



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

TEMA:

“ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE SUELOS MEDIANTE EL DESARROLLO DE UN SOFTWARE ESPECÍFICO, APLICANDO LA NORMATIVA AASHTO Y ASTM”

AUTOR: Steven David Merino Jiménez

TUTORA: Ing. Mg. Ruth Lorena Pérez Maldonado

AMBATO – ECUADOR

Septiembre - 2022

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutora del Trabajo Experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil, con el tema: **“ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE SUELOS MEDIANTE EL DESARROLLO DE UN SOFTWARE ESPECÍFICO, APLICANDO LA NORMATIVA AASHTO Y ASTM”**, elaborado por el Sr. Steven David Merino Jiménez, portador de la cédula de ciudadanía: C.I. 1804731758, estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente proyecto técnico es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Esta concluido en su totalidad.

Ambato, Septiembre 2022



Ing. Mg. Ruth Lorena Pérez Maldonado
TUTORA

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, **Steven David Merino Jiménez**, con C.I. 1804731758, declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente Trabajo Experimental con el tema: **“ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE SUELOS MEDIANTE EL DESARROLLO DE UN SOFTWARE ESPECÍFICO, APLICANDO LA NORMATIVA AASHTO Y ASTM”**, así como también los análisis, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del proyecto, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, Septiembre 2022



Steven David Merino Jiménez

C.I. 1804731758

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo Experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo Experimental, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, Septiembre 2022



Steven David Merino Jiménez

C.I. 1804731758

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por el estudiante **Steven David Merino Jiménez**, de la Carrera de Ingeniería Civil bajo el tema: “ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE SUELOS MEDIANTE EL DESARROLLO DE UN SOFTWARE ESPECÍFICO, APLICANDO LA NORMATIVA AASHTO Y ASTM”,

Ambato, Septiembre 2020

Para constancia firman:



Ing. Mg. Byron Genaro Cañizares Proaño
Miembro Calificador



Ing. Mg. Favio Paul Portilla Yandún
Miembro Calificador

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico a Dios por darme fe, la valentía y fuerza suficiente para superar los momentos más difíciles, quién me ha permitido levantarme en las duras adversidades a lo largo de mi vida como estudiante.

A mi familia que ha sido el pilar fundamental para completar mis metas personales y profesionales, mi madre que siempre estuvo conmigo y mi hermana Paulina, quién con su apoyo incondicional me dio sus sabios consejos para seguir adelante en mi vida de estudiante.

AGRADECIMIENTO

Después del arduo trayecto en esta investigación, es para mí un honor agradecer este trabajo primeramente a Dios, de quien comprendo viene todo conocimiento, sabiduría e inteligencia.

También agradezco a mi familia mi hermana Paulina y madre María. quienes me apoyaron en el trayecto de mis años de estudio de diferentes maneras, y que supieron orientarme hacia la excelencia con su apoyo y consejos que me han servido para poder culminar esta etapa de mi vida.

A mi tutora la Ing. Lorena Pérez a quien respeto y admiro por su comprometimiento con la ingeniería, siendo una guía y transmitiéndome sus conocimientos con la confianza total para desarrollar mi trabajo de investigación.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR.....	iv
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
RESUMEN.....	xvii
ABSTRACT	xviii
CAPÍTULO I.....	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL	1
1.2 ANTECEDENTES.....	1
1.3 JUSTIFICACIÓN	2
1.4 OBJETIVOS.....	3
1.4.1 Objetivo General	3
1.4.2 Objetivos Específicos	3
1.5. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	5
1.5.1. Mecánica de Suelos	5
1.5.2 El suelo	6
1.5.3. Propiedades índice del suelo	6
1.5.3.1. Densidad	6
1.5.3.2. Porosidad (n%).....	7
1.5.3.3. Relación de vacíos (e)	7

1.5.3.4.	Gravedad específica (Gs%)	7
1.5.3.5.	Peso volumétrico (γ_m)	8
1.5.3.6.	Peso volumétrico seco (γ_d).....	8
1.5.3.7.	Grado de saturación del agua (Gw%)	8
1.5.4.	Propiedades físico - mecánicas del suelo	9
1.5.4.1.	Contenido de humedad (w%)	9
1.5.4.2.	Densidad de campo (cono y arena)	9
1.5.4.3.	Grado de compactación del suelo	10
1.5.4.4.	Proctor Modificado	10
1.5.4.5.	Relación de Soporte de California CBR.....	11
1.5.4.6.	Granulometría	13
1.5.5.	Sistema Unificado de Clasificación de Suelos SUCS	14
	Suelos Granulares o de grano grueso	15
	Suelos Cohesivos o de grano fino	15
1.5.6.	Clasificación de suelos AASHTO	17
1.5.7.	Límites de Atterberg.....	19
1.5.7.1.	Límite líquido (LL).....	20
1.5.7.2.	Límite plástico (LP).....	20
1.5.7.3.	Límite de contracción (LC).....	20
1.5.7.4.	Índice de plasticidad (Ip)	20
1.5.8.	Software.....	21
1.6.	HIPÓTESIS	21
1.7.	SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS	21
	CAPÍTULO II.....	22
	METODOLOGÍA.....	22
2.1	NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	22
2.1.1	Nivel de Investigación.....	22

2.2 CUADRO METODOLÓGICO	23
CAPÍTULO III	26
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	26
3.1. RECOLECCIÓN DE DATOS.....	26
3.1.1. Ensayo humedad natural.....	26
3.1.1.1. Resolución manual, humedad natural.....	26
3.1.1.2. Resolución mediante el programa desarrollado, humedad natural.....	31
3.1.2. Ensayo de densidad de campo (cono y arena).	32
3.1.2.1. Resolución manual, densidad de campo	33
3.1.2.2. Resolución mediante el programa desarrollado, densidad de campo	50
3.1.3. Granulometría	53
3.1.3.1. Resolución manual, granulometría	53
3.1.3.2. Resolución mediante el programa desarrollado, granulometría	64
3.1.4. Límite Líquido	67
3.1.4.1. Resolución manual, límite líquido.....	67
3.1.4.2. Resolución mediante el programa desarrollado, límite líquido.....	84
3.1.5. Límite Plástico	87
3.1.5.1. Resolución manual, límite plástico.....	87
3.1.5.2. Resolución mediante el programa desarrollado, límite plástico	98
3.1.6. Límite de Contracción	99
3.1.6.1. Resolución manual, límite de contracción	100
3.1.6.2. Resolución mediante el programa desarrollado, límite de contracción.....	107
3.1.7. Clasificación de Suelos SUCS	109
3.1.7.1. Resolución manual, clasificación de suelos SUCS.	109
3.1.7.2. Resolución mediante el programa desarrollado, clasificación de suelos SUCS	114

3.1.8. Clasificación de Suelos AASHTO	116
3.1.8.1. Resolución manual, clasificación de suelos AASHTO	116
3.1.8.2. Resolución mediante el programa desarrollado, clasificación de suelos AASHTO	122
3.1.9. Proctor Modificado.....	125
3.1.9.1. Resolución manual, Proctor modificado	126
3.1.9.2. Resolución mediante el programa desarrollado, Proctor modificado..	151
3.1.10. California Bearing Ratio - CBR.....	154
3.1.10.1. Resolución manual, California Bearing Ratio - CBR.....	155
3.1.10.2. Resolución mediante el programa desarrollado, California Bearing Ratio	194
3.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS	200
3.3. VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS	204
CAPÍTULO VI	205
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	205
4.1. CONCLUSIONES	205
4.2. RECOMENDACIONES	206
V. ANEXOS.....	207
1.- BIBLIOGRAFÍA	207
2. ALGORITMOS DE CODIFICACIÓN.....	210
2.1. FLUJOGRAMAS DE CODIFICACIÓN DEL PROGRAMA.....	210
2.1.1. CONTENIDO DE HUMEDAD	210
2.1.2. DENSIDAD DE CAMPO	211
2.1.3. GRANULOMETRÍA.....	213
2.1.4. LÍMITE LÍQUIDO.....	214
2.1.5. LÍMITE PLÁSTICO	217
2.1.6. LÍMITE DE CONTRACCIÓN.....	218

2.1.7.	CLASIFICACIÓN DE SUELOS SUCS	218
2.1.8.	CLASIFICACIÓN DE SUELOS AASHTO	225
2.1.9.	PROCTOR MODIFICADO	228
2.1.10.	CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR	230
3.	ANEXO FOTOGÁFICO.....	233
4.	MANUAL DE USUARIO.....	238
4.1.	INSTALACIÓN DEL PROGRAMA.....	238
4.2.	MANUAL DE USO DEL PROGRAMA.....	241

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores de carga unitaria	12
Tabla 2. Sistema de clasificación para el uso de diferentes materiales según el CBR.....	13
Tabla 3. Clasificación del suelo según la AASHTO.....	17
Tabla 4. Clasificación del suelo por el tamaño de partículas según la norma AASHTO	18
Tabla 5. Clasificación del suelo por el tamaño de partículas según la SUCS	18
Tabla 6. Clasificación del suelo por el tamaño de partículas según la norma ASTM.....	19
Tabla 7. Estados de Consistencia definido por Atterberg	21
Tabla 8. Cuadro Metodológico de la investigación	25
Tabla 9. Ensayo humedad natural, muestras N°01, 02, 03, cálculo manual.....	30
Tabla 10. Ensayo densidad de campo, muestra N°01, resumen de cálculo manual ..	38
Tabla 11. Ensayo densidad de campo muestra N°02, resumen de cálculo manual ...	44
Tabla 12. Ensayo densidad de campo, muestra N°03, resumen de cálculo manual ..	49
Tabla 13. Granulometría de suelos, muestra N°01, resumen de cálculo manual.....	56
Tabla 14. Granulometría de suelos, muestra N°02, resumen de cálculo manual.....	59
Tabla 15. Límite Líquido, muestra N°01, resumen de cálculo manual.....	72
Tabla 16. Límite Líquido, muestra N°02, resumen de cálculo manual.....	77
Tabla 17. Límite Plástico, muestra N°01, resumen de cálculo manual.....	90
Tabla 18. Límite Plástico, muestra N°02, resumen de cálculo manual.....	94
Tabla 19. Límite Plástico, muestra N°03, resumen de cálculo manual.....	97
Tabla 20. Límite de contracción, muestra N°01, resumen de cálculo manual	102
Tabla 21. Límite de contracción, muestra N°02, resumen de cálculo manual	104
Tabla 22. Límite de contracción, muestra N°03, resumen de cálculo manual	106
Tabla 23. Clasificación de suelos SUCS, 3 muestras, resumen de cálculo manual	113
Tabla 24. Clasificación de suelos AASHTO, 3 muestras, resumen de cálculo manual.....	121
Tabla 25. Proctor modificado B, muestra N°01, resumen de cálculo manual.....	134
Tabla 26. Proctor modificado B, muestra N°02, resumen de cálculo manual.....	142
Tabla 27. Proctor modificado B, muestra N°03, resumen de cálculo manual.....	150

Tabla 28. Datos de penetración, muestra N°01, cálculo manual	165
Tabla 29. California Bearing Ratio, muestra N°01, cálculo manual parte 1	166
Tabla 30. California Bearing Ratio, muestra N°01, resumen de cálculo manual, parte 2	167
Tabla 31. Datos de penetración, muestra N°02, cálculo manual	178
Tabla 32. California Bearing Ratio, muestra N°02, cálculo manual, parte 1	179
Tabla 33. California Bearing Ratio, muestra N°02, cálculo manual, parte 2	180
Tabla 34. Datos de penetración, muestra N°03, cálculo manual	191
Tabla 35. California Bearing Ratio, muestra N°03, cálculo manual, parte 1	192
Tabla 36. California Bearing Ratio, muestra N°03, cálculo manual, parte 2	193
Tabla 37. Comparación de resultados en ensayo de humedad natural.....	200
Tabla 38. Comparación de resultados en ensayo de densidad de campo	200
Tabla 39. Comparación de resultados en ensayo de granulometría.....	201
Tabla 40. Comparación de resultados en ensayo de límite líquido	201
Tabla 41. Comparación de resultados en ensayo de límite plástico	201
Tabla 42. Comparación de resultados en ensayo de límite de contracción.....	202
Tabla 43. Comparación de resultados en ensayo de clasificación de suelos SUCS	202
Tabla 44. Comparación de resultados en ensayo de clasificación de suelos AASHTO.....	202
Tabla 45. Comparación de resultados en ensayo de Proctor modificado	203
Tabla 46. Comparación de resultados en ensayo de CBR.....	203

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diseño ilustrativo de cono y arena.....	10
Figura 2. Valor de CBR para diversos tipos de suelos	12
Figura 3. Curva granulométrica.....	14
Figura 4. Clasificación del suelo según la SUCS	16
Figura 5. Límites de Atterberg	19
Figura 6. Contenido de humedad, 3 muestras, captura de programa.....	31
Figura 7 . Densidad de campo, muestra N°01, captura de programa.....	50
Figura 8. Densidad de campo, muestra N°02, captura de programa.....	51
Figura 9. Densidad de campo, muestra N°03, captura de programa.....	52
Figura 10. Granulometría de suelos, muestra N°01, gráfico de cálculo manual	56
Figura 11. Curva granulométrica, muestra N°02, gráfico de cálculo manual	60
Figura 12. Granulometría de suelos, muestra N°03, resumen de cálculo manual	63
Figura 13. Curva granulométrica, muestra N°03, gráfico de cálculo manual	63
Figura 14. Granulometría, muestra N°01, captura de programa.....	64
Figura 15. Granulometría, muestra N°02, captura de programa.....	65
Figura 16. Granulometría, muestra N°3, captura de programa.....	66
Figura 17. Límite líquido, muestra N°01, gráfico de cálculo manual.....	72
Figura 18. Límite líquido, muestra N°02, gráfico de cálculo manual.....	78
Figura 19. Límite Líquido, muestra N°03, resumen de cálculo manual	83
Figura 20. Límite líquido, muestra N°03, gráfico de cálculo manual.....	83
Figura 21. Límite Líquido, muestra N°01, captura de programa.....	84
Figura 22. Límite Líquido, muestra N°02, captura de programa.....	85
Figura 23. Límite Líquido, muestra N°03, captura de programa.....	86
Figura 24. Límite plástico, muestra N°01, captura de programa	98
Figura 25. Límite plástico, muestra N°02, captura de programa	98
Figura 26. Límite plástico, muestra N°03, captura de programa	99
Figura 27. Límite de contracción, muestra N°01, captura de programa	107
Figura 28. Límite de contracción, muestra N°02, captura de programa	108
Figura 29. Límite de contracción, muestra N°03, captura de programa	108
Figura 30. Carta de plasticidad SUCS, muestra N°01	110
Figura 31. Clasificación de suelos SUCS, muestra N°01, captura de programa	114
Figura 32. Clasificación de suelos SUCS, muestra N°02, captura de programa	115

Figura 33. Clasificación de suelos SUCS, muestra N°03, captura de programa	115
Figura 34. Cuadro de clasificación de suelos AASHTO, muestra N°01, cálculo manual	117
Figura 35. Cuadro de clasificación de suelos AASHTO, muestra N°02, cálculo manual	119
Figura 36. Cuadro de clasificación de suelos AASHTO, muestra N°03, cálculo manual	120
Figura 37. Clasificación de suelos AASHTO, muestra N°01, captura de programa	122
Figura 38. Clasificación de suelos AASHTO, muestra N°02, captura de programa	123
Figura 39. Clasificación de suelos AASHTO, muestra N°03, captura de programa	124
Figura 40. Proctor modificado, muestra N°01, captura de programa	151
Figura 41. Proctor modificado, muestra N°02, captura de programa	152
Figura 42. Proctor modificado, muestra N°03, captura de programa	153
Figura 43. California Bearing Ratio-CBR, muestra N°01, captura de programa cálculo	194
Figura 44. California Bearing Ratio-CBR, muestra N°01, captura de programa gráfico	195
Figura 45. California Bearing Ratio-CBR, muestra N°02, captura de programa cálculo	196
Figura 46. California Bearing Ratio-CBR, muestra N°02, captura de programa gráfico	197
Figura 47. California Bearing Ratio-CBR, muestra N°03, captura de programa cálculo	198
Figura 48. California Bearing Ratio-CBR, muestra N°03, captura de programa gráfico	199

RESUMEN

El presente trabajo de investigación consiste en el desarrollo de un programa codificado en la interfaz gráfica en un software adecuado, para el procesamiento de datos de los ensayos de mecánica de suelos: humedad natural, densidad de campo, granulometría, límites de Attemberg, clasificación de suelos SUCS y AASHTO, Proctor modificado, y California Bearing Ratio, teniendo como datos de entrada la información que se recolecte de hacer dichos ensayos.

