interna de PIVlab está diseñada para optimizar el análisis de Velocimetría por Imágenes de Partículas mediante un entorno programado en MATLAB. Este diseño agrupa módulos específicos que permiten un control detallado del proceso desde la interfaz gráfica, así como la posibilidad de ejecutar funciones clave de forma automatizada. Como señalan Thielicke y Stamhuis (2014):

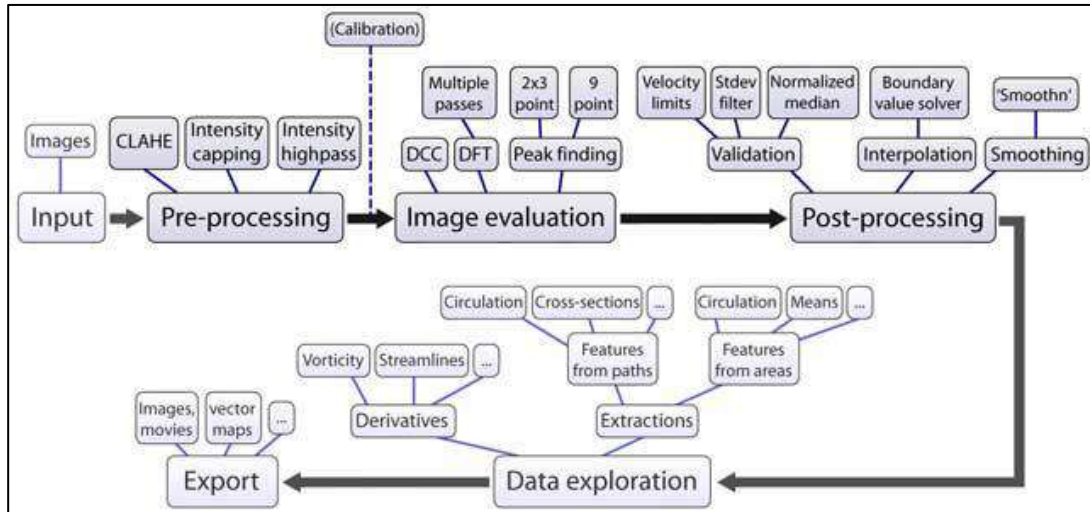
PIVlab está programado en MATLAB y, además, requiere la caja de herramientas de procesamiento de imágenes para su ejecución. El archivo principal es 'PIVlab_GUI.m'. Contiene todos los componentes del programa relacionados con la interfaz gráfica de usuario y la mayoría de las funciones accesibles desde ella. Las funciones más importantes para realizar un análisis PIV (preprocesamiento: 'PIVlab_preproc.m'; correlación cruzada: 'piv_FFTmulti.m' y 'piv_DCC.m') también son accesibles desde la línea de comandos (véase el ejemplo en 'PIVlab_commandline.m') cuando el usuario desea automatizar todo el proceso o incluirlo en otra aplicación.

2.8 Evaluación de imágenes

El análisis de imágenes en PIVlab se desarrolla siguiendo una secuencia lógica de pasos que facilitan la obtención de datos precisos. Desde la carga y el preprocesamiento hasta el posprocesamiento, el software proporciona herramientas que permiten configurar el flujo de trabajo de manera clara y eficiente. Thielicke y Stamhuis (2014) explican que:

Un análisis DPIV suele constar de tres pasos principales (preprocesamiento de imágenes, evaluación de imágenes y posprocesamiento; véase la Ilustración 5). Todos estos pasos son accesibles desde la interfaz gráfica de usuario de PIVlab. El flujo de trabajo se basa en menús, comenzando a la izquierda con las opciones de entrada y preprocesamiento de imágenes, y continuando a la derecha (evaluación de imágenes/análisis PIV, posprocesamiento y exploración de datos). Este flujo de trabajo se muestra en tutoriales y vídeos con capturas de pantalla disponibles en el sitio web del proyecto.

Ilustración 5. Análisis DPIV en PIVlab. Resumen del flujo de trabajo y las funciones implementadas que se presentan en las siguientes secciones.



Fuente: Tomado de <https://openresearchsoftware.metajnl.com/articles/10.5334/jors.bl>

La parte más sensible de un análisis DPIV es el algoritmo de correlación cruzada: pequeñas subimágenes (áreas de interrogación) de un par de imágenes se correlacionan para obtener el desplazamiento de partículas más probable en dichas áreas. En esencia, la correlación cruzada es una técnica estadística de coincidencia de patrones que busca encontrar el patrón de partículas del área de interrogación A en el área de interrogación B. Esta técnica estadística se implementa con la función de correlación cruzada discreta (véase Ecuación 2):

Ecuación 2 Correlación de desplazamiento.

$$C(m, n) = \sum_i \sum_j A(i, j) B(i - m, j - n)$$

Fuente: Tomado de <https://openresearchsoftware.metajnl.com/articles/10.5334/jors.bl>

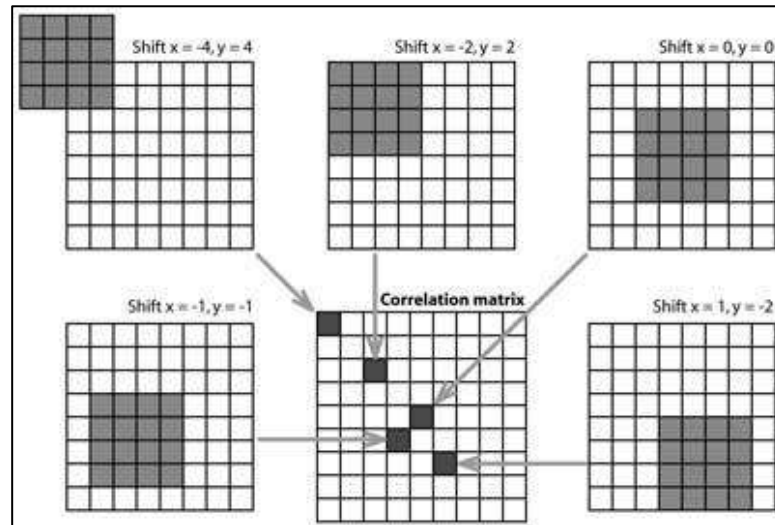
donde A y B son áreas de interrogación correspondientes de la imagen A y la imagen B.

La ubicación del pico de intensidad en la matriz de correlación resultante C proporciona el desplazamiento más probable de las partículas de A a B.

Existen dos enfoques comunes para resolver la ecuación 1: el más sencillo consiste en calcular la matriz de correlación en el dominio espacial (véase la Ilustración 6).

Este enfoque se denomina correlación cruzada directa, coincidencia de patrones de imágenes de partículas o filtrado por convolución.

Ilustración 6. Representación gráfica de la correlación.



Fuente: Tomado de <https://openresearchsoftware.metajnl.com/articles/10.5334/jors.bl>

Cálculo de la matriz de correlación mediante DCC, tal como se realiza en MATLAB. El área de interrogación A (tamaño 4,4 píxeles) se correlaciona con el área de interrogación B (tamaño 8,8 píxeles) y se obtiene la matriz de correlación (tamaño 9,9 píxeles). Adaptado de otro enfoque consiste en calcular la matriz de correlación en el dominio de la frecuencia (transformada discreta de Fourier, DFT). La DFT se calcula mediante una transformada rápida de Fourier. Ambos enfoques se implementan en PIVlab, ya que ambos presentan ventajas y desventajas; estas se presentarán brevemente en las siguientes secciones. Se pueden encontrar más detalles sobre los fundamentos matemáticos de la correlación cruzada en otras publicaciones.

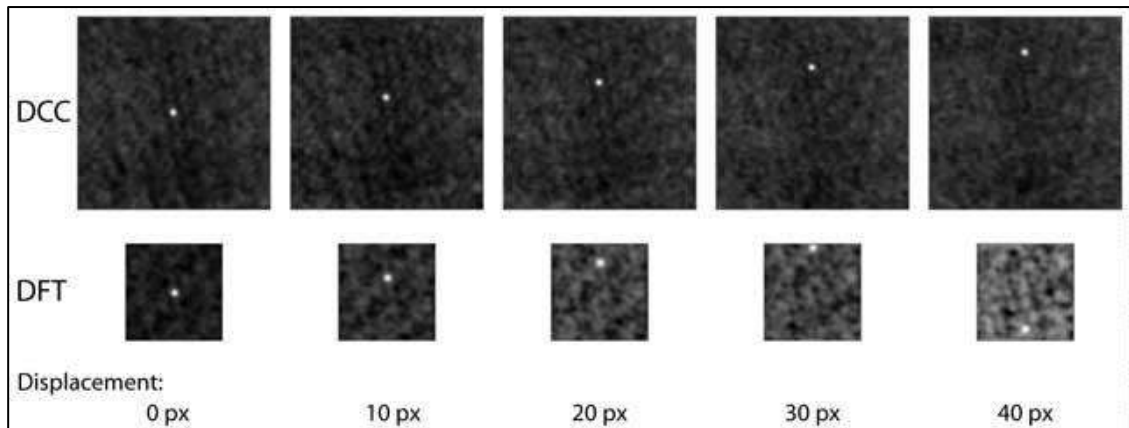
2.9 Correlación cruzada directa (DCC)

Uno de los métodos empleados por PIVlab para el análisis de desplazamientos de partículas es la correlación cruzada directa (DCC), la cual opera en el dominio espacial y ofrece una alta precisión en los resultados, aunque con mayor costo computacional. De acuerdo con Thielicke y Stamhuis (2014):

La correlación cruzada directa calcula la matriz de correlación en el dominio espacial. En DCC, las áreas de interrogación A y B pueden tener dos tamaños diferentes.

Cuando se elige B con un tamaño dos veces mayor que A, un desplazamiento de partículas de hasta la mitad del tamaño de A no resultará en pérdida de información y proporcionará una matriz de correlación confiable con bajo ruido de fondo. Se ha demostrado que DCC genera resultados más precisos que un enfoque DFT estándar. La desventaja de DCC es el mayor costo computacional con respecto a un enfoque DFT estándar, especialmente con áreas de interrogación grandes.

Ilustración 7. DDC y DFT.



Fuente: Tomado de <https://openresearchsoftware.metajnl.com/articles/10.5334/jors.bl>

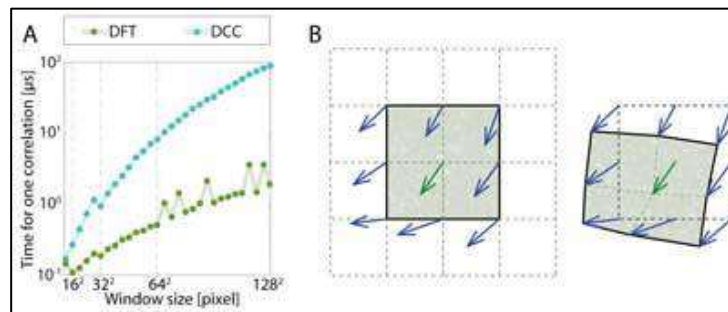
Matrices de correlación del DCC (arriba) y el enfoque DFT (abajo). El área de interrogación A es de 64,64 píxeles tanto para DCC como para DFT. El área B es de 128,128 píxeles en DCC y de 64,64 píxeles en DFT. En DCC, el ruido de fondo no aumenta hasta un desplazamiento de 32 píxeles. En DFT, el ruido de fondo aumenta inmediatamente si el desplazamiento es mayor de 0 píxeles. Un desplazamiento de más de 32 píxeles invertirá el pico de correlación al lado opuesto de la matriz de correlación, lo que imposibilita realizar mediciones correctas.

2.10 Transformada de Fourier discreta (DFT) y técnicas DFT avanzadas

El uso de la transformada discreta de Fourier (DFT) en PIVlab permite reducir los tiempos de cálculo frente a otros métodos, aunque implica ciertas pérdidas de información que pueden corregirse mediante técnicas avanzadas como la deformación de ventanas y múltiples pasadas. Tal como lo describen Thielićke y Stamhuis (2014):

La posible desventaja del DCC (el costo computacional) puede resolverse calculando la matriz de correlación en el dominio de frecuencia mediante FFT (véase la Ilustración 8 A). Este enfoque utiliza áreas de interrogación de tamaño idéntico; por lo tanto, cada desplazamiento de partícula induce cierta pérdida de información, lo cual puede notarse por la cantidad creciente de ruido de fondo en la matriz de correlación (véase la Ilustración 8 B, abajo). Este ruido de fondo complica la detección del pico de intensidad y disminuye la precisión. Por lo tanto, es recomendable reducir el desplazamiento a aproximadamente un cuarto del área de interrogación, para mantener bajo el ruido de fondo en la matriz de correlación.

Ilustración 8. DFT.



Fuente: Tomado de <https://openresearchsoftware.metajnl.com/articles/10.5334/jors.bl>

A: Velocidad de cálculo de DCC en comparación con DFT (ambos cálculos se realizaron en MATLAB). Para los cálculos de FFT, se utiliza FFTW, que acepta entradas de tamaño arbitrario, pero es lenta para tamaños primos o con factores primos grandes (obsérvense los picos en el gráfico). Generalmente, el enfoque DFT es mucho más rápido. **B:** Principio de la técnica de deformación de ventana. Izquierda: Tras el primer pase de interrogación, la información de desplazamiento está presente en nueve posiciones dentro del área de interrogación. Esta información se interpola para obtener el desplazamiento de cada píxel del área de interrogación. Posteriormente, se deforma el área de interrogación B, seguido de varios pases de interrogación adicionales. Esta desventaja se puede compensar ejecutando varias pasadas de la DFT en el mismo conjunto de datos: el resultado entero de la primera pasada de análisis se utiliza para compensar el área de interrogación en las pasadas posteriores. De este modo, se minimiza la pérdida de información debida al

desplazamiento de partículas. La cuadrícula de interrogación se puede refinar con cada pasada, lo que produce una alta resolución espacial en el mapa vectorial final, junto con un alto rango de velocidad dinámica y una relación señal-ruido óptima.

En flujos reales, los patrones de partículas se cizallarán y rotarán adicionalmente; el movimiento no uniforme de las partículas ampliará el pico de intensidad en la matriz de correlación y deteriorará el resultado. Se han propuesto varios métodos que explican la transformación de las áreas de interrogación. En PIVlab, se implementa el siguiente procedimiento: El análisis se inicia con un análisis DFT regular. El primer paso produce información de desplazamiento en el centro de cada área de interrogación. Cuando las áreas se superponen entre sí, por ejemplo, en un 50%, hay información de desplazamiento adicional en los bordes y las esquinas de cada área de interrogación (nueve posiciones en total, consulte la ilustración 8 B, izquierda). Esta información se utiliza para calcular la información de desplazamiento en cada píxel de las áreas de interrogación mediante interpolación bilineal. A continuación, el área de interrogación B se deforma de acuerdo con esta información de desplazamiento (consulte la ilustración 8 B, derecha) utilizando interpolación bilineal (más rápida) o interpolación spline (mayor precisión, pero más lenta). La siguiente pasada de interrogación correlaciona el área de interrogación original A con el área deformada B. Se acumula la información de desplazamiento restante de cada pasada. Tras varias pasadas, el desplazamiento se ha determinado con alta precisión. Entre las pasadas, pero no después de la pasada final, la información de velocidad se suaviza y valida, y la información faltante se interpola. La validación de datos puede ser relativamente estricta, ya que cualquier efecto de deterioro de la interpolación y el suavizado se corregirá en la correlación de la siguiente pasada.

3 SELECCIÓN DE MUESTRAS Y RECOLECCIÓN.

Para la toma de las muestras se utilizaron machete, pala, palín, aholladora, flexómetro y bolsas herméticas. Inicialmente, se seleccionaron sitios previamente estudiados y clasificados como suelos MH. En cada punto se tomaron coordenadas y se excavó manualmente hasta la profundidad deseada, procurando extraer la muestra alterada de la forma más limpia posible, evitando contaminación con el estrato orgánico superficial. En total, se recolectaron siete suelos MH distribuidos en diferentes sectores de Popayán, de los cuales finalmente se seleccionaron cinco para el análisis. Los descartes son principalmente a la falta de consistencia en los resultados de los ensayos de límite líquido, lo que impedía una caracterización confiable, así como a dificultades en la manipulación del material durante el trabajo de laboratorio.

El suelo 1, tomado en vereda La Cabuyera, Vía Popayán-Santander (Cauca) de color amarillo, con límite líquido de 61% e índice de plasticidad de 19%. Aunque su plasticidad es moderada, su textura fina y tonalidad amarilla sugieren la misma influencia de óxidos de hierro hidratados y arcillas de actividad media.

El suelo 2, recolectado en el K0+500 vía a Coconuco y a 1.50 m de profundidad, presenta color café amarillento, límite líquido de 114% e índice de plasticidad de 43%. Estos valores evidencian un comportamiento altamente plástico y se mostró menos pegajoso que otros suelos. Su estabilidad moderada ante cambios de humedad podría asociarse a una mineralogía con menor actividad expansiva, posiblemente caolinita, mientras que el color amarillo sugiere la presencia de óxidos de hierro hidratados.

El suelo 3, ubicado dentro de la Facultad de Ingeniería Civil, es de alta plasticidad y pegajosidad, aparenta tener un alto contenido de agua, y se adhiere con fuerza a la cazuela. Con un límite líquido de 84% e índice de plasticidad de 38%. Su elevada capacidad de retención de agua y adherencia confirma la presencia de arcillas activas, probablemente montmorillonita, lo que lo convierte en un material problemático para uso ingenieril sin estabilización previa.

El suelo 4, tomado en el K0+500 vía a Coconuco a 1.75 m de profundidad, corresponde a un material fino de color rojizo, con límite líquido de 50% e índice de plasticidad de 20%. Este

comportamiento confirma lo observado en campo, es susceptible a variaciones en el contenido de humedad, presentando una notable disminución en el número de golpes de cierre durante el ensayo de límite líquido, lo que sugiere presencia de arcillas expansivas como la montmorillonita.

El suelo, extraído a 2 m de profundidad en la zona de Reservas de la Hacienda, fue descartado. Durante los ensayos de límite líquido se obtuvieron seis valores muy dispersos entre sí, sin un patrón de repetibilidad aceptable, lo que indica una fuerte heterogeneidad interna o posibles errores por su alta sensibilidad a la humedad y textura variable. Esta falta de consistencia impidió su uso en el análisis comparativo.

El suelo 5, tomado en la entrada a Pueblillo a 2 m de profundidad, es de color rojizo y comparte similitudes con el suelo 1, presentando límite líquido de 64% e índice de plasticidad de 18%. Su moderada plasticidad, sumada a la susceptibilidad al agua, confirma un comportamiento inestable frente a variaciones de humedad.

Finalmente, el suelo, ubicado también en el K0+500 vía a Coconuco, pero en un talud lateral, fue descartado por la misma razón que el suelo de reservas de la hacienda, la falta de consistencia en los resultados de límite líquido, lo que hacía inviable su caracterización confiable. En la Tabla 1 se observan los cinco suelos MH elegidos.

Tabla 1. Referencia de las muestras de MH tomadas para el estudio.

Muestra	Localización	Profundidad (m)	Descripción	Coordenadas Geográficas Longitud, latitud.
1	Suelo vereda La Cabuyera, Vía Popayán-Santander (Cauca) MH001	1.25 - 2.00	Suelo color café amarillento	2.52406 -76.54669
2	K0+500 vía al Huila MH002	1.50 - 2.00	Suelo color café amarillento	2.44755 -76.5887
3	Talud de Facultad de Contables UNICAUCA MH003	1.60 - 2.00	Suelo color café	2.4463 -76.5976
4	K0+500 vía al Huila MH004	1.75 - 2.00	Suelo fino de color rojizo	2.44746 -76.5884
5	K0+500 Entrada Pueblillo MH005	1.50 - 2.00	Suelo fino de color rojizo	2.44603 -76.5877

En el caso de los suelos clasificados como ML, se realizaron cuatro excavaciones en la vereda El Charco, sobre la vía Popayán–El Tambo. Las dos primeras se ubicaron antes del sector conocido como “Villa Linda Las Palmas”, mientras que las otras dos se extrajeron 2.14 kilómetros más adelante, en dirección a El Tambo.

En el laboratorio, tras realizar los ensayos de límites de Atterberg, se determinó que, de las dos primeras muestras, una correspondía en realidad a un suelo MH de color amarillo, por lo que se descartó del grupo de ML. La segunda sí cumplía con las características buscadas para un ML, presentando un color gris, límite líquido de 36% e índice de plasticidad de 5%. Su baja plasticidad y escasa cohesión coincidían con lo observado, el material no era pegajoso, con textura arenosa, que tendía a agrietarse con facilidad al ranurarlo, dificultando la realización del ensayo de límite líquido.

En el segundo punto de muestreo ocurrió una situación similar, una de las muestras correspondía a un MH, mientras que la otra resultó ser un ML. Este último presentaba un color gris más claro que el anterior, con límite líquido de 44% y límite plástico de 33%. Su comportamiento era muy parecido al ML del primer sector, mostrando baja pegajosidad, estructura más suelta y tendencia a agrietarse durante la manipulación, aunque su límite líquido más alto que indica una ligera mayor retención de agua.

El suelo ML no fue posible conseguirlo en Popayán y zonas cercanas ya que no se encuentra fácilmente, por tanto, con los dos suelos ML encontrados se procedió a realizar mezclas con diferentes proporciones para posteriores ensayos y análisis comparativos, una mezcla 50% de cada suelo, otra con 70% del ML gris más oscuro y 30% del gris claro, y una tercera con 70% del gris claro y 30% del gris oscuro. La experiencia adquirida en los ensayos previos de los suelos MH facilitó la preparación y manipulación de estos materiales, permitiendo obtener resultados más consistentes en menor tiempo. En la Tabla se encuentran los dos suelos que se pudieron recolectar y que si corresponden a las características de los ML.

Tabla 3. Referencia de las muestras de ML tomadas para el estudio.

Muestra	Localización	Profundidad (m)	Descripción	Coordenadas Geográficas Longitud, latitud.
6	Sobre la vía Popayán – El Tambo ML001	1.5 - 2.00	Suelo Gris Oscuro	2.47926 -76.6942
7	Sobre la vía Popayán – El Tambo ML002	1.75 - 200	Suelo Gris claro	2.48122 -76.7118
8	Suelo Proporcionado 50% ML001 y 50% ML002 (ML003)	1.75	Suelo Gris	
9	Suelo Proporcionado 70% ML001 y 30% ML002 (ML003)	1.75	Suelo Gris	
10	Suelo Proporcionado 30% ML001 y 70% ML002 (ML003)	1.75	Suelo Gris	

Ilustración 9. Zonas de Popayán con puntos de muestreo suelos MH

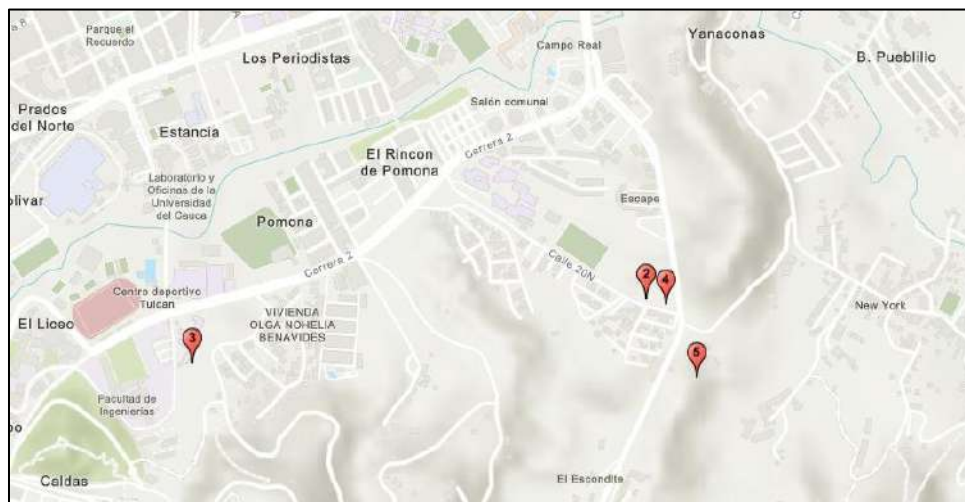


Ilustración 10. Zonas de Popayán con puntos de muestreo suelo MH



Ilustración 11. Zonas de Popayán con puntos de muestreo suelos ML



Ilustración 12. Recolección de muestra de Vía al Huila en el PR 2 MH001



Ilustración 13. Recolección de muestra de K0+500 vía al Huila MH002



Ilustración 14. Recolección de muestra Talud de Facultad de Contables UNICAUCA MH003



Ilustración 15. Toma de muestras de K0+500 vía al Huila MH004



Ilustración 16. Toma de muestras de K0+500 Entrada Pueblillo MH005



Ilustración 17. Toma de muestras Sobre la vía Popayán – El Tambo ML001



Ilustración 18. Toma de muestras Sobre la vía Popayán – El Tambo ML002



4 DISEÑO DEL EXPERIMENTO, MONTAJE DEL EQUIPO Y MANEJO DEL SOFTWARE

4.1 Diseño del experimento y montaje del equipo.

El montaje que se realizó en el laboratorio para la realización tanto de la toma de imágenes, como para la realización del ensayo de limite liquido fue el siguiente:

Toma de imágenes:

Trípode para soporte de cámara

Ilustración 19. Trípode para Cámara



Trípode para soporte de Luz

Ilustración 20. Trípode de Luz



Cinta Métrica

Ilustración 21. Cinta métrica



Ensayo de Limite Liquido:

Cazuela de Casagrande mecánica

Ilustración 22 Cazuela de Casagrande.



Ranurador plano

Ilustración 23. Ranurador Plano



Ranurador curvo (medida de altura de caída para la cazuela)

Ilustración 24. Ranurador curvo



Acrílico

Ilustración 25 Acrílico.



Espátula y cuchillo

Ilustración 26. Espátula y cuchillo



Tamiz # 10 y #40, vasos de helado y platones

Ilustración 27. Tamices, platones y vasos



Agua destilada

Ilustración 28. Agua destilada



En el procedimiento para el montaje para la toma de imágenes se tuvo que realizar una estandarización de las medidas tanto de altura de Celular-Cazuela y Celular-Luz, estas medidas consistieron en tomar distancias con la cinta métrica, las cuales fueron: la distancia desde la cámara del celular hasta la base de la cazuela que fue de 21 cm, la altura del aro de luz hasta el mesón de 38 cm y desde la linterna hasta el mesón de 28 cm. Adicionalmente se tuvo en cuenta la medida de las patas del trípode al borde del mesón fue de 15 cm.

Ilustración 29. Altura Celular-Base de cazuela de Casagrande



Ilustración 30. Altura Celular-Cazuela



Ilustración 31. Medida desde patas del trípode-borde mesón



Ilustración 32. medida desde aro de luz -mesón



Ilustración 33. Medida desde linterna de celular-mesón



Cabe resaltar que el trípode que se usó para el celular tiene un ojo de pollo para garantizar la nivelación correcta.

Ilustración 34. Ojo de pollo del Trípode de cámara



Además es importante mencionar las características del celular usado para la toma de imágenes, el cual es un iPhone 11 pro max, el cual tiene las siguientes características de su cámara y son las que están activas al momento de iniciar la grabación: Grabación de video HD de 1080p a 30 cps, Estabilización óptica de imagen para video (gran angular y teleobjetivo), Flash True Tone más brillante, Video QuickTake con seguimiento de sujeto, Video con autoenfoco continuo, Cps para poca luz, Cudricula, Hdr inteligente, Nivel, Eficiencia compatible JPEG/H.264.

Finalmente, en el proceso de grabación de los videos se toma una medida con la cinta métrica hacia la cazuela, ya que en el programa se pide una medida real para hacer el proceso de la escala

Ilustración 35. Toma de la medida real-Cazuela



El montaje para la realización del ensayo de limite líquido, estuvo basado de una serie de pasos que se repetían en cada muestra, los cuales eran: el ajuste de la cazuela, donde se verificaba que la altura de caída estuviese siempre en 1 cm y que los tornillos que se ajustaban a ella estuvieran apretados, y que su caída fuera en el mismo lugar, esto se hacía con el ajuste de estos tornillos. Luego ya se procedía hacer el montaje de la muestra como lo menciona la norma INVE-125, y se procedía a realizar la grabación en el momento que la cazuela empezaba a dar el primer golpe, hasta cerrar la ranura, adicionalmente como se mencionó anteriormente se tomaba la medida real de la cazuela.

Ilustración 36. Verificación de altura de caída



Ilustración 37. Montaje final del suelo



Ilustración 38. Grabación del ensayo de limite liquido



4.2 Manejo del software – PIVlab

PIVLab es un software de Velocimetría de imágenes de partículas (PIV) de código abierto que no solo calcula la distribución de velocidad dentro de pares de imágenes, sino que también se puede utilizar para derivar, mostrar y exportar múltiples parámetros del patrón de flujo.

4.2.1 Procesamiento de imágenes y obtención de datos de velocidad y breve mención de cómo se cargaron y procesaron las imágenes en PIVLab

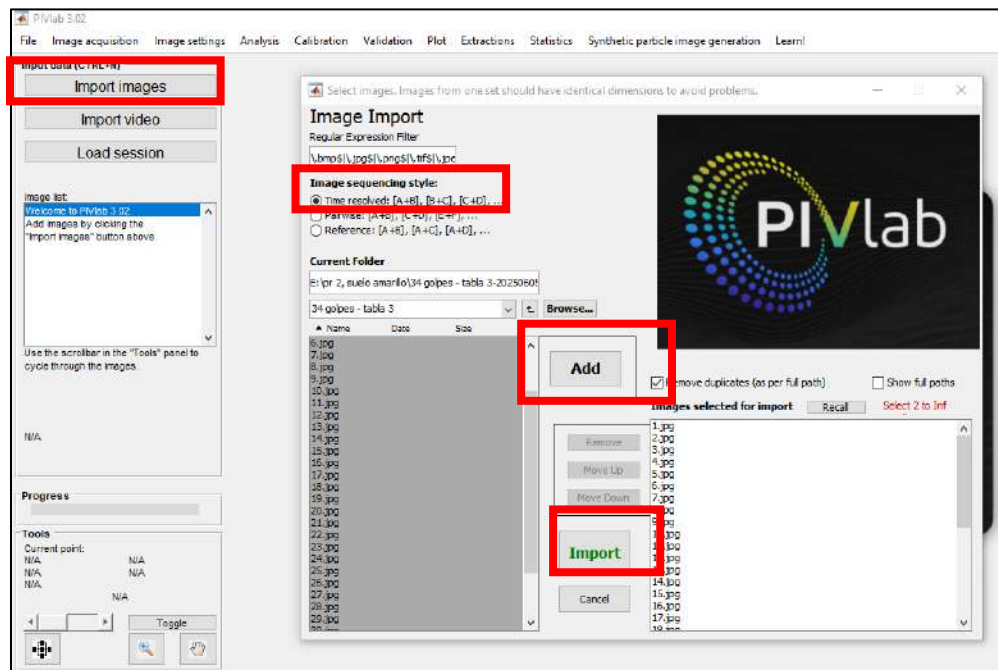
1. Se inicia con la importación o cargue de imágenes, donde inicialmente se da clic en “Import Images” y se despliega la siguiente ventana, aquí en el ítem “Image sequencing style” se selecciona la primera opción “Time resolved” donde se evalúa la primera imagen con la segunda, la segunda imagen con la tercera, de esta misma manera hasta llegar a la última imagen, se seleccionó esta manera debido a que, el programa calcula la distribución de velocidad dentro de pares de imágenes y para tener una secuencia correcta de estas velocidades y que se vea el cambio de esta misma a medida de que transcurre el número de golpes debe ser de manera continua su evaluación, las otras dos

opciones no resuelven nuestra necesidad, debido a que la opción “Pirwise” debido a que evalúa las imágenes en pares pero sin tener en cuenta la anterior imagen, por lo cual la velocidad que se va a obtener de esta manera será analizada solo por cada par de imágenes pero no será de manera secuencial y la última opción “Reference” lo que hace es que analiza la primera imagen con todas las siguientes, lo que va a generar unas velocidades muy grandes ya que el programa va a analizar grandes movimientos de pixeles y va a generar unas velocidades que no son secuenciales sino acumuladas .

Luego de esto, en el ítem “Current Folder”, se selecciona la carpeta donde están ubicadas las imágenes y con clic sostenido se selecciona las imágenes que queremos subir. Es importante resaltar que en el laboratorio lo que se hace es grabar un video de los golpes de la cazuela, donde posteriormente se toma recortes del video, quedando en imágenes, están imágenes son tomadas en un mismo intervalo de tiempo y teniendo en cuenta que es justo en el momento donde la cazuela golpea la base.

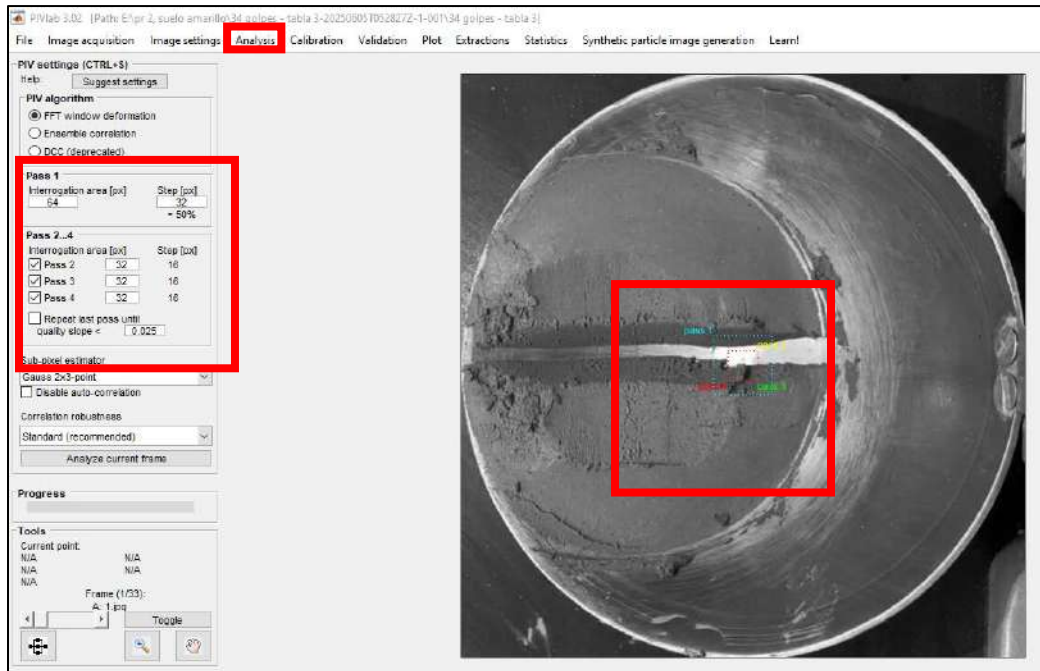
Por siguiente se da clic en “Add” y seguido por “import” donde queda finalmente subidas todas las imágenes que queremos analizar.

Ilustración 39. Importación o cargue de imágenes



2. Se siguió con la configuración de PIVLab, inicialmente entramos a la pestaña “Analysis” y se comienza a evaluar las áreas de interrogación, donde seleccionamos unas áreas grandes para una correlación robusta, y luego reduce el tamaño en pasadas posteriores para mejorar la resolución, por esto los valores varían en los ítems “Pass 1, 2, 3 y 4”.

Ilustración 40. Configuración de PIVLab



3. Posteriormente se realizó la calibración en cuanto los píxeles que corresponden a la imagen, para esto se debe subir una imagen de referencia dando clic en el ítem “Load calibration image”, con esta imagen se realizó la selección de una distancia de referencia y con esto el ingreso de una distancia real, la cual fue seleccionada desde el ancho que realiza el ranurador plano al quitar el exceso de suelo y el intervalo de tiempo entre las imágenes antes de validar los datos.

Ilustración 41. Selección de una distancia de referencia

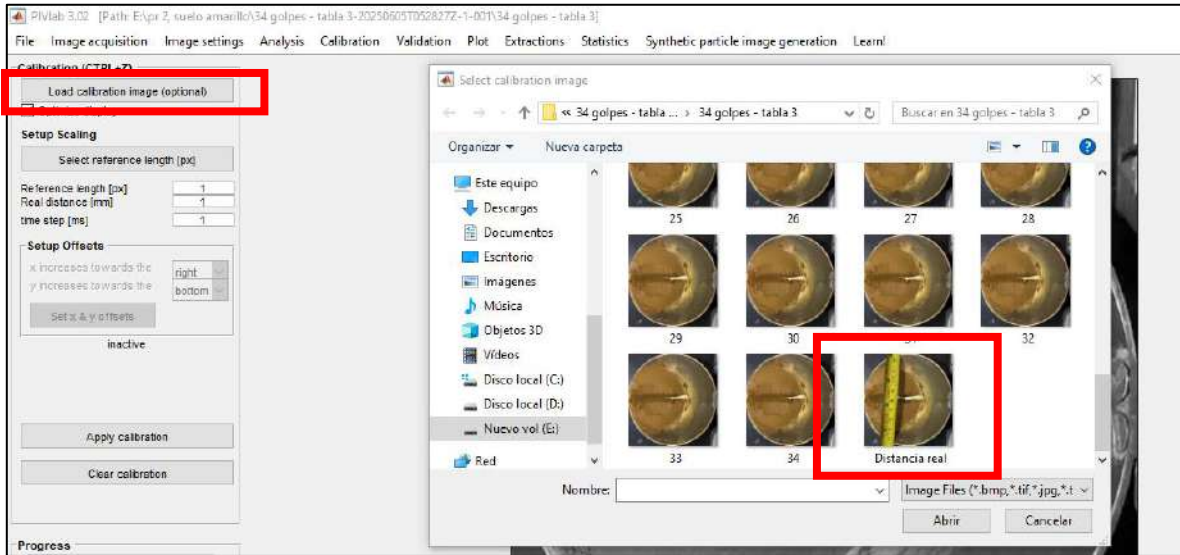


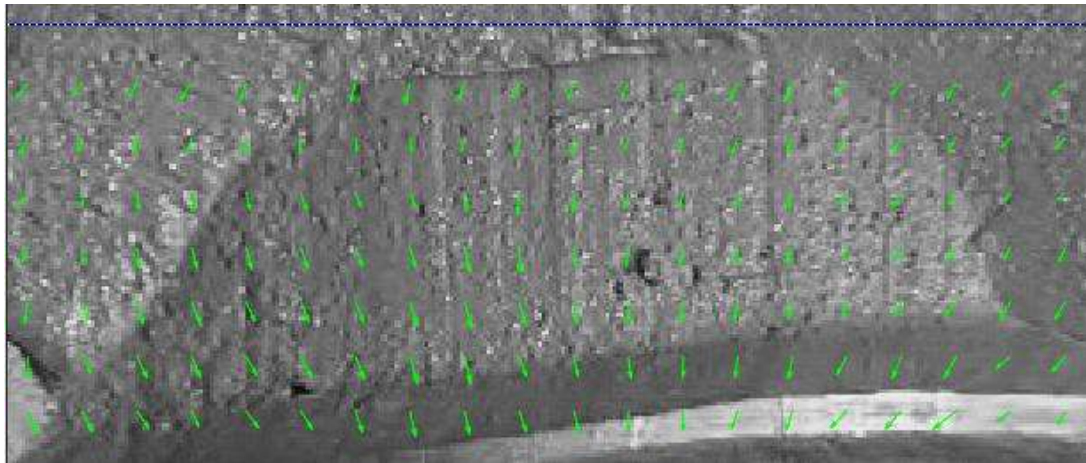
Ilustración 42. Calibración en cuánto los píxeles que corresponden a la imagen



4. Luego en la ventana “Image settings” se define un área de interés, esto debido a que la velocidad que nos arroja el programa está dada a través del movimiento de los vectores que se analizan a través del cambio de los píxeles de una imagen a otra, por esto el sentido positivo o negativo de las velocidades depende del movimiento del

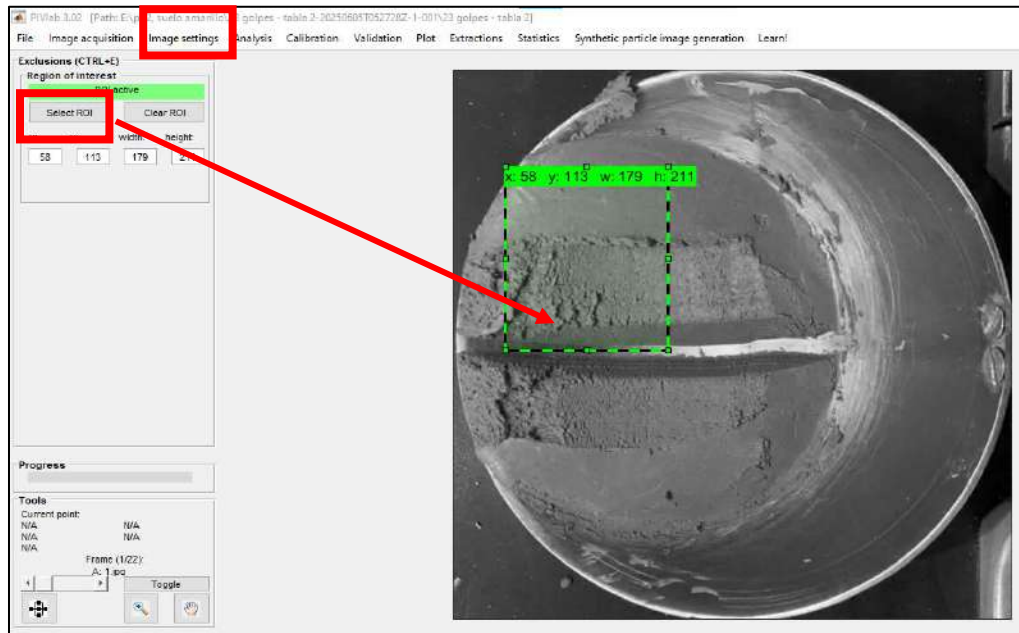
suelo; el sistema de coordenadas se define de la siguiente manera: el sistema de coordenadas estándar de los datos de imagen tiene su origen en la esquina superior izquierda. PIVlab también utiliza este sistema de coordenadas. Las velocidades en la dirección horizontal (x) se denominan " u " y las velocidades en la dirección vertical (y) se denominan " v ". Una v positiva es de arriba a abajo y una u positiva es de izquierda a derecha. En la Ilustración 43, en los cuadrantes superiores los vectores se desplazan hacia el centro de la imagen. En el cuadrante izquierdo, las componentes de velocidad u y v son positivas (movimiento hacia abajo y hacia la derecha), mientras que, en el cuadrante derecho, la componente v se mantiene positiva (hacia abajo) pero la u es negativa (hacia la izquierda). Esta configuración evidencia la simetría del flujo respecto al eje vertical central.

Ilustración 43. Desplazamiento hacia el centro en los cuadrantes superiores



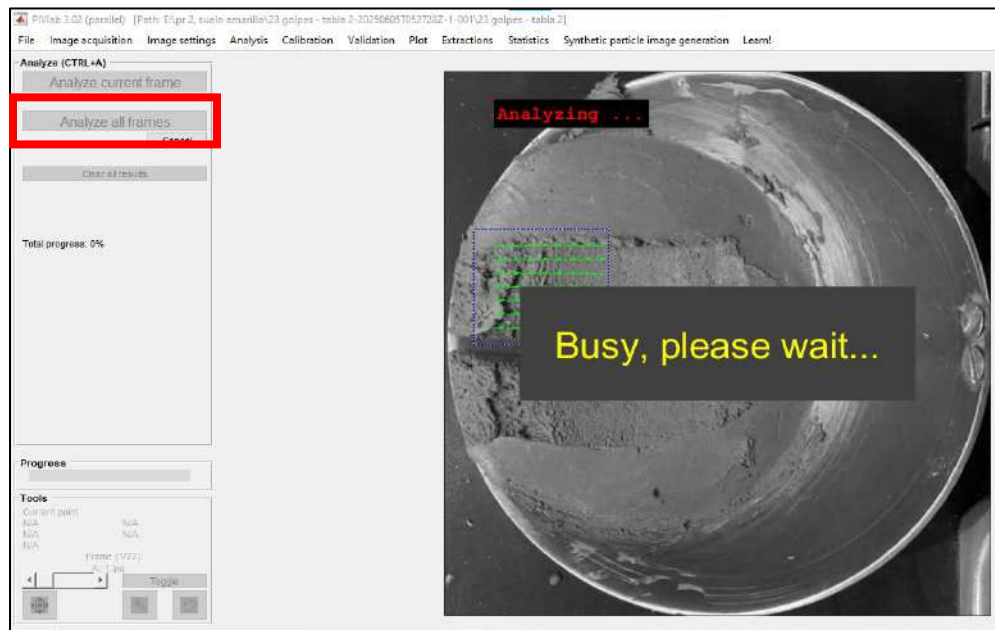
En el análisis se seleccionó únicamente el cuadrante izquierdo de la imagen, puesto que este sector refleja de manera clara y consistente el comportamiento del flujo hacia el centro, sin necesidad de abarcar la totalidad de los cuadrantes que presentan una dinámica simétrica. En esta zona, tanto la componente horizontal (v) como la vertical (u) mantienen siempre valores positivos, lo que facilita la interpretación de los resultados y elimina la ambigüedad asociada a los cambios de signo en otras regiones. De esta forma, se garantiza un análisis representativo, reduciendo la complejidad del procesamiento y evitando la mezcla de vectores que podrían distorsionar los promedios de velocidad

Ilustración 44. Definir un área de interés



5. Finalmente en la ventana “Analysis” se da clic en el item “Analysis all frames” y el software inicia con el proceso de análisis de cada fotograma.

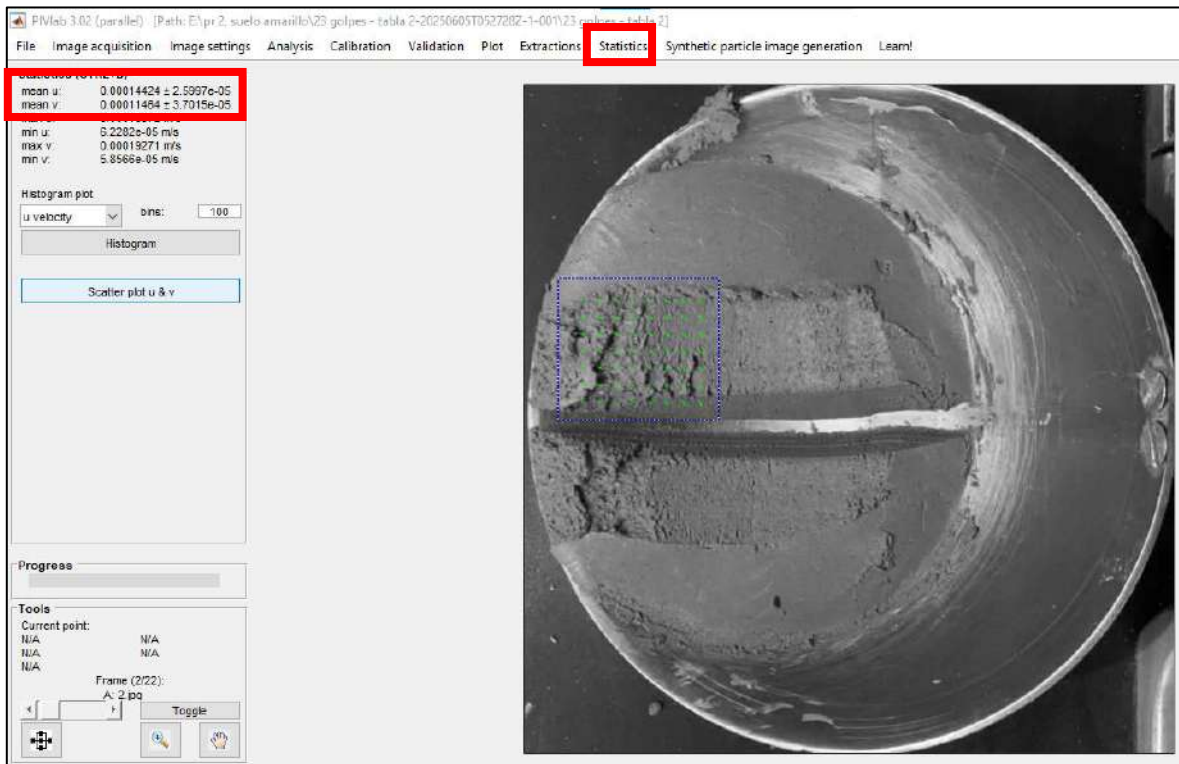
Ilustración 45. Análisis de cada fotograma



Por último, se da clic en la ventana “Statistics” ya que aquí es arrojada la velocidad analizada por cada par de imágenes consecutivas, las velocidades están en forma

“vectorial” por lo cual se debe tener en cuenta las dos direcciones de velocidades arrojadas.

Ilustración 46. Resultado de velocidades analizadas



4.2.2 ¿Cuántos ensayos se realizaron?

Para los suelos MH se extrajeron cinco muestras y para los suelos ML dos muestras y tres mezclas, para un total de 10 muestras de suelo, para cada muestra de suelo, se le realizó un total de tres límites líquidos, y se utilizó el método multipunto (4 rangos de humedad). Se hicieron 2 límite plástico para cada muestra; así, obteniendo un total de 120 puntos del límite líquido y 60 puntos de límite plástico. Es muy importante resaltar que en la realización de este ensayo se obtuvieron múltiples problemas, tanto con la cazuela, y también con dificultad de algunos suelos para ser ranurados y asimismo obtener límites líquidos coherentes, debido a todos los problemas anteriormente mencionados, se tuvo que agregar más tiempo de lo planeado en el cronograma al proceso de laboratorio.

4.2.3 Explicación de cómo se extrajo la información de velocidad de las partículas.

En el proceso de la extracción de velocidad en el programa PIVLab, se obtuvieron problemas debido a el movimiento del suelo en la cazuela, ya que el programa se basa en cuanto a la dirección de los vectores, por lo cual se optó por tomar un área de estudio en específica, que es el cuarto superior izquierdo de la imagen de la cazuela, en la cual los vectores van a una dirección donde arrojan las velocidades con un sentido positivo, debido a esto se tuvo que hacer un análisis más detallado de cuales imágenes debían ser seleccionadas para ser procesadas en este software, ya que la cazuela no cae en un solo lugar, exacto, por lo cual se seleccionó imágenes en la que no hayan diferencias abruptas en su movimiento, y se evaluó por grupos de imágenes que tenían el mismo lugar de caída, con estas consideraciones, las imágenes que se evaluaron se redujeron a menos del 50% de las imágenes iniciales y con esto se obtuvo menores datos de velocidad, pero valores coherentes en su totalidad.

4.2.4 Depuración de datos: criterios usados para eliminar valores atípicos o inconsistentes.

Como se mencionó en el anterior ítem, se realizó una depuración de datos desde la selección de imágenes a usar en el software, pero también se hizo una depuración de datos al graficar número de golpes vs velocidad, debido a que, a mayor número de golpes, la velocidad debe tener un comportamiento decreciente, consecuentemente en más de una ocasión se obtuvo algunos datos erróneos por lo cual se optó por eliminar estos datos atípicos.

5 PRUEBAS DE LABORATORIO Y OBTENCION DE DATOS

Inicialmente, se prepara la muestra de suelo dejándola secar al sol en una bandeja y luego tamizándola por el tamiz número 40. Una vez obtenido el pasante del tamiz 40, se procede a mezclarlo con agua destilada hasta obtener una masa homogénea y suave, sin partículas duras.

A continuación, se coloca la mezcla en la cazuela de Casagrande y se deja caer repetidamente hasta que se produzca una grieta de aproximadamente 1 cm de longitud en un rango de 25 a 35 golpes. Luego, se deja reposar la muestra durante 16 horas. Al día siguiente, se procede a realizar el ensayo de límite líquido utilizando la cazuela de Casagrande. Se coloca la muestra en la cazuela, se ajusta la altura y se graba el proceso hasta que se cierre la grieta.

Finalmente, se toma una muestra del suelo en el punto de cierre de la grieta y se coloca en un recipiente para determinar su contenido de humedad. Esta muestra se pesa y se utiliza como testigo para calcular el límite líquido del suelo. Este procedimiento permite obtener resultados precisos y confiables para caracterizar las propiedades del suelo.

Ilustración 47 Equipo límite



Ilustración 48 Suelo espatulado



Ilustración 49 Montaje del suelo en la cazuela



Ilustración 50 Se quitan vacíos y se enraza a no más de 1cm de altura



Ilustración 51 Se ranura el suelo



Ilustración 52 El ranurador debe pasarse perpendicular a la cazuela



Ilustración 53 Los taludes se cierran en determinado punto



Ilustración 54 Se toma el testigo de humedad



5.1 Clasificación de suelos, datos de límites líquidos y límites plásticos

Para realizar la obtención del límite líquido para cada suelo se usó el método A (multipunto) mencionado en la norma INV E 125, en la que se menciona: En este método se requiere tres determinaciones en la Cazuela Casagrande sobre un rango de humedad donde se pueda ubicar el límite líquido. Pero por la falta de experiencia se optó por tomar cuatro determinaciones para los tres límite líquido que se hizo por suelo para tener una mejor precisión.

Los rangos de golpes que se usó para cada límite son los siguientes:

Tabla 2. Rangos de golpes usados por cada límite líquido

Ensayo	Rango de golpes
1	15-20
2	20-25
3	25-30
4	30-35

Por cada suelo se realizaron tres limite líquido, por lo que finalmente se obtuvo 12 puntos por cada suelo, debido a esto solo se va a mostrar el cálculo tipo para un solo suelo, debido a que este proceso es repetitivo:

P1: Masa húmeda + Recipiente.

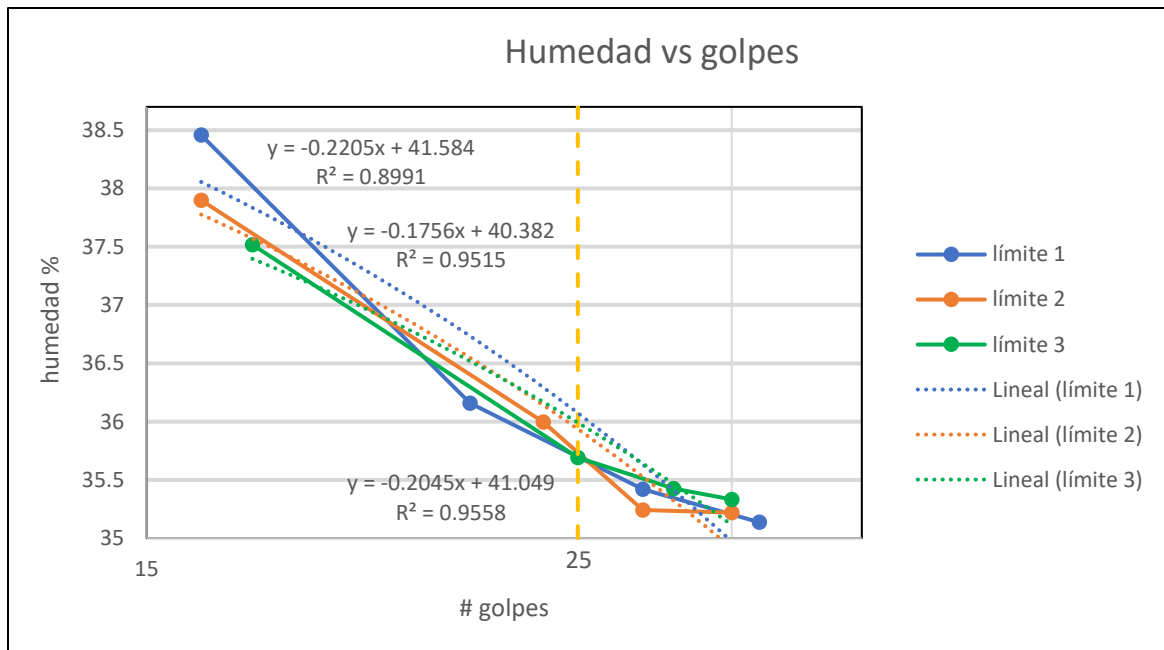
P2: Masa seca + Recipiente.

P3: Masa de Recipiente.

$$\text{Humedad (\%)} = \frac{(P1 - P3) - (P2 - P3)}{(P2 - P3)} * 100$$

Los datos de humedad W (%) y número de golpes permiten obtener una línea de tendencia cuya ecuación se determina con Excel para mayor precisión, esto se hace con los tres limite líquido que se obtuvo para el suelo y luego se hace un promedio de los resultados de las ecuaciones de la línea de tendencia a los 25 golpes, y así se determina el límite líquido para ese suelo.

Ilustración 55. Grafica de Humedad vs Golpes



Calculo tipo de la ecuación de línea de tendencia:

Ecuación 3. Ecuación de línea de tendencia

$$y = -0.2045x + 41.049 \rightarrow$$

$$-0.2045*(25\text{golpes}) + 41.049 = 35.9365$$

Tabla 3. Resultados de Limite liquido de cada línea de tendencia

LIMITE LIQUIDO (25 golpes)	
limite 1	36.071
limite 2	35.936
limite 3	35.992
promedio	36.072

El proceso para determinar el límite plástico es similar al del límite líquido, para cada suelo se tomó tres limites plasticos y se realiza el promedio de estos para determinar el límite plástico de este suelo.

Al final de la sección 5.1, se podrá la Gráfica de plasticidad del USCS con los puntos de cada suelo para realizar su respectiva clasificación.

5.1.1 Suelo vereda La Cabuyera, Vía Popayán- Santander (Cauca) MH001

Tabla 4. Resultados de límite líquido para muestra MH001

MUESTRA #	Masa humedad + recipiente, g P1	Masa seca + recipiente, g P2	Masa de recipiente, g P3	Humedad %
15	13.365	10.389	5.891	66.163
22	13.212	10.440	5.963	61.916
25	12.216	9.821	5.898	61.050
30	11.113	9.208	5.947	58.418
MUESTRA #	Masa humedad + recipiente, g P1	Masa seca + recipiente, g P2	Masa de recipiente, g P3	Humedad %
15	13.525	10.477	5.872	66.189
23	12.067	9.688	5.823	61.552
26	12.327	9.884	5.877	60.968
30	14.491	11.363	5.996	58.282
MUESTRA #	Masa humedad + recipiente, g P1	Masa seca + recipiente, g P2	Masa de recipiente, g P3	Humedad %
19	14.416	10.967	5.655	64.928
23	13.886	10.892	6.009	61.315
27	16.800	12.663	5.799	60.271
34	11.416	9.355	5.775	57.570

Ilustración 56. Grafica de Humedad vs Golpes MH001

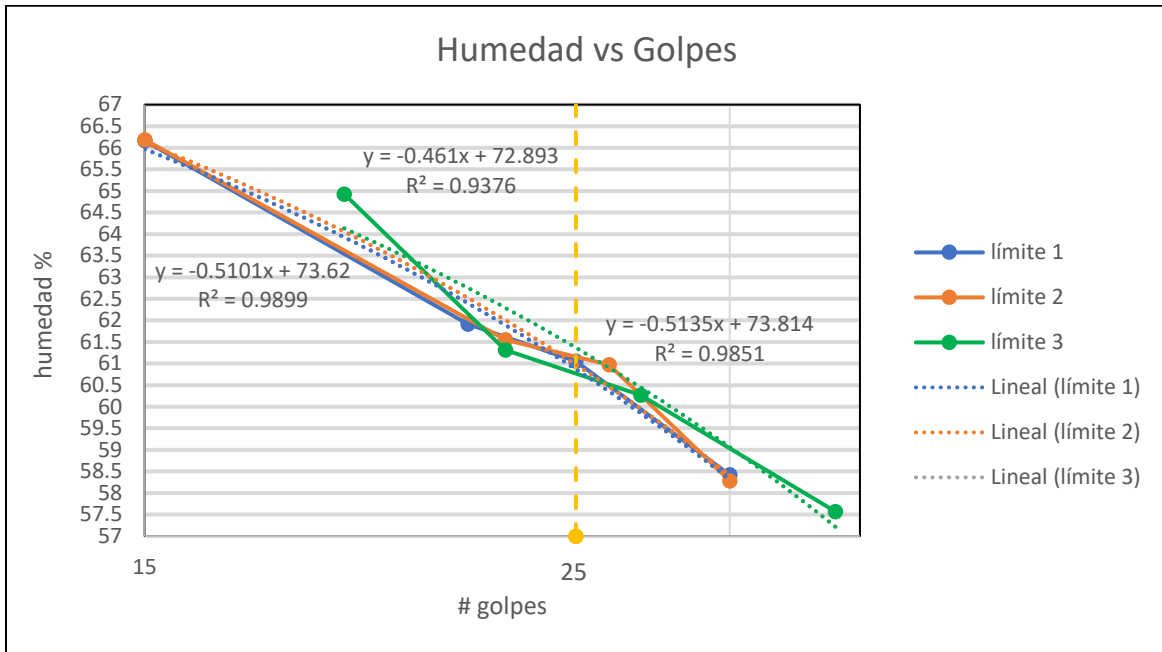


Tabla 5. Resultados de Limite liquido de cada línea de tendencia

LIMITE LIQUIDO (25 golpes)	
limite 1	60.868
limite 2	60.977
limite 3	61.368
promedio	61.071

Tabla 6. Resultados de límite plástico para muestra MH001

MUESTRA #	Masa humedad + recipiente, g P1	Masa seca + recipiente, g P2	Masa de recipiente, g P3	Humedad %
1	12.055	10.217	5.800	41.612
1	13.621	11.342	5.867	41.626
MUESTRA #	Masa humedad + recipiente, g P1	Masa seca + recipiente, g P2	Masa de recipiente, g P3	Humedad %
2	15.524	12.690	5.883	41.634
2	13.967	11.519	5.657	41.760
MUESTRA #	Masa humedad + recipiente, g P1	Masa seca + recipiente, g P2	Masa de recipiente, g P3	Humedad %
3	13.872	11.515	5.845	41.570
3	12.632	10.648	5.892	41.716
prom				41.653

Tabla 7. Límites para caracterización del suelo

LL (%)	61.07
LP (%)	41.65
IP (%)	19.42

5.1.2 Pr0+500 Vía al Huila, suelo amarillo MH0002

Ilustración 57. Grafica de Humedad vs Golpes MH002

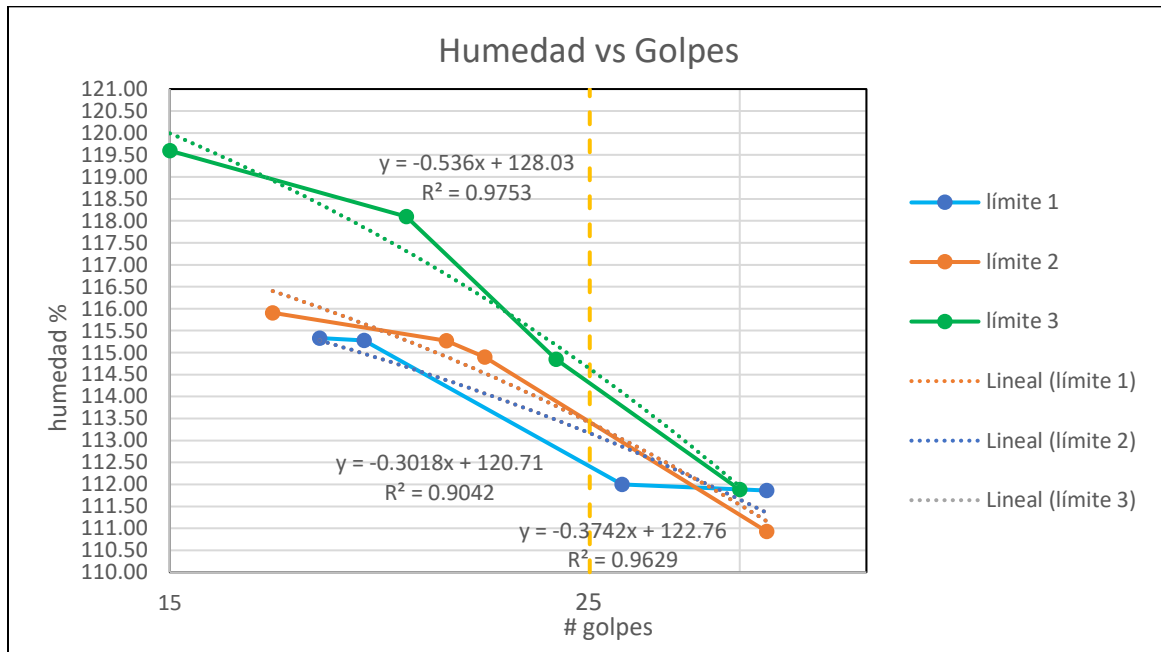


Tabla 8. Resultados de Limite liquido de cada línea de tendencia

LIMITE LIQUIDO (25 golpes)	
limite 1	113.113
limite 2	113.433
limite 3	114.673
promedio	113.739

Tabla 9. Límites para caracterización del suelo

LL (%)	113.74
LP (%)	71.11
IP (%)	42.63

5.1.3 Talud de Fac. Contables, suelo amarillo MH003

Ilustración 58. Grafica de Humedad vs Golpes MH003

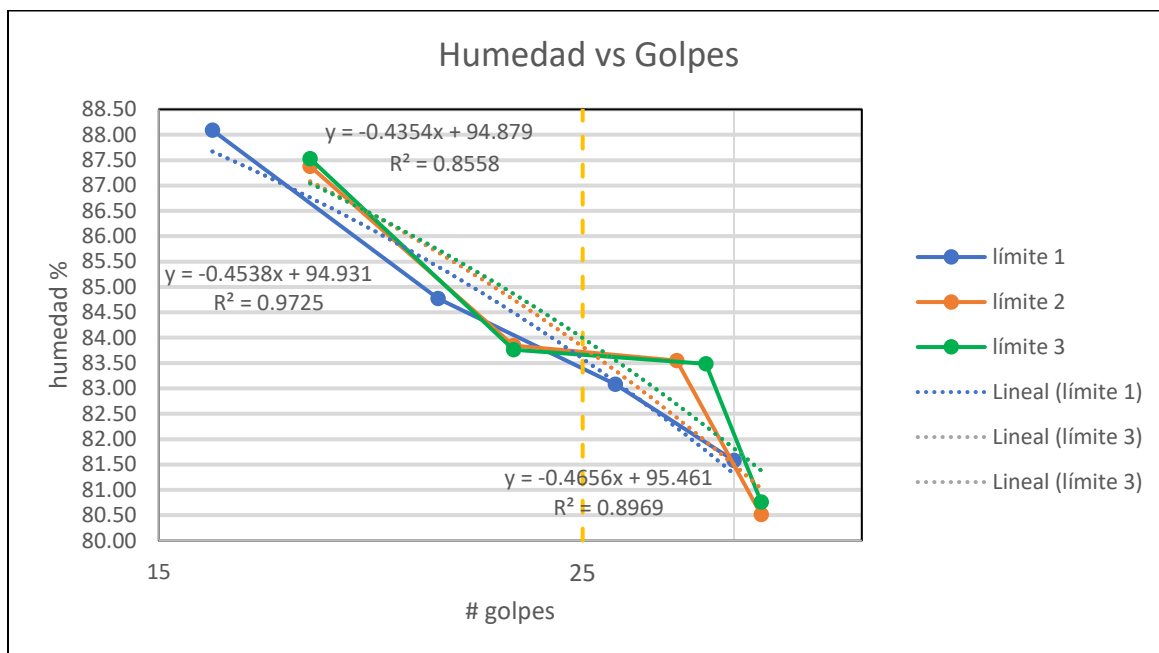


Tabla 10. Resultados de Limite liquido de cada línea de tendencia

LIMITE LIQUIDO (25 golpes)	
limite 1	83.586
limite 2	83.821
limite 3	83.994
Promedio	83.800

Tabla 11. Límites para caracterización del suelo

LL (%)	83.80
LP (%)	45.90
IP (%)	37.90

5.1.4 Pr0+500 Vía al Huila, suelo rojo MH004

Ilustración 59. Grafica de Humedad vs Golpes MH004

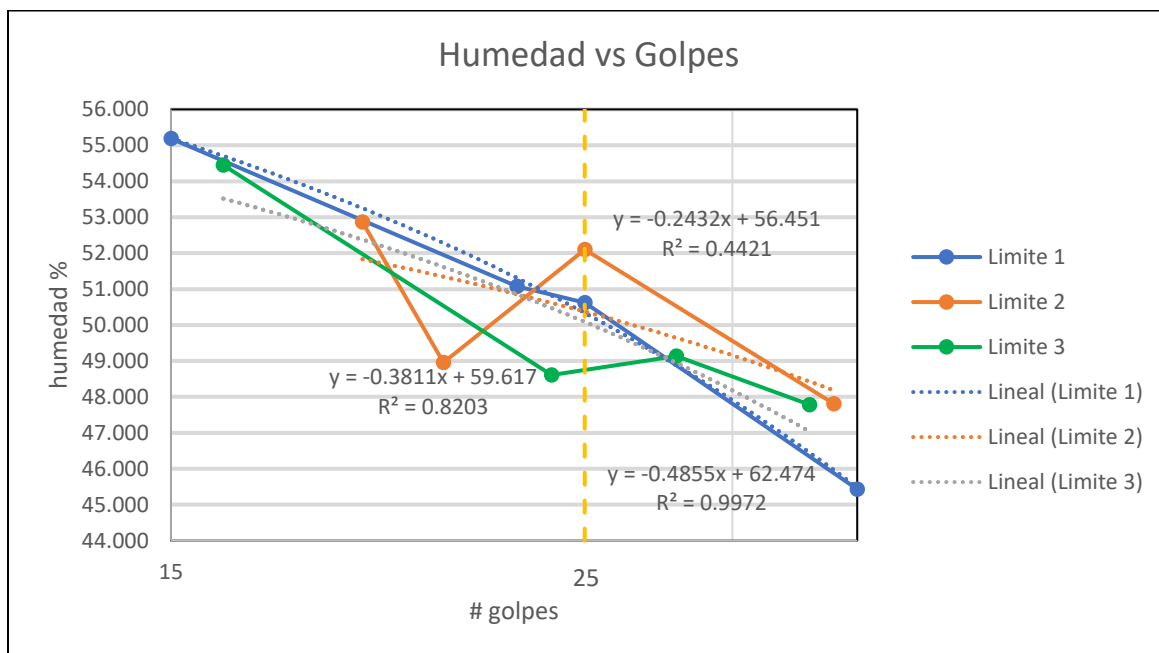


Tabla 12. Resultados de Limite liquido de cada línea de tendencia

LIMITE LIQUIDO (25 golpes)	
limite 1	50.337
limite 2	50.371
limite 3	50.089
promedio	50.266

Tabla 13. Límites para caracterización del suelo

LL (%)	50.27
LP (%)	29.80
IP (%)	20.46

5.1.5 Entrada a Pueblillo, suelo rojo MH005

Ilustración 60. Grafica de Humedad vs Golpes MH005

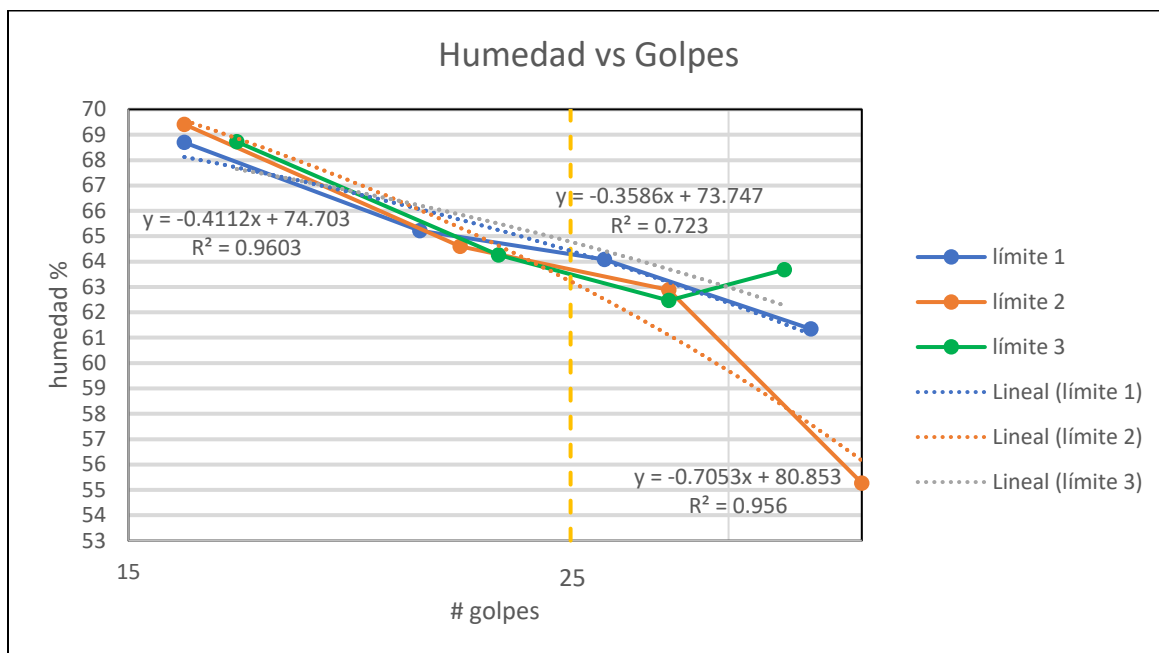


Tabla 14. Resultados de Limite liquido de cada línea de tendencia

LIMITE LIQUIDO (25 golpes)	
limite 1	64.423
limite 2	63.221
limite 3	64.782
promedio	64.142

Tabla 15. Límites para caracterización del suelo

LL (%)	64.14
LP (%)	46.21
IP (%)	17.93

5.1.6 Suelo vereda El Charco, Vía Popayán-El Tambo (cauca) Talud 1 ML001

Ilustración 61. Grafica de Humedad vs Golpes ML001

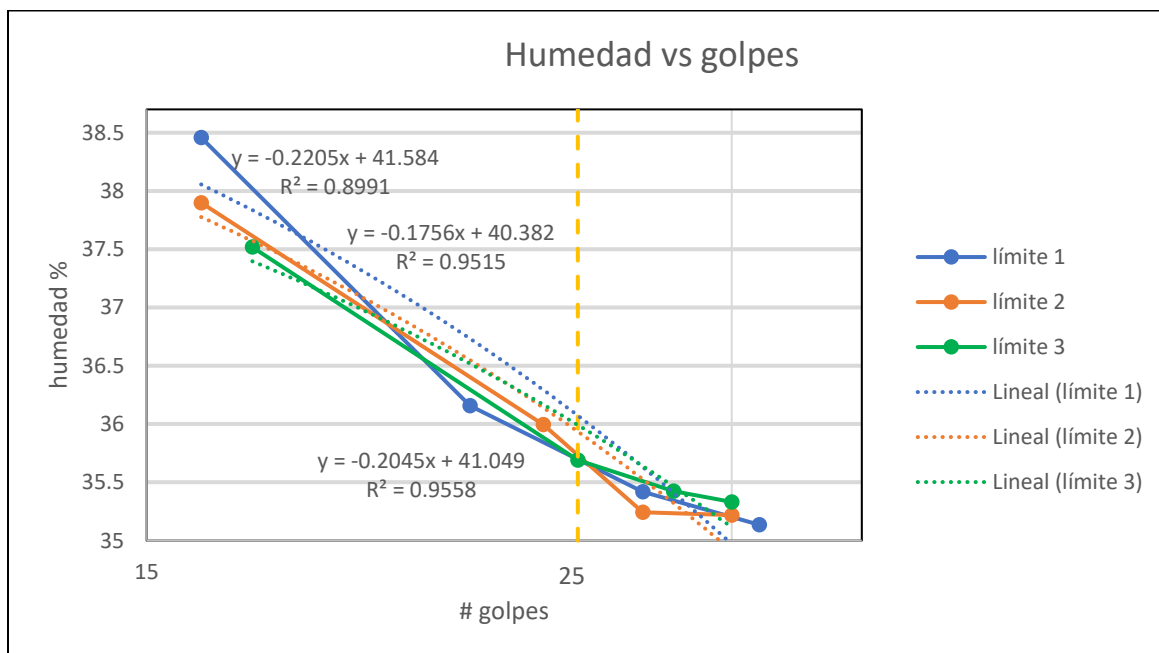


Tabla 16. Resultados de Limite liquido de cada línea de tendencia

LIMITE LIQUIDO (25 golpes)	
limite 1	36.071
limite 2	35.936
limite 3	35.992
promedio	36.072

Tabla 17. Límites para caracterización del suelo

LL (%)	36.07
LP (%)	30.64
IP (%)	5.43

5.1.7 Suelo vereda El Charco, Vía Popayán-El Tambo (cauca) Talud 4 ML002

Ilustración 62. Grafica de Humedad vs Golpes ML002

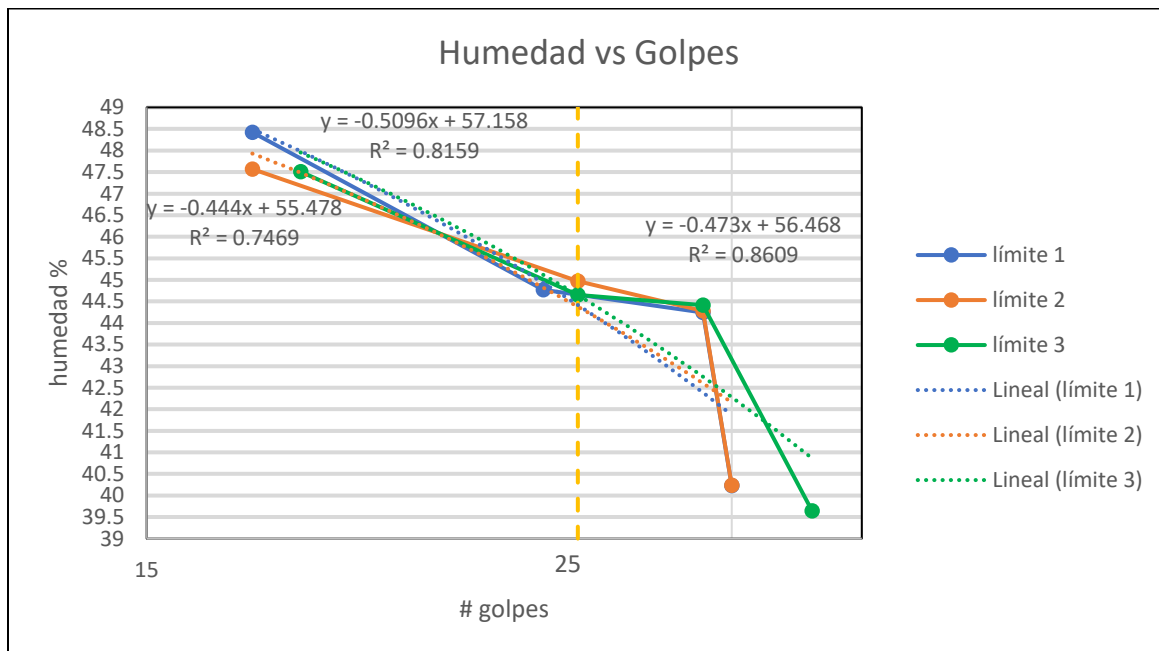


Tabla 18. Resultados de Limite liquido de cada línea de tendencia

LIMITE LIQUIDO (25 golpes)	
limite 1	44.418
limite 2	44.378
limite 3	44.643
promedio	44.418

Tabla 19. Límites para caracterización del suelo

LL (%)	44.42
LP (%)	33.16
IP (%)	11.26

5.1.8 Suelo Proporcionado 50% Talud 1 y 50% Talud 4 ML003

Ilustración 63. Grafica de Humedad vs Golpes ML003

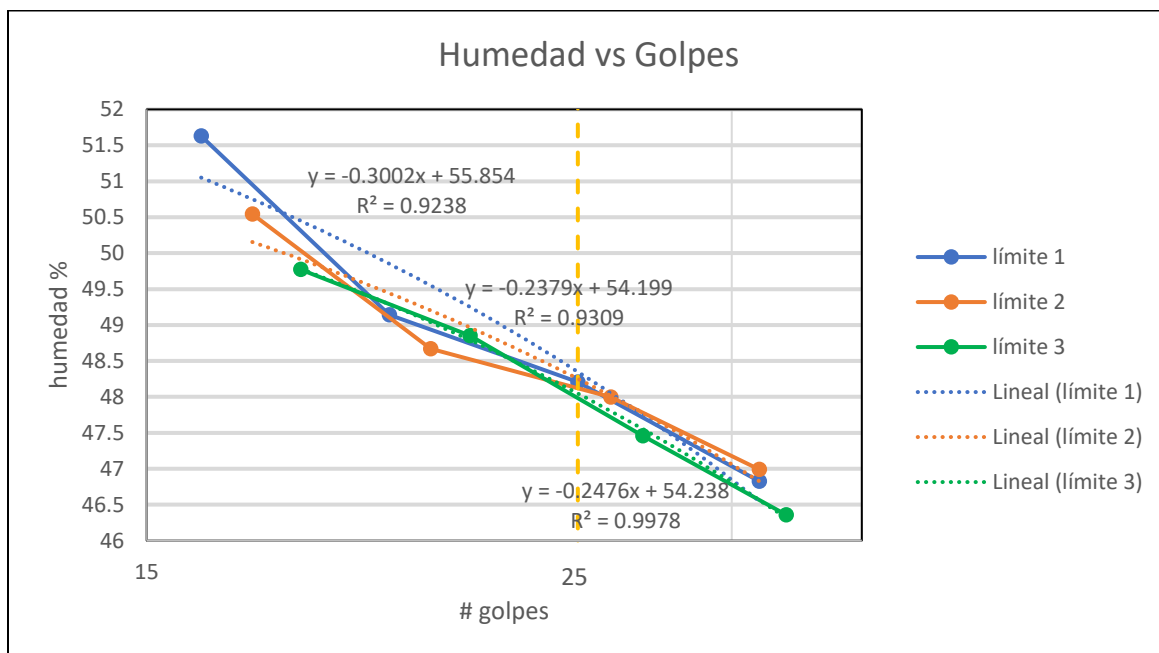


Tabla 20. Resultados de Limite liquido de cada línea de tendencia

LIMITE LIQUIDO (25 golpes)	
limite 1	48.349
limite 2	48.251
limite 3	48.048
promedio	48.349

Tabla 21. Límites para caracterización del suelo

LL (%)	48.35
LP (%)	38.98
IP (%)	9.36

5.1.9 Suelo Proporcionado 70% Talud 1 y 30% Talud 4 ML004

Ilustración 64. Grafica de Humedad vs Golpes

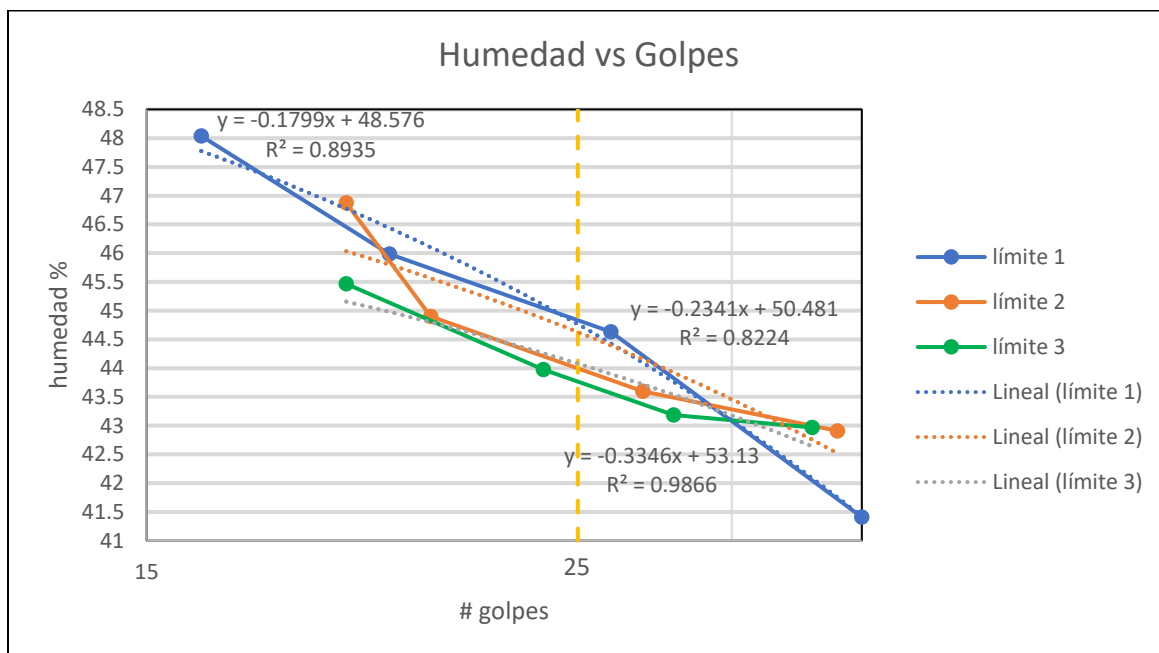


Tabla 22. Resultados de Limite liquido de cada línea de tendencia

LIMITE LIQUIDO (25 golpes)	
limite 1	44.765
limite 2	44.629
limite 3	44.079
promedio	44.491

Tabla 23. Límites para caracterización del suelo

LL (%)	44.49
LP (%)	31.63
IP (%)	12.86

5.1.10 Suelo Proporcionado 70% Talud 4 y 30% Talud 1 ML005

Ilustración 65. Grafica de Humedad vs Golpes

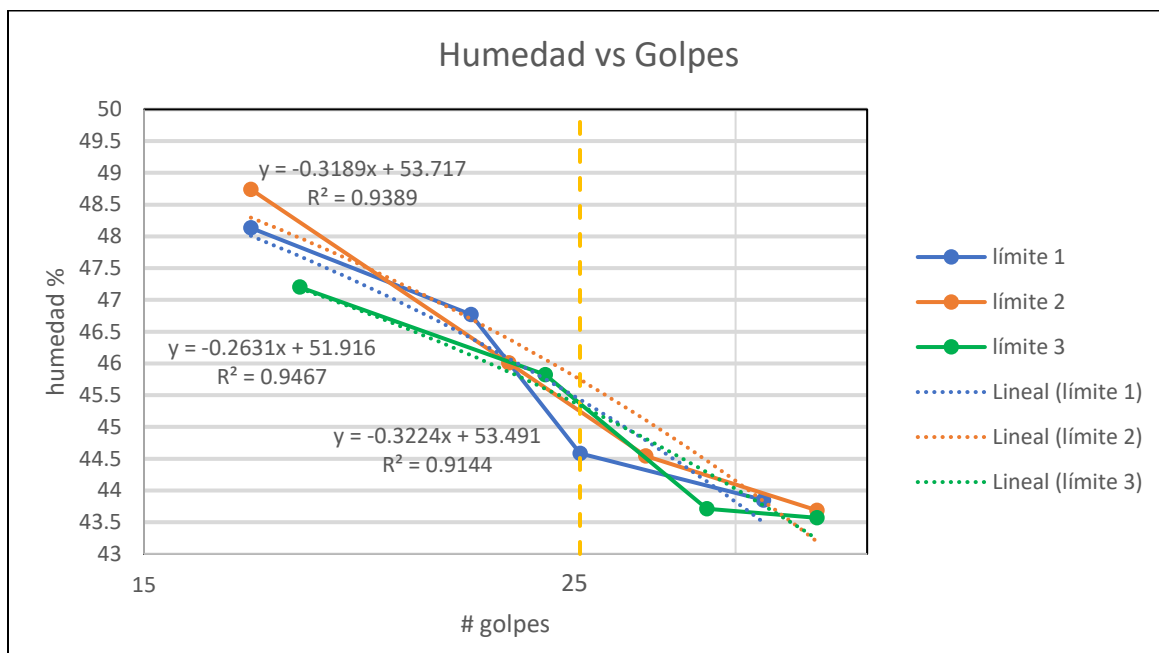


Tabla 24. Resultados de Limite liquido de cada línea de tendencia

LIMITE LIQUIDO (25 golpes)	
limite 1	45.431
limite 2	45.744
limite 3	45.338
promedio	45.431

Tabla 25. Límites para caracterización del suelo

LL (%)	45.43
LP (%)	36.95
IP (%)	8.47

Finalmente se presenta la clasificación de los 10 suelos estudiados, teniendo en cuenta el límite líquido y el índice de plasticidad, estos lo hacemos usando la carta de plasticidad del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos - SUCS (Unified Soil Classification System (USCS):

Ilustración 66. Carta de plasticidad USCS

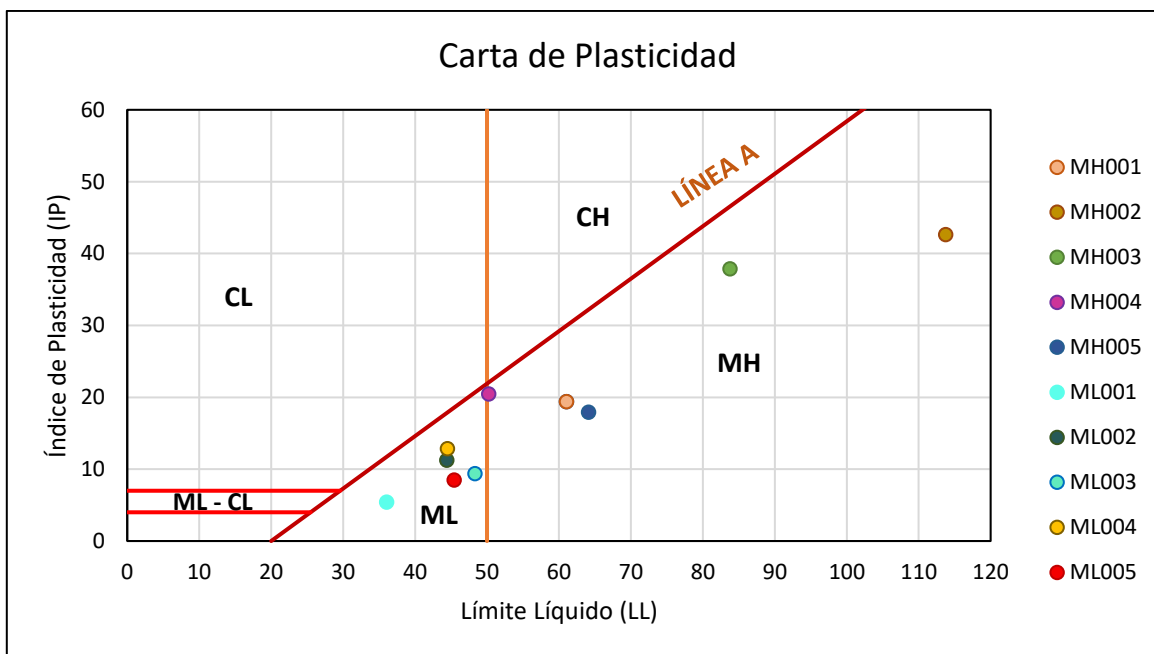


Tabla 26. Resumen de propiedades de los suelos.