Para la creación del programa fue necesario revisar los distintos criterios de los ensayos según las normas AASHTO, ASTM, INEN, con el fin de estandarizar los procesos de cálculo tanto para forma manual como utilizando el programa.

La comprobación y demostración de la validez de los resultados se realizó mediante la comprobación de cálculo manual y del programa, analizando tres muestras tomadas, consiguiendo un error nulo, en lo que se verifica que toda la información obtenida con el programa es totalmente confiable.

Como resultado se elaboró un manual de suelos y los algoritmos de codificaciones.

Palabras claves: Mecánica de suelos, AASHTO, SUCS, Límites de Attemberg, Proctor modificado

ABSTRACT

The present research work consists of the development of a program coded in a graphical interface in an appropriate software, for the processing of data from soil mechanics tests: natural moisture, field density, granulometry, Attemberg limits, SUCS and AASHTO soil classification, modified Proctor, and California Bearing Ratio, having as input data the information collected from performing such tests.

For the creation of the program it was necessary to review the different criteria of the tests according to AASHTO, ASTM, INEN standards, in order to standardize the calculation processes both manually and using the program.

The verification and demonstration of the validity of the results was carried out by checking the manual calculation and the program, analyzing three samples taken, obtaining a null error, which verifies that all the information obtained with the program is totally reliable.

As a result, a soil manual and coding algorithms were elaborated.

Key words: Soil mechanics, AASHTO, SUCS, Attemberg Limits, Modified Proctor.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL

“ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE SUELOS MEDIANTE EL DESARROLLO DE UN SOFTWARE ESPECÍFICO, APLICANDO LA NORMATIVA AASHTO Y ASTM.”

1.2 ANTECEDENTES

En junio del 2021, Ernesto Tejada Gonzales de la Universidad Nacional de Ucayali del Perú, presentó su tesis con el tema **SOFTWARE TJDSUELO VERSIÓN 1.0 PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LOS ENSAYOS ESTÁNDAR DE MECÁNICA DE SUELOS, EN LA PROVINCIA DE CORONEL PORTILLO, 2018**. En su estudio, determinó que dicho software optimiza en tiempo la obtención de resultados de los ensayos estándar de mecánica de suelos, con una aceptación del 100% de los encuestados como muy bueno. [1]

En la tesis **ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS Y CBR DE SUELOS COHESIVOS DE SUBRASANTE MEZCLADOS CON PARTÍCULAS DE TEREFTALATO DE POLIETILENO (PET)** Nancy Patricia Ocampo Guerrero de la Universidad Técnica de Ambato, en septiembre 2021; obtuvo, en los límites de consistencia del suelo aplicando los parámetros de clasificación de la AASHTO, un suelo A7-5 denominado como arcillas expansivas. [2]

Los tesisistas, Andrés Felipe Canchón Molina y Carlos Andrés Ramírez Contreras en el año 2015, de la Universidad de la Salle en Bogotá, presentaron el trabajo **DESARROLLO DE SOFTWARE PARA INFORMES DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS “MECLAB”**; en el año 2015, donde utilizando el lenguaje de programación PHP, se programó el software MecLab 1.0, el cual por medio de

plantillas, imágenes e iconos, presenta las normas de las prácticas, los equipos de éstas y el procedimiento propio de cada una; además algunos cálculos contienen graficas que se pueden ver por medio de hojas de Excel. Así mismo concluyeron que se optimiza el tiempo y la exactitud de cálculos, así como en la parte ambiental se hace un gran ahorro de papel ya que todos los trabajos son enviados en línea. [3]

1.3 JUSTIFICACIÓN

MACRO

En nuestra época contemporánea una de las principales particularidades para estar a la vanguardia y lograr el impulso de manera más eficiente en la Ingeniería, es el desarrollo de herramientas tecnológicas y digitales, pues es muy común el uso de las computadoras y el avance continuo de procesos sistematizados. Esto simplifica el tiempo de análisis y procesamiento de datos, brindando a la vez una información confiable, veraz y oportuna. [1], [2].

Según la plataforma de noticias de la Universidad de Lima, Perú, menciona Ortiz [3], en la entrevista; los beneficios de varios medios y herramientas digitales que ayudan a la facilidad de cálculos y procesos, también de unir lo operativo, diseño, construcción entre otros; que aportan de una manera oportuna en tiempo, beneficios y costo en la rama civil, y que no necesariamente se necesita de la exclusividad de un ingeniero de sistemas.

MESO

En el artículo realizado por Cachón et al [4] , respecto al desarrollo de software en la ingeniería indica; que éste debería ser una de las herramientas de uso prioritario, pues permiten resultados más confiables, rápidos y que al mismo tiempo generan menos costo monetario que en procesamiento de datos manuales muchas de las veces son demorados y requieren de un vasto personal especializado.

Por otra parte, haciendo énfasis al desarrollo del procesamiento de datos asistido por computadora, Botía [5] , en su investigación, crea los algoritmos matemáticos de los ensayos de mecánica de suelos basados en las normas AASHTO y ASTM, proporcionando así las herramientas matemáticas y de lógica de programación necesarias para el diseño de software de procesamiento de los datos en ensayos de mecánica de suelos.

MICRO

Los softwares en Ingeniería Civil consienten una mayor facilidad y una normalización más eficiente de los datos, sin embargo, éstos no se encuentran actualmente en las prácticas de laboratorio, o como una herramienta existente. Por este motivo, se pretende asistir a esta necesidad mediante la elaboración de un software integrado, y así facilitar la automatización, precisión y beneficio de resultados tempranos en los análisis del área de mecánica de suelos. Además, es indispensable tomar en cuenta el conocimiento en ingeniería de suelos y las normativas AASHTO y ASTM para la interpretación de los resultados.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General

Análisis y evaluación de las propiedades físico-mecánicas de suelos mediante el desarrollo de un software específico, aplicando la normativa AASHTO y ASTM.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Obtener 3 muestras de suelos para la realización de ensayos y obtención de datos de: humedad natural, densidad de campo, granulometría, límites de consistencia, clasificación de suelos SUCS y AASHTO, Proctor modificado y CBR.

- Elaborar los algoritmos de programación para el procesamiento de datos de entrada y salida de todos los ensayos realizados.

- Establecer la codificación adecuada de programación para la generación de las diferentes tablas y gráficos, de los ensayos realizados y la obtención de las propiedades físico-mecánicas de los suelos.

- Evaluar los resultados obtenidos de las propiedades físico-mecánicas de los suelos ensayados para la verificación de la idoneidad del programa desarrollado.

1.5. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

1.5.1. Mecánica de Suelos

La ingeniería de suelos ahora puede ser más óptima y eficaz en soluciones por la Mecánica de Suelos; así su procedencia y formación es uno de los primeros análisis, para deducir la presencia de formaciones litológicas con sus diferentes comportamientos; permitiendo también conocer volumen, peso, cambios según la humedad; la clasificación de un suelo se sustenta en los laboratorios de plasticidad y granulometría ,dependiendo de la cantidad, tamaño de granos, o las diferentes cualidades de plasticidad de suelos finos por sus partículas expuestas. [6]

En mecánica de suelos, todas las prácticas se sustentan en campañas de un sondeo de los suelos y en laboratorio para caracterizar e identificar los materiales que incluyen las áreas de los proyectos de ingeniería. Es por eso importante tener en claro los objetivos del trabajo en campo, así como en el laboratorio para obtener el registro de cada parámetro de una manera exitosa. [6]

La mecánica del suelo se incluye dentro de la ingeniería como el campo de su término mecánico, que describe el comportamiento de los suelos. La mecánica del suelo por sus características físicas, en su estudio es diferente de la mecánica de fluidos y también a la mecánica de sólidos, [7], [8].

Terzaghi delimitó a la Mecánica de Suelos como el estudio de las leyes de la Mecánica y la Hidráulica a las dificultades de ingeniería que tratan con sedimentaciones y otras acumulaciones de material no consolidado de partículas sólidas, fruto de la descomposición química y mecánica de las rocas, para lo cual, el diseño de construcciones de cierto grado de importancia conjuntamente con el estudio de las condiciones del suelo conlleva beneficios como seguridad y economía, [7].

1.5.2 El suelo

El suelo puede considerarse como la mezcla heterogénea de fluidos, partículas sólidas inorgánicas, sin embargo, también puede contener sólidos orgánicos líquidos, gases y otras materias que terminarían por constituir el suelo [9], [10].

En Ingeniería Civil se define como suelo a los sedimentos no unidos de partículas sólidas, como respuesta de la alteración rocosos, o suelos removidos por el agua, viento, hielo, añadido a éste la gravedad como una fuerza direccional selecta y que puede o no tener material orgánico; siendo heterogéneo en su naturalidad. [6]

1.5.3. Propiedades índice del suelo

Toda zona habitada o deshabitada en todo el mundo puede ser identificada o clasificada, en diferentes tipos de suelos por el análisis de sus propiedades.

1.5.3.1. Densidad

Esta propiedad permite identificar la relación de peso y volumen de los sólidos, líquidos y también los gases, su medida es representada en (g/cm³). [11]

Densidad real El estado sólido y la composición química del suelo son la base de esta propiedad, y está en relación al peso y volumen de la muestra. [11]

Densidad aparente Analiza las cavidades porosas del suelo, y está relacionada al peso y a su volumen. [11]

1.5.3.2.Porosidad (n%)

En esta propiedad se puede determinar los espacios vacíos que posee ese suelo en relación al volumen total de la masa, se puede encontrar en diferentes autorías su representación decimal o en porcentaje. Es así como al analizar tanto el volumen de vacíos (Vv) y el volumen total (Vt), si se presentare resultados bajos en Vt, se diría que es un suelo compacto; pero si éste valor fuere alto, se diría que es un suelo poco consolidado, pues el espacio entre las partículas de suelo es mayor.

[12] [11]

$$n\% = \frac{Vv}{Vt}$$

Fuente: Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil [13]

1.5.3.3.Relación de vacíos (e)

Se representa en resultado decimal, y mediante esta propiedad se puede determinar la compactación del suelo, pues se tiene el volumen de vacíos (Vv) y el volumen de sólidos (Vs) siendo que, si su relación presenta un valor alto, el suelo analizado se encuentra poco compactado; y si presenta valores bajos se encuentra el suelo muy compactado. [11] [12]

$$e = \frac{Vv}{Vs}$$

Fuente: Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil [13]

1.5.3.4.Gravedad específica (Gs%)

Es un valor puro, y está relacionado con la densidad. Relaciona el peso del suelo (γ_s) y el peso del agua destilada a 4°C (γ_w). Esta propiedad refleja la relación de vacíos y el peso unitario del suelo. [11]

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w}$$

Fuente: Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil [13]

1.5.3.5. Peso volumétrico (γ_m)

También conocida como peso específico, es el resultado del peso de la masa (W_m) y el volumen de si misma (V_m). [12]

$$\gamma_m = \frac{W_m}{V_m}$$

Fuente: Análisis comparativo de la estabilización de un suelo cohesivo (arcilloso) por tres métodos químicos cal, cloruro de calcio y sulfato de calcio (yeso) [12]

1.5.3.6. Peso volumétrico seco (γ_d)

Esta propiedad es considerada como densidad seca, y es el resultado de la diferencia entre el peso de la masa (W_m) y el peso del agua (W_w). [12]

$$\gamma_d = W_m - W_w$$

Fuente: Análisis comparativo de la estabilización de un suelo cohesivo (arcilloso) por tres métodos químicos cal, cloruro de calcio y sulfato de calcio (yeso) [12]

1.5.3.7. Grado de saturación del agua ($G_w\%$)

Es la relación que existe entre el volumen del agua (V_w) y el volumen de vacíos (V_v). Si el resultado fuera en porcentaje de 0% quiere decir que es un suelo seco totalmente, si fuere un valor medio es parcialmente seco o saturado parcial y si fuese un 100% su valor sería saturado; también puede haber partículas flotando en el contenido de agua y se

conoce como suspensión, donde sus valores ya superan el 100%. Es así como se determinan los espacios vacíos en saturación de una muestra de suelo. [14] [12] [11]

$$GW\% = \frac{V_w}{V_v} * 100$$

Fuente: Análisis comparativo de la estabilización de un suelo cohesivo (arcilloso) por tres métodos químicos cal, cloruro de calcio y sulfato de calcio (yeso) [12]

1.5.4. Propiedades físico - mecánicas del suelo

1.5.4.1. Contenido de humedad (w%)

Esta propiedad muestra la cantidad de agua que se encuentra en el suelo, también conocido como porcentaje de saturación, y relaciona peso del agua (W_w) peso de los sólidos de la muestra en análisis (W_s). Sus resultados también se ven afectados de acuerdo a la humedad de la zona y sus precipitaciones. [12] [11]

$$w\% = \frac{W_w}{W_s} * 100$$

Fuente: Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil [13]

1.5.4.2. Densidad de campo (cono y arena)

Se utiliza con el fin de comprobar el grado de compactación en materiales de rellenos compactados artificialmente, con especificación en cuanto a humedad y densidad. Este instrumento está compuesto por 3 partes importantes, cono metálico, frasco contenedor de arena, base. Utiliza el cono lo cual es un aparato que mide el volumen provisto en una válvula cilíndrica que controla el llenado del cono, este aparato tiene una placa base que facilita ubicar el cono de densidad. [13] La arena normalizada se compone de partículas

de cuarzo sanas, subredondeadas, no cementadas de entre 2mm y 0,5 mm. Este ensayo ayuda a determinar el peso unitario in situ y también el porcentaje de compactación en ese terreno. [13]