Suelo	LL [%]	LP [%]	IP [%]
MH001	61.1	41.7	19.4
MH002	113.7	71.1	42.6
MH003	83.8	45.9	37.9
MH004	50.3	29.8	20.5
MH005	64.1	46.2	17.9
ML001	36.1	30.6	5.5
ML002	44.4	33.2	11.2
ML003	48.3	38.9	9.4
ML004	44.5	31.6	12.9
ML005	45.4	36.9	8.5

5.2 Procesamiento de los datos obtenidos en PIVlab

5.2.1 Comportamiento observado del flujo de partículas

Al analizar visualmente las imágenes procesadas y los vectores generados en PIVLab, se observó un patrón constante: los taludes del suelo tienden a moverse y converger hacia una zona específica, usualmente localizada cerca del punto de impacto de la cazuela. Esta zona presenta mayor concentración de velocidades.

Idealmente, el movimiento esperado se limitaría a la base del talud, es decir, únicamente la "pata", sin embargo, las imágenes revelan que todo el talud desde la base hasta la cabeza se ve involucrado en el movimiento, lo cual altera significativamente la distribución teórica de velocidades.

5.2.2 Desplazamiento completo del talud (desde la pata hasta la cabeza)

El movimiento completo del talud se debe principalmente a la naturaleza plástica de los suelos en el límite líquido. Al encontrarse saturados y cercanos al estado de fluidez, la energía del golpe se transmite a lo largo de toda la masa del suelo, generando desplazamientos que afectan no solo la base sino la totalidad del perfil del talud. Esto genera mayores velocidades medidas y puede explicar discrepancia en los resultados.

Comparación cualitativa con lo que se esperaba

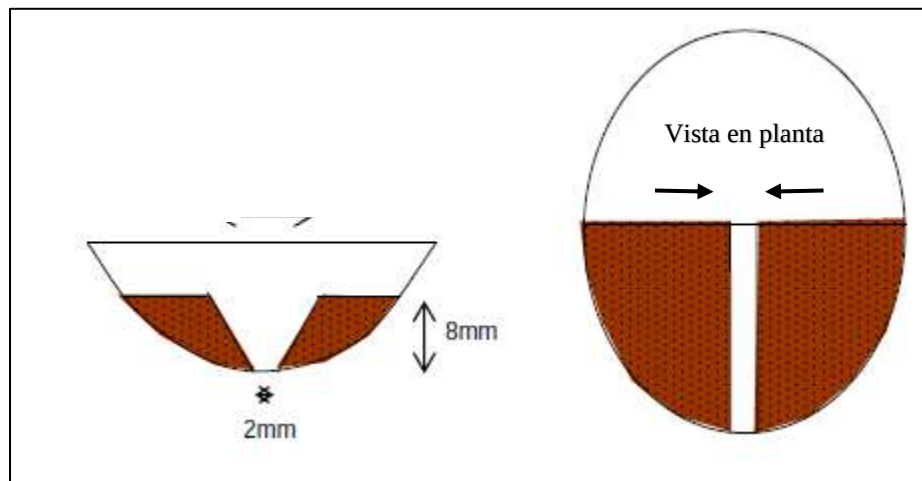
Teóricamente, se esperaba que solo la base del suelo donde se produce el contacto directo con la cazuela fuera la región que presentara movimiento medible. Esta suposición está basada en que el punto de energía aplicada es puntual y su efecto se disipa con la altura del talud. Sin embargo, los resultados muestran que esta hipótesis es insuficiente para describir el comportamiento real.

5.2.3 Cálculo teórico de la velocidad mínima de flujo

El cálculo teórico de la velocidad de flujo durante el ensayo de límite líquido se realizó bajo la suposición de un movimiento ideal del suelo en el momento en que la cazuela golpea la base. Para este análisis, se tomaron en cuenta los siguientes supuestos simplificadores:

- V es la velocidad teórica del cierre.
- La distancia mínima de cierre de los taludes se considera como 1mm. La distancia entre taludes es de 2mm, pero considerando que ambos taludes se desplazarán, se considera la mitad como la distancia total.
- La cazuela opera con una frecuencia constante de 2 golpes por segundo.
- Se asume un movimiento lineal uniforme del suelo durante ese intervalo.
- El tiempo, $t = 12.5$ sg. Se calculará para el límite líquido, teniendo en cuenta que son 25 golpes, y la cazuela da dos golpes por segundos.

Ilustración 67 Abertura de la cazuela.



Bajo estos supuestos, se aplica la fórmula de la cinemática:

$$v = \frac{d}{t}$$

Sustituyendo:

$$v = \frac{1 \text{ mm}}{12.5 \text{ sg}}$$

$$v = 0.08 \frac{\text{mm}}{\text{sg}}$$

6 PROCESAMIENTO DE DATOS, OBTENCIÓN DE RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.1 VELOCIDADES EXPERIMENTALES DE SUELOS MH (limos de alta plasticidad)

Debido a que los datos y el proceso es repetitivo para todos los suelos, se va a mostrar los resultados completos para un suelo, para los demás se mostrará una tabla resumen con su respectiva gráfica, cabe resaltar los datos completos se encontrarán en el anexo 1.

Para facilidad se identifica en la tabla de Excel cada suelo con el siguiente nombre:

Tabla 27. Identificador de suelos MH

Nombre	Identificador en los anexos
Suelo vereda La Cabuyera, Vía Popayán-Santander (Cauca)	MH001
Pr 0+500 Vía al Huila, suelo amarillo	MH002
Suelo Talud de la Facultad de Ciencias Contables	MH003
Pr 0+500 Vía al Huila, suelo rojo	MH004
Pr 0+500 Entrada a Pueblillo, Suelo rojo	MH005

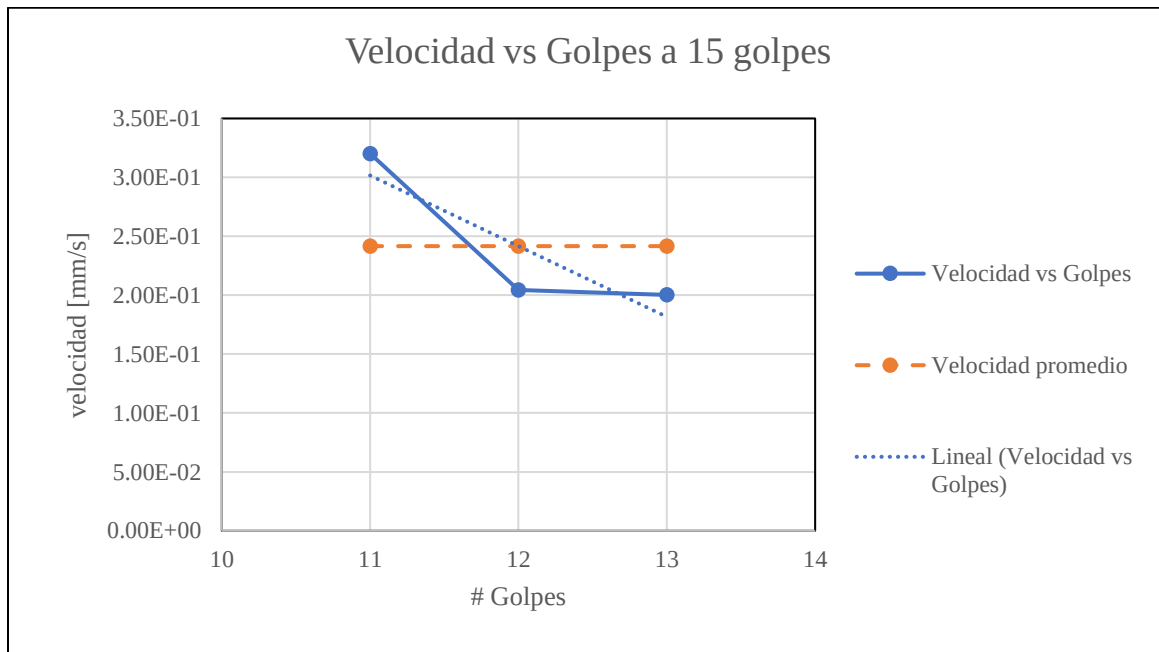
6.1.1 Suelo vereda La Cabuyera, Vía Popayán- Santander (Cauca) MH001

- 15 golpes

Tabla 28. Velocidades experimentales, 15 golpes.

Velocidades para un punto del límite líquido - 15 golpes MH001			
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$\sqrt{((u^2) + (v^2))}$ mm/s
11	2.47E-04	2.04E-04	3.20E-01
12	9.11E-05	1.83E-04	2.04E-01
13	5.10E-05	1.94E-04	2.00E-01
15			
Promedio	1.30E-04	1.94E-04	2.42E-01
		desv standard	0.068
		coef. var	28%

Ilustración 68. Velocidades para un punto del límite líquido - 15 golpes MH001

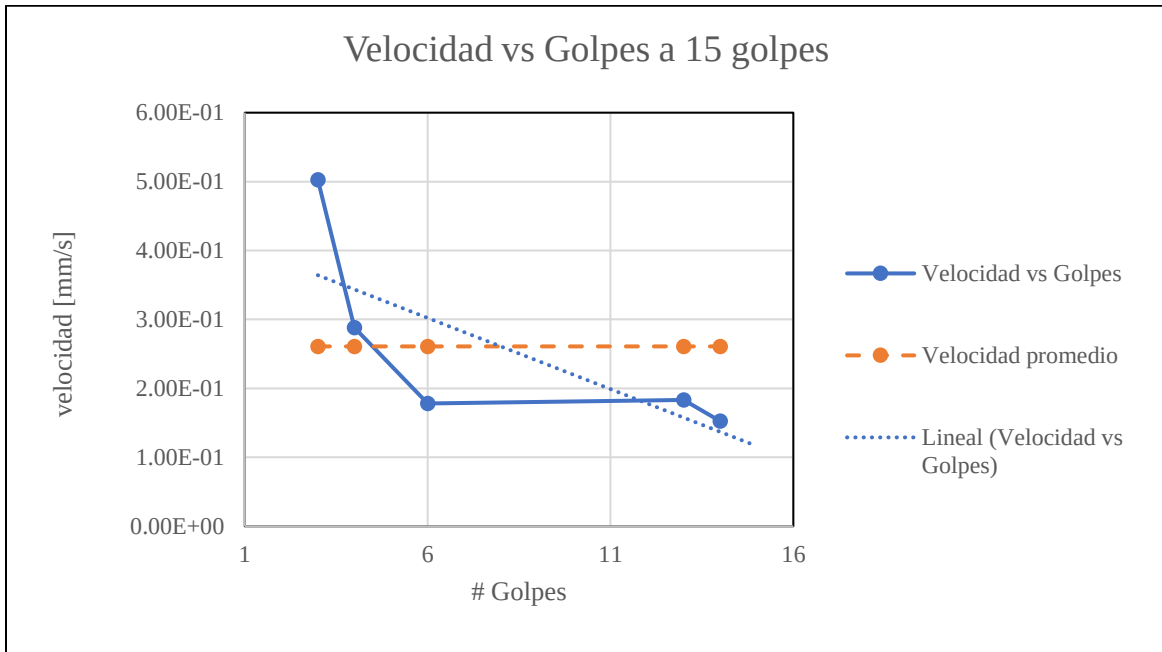


- 15 golpes

Tabla 29. Velocidades experimentales, 15 golpes.

Velocidades para un punto del límite líquido - 15 golpes MH001			
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$\sqrt{(u^2 + v^2)}$ mm/s
3	4.07E-04	2.95E-04	5.03E-01
4	2.65E-04	1.12E-04	2.88E-01
6	1.77E-04	1.60E-05	1.78E-01
13	1.04E-04	1.51E-04	1.83E-01
14	1.18E-04	9.64E-05	1.52E-01
15			
Promedio	2.14E-04	1.34E-04	2.61E-01
		desv standard	0.145
		coef. var	55%

Ilustración 69. Velocidades para un punto del límite líquido - 15 golpes MH001

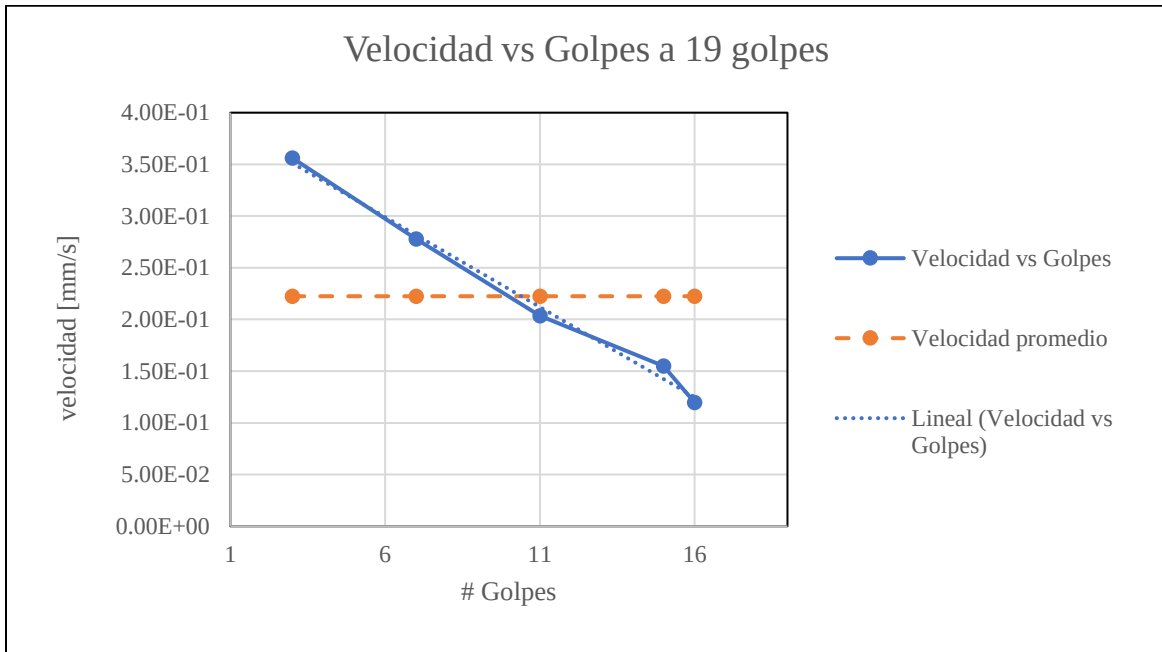


- **19 golpes**

Tabla 30. Velocidades experimentales, 19 golpes.

Velocidades para un punto del límite líquido - 19 golpes MH001			
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$\sqrt{(u^2 + v^2)}$ mm/s
3	2.91E-04	2.06E-04	3.56E-01
7	2.34E-04	1.50E-04	2.78E-01
11	1.16E-04	1.67E-04	2.04E-01
15	1.41E-04	6.32E-05	1.55E-01
16	1.20E-04	7.98E-06	1.20E-01
19			
Promedio	1.80E-04	1.19E-04	2.22E-01
		desv standard	0.095
		coef. var	43%

Ilustración 70. Velocidades para un punto del límite líquido - 19 golpes MH001

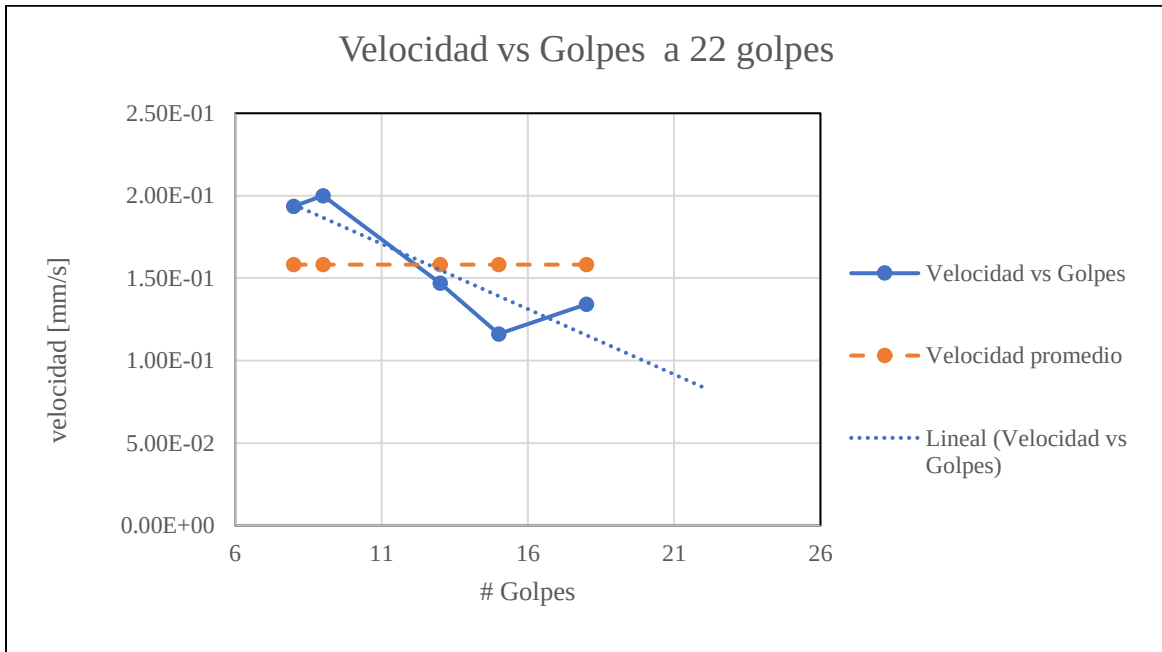


- **22 golpes**

Tabla 31. Velocidades experimentales, 22 golpes.

Velocidades para un punto del límite líquido - 22 golpes MH001			
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$\sqrt{(u^2+v^2)}$ mm/s
8	1.90E-04	3.74E-05	1.93E-01
9	1.99E-04	1.89E-05	2.00E-01
13	1.41E-04	4.20E-05	1.47E-01
15	9.50E-05	6.68E-05	1.16E-01
18	1.04E-04	8.43E-05	1.34E-01
22			
Promedio	1.46E-04	4.99E-05	1.58E-01
		desv standard	0.037
		coef. var	23%

Ilustración 71. Velocidades para un punto del límite líquido - 22 golpes MH001

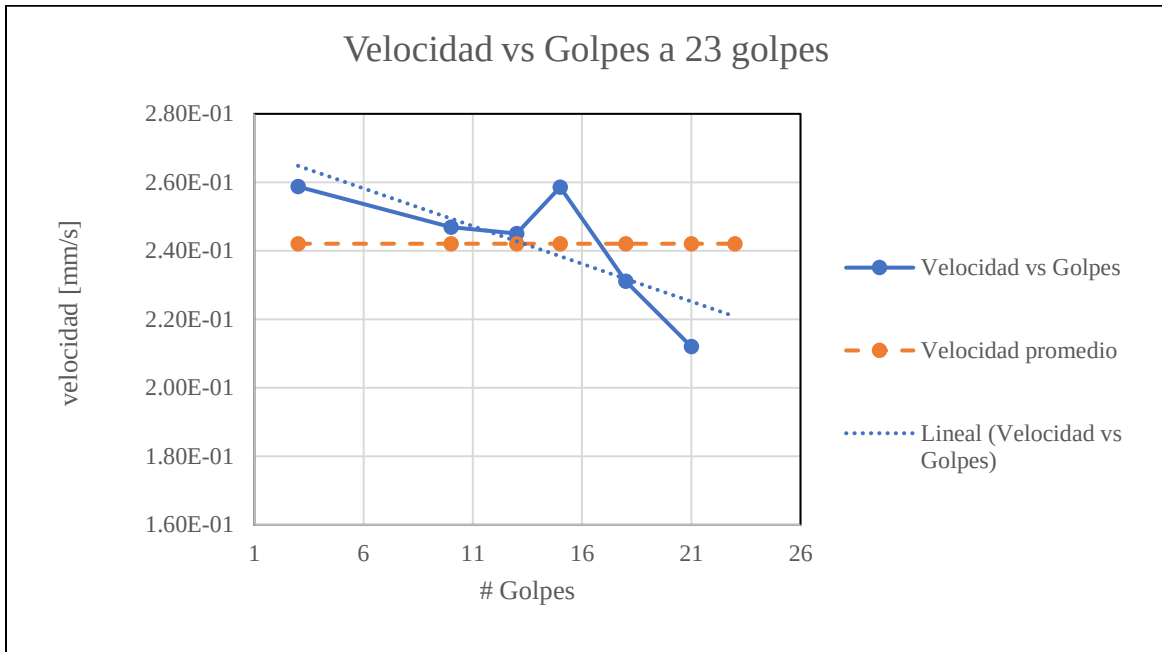


- **23 golpes**

Tabla 32. Velocidades experimentales, 23 golpes.

Velocidades para un punto del límite líquido - 23 golpes MH001			
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$\sqrt{(u^2+v^2)}$ mm/s
3	2.26E-04	1.27E-04	2.59E-01
10	2.42E-04	4.75E-05	2.47E-01
13	2.08E-04	1.29E-04	2.45E-01
15	1.74E-04	1.91E-04	2.59E-01
18	5.52E-05	2.24E-04	2.31E-01
21	1.56E-04	1.44E-04	2.12E-01
23			
Promedio	1.77E-04	1.44E-04	2.42E-01
		desv standard	1.792E-02
		coef. var	7%

Ilustración 72. Velocidad vs Golpes a 23 golpes Velocidades para un punto del límite líquido - 23 golpes MH001

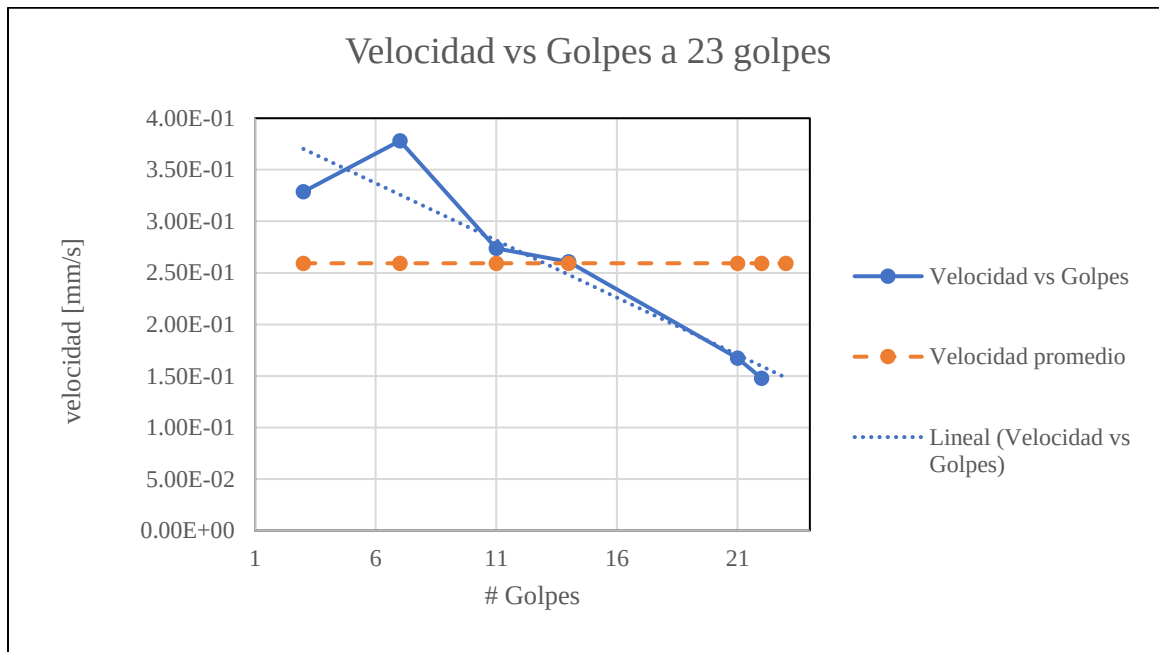


- **23 golpes**

Tabla 33. Velocidades experimentales, 23 golpes.

Velocidades para un punto del límite líquido - 23 golpes MH001			
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$\sqrt{(u^2 + v^2)}$ mm/s
3	3.13E-04	1.01E-04	3.29E-01
7	3.28E-05	3.77E-04	3.78E-01
11	5.14E-05	2.69E-04	2.74E-01
14	1.62E-04	2.04E-04	2.61E-01
21	1.62E-04	4.28E-05	1.67E-01
22	8.07E-05	1.24E-04	1.48E-01
23			
Promedio	1.34E-04	1.86E-04	2.59E-01
		desv standard	0.089
		coef. var	35%

Ilustración 73. Velocidades para un punto del límite líquido - 23 golpes MH001

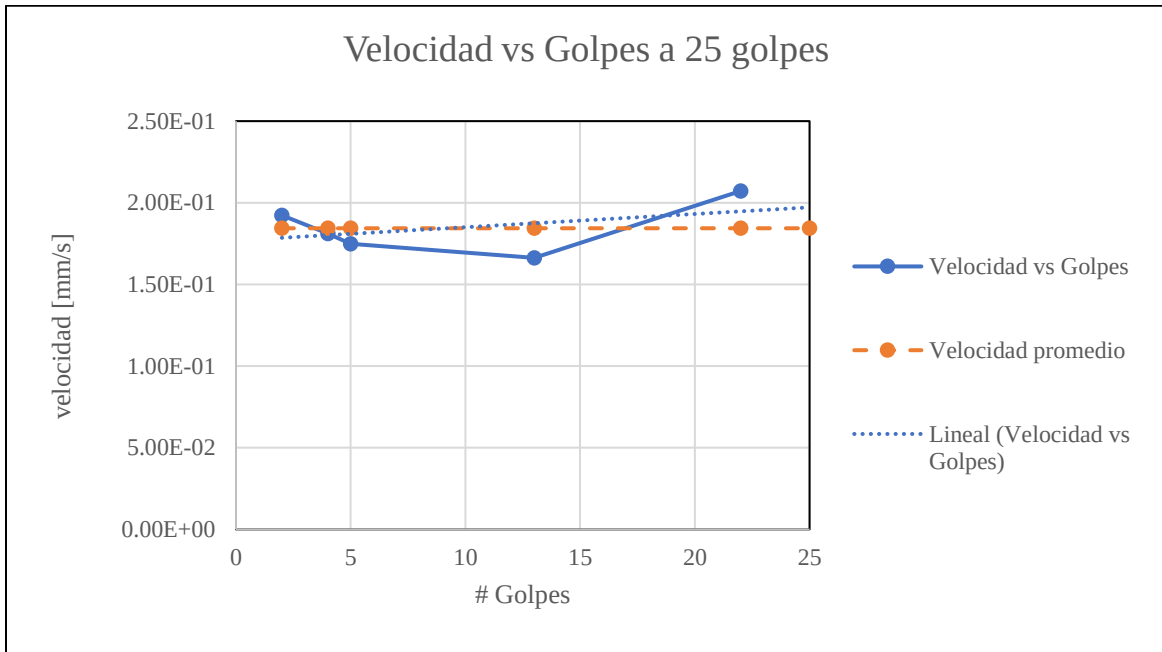


- **25 golpes**

Tabla 34. Velocidades experimentales, 25 golpes.

Velocidades para un punto del límite líquido - 25 golpes MH001			
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$\sqrt{(u^2+v^2)}$ mm/s
2	1.78E-04	7.26E-05	1.92E-01
4	5.49E-05	1.73E-04	1.81E-01
5	1.59E-06	1.75E-04	1.75E-01
13	1.54E-04	6.22E-05	1.66E-01
22	3.18E-05	2.05E-04	2.07E-01
25			
Promedio	8.41E-05	1.37E-04	1.84E-01
		desv standard	0.016
		coef. var	9%

Ilustración 74. Velocidades para un punto del límite líquido - 25 golpes MH001

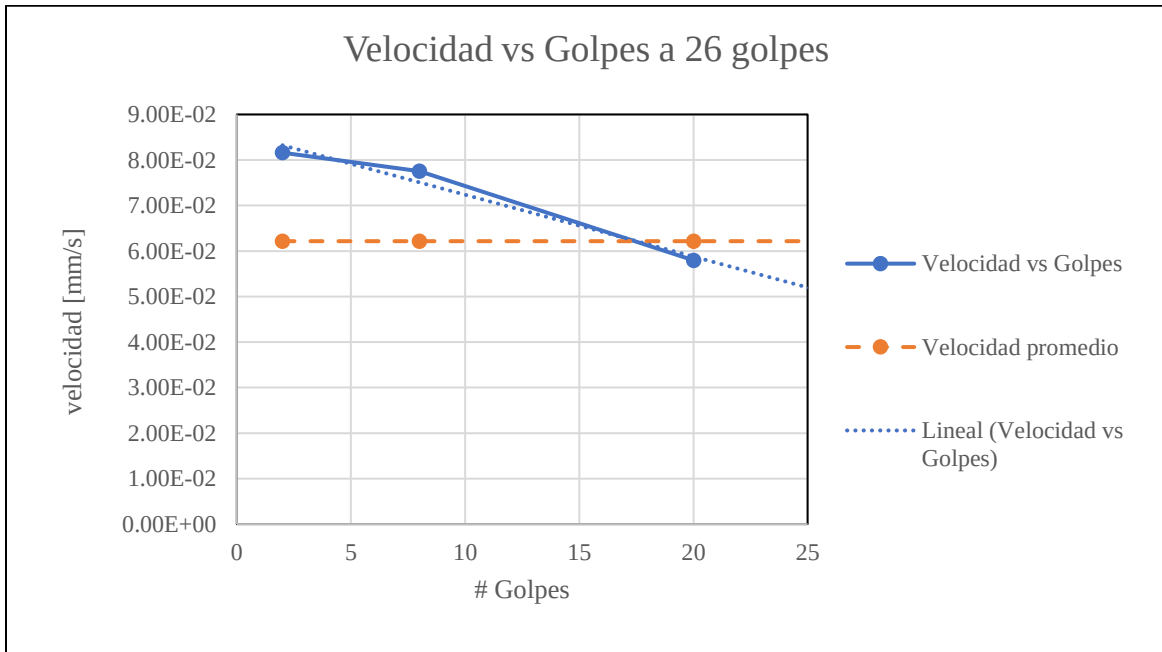


- **26 golpes**

Tabla 35. Velocidades experimentales, 26 golpes.

Velocidades para un punto del límite líquido - 26 golpes MH001			
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$\sqrt{(u^2 + v^2)}$ mm/s
2	8.15E-05	4.29E-06	8.16E-02
8	2.19E-05	7.44E-05	7.75E-02
20	5.38E-05	2.17E-05	5.80E-02
26			
Promedio	5.24E-05	3.34E-05	6.22E-02
		desv standard	0.013
		coef. var	20%

Ilustración 75. Velocidades para un punto del límite líquido - 26 golpes MH001

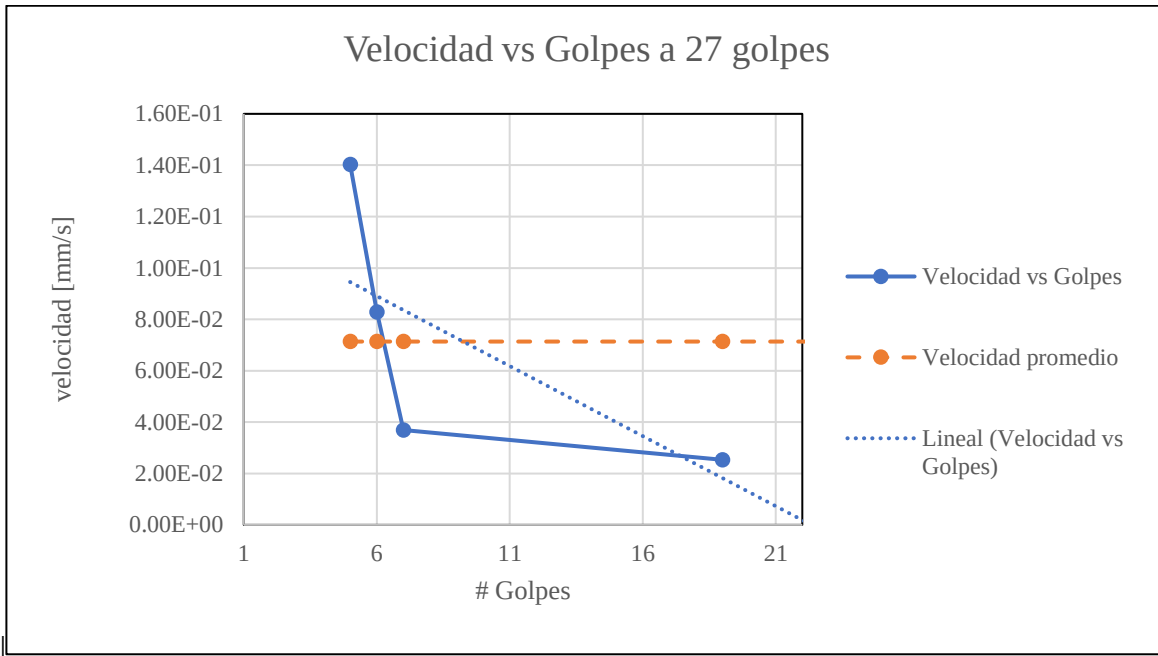


- **27 golpes**

Tabla 36. Velocidades experimentales, 27 golpes.

Velocidades para un punto del límite líquido - 27 golpes MH001			
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$\sqrt{(u^2 + v^2)}$ mm/s
5	8.41E-05	1.12E-04	1.40E-01
6	7.33E-05	3.87E-05	8.29E-02
7	8.07E-06	3.60E-05	3.69E-02
19	2.47E-05	5.74E-06	2.53E-02
27			
Promedio	4.75E-05	4.82E-05	7.14E-02
		desv standard	0.052
		coef. var	73%

Ilustración 76. Velocidades para un punto del límite líquido - 27 golpes MH001

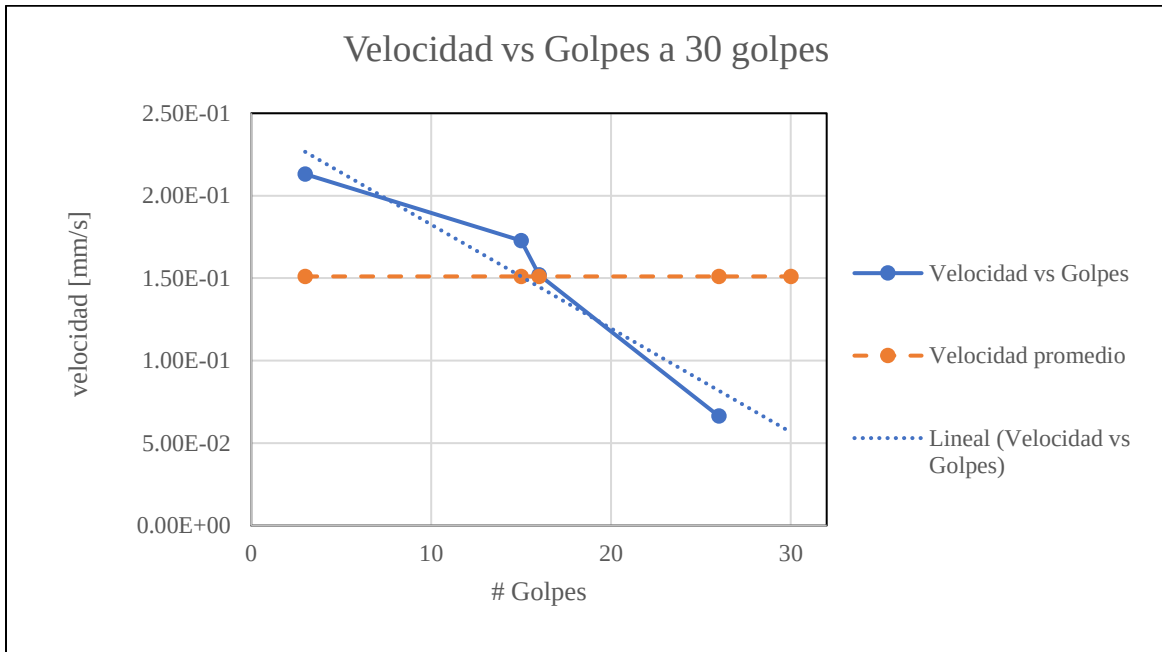


- **30 golpes**

Tabla 37. Velocidades experimentales, 30 golpes.

Velocidades para un punto del límite líquido - 30 golpes MH001			
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$\sqrt{(u^2 + v^2)}$ mm/s
3	3.06E-05	2.11E-04	2.13E-01
15	6.71E-05	1.59E-04	1.73E-01
16	1.49E-04	3.05E-05	1.52E-01
26	6.46E-05	1.54E-05	6.64E-02
30			
Promedio	7.78E-05	1.04E-04	1.51E-01
		desv standard	6.19E-02
		coef. var	41%

Ilustración 77. Velocidades para un punto del límite líquido - 30 golpes MH001

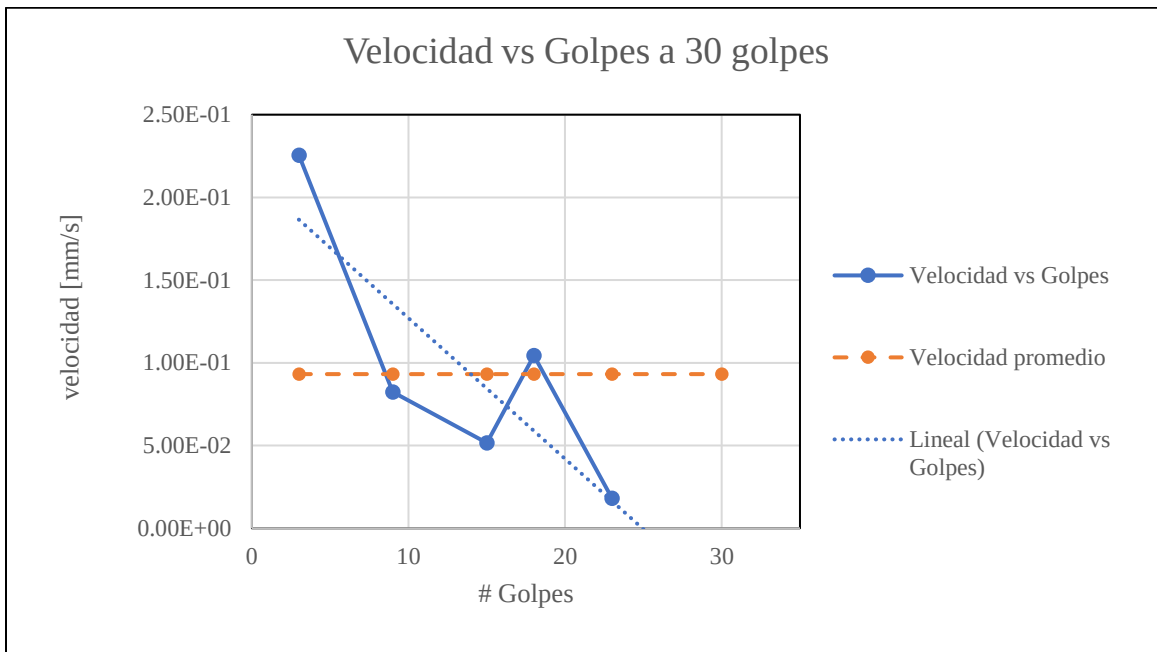


- **30 golpes**

Tabla 38. Velocidades experimentales, 30 golpes.

Velocidades para un punto del límite líquido - 30 golpes MH001			
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$\sqrt{(u^2 + v^2)}$ mm/s
3	4.25E-05	2.22E-04	2.26E-01
9	6.12E-05	5.51E-05	8.24E-02
15	2.24E-05	4.64E-05	5.16E-02
18	4.95E-05	9.19E-05	1.04E-01
23	1.49E-05	1.03E-05	1.81E-02
30			
Promedio	3.81E-05	8.50E-05	9.32E-02
		desv standard	0.079
		coef. var	85%

Ilustración 78. Velocidades para un punto del límite líquido – 30 golpes MH001

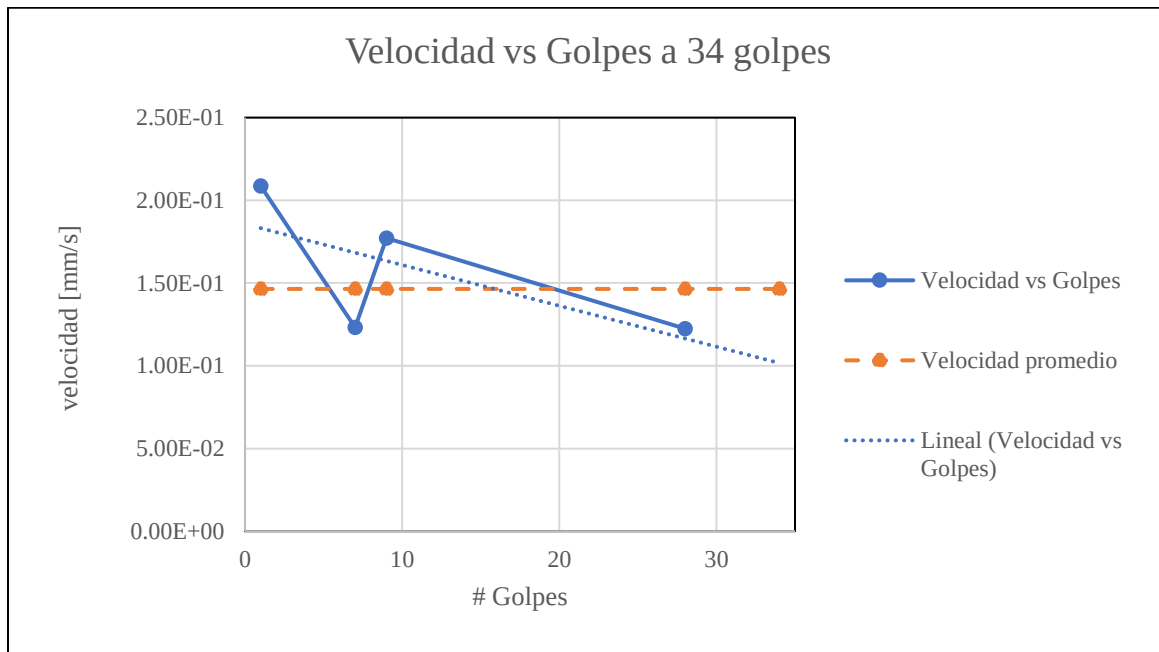


- **34 golpes**

Tabla 39. Velocidades experimentales, 34 golpes.