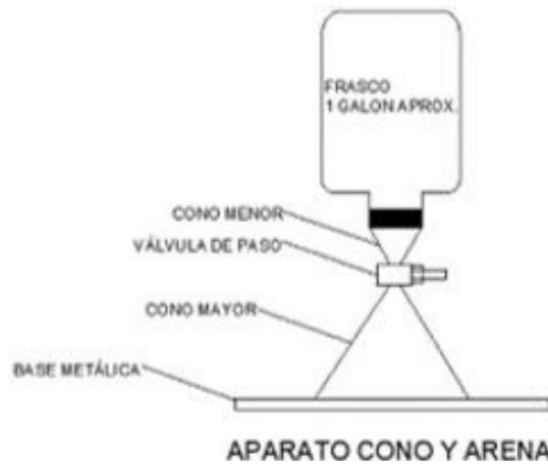


Figura 1. Diseño ilustrativo de cono y arena

Fuente: Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil [13]

1.5.4.3. Grado de compactación del suelo

La propiedad que influye directamente en el grado de compactación es el contenido de humedad, pues el agua hace que se suavicen las partículas de suelo permitiendo el proceso de conformación y compactación. Esta propiedad se mide mediante el peso unitario seco. [12] [15]

1.5.4.4. Proctor Modificado

Estos ensayos se utilizan para saber el grado de compactación que puede tener un suelo en relación a la humedad en laboratorio. La energía que utiliza el ensayo es mayor a la de uno de Proctor normal. Si es mayor el peso y su altura de caída (de este martillo), mayor será su grado de compactación. Así entonces se encuentra la densidad máxima seca de los suelos. [16] El ensayo de Proctor modificado es el más utilizado en campo y laboratorio pues aplica una energía de 2700 KNm/m³ un valor similar a los utilizados en la compactación. [13]

$$E = \frac{N * n * W * h}{V}$$

Fuente: Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil [13]

Donde:

E = Energía de compactación

N = Número de golpes por capa

n = Número de capas en el suelo

W = Peso del pistón

h = Altura de caída del pistón

V = El volumen del suelo sometido a compactación

1.5.4.5.Relación de Soporte de California CBR

Determina la resistencia al corte que tienen las partículas de suelo ante una fuerza cortante, se la encuentra en valor de porcentaje y relaciona la carga que necesita el suelo en análisis para ser deformado teniendo en cuenta el valor de carga unitaria de un suelo patrón. Se emplea en el diseño de pavimentos. [12] [13] [17]

$$\% \text{ CBR} = \frac{\text{carga unitaria del ensayo}}{\text{carga unitaria patrón}} * 100$$

Fuente: Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil [13]

En lo práctico el símbolo porcentual se quita y queda representado por un número entero como: 95, 30,45, etc, pues el CBR es un porcentaje de la carga unitaria patrón.

Los valores de carga unitaria que se utilizan en la ecuación son: [13]

Penetración		Carga unitaria patrón		Carga estándar
mm	plg	MPa	lb/plg ²	lb
2.5	0.10	6.9	1,000	3,000
5.0	0.20	10.3	1,500	4,500
7.5	0.30	13.0	1,900	5,700
10.0	0.40	16.0	2,300	6,100
12.7	0.50	148.0	2,600	7,800

Tabla 1. Valores de carga unitaria

Fuente: Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil [13]

Los ensayos miden la resistencia al corte de un suelo sometido a humedad y densidad en condiciones controladas, permitiendo encontrar un porcentaje del soporte. El CBR, está definido como la fuerza que requiere un pistón para penetrar a una profundidad prevista y a una misma velocidad, siendo un suelo como mencionamos anteriormente sometido a condiciones explícitas y compactadas. Se toman registros varios a las probetas saturadas durante 96 horas, antes de someter a la perforación. Estos registros, son importantes para conocer la expansión. [18]

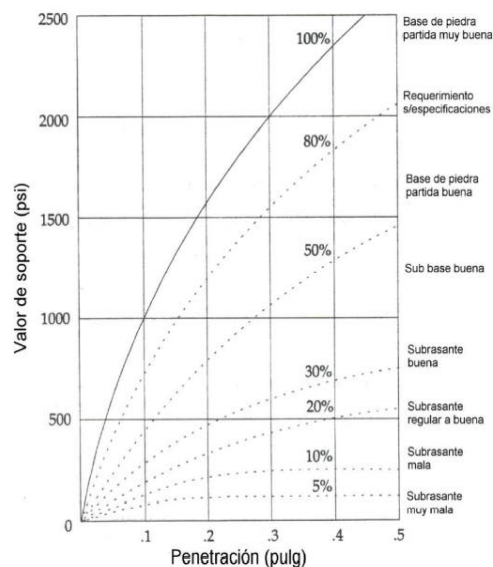


Figura 2. Valor de CBR para diversos tipos de suelos

Fuente: Diseño de Pavimento (AASHTO – 93) [17]

N CBR	Clasificación general	Usos	Sistema de clasificación	
			Unificado	AASHTO
0 - 3	Muy pobre	Subrasante	OH;CH, MH; OL	A5, A6, A7
3 – 7	Pobre a regular	Subrasante	OH;CH, MH; OL	A4, A5, A6, A7
7 - 20	Regular	Sub – base	OL; CL; ML; SC; SM; SP	A2;A4, A6, A7
20 – 50	Bueno	Base, sub-base	GM; GC; SW; SM; SP; GP	A1b, A2-5, A3, A2-6
>50	Excelente	Base	GW, GM	A1a, A2-4, A3

Tabla 2. Sistema de clasificación para el uso de diferentes materiales según el CBR

Fuente: Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil [13]

El CBR es un índice del valor de soporte o capacidad que tiene un suelo. Un número de 2 o 3 por ciento indica que el material es de una capacidad de soporte muy baja, mientras que un CBR de 60 o 70 por ciento mostrará un material resistente, apto para capa de base de pavimentos. [18]

1.5.4.6. Granulometría

En la ingeniería el suelo debe tener siempre un análisis correcto para determinar la fracción de partículas finas y gruesas. Es así como se emplean tamices con aberturas de diferentes tamaños para grandes piedras, hasta llegar a las partículas microscópicas y poder clasificar el tipo de suelo. [14] [11] Luego sus resultados se trasladan a una curva granulométrica, pasando la curva por los agregados gruesos y finos como una correcta distribución. A partir de los resultados obtenidos en los ensayos, se puede obtener las características geotécnicas como ejemplo: capacidad portante, deformabilidad o permeabilidad. [19]

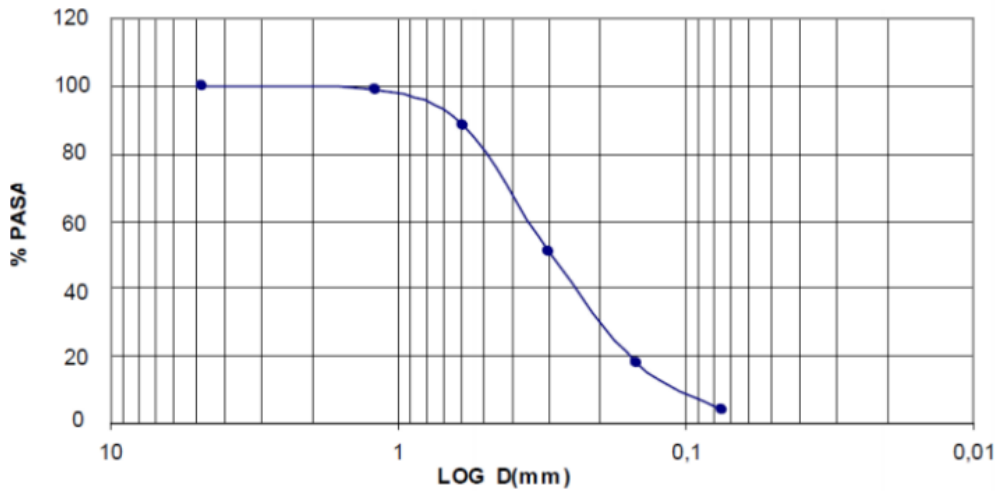


Figura 3. Curva granulométrica.

Fuente: *Correlación entre el CBR y las propiedades índice y mecánicas en suelos granulares, de las parroquias: Constantino Fernández y Pinllo, cantón Ambato, provincia de Tungurahua [19]*

1.5.5. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos SUCS

Este sistema fue desarrollado en base a la distribución propuesta por Casagrande, sus especificaciones se encuentran en la norma ASTM D – 2487 – 93, la cual se divide en dos grandes grupos, suelos de grano grueso y suelos de grano fino, y se representa mediante símbolos, compuesto por dos letras, la primera representa el tipo de partículas y la segunda el estado del suelo. [15] [13]

Este método clasifica los suelos de cualquier localización en categorías que representan los resultados de análisis de laboratorio y así determinar las características de granulometría, límite líquido e índice plástico. Este sistema de clasificación en sus

diversos grupos, correlacionan en una forma general los diferentes tipos de suelos con su comportamiento en el ámbito de la ingeniería. [20]

Suelos Granulares o de grano grueso

Aquí se encuentran la grava (G) y la arena (S) en su estado natural, la muestra que pasa por el tamiz N° 200 debe ser menor al 50%. [13] [15]

Suelos Cohesivos o de grano fino

Se tiene a los limos, arcillas y los suelos orgánicos; pues son partículas de suelo que pasan en un 50% por el tamiz N.- 200.

El SUCS Sistema Unificado de Clasificación de Suelos también presenta los siguientes símbolos para identificar el estado como:

W, suelo bien graduado

P, suelo mal graduado

L, suelo con baja plasticidad, $LL < 50$

H, suelo con alta plasticidad, $LL > 50$ [13] [15]

Divisiones principales		Símbolo del grupo	Nombre típico	Identificación en el laboratorio			
Suelos de grano grueso (Más de la mitad del material es retenido por el tamiz n.- 200)	Grava	Gravas limpias	GW	Gravas bien graduadas, mezcla de grava y arena	Determinar el porcentaje de grava y de arena en la curva granulométrica. Según el porcentaje de finos (material que pasa el tamiz N.-200) se clasifica <5% GW, GP, SW, SP, >12% GM, GC, SM, SC	$Cu = D_{60}/D_{10} > 4$ $Cc = (D_{30})^2/D_{10} * D_{60}$ entre 1 y 3	
			GP	Grava mal graduada, mezcla de grava y arena		No cumple con las especificaciones de granulometría para GW	
		Gravas con finos	GM	Gravas limosas, mezcla de grava, arena y limo		Límite de Atterberg debajo de la línea A o $IP < 4$	Encima de la línea A con IP entre 4 y / son casos límites que requieren doble símbolo
			GC	Grava arcillosa, mezcla de grava, arena y arcilla		Límite de Atterberg sobre la línea A o $IP > 7$	
	Arenas	Arenas Limpias	SW	Arenas bien graduadas, arenas con grava, sin finos o pocos finos		$Cu = D_{60}/D_{10} > 6$ $Cc = (D_{30})^2/D_{10} * D_{60}$ entre 1 y 3	
			SP	Arenas mal graduadas, arenas con grava, sin finos, pocos finos		Cuando no cumple las condiciones para SW	
		Arenas con finos	SM	Arenas limosas, mezcla de arena y limo		Límite de Atterberg debajo de la línea A o $IP < 4$	Los límites situados en la zona rayada con IP entre 4 y 7 son casos intermedios que precisan de símbolo doble
			SC	Arenas arcillosas, mezcla de arena y arcilla		Límite de Atterberg sobre la línea A o $IP > 7$	
		Suelos de grano fino (más de la mitad del Material pasa por el tamiz N.- 200)	Limos y arcillas LL <50	ML		Limos inorgánicos y arenas muy finas	
				CL		Arcilla inorgánica de plasticidad media	
OL	Limo orgánico y arcilla orgánica						
Limos y arcillas LL *50	MH		Limo inorgánico y suelos arenosos				
	CH		Arcillas inorgánicas de plasticidad alta				
	OH		Arcillas orgánicas de plasticidad media y elevada				
Suelos muy orgánicos		Pt	suelos de alto contenido orgánico				

Figura 4. Clasificación del suelo según la SUCS

Fuente: Correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos de los cantones Píllaro; parroquias San Miguelito, Emilio María Terán y Baquerizo Moreno; provincia de Tungurahua [21]

1.5.6. Clasificación de suelos AASHTO

Toma en cuenta las propiedades índice de los suelos para su clasificación, basado también en la granulometría y plasticidad de los suelos. [16]

Clasificación General		Materiales granulares 35% o menos pasan la malla 200					
Grupos	A-1		A-3	A-2			
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Porcentaje que pasa: N.- 10 (2mm)	50 máx.	-	-	-			
N.- 40 (0,425 mm) N.- 200 (0,075mm)	30 máx. 15 máx.	50 máx. 25 máx.	51 máx. 10 máx.	35 máx.			
Características de la fracción que pasa por el tamiz N.- 40							
Límite líquido	-		No	40 máx.	41 min	40 máx.	41 min
Índice de plasticidad	6 máx.		plástico	10 máx.	10 máx.	11 min	11 min
Constituyentes principales	Fragmentos de roca, grava y arena		Arena fina	Grava y arena arcillosa o limosa			
Características como sub-grado	Excelente a bueno						

Tabla 3. Clasificación del suelo según la AASHTO

Fuente: AASHTO, American Association of State Highway and Transportation Officials [16]

Son también muy comunes las clasificaciones de los suelos mediante las partículas y de la misma manera se presenta las más representativas según sus normas AASHTO, SUCS y ASTM. [22]

Tipo de suelo	Tamaño mínimo (mm)	Tamaño máximo (mm)
Bloques	75	-
Grava	2,00	75
Arena	0,075	2,00
Limo	0,005	0,075
Arcilla	0,001	0,005

Tabla 4. Clasificación del suelo por el tamaño de partículas según la norma AASHTO

Fuente: AASHTO, American Association of State Highway and Transportation Officials [16]

Tipo de suelo	Tamaño mínimo (mm)	Tamaño máximo (mm)
Bloques	300	-
Boleos	75	300
Grava	4,76	75
Arena	0,075	4,76
Limo	0,002	0,075
Arcilla		0,002

Tabla 5. Clasificación del suelo por el tamaño de partículas según la SUCS

Fuente: SUCS, Sistema Unificado de clasificación de Suelos [22]

Tipo de suelo	Tamaño mínimo (mm)	Tamaño máximo (mm)
Grava	4,76	-
Arena Gruesa	2,00	4,76
Arena Media	0,042	2,00
Arena Fina	0,075	0,042
Limo	0,005	0,075
Arcilla	0,001	0,005
Coloides	-	0,001

Tabla 6. Clasificación del suelo por el tamaño de partículas según la norma ASTM

Fuente: ASTM, Sociedad Americana de Ensayo de Materiales [22]