Velocidades para un punto del límite líquido - 34 golpes MH001			
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$\sqrt{(u^2 + v^2)}$ mm/s
1	1.94E-05	2.08E-04	2.09E-01
7	3.04E-05	1.19E-04	1.23E-01
9	1.33E-04	1.17E-04	1.77E-01
28	1.02E-04	6.81E-05	1.22E-01
34			
Promedio	7.12E-05	1.28E-04	1.46E-01
		desv standard	0.042
		coef. var	29%

Ilustración 79. Velocidades para un punto del límite líquido - 34 golpes MH001



- Resumen**

Tabla 40. Resumen de velocidades experimentales, para todos los números de golpes, Suelo MH001

Resumen Suelo vereda La Cabuyera, Vía Popayán- Santander (Cauca) MH001				
Humedad %	Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$\sqrt{(u^2 + v^2)}$ mm/s
66.163	15	1.30E-04	1.94E-04	2.33E-01
66.189	15	2.14E-04	1.34E-04	2.53E-01
64.928	19	1.80E-04	1.19E-04	2.16E-01
61.552	23	1.77E-04	1.44E-04	2.28E-01
61.215	23	1.34E-04	1.86E-04	2.29E-01
61.050	25	8.41E-05	1.37E-04	1.61E-01
58.418	30	7.78E-05	1.04E-04	1.30E-01
58.282	30	3.81E-05	8.50E-05	9.32E-02
57.570	34	7.12E-05	1.28E-04	1.46E-01
Promedio				1.88E-01
			desv standard	0.056
			coef. var	29.85%

Ilustración 80. Velocidades experimentales vs # Golpes, para todos los números de golpes, Suelo MH001.

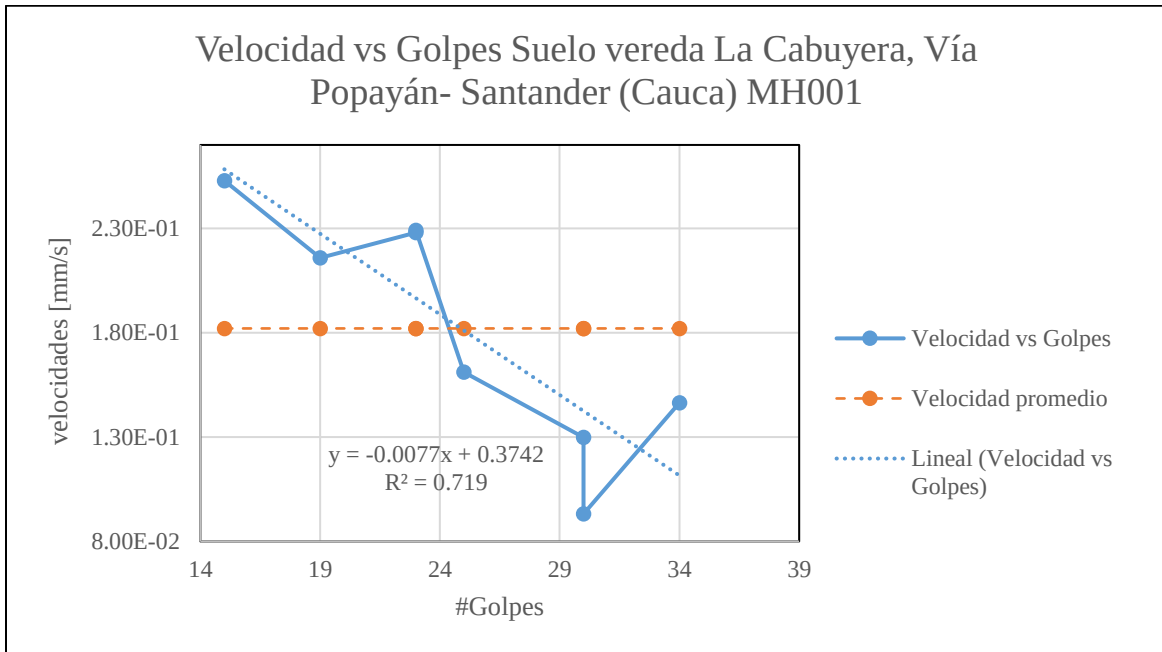
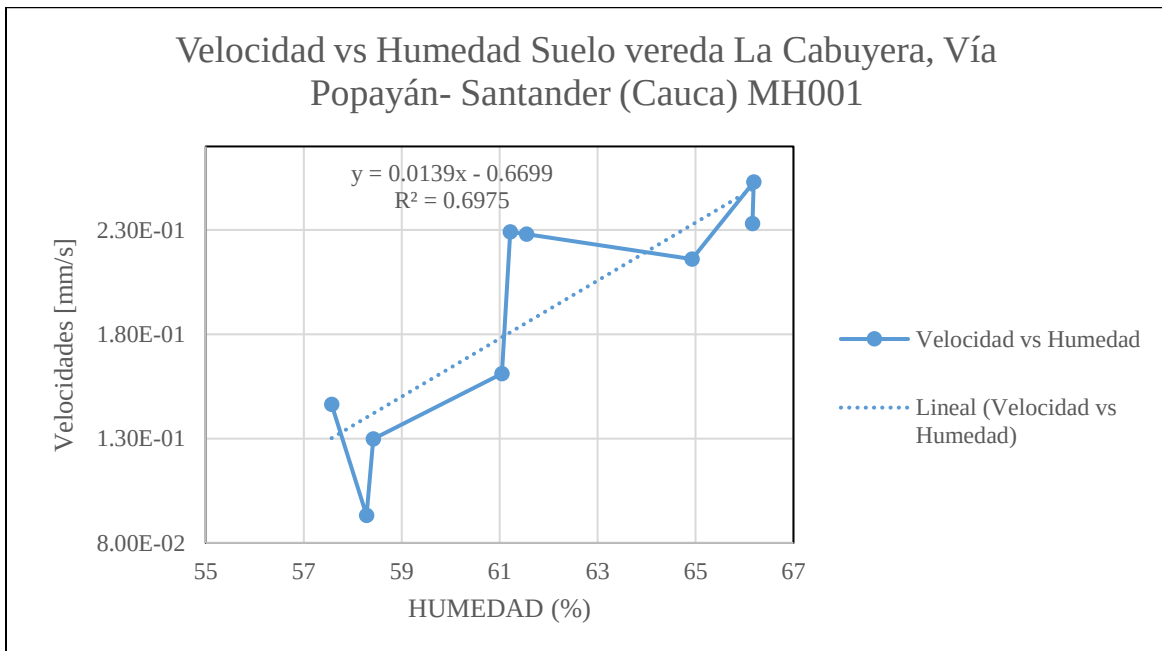


Ilustración 81. Velocidad vs Humedad datos compilados MH001



El reacomodamiento de partículas y la expulsión de agua libre en la zona de contacto generan un incremento en la fricción interna, disminuyendo la lubricación y, por tanto, la movilidad del material. La repetición constante de golpes también induce un aumento aparente de la rigidez del suelo, lo que dificulta su flujo. Estos efectos combinados provocan que el suelo

necesite más golpes para cerrar el suelo, lo que se traduce en velocidades de desplazamiento cada vez menores, especialmente en suelos plásticos como el MH.

6.1.2 Suelo vía al huila PR 0+500 (amarillo) MH002

Tabla 41 Resumen de velocidades experimentales, para todos los números de golpes, Suelo MH002.

Resumen Pr 0+500 Vía al Huila, suelo amarillo MH002				
Humedad %	Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$\sqrt{(u^2 + v^2)}$ mm/s
119.597	15	1.90E-04	8.49E-05	2.08E-01
115.907	17	1.50E-04	1.24E-04	1.95E-01
115.331	17	1.61E-04	9.81E-05	1.89E-01
115.277	19	1.44E-04	6.08E-05	1.56E-01
115.267	20	1.22E-04	8.23E-05	1.47E-01
114.898	20	1.21E-04	6.30E-05	1.36E-01
114.898	22	9.47E-05	9.59E-05	1.35E-01
114.846	24	1.02E-04	6.64E-05	1.22E-01
112.003	26	7.70E-05	8.47E-05	1.15E-01
111.861	31	9.83E-05	4.46E-05	1.08E-01
Promedio				1.51E-01
desv standard				0.035
coef. var				23.28%

Ilustración 82. Velocidades experimentales vs # Golpes, para todos los números de golpes, Suelo MH002

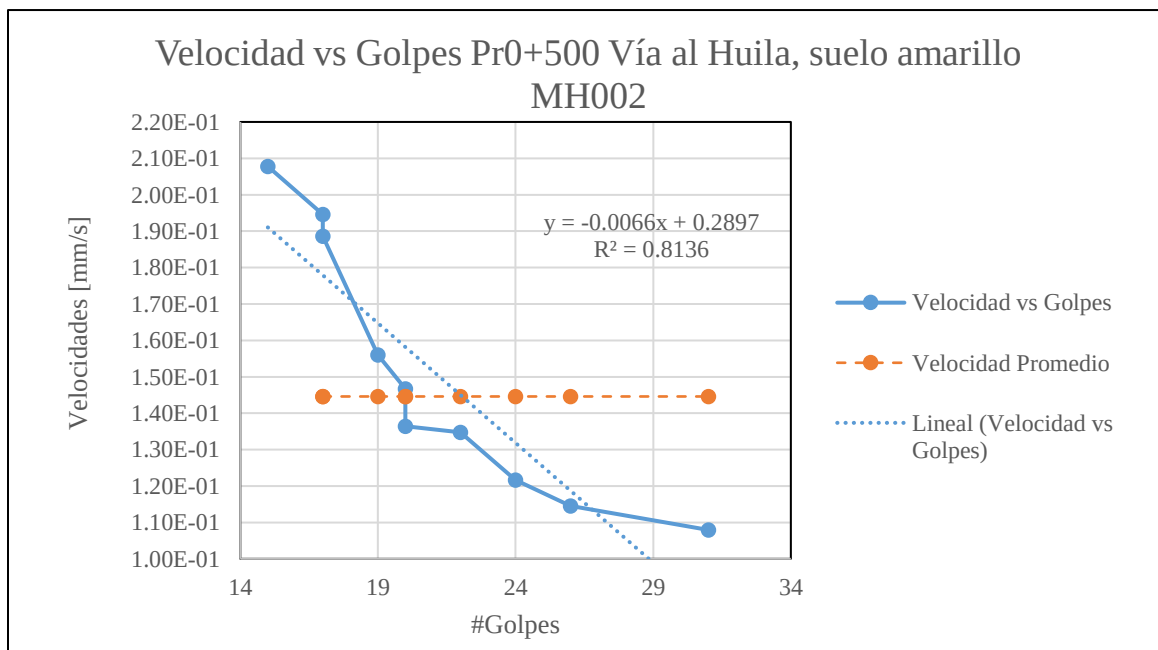
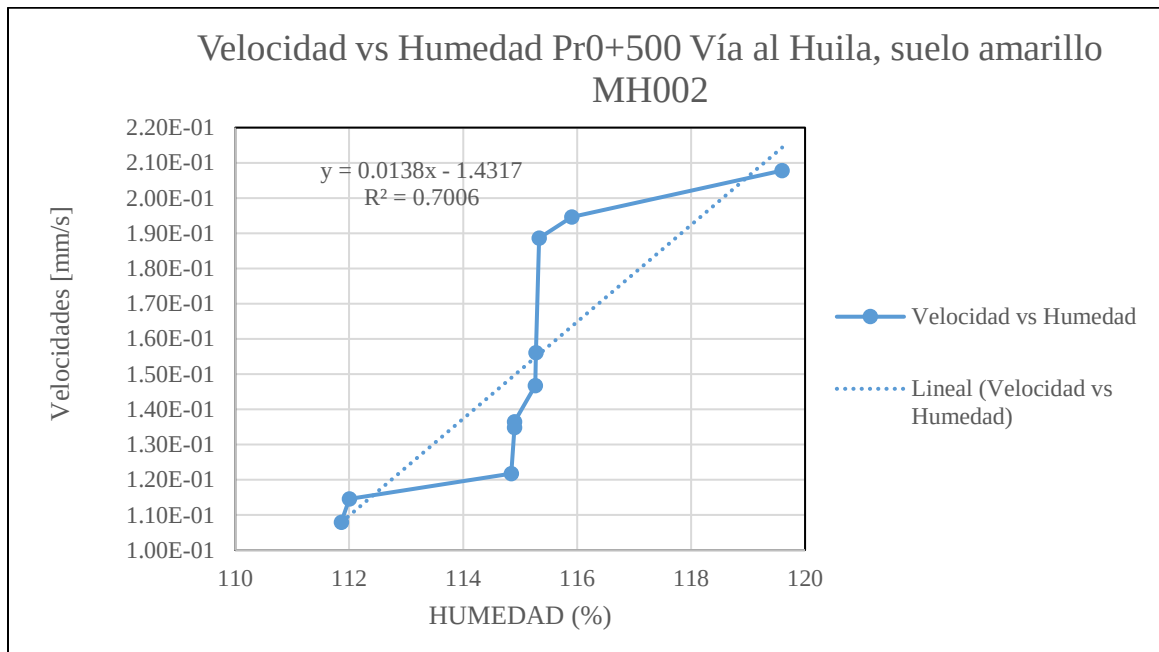


Ilustración 83. Velocidad vs Humedad datos compilados MH002



6.1.3 Talud de Facultad de Contables, suelo Amarillo MH003

Tabla 42 Resumen de velocidades experimentales, para todos los números de golpes, Suelo MH003.

Resumen				
Humedad (%)	Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$\sqrt{(u^2 + v^2)}$ mm/s
88.090	15	2.85E-04	2.21E-04	3.65E-01
87.380	18	1.89E-04	1.94E-04	3.40E-01
87.530	18	1.61E-04	2.69E-04	3.34E-01
84.771	21	6.93E-05	2.91E-04	2.99E-01
83.843	23	2.87E-04	1.28E-05	2.88E-01
83.764	23	1.36E-04	2.14E-04	2.90E-01
83.081	26	1.60E-05	2.73E-04	2.74E-01
83.547	28	2.32E-04	8.23E-05	2.56E-01
83.483	29	1.36E-04	1.22E-04	2.30E-01
81.579	30	6.99E-05	1.23E-04	1.60E-01
80.512	31	2.62E-05	1.38E-04	1.41E-01
80.763	31	8.37E-05	1.15E-04	1.42E-01
Promedio				2.60E-01
			Desv standard	0.073
			coef. Vari	28.05%

Ilustración 84. Velocidades experimentales vs # Golpes, para todos los números de golpes, Suelo MH003

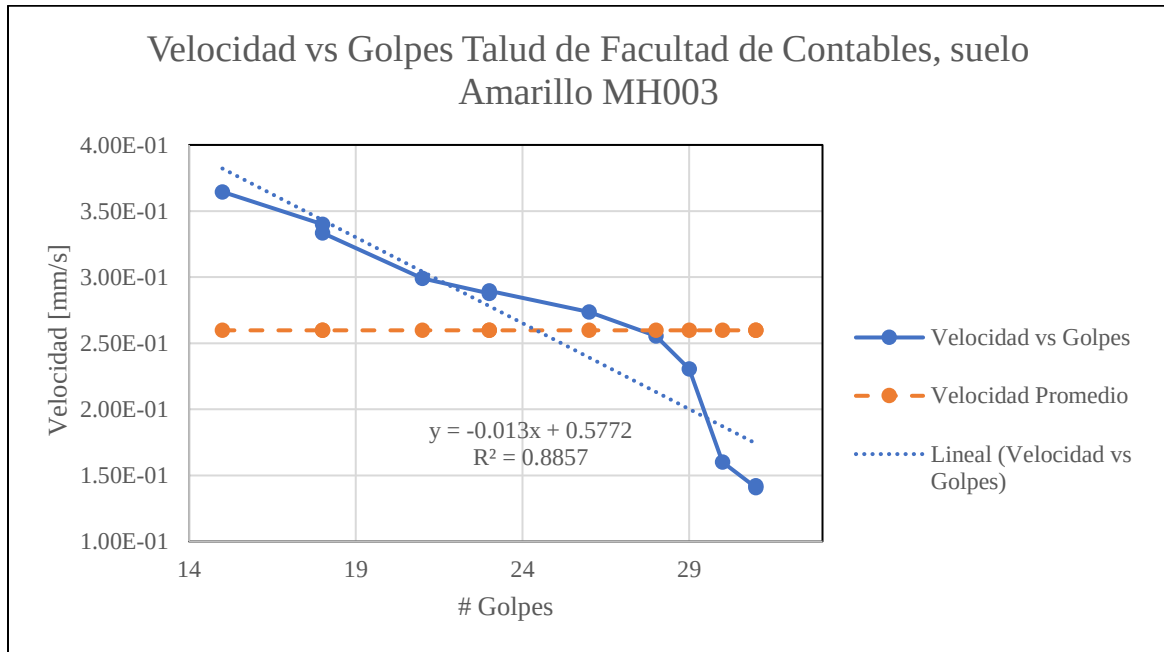
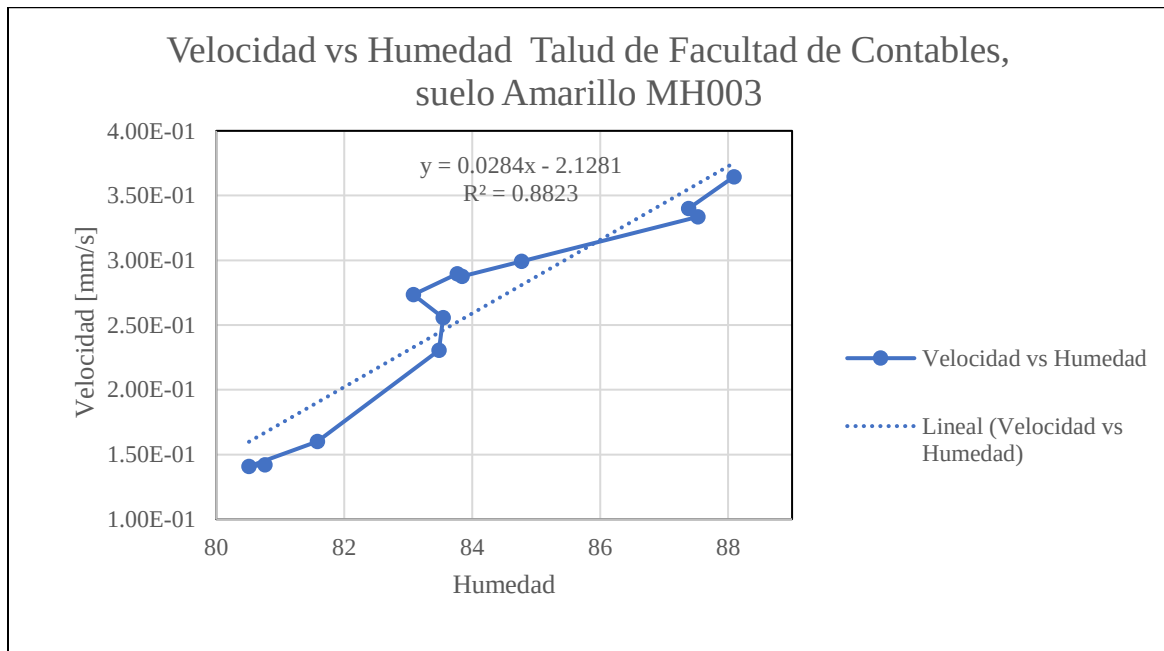


Ilustración 85. Velocidad vs Humedad datos compilados MH003

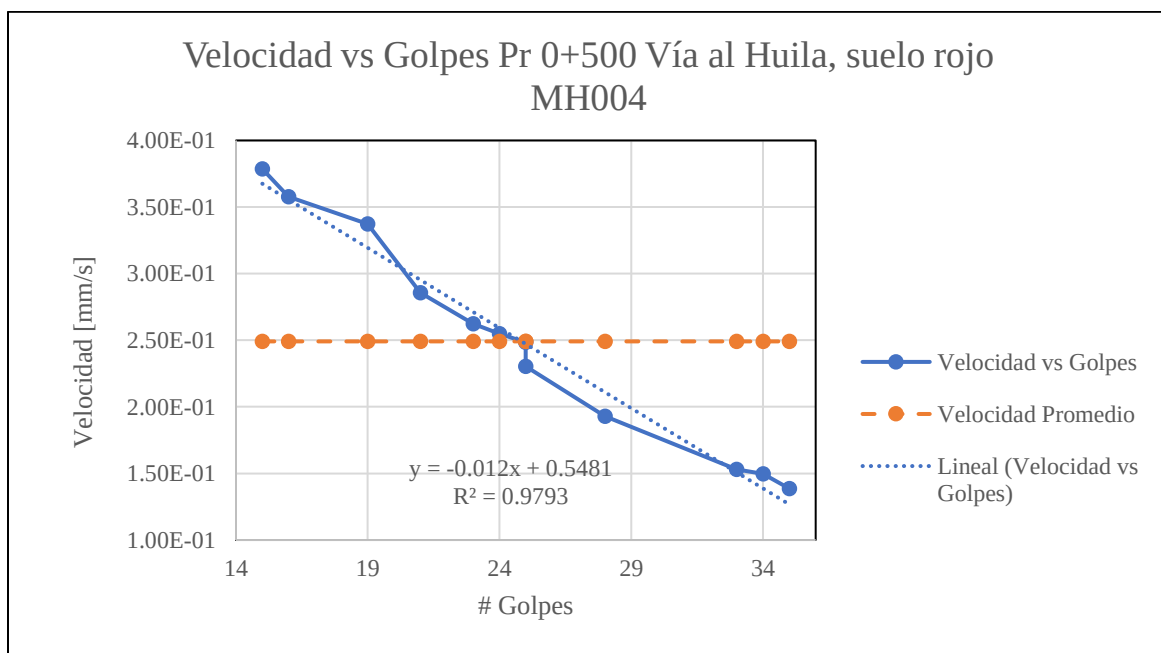


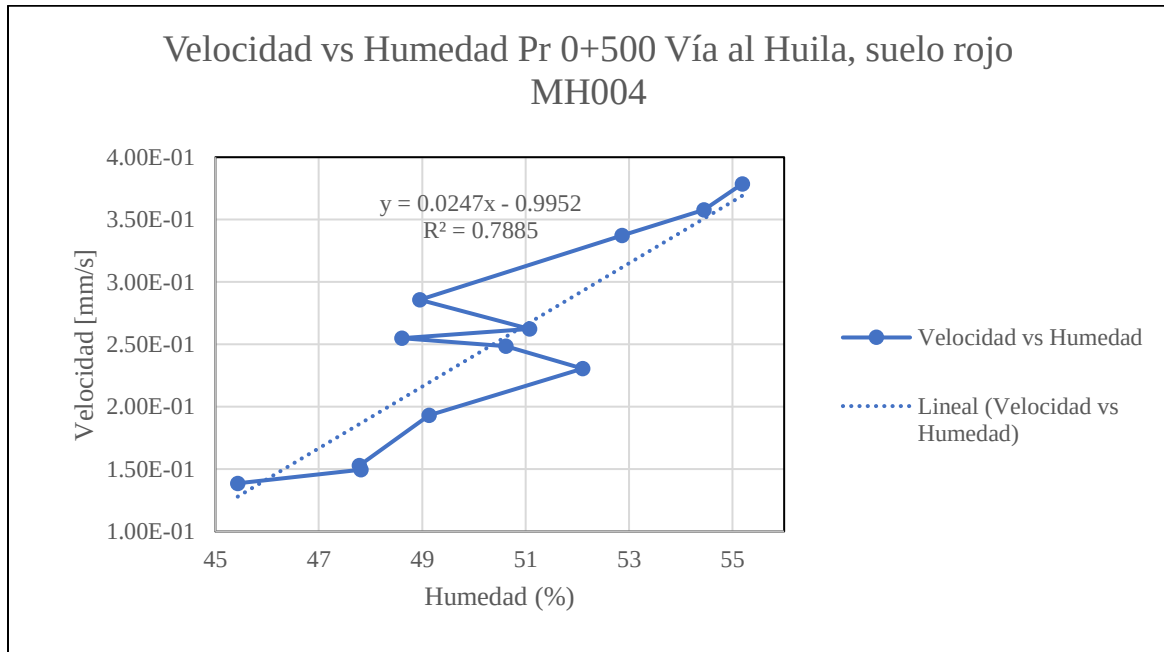
6.1.4 Pr 0+500 Vía al Huila, suelo rojo MH004

Tabla 43 Resumen de velocidades experimentales, para todos los números de golpes, Suelo MH004

Resumen				
Humedad (%)	Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$\sqrt{(u^2 + v^2)}$ mm/s
55.189	15	8.49E-05	3.63E-04	3.79E-01
54.450	16	7.61E-05	3.49E-04	3.58E-01
52.865	19	2.06E-04	2.48E-04	3.37E-01
48.956	21	6.86E-05	2.77E-04	2.86E-01
51.075	23	2.14E-05	2.60E-04	2.62E-01
48.607	24	7.82E-05	2.41E-04	2.55E-01
50.617	25	1.54E-04	1.80E-04	2.48E-01
52.101	25	1.47E-04	1.75E-04	2.30E-01
49.135	28	1.17E-04	1.48E-04	1.93E-01
47.783	33	8.48E-05	1.09E-04	1.53E-01
47.811	34	5.42E-05	1.39E-04	1.50E-01
45.432	35	7.28E-05	9.94E-05	1.39E-01
Promedio				2.49E-01
			desviación	0.07380555
			coef. Vari	29.63%

Ilustración 86 . Velocidades experimentales vs # Golpes, para todos los números de golpes, Suelo MH004





6.1.5 Pr 0+500 Entrada a Pueblillo, Suelo rojo MH005

Tabla 44 Resumen de velocidades experimentales, para todos los números de golpes, Suelo MH005

Resumen				
Humedad (%)	Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$\sqrt{(u^2 + v^2)}$ mm/s
68.698	16	2.84E-04	2.14E-04	3.61E-01
69.411	16	2.21E-04	2.77E-04	3.61E-01
68.726	17	1.96E-04	2.75E-04	3.59E-01
65.215	21	6.42E-05	2.44E-04	2.52E-01
68.698	22	1.23E-04	2.15E-04	2.49E-01
69.411	23	1.21E-04	1.98E-04	2.35E-01
68.726	26	1.46E-04	1.37E-04	2.28E-01
65.215	28	1.33E-04	1.38E-04	2.02E-01
68.698	28	1.51E-04	1.24E-04	1.99E-01
69.411	32	4.42E-05	1.62E-04	1.74E-01
68.726	33	9.96E-05	1.25E-04	1.65E-01
55.271	35	9.34E-05	1.32E-04	1.64E-01
Promedio				2.46E-01
			desviación	0.069
			coef. Vari	28.12%

Ilustración 88 . Velocidades experimentales vs # Golpes, para todos los números de golpes, Suelo MH005

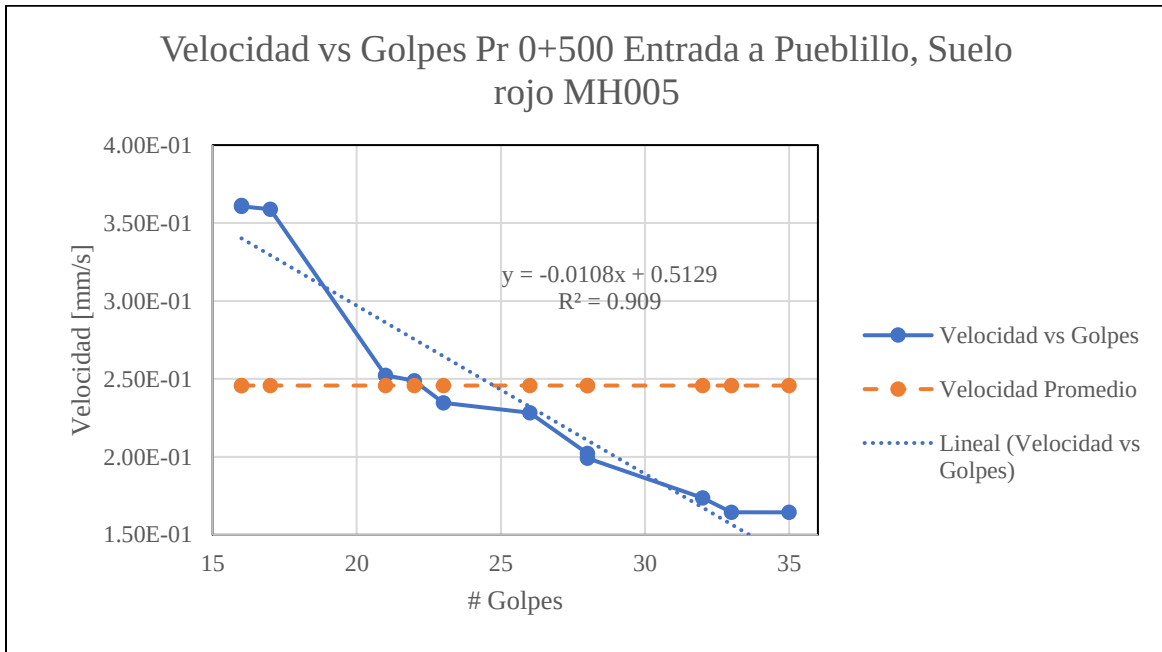
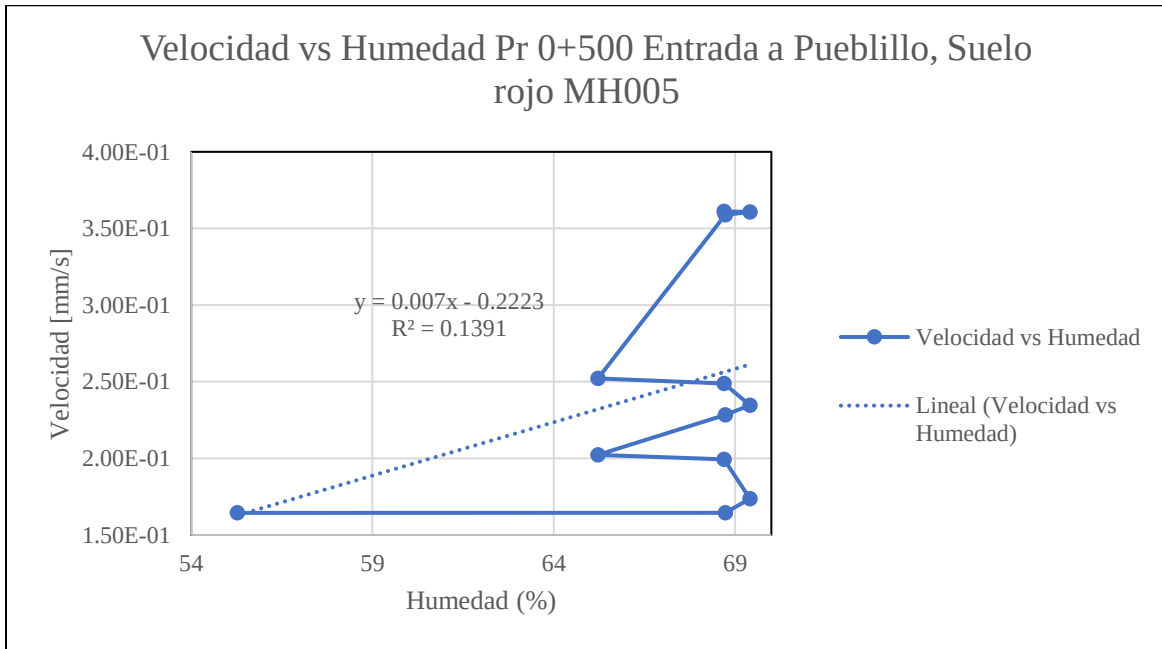


Ilustración 89. Velocidad vs Humedad datos compilados MH005



6.2 VELOCIDADES EXPERIMENTALES DE SUELOS ML (limos de baja plasticidad)

Para facilidad se identifica en la tabla de Excel cada suelo con el siguiente nombre:

Tabla 45. Identificador de suelos ML

Nombre	Identificador en los anexos
Suelo vereda El Charco, Vía Popayán-El Tambo (Cauca) Talud 1	ML001
Suelo vereda El Charco, Vía Popayán-El Tambo (Cauca) Talud 4	ML002
Suelo Proporcionado 50% Talud 1 y 50% Talud 4	ML003
Suelo Proporcionado 70% Talud 1 y 30% Talud 4	ML004
Suelo Proporcionado 70% Talud 4 y 30% Talud 1	ML005

6.2.1 Suelo vereda El Charco, Vía Popayán-El Tambo (Cauca) Talud 1 ML001

Tabla 46. Resumen de velocidades experimentales, para todos los números de golpes, Suelo ML001

Resumen Suelo vereda El Charco, Vía Popayán-El Tambo (cauca) Talud 1 ML001				
Humedad %	Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$\sqrt{(u^2) + (v^2)}$ mm/s
38.458	15	2.86E-04	1.18E-04	3.09E-01
37.899	16	2.43E-04	1.29E-04	2.75E-01
37.518	16	2.18E-04	9.23E-05	2.37E-01
36.158	22	1.80E-04	1.12E-04	2.12E-01
35.995	24	1.77E-04	1.02E-04	2.04E-01
35.692	25	1.59E-04	1.15E-04	1.96E-01
35.419	27	1.49E-04	8.54E-05	1.72E-01
35.425	28	1.39E-04	9.09E-05	1.66E-01
35.219	30	1.34E-04	7.98E-05	1.56E-01
35.332	30	1.24E-04	7.95E-05	1.48E-01
35.136	31	1.05E-04	5.50E-05	1.19E-01
Promedio				1.99E-01
			desv standard	0.057
			coef. var	28.55%

Ilustración 90. Velocidades experimentales vs # Golpes, para todos los números de golpes, Suelo ML001

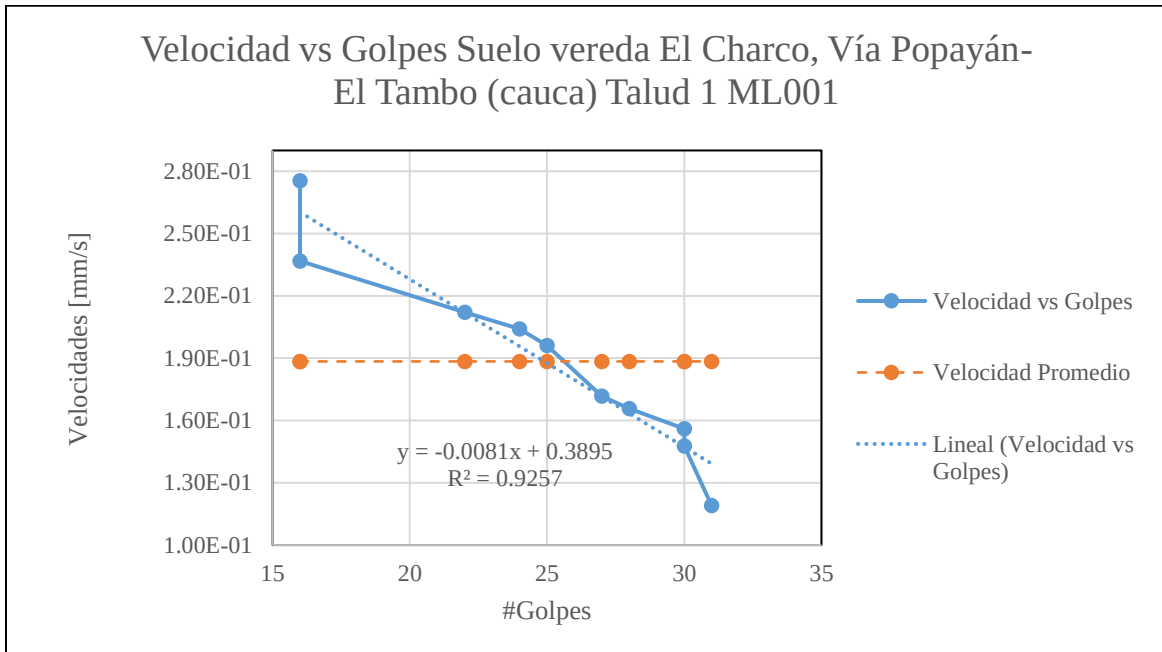
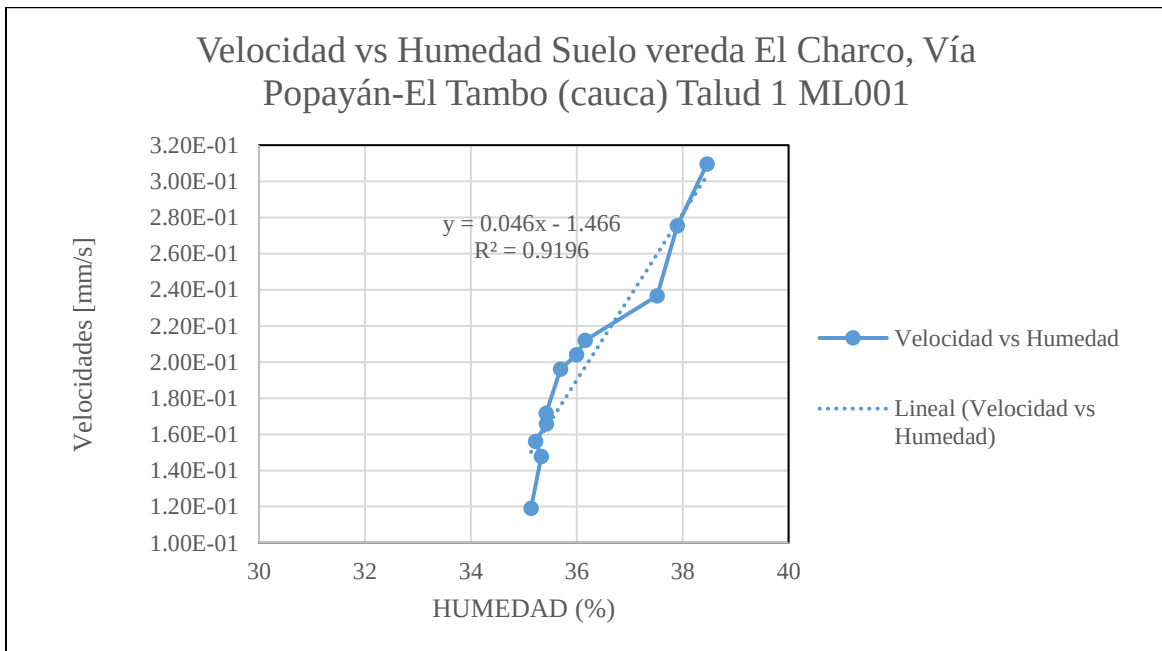


Ilustración 91. Velocidad vs Humedad datos compilados ML001



6.2.2 Suelo vereda El Charco, Vía Popayán-El Tambo (Cauca) Talud 4 ML002

Tabla 47. Resumen de velocidades experimentales, para todos los números de golpes, Suelo ML002

Resumen				
Humedad (%)	Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$\sqrt{(u^2 + v^2)}$ mm/s
48.423	17	2.94E-04	1.96E-04	3.66E-01
47.571	17	2.21E-04	2.77E-04	3.61E-01
47.509	18	1.57E-04	2.31E-04	2.89E-01
44.771	24	1.27E-04	1.69E-04	2.19E-01
44.974	25	1.42E-04	1.72E-04	2.26E-01
44.651	25	1.21E-04	1.74E-04	2.16E-01
44.247	29	1.34E-04	1.54E-04	2.08E-01
44.283	29	1.33E-04	1.43E-04	1.98E-01
44.411	29	1.21E-04	1.62E-04	2.04E-01
40.238	30	1.35E-04	1.35E-04	1.96E-01
40.229	30	1.11E-04	1.55E-04	1.95E-01
39.641	33	1.14E-04	1.05E-04	1.59E-01
Promedio				0.236
				desviación 0.055
				coef. Vari 23.21%

Ilustración 92. Velocidades experimentales vs # Golpes, para todos los números de golpes, Suelo ML002

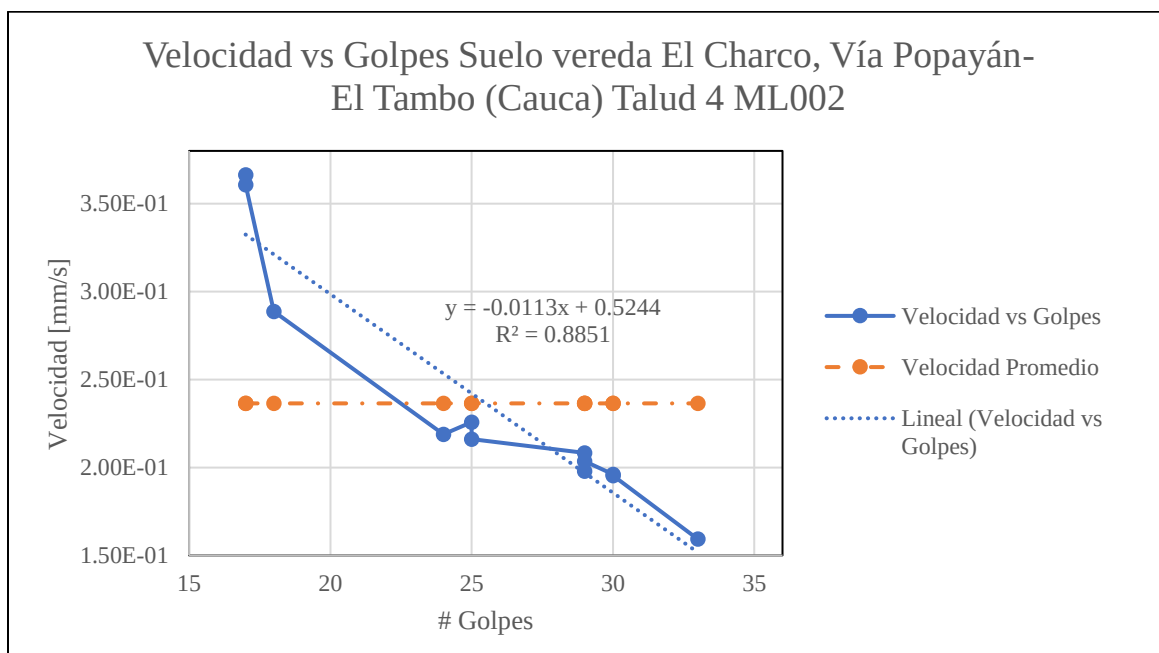
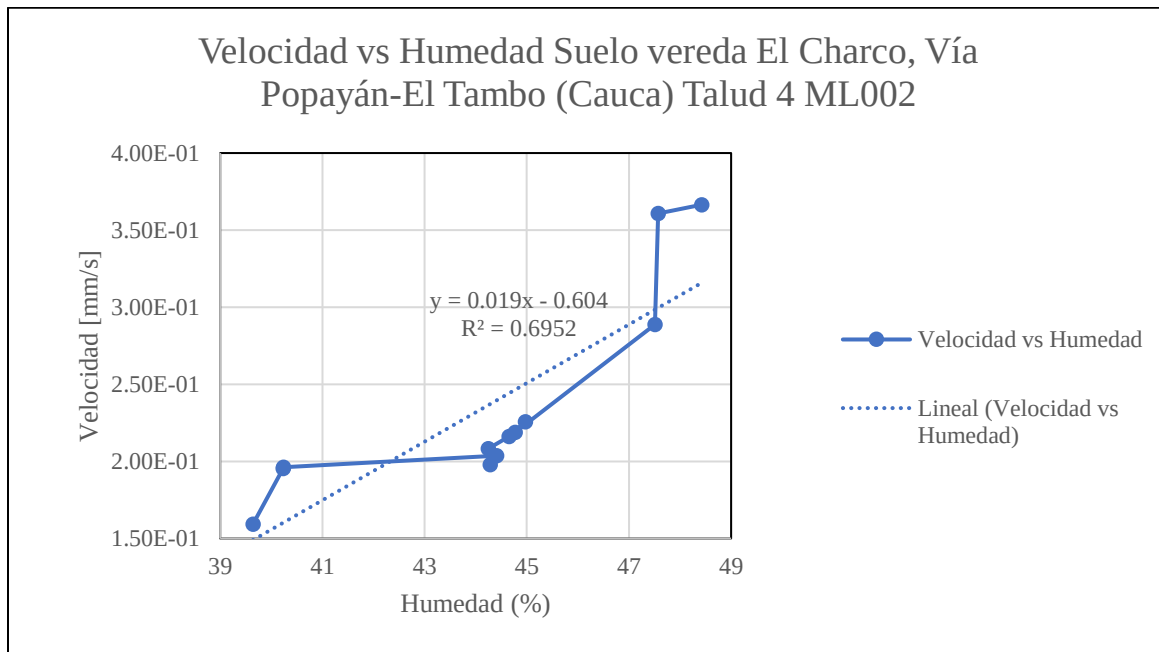