1.5.7. Límites de Atterberg

Albert Atterberg analizó cómo afecta la humedad a los suelos arcillosos en su consistencia y por tanto pudo establecer cuatro límites por los que se conoce su estado y comportamiento estructural. También se conoce como límites de consistencia; y se asocia con el contenido de humedad, pues por esto pasa un suelo de un estado a otro. [14] [15]

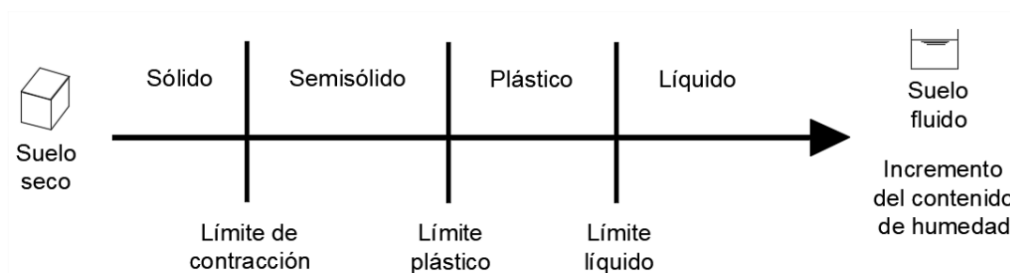


Figura 5. Límites de Atterberg

Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica

1.5.7.1. Límite líquido (LL)

Separa los estados líquido y plástico. Se determina en la Copa de Casagrande, un recipiente de latón sobre una base dura de madera, y se acciona por una manivela. Esta propiedad permite determinar el contenido de humedad en el que la muestra fluye al aplicar determinada fuerza. [14] [11] [15]

1.5.7.2. Límite plástico (LP)

El límite plástico se encuentra entre en estado plástico y el estado semisólido. El suelo puede ser amasado manualmente y hacerse rollitos largos y delgados. Generalmente son suelos en su mayoría arcillosos, es decir cohesivos; la humedad determina la capacidad de consistencia que tiene, siendo que, si la consistencia es menor, la capacidad de humedad será mayor; y si es mayor la consistencia, la capacidad de humedad se reduce. Cuando forman grietas o hay ruptura son llamados suelos no plásticos. [14] [11]

1.5.7.3. Límite de contracción (LC)

Se conoce también como límite de contracción, es la representación de un suelo entre los estados semisólido y sólido. El contenido de humedad en estos suelos es el ideal o suficiente para llenar los poros o vacíos en la muestra. [14]

1.5.7.4. Índice de plasticidad (Ip)

Esta propiedad se obtiene mediante la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico. [14] Se puede definir como el porcentaje de peso seco en la muestra del suelo, y depende de la cantidad de partículas de arcilla existentes y su alteración de volumen. [24]

$$I_p = LL - LP$$

Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica [15]

Estado del suelo	Características
Líquido	Propiedades y apariencia de una suspensión
Semilíquido	Propiedades de fluido viscoso
Plástico	Comportamiento plástico
Semisólido	Apariencia de sólido, reducción de volumen, sujeto a secado
Sólido	No varía el volumen

Tabla 7. Estados de Consistencia definido por Atterberg

Fuente: Mecánica de Suelos [16]

1.5.8. Software

Es una disciplina de la ingeniería la llamada Ingeniería del Software y comprende todo lo relacionado a producir softwares desde los inicios de los requerimientos específicos de un sistema, hasta el mantenimiento continuo después de que se lo use. [23]

Los softwares consisten en programas desarrollados y la documentación adjunta. Estos productos, presenta características primordiales como la confiabilidad, mantenimiento, eficiencia y aceptación. [23]

1.6. HIPÓTESIS

El desarrollo de un software específico (en código de Matlab) permitirá realizar el análisis y evaluación de las propiedades físico – mecánicas de los suelos.

1.7. SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS

Variable independiente:

Software

Variable dependiente:

Propiedades físico-mecánicas de suelos

Nexo:

Análisis y evaluación

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN

2.1.1 Nivel de Investigación

Nivel Exploratorio Cuantitativo

Se menciona esta investigación de nivel exploratorio por su reconocimiento en un sector para tomar muestras de suelo y llevarlas a su análisis de las propiedades físicas y mecánicas. Así también el desarrollo del software realiza el procesamiento de cálculos, sin afectación de las metodologías y entendible al usuario

Nivel Descriptivo

Cuando se obtuvieron los resultados de los análisis de campo y laboratorio, éstos son interpretados mediante el software creado en base a las normas AASHTO; ASTM. De una manera detallada y eficaz.

Nivel Relacional

Este proyecto analiza y evalúa la optimización de los resultados de los análisis de suelos en cuanto a sus propiedades físicas y mecánicas, mediante el software como herramienta de eficacia en tiempo, veracidad y rendimiento del mismo.

Nivel Explicativo

La investigación en este proyecto es correlacionar la optimización de los análisis de suelos en laboratorio con la herramienta tecnológica o software.

2.2 CUADRO METODOLÓGICO

Actividad	Materiales y Métodos	Resultado	Objetivos específicos
<i>Extracción de muestras de suelo a analizar.</i>	Material: Pala y recipientes para muestras. Método: Norma INEN: 686.	Muestras de suelo a analizar	Obtener 3 muestras de suelos para la realización de ensayos y obtención de datos de: humedad natural, densidad de campo, granulometría, límites de consistencia, clasificación de suelos SUCS y AASHTO, proctor modificado y CBR.
<i>Ensayo de humedad natural.</i>	Material: Recipientes, horno y balanza. Método: NORMA ASTM: D2216 – 7, AASHTO: T265 –INEN: 0690.	Datos del contenido de humedad de la muestra.	
<i>Ensayo densidad de campo.</i>	Materiales: Cono y arena, placa mecánica. Método: ASTM D 4429	Información de la densidad de campo de la muestra.	
<i>Ensayo de granulometría.</i>	Materiales: Tamices desde el #2 hasta el #200. Método: AASHTO: T-87-70. INEN: 696.	Datos de la curva granulométrica de la muestra del suelo. Pesos retenidos acumulados para dibujar	

<i>Ensayo de límite de consistencia.</i>	Materiales: Recipientes para muestra. Método: AASHTO: D-2167. INEN: 14688-1.	Datos del límite líquido, de plasticidad, límite de contracción.	
<i>Clasificación de suelos SUCS y AASHTO.</i>	Material: Tablas referenciales de mecánica de suelos, equipo computacional. Método: AASHTO-SUCS.	Clasificación del suelo, según su tipo.	
<i>Ensayo de Proctor modificado.</i>	Material: Moldes y martillo. Método: AASHTO: T-180.	Compactación óptima del suelo.	
<i>Ensayo CBR.</i>	Material: Moldes y martillo. Método: ASTM 1883	Valores de soporte CBR del suelo.	
<i>Diseño de algoritmos matemático y diagramas de flujo de cada ensayo.</i>	Material: Equipo computacional. Método: Lógica de programación.	Algoritmo matemático y diagrama de flujo de los ensayos.	Elaborar los algoritmos de programación para el procesamiento de datos de entrada y salida de todos los ensayos realizados.

<i>Programación del algoritmo, tablas y gráficos.</i>	Material: Equipo computacional, Matlab con licencia adquirida. Método: Codificación lenguaje de programación.	Software para el procesamiento de los datos de cada ensayo.	Establecer la codificación adecuada de programación para la generación de las diferentes tablas y gráficos, de los ensayos realizados y la obtención de las propiedades físico-mecánicas de los suelos.
<i>Verificación del programa diseñado.</i>	Material: Programa computacional Matlab. Método: Normativa AASHTO.	Conclusiones de la verificación de la idoneidad del programa	Analizar los resultados obtenidos de las propiedades físico-mecánicas de los suelos ensayados para la verificación de la idoneidad del programa desarrollado

Tabla 8. Cuadro Metodológico de la investigación

Fuente: Merino Jiménez Steven David

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. RECOLECCIÓN DE DATOS

3.1.1. Ensayo humedad natural

Normas

Norma ASTM: S2216-71.

Norma AASHTO: T265-15.

Norma INEN: 0690.

Nomenclatura

W_m = peso de la muestra húmeda.

W_w = peso del agua.

W_r = peso del recipiente.

W_s = peso de la muestra seca.

W% = contenido de humedad.

P. W% = promedio del contenido de humedad de los dos ensayos por muestra.

gr = gramos.

3.1.1.1. Resolución manual, humedad natural

Cálculos para las muestras pertenecientes a la Tabla N° 1.

MUESTRA N°01 - Ensayo N° 01

Recipiente N°01.

Peso del agua (W_w).

$$W_w = (W_m + W_r) - (W_s + W_r)$$

$$W_w = 171,60 \text{ gr.} - 155,20 \text{ gr.}$$

$$W_w = 16,40 \text{ gr.}$$

Peso de la muestra seca (W_s).

$$W_s = (W_s + W_r) - W_r$$

$$W_s = 155,20 \text{ gr.} - 24,10 \text{ gr.}$$

$$W_s = 131,10 \text{ gr.}$$

Humedad (W%).

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

$$W\% = \frac{16.40 \text{ gr.}}{131.10 \text{ gr.}} * 100\%$$

$$W\% = 12,51\%.$$

MUESTRA N° 01 - Ensayo N° 02

Recipiente N° 02.

Peso del agua (Ww).

$$Ww = (Wm+Wr) - (Ws+Wr)$$

$$Ww = 167.60 \text{ gr.} - 152.10 \text{ gr.}$$

$$Ww = 15.50 \text{ gr.}$$

Peso de la muestra seca (Ws).

$$Ws = (Ws+Wr) - Wr$$

$$Ws = 152.10 \text{ gr.} - 25.20 \text{ gr.}$$

$$Ws = 126.90 \text{ gr.}$$

Humedad (W%).

$$W\% = \frac{Ww}{Ws} * 100\%$$

$$W\% = \frac{15.20 \text{ gr.}}{126.90 \text{ gr.}} * 100\%$$

$$W\% = 12.21\%.$$

Promedio de las muestras.

$$P.W\% = \frac{W\%1 + W\%2}{2}$$

$$P.W\% = \frac{15.51\% + 12.21\%}{2}$$

$$P.W\% = 12.36\%.$$

MUESTRA N° 02 - Ensayo N° 01

Recipiente N° 03.

Peso del agua (Ww).

$$Ww = (Wm+Wr) - (Ws+Wr)$$

$$Ww = 168.96 \text{ gr.} - 149.60 \text{ gr.}$$

$$Ww = 19.36 \text{ gr.}$$

Peso de la muestra seca (Ws).

$$W_s = (W_s + W_r) - W_r$$

$$W_s = 149.60 - 23.00 \text{ gr.}$$

$$W_s = 126.60 \text{ gr.}$$

Humedad (W%).

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

$$W\% = \frac{19.36 \text{ gr.}}{126.60 \text{ gr.}} * 100\%$$

$$W\% = 15.29\%.$$

MUESTRA N° 02 - Ensayo N° 02

Recipiente N° 04.

Peso del agua (Ww).

$$W_w = (W_m + W_r) - (W_s + W_r)$$

$$W_w = 167.50 \text{ gr.} - 153.50 \text{ gr.}$$

$$W_w = 14.00 \text{ gr.}$$

Peso de la muestra seca (Ws).

$$W_s = (W_s + W_r) - W_r$$

$$W_s = 153.50 \text{ gr.} - 26.71 \text{ gr.}$$

$$W_s = 126.79 \text{ gr.}$$

Humedad (W%).

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

$$W\% = \frac{14.00 \text{ gr.}}{126.79 \text{ gr.}} * 100\%$$

$$W\% = 11.04\%.$$

Promedio de las muestras.

$$P.W\% = \frac{W\%1 + W\%2}{2}$$

$$P.W\% = \frac{15.29\% + 11.04\%}{2}$$

$$P.W\% = 13.17\%.$$

MUESTRA N° 03 - Ensayo N° 01

Recipiente N° 05.

Peso del agua (Ww).

$$W_w = (W_m + W_r) - (W_s + W_r)$$

$$W_w = 169.25 \text{ gr.} - 156.80 \text{ gr.}$$

$$W_w = 12.45 \text{ gr.}$$

Peso de la muestra seca (Ws).

$$W_s = (W_s + W_r) - W_r$$

$$W_s = 156.80 \text{ gr.} - 22.89 \text{ gr.}$$

$$W_s = 133.91 \text{ gr.}$$

Humedad (W%).

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

$$W\% = \frac{12.45 \text{ gr.}}{133.91 \text{ gr.}} * 100\%$$

$$W\% = 9.30\%.$$

MUESTRA N° 03 - Ensayo N° 02

Recipiente N° 06.

Peso del agua (Ww).

$$W_w = (W_m + W_r) - (W_s + W_r)$$

$$W_w = 162.30 \text{ gr.} - 151.76 \text{ gr.}$$

$$W_w = 10.54 \text{ gr}$$

Peso de la muestra seca (Ws).

$$W_s = (W_s + W_r) - W_r$$

$$W_s = 151.76 \text{ gr.} - 25.83 \text{ gr.}$$

$$W_s = 125.93 \text{ gr.}$$

Humedad (W%).

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

$$W\% = \frac{14.00 \text{ gr.}}{126.79 \text{ gr.}} * 100\%$$

$$W\% = 8.37\%.$$

Promedio de las muestras.

$$P.W\% = \frac{W\%1 + W\%2}{2}$$

$$P.W\% = \frac{9.30\% + 8.37\%}{2}$$

$$P.W\% = 8.84\%.$$



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO						
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA					
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
ENSAYO: "CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO"						
NORMA AASHTO: T265						
Muestra N°	Muestra 01		Muestra 02		Muestra 03	
Número de Ensayo	Ensayo 01	Ensayo 02	Ensayo 01	Ensayo 02	Ensayo 01	Ensayo 02
Recipiente número (r)	1	2	3	4	11	12
Peso muestra húmeda + recipiente (W _m +W _r) gr.	171,60	167,60	168,96	167,50	169,25	162,30
Peso muestra seca + recipiente (W _s +W _r) gr.	155,20	152,10	149,60	153,50	156,80	151,76
Peso agua (W _w) gr.	16,40	15,50	19,36	14,00	12,45	10,54
Peso recipiente (W _r) gr.	24,10	25,20	23,00	26,71	22,89	25,83
Peso de la muestra seca (W _s) gr.	131,10	126,90	126,60	126,79	133,91	125,93
Contenido humedad ((W _w /W _s)*100)	12,51%	12,21%	15,29%	11,04%	9,30%	8,37%
Contenido humedad promedio (W%)	12,36%		13,17%		8,84%	

Tabla 9. Ensayo humedad natural, muestras N°01. 02 ,03, cálculo manual

Fuente: Merino Jiménez Steven David

3.1.1.2. Resolución mediante el programa desarrollado, humedad natural

HUMEDAD_NATURAL
— □ ×

1. ENSAYO HUMEDAD NATURAL

1.- INGRESO DE DATOS

	Muestra 01			Muestra 02			Muestra 03		
	Ensayo 01	Ensayo 02		Ensayo 01	Ensayo 02		Ensayo 01	Ensayo 02	
Identificación (r)	1	2	3	4	5	6	5	6	
Peso muestra húmeda+recipiente (gr).	171.60	167.60	168.96	167.50	169.25	162.30	169.25	162.30	
Peso muestra seca+recipiente (gr).	155.20	152.10	149.60	153.50	156.80	151.76	156.80	151.76	
Peso recipiente gr.	24.10	25.20	23	26.71	22.89	25.83	22.89	25.83	

2.- CÁLCULO

	Cálculo 01	Cálculo 02	Cálculo 01	Cálculo 02	Cálculo 01	Cálculo 02
Peso agua (Ww) gr.	16.4000	15.5000	19.3600	14	12.4500	10.5400
Peso de la muestra seca (Ws) gr.	131.1000	126.9000	126.6000	126.7900	133.9100	125.9300
Contenido humedad ((Ww/Ws)*100) %.	12.5100	12.2100	15.2900	11.0400	9.3000	8.3700

3.- RESULTADO DE CONTENIDO DE HUMEDAD

CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO (W)%.	12.36	13.17	8.84
--	-------	-------	------

PROCESAR

MENÚ

Figura 6. Contenido de humedad, 3 muestras, captura de programa

Fuente: Merino Jiménez Steven David

3.1.2. Ensayo de densidad de campo (cono y arena).

Normas

NORMA ASTM: D 1556.