Ilustración 93. Velocidad vs Humedad datos compilados ML002



6.2.3 Suelo Proporcionado 50% Talud 1 y 50% Talud 4 ML003

Tabla 48. Resumen de velocidades experimentales, para todos los números de golpes, Suelo ML003

Resumen Suelo Proporcionado 50% Talud 1 y 50% Talud 4 ML003				
Humedad %	Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$\sqrt{(u^2 + v^2)}$ mm/s
51.630	16	1.83E-04	1.24E-04	2.21E-01
50.544	17	2.71E-04	1.53E-04	3.11E-01
49.772	18	2.65E-04	1.38E-04	2.99E-01
49.140	20	2.24E-04	1.17E-04	2.52E-01
48.996	21	2.29E-04	5.62E-05	2.36E-01
48.852	22	1.74E-04	1.25E-04	2.15E-01
48.205	25	1.39E-04	8.25E-05	1.62E-01
47.996	26	1.04E-04	8.86E-05	1.37E-01
47.458	27	1.14E-04	5.23E-05	1.25E-01
46.825	31	1.30E-04	2.94E-05	1.36E-01
46.989	31	9.33E-05	7.59E-05	1.21E-01
46.359	32	9.69E-05	7.63E-05	1.33E-01
Promedio				1.96E-01
			desv standard	0.069
			coef. var	35.28%

Ilustración 94. Velocidades experimentales vs # Golpes, para todos los números de golpes, Suelo ML003

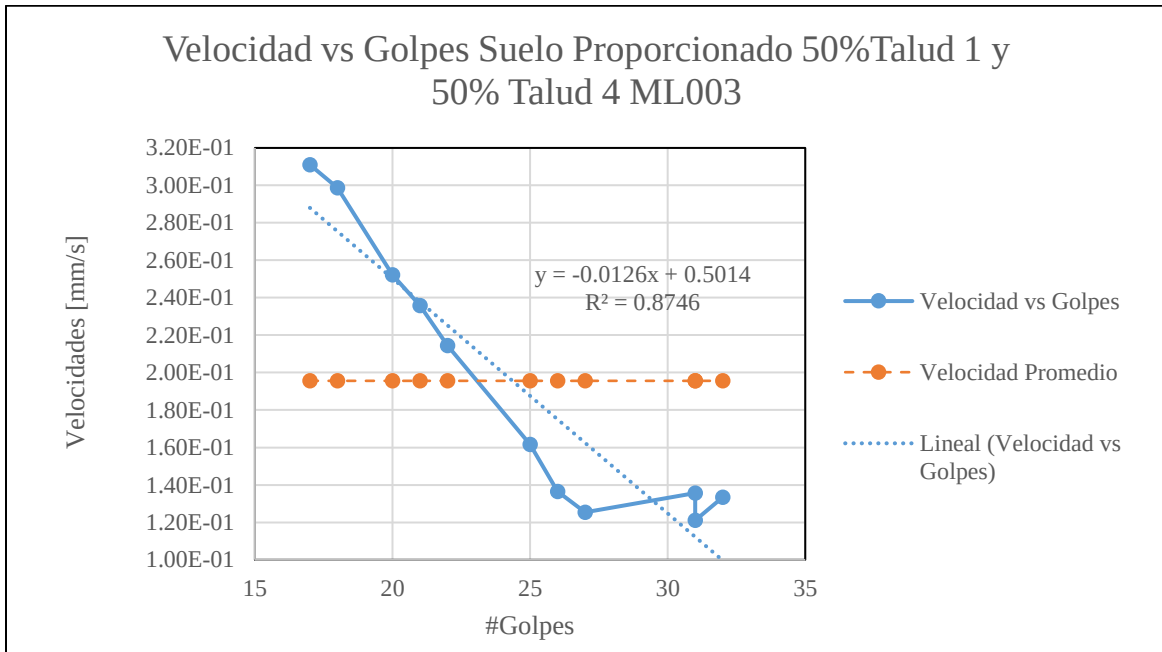
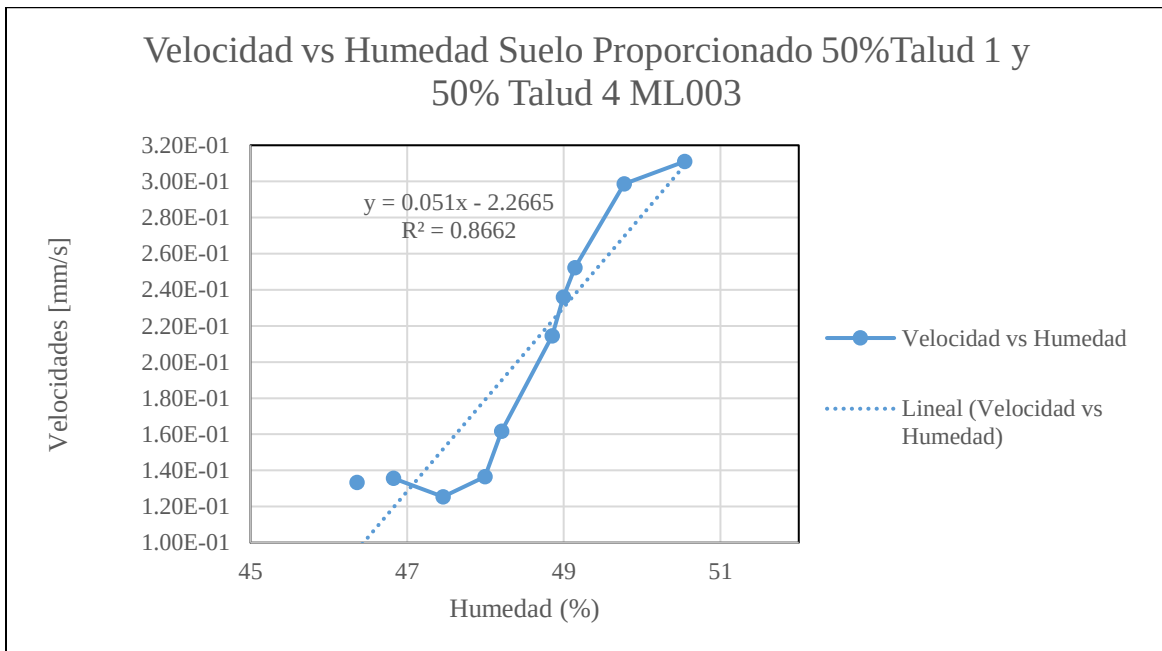


Ilustración 95. Velocidad vs Humedad datos compilados ML003



6.2.4 Suelo Proporcionado 70% Talud 1 y 30% Talud 4 ML004

Tabla 49 Resumen de velocidades experimentales, para todos los números de golpes, Suelo ML004

Resumen Suelo Proporcionado 70% Talud4 y 30% Talud 1 ML004					
Humedad %	Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$\sqrt{((u^2) + (v^2))}$ mm/s	Promedio
48.038	16	2.74E-04	2.14E-04	3.51E-01	2.43E-01
46.873	19	2.38E-04	2.06E-04	3.18E-01	2.43E-01
45.466	19	2.27E-04	2.05E-04	3.14E-01	2.43E-01
45.987	20	9.36E-05	2.87E-04	3.05E-01	2.43E-01
44.897	21	0.00E+00	0.00E+00	2.92E-01	2.43E-01
43.975	24	1.68E-04	2.04E-04	2.65E-01	2.43E-01
44.630	26	1.46E-04	1.98E-04	2.54E-01	2.43E-01
43.597	27	1.50E-04	1.31E-04	2.11E-01	2.43E-01
43.185	28	1.37E-04	1.45E-04	2.07E-01	2.43E-01
42.968	33	7.30E-05	1.15E-04	1.42E-01	2.43E-01
42.909	34	1.01E-04	8.43E-05	1.34E-01	2.43E-01
41.409	35	1.02E-04	7.05E-05	1.28E-01	2.43E-01
Promedio				2.43E-01	
			desviación	0.074	
			coef. Vari	30.31%	

Ilustración 96. Velocidades experimentales vs # Golpes, para todos los números de golpes, Suelo ML004

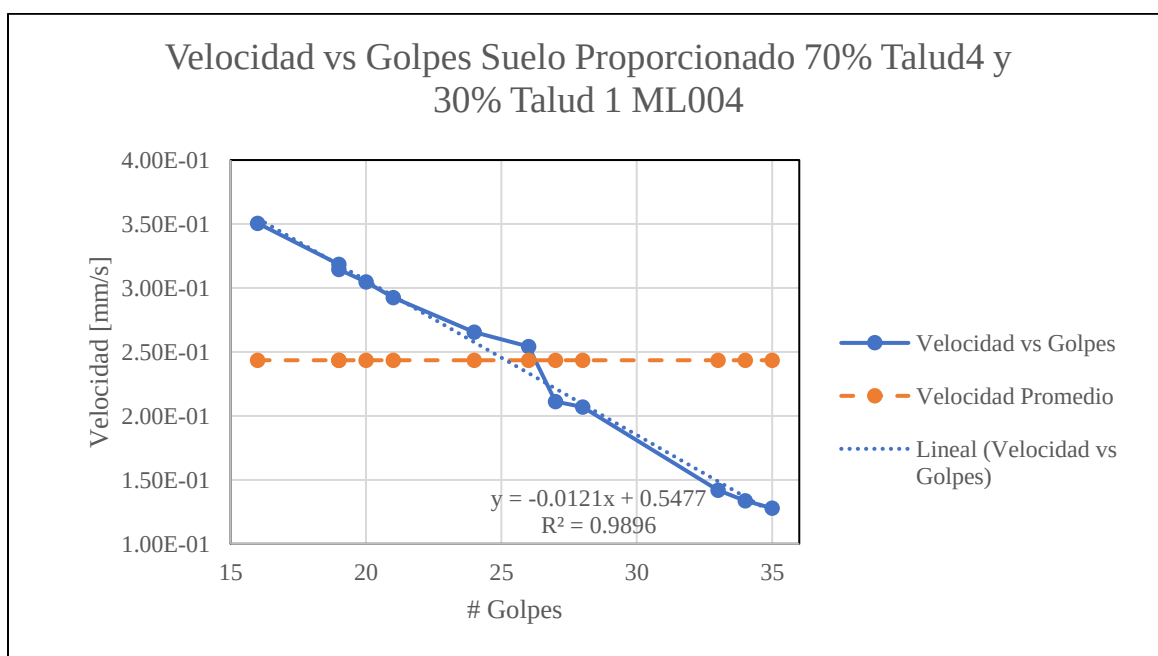
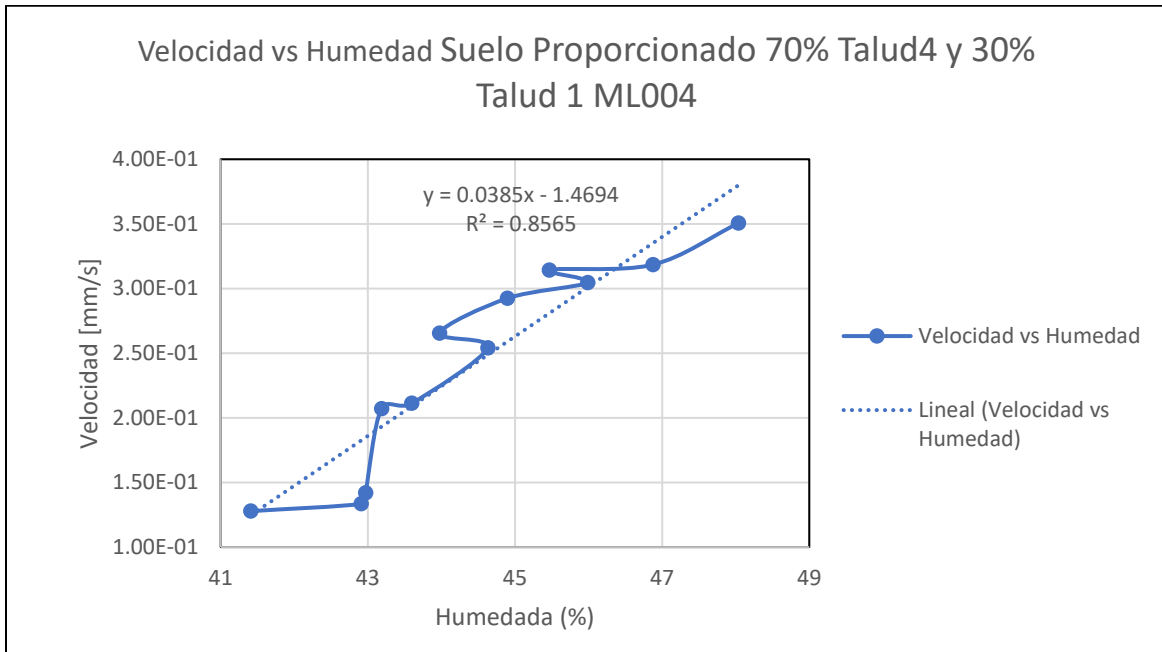


Ilustración 97. Velocidad vs Humedad datos compilados ML004



6.2.5 Suelo Proporcionado 70% Talud 4 y 30% Talud 1 ML005

Tabla 50. Resumen de velocidades experimentales, para todos los números de golpes, Suelo ML005

Resumen Suelo Proporcionado 70% Talud4 y 30% Talud 1 ML005				
Humedad %	Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$\sqrt{(u^2 + v^2)}$ mm/s
48.134	17	1.46E-04	1.01E-04	1.78E-01
48.742	17	1.75E-04	1.12E-04	2.07E-01
46.772	23	1.67E-04	7.81E-05	1.85E-01
45.824	24	1.54E-04	6.08E-05	1.66E-01
44.583	25	1.39E-04	8.00E-05	1.61E-01
44.544	27	1.30E-04	7.82E-05	1.51E-01
43.713	29	9.89E-05	7.48E-05	1.24E-01
43.849	31	1.02E-04	6.08E-05	1.19E-01
43.687	33	7.81E-05	7.05E-05	1.05E-01
43.569	33	5.54E-05	1.05E-04	1.19E-01
Promedio				1.52E-01
			desv standard	0.034
			coef. var	22.23%

Ilustración 98. Velocidades experimentales vs # Golpes, para todos los números de golpes, Suelo ML005

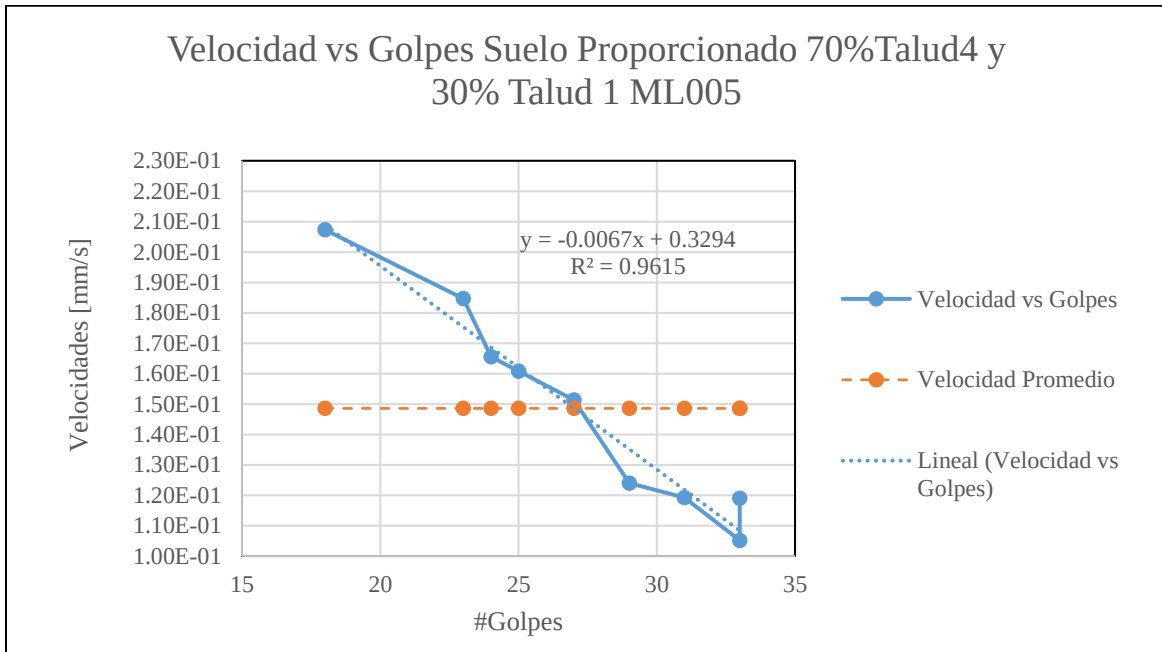
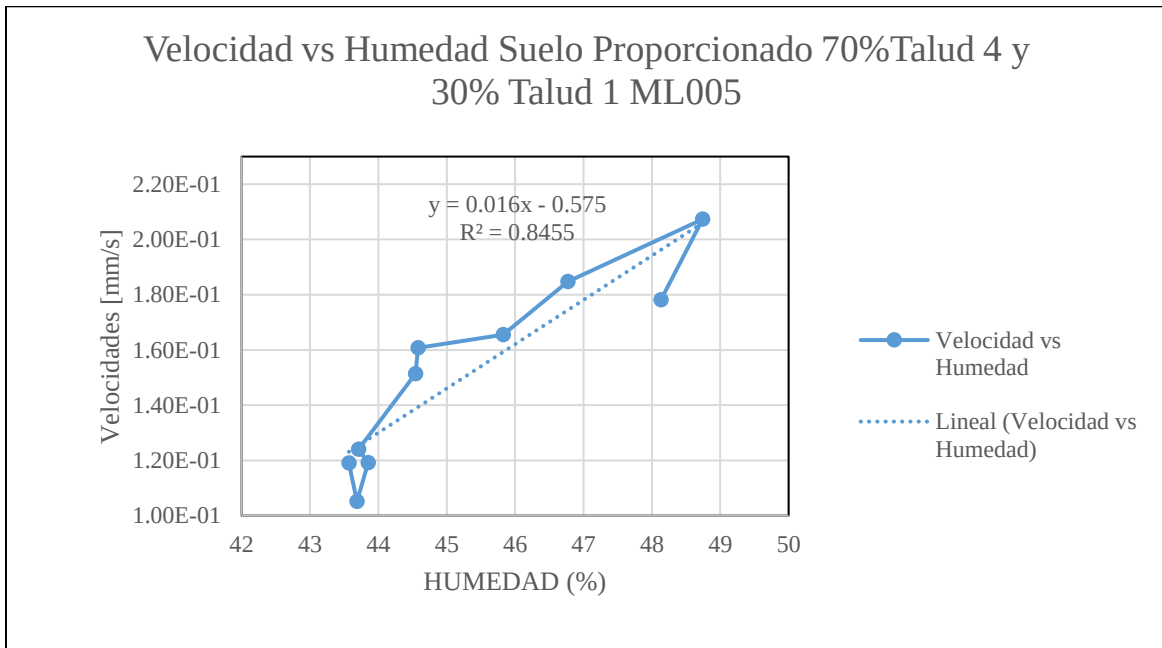


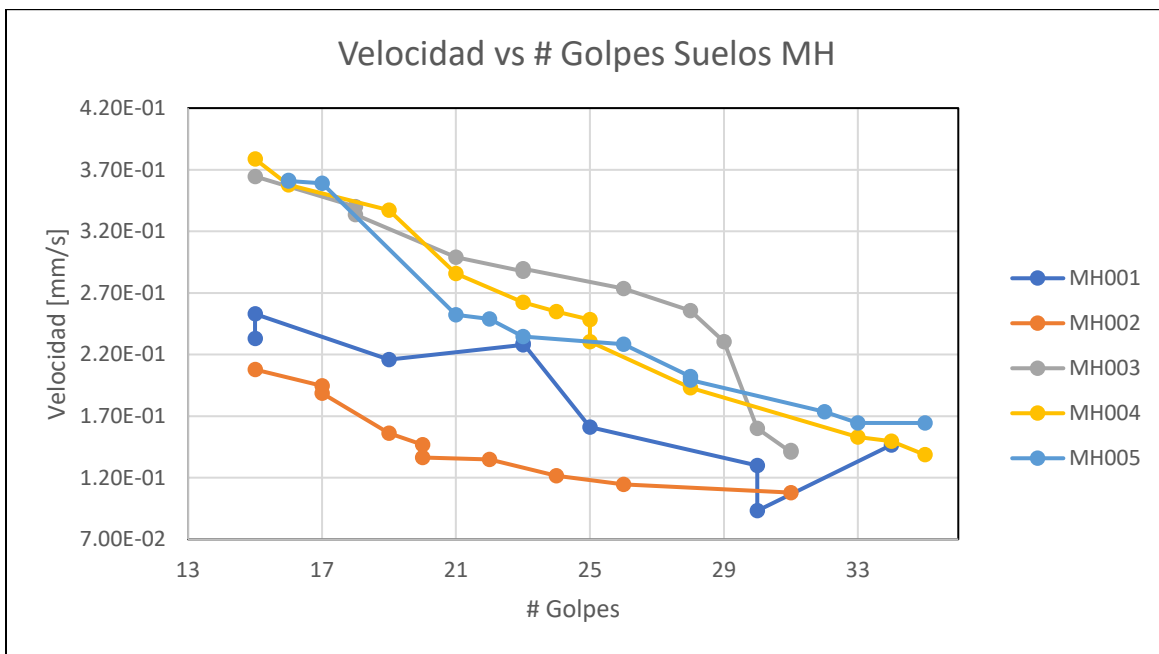
Ilustración 99. Velocidad vs Humedad datos compilados ML005



7 DISCUSION Y CONCLUSIONES

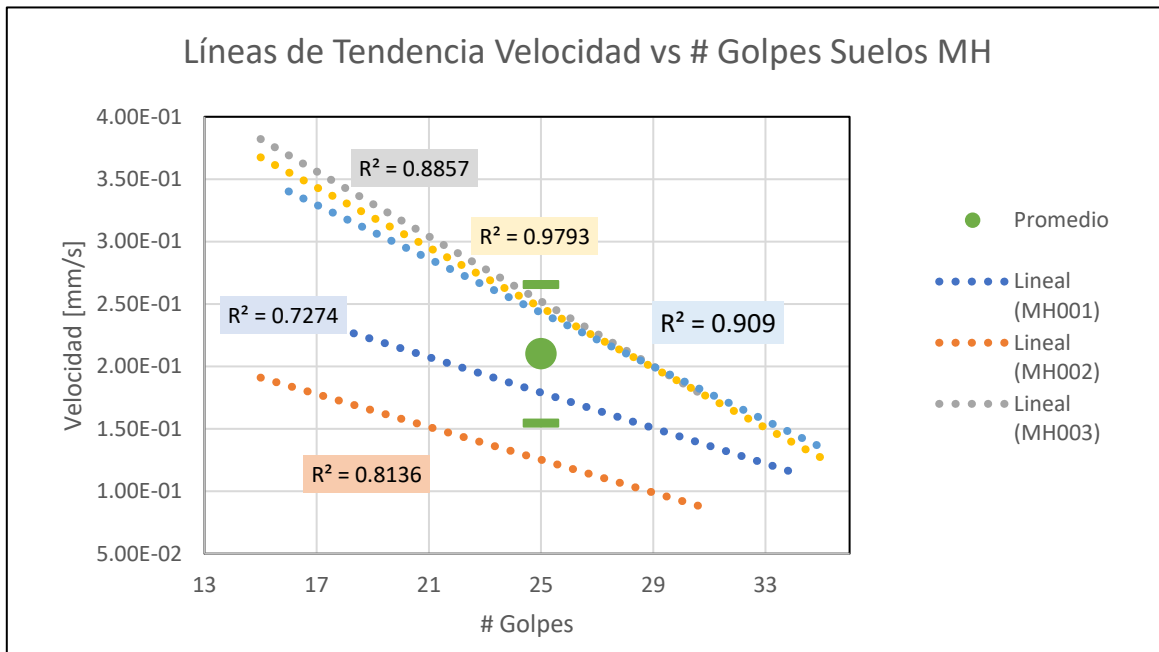
- ✓ Cuando se analiza la relación entre velocidad [mm/s] y número de golpes (ver Ilustración 100 e Ilustración 102) en suelos tipo MH y ML, un R^2 cercano a 1 indica que la mayor parte de la variabilidad observada en la velocidad puede explicarse directamente por el aumento en el número de golpes, confirmando que el patrón esperado, a más golpes, menor velocidad. Este alto valor revela un esfuerzo exitoso del modelo lineal para capturar esa tendencia decreciente, (ver Ilustración 101 e Ilustración 103).

Ilustración 100. Velocidades experimentales vs # Golpes, para todos los Suelos MH



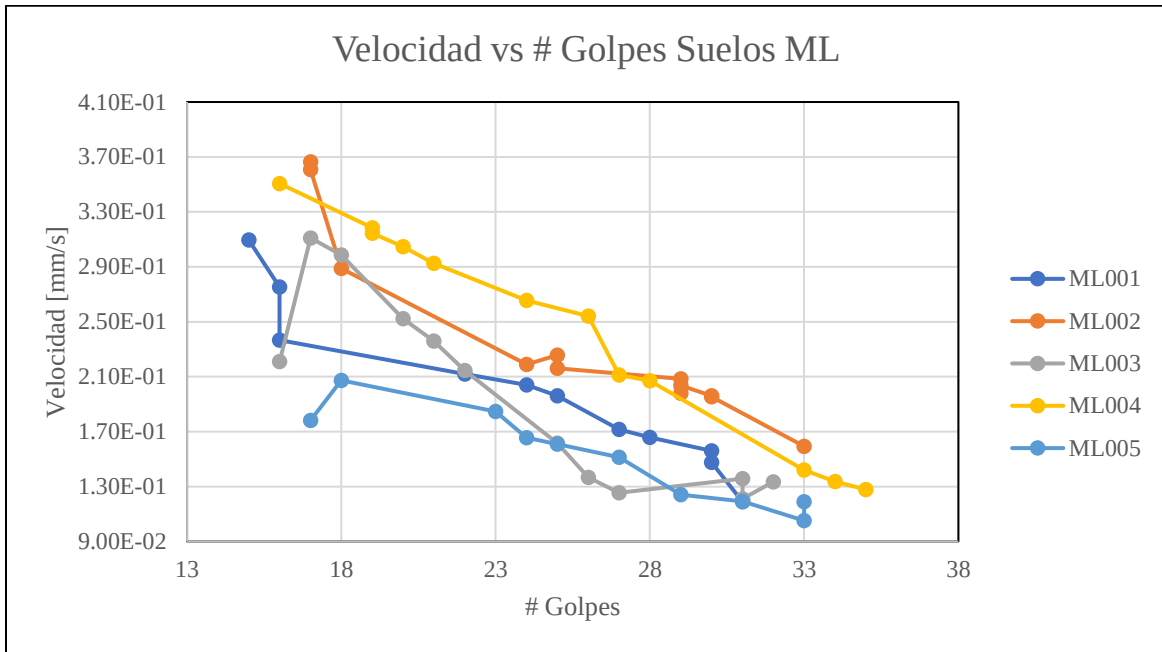
- ✓ La Ilustración 101 muestra que, la velocidad promedio a los 25 golpes abarca los 4 suelos analizados, pero el suelo MH002 se sale del rango común, pues presenta velocidades más bajas que los demás para la misma cantidad de golpes, esto se debe a que, al tener un límite líquido muy alto, es mucho más plástico, lo que hace que la mezcla agua-suelo sea más viscosa y el movimiento del flujo se vea amortiguado en la cazuela de Casagrande; por eso su comportamiento y pendiente resultan diferentes frente a los otros suelos MH

Ilustración 101. Líneas de Tendencia de Velocidades experimentales vs # Golpes, para todos los Suelos MH



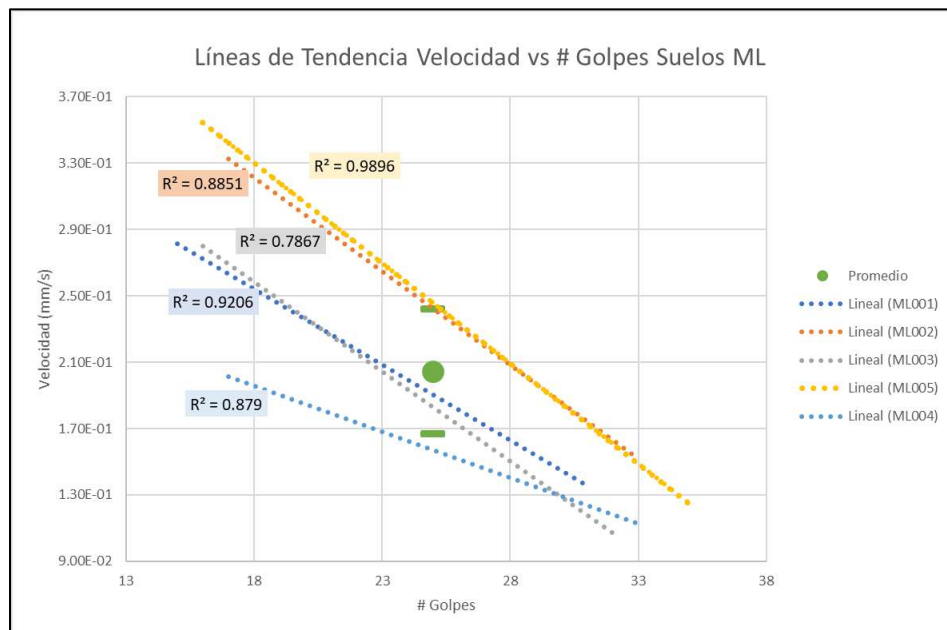
- ✓ Aunque se pensaría que al mezclar los suelos ML001 y ML002, los suelos ML003, ML004 y ML005 deberían actuar como un “punto medio”, en verdad eso no ocurre (ver Ilustración 102) porque el suelo y el agua no se junta de manera simple: Pequeñas variaciones de mineralogía y proporción de finos cambian drásticamente la viscosidad, la forma en que el material se mueve o la forma como pasa agua entre el suelo. A eso se añaden detalles del ensayo: como la forma de la ranura, la humedad efectiva, la preparación de la muestra y hasta condiciones ambientales, que influyen en cómo fluye el suelo en la cazuela. Y por el lado del PIVLab, factores como la calibración de la escala, movimiento de las imágenes, el contraste de las imágenes y los parámetros de análisis también pueden hacer que las velocidades medidas se vean diferentes.

Ilustración 102. Velocidades experimentales vs # Golpes, para todos los Suelos ML



- ✓ En la Ilustración 103, el suelo ML005 tiene velocidades bajas que superan el rango promedio determinado para los 5 suelos ML estudiados en cuestión y esto se debe a que es el suelo que tiene el índice de plasticidad más alto de los ML y puede ser más cohesivo y resistente al movimiento.

Ilustración 103. Líneas de Tendencia de Velocidades experimentales vs # Golpes, para todos los Suelos ML



- ✓ Los resultados mostraron que, para los suelos MH (alta plasticidad), se presentaron incrementos de velocidad más abruptos a medida que aumentó su contenido de humedad, lo que evidencia una mayor sensibilidad y la posibilidad de deformaciones rápidas en condiciones específicas. En contraste, los suelos ML (baja plasticidad) registraron incrementos más graduales en sus propias condiciones de humedad, lo que refleja un comportamiento más estable dentro de su rango de análisis. Es importante aclarar que las diferencias observadas no corresponden a una comparación directa entre MH y ML, dado que cada tipo de suelo fue evaluado en humedades distintas (ver Ilustración 104 a la Ilustración 107).

Ilustración 104. Velocidad vs Humedad de todos los suelos MH

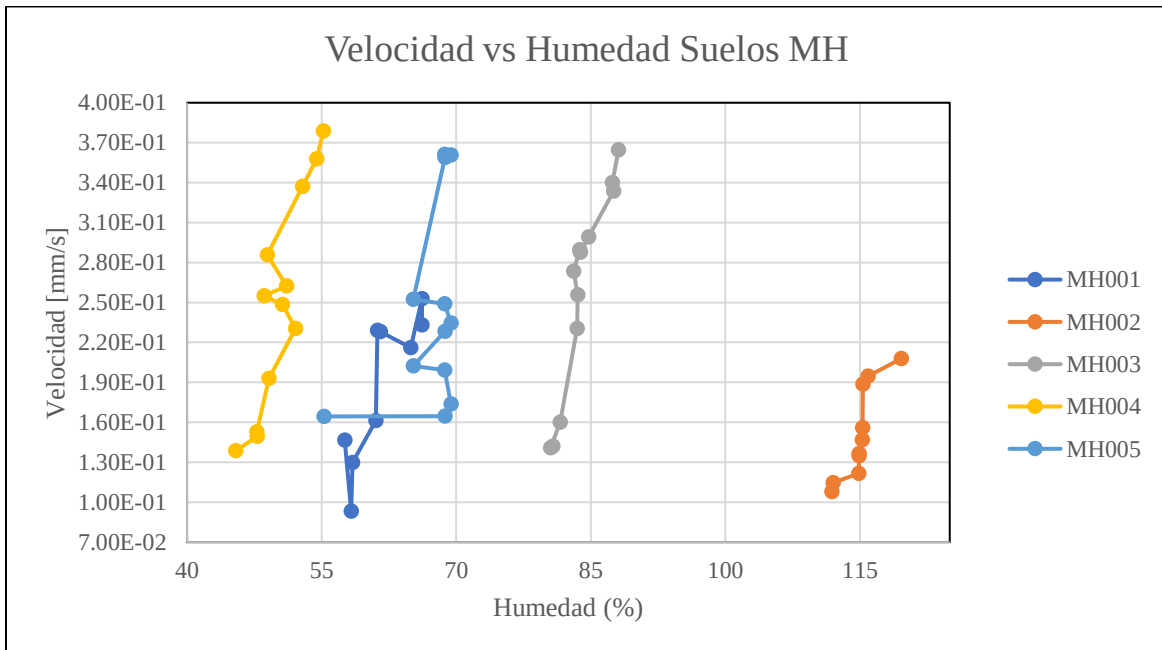


Ilustración 105. Líneas de Tendencia de Velocidades experimentales vs # Humedad, para todos los Suelos MH

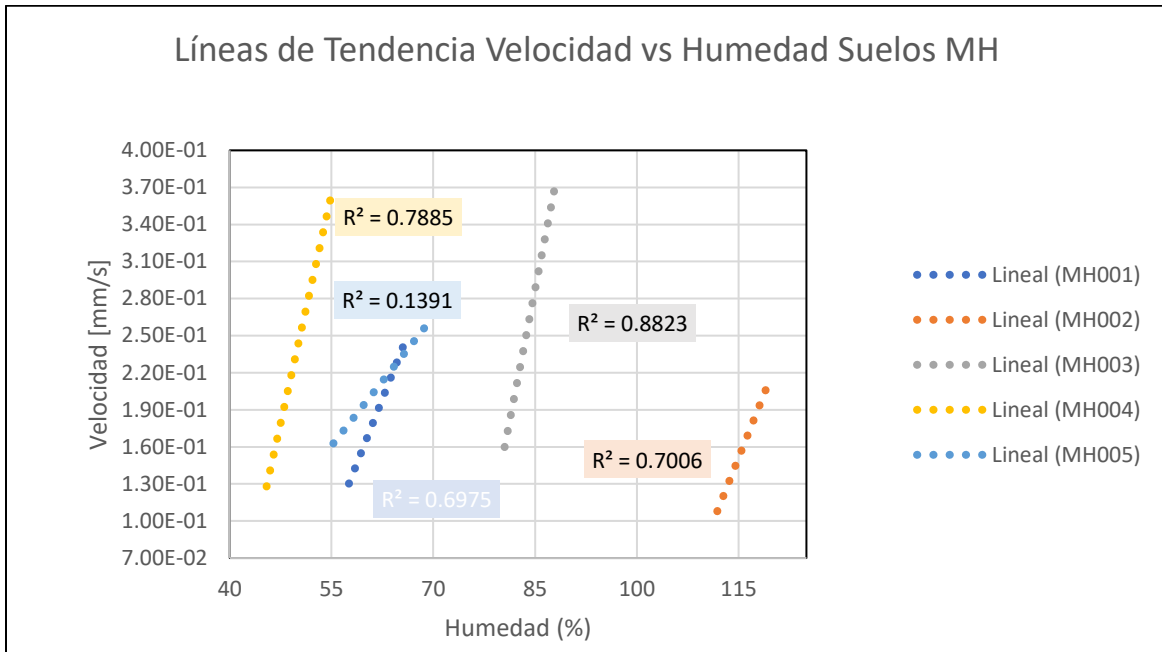


Ilustración 106 .Velocidad vs Humedad de todos los suelos ML

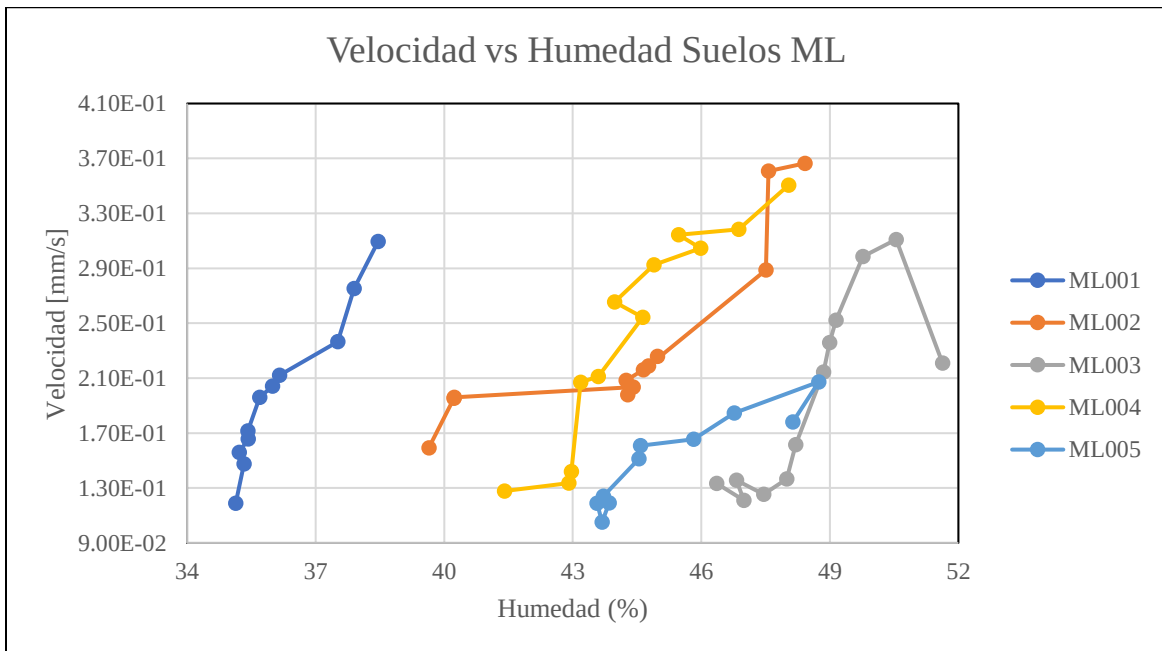
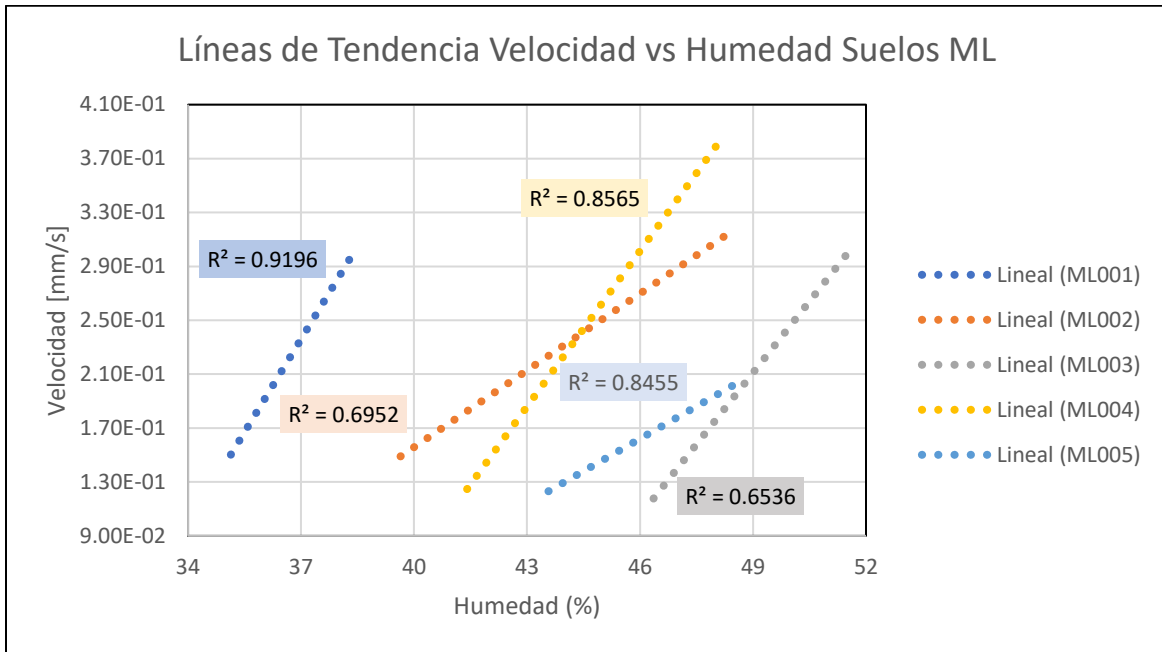


Ilustración 107. Líneas de Tendencia de Velocidades experimentales vs # Humedad, para todos los Suelos ML



- ✓ Todos los suelos tienen la misma velocidad de flujo, esto se puede afirmar de acuerdo al coeficiente de variación del 21.55% para suelos MH (véase la Tabla 51) y del 17.79% para suelos ML (véase la Tabla 52), teniendo en cuenta la clasificación del coeficiente de variación de “Fisher y Montgomery, 2013” (Tabla 53), donde se observa que la desviación está en un rango entre 10-25, por lo cual la dispersión es moderada, variabilidad aceptable, pero hay que tener en cuenta que esta clasificación es en general, si se tiene en cuenta que esto lo aplicamos a la velocidad de flujo de un suelo, donde su movimiento no es consistente entre sí, la calidad de medición de estos datos es aceptable.

Tabla 51. Velocidades experimentales promedio, Velocidades en el límite líquido y Distancia de cierre, Suelos MH

Código	Suelo MH	Vel LL prom [mm/s]	Vel a los 25 golpes [mm/s]	d 25 golpes [mm]
MH001	Suelo vereda La Cabuyera, Vía Popayán-Santander (Cauca)	0.188	0.182	2.230
MH002	Pr 0+500 Vía al Huila, suelo amarillo	0.151	0.125	1.886
MH003	Suelo Talud de la Facultad de Ciencias Contables	0.260	0.252	3.247
MH004	Pr 0+500 Vía al Huila, suelo rojo	0.249	0.248	3.114
MH005	Pr 0+500 Entrada a Pueblillo, Suelo rojo	0.246	0.243	3.072
	Promedio	0.219	0.210	2.710
	Desv standard	0.047	0.055	0.611
	Coef. var	21.55%	26.41%	22.54%

Tabla 52. Velocidades experimentales promedio, Velocidades en el límite líquido y Distancia de cierre, Suelos ML

Código	Suelo ML	Vel LL prom [mm/s]	Vel a los 25 golpes [mm/s]	d 25 golpes [mm]
ML001	Suelo vereda El Charco, Vía Popayán-El Tambo (Cauca) Talud 1	0.199	0.187	2.493
ML002	Suelo vereda El Charco, Vía Popayán-El Tambo (Cauca) Talud 4	0.236	0.242	2.956
ML003	Suelo Proporcionado 50% Talud 1 y 50% Talud 4	0.196	0.186	2.445
ML004	Suelo Proporcionado 70% Talud 1 y 30% Talud 4	0.243	0.245	3.044
ML005	Suelo Proporcionado 70% Talud 4 y 30% Talud 1	0.152	0.160	1.894
	Promedio	0.205	0.204	2.566
	Desv standard	0.037	0.038	0.462
	Coef. var	17.79%	18.46%	17.98%

Tabla 53. Clasificación del Coeficiente de variación

C.V	Clasificación
<10	Dispersión baja, mediciones consistentes
10 - 25	Dispersión moderada, variabilidad aceptable
>25	Datos dispersos, errores e inconsistencias en las mediciones

De lo mencionado anteriormente, se puede afirmar que la diferencia que hay entre estas velocidades es mínima y esto es debido a que hay suelos que se deforman más que otros y por eso las diferencias en las velocidades. Algunos suelos en el límite líquido se mueven mucho, esto lo podemos comparar en la forma en que la ranura se cierra, como se observa en la Ilustración 108, Ilustración 109 e Ilustración 110, teniendo en cuenta que lo que analizamos es la velocidad del cuarto de la cazuela donde vemos no solo la velocidad donde se cierra sino también de lo excedente, esto es donde se marca una sensibilidad la cual hace una diferencia. Por tanto, podemos concluir que, aunque entre estos suelos tienen una aproximada resistencia mecánica más o menos igual, hay unos suelos más deformables en límite líquido.