NORMA AASHTO: 191.

Nomenclatura

W_m , representa el peso de la masa de suelos en gramos (gr.).

W_w , representa el peso de agua en gramos (gr.).

W_s , representa el peso de los sólidos en gramos (gr.).

W_a , representa el peso del aire en gramos (gr.).

$\omega\%$, representa el contenido de humedad.

Promedio $\omega\%$, representa el promedio del contenido de humedad de las dos muestras de suelo.

V_m , representa el volumen de la masa en centímetros cúbicos (cm^3).

V_v , representa el volumen de vacíos en centímetros cúbicos (cm^3).

V_s , representa el volumen de los sólidos en centímetros cúbicos (cm^3).

V_w , representa el volumen de agua en centímetros cúbicos (cm^3).

V_a , representa el volumen de aire en centímetros cúbicos (cm^3).

γ_d , representa la densidad seca ($gr./cm^3$).

γ_o , representa el peso específico del agua destilada ($gr./cm^3$).

γ_w , representa el peso específico del agua ($1 gr./cm^3$).

γ_m , representa el peso volumétrico de la masa de suelo ($gr./cm^3$).

γ_s , representa el peso específico de los sólidos del suelo ($gr./cm^3$).

W_{sand} , representa el peso de la arena de Ottawa en gramos (gr.).

V_{sand} , representa el volumen de arena de Ottawa en el cono en centímetros cúbicos (cm^3).

γ_{sand} , representa la densidad de la arena de Ottawa ($gr./cm^3$).

W_c , representa el peso de la arena en el cono en gramos (gr.).

$W_{f_o+c+sand}$, representa el peso inicial del frasco, cono y arena de Ottawa en gramos (*gr.*).

$W_{f_f+c+sand}$, representa el peso final del frasco, cono y arena de Ottawa en gramos (*gr.*).

W_h , representa el peso de la arena en el hueco en gramos (*gr.*).

L_o , representa la lectura inicial del peso del frasco y arena de Ottawa en gramos (*gr.*).

L_f , representa la lectura final del peso del frasco y arena de Ottawa en gramos (*gr.*).

3.1.2.1. Resolución manual, densidad de campo

MUESTRA N.º 01. DENSIDAD DE CAMPO.

Cálculos para las muestras pertenecientes a la tabla N.º 02.

Determinación del peso del suelo extraído

$$W_m = (\text{Peso de la masa de suelo} + \text{recipiente}) \\ - \text{Peso del recipiente (funda plástica)}$$

$$W_m = 2188,50\text{gr.} - 4.86\text{ gr.}$$

$$W_m = 2183.64\text{ gr.}$$

Calibración de la arena de Ottawa

$$W_{sand} = (W_r + W_{sand}) - W_r$$

$$W_{sand} = 3222,80\text{gr.} - 2239.60\text{gr.}$$

$$W_{sand} = 982.40\text{gr.}$$

$$V_{sand} = \frac{\pi}{4} * \phi^2 * h$$

$$V_{sand} = \frac{\pi}{4} * (10.10\text{cm})^2 * (7.75\text{cm})$$

$$V_{sand} = 620.92\text{cm}^3.$$

$$\gamma_{sand} = \frac{W_{sand}}{V_{sand}}$$

$$\gamma_{sand} = \frac{982.40\text{gr.}}{620.92\text{cm}^3}$$

$$\gamma_{sand} = 1,582\text{gr./cm}^3.$$

Determinación del volumen del hueco en el suelo

$$W_c = W_{f_o+c+sand} - W_{f_f+c+sand} - \text{Peso de la arena en cono}$$

$$W_c = 6028.00\text{gr.} - 2850.50\text{gr.} - 1629.00\text{gr.}$$

$$W_c = 1548.50\text{ gr.}$$

$$V_m = \frac{W_h}{\gamma_{sand}}$$

$$V_m = \frac{1548.50\text{gr.}}{1,582\text{gr./cm}^3}$$

$$V_m = 978.82\text{cm}^3.$$

Determinación del contenido de humedad

Ensayo N.º 01

$$W_w = (\text{Peso de la muestra húmeda} + \text{recipiente}) - (\text{Peso de la muestra seca} + \text{recipiente})$$

$$W_w = 142.17\text{gr.} - 133.84\text{gr.}$$

$$W_w = 8.33\text{gr.}$$

$$W_s = (\text{Peso de la muestra seca} + \text{recipiente}) - (\text{Peso del recipiente})$$

$$W_s = 133.84 - 31.12\text{gr.} - \text{gr.}$$

$$W_s = 102.72\text{gr.}$$

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

$$\omega\% = \frac{8.33\text{gr.}}{102.72\text{gr.}} * 100\%$$

$$\omega\% = 8.11\%.$$

Ensayo N.º 02

$$W_w = (\text{Peso de la muestra húmeda} + \text{recipiente}) - (\text{Peso de la muestra seca} + \text{recipiente})$$

$$W_w = 142.93\text{gr.} - 139.86\text{gr.}$$

$$W_w = 8.07\text{gr.}$$

$$W_s = (\text{Peso de la muestra seca} + \text{recipiente}) - (\text{Peso del recipiente})$$

$$W_s = 139.86 - 28.99 \text{ gr.}$$

$$W_s = 110.87 \text{ gr.}$$

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

$$\omega\% = \frac{8.07 \text{ gr.}}{110.87 \text{ gr.}} * 100\%$$

$$\omega\% = 7.28\%.$$

$$\text{Promedio } \omega\% = \frac{W\%_1 + W\%_2}{2}$$

$$\text{Promedio } \omega\% = \frac{8.11\% + 7.28\%}{2}$$

$$\text{Promedio } \omega\% = 7.70\%.$$

Determinación del peso volumétrico de la masa de suelo

$$\gamma_m = \frac{W_m}{V_m}$$

$$\gamma_m = \frac{2183.64 \text{ gr.}}{978.82 \text{ cm}^3}$$

$$\gamma_m = 2.231 \text{ gr./cm}^3.$$

Determinación del peso volumétrico seco

$$\gamma_d = \frac{\gamma_m}{1 + w}$$

$$\gamma_d = \frac{2.231 \text{ gr./cm}^3}{1 + 0.070}$$

$$\gamma_d = 2.071 \text{ gr./cm}^3.$$

Grado de compactación Alcanzado %

$$Gc\% = \frac{\gamma_d}{\gamma_{\text{max proctor}}}$$

$$Gc\% = \frac{2.071 \text{ gr./cm}^3}{1.918 \text{ gr./cm}^3} * 100\%$$

$$Gc\% = 103.65\%$$

Cálculo del volumen de los sólidos

$G_s = 2,65 = S_s$ Para Suelo Friccionante

$$G_s = \frac{W_s}{V_s + \gamma_o}$$

$$2.65 = \frac{102.72 \text{ gr}}{V_s * 1 \text{ gr/cm}^3}$$

$$V_s = 38.76 \text{ cm}^3$$

Cálculo del volumen de la muestra

$$\gamma_m = \frac{W_m}{V_m}$$

$$2.231 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} = \frac{102.72 \text{ gr} + 8.33 \text{ gr}}{V_m}$$

$$V_m = 49.78 \text{ cm}^3$$

Cálculo del volumen de vacíos

$$V_v = V_m - V_s$$

$$V_v = 49.78 \text{ cm}^3 - 38.76 \text{ cm}^3$$

$$V_v = 11.02 \text{ cm}^3$$

Cálculo del volumen del agua

$$\gamma_m = \frac{W_w}{V_w}$$

$$1 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} = \frac{8.33 \text{ gr}}{V_w}$$

$$V_w = 8.33 \text{ cm}^3$$

Cálculo del volumen del aire

$$V_a = V_v - V_w$$

$$V_a = 11.02 \text{ cm}^3 - 8.33 \text{ cm}^3$$

$$V_a = 2.69 \text{ cm}^3$$

1. Determinación de la relación de vacíos

$$e = \frac{V_v}{V_s} \qquad e = \frac{11.02 \text{ cm}^3}{38.76 \text{ cm}^3} \qquad e = 0.28$$

2. Determinación de la Porosidad

$$n\% = \frac{V_v}{V_m} * 100 \qquad n\% = \frac{11.02 \text{ cm}^3}{49.78 \text{ cm}^3} * 100 \qquad n\% = 22.13\%$$

3. Determinación de la Saturación de agua

$$G_w\% = \frac{V_w}{V_v} * 100 \qquad G_w\% = \frac{8.33 \text{ cm}^3}{11.02 \text{ cm}^3} * 100 \qquad G_w\% = 75.62 \%$$

4. Determinación de la Saturación de Aire

$$G_a\% = \frac{V_a}{V_v} * 100 \qquad G_a\% = \frac{2.69 \text{ cm}^3}{11.02 \text{ cm}^3} * 100 \qquad G_a\% = 24.38 \%$$



 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 		
ENSAYO: "DENSIDAD DE CAMPO"		
NORMA ASTM D 1556-82		
MUESTRA N°: 01		
TIPO DE SUELO: SUB BASE CLASE 3		
1. DETERMINACION DEL PESO DEL SUELO EXTRAIDO		
Peso de la masa del suelo + recipiente	2188,50	gr
Peso del recipiente (funda plástica)	4,86	gr
Peso de la masa del suelo W_m	2183,64	gr
2. DETERMINACION DEL VOLUMEN DEL HUECO EN EL SUELO		
Lectura inicial frasco + cono + Arena	6028,00	gr
Lectura final frasco + cono + Arena	2850,50	gr
Peso de la arena en el cono W_m	1629,00	gr
Peso de la arena en el hueco W_{cono}	1548,50	gr
Calibración de la Arena de Ottawa: γ_{sand}	1,582	gr/cm ³
Volumen del hueco (de la masa) V_m	978,82	cm ³
3. DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD		
Recipiente #	A	B
Peso suelo húmedo + recipiente W_m+W_r	142,17	147,93
Peso suelo seco + recipiente $W_s +W_r$	133,84	139,86
Peso del recipiente W_r	31,12	28,99
Peso de Agua W_w	8,33	8,07
Peso muestra seca W_s	102,72	110,87
Contenido de humedad $w\%=100 W_w/W_s$	8,11	7,28
Promedio $W\%$	7,69	
4. DETERMINACION DENSIDAD HÚMEDA		
$\gamma_m = W_m / V_m$	2,231	gr/cm ³
5. DETERMINACION DENSIDAD SECA		
$\gamma_d = \gamma_m / (1 + w\%)$	2,071	gr/cm ³
6. DENSIDAD ALCANZADA EN PROCTOR		
Densidad Max Proctor γ_d	1,998	gr/cm ³
Porcentaje de Compactación Exigido %	95%	%
Porcentaje de Compactación Alcanzado %	103,65	%
7. DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN DE VACÍOS [e]		
	0,280	-
8. DETERMINACIÓN DE LA POROSIDAD [n%]		
	22,13	%
9. DETERMINACIÓN DEL GRADO DE SATURACIÓN DEL AGUA [Gw%]		
	75,62	%
10. DETERMINACIÓN DEL GRADO DE SATURACIÓN DEL AIRE [Ga%]		
	24,380	%

Tabla 10. Ensayo densidad de campo, muestra N°01, resumen de cálculo manual

Fuente: Merino Jiménez Steven David

MUESTRA N.º 02. DENSIDAD DE CAMPO

Cálculos para las muestras pertenecientes a la tabla N.º 03.

Determinación del peso del suelo extraído

$$W_m = (\text{Peso de la masa de suelo} + \text{recipiente}) \\ - \text{Peso del recipiente (funda plástica)}$$

$$W_m = 1486.98 \text{ gr.} - 4.75 \text{ gr.}$$

$$W_m = 1482.23 \text{ gr.}$$

Calibración de la arena de Ottawa

$$W_{sand} = (W_r + W_{sand}) - W_r$$

$$W_{sand} = 3222.80 \text{ gr.} - 2239.60 \text{ gr.}$$

$$W_{sand} = 982.40 \text{ gr.}$$

$$V_{sand} = \frac{\pi}{4} * \phi^2 * h$$

$$V_{sand} = \frac{\pi}{4} * (10.10 \text{ cm})^2 * (7.75 \text{ cm})$$

$$V_{sand} = 620.92 \text{ cm}^3.$$

$$\gamma_{sand} = \frac{W_{sand}}{V_{sand}}$$

$$\gamma_{sand} = \frac{982.40 \text{ gr.}}{620.92 \text{ cm}^3}$$

$$\gamma_{sand} = 1,582 \text{ gr./cm}^3.$$

Determinación del Volumen del hueco en el suelo

$$W_c = W_{fo+c+sand} - W_{ff+c+sand} - \text{Peso de la arena en cono}$$

$$W_c = 6039.50 \text{ gr.} - 3270.50 \text{ gr.} - 1648.00 \text{ gr.}$$

$$W_c = 1121.00 \text{ gr.}$$

$$V_m = \frac{W_h}{\gamma_{sand}}$$

$$V_m = \frac{1121.00 \text{ gr.}}{1,582 \text{ gr./cm}^3}$$

$$V_m = 708.60 \text{ cm}^3.$$

Determinación del contenido de humedad

Ensayo N.01

$$W_w = (\text{Peso de la muestra húmeda} + \text{recipiente}) - (\text{Peso de la muestra seca} + \text{recipiente})$$

$$W_w = 135.21\text{gr.} - 130.19\text{gr.}$$

$$W_w = 5.02\text{gr.}$$

$$W_s = (\text{Peso de la muestra seca} + \text{recipiente}) - (\text{Peso del recipiente})$$

$$W_s = 130.19 - 30.62\text{gr.}$$

$$W_s = 99.57\text{gr.}$$

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

$$\omega\% = \frac{5.02\text{gr.}}{99.57\text{gr.}} * 100\%$$

$$\omega\% = 5.04\%.$$

$$W_w = (\text{Peso de la muestra húmeda} + \text{recipiente}) - (\text{Peso de la muestra seca} + \text{recipiente})$$