Ilustración 108. cierre ranura a 16 golpes



Ilustración 109. Cierre de ranura a 24 golpes



- ✓ La hipótesis de que las velocidades de flujo, medidas mediante velocimetría de imágenes de partícula (PIV), son consistentes según las características de suelos MH y ML en el límite líquido encuentra respaldo parcial en los resultados obtenidos. En efecto, en ambos tipos de suelo se observa una clara relación lineal entre número de golpes y velocidad lo que indica un comportamiento fluido predecible y una consistencia en las mediciones. No obstante, no se pudo verificar de manera visual mediante las gráficas que en el momento en que los suelos están en el límite líquido (a 25 golpes) la velocidad de flujo fuese la misma exactamente sin embargo con un coeficiente de variación de 26.41 % (véase la Tabla 51), para los suelos MH y con un coeficiente de variación de 18.46 % (véase la Tabla 52), para los suelos ML, tienen una variabilidad aceptable.
- ✓ Comparación entre velocidades teóricas y experimentales:
Al comparar el resultado teórico con las velocidades obtenidas experimentalmente mediante PIVLab, se observa una diferencia significativa:

Tabla 54. Comparación de Velocidad teórica vs Velocidad Experimental

Velocidad Teórica (ideal)	0.08 mm/ sg
Velocidad Experimental (promedio)	0.212 mm/ sg

Este contraste se debe principalmente a que el modelo teórico considera solo el movimiento local en la pata del talud, mientras que los resultados experimentales mostraron que el movimiento real involucra todo el talud, generando velocidades mucho mayores y más variables.

- ✓ Además, el análisis de imágenes revela que el suelo no solo se mueve de forma puntual, sino que fluye como una masa cohesiva, amplificando la velocidad media del movimiento. Esta diferencia valida el uso de técnicas como PIVLab que permiten comprender el comportamiento real del suelo y capturar fenómenos que no pueden ser representados adecuadamente con suposiciones simplificadas.

Ilustración 110. Vista cercana del movimiento de un vector de las velocidades analizadas

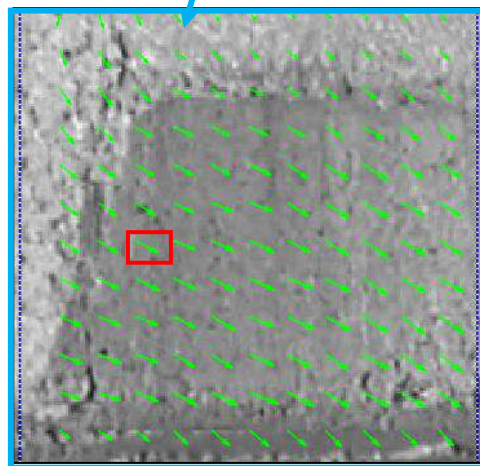
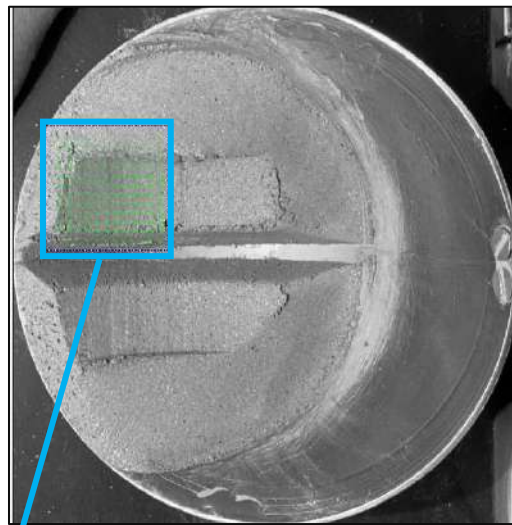


Figura A. Segundo golpe.

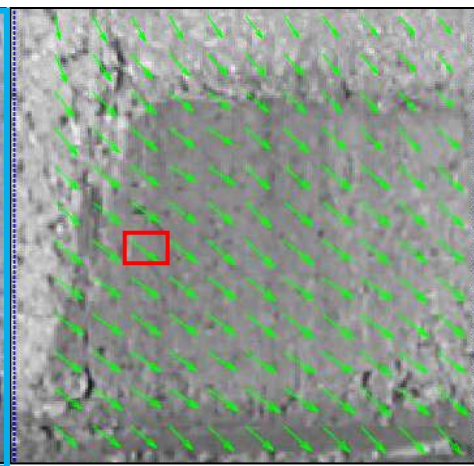


Figura B. Cuarto golpe

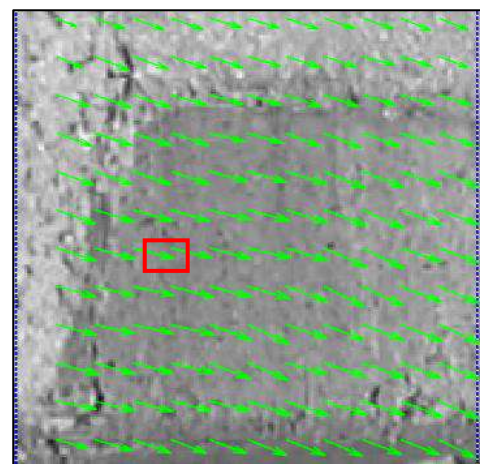


Figura C. Sexto golpe

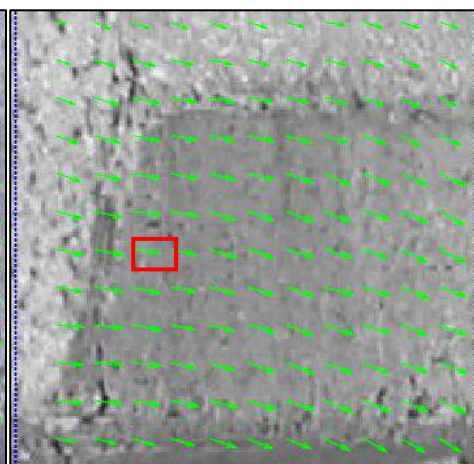


Figura D. Octavo golpe

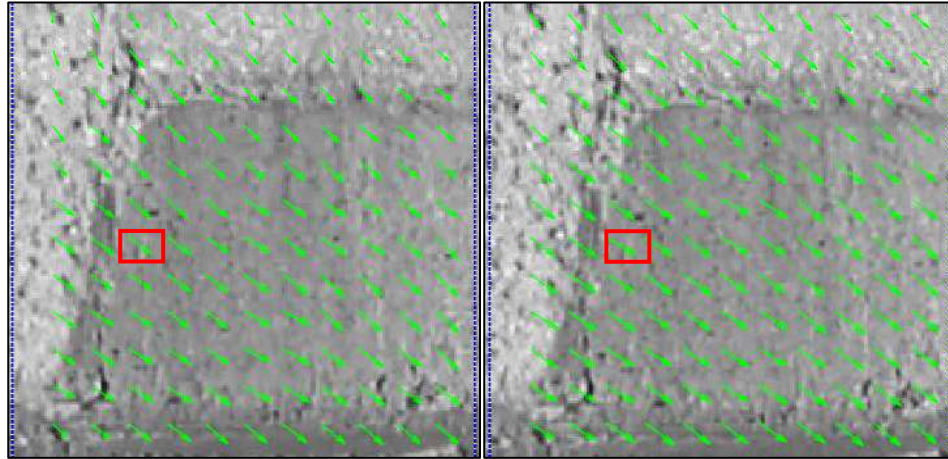
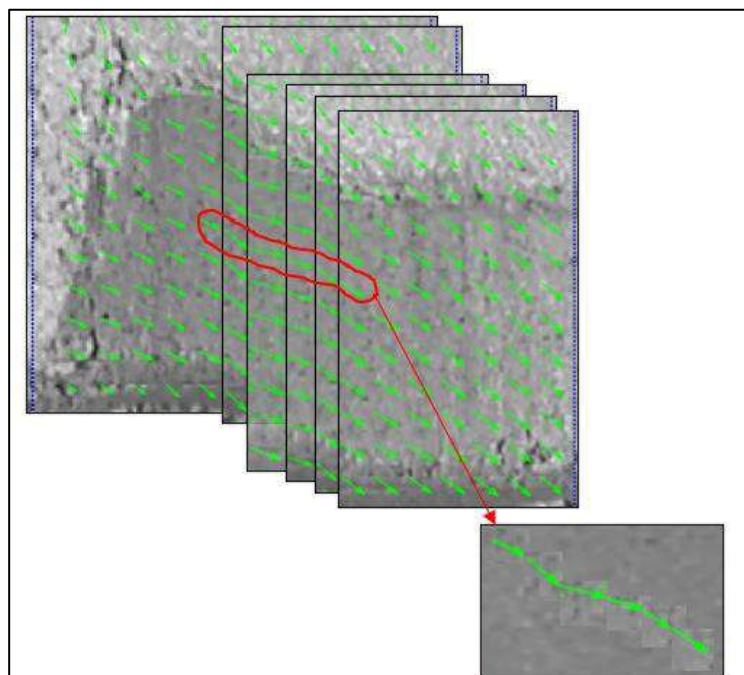


Figura E. Décimo golpe

Figura F. Doceavo golpe

Las figuras A, B, C, D, E y F, muestran la región de interés estudiada. El recuadro rojo señala a uno vector y como va evolucionando a medida que se dan más golpes de la cazuela, se aprecia que los vectores de desplazamiento a medida que se va cerrando la ranura tienen componente hacia la ranura y lateral, también se observa que en la vecindad de la ranura hay diferentes vectores de velocidades de movimiento de todo el sistema lo cual explica la diferencia de velocidad de movimiento y las variaciones. (véase Ilustración 110 a la Ilustración 111)

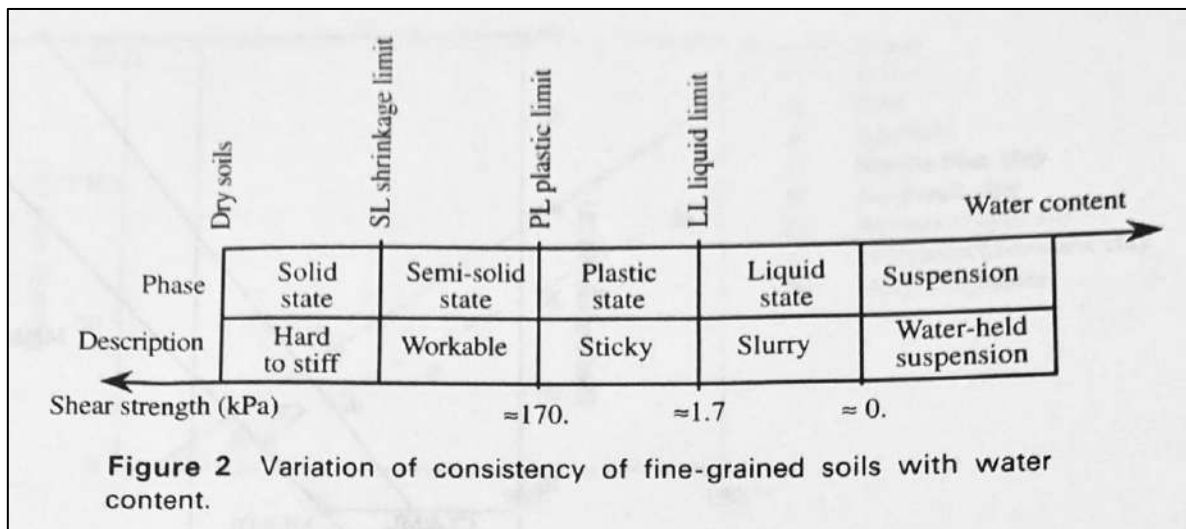
Ilustración 111. Movimiento de vectores



Cabe resaltar que la diferencia entre la velocidad teórica y la velocidad experimental radica en que la velocidad teórica es calculada en el punto en que se tocan los taludes, mas no cuando se cierran los 13 mm normalizados, y al medir la velocidad experimental, si se evalúa hasta la distancia de cierre de 13mm, por esto estas velocidades son de mayor magnitud.

- ✓ La Ilustración 112 sobre los límites de Atterberg evidencia que la resistencia al corte de los limos disminuye conforme aumenta el contenido de agua, pasando de valores altos en estado sólido hasta aproximadamente 1.7 kPa en el límite líquido, donde el suelo pierde rigidez. Esta reducción progresiva de la resistencia explica que, al acercarse al límite líquido, los limos presenten mayor movilidad y velocidad de flujo, a menor resistencia al corte, mayor velocidad de flujo, en ese límite la resistencia al corte siempre es la misma y en esta investigación determinamos que la velocidad de flujo también se mantiene para todos los Limos.

Ilustración 112. Límites de consistencia. Casagrande.



Fuente: Tomado de Experimental Soil Mechanics.

- ✓ Durante el ensayo se observó que, cuando la cazuela contenía una menor cantidad de suelo, esta tendía a “bailar” o desplazarse de manera inestable, lo que ocasionaba cambios bruscos en la dirección del movimiento detectados por el velocímetro de partículas. Este fenómeno resulta inconveniente, ya que introduce variaciones no deseadas en las mediciones y compromete la precisión de los resultados, dado que el

desplazamiento lateral o irregular de la cazuela no debería ocurrir bajo condiciones de ensayo controladas.

- ✓ La calidad de la iluminación, la calibración óptica y la homogeneidad de la muestra fueron determinantes para evitar errores en la medición de velocidades. Esto refuerza la necesidad de protocolos estrictos de montaje y captura.
- ✓ Los resultados obtenidos del PIV sirven para construir repositorios que relacionen velocidad de flujo con tipo de suelo, lo cual serviría como referencia en estudios de diseño de cimentaciones, taludes y vías.
- ✓ Integrar esta metodología en prácticas de laboratorio universitarias, ayudara a fomentar el aprendizaje en técnicas digitales de medición y sensibilizando a los futuros ingenieros en el uso de herramientas más objetivas.
- ✓ En términos de tratamiento de datos, el uso de PIV permitió:
 - Medir desplazamientos de partículas con precisión submilimétrica.
 - Establecer curvas velocidad vs. humedad y velocidad vs. número de golpes que identificaron patrones específicos para cada tipo de suelo.

En la comparación entre valores teóricos y experimentales de velocidad, las diferencias fueron explicables por factores de calibración (pequeñas diferencias de altura de caída, que se corregían permanentemente), variaciones microestructurales del suelo y condiciones de ensayo (luz, enfoque, homogeneidad de la muestra).

8 BIBLIOGRAFÍA

- Alongi, F. (2020). Evaluación de programas de software libre para el monitoreo de ríos: Prueba de PIVlab y FUDAA-LSPIV con secuencias de imágenes sintéticas y reales. Recuperado de <https://pdfs.semanticscholar.org/a68e/2d6aed2d9e37496ad906c08fa60fcc32d8ef.pdf>
- Bhandari, A., Ochoa, Y., & Harkness, R. M. (2012). Un sistema de medición de deformación basado en imágenes digitales para ensayos triaxiales. *Revista de Ensayos Geotécnicos*, 35(2), 64.
- Durán Córdova, I. E., & Segarra Morales, M. S. (2020). Análisis de la incidencia de las precipitaciones acumuladas en el comportamiento mecánico de los suelos que componen una ladera. Caso de estudio vía Loja-Malacatos [Tesis de Ingeniería Civil, Universidad Técnica Particular de Loja]. Repositorio Institucional UTPL. <https://dspace.utpl.edu.ec/handle/20.500.11962/26112>
- Esquivel-Ramírez, L. F. (2023). Modelación física en centrífuga geotécnica de la influencia de la inclinación en la estabilidad de un talud reforzado con pasto. Recuperado de <https://repositorio.escuelaing.edu.co/handle/001/2427>
- Etsin Navales-UPM. (2016). Sistema de velocimetría de partículas PIV (Particle Image Velocimetry). (s/f). Recuperado el 15 de enero de 2025, de <http://canal.etsin.upm.es/archives/2299/sistema-de-velocimetria-de-particulas-piv-particle-image-velocimetry/>
- Gezelter, D. (2006, enero 20). URAPIV. *OpenScience.org*. <https://openscience.org/urapiv/>
- Gómez Vergara, E. J. (2008). Localización de bandas de corte en arena del Guamo en ensayos triaxiales cíclicos por medio de P.I.V. [Trabajo de grado de pregrado, Universidad de los Andes]. Repositorio Institucional Séneca, Universidad de los Andes. Recuperado el 30 de julio de 2024, de <https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/4eb9304f-2111-4407-843a-585277a9c360/content>
- Harris, D. K., Gheitsi, A., & Hansen, M. (2020). Descripción de las características de falla del hormigón derivadas de la norma ASTM mediante correlación de imágenes digitales. *Revista de Pruebas y Evaluación*, 48(4), 2655-2682. <https://doi.org/10.1520/JTE20170078>
- Jiménez-Beltrán, Y. K. (2023). Estudio de la formación de grandes fisuras atribuibles al asentamiento en suelos finos debido a un montículo en la roca basal en experimentación con máquina centrífuga. Recuperado de <https://repositorio.escuelaing.edu.co/bitstream/handle/001/2425/Jim%c3%a9nez%20Beltr%c3%a1n%2c%20Yeny%20Katherine-2023.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Kasyap, S., & Moudgil, S. (Eds.). (2020). Velocimetría de imágenes de partículas (PIV): Principios básicos y aplicaciones. En *Manual de mecánica de fluidos experimental* (pp. 339-363). Springer. Recuperado de https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-77823-1_27

Kouta, N., Saliba, J., & Saiyouri, N. (2020). Efecto de las fibras de lino sobre la contracción y el agrietamiento a temprana edad del hormigón de tierra. *Materiales de Construcción y Edificación*, 254, 119315. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119315>

Lim, N., & Siemens, G. (2013). Una prueba de hinchamiento no confinado para suelos arcillosos que incorpora correlación de imágenes digitales. *Revista de Ensayos Geotécnicos*, 36(6).

Pacay García, M. R. (2017). Límite líquido en suelos de grano fino, según los métodos de penetómetro de cono y copa de Casagrande [Tesis de licenciatura, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Repositorio Institucional USAC. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/7303/1/Mario%20Ra%C3%BAI%20Pacay%20Garc%C3%ADa.pdf>

Ramírez, E. G. (2005). La técnica PIV. Capítulo 2. Recuperado el 15 de enero de 2025, de <https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/4030/fichero/Elena+Garc%C3%ADa+Ram%C3%ADrez%252F4.-+CAP%C3%8DTULO+2.pdf>

Ruiz, S., & Lloret, A. (2016). Caracterización de los parámetros de elasticidad para arcillas limosas compactadas usando Particle Image Velocimetry (PIV). XVI Simposio Nacional de Ingeniería Geotécnica. Asociación Española de Ingeniería Geotécnica. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6459545>

Ruiz Morales, Á. E. (2014). Evaluación del PIV como método de medida en geotecnia [Trabajo final de máster, Universitat Politècnica de Catalunya]. Universitat Politècnica de Catalunya. <https://upcommons.upc.edu/server/api/core/bitstreams/de6cd6d7505b-48a7-a53dce4bdad70255/content>

Sanchez, P. P. (2024). Velocimetría por imagen de partículas (PIV) aplicado a lechos fluidizados. Recuperado de <https://www.revistasocialfronteriza.com/ojs/index.php/rev/article/download/805/1616/3620>

Scharnowski, S., & Kähler, C. J. (2020). Particle image velocimetry - Classical operating rules from today's perspective. *Optics and Lasers in Engineering*, 135(106185), 106185. <https://doi.org/10.1016/j.optlaseng.2020.106185>

Stamhuis, E., & Thielicke, W. (2014). PIVlab: Hacia una velocimetría de imágenes de partículas digitales fácil de usar, asequible y precisa en MATLAB. Recuperado de <https://research.rug.nl/en/publications/pivlab-towards-user-friendly-affordable-and-accurate-digital-part>

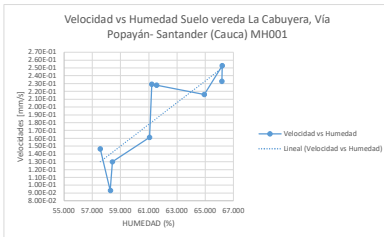
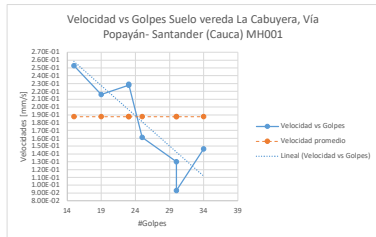
Taha, M. R., & Mohamad, R. (2019). Effect of moisture content on the shear strength and deformation of fine-grained soils. ResearchGate. <https://www.researchgate.net/>

Thielicke, W., & Stamhuis, E. J. (2014). PIVlab – Towards user-friendly, affordable and accurate digital particle image velocimetry in MATLAB. *Journal of Open Research Software*, 2(1), e30. <https://doi.org/10.5334/jors.bl>

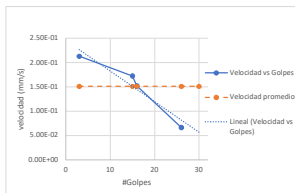
Velasco, L. G. C. (s.f.). Medición del campo de desplazamiento en materiales granulares mediante PIV. Edu.Co. Recuperado el 30 de julio de 2024, de <https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/ebe25064-a89c-4e0f-87e0-3a1df27e185e/content>

Viana, A. M. S. (2018). Evaluación del impacto de geoceldas sobre suelos arcillosos mediante modelación en centrífuga geotécnica. Recuperado de <https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/d3d5a00b-a505-44b9-b3d6-ca812ea6370c/content>

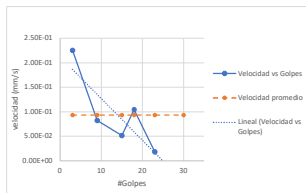
Resumen Suelo vereda La Cabuyera, Via Popayán- Santander (Cauca) MH001				
Humedad %	Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$V_{[u=0.05]}$ mm/s
66.163	15	1.30E-04	1.94E-04	2.33E-01
66.189	15	2.14E-04	1.34E-04	2.53E-01
64.928	19	1.80E-04	1.19E-04	2.16E-01
61.552	23	1.77E-04	1.44E-04	2.28E-01
61.215	23	1.34E-04	1.86E-04	2.29E-01
61.050	25	8.41E-05	1.37E-04	1.61E-01
58.418	30	7.78E-05	1.04E-04	1.30E-01
58.282	30	3.81E-05	8.50E-05	9.32E-02
57.570	34	7.12E-05	1.28E-04	1.46E-01
Promedio				1.88E-01
			devs standard	0.056
			coef. var	29.5%



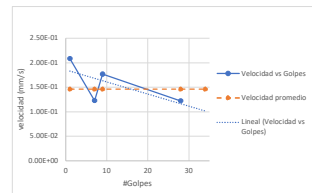
Velocidades para un punto del límite líquido - 30 golpes MH001				
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$V_{[u=0.05]}$ mm/s	PROMEDIO
3	3.06E-05	2.11E-04	2.13E-01	1.51E-01
15	6.71E-05	1.59E-04	1.73E-01	1.51E-01
16	1.49E-04	3.05E-05	1.52E-01	1.51E-01
26	6.46E-05	1.54E-05	6.64E-02	1.51E-01
30				1.51E-01
Promedio	7.78E-05	1.04E-04	1.51E-01	
			devs standard	6.19E-02
			coef. var	41%



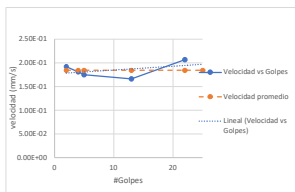
Velocidades para un punto del límite líquido - 30 golpes MH001				
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$V_{[u=0.05]}$ mm/s	PROMEDIO
9	6.12E-05	5.51E-05	8.24E-02	9.32E-02
15	2.24E-05	4.64E-05	5.16E-02	9.32E-02
18	4.95E-05	9.19E-05	1.04E-01	9.32E-02
23	1.49E-05	1.03E-05	1.81E-02	9.32E-02
30				9.32E-02
Promedio	3.81E-05	8.50E-05	9.32E-02	
			devs standard	0.079
			coef. var	85%



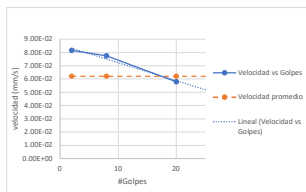
Velocidades para un punto del límite líquido - 34 golpes MH001				
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$V_{[u=0.05]}$ mm/s	PROMEDIO
7	1.94E-05	2.08E-04	2.09E-01	1.46E-01
7	3.04E-05	1.19E-04	1.23E-01	1.46E-01
9	1.33E-04	1.17E-04	1.77E-01	1.46E-01
28	1.02E-04	6.81E-05	1.22E-01	1.46E-01
34				1.46E-01
Promedio	7.12E-05	1.28E-04	1.46E-01	
			devs standard	0.042
			coef. var	29%



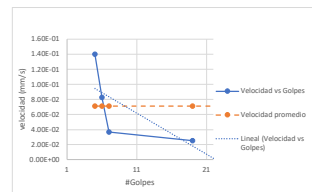
Velocidades para un punto del límite líquido - 25 golpes MH001				
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$V_{[u=0.05]}$ mm/s	PROMEDIO
2	1.78E-04	7.26E-05	1.92E-01	1.84E-01
4	5.49E-05	1.73E-04	1.81E-01	1.84E-01
5	1.59E-06	1.75E-04	1.75E-01	1.84E-01
13	1.54E-04	6.22E-05	1.66E-01	1.84E-01
22	3.18E-05	2.05E-04	2.07E-01	1.84E-01
25				1.84E-01
Promedio	8.41E-05	1.37E-04	1.84E-01	
			devs standard	0.016
			coef. var	9%



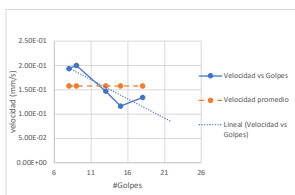
Velocidades para un punto del límite líquido - 25 golpes MH001				
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$V_{[u=0.05]}$ mm/s	PROMEDIO
2	8.15E-05	4.29E-06	8.16E-02	6.22E-02
8	2.19E-05	7.44E-05	7.75E-02	6.22E-02
20	5.38E-05	2.17E-05	5.80E-02	6.22E-02
26				6.22E-02
Promedio	5.24E-05	3.34E-05	6.22E-02	
			devs standard	0.013
			coef. var	20%



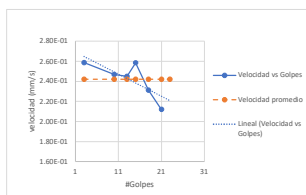
Velocidades para un punto del límite líquido - 27 golpes MH001				
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$V_{[u=0.05]}$ mm/s	PROMEDIO
5	8.41E-05	1.12E-04	1.40E-01	7.14E-02
6	7.33E-05	3.87E-05	8.29E-02	7.14E-02
7	8.07E-06	3.60E-05	3.69E-02	7.14E-02
19	2.47E-05	5.74E-06	2.53E-02	7.14E-02
27				7.14E-02
Promedio	4.75E-05	4.82E-05	7.14E-02	
			devs standard	0.052
			coef. var	73%



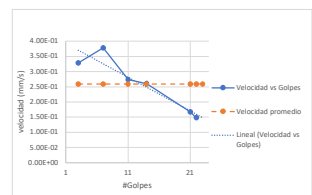
Velocidades para un punto del límite líquido - 22 golpes MH001				
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$V_{[u=0.05]}$ mm/s	PROMEDIO
8	1.90E-04	3.74E-05	1.93E-01	1.58E-01
9	1.99E-04	1.89E-05	2.00E-01	1.58E-01
13	1.41E-04	4.20E-05	1.47E-01	1.58E-01
15	9.50E-05	6.68E-05	1.16E-01	1.58E-01
18	1.04E-04	8.43E-05	1.34E-01	1.58E-01
22				1.58E-01
Promedio	1.46E-04	4.99E-05	1.58E-01	
			devs standard	0.037
			coef. var	23%



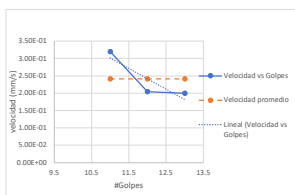
Velocidades para un punto del límite líquido - 23 golpes MH001				
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$V_{[u=0.05]}$ mm/s	PROMEDIO
3	2.26E-04	1.27E-04	2.59E-01	2.42E-01
10	2.42E-04	4.75E-05	2.47E-01	2.42E-01
13	2.08E-04	1.29E-04	2.45E-01	2.42E-01
15	1.74E-04	1.91E-04	2.59E-01	2.42E-01
18	5.52E-05	2.24E-04	2.31E-01	2.42E-01
21	1.56E-04	1.44E-04	2.12E-01	2.42E-01
23				2.42E-01
Promedio	1.77E-04	1.44E-04	2.42E-01	
			devs standard	1.79E-02
			coef. var	7%



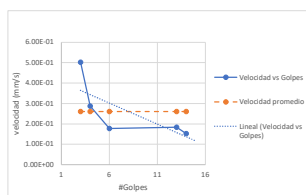
Velocidades para un punto del límite líquido - 23 golpes MH001				
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$V_{[u=0.05]}$ mm/s	PROMEDIO
3	3.13E-04	1.01E-04	3.29E-01	2.59E-01
7	3.28E-05	1.37E-04	3.78E-01	2.59E-01
11	5.14E-05	2.69E-04	2.74E-01	2.59E-01
14	1.62E-04	2.04E-04	2.61E-01	2.59E-01
21	1.62E-04	4.28E-05	1.67E-01	2.59E-01
22	8.07E-05	1.24E-04	1.48E-01	2.59E-01
23				2.59E-01
Promedio	1.34E-04	1.86E-04	2.59E-01	
			devs standard	0.089
			coef. var	35%



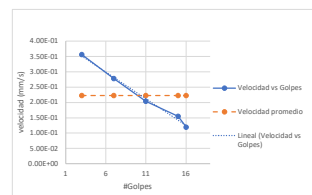
Velocidades para un punto del límite líquido - 15 golpes MH001				
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$V_{[u=0.05]}$ mm/s	PROMEDIO
11	2.47E-04	2.04E-04	3.20E-01	2.42E-01
12	9.11E-05	1.83E-04	2.04E-01	2.42E-01
13	5.10E-05	1.94E-04	2.00E-01	2.42E-01
15				2.42E-01
Promedio	1.30E-04	1.94E-04	2.42E-01	
			devs standard	0.068
			coef. var	28%



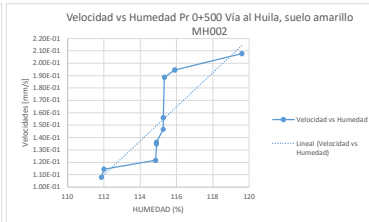
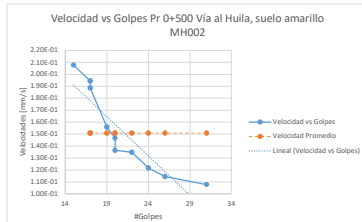
Velocidades para un punto del límite líquido - 15 golpes MH001				
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$V_{[u=0.05]}$ mm/s	PROMEDIO
4	4.07E-04	2.95E-04	5.03E-01	2.61E-01
4	2.65E-04	1.12E-04	2.88E-01	2.61E-01
6	1.77E-04	1.60E-05	1.78E-01	2.61E-01
13	1.04E-04	1.51E-04	1.83E-01	2.61E-01
14	1.18E-04	9.64E-05	1.52E-01	2.61E-01
15				2.61E-01
Promedio	2.14E-04	1.84E-04	2.61E-01	
			devs standard	0.145
			coef. var	55%



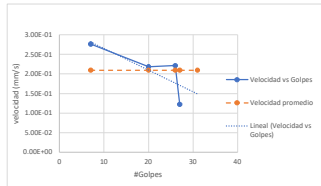
Velocidades para un punto del límite líquido - 19 golpes MH001				
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$V_{[u=0.05]}$ mm/s	PROMEDIO
3	2.91E-04	2.06E-04	3.56E-01	2.22E-01
7	2.34E-04	1.50E-04	2.78E-01	2.22E-01
11	1.16E-04	1.67E-04	2.04E-01	2.22E-01
15	1.41E-04	6.32E-05	1.55E-01	2.22E-01
16	1.20E-04	7.98E-06	1.20E-01	2.22E-01
19				2.22E-01
Promedio	1.80E-04	1.19E-04	2.22E-01	
			devs standard	0.095
			coef. var	43%



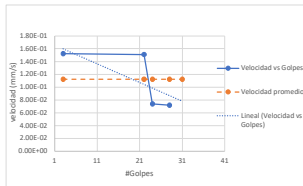
Resumen Pr D=500 Vía al Huila, suelo amarillo MH002				
Humedad %	Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	PROMEDIO
119.597	15	1.90E-04	8.49E-05	2.08E-01
115.907	17	1.50E-04	1.24E-04	1.95E-01
115.331	17	1.61E-04	9.81E-05	1.89E-01
115.277	19	1.44E-04	6.08E-05	1.56E-01
115.267	20	1.22E-04	8.23E-05	1.47E-01
114.898	20	1.21E-04	6.30E-05	1.36E-01
114.898	22	9.47E-05	9.90E-05	1.35E-01
114.846	24	1.02E-04	6.64E-05	1.23E-01
112.003	26	7.70E-05	8.47E-05	1.15E-01
111.861	31	9.83E-05	4.46E-05	1.08E-01
Promedio				1.51E-01
			dev standard	0.035
			coef. var	23.28%



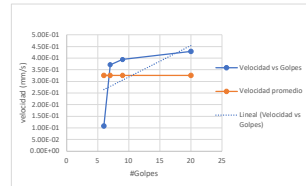
Velocidades para un punto del límite líquido - 31 golpes MH002				
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$V_{(u-v)/2}$ mm/s	PROMEDIO
7	2.17E-04	1.72E-04	2.76E-01	2.10E-01
20	2.10E-04	5.93E-05	2.19E-01	2.10E-01
26	1.14E-04	1.90E-04	2.22E-01	2.10E-01
27	2.03E-05	1.21E-04	1.23E-01	2.10E-01
31				2.10E-01
Promedio	1.40E-04	1.35E-04	2.10E-01	
			dev standard	0.064
			coef. var	30%



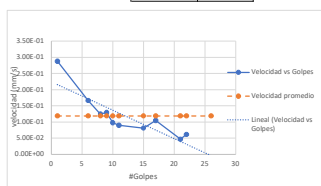
Velocidades para un punto del límite líquido - 31 golpes MH002				
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$V_{(u-v)/2}$ mm/s	PROMEDIO
3	1.33E-04	7.45E-05	1.52E-01	1.12E-01
22	1.50E-04	1.78E-05	1.51E-01	1.12E-01
24	6.85E-05	2.76E-05	7.38E-02	1.12E-01
28	4.17E-05	5.86E-05	7.19E-02	1.12E-01
31				1.12E-01
Promedio	9.83E-05	4.46E-05	1.12E-01	
			dev standard	0.046
			coef. var	41%



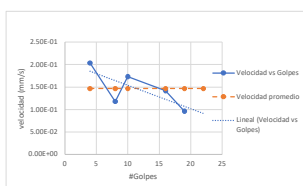
Velocidades para un punto del límite líquido - 30 golpes MH002.2				
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$V_{(u-v)/2}$ mm/s	PROMEDIO
6	9.50E-05	5.28E-05	1.09E-01	3.26E-01
7	3.52E-04	1.19E-04	3.71E-01	3.26E-01
9	3.86E-04	8.12E-05	3.94E-01	3.26E-01
20	1.89E-04	3.85E-04	4.29E-01	3.26E-01
30				3.26E-01
Promedio	2.55E-04	1.59E-04	3.26E-01	
			dev standard	0.147
			coef. var	45%



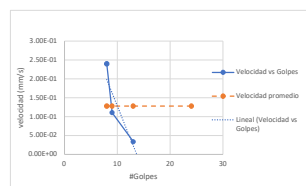
Velocidades para un punto del límite líquido - 26 golpes MH002				
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$V_{(u-v)/2}$ mm/s	PROMEDIO
1	1.11E-04	2.66E-04	2.88E-01	1.19E-01
6	1.21E-04	1.15E-04	1.66E-01	1.19E-01
8	1.06E-04	6.51E-05	1.24E-01	1.19E-01
9	6.13E-05	1.14E-04	1.30E-01	1.19E-01
10	6.25E-05	7.53E-05	9.79E-02	1.19E-01
11	8.62E-05	2.57E-05	8.99E-02	1.19E-01
15	5.14E-05	6.26E-05	8.10E-02	1.19E-01
17	9.00E-05	5.33E-05	1.05E-01	1.19E-01
21	3.69E-05	2.89E-05	4.69E-02	1.19E-01
22	4.47E-05	4.21E-05	6.14E-02	1.19E-01
26				1.19E-01
Promedio	7.70E-05	8.47E-05	1.19E-01	
			dev standard	0.0856937
			coef. var	58%



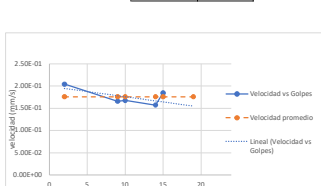
Velocidades para un punto del límite líquido - 22 golpes MH002				
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$V_{(u-v)/2}$ mm/s	PROMEDIO
4	1.10E-04	1.71E-04	2.04E-01	1.47E-01
8	1.02E-04	5.98E-05	1.18E-01	1.47E-01
10	1.54E-04	7.98E-05	1.73E-01	1.47E-01
16	1.57E-05	1.41E-04	1.42E-01	1.47E-01
19	9.20E-05	2.80E-05	9.61E-02	1.47E-01
22				1.47E-01
Promedio	9.47E-05	9.59E-05	1.47E-01	
			dev standard	0.043
			coef. var	29%



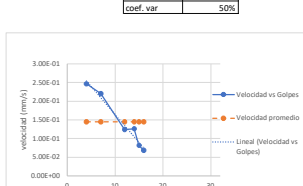
Velocidades para un punto del límite líquido - 24 golpes MH002				
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$V_{(u-v)/2}$ mm/s	PROMEDIO
8	1.64E-04	1.75E-04	2.40E-01	1.28E-01
9	1.09E-04	1.96E-05	1.11E-01	1.28E-01
13	3.32E-05	4.83E-06	3.35E-02	1.28E-01
24				1.28E-01
Promedio	1.02E-04	6.64E-05	1.28E-01	
			dev standard	0.104
			coef. var	81%



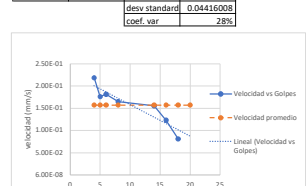
Velocidades para un punto del límite líquido - 19 golpes MH002				
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$V_{(u-v)/2}$ mm/s	PROMEDIO
2	2.03E-04	1.47E-05	2.04E-01	1.76E-01
9	1.56E-04	5.55E-05	1.66E-01	1.76E-01
10	1.63E-04	3.76E-05	1.68E-01	1.76E-01
14	1.57E-04	1.16E-05	1.57E-01	1.76E-01
15	3.86E-05	1.80E-04	1.85E-01	1.76E-01
19				1.76E-01
Promedio	1.44E-04	6.08E-05	1.76E-01	
			dev standard	0.019
			coef. var	11%



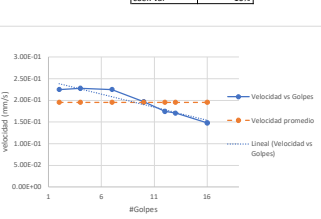
Velocidades para un punto del límite líquido - 20 golpes MH002				
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$V_{(u-v)/2}$ mm/s	PROMEDIO
4	2.41E-04	5.38E-05	2.46E-01	1.45E-01
7	1.83E-04	1.22E-04	2.20E-01	1.45E-01
12	1.18E-04	3.90E-05	1.25E-01	1.45E-01
14	4.72E-05	1.17E-04	1.26E-01	1.45E-01
15	6.83E-05	4.47E-05	8.16E-02	1.45E-01
16	6.85E-05	1.02E-06	6.85E-02	1.45E-01
20				1.45E-01
Promedio	1.21E-04	6.30E-05	1.45E-01	
			dev standard	0.0779221
			coef. var	50%



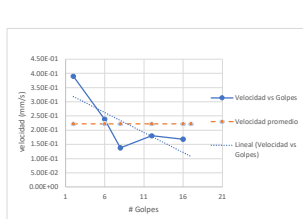
Velocidades para un punto del límite líquido - 20 golpes MH002				
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$V_{(u-v)/2}$ mm/s	PROMEDIO
4	1.63E-04	1.46E-04	2.18E-01	1.57E-01
5	1.73E-04	3.13E-05	1.76E-01	1.57E-01
6	1.19E-04	1.37E-04	1.81E-01	1.57E-01
8	1.55E-04	5.74E-05	1.63E-01	1.57E-01
14	1.54E-04	2.41E-05	1.54E-01	1.57E-01
16	3.55E-05	1.18E-04	1.23E-01	1.57E-01
18	5.20E-05	6.22E-05	8.11E-02	1.57E-01
20				1.57E-01
Promedio	1.22E-04	8.23E-05	1.57E-01	
			dev standard	0.0441608
			coef. var	28%



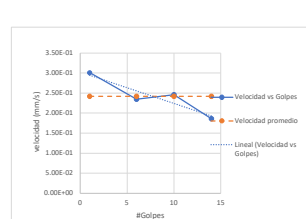
Velocidades para un punto del límite líquido - 17 golpes MH002				
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$V_{(u-v)/2}$ mm/s	PROMEDIO
2	2.13E-04	7.38E-05	2.25E-01	1.95E-01
4	1.95E-04	1.18E-04	2.28E-01	1.95E-01
7	1.68E-04	1.49E-04	2.25E-01	1.95E-01
10	9.96E-05	1.70E-04	1.97E-01	1.95E-01
12	1.62E-04	6.58E-05	1.75E-01	1.95E-01
13	1.69E-04	2.66E-05	1.71E-01	1.95E-01
16	1.22E-04	8.35E-05	1.48E-01	1.95E-01
17				1.95E-01
Promedio	1.61E-04	9.81E-05	1.95E-01	
			dev standard	0.032
			coef. var	16%



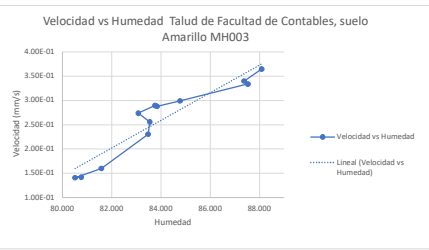
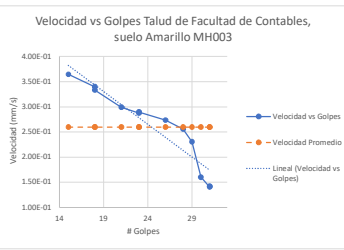
Velocidades para un punto del límite líquido - 17 golpes MH002				
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$V_{(u-v)/2}$ mm/s	PROMEDIO
2	8.24E-05	3.81E-05	3.90E-01	2.23E-01
6	2.29E-04	6.67E-05	2.39E-01	2.23E-01
8	1.15E-04	7.51E-05	1.38E-01	2.23E-01
12	1.56E-04	9.08E-05	1.80E-01	2.23E-01
16	1.68E-04	6.38E-06	1.68E-01	2.23E-01
17				2.23E-01
Promedio	1.50E-04	1.24E-04	2.23E-01	
			dev standard	0.100
			coef. var	45%