$$W_w = 135.21\text{gr.} - 130.19\text{gr.}$$

$$W_w = 5.02\text{gr.}$$

$$W_s = (\text{Peso de la muestra seca} + \text{recipiente}) - (\text{Peso del recipiente})$$

$$W_s = 130.19 - 30.62\text{gr.}$$

$$W_s = 99.57\text{gr.}$$

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

$$\omega\% = \frac{5.02\text{gr.}}{99.57\text{gr.}} * 100\%$$

$$\omega\% = 5.04\%.$$

Ensayo N.02

$$W_w = (\text{Peso de la muestra húmeda} + \text{recipiente}) - (\text{Peso de la muestra seca} + \text{recipiente})$$

$$W_w = 125.87\text{gr.} - 121.15\text{gr.}$$

$$W_w = 4.72 \text{ gr.}$$

$$W_s = (\text{Peso de la muestra seca + recipiente}) - (\text{Peso del recipiente})$$

$$W_s = 121.15 - 30.55 \text{ gr.}$$

$$W_s = 90.60 \text{ gr.}$$

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

$$\omega\% = \frac{4.72 \text{ gr.}}{90.60 \text{ gr.}} * 100\%$$

$$\omega\% = 5.21\%.$$

$$\text{Promedio } \omega\% = \frac{W\%_1 + W\%_2}{2}$$

$$\text{Promedio } \omega\% = \frac{5.04\% + 5.21\%}{2}$$

$$\text{Promedio } \omega\% = 5.13\%.$$

Determinación del peso volumétrico de la masa de suelo

$$\gamma_m = \frac{W_m}{V_m}$$

$$\gamma_m = \frac{1482.23 \text{ gr.}}{708.60 \text{ cm}^3}$$

$$\gamma_m = 2.092 \text{ gr./cm}^3.$$

Determinación del peso volumétrico seco

$$\gamma_d = \frac{\gamma_m}{1 + w}$$

$$\gamma_d = \frac{2.092 \text{ gr./cm}^3}{1 + 0.0513}$$

$$\gamma_d = 1.990 \text{ gr./cm}^3.$$

Grado de compactación Alcanzado %

$$Gc\% = \frac{\gamma_m}{\gamma_{\text{max proctor}}}$$

$$Gc\% = \frac{1.990 \text{ gr./cm}^3}{1.885 \text{ gr./cm}^3} * 100\%$$

$$Gc\% = 105.57\%$$

Cálculo del volumen de los sólidos

$G_s = 2,65 = S_s$ Para Suelo Friccionante

$$G_s = \frac{W_s}{V_s + \gamma_o}$$

$$2.65 = \frac{99.57 \text{ gr}}{V_s * 1 \text{ gr/cm}^3}$$

$$V_s = 37.57 \text{ cm}^3$$

Cálculo del volumen de la muestra

$$\gamma_m = \frac{W_m}{V_m}$$

$$2.092 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} = \frac{99.57 \text{ gr} + 5.04 \text{ gr}}{V_m}$$

$$V_m = 50.00 \text{ cm}^3$$

Cálculo del volumen de vacíos

$$V_v = V_m - V_s$$

$$V_v = 50.00 \text{ cm}^3 - 37.57 \text{ cm}^3$$

$$V_v = 12.43 \text{ cm}^3$$

Cálculo del volumen del agua

$$\gamma_m = \frac{W_w}{V_w}$$

$$1 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} = \frac{5.02 \text{ gr}}{V_w}$$

$$V_w = 5.02 \text{ cm}^3$$

Cálculo del volumen del aire

$$V_a = V_v - V_w$$

$$V_a = 12.43 \text{ cm}^3 - 5.02 \text{ cm}^3$$

$$V_a = 7.41 \text{ cm}^3$$

1. Determinación de la relación de vacíos

$$e = \frac{V_v}{V_s} \qquad e = \frac{12.43 \text{ cm}^3}{37.57 \text{ cm}^3} \qquad e = 0.33$$

2. Determinación de la Porosidad

$$n\% = \frac{V_v}{V_m} * 100 \qquad n\% = \frac{12.43 \text{ cm}^3}{50.00 \text{ cm}^3} * 100 \qquad n\% = 24.85\%$$

3. Determinación de la Saturación de agua

$$G_w\% = \frac{V_w}{V_v} * 100 \qquad G_w\% = \frac{5.02 \text{ cm}^3}{12.43 \text{ cm}^3} * 100 \qquad G_w\% = 40.40\%$$

4. Determinación de la Saturación de Aire

$$G_a\% = \frac{V_a}{V_v} * 100\% \qquad G_a\% = \frac{7.41 \text{ cm}^3}{12.43 \text{ cm}^3} * 100\% \qquad G_a\% = 59.60\%$$



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**



CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

ENSAYO: "CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO"

NORMA ASTM D 1556-82

MUESTRA N°: 02

TIPO DE SUELO: SUB BASE CLASE 3

1. DETERMINACION DEL PESO DEL SUELO EXTRAIDO

Peso de la masa del suelo + recipiente	1486,98	gr
Peso del recipiente (funda plástica)	4,75	gr
Peso de la masa del suelo W_m	1482,23	gr

2. DETERMINACION DEL VOLUMEN DEL HUECO EN EL SUELO

Lectura inicial frasco + cono + Arena	6039,50	gr
Lectura final frasco + cono + Arena	3270,50	gr
Peso de la arena en el cono W_m	1648,00	gr
Peso de la arena en el hueco W_{cono}	1121,00	gr
Calibración de la Arena de Ottawa: γ_{sand}	1,582	gr/cm ³
Volumen del hueco (de la masa) V_m	708,60	cm ³

3. DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

Recipiente #	A	B
Peso suelo húmedo + recipiente $W_m + W_r$	135,21	125,87
Peso suelo seco + recipiente $W_s + W_r$	130,19	121,15
Peso del recipiente W_r	30,62	30,55
Peso de Agua W_w	5,02	4,72
Peso muestra seca W_s	99,57	90,60
Contenido de humedad $w\% = 100 W_w / W_s$	5,04	5,21
Promedio $W\%$	5,13	

4. DETERMINACION DENSIDAD HÚMEDA

$\gamma_m = W_m / V_m$	2,092	gr/cm ³
------------------------	-------	--------------------

5. DETERMINACION DENSIDAD SECA

$\gamma_d = \gamma_m / (1 + w\%)$	1,990	gr/cm ³
-----------------------------------	-------	--------------------

6. DENSIDAD ALCANZADA EN PROCTOR

Densidad Max Proctor γ_d	1,885	gr/cm ³
Porcentaje de Compactación Exigido %	95%	%
Porcentaje de Compactación Alcanzado %	105,57	%

7. DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN DE VACÍOS [e]	0,33	-
---	------	---

8. DETERMINACIÓN DE LA POROSIDAD [n%]	24,85	%
---------------------------------------	-------	---

9. DETERMINACIÓN DEL GRADO DE SATURACIÓN DEL AGUA [Gw%]	40,40	%
---	-------	---

10. DETERMINACIÓN DEL GRADO DE SATURACIÓN DEL AIRE [Ga%]	59,60	%
--	-------	---

Tabla 11. Ensayo densidad de campo muestra N°02, resumen de cálculo manual

Fuente: Merino Jiménez Steven David

MUESTRA N.º 03. DENSIDAD DE CAMPO

Cálculos para las muestras pertenecientes a la tabla N.º 04.

Determinación del peso del suelo extraído

$$W_m = (\text{Peso de la masa de suelo} + \text{recipiente}) \\ - \text{Peso del recipiente (funda plástica)}$$

$$W_m = 2562.50 \text{ gr.} - 4.86 \text{ gr.}$$

$$W_m = 2557.64 \text{ gr.}$$

Calibración de la arena de Ottawa

$$W_{sand} = (W_r + W_{sand}) - W_r$$

$$W_{sand} = 3222,80 \text{ gr.} - 2239.60 \text{ gr.}$$

$$W_{sand} = 982.40 \text{ gr.}$$

$$V_{sand} = \frac{\pi}{4} * \phi^2 * h$$

$$V_{sand} = \frac{\pi}{4} * (10.10 \text{ cm})^2 * (7.75 \text{ cm})$$

$$V_{sand} = 620.92 \text{ cm}^3.$$

$$\gamma_{sand} = \frac{W_{sand}}{V_{sand}}$$

$$\gamma_{sand} = \frac{982.40 \text{ gr.}}{620.92 \text{ cm}^3}$$

$$\gamma_{sand} = 1,582 \text{ gr./cm}^3.$$

Determinación del Volumen del hueco en el suelo

$$W_c = W_{f_o+c+sand} - W_{f_f+c+sand} - \text{Peso de la arena en cono}$$

$$W_c = 6061.50 \text{ gr.} - 2560.00 \text{ gr.} - 1607.00 \text{ gr.}$$

$$W_c = 1872.50 \text{ gr.}$$

$$V_m = \frac{W_h}{\gamma_{sand}}$$

$$V_m = \frac{1872.50 \text{ gr.}}{1,582 \text{ gr./cm}^3}$$

$$V_m = 1183.63 \text{ cm}^3.$$

Determinación del contenido de humedad

Ensayo N.01

$$W_w = (\text{Peso de la muestra húmeda} + \text{recipiente}) - (\text{Peso de la muestra seca} + \text{recipiente})$$

$$W_w = 124.09 \text{ gr.} - 116.32 \text{ gr.}$$

$$W_w = 7.77 \text{ gr.}$$

$$W_s = (\text{Peso de la muestra seca} + \text{recipiente}) - (\text{Peso del recipiente})$$

$$W_s = 116.32 - 30.37 \text{ gr.}$$

$$W_s = 85.95 \text{ gr.}$$

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

$$\omega\% = \frac{7.77 \text{ gr.}}{85.95 \text{ gr.}} * 100\%$$

$$\omega\% = 9.04\%.$$

Ensayo N.02

$$W_w = (\text{Peso de la muestra húmeda} + \text{recipiente}) - (\text{Peso de la muestra seca} + \text{recipiente})$$

$$W_w = 120.76 \text{ gr.} - 114.85 \text{ gr.}$$

$$W_w = 5.91 \text{ gr.}$$

$$W_s = (\text{Peso de la muestra seca} + \text{recipiente}) - (\text{Peso del recipiente})$$

$$W_s = 114.85 - 30.68 \text{ gr.}$$

$$W_s = 84.17 \text{ gr.}$$

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

$$\omega\% = \frac{5.91 \text{ gr.}}{84.17 \text{ gr.}} * 100\%$$

$$\omega\% = 7.02\%.$$

$$\text{Promedio } \omega\% = \frac{W\%_{01} + W\%_{02}}{2}$$

$$\text{Promedio } \omega\% = \frac{9.04\% + 7.02\%}{2}$$

$$\text{Promedio } \omega\% = 8.03\%.$$

Determinación del peso volumétrico de la masa de suelo

$$\gamma_m = \frac{W_m}{V_m}$$

$$\gamma_m = \frac{2557.64 \text{ gr.}}{1197.53 \text{ cm}^3}$$

$$\gamma_m = 2.136 \text{ gr./cm}^3.$$

Determinación del peso volumétrico seco

$$\gamma_d = \frac{\gamma_m}{1 + w}$$

$$\gamma_d = \frac{2.136 \text{ gr./cm}^3}{1 + 0.0803}$$

$$\gamma_d = 1.912 \text{ gr./cm}^3.$$

Grado de compactación Alcanzado %

$$G_c\% = \frac{\gamma_m}{\gamma_{\text{max proctor}}}$$

$$G_c\% = \frac{1.977 \text{ gr./cm}^3}{1.912 \text{ gr./cm}^3} * 100\%$$

$$G_c\% = 103.04\%$$

Cálculo del volumen de los sólidos

$G_s = 2.65 = S_s$ Para Suelo Friccionante

$$G_s = \frac{W_s}{V_s + \gamma_o}$$

$$2.65 = \frac{85.95 \text{ gr}}{V_s * 1 \text{ gr/cm}^3}$$

$$V_s = 32.43 \text{ cm}^3$$

Cálculo del volumen de la muestra

$$\gamma_m = \frac{W_m}{V_m}$$

$$2.136 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} = \frac{85.95 \text{gr} + 7.77 \text{gr}}{V_m}$$

$$V_m = 43.88 \text{cm}^3$$

Cálculo del volumen de vacíos

$$V_v = V_m - V_s$$

$$V_v = 43.88 \text{cm}^3 - 32.43 \text{cm}^3$$

$$V_v = 12.43 \text{cm}^3$$

Cálculo del volumen del agua

$$\gamma_w = \frac{W_w}{V_w}$$

$$1 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} = \frac{7.77 \text{gr}}{V_w}$$

$$V_w = 7.77 \text{cm}^3$$

Cálculo del volumen del aire

$$V_a = V_v - V_w$$

$$V_a = 11.45 \text{cm}^3 - 7.77 \text{cm}^3$$

$$V_a = 3.68 \text{cm}^3$$

1. Determinación de la relación de vacíos

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad e = \frac{11.45 \text{cm}^3}{32.43 \text{cm}^3} \quad e = 0.35$$

2. Determinación de la Porosidad

$$n\% = \frac{V_v}{V_m} * 100 \quad n\% = \frac{11.45 \text{cm}^3}{43.88 \text{cm}^3} * 100 \quad n\% = 26.09\%$$

3. Determinación de la Saturación de agua

$$G_w\% = \frac{V_w}{V_v} * 100 \quad G_w\% = \frac{7.77 \text{cm}^3}{11.45 \text{cm}^3} * 100 \quad G_w\% = 67.88\%$$

4. Determinación de la Saturación de Aire

$$G_a\% = \frac{V_a}{V_v} * 100\% \quad G_a\% = \frac{3.68 \text{cm}^3}{11.45 \text{cm}^3} * 100\% \quad G_a\% = 35.12\%$$



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



ENSAYO: "CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO"		
NORMA ASTM D 1556-82		
MUESTRA N°: 03		
TIPO DE SUELO: SUB BASE CLASE 3		
1. DETERMINACION DEL PESO DEL SUELO EXTRAIDO		
Peso de la masa del suelo + recipiente	2562,50	gr
Peso del recipiente (funda plástica)	4,86	gr
Peso de la masa del suelo W_m	2557,64	gr
2. DETERMINACION DEL VOLUMEN DEL HUECO EN EL SUELO		
Lectura inicial frasco + cono + Arena	6061,50	gr
Lectura final frasco + cono + Arena	2560,00	gr
Peso de la arena en el cono W_m	1607,00	gr
Peso de la arena en el hueco W_{cono}	1894,50	gr
Calibración de la Arena de Ottawa: γ_{sand}	1,582	gr/cm ³
Volumen del hueco (de la masa) V_m	1197,53	cm ³
3. DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD		
Recipiente #	A	B
Peso suelo húmedo + recipiente W_m+W_r	124,09	120,76
Peso suelo seco + recipiente $W_s +W_r$	116,32	114,85
Peso del recipiente W_r	30,37	30,68
Peso de Agua W_w	7,77	5,91
Peso muestra seca W_s	85,95	84,17
Contenido de humedad $w\%=100 W_w/W_s$	9,04	7,02
Promedio $W\%$	8,03	
4. DETERMINACION DENSIDAD HÚMEDA		
$\gamma_m = W_m / V_m$	2,136	gr/cm ³
5. DETERMINACION DENSIDAD SECA		
$\gamma_d = \gamma_m / (1 + w\%)$	1,977	gr/cm ³
6. DENSIDAD ALCANZADA EN PROCTOR		
Densidad Max Proctor γ_d	1,995	gr/cm ³
Porcentaje de Compactación Exigido %	95%	%
Porcentaje de Compactación Alcanzado %	99,10	%
7. DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN DE VACÍOS [e]		
	0,35	-
8. DETERMINACIÓN DE LA POROSIDAD [n%]		
	26,09	%
9. DETERMINACIÓN DEL GRADO DE SATURACIÓN DEL AGUA [Gw%]		
	67,88	%
10. DETERMINACIÓN DEL GRADO DE SATURACIÓN DEL AIRE [Ga%]		
	32,12	%
CALIBRACIÓN DE LA AREA DE OTAWA		
Peso de recipiente + arena (W_r+W_s) gr.	3222,00	gr
Peso del recipiente (W_r) gr.	2239,60	gr
Peso de la arena de Ottawa (W_s) gr.	982,40	gr
Diámetro interior del cono (D) cm.	10,10	cm
Altura de hueco (h) cm.	7,75	cm
Volumen de la areba de Ottawa (V_s) cm ³ .	620,92	cm ³
Densidad de la arena de Ottawa (D_s) gr/cm ³ .	1,582	gr/cm ³

Tabla 12. Ensayo densidad de campo, muestra N°03, resumen de cálculo manual

Fuente: Merino Jiménez Steven David

3.1.2.2. Resolución mediante el programa desarrollado, densidad de campo

2. ENSAYO DENSIDAD DE CAMPO

1.- DETERMINACIÓN DEL SUELO EXTRAÍDO

Peso de la masa del suelo + recipiente (gr)	2188.50
Peso del recipiente funda plástica (gr)	4.86
Peso de la masa del suelo (gr)	2183.64

2.- DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DEL SUELO

Lectura inicial frasco + cono + Arena (gr)	6028
Lectura final frasco + cono + Arena (gr)	2850.50
Peso de la arena en el cono (gr)	1629
Peso de la arena en el hueco (gr)	1548.5
Calibración de la Arena de Ottawa (gr/cm ³)	1.582
Volumen del hueco (cm ³)	978.82

2.1.- CALIBRACIÓN DE LA ARENA

Datos	
Peso frasco+ arena gr.	3222
Peso del frasco gr.	2239.6
Diámetro del cono cm.	10.1
Altura de hueco cm.	7.75
Cálculo	
Peso de la arena de Ottawa gr	982.4000
Volumen de la arena de Ottawa cm ³ .	620.9200
Densidad de la arena gr/cm ³ .	1.5820

4. DETERMINACIÓN DEL GRADO DE COMPACTACIÓN

Determinación del peso volumétrico del suelo húmedo gr/cm ³	2.231
Determinación del peso volumétrico seco gr/cm ³	2.071
Densidad Max Proctor (gr/cm ³)	1.998
Porcentaje de compactación Exigido (%)	95
Porcentaje de compactación alcanzado (%)	103.65

PASA! / Densidad de Campo

3.- DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

	Recipiente A	Recipiente B
Peso del suelo húmedo + recipiente (gr)	142.17	147.93
Peso del suelo seco + recipiente (gr)	133.84	139.66
Peso del recipiente (gr)	31.12	28.99
Peso del Agua (gr)	8.3300	8.0700
Peso de la muestra seca (gr)	102.7200	110.8700
Contenido de humedad (%)	8.1100	7.2800
Contenido de Humedad promedio (%)	7.7	

PROCESAR

MENÚ

Figura 7. Densidad de campo, muestra N°01, captura de programa

Fuente: Merino Jiménez Steven David

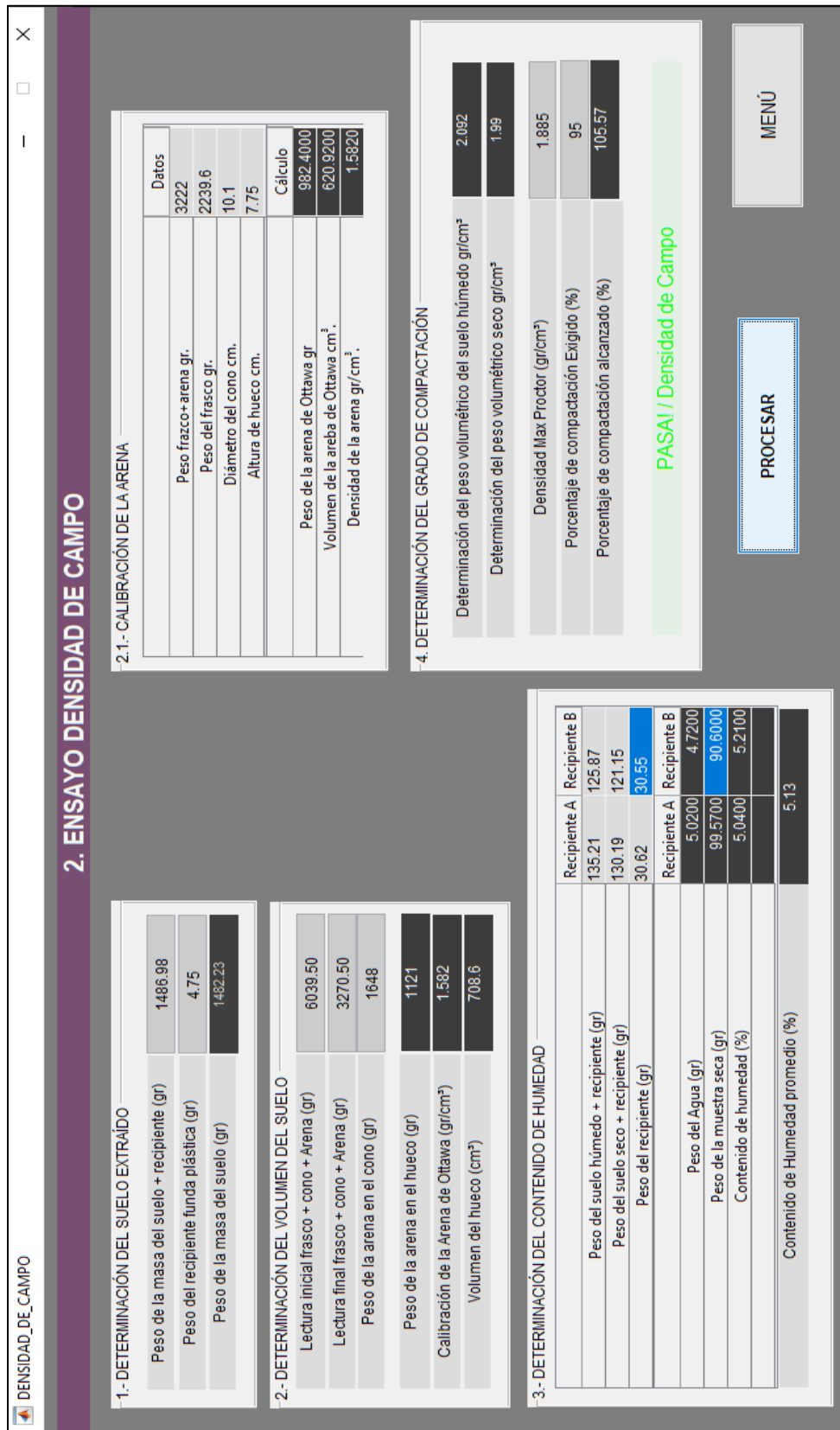


Figura 8. Densidad de campo, muestra N°02, captura de programa

Fuente: Merino Jiménez Steven David

2. ENSAYO DENSIDAD DE CAMPO

1.- DETERMINACIÓN DEL SUELO EXTRAÍDO

Peso de la masa del suelo + recipiente (gr)	2562.50
Peso del recipiente funda plástica (gr)	4.86
Peso de la masa del suelo (gr)	2557.64

2.- DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DEL SUELO

Lectura inicial frasco + cono + Arena (gr)	6061.50
Lectura final frasco + cono + Arena (gr)	2560.00
Peso de la arena en el cono (gr)	1607
Peso de la arena en el hueco (gr)	1894.5
Calibración de la Arena de Ottawa (gr/cm ³)	1.582
Volumen del hueco (cm ³)	1197.53

2.1.- CALIBRACIÓN DE LA ARENA

Datos	
Peso frasco+ arena gr.	3222
Peso del frasco gr.	2239.6
Diámetro del cono cm.	10.1
Altura de hueco cm.	7.75
Cálculo	
Peso de la arena de Ottawa gr	982.4000
Volumen de la areba de Ottawa cm ³ .	620.9200
Densidad de la arena gr/cm ³ .	1.5820

4. DETERMINACIÓN DEL GRADO DE COMPACTACIÓN

Determinación del peso volumétrico del suelo húmedo gr/cm ³	2.136
Determinación del peso volumétrico seco gr/cm ³	1.977
Densidad Max Proctor (gr/cm ³)	1.995
Porcentaje de compactación Exigido (%)	95
Porcentaje de compactación alcanzado (%)	99.1

PASAI / Densidad de Campo

3.- DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

	Recipiente A	Recipiente B
Peso del suelo húmedo + recipiente (gr)	124.09	120.76
Peso del suelo seco + recipiente (gr)	116.32	114.85
Peso del recipiente (gr)	30.37	30.68
Peso del Agua (gr)		
	Recipiente A	Recipiente B
	7.7700	5.9100
Peso de la muestra seca (gr)		
	85.9500	84.1700
Contenido de humedad (%)		
	9.0400	7.0200
Contenido de Humedad promedio (%)	8.03	

PROCESAR

MENÚ

Figura 9. Densidad de campo, muestra N°03, captura de programa

Fuente: Merino Jiménez Steven David

3.1.3. Granulometría

NORMAS

AASHTO: T-87-70

ASTM: D – 421-58

INEN: 696

NOMENCLATURA

CÁLCULOS TÍPICOS DE LOS RESULTADOS DE LA TABLA 1

W_m = Peso de la masa total.

W_{t#4}= Peso retenido del tamiz #4.

W_{t#4f} = Peso retenido del tamiz #4 + Peso del suelo de la fuente.

W_{s#200f}= Peso retenido del tamiz #200 + Peso del suelo de la fuente

W_f = Peso de la fuente cuadrada.

D₁₀ = Diámetro efectivo.

D₃₀ = Diámetro equiparable.

D₆₀ = Diámetro dimensional.

C_u = Coeficiente de uniformidad.

C_c = Coeficiente de curvatura.

3.1.3.1. Resolución manual, granulometría

MUESTRA N°01

PORCENTAJE RETENIDO PARA TAMICES CUADRADOS

Porcentaje retenido

$$\% \text{ retenido} = \frac{\text{peso acumulado retenido en el tamiz}}{\text{masa total}} \times 100\%$$

$$\% \text{ retenido tamiz } 3'' = \frac{0.00 \text{ gr}}{10000 \text{ gr}} \times 100\% = 0.00\%$$

$$\% \text{ retenido tamiz } 2'' = \frac{938 \text{ gr}}{10000 \text{ gr}} \times 100\% = 9.38\%$$

$$\% \text{ retenido tamiz } 1 \frac{1}{2}'' = \frac{1696\text{gr}}{10000\text{gr}} \times 100\% = 16.96\%$$

$$\% \text{ retenido tamiz } 1'' = \frac{2274\text{gr}}{10000\text{gr}} \times 100\% = 22.74\%$$

$$\% \text{ retenido tamiz } \frac{3}{4}'' = \frac{2822\text{gr}}{10000\text{gr}} \times 100\% = 28.22\%$$

$$\% \text{ retenido tamiz } \frac{1}{2}'' = \frac{3335\text{gr}}{10000\text{gr}} \times 100\% = 33.35\%$$

$$\% \text{ retenido tamiz } \frac{3}{8}'' = \frac{4114\text{gr}}{10000\text{gr}} \times 100\% = 41.14\%$$

$$\% \text{ retenido tamiz } \#4 = \frac{5481\text{gr}}{10000\text{gr}} \times 100\% = 54.81\%$$

$$\% \text{ retenido PASA } \#4'' = \frac{4581\text{gr}}{10000\text{gr}} \times 100\% = 45.81\%$$

PESO DE LA MUESTRA DESPUÉS DEL CUARTEO = 1024.85gr

$$\% \text{ retenido tamiz } \#8 = \frac{45.81 \times 199.44\text{gr}}{1024.85\text{gr}} \times 100\% = 8.91\%$$

$$\% \text{ retenido tamiz } \#10 = \frac{45.81 \times 246.46\text{gr}}{1024.85\text{gr}} \times 100\% = 11.02\%$$

$$\% \text{ retenido tamiz } \#16 = \frac{45.81 \times 361.85\text{gr}}{1024.85\text{gr}} \times 100\% = 16.17\%$$

$$\% \text{ retenido tamiz } \#40 = \frac{45.81 \times 582.79\text{gr}}{1024.85\text{gr}} \times 100\% = 26.05\%$$

$$\% \text{ retenido tamiz } \#50 = \frac{45.81 \times 658.97\text{gr}}{1024.85\text{gr}} \times 100\% = 29.46\%$$

$$\% \text{ retenido tamiz } \#60 = \frac{45.81 \times 690.23\text{gr}}{1024.85\text{gr}} \times 100\% = 30.85\%$$

$$\% \text{ retenido tamiz } \#100 = \frac{45.81 \times 783.64\text{gr}}{1024.85\text{gr}} \times 100\% = 35.03\%$$

$$\% \text{ retenido tamiz } \#200 = \frac{45.81 \times 909.04\text{gr}}{1024.85\text{gr}} \times 100\% = 40.63\%$$

$$\% \text{ retenido PASA } \#200 = \frac{45.81 \times 115.81\text{gr}}{1024.85\text{gr}} \times 100\% = 5.18\%$$