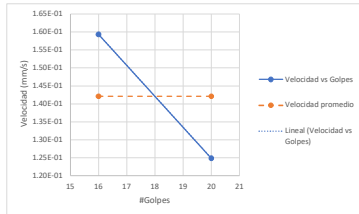
Velocidades para un punto del límite líquido - 15 golpes MH002				
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$V_{(u-v)/2}$ mm/s	PROMEDIO
1	3.00E-04	1.31E-05	3.01E-01	2.42E-01
6	4.83E-05	2.30E-04	2.35E-01	2.42E-01
10	2.45E-04	1.10E-05	2.46E-01	2.42E-01
14	1.65E-04	8.58E-05	1.86E-01	2.42E-01
15				2.42E-01
Promedio	1.90E-04	8.49E-05	2.42E-01	
			dev standard	0.047
			coef. var	19%



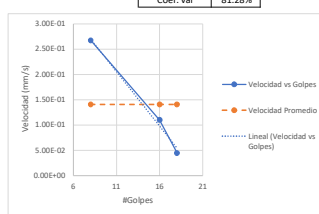
Resumen Talud de Facultad de Contables, suelo Amarillo MH003					
Humedad (%)	Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$V_{(u+v)/2}$ mm/s	Promedio
88.090	15	2.85E-04	2.21E-04	3.65E-01	2.60E-01
87.380	18	1.89E-04	1.94E-04	3.40E-01	2.60E-01
87.530	18	1.61E-04	2.69E-04	3.34E-01	2.60E-01
84.771	21	6.93E-05	2.91E-04	2.99E-01	2.60E-01
83.843	23	2.87E-04	1.28E-05	2.88E-01	2.60E-01
83.764	23	1.36E-04	2.14E-04	2.90E-01	2.60E-01
83.081	26	1.60E-05	2.73E-04	2.74E-01	2.60E-01
83.547	28	2.32E-04	8.23E-05	2.56E-01	2.60E-01
83.483	29	1.36E-04	1.23E-04	2.30E-01	2.60E-01
81.579	30	6.99E-05	1.23E-04	1.60E-01	2.60E-01
80.512	31	2.62E-05	1.38E-04	1.41E-01	2.60E-01
80.763	31	8.37E-05	1.15E-04	1.42E-01	2.60E-01
Promedio				2.60E-01	
			desviación	0.073	
			coef. Vari	28.05%	



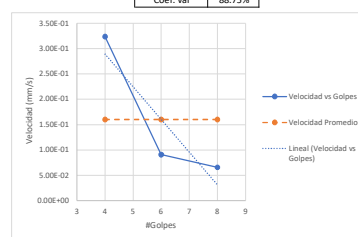
Velocidades para un punto del límite líquido - 31 golpes MH003					
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$V_{(u+v)/2}$ mm/s	Promedio	
16	9.51E-05	1.28E-04	1.59E-01	1.42E-01	
20	7.24E-05	1.02E-04	1.25E-01	1.42E-01	
Promedio	8.37E-05	1.15E-04	1.42E-01	1.42E-01	
			Desv standard	2.44E-02	
			Coef. var	17.14%	



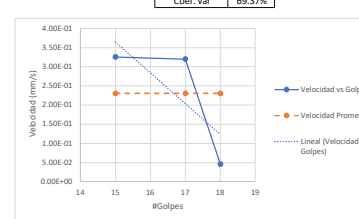
Velocidades para un punto del límite líquido - 31 golpes MH003					
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$V_{(u+v)/2}$ mm/s	Promedio	
8	5.29E-05	2.62E-04	2.67E-01	1.41E-01	
16	1.08E-05	1.10E-04	1.10E-01	1.41E-01	
18	1.49E-05	4.22E-05	4.47E-02	1.41E-01	
Promedio	2.62E-05	1.38E-04	1.41E-01	1.41E-01	
			Desv standard	0.114	
			Coef. var	81.28%	



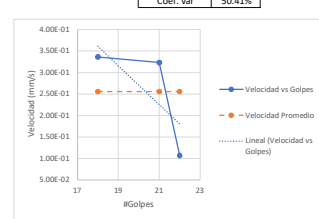
Velocidades para un punto del límite líquido - 30 golpes MH003					
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$V_{(u+v)/2}$ mm/s	Promedio	
4	7.52E-05	3.15E-04	3.23E-01	1.60E-01	
6	9.08E-05	6.13E-06	9.10E-02	1.60E-01	
8	4.36E-05	4.92E-05	6.57E-02	1.60E-01	
Promedio	6.99E-05	1.23E-04	1.60E-01	1.60E-01	
			Desv standard	0.142	
			Coef. var	88.75%	



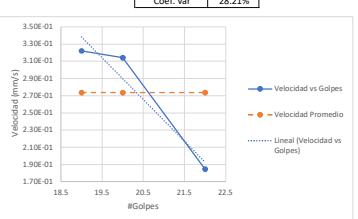
Velocidades para un punto del límite líquido - 29 golpes MH003					
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$V_{(u+v)/2}$ mm/s	Promedio	
15	3.23E-04	3.89E-05	3.26E-01	2.30E-01	
17	3.85E-05	3.18E-04	3.20E-01	2.30E-01	
18	4.48E-05	9.75E-06	4.59E-02	2.30E-01	
Promedio	1.36E-04	1.22E-04	2.30E-01	2.30E-01	
			Desv standard	0.160	
			Coef. var	69.37%	



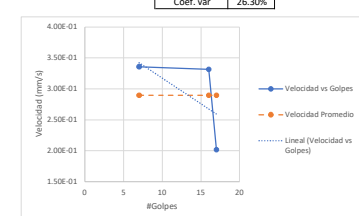
Velocidades para un punto del límite líquido - 28 golpes MH003					
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$V_{(u+v)/2}$ mm/s	Promedio	
18	3.18E-04	1.10E-04	3.37E-01	2.56E-01	
21	3.20E-04	4.80E-05	3.23E-01	2.56E-01	
22	5.96E-05	8.89E-05	1.07E-01	2.56E-01	
Promedio	2.32E-04	8.23E-05	2.56E-01	2.56E-01	
			Desv standard	0.128848	
			Coef. var	50.41%	



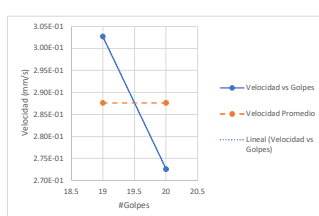
Velocidades para un punto del límite líquido - 26 golpes MH003					
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$V_{(u+v)/2}$ mm/s	Promedio	
19	1.39E-06	3.22E-04	3.22E-01	2.74E-01	
20	4.11E-05	3.11E-04	3.11E-01	2.74E-01	
22	5.61E-06	1.85E-04	1.85E-01	2.74E-01	
Promedio	1.60E-05	2.73E-04	2.74E-01	2.74E-01	
			Desv standard	0.0771673	
			Coef. var	28.21%	



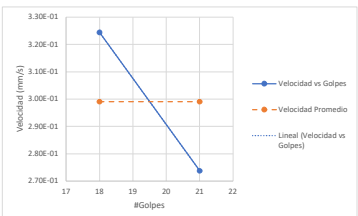
Velocidades para un punto del límite líquido - 23 golpes MH003					
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$V_{(u+v)/2}$ mm/s	Promedio	
7	3.14E-04	1.19E-04	3.36E-01	2.90E-01	
16	6.11E-05	3.28E-04	3.31E-01	2.90E-01	
17	3.34E-05	1.99E-04	2.02E-01	2.90E-01	
Promedio	1.36E-04	2.14E-04	2.90E-01	2.90E-01	
			Desv standard	0.076	
			Coef. var	26.30%	



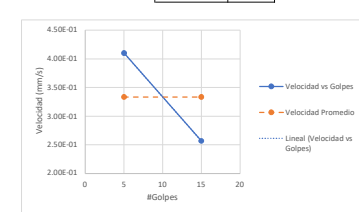
Velocidades para un punto del límite líquido - 23 golpes MH003					
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$V_{(u+v)/2}$ mm/s	Promedio	
19	3.02E-04	2.55E-05	3.03E-01	2.88E-01	
20	2.73E-04	1.25E-07	2.73E-01	2.88E-01	
Promedio	2.87E-04	1.28E-05	2.88E-01	2.88E-01	
			Desv standard	0.021	
			Coef. var	7.41%	



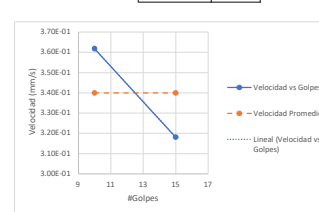
Velocidades para un punto del límite líquido - 21 golpes MH003					
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$V_{(u+v)/2}$ mm/s	Promedio	
18	6.54E-05	3.18E-04	3.24E-01	2.99E-01	
21	7.32E-05	2.64E-04	2.64E-01	2.99E-01	
Promedio	6.93E-05	2.91E-04	2.99E-01	2.99E-01	
			Desv standard	0.036	
			Coef. var	11.97%	



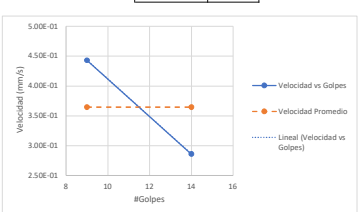
Velocidades para un punto del límite líquido - 18 golpes MH003					
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$V_{(u+v)/2}$ mm/s	Promedio	
5	2.98E-04	2.82E-04	4.10E-01	3.34E-01	
15	2.45E-05	2.56E-04	2.57E-01	3.34E-01	
Promedio	1.61E-04	2.69E-04	3.34E-01	3.34E-01	
			Desv standard	0.109	
			Coef. var	32.54%	



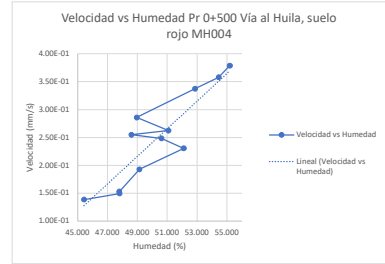
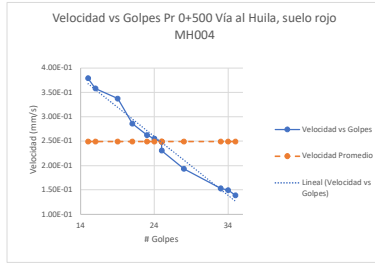
Velocidades para un punto del límite líquido - 18 golpes MH003					
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$V_{(u+v)/2}$ mm/s	Promedio	
10	3.55E-04	7.05E-05	3.62E-01	3.40E-01	
15	2.36E-05	3.17E-04	3.18E-01	3.40E-01	
Promedio	1.89E-04	1.94E-04	3.40E-01	3.40E-01	
			Desv standard	0.031	
			Coef. var	9.08%	



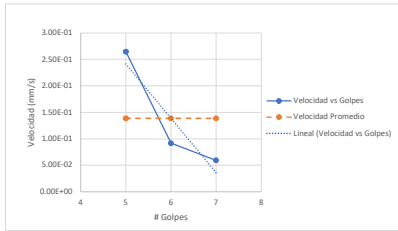
Velocidades para un punto del límite líquido - 15 golpes MH003					
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$V_{(u+v)/2}$ mm/s	Promedio	
9	3.16E-04	3.10E-04	4.43E-01	3.65E-01	
14	2.54E-04	1.31E-04	2.86E-01	3.65E-01	
Promedio	2.85E-04	2.21E-04	3.65E-01	3.65E-01	
			Desv standard	0.111	
			Coef. var	30.47%	



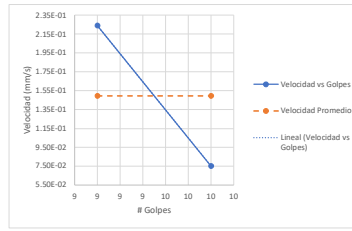
Resumen Pr 0+500 Via al Huila, suelo rojo MH004					
Humedad (%)	Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$V_{(u+v)/2}$ mm/s	Promedio
55.189	15	8.49E-05	3.63E-04	3.79E-01	2.49E-01
54.450	16	7.61E-05	3.49E-04	3.58E-01	2.49E-01
52.865	19	2.06E-04	2.48E-04	3.37E-01	2.49E-01
48.956	21	6.86E-05	2.77E-04	2.86E-01	2.49E-01
51.075	23	2.14E-05	2.60E-04	2.62E-01	2.49E-01
48.607	24	7.82E-05	2.41E-04	2.55E-01	2.49E-01
50.617	25	1.54E-04	1.80E-04	2.48E-01	2.49E-01
52.101	25	1.47E-04	1.75E-04	2.30E-01	2.49E-01
49.135	28	1.17E-04	1.48E-04	1.93E-01	2.49E-01
47.783	33	8.48E-05	1.09E-04	1.53E-01	2.49E-01
47.811	34	5.42E-05	1.39E-04	1.50E-01	2.49E-01
45.432	35	7.28E-05	9.94E-05	1.39E-01	2.49E-01
Promedio					
			desviación	0.07380555	
			coef. Vari	29.63%	



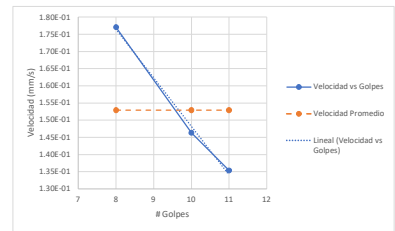
Velocidades para un punto del límite líquido - 35 golpes MH004					
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$V_{(u+v)/2}$ mm/s	Promedio	
5	8.00E-05	2.52E-04	2.65E-01	1.39E-01	
6	9.11E-05	9.99E-06	9.16E-02	1.39E-01	
7	4.74E-05	3.59E-05	5.95E-02	1.39E-01	
Promedio	7.28E-05	9.94E-05	1.39E-01		
			Desv standard	0.110	
			Coef. var	79.65%	



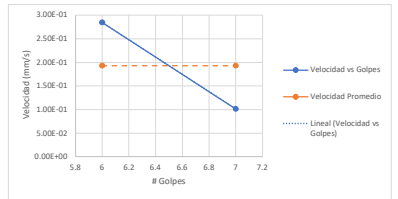
Velocidades para un punto del límite líquido - 34 golpes MH004					
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$V_{(u+v)/2}$ mm/s	Promedio	
9	8.78E-05	2.06E-04	2.24E-01	1.50E-01	
10	2.06E-05	7.24E-05	7.52E-02	1.50E-01	
Promedio	5.42E-05	1.39E-04	1.50E-01		
			Desv standard	0.105	
			Coef. var	70.28%	



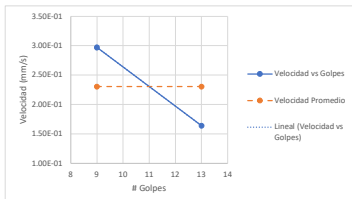
Velocidades para un punto del límite líquido - 33 golpes MH004					
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$V_{(u+v)/2}$ mm/s	Promedio	
8	3.93E-05	1.73E-04	1.77E-01	1.53E-01	
10	8.48E-05	1.19E-04	1.46E-01	1.53E-01	
11	1.30E-04	3.64E-05	1.35E-01	1.53E-01	
Promedio	8.48E-05	1.09E-04	1.53E-01		
			Desv standard	0.022	
			Coef. var	14.15%	



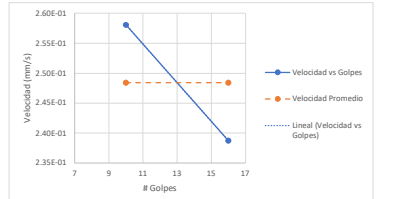
Velocidades para un punto del límite líquido - 28 golpes MH004					
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$V_{(u+v)/2}$ mm/s	Promedio	
6	1.46E-04	2.44E-04	2.85E-01	1.93E-01	
7	8.73E-05	5.16E-05	1.01E-01	1.93E-01	
Promedio	1.17E-04	1.48E-04	1.93E-01		
			Desv standard	0.130	
			Coef. var	67.10%	



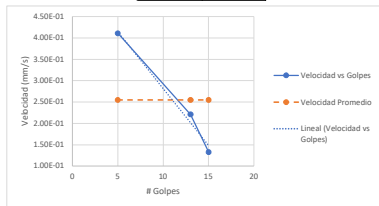
Velocidades para un punto del límite líquido - 25 golpes MH004					
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$V_{(u+v)/2}$ mm/s	Promedio	
9	1.69E-04	2.44E-04	2.97E-01	2.30E-01	
13	1.25E-04	1.06E-04	1.64E-01	2.30E-01	
Promedio	1.47E-04	1.75E-04	2.30E-01		
			Desv standard	0.094	
			Coef. var	40.91%	



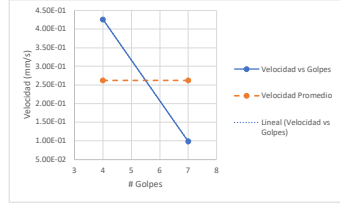
Velocidades para un punto del límite líquido - 25 golpes MH004					
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$V_{(u+v)/2}$ mm/s	Promedio	
10	1.05E-04	2.36E-04	2.58E-01	2.48E-01	
16	2.04E-04	1.24E-04	2.39E-01	2.48E-01	
Promedio	1.54E-04	1.80E-04	2.48E-01		
			Desv standard	0.014	
			Coef. var	5.51%	



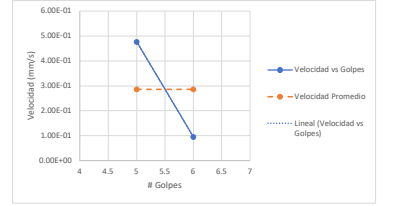
Velocidades para un punto del límite líquido - 24 golpes MH004					
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$V_{(u+v)/2}$ mm/s	Promedio	
5	9.64E-05	3.99E-04	4.11E-01	2.55E-01	
13	6.95E-05	2.10E-04	2.21E-01	2.55E-01	
15	6.85E-05	1.14E-04	1.33E-01	2.55E-01	
Promedio	7.82E-05	2.41E-04	2.55E-01		
			Desv standard	0.142	
			Coef. var	55.77%	



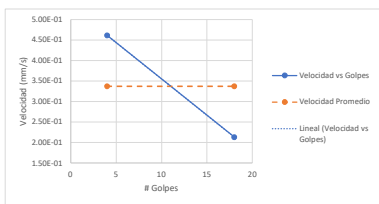
Velocidades para un punto del límite líquido - 23 golpes MH004					
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$V_{(u+v)/2}$ mm/s	Promedio	
4	1.22E-05	4.25E-04	4.26E-01	2.62E-01	
7	3.05E-05	9.41E-05	9.90E-02	2.62E-01	
Promedio	2.14E-05	2.60E-04	2.62E-01		
			Desv standard	0.230993229	
			Coef. var	88.06%	



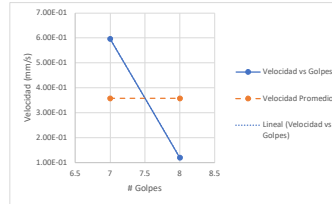
Velocidades para un punto del límite líquido - 21 golpes MH004					
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$V_{(u+v)/2}$ mm/s	Promedio	
5	1.04E-04	4.65E-04	4.77E-01	2.86E-01	
6	3.36E-05	8.84E-05	9.45E-02	2.86E-01	
Promedio	6.86E-05	2.77E-04	2.86E-01		
			Desv standard	0.270	
			Coef. var	94.63%	



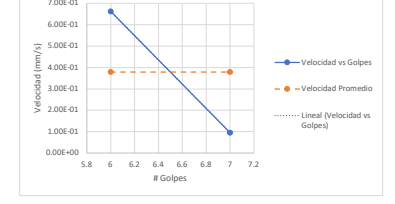
Velocidades para un punto del límite líquido - 19 golpes MH004					
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$V_{(u+v)/2}$ mm/s	Promedio	
4	3.59E-04	2.90E-04	4.61E-01	3.37E-01	
18	5.27E-05	2.07E-04	2.13E-01	3.37E-01	
Promedio	2.06E-04	2.48E-04	3.37E-01		
			Desv standard	0.175	
			Coef. var	51.99%	



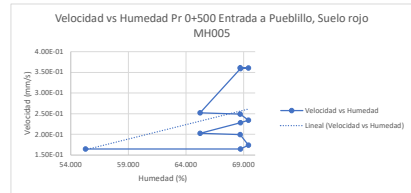
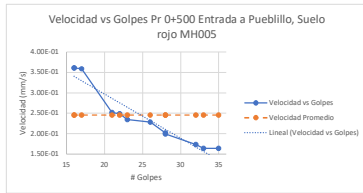
Velocidades para un punto del límite líquido - 16 golpes MH004					
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$V_{(u+v)/2}$ mm/s	Promedio	
7	1.41E-04	5.79E-04	5.96E-01	3.58E-01	
8	1.11E-05	1.19E-04	1.19E-01	3.58E-01	
Promedio	7.61E-05	3.49E-04	3.58E-01		
			Desv standard	0.337	
			Coef. var	94.23%	



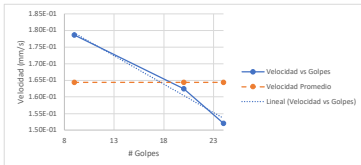
Velocidades para un punto del límite líquido - 15 golpes MH004					
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$V_{(u+v)/2}$ mm/s	Promedio	
6	1.08E-04	6.53E-04	6.62E-01	3.79E-01	
7	6.15E-05	7.32E-05	9.56E-02	3.79E-01	
Promedio	8.49E-05	3.63E-04	3.79E-01		
			Desv standard	0.400	
			Coef. var	105.71%	



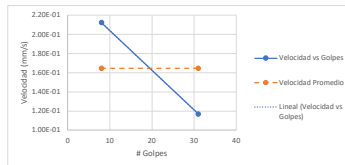
Resumen Pr 0+500 Entrada a Pueblaillo, Suelo rojo MH005					
Humedad (%)	Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$\sqrt{v(u)^2+v(v)^2}$ mm/s	Promedio
68.698	16	2.84E-04	2.14E-04	3.61E-01	2.46E-01
69.411	16	2.31E-04	2.77E-04	3.61E-01	2.46E-01
68.726	17	1.96E-04	2.75E-04	3.59E-01	2.46E-01
65.213	21	6.42E-05	2.44E-04	2.32E-01	2.46E-01
68.698	22	1.73E-04	2.15E-04	2.49E-01	2.46E-01
69.411	23	1.21E-04	1.98E-04	2.35E-01	2.46E-01
68.726	26	1.46E-04	1.37E-04	2.28E-01	2.46E-01
65.215	28	1.33E-04	1.38E-04	2.01E-01	2.46E-01
68.698	28	1.51E-04	1.24E-04	1.99E-01	2.46E-01
69.411	31	4.42E-05	1.63E-04	1.74E-01	2.46E-01
68.726	33	5.96E-05	1.25E-04	1.65E-01	2.46E-01
55.271	35	9.34E-05	1.32E-04	1.64E-01	2.46E-01
Promedio				2.46E-01	
				desviación	0.069
				coef. Var	28.12%



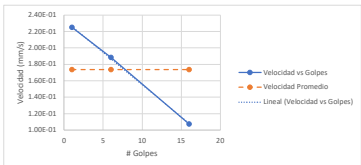
Velocidades para un punto del límite líquido - 35 golpes MH005					
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$\sqrt{v(u)^2+v(v)^2}$ mm/s	Promedio	
9	8.20E-05	1.57E-04	1.79E-01	1.64E-01	
20	1.23E-04	1.06E-04	1.62E-01	1.64E-01	
24	7.51E-05	1.32E-04	1.52E-01	1.64E-01	
Promedio	9.34E-05	1.32E-04	1.64E-01		
			Desv standard	0.0134	
			Coef. var	8.15%	



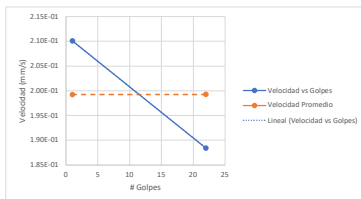
Velocidades para un punto del límite líquido - 33 golpes MH005					
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$\sqrt{v(u)^2+v(v)^2}$ mm/s	Promedio	
6	1.60E-04	1.40E-04	2.12E-01	2.15E-01	
31	1.94E-05	1.10E-04	1.17E-01	1.65E-01	
Promedio	9.96E-05	1.25E-04	1.65E-01		
			Desv standard	0.087	
			Coef. var	41.01%	



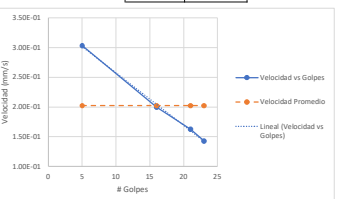
Velocidades para un punto del límite líquido - 32 golpes MH005					
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$\sqrt{v(u)^2+v(v)^2}$ mm/s	Promedio	
1	2.76E-07	2.25E-04	2.25E-01	1.74E-01	
6	6.54E-05	1.77E-04	1.89E-01	1.74E-01	
16	6.68E-05	8.42E-05	1.07E-01	1.74E-01	
Promedio	4.42E-05	1.62E-04	1.74E-01		
			Desv standard	0.060	
			Coef. var	34.62%	



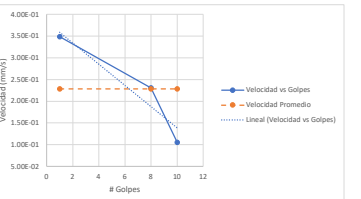
Velocidades para un punto del límite líquido - 28 golpes MH005					
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$\sqrt{v(u)^2+v(v)^2}$ mm/s	Promedio	
1	1.83E-04	1.03E-04	2.10E-01	1.99E-01	
22	1.20E-04	1.45E-04	1.88E-01	1.99E-01	
Promedio	1.53E-04	1.24E-04	1.99E-01		
			Desv standard	0.015	
			Coef. var	7.68%	



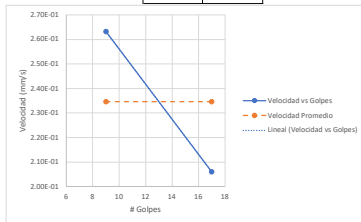
Velocidades para un punto del límite líquido - 29 golpes MH005					
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$\sqrt{v(u)^2+v(v)^2}$ mm/s	Promedio	
5	1.22E-04	2.77E-04	3.03E-01	2.02E-01	
16	1.86E-04	7.23E-05	2.00E-01	2.02E-01	
21	1.02E-04	1.37E-04	1.58E-01	2.02E-01	
23	1.22E-04	7.89E-05	1.43E-01	2.02E-01	
Promedio	1.33E-04	1.39E-04	2.02E-01		
			Desv standard	0.071	
			Coef. var	35.21%	



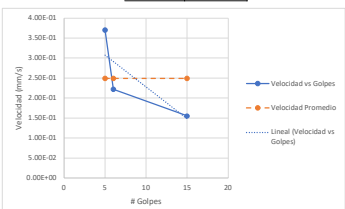
Velocidades para un punto del límite líquido - 26 golpes MH005					
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$\sqrt{v(u)^2+v(v)^2}$ mm/s	Promedio	
1	3.31E-04	1.09E-04	3.48E-01	2.28E-01	
8	2.96E-05	2.28E-04	2.31E-01	2.28E-01	
10	7.68E-05	7.15E-05	1.05E-01	2.28E-01	
Promedio	1.46E-04	1.37E-04	2.28E-01		
			Desv standard	0.122	
			Coef. var	53.33%	



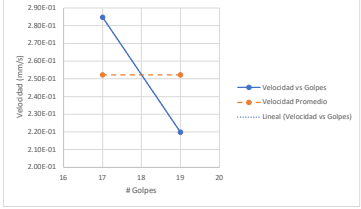
Velocidades para un punto del límite líquido - 23 golpes MH005					
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$\sqrt{v(u)^2+v(v)^2}$ mm/s	Promedio	
9	1.04E-04	2.42E-04	2.63E-01	2.35E-01	
17	1.38E-04	1.63E-04	1.76E-01	2.35E-01	
Promedio	1.21E-04	1.98E-04	2.35E-01		
			Desv standard	0.040	
			Coef. var	17.23%	



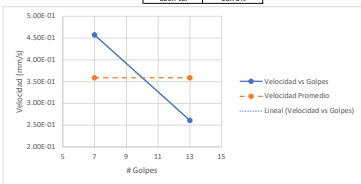
Velocidades para un punto del límite líquido - 22 golpes MH005					
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$\sqrt{v(u)^2+v(v)^2}$ mm/s	Promedio	
5	1.51E-04	3.37E-04	3.70E-01	2.49E-01	
15	1.39E-04	1.81E-04	2.27E-01	2.49E-01	
Promedio	1.23E-04	2.15E-04	2.49E-01		
			Desv standard	0.110	
			Coef. var	44.12%	



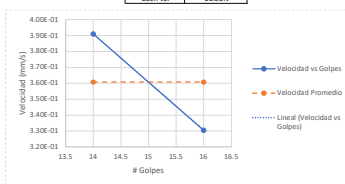
Velocidades para un punto del límite líquido - 21 golpes MH005					
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$\sqrt{v(u)^2+v(v)^2}$ mm/s	Promedio	
17	7.49E-05	2.75E-04	2.85E-01	2.52E-01	
19	5.35E-05	3.14E-04	2.20E-01	2.52E-01	
Promedio	6.42E-05	2.44E-04	2.52E-01		
			Desv standard	0.046	
			Coef. var	18.21%	



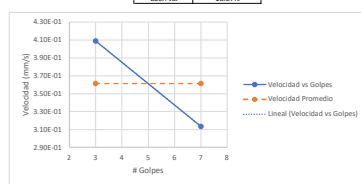
Velocidades para un punto del límite líquido - 17 golpes MH005					
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$\sqrt{v(u)^2+v(v)^2}$ mm/s	Promedio	
7	1.63E-04	4.27E-04	4.57E-01	3.59E-01	
11	3.39E-04	1.33E-04	2.61E-01	3.59E-01	
Promedio	1.96E-04	2.75E-04	3.59E-01		
			Desv standard	0.139	
			Coef. var	38.70%	



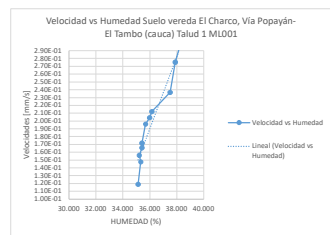
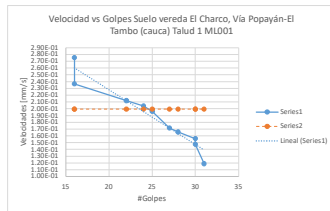
Velocidades para un punto del límite líquido - 16 golpes MH005					
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$\sqrt{v(u)^2+v(v)^2}$ mm/s	Promedio	
14	1.86E-04	3.44E-04	3.91E-01	3.61E-01	
16	3.56E-04	2.10E-04	3.31E-01	3.61E-01	
Promedio	2.21E-04	2.77E-04	3.61E-01		
			Desv standard	0.043	
			Coef. var	11.86%	



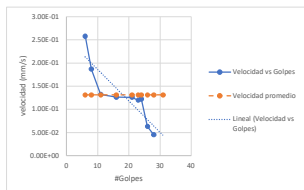
Velocidades para un punto del límite líquido - 16 golpes MH005					
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$\sqrt{v(u)^2+v(v)^2}$ mm/s	Promedio	
3	0.00028499	0.00029327	4.09E-01	3.61E-01	
7	0.00028421	1.34E-04	2.14E-01	3.61E-01	
Promedio	2.84E-04	2.14E-04	3.61E-01		
			Desv standard	0.067	
			Coef. var	18.67%	



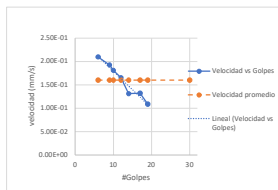
Resumen Suelo vereda El Charco, Via Popayán-El Tambo (cauca) Talud 1 MU001					
Humedad %	Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	V _{lim=40} mm/s	PROMEDIO
38.458	15	2.86E-04	1.18E-04	3.09E-01	1.99E-01
37.899	16	2.43E-04	1.29E-04	2.75E-01	1.99E-01
37.518	16	2.18E-04	9.2E-05	2.37E-01	1.99E-01
36.158	22	1.80E-04	1.12E-04	2.12E-01	1.99E-01
35.995	24	1.77E-04	1.02E-04	2.04E-01	1.99E-01
35.692	25	1.59E-04	1.15E-04	1.96E-01	1.99E-01
35.419	27	1.49E-04	8.54E-05	1.72E-01	1.99E-01
35.425	28	1.39E-04	9.09E-05	1.66E-01	1.99E-01
35.219	30	1.34E-04	7.98E-05	1.56E-01	1.99E-01
35.332	30	1.24E-04	7.95E-05	1.48E-01	1.99E-01
35.136	31	1.05E-04	5.50E-05	1.19E-01	1.99E-01
Promedio				1.99E-01	
			dev standard	0.057	
			coef. var	28.53%	



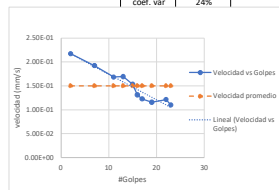
Velocidades para un punto del límite líquido - 30 golpes MU001					
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	V _{lim=40} mm/s	PROMEDIO	
6	2.55E-04	3.64E-05	2.58E-01	1.31E-01	
8	1.78E-04	5.58E-05	1.87E-01	1.31E-01	
11	1.32E-04	1.14E-05	1.32E-01	1.31E-01	
16	2.96E-05	1.23E-04	1.26E-01	1.31E-01	
21	1.26E-04	1.07E-05	1.26E-01	1.31E-01	
23	8.89E-05	6.78E-05	1.20E-01	1.31E-01	
24	6.90E-05	1.01E-04	1.22E-01	1.31E-01	
26	4.05E-05	4.85E-05	6.32E-02	1.31E-01	
28	2.02E-05	4.06E-05	4.53E-02	1.31E-01	
31					
Promedio	1.05E-04	5.50E-05	1.31E-01		
			dev standard	0.063	
			coef. var	48%	



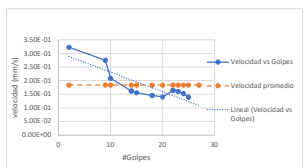
Velocidades para un punto del límite líquido - 30 golpes MU001					
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	V _{lim=40} mm/s	PROMEDIO	
6	1.92E-04	8.46E-05	2.10E-01	1.60E-01	
9	1.36E-04	1.37E-04	1.93E-01	1.60E-01	
10	1.59E-04	8.57E-05	1.81E-01	1.60E-01	
12	1.55E-04	5.75E-05	1.66E-01	1.60E-01	
14	1.14E-04	6.58E-05	1.31E-01	1.60E-01	
17	7.61E-05	1.08E-04	1.32E-01	1.60E-01	
19	1.07E-04	2.01E-05	1.09E-01	1.60E-01	
30				1.60E-01	
Promedio	1.34E-04	7.98E-05	1.60E-01		
			dev standard	0.0370722	
			coef. var	23%	



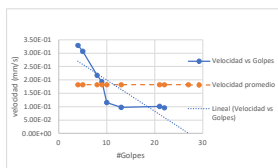
Velocidades para un punto del límite líquido - 30 golpes MU001					
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	V _{lim=40} mm/s	PROMEDIO	
2	1.81E-04	1.20E-04	2.17E-01	1.50E-01	
7	1.67E-04	9.50E-05	1.93E-01	1.50E-01	
11	1.13E-04	1.25E-04	1.68E-01	1.50E-01	
13	1.33E-04	1.05E-04	1.69E-01	1.50E-01	
15	1.49E-04	3.72E-05	1.53E-01	1.50E-01	
16	1.27E-04	3.27E-05	1.31E-01	1.50E-01	
17	1.07E-04	6.00E-05	1.23E-01	1.50E-01	
19	7.89E-05	8.49E-05	1.16E-01	1.50E-01	
22	1.04E-04	6.35E-05	1.22E-01	1.50E-01	
23	8.34E-05	7.18E-05	1.10E-01	1.50E-01	
30					
Promedio	1.24E-04	7.95E-05	1.50E-01		
			dev standard	0.036	
			coef. var	24%	



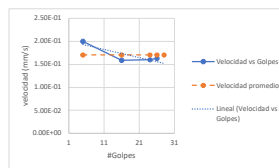
Velocidades para un punto del límite líquido - 27 golpes MU001					
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	V _{lim=40} mm/s	PROMEDIO	
2	3.17E-04	5.98E-05	3.22E-01	1.84E-01	
9	1.93E-04	1.95E-04	2.75E-01	1.84E-01	
10	1.80E-04	1.05E-04	2.08E-01	1.84E-01	
14	1.51E-04	5.42E-05	1.62E-01	1.84E-01	
15	1.41E-04	6.61E-05	1.56E-01	1.84E-01	
18	1.42E-04	3.18E-05	1.46E-01	1.84E-01	
20	1.09E-04	8.84E-05	1.40E-01	1.84E-01	
22	9.33E-05	1.35E-04	1.64E-01	1.84E-01	
23	1.60E-04	4.30E-06	1.60E-01	1.84E-01	
24	1.91E-05	1.51E-04	1.52E-01	1.84E-01	
25	1.31E-04	4.87E-05	1.39E-01	1.84E-01	
27					
Promedio	1.49E-04	8.54E-05	1.84E-01		
			dev standard	0.0604597	
			coef. var	33%	



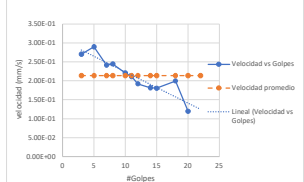
Velocidades para un punto del límite líquido - 27 golpes MU001					
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	V _{lim=40} mm/s	PROMEDIO	
4	2.49E-04	2.15E-04	3.29E-01	1.82E-01	
5	2.88E-04	1.07E-04	3.07E-01	1.82E-01	
8	1.94E-04	9.63E-05	2.17E-01	1.82E-01	
9	1.88E-04	4.37E-05	1.93E-01	1.82E-01	
10	1.06E-04	4.57E-05	1.15E-01	1.82E-01	
13	8.44E-05	4.86E-05	9.74E-02	1.82E-01	
21	1.01E-04	3.90E-06	1.01E-01	1.82E-01	
22	9.55E-05	6.58E-06	9.57E-02	1.82E-01	
27					
Promedio	1.63E-04	7.08E-05	1.82E-01		
			dev standard	0.096	
			coef. var	53%	



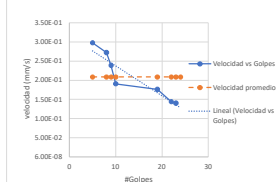
Velocidades para un punto del límite líquido - 28 golpes MU001					
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	V _{lim=40} mm/s	PROMEDIO	
5	1.86E-04	7.33E-05	2.09E-01	1.70E-01	
16	1.10E-04	1.14E-04	1.59E-01	1.70E-01	
24	1.05E-04	1.21E-04	1.60E-01	1.70E-01	
26	1.53E-04	5.57E-05	1.63E-01	1.70E-01	
28				1.70E-01	
Promedio	1.39E-04	9.09E-05	1.70E-01		
			dev standard	0.020	
			coef. var	12%	



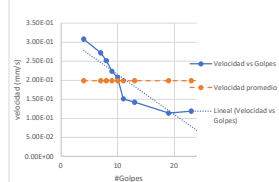
Velocidades para un punto del límite líquido - 32 golpes MU001					
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	V _{lim=40} mm/s	PROMEDIO	
3	2.42E-04	1.21E-04	2.70E-01	2.14E-01	
5	2.16E-04	1.90E-04	2.90E-01	2.14E-01	
7	2.02E-04	1.33E-04	2.41E-01	2.14E-01	
8	2.14E-04	1.18E-04	2.44E-01	2.14E-01	
10	1.67E-04	1.44E-04	2.20E-01	2.14E-01	
11	2.01E-04	6.54E-05	2.11E-01	2.14E-01	
12	1.63E-04	1.02E-04	1.92E-01	2.14E-01	
14	1.57E-04	9.05E-05	1.82E-01	2.14E-01	
15	1.54E-04	9.33E-05	1.80E-01	2.14E-01	
18	1.53E-04	1.28E-04	2.00E-01	2.14E-01	
20	1.09E-04	4.83E-05	1.20E-01	2.14E-01	
22					
Promedio	1.80E-04	1.12E-04	2.14E-01		
			dev standard	0.047	
			coef. var	22%	



Velocidades para un punto del límite líquido - 24 golpes MU001					
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	V _{lim=40} mm/s	PROMEDIO	
5	2.45E-04	1.69E-04	2.98E-01	2.09E-01	
8	2.66E-04	5.88E-05	2.72E-01	2.09E-01	
9	1.61E-04	1.76E-04	2.39E-01	2.09E-01	
10	1.52E-04	1.15E-04	1.91E-01	2.09E-01	
19	1.67E-04	5.79E-05	1.76E-01	2.09E-01	
22	1.33E-04	5.51E-05	1.44E-01	2.09E-01	
23	1.12E-04	8.40E-05	1.40E-01	2.09E-01	
24					
Promedio	1.77E-04	1.02E-04	2.09E-01		
			dev standard	0.06210667	
			coef. var	30%	

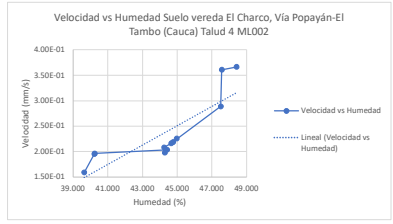
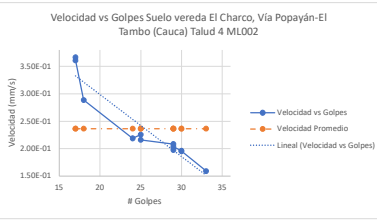


Velocidades para un punto del límite líquido - 25 golpes MU001					
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	V _{lim=40} mm/s	PROMEDIO	
4	2.27E-04	2.09E-04	3.08E-01	1.99E-01	
7	2.02E-04	1.82E-04	2.72E-01	1.99E-01	
8	2.31E-04	1.01E-04	2.52E-01	1.99E-01	
9	1.96E-04	1.07E-04	2.24E-01	1.99E-01	
10	1.36E-04	1.57E-04	2.08E-01	1.99E-01	
11	1.20E-04	9.23E-05	1.51E-01	1.99E-01	
13	1.08E-04	9.35E-05	1.42E-01	1.99E-01	
19	1.09E-04	3.22E-05	1.14E-01	1.99E-01	
23	1.03E-04	5.87E-05	1.19E-01	1.99E-01	
25					
Promedio	1.59E-04	1.15E-04	1.99E-01		
			dev standard	0.071	
			coef. var	36%	



Velocidades para un punto del límite líquido - 33 golpes MU001				
Número de golpes	Velocidades (u)	Velocidades (v)	$V_{lim} = 40$ mm/s	PROMEDIO
2	4.765-04	4.84E-05	4.78E-01	3.20E-01
3	3.01E-04	2.70E-04	4.04E-01	3.20E-01
8	2.47E-04	1.53E-04	2.91E-01	3.20E-01
10	2.21E-04	1.27E-04	2.55E-01	3.20E-01
11	2.33E-04	1.02E-04	2.55E-01	3.20E-01
14	2.38E-04	1.03E-05	2.38E-01	3.20E-01
15				3.20E-01
Promedio	2.86E-04	1.18E-04	3.20E-01	
		dev standard	0.098	
		coef. var	31%	

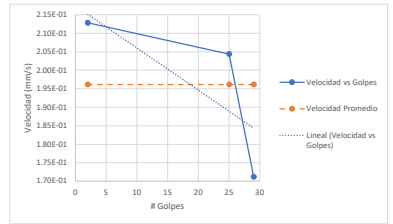
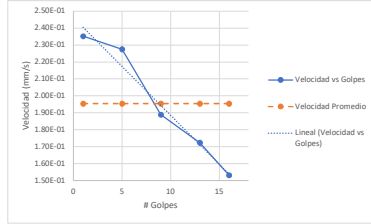
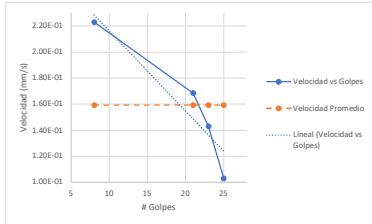
Resumen Suelo vereda El Charco, Via Popayán-El Tambo (Cauca) Talud 4 ML002					
Humedad (%)	Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$v[(u2)+(v2)]$ mm/s	Promedio
48.423	17	2.94E-04	1.96E-04	3.66E-01	2.34E-01
47.571	17	2.21E-04	2.77E-04	3.61E-01	2.34E-01
47.509	18	1.57E-04	2.31E-04	2.89E-01	2.34E-01
44.771	24	1.27E-04	1.69E-04	2.13E-01	2.34E-01
44.974	25	1.42E-04	1.72E-04	2.24E-01	2.34E-01
44.651	25	1.21E-04	1.74E-04	2.16E-01	2.34E-01
44.247	29	1.34E-04	1.54E-04	2.08E-01	2.34E-01
44.283	29	1.33E-04	1.43E-04	1.98E-01	2.34E-01
44.411	29	1.21E-04	1.62E-04	2.04E-01	2.34E-01
40.238	30	1.35E-04	1.35E-04	1.96E-01	2.34E-01
40.229	30	1.11E-04	1.55E-04	1.95E-01	2.34E-01
39.641	33	1.14E-04	1.05E-04	1.59E-01	2.34E-01
Promedio				0.236	
				desviación	0.055
				coef. Var	23.21%



Velocidades para un punto del límite líquido - 33 golpes ML002				
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$v[(u2)+(v2)]$ mm/s	Promedio
8	1.16E-04	1.90E-04	2.23E-01	1.59E-01
21	1.24E-04	1.14E-04	1.68E-01	1.59E-01
23	1.30E-04	5.98E-05	1.43E-01	1.59E-01
25	8.56E-05	5.70E-05	1.03E-01	1.59E-01
Promedio	1.14E-04	1.05E-04	1.59E-01	
				Desv standard 0.050
				Coef. var 31.56%

Velocidades para un punto del límite líquido - 30 golpes ML002				
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$v[(u2)+(v2)]$ mm/s	Promedio
1	1.73E-04	1.60E-04	2.35E-01	1.95E-01
5	5.46E-05	2.21E-04	2.27E-01	1.95E-01
8	1.19E-04	1.46E-04	1.98E-01	1.95E-01
13	1.05E-04	1.36E-04	1.72E-01	1.95E-01
16	1.03E-04	1.13E-04	1.53E-01	1.95E-01
Promedio	1.11E-04	1.55E-04	1.95E-01	
				Desv standard 0.035
				Coef. var 18.07%

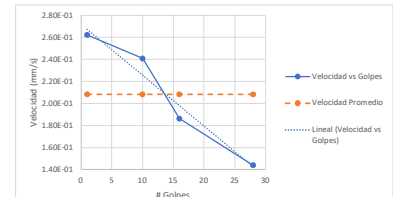
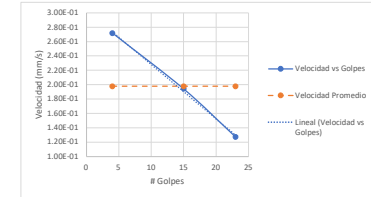
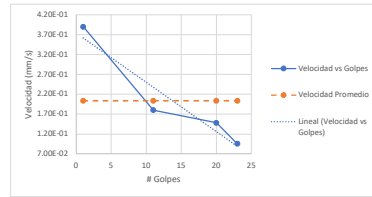
Velocidades para un punto del límite líquido - 30 golpes ML002				
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$v[(u2)+(v2)]$ mm/s	Promedio
2	1.83E-04	1.08E-04	2.13E-01	1.96E-01
25	9.93E-05	1.79E-04	2.04E-01	1.96E-01
29	1.24E-04	1.18E-04	1.71E-01	1.96E-01
Promedio	1.35E-04	1.35E-04	1.96E-01	
				Desv standard 0.022
				Coef. var 11.24%



Velocidades para un punto del límite líquido - 29 golpes ML002				
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$v[(u2)+(v2)]$ mm/s	Promedio
1	2.31E-04	3.14E-04	3.80E-01	2.04E-01
11	8.93E-05	1.57E-04	1.80E-01	2.04E-01
20	9.27E-05	1.16E-04	1.48E-01	2.04E-01
23	7.22E-05	6.28E-05	9.57E-02	2.04E-01
Promedio	1.21E-04	1.62E-04	2.04E-01	
				Desv standard 0.129
				Coef. var 63.40%

Velocidades para un punto del límite líquido - 29 golpes ML002				
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$v[(u2)+(v2)]$ mm/s	Promedio
4	1.98E-04	1.86E-04	2.72E-01	1.98E-01
15	9.72E-05	1.68E-04	1.95E-01	1.98E-01
23	1.03E-04	7.46E-05	1.27E-01	1.98E-01
Promedio	1.33E-04	1.43E-04	1.98E-01	
				Desv standard 0.072
				Coef. var 36.48%

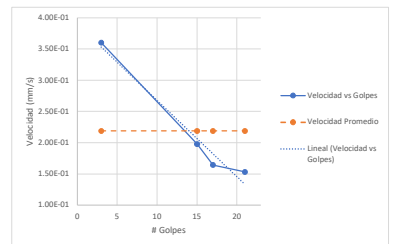
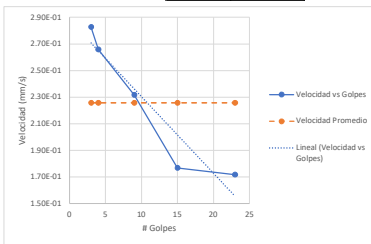
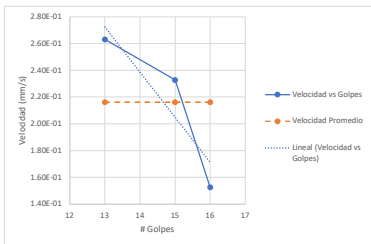
Velocidades para un punto del límite líquido - 29 golpes ML002				
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$v[(u2)+(v2)]$ mm/s	Promedio
1	2.08E-04	1.60E-04	2.42E-01	2.08E-01
10	9.87E-05	2.20E-04	2.41E-01	2.08E-01
16	1.41E-04	1.21E-04	1.86E-01	2.08E-01
28	8.67E-05	1.15E-04	1.44E-01	2.08E-01
Promedio	1.34E-04	1.54E-04	2.08E-01	
				Desv standard 0.054
				Coef. var 25.69%



Velocidades para un punto del límite líquido - 25 golpes ML002				
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$v[(u2)+(v2)]$ mm/s	Promedio
18	1.49E-04	2.23E-04	2.63E-01	2.16E-01
15	1.01E-04	2.10E-04	2.33E-01	2.16E-01
16	1.23E-04	9.08E-05	1.53E-01	2.16E-01
Promedio	1.21E-04	1.74E-04	2.16E-01	
				Desv standard 0.057
				Coef. var 26.42%

Velocidades para un punto del límite líquido - 25 golpes ML002				
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$v[(u2)+(v2)]$ mm/s	Promedio
4	1.52E-04	2.38E-04	2.83E-01	2.28E-01
4	1.91E-04	1.85E-04	2.66E-01	2.28E-01
9	1.74E-04	1.53E-04	2.32E-01	2.28E-01
15	7.29E-05	1.61E-04	1.77E-01	2.28E-01
23	1.18E-04	1.25E-04	1.72E-01	2.28E-01
Promedio	1.42E-04	1.72E-04	2.26E-01	
				Desv standard 0.051
				Coef. var 22.38%

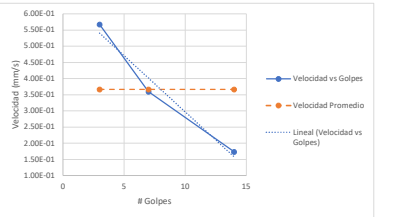
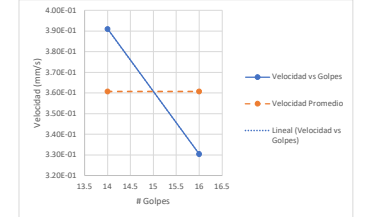
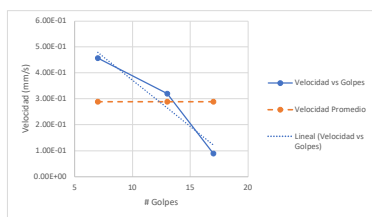
Velocidades para un punto del límite líquido - 24 golpes ML002				
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$v[(u2)+(v2)]$ mm/s	Promedio
3	1.55E-04	3.25E-04	3.60E-01	2.19E-01
15	8.75E-05	1.77E-04	1.98E-01	2.19E-01
17	1.43E-04	8.21E-05	1.64E-01	2.19E-01
21	1.23E-04	9.08E-05	1.53E-01	2.19E-01
Promedio	1.27E-04	1.69E-04	2.19E-01	
				Desv standard 0.096
				Coef. var 43.87%



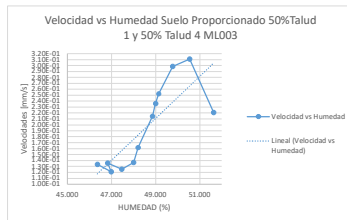
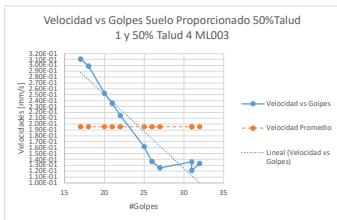
Velocidades para un punto del límite líquido - 18 golpes ML002				
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$v[(u2)+(v2)]$ mm/s	Promedio
7	1.63E-04	4.27E-04	4.57E-01	2.89E-01
13	2.30E-04	2.23E-04	3.20E-01	2.89E-01
17	7.73E-05	4.42E-05	8.91E-02	2.89E-01
Promedio	1.57E-04	2.31E-04	2.89E-01	
				Desv standard 0.186
				Coef. var 64.41%

Velocidades para un punto del límite líquido - 17 golpes ML002				
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$v[(u2)+(v2)]$ mm/s	Promedio
14	1.86E-04	3.44E-04	3.91E-01	3.61E-01
16	2.55E-04	2.10E-04	3.31E-01	3.61E-01
Promedio	2.21E-04	2.77E-04	3.61E-01	
				Desv standard 0.043
				Coef. var 11.86%

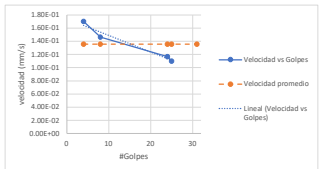
Velocidades para un punto del límite líquido - 17 golpes ML002				
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$v[(u2)+(v2)]$ mm/s	Promedio
3	4.85E-04	2.93E-04	5.67E-01	3.66E-01
7	3.33E-04	1.34E-04	3.59E-01	3.66E-01
14	5.25E-05	1.62E-04	1.79E-01	3.66E-01
Promedio	2.94E-04	1.96E-04	3.66E-01	
				Desv standard 0.197
				Coef. var 53.71%



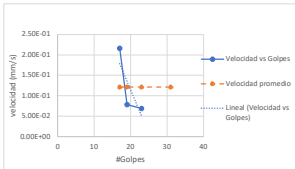
Resumen Suelo Proporcionado 50%Talud 1 y 50% Talud 4 ML003				
Humedad %	Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$V_{limite(v)}$ mm/s
51.630	16	1.83E-04	1.24E-04	2.21E-01
50.544	17	2.71E-04	1.53E-04	3.11E-01
49.772	18	2.65E-04	1.38E-04	2.99E-01
49.140	20	2.24E-04	1.17E-04	2.52E-01
48.996	21	2.29E-04	5.62E-05	2.36E-01
48.852	22	1.74E-04	1.25E-04	2.15E-01
48.205	25	1.39E-04	8.25E-05	1.62E-01
47.996	26	1.04E-04	8.86E-05	1.37E-01
47.458	27	1.09E-04	4.13E-05	1.16E-01
46.825	31	1.30E-04	2.94E-05	1.36E-01
46.989	31	9.33E-05	7.59E-05	1.21E-01
46.359	32	6.69E-05	7.63E-05	1.33E-01
Promedio				1.96E-01
			dev standard	0.069
			coef. var	35.38%



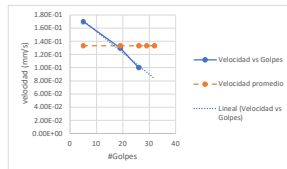
Velocidades para un punto del limite liquido - 31 golpes ML003				
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$V_{limite(v)}$ mm/s	PROMEDIO
4	1.69E-04	1.96E-05	1.70E-01	1.36E-01
8	1.46E-04	2.42E-06	1.46E-01	1.36E-01
24	1.09E-04	4.13E-05	1.16E-01	1.36E-01
25	9.56E-05	5.41E-05	1.10E-01	1.36E-01
31				1.36E-01
Promedio	1.30E-04	2.94E-05	1.36E-01	
			dev standard	2.78E-02
			coef. var	21%



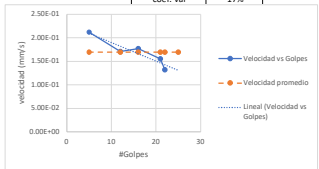
Velocidades para un punto del limite liquido - 31 golpes ML003				
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$V_{limite(v)}$ mm/s	PROMEDIO
17	1.56E-04	1.49E-04	2.16E-01	1.21E-01
19	6.25E-05	4.71E-05	7.83E-02	1.21E-01
23	6.11E-05	3.13E-05	6.86E-02	1.21E-01
31				1.21E-01
Promedio	9.33E-05	7.59E-05	1.21E-01	
			dev standard	0.083
			coef. var	68%



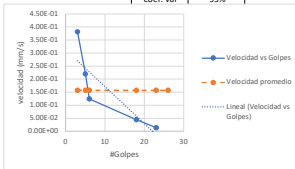
Velocidades para un punto del limite liquido - 32 golpes ML003				
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$V_{limite(v)}$ mm/s	PROMEDIO
5	1.48E-04	8.41E-05	1.70E-01	1.33E-01
19	3.55E-05	1.25E-04	1.30E-01	1.33E-01
26	9.39E-05	3.54E-05	1.00E-01	1.33E-01
29	1.10E-04	6.08E-05		1.33E-01
32				1.33E-01
Promedio	9.69E-05	7.63E-05	1.33E-01	
			dev standard	0.035
			coef. var	26%



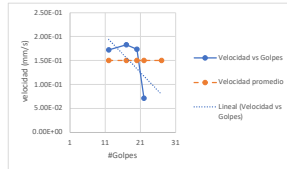
Velocidades para un punto del limite liquido - 25 golpes ML003				
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$V_{limite(v)}$ mm/s	PROMEDIO
5	2.06E-04	5.03E-05	2.12E-01	1.69E-01
12	7.57E-05	1.53E-04	1.71E-01	1.69E-01
16	1.65E-04	6.49E-05	1.77E-01	1.69E-01
21	1.32E-04	8.24E-05	1.56E-01	1.69E-01
22	1.17E-04	6.17E-05	1.32E-01	1.69E-01
25				1.69E-01
Promedio	1.39E-04	8.25E-05	1.69E-01	
			dev standard	0.029
			coef. var	17%



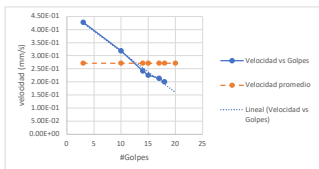
Velocidades para un punto del limite liquido - 26 golpes ML003				
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$V_{limite(v)}$ mm/s	PROMEDIO
32	1.33E-04	3.57E-04	3.81E-01	1.57E-01
5	2.19E-04	2.20E-05	2.20E-01	1.57E-01
6	1.09E-04	6.01E-05	1.24E-01	1.57E-01
18	4.50E-05	1.81E-07	4.50E-02	1.57E-01
23	1.36E-05	3.30E-06	1.40E-02	1.57E-01
26				1.57E-01
Promedio	1.04E-04	8.86E-05	1.57E-01	
			dev standard	0.149
			coef. var	95%



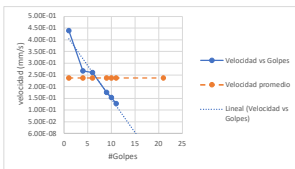
Velocidades para un punto del limite liquido - 27 golpes ML003				
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$V_{limite(v)}$ mm/s	PROMEDIO
12	1.72E-04	1.11E-05	1.72E-01	1.50E-01
17	1.82E-04	1.91E-05	1.83E-01	1.50E-01
20	3.11E-05	1.71E-04	1.74E-01	1.50E-01
22	7.09E-05	7.90E-06	7.13E-02	1.50E-01
27				1.50E-01
Promedio	1.14E-04	5.23E-05	1.50E-01	
			dev standard	0.053
			coef. var	35%



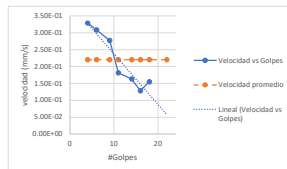
Velocidades para un punto del limite liquido - 20 golpes ML003				
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$V_{limite(v)}$ mm/s	PROMEDIO
3	4.26E-04	4.50E-05	4.28E-01	2.72E-01
10	2.70E-04	1.70E-04	3.19E-01	2.72E-01
14	1.16E-04	2.13E-04	2.42E-01	2.72E-01
15	2.17E-04	6.01E-05	2.25E-01	2.72E-01
17	1.14E-04	1.81E-04	2.14E-01	2.72E-01
18	1.98E-04	3.29E-05	2.01E-01	2.72E-01
20				2.72E-01
Promedio	2.24E-04	1.17E-04	2.72E-01	
			dev standard	0.087
			coef. var	32%



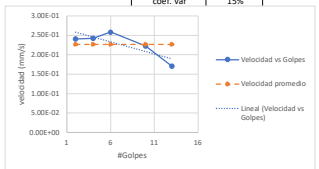
Velocidades para un punto del limite liquido - 21 golpes ML003				
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$V_{limite(v)}$ mm/s	PROMEDIO
1	4.19E-04	1.31E-04	4.39E-01	2.37E-01
4	2.59E-04	6.83E-05	2.68E-01	2.37E-01
6	2.50E-04	7.43E-05	2.60E-01	2.37E-01
9	1.75E-04	1.38E-05	1.76E-01	2.37E-01
10	1.53E-04	5.00E-07	1.53E-01	2.37E-01
11	1.18E-04	4.87E-05	1.28E-01	2.37E-01
21				2.37E-01
Promedio	2.29E-04	5.62E-05	2.37E-01	
			dev standard	0.114
			coef. var	48%



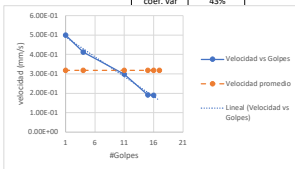
Velocidades para un punto del limite liquido - 22 golpes ML003				
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$V_{limite(v)}$ mm/s	PROMEDIO
4	2.74E-04	1.81E-04	3.29E-01	2.20E-01
6	2.57E-04	1.71E-04	3.09E-01	2.20E-01
9	1.84E-04	2.08E-04	2.78E-01	2.20E-01
11	1.67E-04	7.15E-05	1.81E-01	2.20E-01
14	1.42E-04	7.99E-05	1.63E-01	2.20E-01
16	1.25E-04	2.68E-05	1.28E-01	2.20E-01
18	6.97E-05	1.38E-04	1.55E-01	2.20E-01
22				2.20E-01
Promedio	1.74E-04	1.25E-04	2.20E-01	
			dev standard	0.082
			coef. var	37%



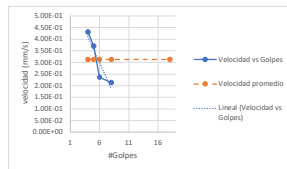
Velocidades para un punto del limite liquido - 16 golpes ML003				
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$V_{limite(v)}$ mm/s	PROMEDIO
2	2.18E-04	1.01E-04	2.40E-01	2.27E-01
4	1.92E-04	1.48E-04	2.42E-01	2.27E-01
6	1.70E-04	1.95E-04	2.38E-01	2.27E-01
10	1.66E-04	1.48E-04	2.22E-01	2.27E-01
13	1.68E-04	3.02E-05	1.71E-01	2.27E-01
16				2.27E-01
Promedio	1.83E-04	1.24E-04	2.27E-01	
			dev standard	0.034
			coef. var	15%



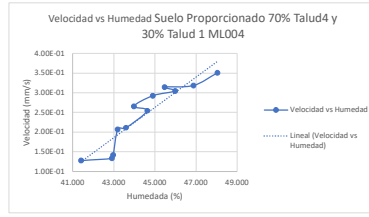
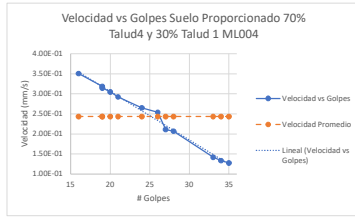
Velocidades para un punto del limite liquido - 17 golpes ML003				
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$V_{limite(v)}$ mm/s	PROMEDIO
1	4.04E-04	2.94E-04	4.99E-01	3.18E-01
4	3.80E-04	1.61E-04	4.12E-01	3.18E-01
11	2.01E-04	2.20E-04	2.98E-01	3.18E-01
15	1.90E-04	2.74E-05	1.92E-01	3.18E-01
16	1.80E-04	6.16E-05	1.90E-01	3.18E-01
17				3.18E-01
Promedio	2.71E-04	1.53E-04	3.18E-01	
			dev standard	0.136
			coef. var	43%



Velocidades para un punto del limite liquido - 18 golpes ML003				
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$V_{limite(v)}$ mm/s	PROMEDIO
4	2.80E-04	3.29E-04	4.31E-01	3.13E-01
5	3.69E-04	4.24E-05	3.71E-01	3.13E-01
6	2.12E-04	1.04E-04	2.38E-01	3.13E-01
8	2.00E-04	7.53E-05	2.14E-01	3.13E-01
18				3.13E-01
Promedio	2.65E-04	1.38E-04	3.13E-01	
			dev standard	0.105
			coef. var	34%



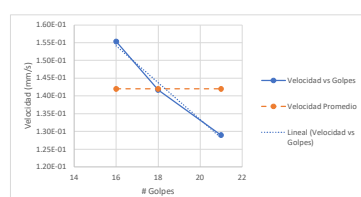
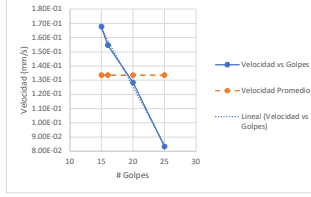
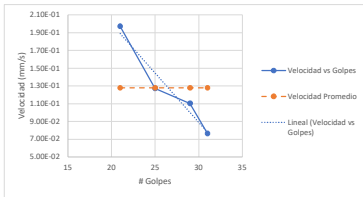
Resumen Suelo Proporcional 70% Talud4 y 30% Talud 1 ML004					
Humedad %	Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$v(u/2+v/2)$ mm/s	Promedio
48.038	16	2.74E-04	2.14E-04	3.51E-01	2.43E-01
46.873	19	2.38E-04	2.06E-04	3.18E-01	2.43E-01
45.466	19	2.27E-04	2.05E-04	3.14E-01	2.43E-01
45.987	20	9.36E-05	2.87E-04	3.05E-01	2.43E-01
44.897	21	0.00E+00	0.00E+00	2.92E-01	2.43E-01
43.975	24	1.68E-04	2.04E-04	2.65E-01	2.43E-01
44.630	26	1.46E-04	1.98E-04	2.54E-01	2.43E-01
43.597	27	1.50E-04	1.31E-04	2.11E-01	2.43E-01
43.185	28	1.37E-04	1.45E-04	2.07E-01	2.43E-01
42.968	33	7.30E-05	1.15E-04	1.42E-01	2.43E-01
42.909	34	1.01E-04	8.43E-05	1.34E-01	2.43E-01
41.409	35	1.02E-04	7.05E-05	1.28E-01	2.43E-01
Promedio				2.43E-01	
			desviación	0.074	
			coef. Vari	30.31%	



Velocidades para un punto del límite líquido - 35 golpes ML004				
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$v(u/2+v/2)$ mm/s	Promedio
21	1.86E-04	6.69E-05	1.97E-01	1.28E-01
25	1.07E-04	6.89E-05	1.27E-01	1.28E-01
29	6.06E-05	9.22E-05	1.10E-01	1.28E-01
31	5.40E-05	5.40E-05	7.64E-02	1.28E-01
Promedio	1.02E-04	7.05E-05	1.28E-01	
			Desv standard	0.051
			Coef. var	39.83%

Velocidades para un punto del límite líquido - 34 golpes ML004				
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$v(u/2+v/2)$ mm/s	Promedio
15	1.45E-04	8.43E-05	1.68E-01	1.34E-01
16	9.28E-05	1.24E-04	1.55E-01	1.34E-01
20	1.02E-04	7.78E-05	1.28E-01	1.34E-01
25	6.55E-05	5.15E-05	8.33E-02	1.34E-01
Promedio	1.01E-04	8.43E-05	1.34E-01	
			Desv standard	0.037
			Coef. var	27.91%

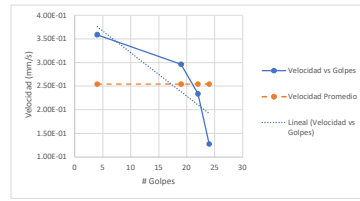
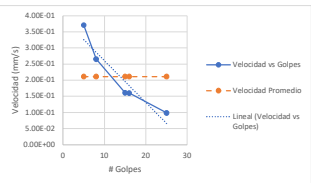
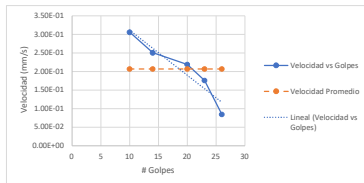
Velocidades para un punto del límite líquido - 33 golpes ML004				
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$v(u/2+v/2)$ mm/s	Promedio
16	6.99E-05	1.39E-04	1.55E-01	1.42E-01
18	1.17E-04	8.00E-05	1.42E-01	1.42E-01
21	3.21E-05	1.25E-04	1.29E-01	1.42E-01
Promedio	7.30E-05	1.15E-04	1.42E-01	
			Desv standard	0.013
			Coef. var	9.29%



Velocidades para un punto del límite líquido - 28 golpes ML004				
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$v(u/2+v/2)$ mm/s	Promedio
10	2.01E-04	2.30E-04	3.06E-01	2.07E-01
14	9.14E-05	2.33E-04	2.51E-01	2.07E-01
20	2.00E-04	8.93E-05	2.19E-01	2.07E-01
23	1.32E-04	1.16E-04	1.76E-01	2.07E-01
26	6.10E-05	5.81E-05	8.42E-02	2.07E-01
Promedio	1.37E-04	1.45E-04	2.07E-01	
			Desv standard	0.083
			Coef. var	40.29%

Velocidades para un punto del límite líquido - 27 golpes ML004				
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$v(u/2+v/2)$ mm/s	Promedio
5	3.43E-04	1.41E-04	3.71E-01	2.11E-01
8	9.81E-05	2.47E-04	2.65E-01	2.11E-01
15	1.39E-04	8.25E-05	1.61E-01	2.11E-01
16	1.25E-04	9.98E-05	1.60E-01	2.11E-01
25	4.64E-05	8.70E-05	9.86E-02	2.11E-01
Promedio	1.50E-04	1.31E-04	2.11E-01	
			Desv standard	0.107
			Coef. var	50.87%

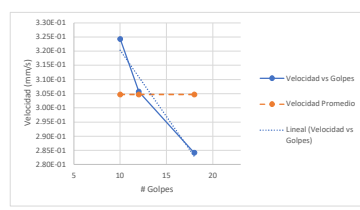
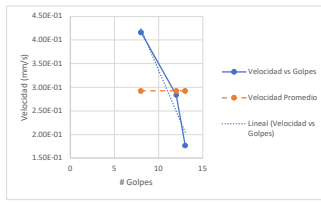
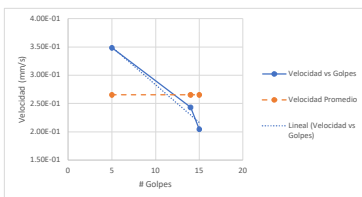
Velocidades para un punto del límite líquido - 26 golpes ML004				
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$v(u/2+v/2)$ mm/s	Promedio
4	2.80E-04	2.24E-04	3.59E-01	2.54E-01
19	1.48E-04	2.57E-04	2.96E-01	2.54E-01
22	6.10E-05	2.26E-04	2.34E-01	2.54E-01
24	9.59E-05	8.44E-05	1.28E-01	2.54E-01
Promedio	1.46E-04	1.98E-04	2.54E-01	
			Desv standard	0.099
			Coef. var	38.76%



Velocidades para un punto del límite líquido - 24 golpes ML004				
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$v(u/2+v/2)$ mm/s	Promedio
5	2.10E-04	2.78E-04	3.48E-01	2.65E-01
14	1.79E-04	1.65E-04	2.43E-01	2.65E-01
15	1.14E-04	1.70E-04	2.05E-01	2.65E-01
Promedio	1.68E-04	2.04E-04	2.65E-01	
			Desv standard	0.074
			Coef. var	28.04%

Velocidades para un punto del límite líquido - 21 golpes ML004				
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$v(u/2+v/2)$ mm/s	Promedio
8	1.41E-04	3.92E-04	4.16E-01	2.92E-01
12	1.08E-04	2.63E-04	2.84E-01	2.92E-01
13	9.60E-05	1.49E-04	1.77E-01	2.92E-01
Promedio	1.15E-04	2.68E-04	2.92E-01	
			Desv standard	0.120
			Coef. var	41.04%

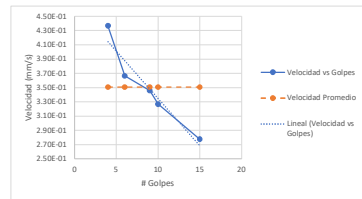
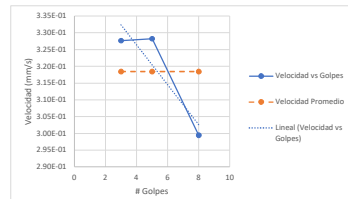
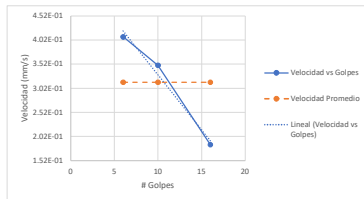
Velocidades para un punto del límite líquido - 20 golpes ML004				
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$v(u/2+v/2)$ mm/s	Promedio
10	7.73E-05	3.15E-04	3.24E-01	3.05E-01
12	6.43E-05	2.99E-04	3.06E-01	3.05E-01
19	1.39E-04	2.48E-04	2.94E-01	3.05E-01
Promedio	9.36E-05	2.87E-04	3.05E-01	
			Desv standard	0.020
			Coef. var	6.58%



Velocidades para un punto del límite líquido - 19 golpes ML004				
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$v(u/2+v/2)$ mm/s	Promedio
6	2.57E-04	3.18E-04	4.09E-01	3.14E-01
10	2.48E-04	2.46E-04	3.50E-01	3.14E-01
16	1.78E-04	5.08E-05	1.85E-01	3.14E-01
Promedio	2.27E-04	2.05E-04	3.14E-01	
			Desv standard	0.116
			Coef. var	36.86%

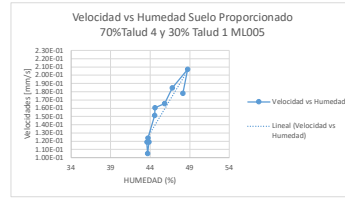
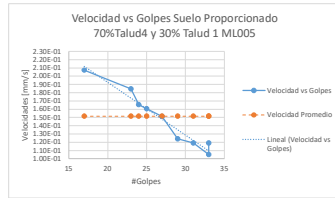
Velocidades para un punto del límite líquido - 19 golpes ML004				
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$v(u/2+v/2)$ mm/s	Promedio
3	2.74E-04	1.79E-04	3.28E-01	3.18E-01
5	2.62E-04	1.97E-04	3.28E-01	3.18E-01
8	1.78E-04	2.41E-04	2.99E-01	3.18E-01
Promedio	2.38E-04	2.06E-04	3.18E-01	
			Desv standard	0.016
			Coef. var	5.17%

Velocidades para un punto del límite líquido - 16 golpes ML004				
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$v(u/2+v/2)$ mm/s	Promedio
4	3.38E-04	2.77E-04	4.37E-01	3.51E-01
6	2.84E-04	2.31E-04	3.66E-01	3.51E-01
9	2.92E-04	1.86E-04	3.46E-01	3.51E-01
10	2.85E-04	1.59E-04	3.27E-01	3.51E-01
15	1.72E-04	2.18E-04	2.78E-01	3.51E-01
Promedio	2.74E-04	2.14E-04	3.51E-01	
			Desv standard	0.048
			Coef. var	13.70%

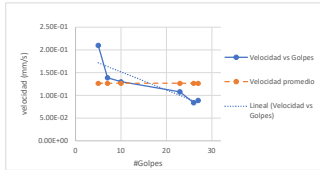


Resumen Suelo Proporcionado 70% Talud4 y 30% Talud 1 ML005					
Humedad %	Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$V_{(u=v)}$ mm/s	PROMEDIO
48.134	17	1.46E-04	1.01E-04	1.78E-01	1.52E-01
48.742	17	1.75E-04	1.12E-04	2.07E-01	1.52E-01
46.772	23	1.67E-04	7.81E-05	1.85E-01	1.52E-01
45.824	24	1.54E-04	6.08E-05	1.66E-01	1.52E-01
44.583	25	1.39E-04	8.00E-05	1.63E-01	1.52E-01
44.544	27	1.30E-04	7.82E-05	1.51E-01	1.52E-01
43.713	29	9.89E-05	7.48E-05	1.24E-01	1.52E-01
43.849	31	1.02E-04	6.08E-05	1.19E-01	1.52E-01
43.687	33	7.81E-05	7.05E-05	1.05E-01	1.52E-01
43.559	33	5.54E-05	1.05E-04	1.19E-01	1.52E-01
Promedio				1.52E-01	
			desv standard	0.034	
			coef. var	22.23%	

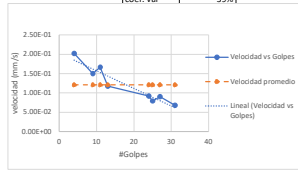
0.152 0.1604



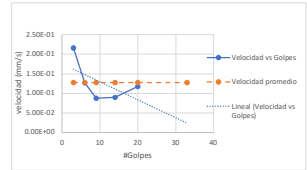
Velocidades para un punto del limite liquido - 31 golpes ML005				
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$V_{(u=v)}$ mm/s	PROMEDIO
5	1.41E-04	1.56E-04	2.10E-01	1.27E-01
7	1.39E-04	2.12E-06	1.39E-01	1.27E-01
10	9.19E-05	9.23E-05	1.30E-01	1.27E-01
23	1.04E-04	3.02E-05	1.08E-01	1.27E-01
26	5.32E-05	6.52E-05	8.41E-02	1.27E-01
27	8.88E-05	1.91E-05	8.89E-02	1.27E-01
31				
Promedio	1.02E-04	6.08E-05	1.27E-01	
			desv standard	4.627E-02
			coef. var	37%



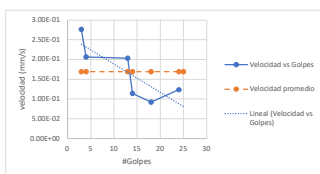
Velocidades para un punto del limite liquido - 33 golpes ML005				
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$V_{(u=v)}$ mm/s	PROMEDIO
4	8.98E-05	1.81E-04	2.02E-01	1.21E-01
9	1.44E-04	4.09E-05	1.50E-01	1.21E-01
11	3.00E-05	1.64E-04	1.67E-01	1.21E-01
13	4.27E-05	1.09E-04	1.17E-01	1.21E-01
24	9.38E-05	4.84E-06	9.38E-02	1.21E-01
25	7.84E-05	1.16E-05	7.92E-02	1.21E-01
27	8.94E-05	1.57E-05	9.08E-02	1.21E-01
31	5.81E-05	3.61E-05	6.84E-02	1.21E-01
33				
Promedio	7.81E-05	7.05E-05	1.21E-01	
			desv standard	0.048
			coef. var	39%



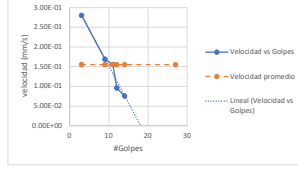
Velocidades para un punto del limite liquido - 33 golpes ML005				
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$V_{(u=v)}$ mm/s	PROMEDIO
4	3.96E-05	2.12E-04	2.16E-01	1.28E-01
6	1.19E-04	4.49E-05	1.27E-01	1.28E-01
9	3.90E-05	7.84E-05	8.75E-02	1.28E-01
14	3.04E-05	8.43E-05	8.96E-02	1.28E-01
20	4.90E-05	1.07E-04	1.17E-01	1.28E-01
33				
Promedio	5.54E-05	1.05E-04	1.28E-01	
			desv standard	0.053
			coef. var	41%



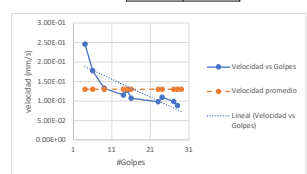
Velocidades para un punto del limite liquido - 25 golpes ML005				
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$V_{(u=v)}$ mm/s	PROMEDIO
3	2.70E-04	5.72E-05	2.78E-01	1.69E-01
4	1.92E-04	7.64E-05	2.06E-01	1.69E-01
13	1.76E-04	1.03E-04	2.03E-01	1.69E-01
14	9.25E-05	6.72E-05	1.14E-01	1.69E-01
18	7.18E-05	5.77E-05	9.21E-02	1.69E-01
24	3.50E-05	1.18E-04	1.23E-01	1.69E-01
25				
Promedio	1.39E-04	8.00E-05	1.69E-01	
			desv standard	0.071
			coef. var	42%



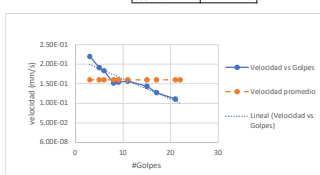
Velocidades para un punto del limite liquido - 27 golpes ML005				
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$V_{(u=v)}$ mm/s	PROMEDIO
3	2.21E-04	1.71E-04	2.88E-01	1.55E-01
9	1.49E-04	8.02E-05	1.69E-01	1.55E-01
11	1.09E-04	1.11E-04	1.55E-01	1.55E-01
12	9.43E-05	1.71E-05	9.59E-02	1.55E-01
14	7.43E-05	1.23E-05	7.53E-02	1.55E-01
27				
Promedio	1.30E-04	7.82E-05	1.55E-01	
			desv standard	0.080
			coef. var	52%



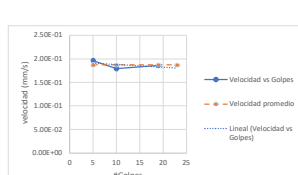
Velocidades para un punto del limite liquido - 29 golpes ML005				
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$V_{(u=v)}$ mm/s	PROMEDIO
4	3.62E-04	1.85E-04	2.46E-01	1.30E-01
6	1.26E-04	1.26E-04	1.78E-01	1.30E-01
9	6.07E-05	1.18E-04	1.32E-01	1.30E-01
14	1.03E-04	5.11E-05	1.15E-01	1.30E-01
15	1.28E-04	1.39E-06	1.28E-01	1.30E-01
16	8.38E-05	6.69E-05	1.07E-01	1.30E-01
23	9.52E-05	2.26E-05	9.78E-02	1.30E-01
24	6.69E-05	8.68E-05	1.10E-01	1.30E-01
27	8.74E-05	4.58E-05	9.87E-02	1.30E-01
28	7.61E-05	4.46E-05	8.82E-02	1.30E-01
29				
Promedio	9.89E-05	7.48E-05	1.30E-01	
			desv standard	0.048
			coef. var	37%



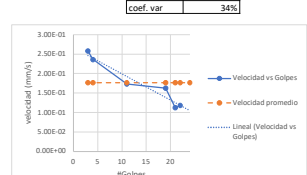
Velocidades para un punto del limite liquido - 22 golpes ML005				
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$V_{(u=v)}$ mm/s	PROMEDIO
3	1.96E-04	9.85E-05	2.19E-01	1.60E-01
5	1.74E-04	7.85E-05	1.90E-01	1.60E-01
6	1.83E-04	6.80E-07	1.83E-01	1.60E-01
8	1.05E-04	1.09E-04	1.51E-01	1.60E-01
9	1.53E-04	1.70E-05	1.54E-01	1.60E-01
11	1.42E-04	6.68E-05	1.57E-01	1.60E-01
15	6.18E-05	1.30E-04	1.44E-01	1.60E-01
17	8.13E-05	9.75E-05	1.27E-01	1.60E-01
21	1.11E-04	5.21E-06	1.11E-01	1.60E-01
22				
Promedio	1.34E-04	6.70E-05	1.60E-01	
			desv standard	0.033
			coef. var	21%



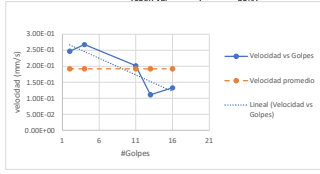
Velocidades para un punto del limite liquido - 23 golpes ML005				
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$V_{(u=v)}$ mm/s	PROMEDIO
5	1.89E-04	5.47E-05	1.96E-01	1.87E-01
10	1.41E-04	1.11E-04	1.79E-01	1.87E-01
19	1.73E-04	6.83E-05	1.86E-01	1.87E-01
23				
Promedio	1.67E-04	7.81E-05	1.87E-01	
			desv standard	0.009
			coef. var	5%



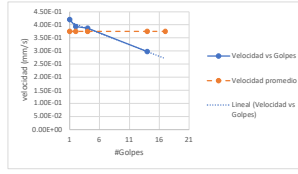
Velocidades para un punto del limite liquido - 24 golpes ML005				
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$V_{(u=v)}$ mm/s	PROMEDIO
3	2.58E-04	8.76E-06	2.58E-01	1.77E-01
4	2.30E-04	5.09E-05	2.36E-01	1.77E-01
11	1.45E-04	9.48E-05	1.73E-01	1.77E-01
19	1.61E-04	2.60E-05	1.63E-01	1.77E-01
21	8.33E-05	7.60E-05	1.13E-01	1.77E-01
22	4.66E-05	1.09E-04	1.18E-01	1.77E-01
24				
Promedio	1.54E-04	6.08E-05	1.77E-01	
			desv standard	0.060
			coef. var	34%



Velocidades para un punto del limite liquido - 17 golpes ML005				
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$V_{(u=v)}$ mm/s	PROMEDIO
2	2.39E-04	6.04E-05	2.47E-01	1.92E-01
4	1.30E-04	2.34E-04	2.67E-01	1.92E-01
11	1.29E-04	1.55E-04	2.02E-01	1.92E-01
13	1.11E-04	9.12E-06	1.11E-01	1.92E-01
16	1.23E-04	4.91E-05	1.32E-01	1.92E-01
17				
Promedio	1.46E-04	1.01E-04	1.92E-01	
			desv standard	0.069
			coef. var	36%



Velocidades para un punto del limite liquido - 17 golpes ML005				
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$V_{(u=v)}$ mm/s	PROMEDIO
1	4.09E-04	9.83E-05	4.20E-01	3.75E-01
2	3.90E-04	5.47E-05	3.93E-01	3.75E-01
4	3.76E-04	9.23E-05	3.87E-01	3.75E-01
14	2.36E-04	1.82E-04	2.98E-01	3.75E-01
17				
Promedio	3.53E-04	1.07E-04	3.75E-01	
			desv standard	0.053
			coef. var	14%



Velocidades para un punto del limite liquido - 18 golpes ML005				
Número de golpes	Velocidades (u) m/s	Velocidades (v) m/s	$V_{(u=v)}$ mm/s	PROMEDIO
2	2.61E-04	2.45E-04	3.58E-01	2.22E-01
3	3.08E-04	2.30E-05	3.09E-01	2.22E-01
5	2.56E-04	8.36E-05	2.69E-01	2.22E-01
8	1.84E-04	1.43E-04	2.32E-01	2.22E-01
10	1.87E-04	8.78E-05	2.07E-01	2.22E-01
11	9.08E-05	1.77E-04	1.99E-01	2.22E-01
13	7.09E-05	1.75E-04	1.89E-01	2.22E-01
14	1.26E-04	1.34E-04	1.84E-01	2.22E-01
15	1.82E-04	1.41E-05	1.83E-01	2.22E-01
16	1.74E-04	4.47E-05	1.79E-01	2.22E-01
17	8.13E-05	1.03E-04	1.32E-01	2.22E-01
18				
Promedio	1.75E-04	1.12E-04	2.22E-01	
			desv standard	0.062
			coef. var	28%