Porcentaje que pasa

% pasa = 100% - %retenido

% pasa tamiz 3"= 100% - 0.00%=100.00%

% pasa tamiz 2"= 100% - 9.38%=90.62%

% pasa tamiz 1 1/2"= 100% - 16.96%=83.04%

% pasa tamiz 1"= 100% - 22.74%=77.26%

% pasa tamiz 3/4"= 100% - 28.22%=71.78%

% pasa tamiz 1/2"= 100% - 33.35%=66.65%

% pasa tamiz 3/8"= 100% - 41.14%=58.86%

% pasa tamiz #4= 100% - 54.19%=45.81%

Porcentaje que Pasa tamiz #4

% pasa tamiz #8= 45.81% - 8.91%=36.90%

% pasa tamiz #10= 45.81% - 11.02%=34.79%

% pasa tamiz #16= 45.81% - 16.17%=29.64%

% pasa tamiz #40= 45.81% - 26.05%=19.76%

% pasa tamiz #50= 45.81% - 29.46% =16.35%

% pasa tamiz #60= 45.81% - 30.85% = 14.96%

% pasa tamiz #100= 45.81% - 35.03%=10.78%

% pasa tamiz #200= 45.81% - 40.63%=5.18%

Datos sacados del gráfico

D10=0.14mm - Diámetro que pasa el 10% de la muestra

D30=1.30mm - Diámetro que pasa el 30% de la muestra

D60=9.80mm - Diámetro que pasa el 60% de la muestra

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL ENSAYO: GRANULOMETRÍA					
NORMAS:		ASTM: D421-58 D-422-63	AASHTO: 7-87-70 7-88-70		
PESO MUESTRA:	10000	gr	MUESTRA N°01	SUB BASE CLASE III	
ENSAYO PARA DETERMINAR LA GRANULOMETRÍA DE LOS ÁRIDOS					
TAMIZ #	mm	PESO RET/ACUM. (gr)	% RETENIDO	% QUE PASA	ESPECIFICACIÓN
3"	76,10	0,00	0,00	100,00	100
2"	50,80	938,00	9,38	90,62	-
1 1/2"	38,10	1696,00	16,96	83,04	-
1"	25,40	2274,00	22,74	77,26	-
3/4"	19,05	2822,00	28,22	71,78	-
1/2"	12,50	3335,00	33,35	66,65	-
3/8"	9,53	4114,00	41,14	58,86	-
#4	4,76	5419,00	54,19	45,81	30-70
PASA #4		4581,00	45,81		
#8	2,36	199,44	8,91	36,90	-
#10	2,00	246,46	11,02	34,79	-
#16	1,18	361,85	16,17	29,64	-
#40	0,43	582,79	26,05	19,76	-
#50	0,30	658,97	29,46	16,35	-
#60	0,25	690,23	30,85	14,96	-
#100	0,15	783,64	35,03	10,78	-
#200	0,08	909,04	40,63	5,18	0- 20
PASA #200		115,81	5,18		
TOTAL		10000,00			
Total - Cuarteo (gr)		1024,85			

Tabla 13. Granulometría de suelos, muestra N°01, resumen de cálculo manual

Fuente: Merino Jiménez Steven David

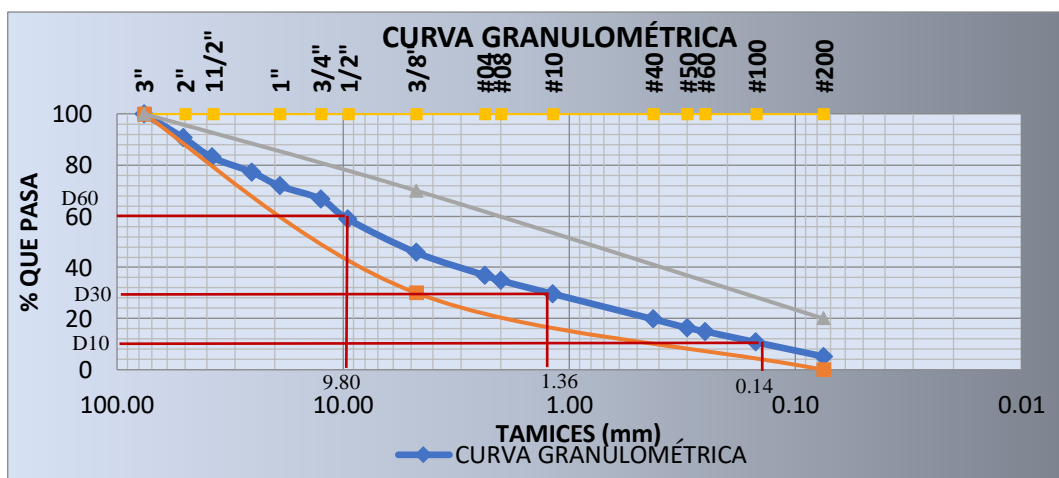


Figura 10. Granulometría de suelos, muestra N°01, gráfico de cálculo manual

Fuente: Merino Jiménez Steven David

MUESTRA N°02

PORCENTAJE RETENIDO PARA TAMICES CUADRADOS

Porcentaje retenido

$$\% \text{ retenido} = \frac{\text{peso acumulado retenido en el tamiz}}{\text{masa total}} \times 100\%$$

$$\% \text{ retenido tamiz } 3'' = \frac{0.00 \text{ gr}}{10000\text{gr}} \times 100\% = 0.00\%$$

$$\% \text{ retenido tamiz } 2'' = \frac{893.45 \text{ gr}}{10000\text{gr}} \times 100\% = 8.93\%$$

$$\% \text{ retenido tamiz } 1 \frac{1}{2}'' = \frac{1557.41\text{gr}}{10000\text{gr}} \times 100\% = 15.5741\%$$

$$\% \text{ retenido tamiz } 1'' = \frac{2187.30\text{gr}}{10000\text{gr}} \times 100\% = 21.87\%$$

$$\% \text{ retenido tamiz } 3/4'' = \frac{2780.04\text{gr}}{10000\text{gr}} \times 100\% = 27.80\%$$

$$\% \text{ retenido tamiz } 1/2'' = \frac{3876.35\text{r}}{10000\text{gr}} \times 100\% = 38.76\%$$

$$\% \text{ retenido tamiz } 3/8'' = \frac{4607.81\text{gr}}{10000\text{gr}} \times 100\% = 46.08\%$$

$$\% \text{ retenido tamiz } \#4 = \frac{5776.77\text{gr}}{10000\text{gr}} \times 100\% = 57.77\%$$

$$\% \text{ retenido PASA } \#4'' = \frac{4223.23\text{gr}}{10000\text{gr}} \times 100\% = 42.23\%$$

PESO DE LA MUESTRA DESPÚES DEL CUARTEO = 1009.46gr

$$\% \text{ retenido tamiz } \#8 = \frac{42.23 \times 150.63\text{gr}}{1009.46\text{gr}} \times 100\% = 6.30\%$$

$$\% \text{ retenido tamiz } \#10 = \frac{42.23 \times 240.99\text{gr}}{1009.46\text{gr}} \times 100\% = 10.08\%$$

$$\% \text{ retenido tamiz } \#16 = \frac{42.23 \times 391.95\text{gr}}{1009.46\text{gr}} \times 100\% = 16.40\%$$

$$\% \text{ retenido tamiz } \#40 = \frac{42.23 \times 582.27\text{gr}}{1009.46\text{gr}} \times 100\% = 24.36\%$$

$$\% \text{ retenido tamiz } \#50 = \frac{42.23 \times 661.45\text{gr}}{1009.46\text{gr}} \times 100\% = 27.67\%$$

$$\% \text{ retenido tamiz \#60} = \frac{42.23 * 689.71 \text{gr}}{1009.46 \text{gr}} \times 100\% = 28.86\%$$

$$\% \text{ retenido tamiz \#100} = \frac{42.23 * 802.97 \text{gr}}{1009.46 \text{gr}} \times 100\% = 33.59\%$$

$$\% \text{ retenido tamiz \#200} = \frac{42.23 * 913.50 \text{gr}}{1009.46 \text{gr}} \times 100\% = 38.22\%$$

$$\% \text{ retenido PASA \#200} = \frac{4.01 * 913.50 \text{gr}}{1009.46 \text{gr}} \times 100\% = 4.01\%$$

Porcentaje que pasa

$$\% \text{ pasa} = 100\% - \% \text{retenido}$$

$$\% \text{ pasa tamiz 3"} = 100\% - 0.00\% = 100.00\%$$

$$\% \text{ pasa tamiz 2"} = 100\% - 8.93\% = 91.07\%$$

$$\% \text{ pasa tamiz 1 1/2"} = 100\% - 15.57\% = 84.43\%$$

$$\% \text{ pasa tamiz 1"} = 100\% - 21.87\% = 78.13\%$$

$$\% \text{ pasa tamiz 3/4"} = 100\% - 27.80\% = 72.20\%$$

$$\% \text{ pasa tamiz 1/2"} = 100\% - 38.76\% = 61.24\%$$

$$\% \text{ pasa tamiz 3/8"} = 100\% - 46.08\% = 53.92\%$$

$$\% \text{ pasa tamiz \#4} = 100\% - 57.77\% = 42.23\%$$

Porcentaje que Pasa tamiz \#4

$$\% \text{ pasa tamiz \#8} = 45.81\% - 6.30\% = 35.93\%$$

$$\% \text{ pasa tamiz \#10} = 45.81\% - 10.08\% = 32.15\%$$

$$\% \text{ pasa tamiz \#16} = 45.81\% - 16.40\% = 25.83\%$$

$$\% \text{ pasa tamiz \#40} = 45.81\% - 24.36\% = 17.87\%$$

$$\% \text{ pasa tamiz \#50} = 45.81\% - 27.55\% = 14.56\%$$

$$\% \text{ pasa tamiz \#60} = 45.81\% - 28.86\% = 13.38\%$$

$$\% \text{ pasa tamiz \#100} = 45.81\% - 33.59\% = 8.64\%$$

$$\% \text{ pasa tamiz \#200} = 45.81\% - 38.22\% = 4.01\%$$

Datos sacados del gráfico

D10=0.19mm - Diámetro que pasa el 10% de la muestra

D30=1.80mm - Diámetro que pasa el 30% de la muestra

D60=12.50mm - Diámetro que pasa el 60% de la muestra

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL GRANULOMETRÍA					
NORMAS: ASTM: D421-58 D-422-63 AASHTO: 7-87-70 7-88-70					
PESO MUESTRA:	10000	gr	MUESTRA N°02	SUB BASE CLASE III	
ENSAYO PARA DETERMINAR LA GRANULOMETRÍA DE LOS ÁRIDOS					
TAMIZ #	mm	PESO RET/ACUM. (gr)	% RETENIDO	% QUE PASA	ESPECIFICACIÓN
3"	76,10	0,00	0,00	100,00	100
2"	50,80	893,45	8,93	91,07	-
1 1/2"	38,10	1557,41	15,57	84,43	-
1"	25,40	2187,30	21,87	78,13	-
3/4"	19,05	2780,04	27,80	72,20	-
1/2"	12,50	3876,35	38,76	61,24	-
3/8"	9,53	4607,81	46,08	53,92	-
#4	4,76	5776,77	57,77	42,23	30-70
PASA #4		4223,23	42,23		
#8	2,36	150,63	6,30	35,93	-
#10	2,00	240,99	10,08	32,15	-
#16	1,18	391,95	16,40	25,83	-
#40	0,43	582,27	24,36	17,87	-
#50	0,30	658,45	27,55	14,69	-
#60	0,25	689,71	28,86	13,38	-
#100	0,15	802,97	33,59	8,64	-
#200	0,08	913,50	38,22	4,01	0- 20
PASA #200		95,96	4,01		
TOTAL		10000,00			
Total - Cuarteo (gr)		1009,46			

Tabla 14. Granulometría de suelos, muestra N°02, resumen de cálculo manual

Fuente: Merino Jiménez Steven David

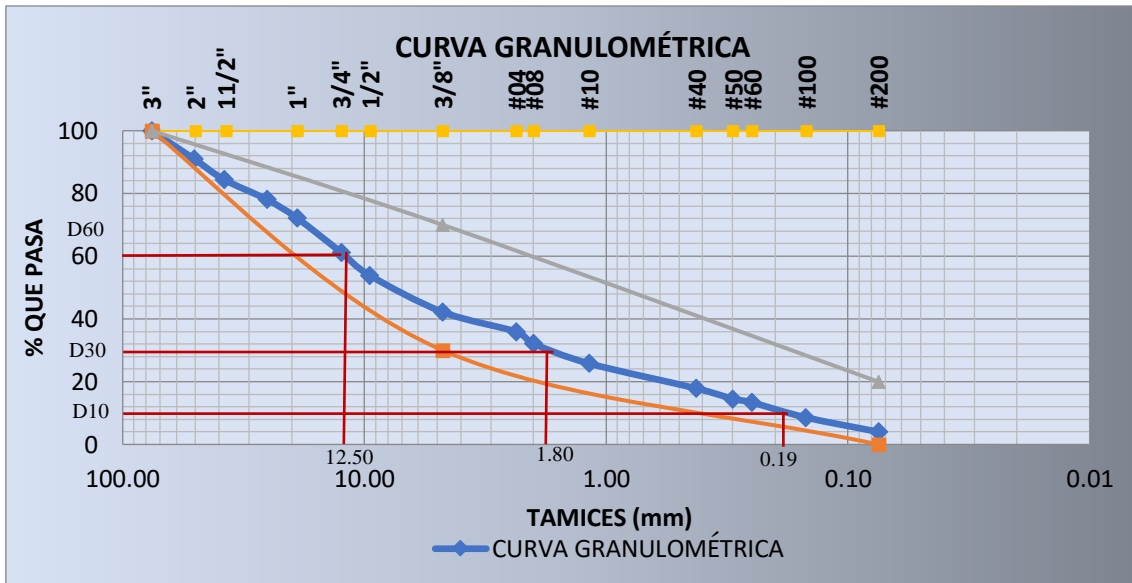


Figura 11. Curva granulométrica, muestra N°02, gráfico de cálculo manual

Fuente: Merino Jiménez Steven David

MUESTRA N°03

PORCENTAJE RETENIDO PARA TAMICES CUADRADOS

Porcentaje retenido

$$\% \text{ retenido} = \frac{\text{peso acumulado retenido en el tamiz}}{\text{masa total}} \times 100\%$$

$$\% \text{ retenido tamiz } 3'' = \frac{0.00 \text{ gr}}{10000 \text{ gr}} \times 100\% = 0.00\%$$

$$\% \text{ retenido tamiz } 2'' = \frac{682.45 \text{ gr}}{10000 \text{ gr}} \times 100\% = 6.82\%$$

$$\% \text{ retenido tamiz } 1 \frac{1}{2}'' = \frac{1466.82 \text{ gr}}{10000 \text{ gr}} \times 100\% = 14.67\%$$

$$\% \text{ retenido tamiz } 1'' = \frac{2330.60 \text{ gr}}{10000 \text{ gr}} \times 100\% = 23.31\%$$

$$\% \text{ retenido tamiz } \frac{3}{4}'' = \frac{3363.34 \text{ gr}}{10000 \text{ gr}} \times 100\% = 33.63\%$$

$$\% \text{ retenido tamiz } \frac{1}{2}'' = \frac{4284.16 \text{ gr}}{10000 \text{ gr}} \times 100\% = 42.84\%$$

$$\% \text{ retenido tamiz } 3/8" = \frac{5082.52\text{gr}}{10000\text{gr}} \times 100\% = 50.83\%$$

$$\% \text{ retenido tamiz } \#4 = \frac{5986.27\text{gr}}{10000\text{gr}} \times 100\% = 59.86\%$$

$$\% \text{ retenido PASA } \#4" = \frac{4013.73\text{gr}}{10000\text{gr}} \times 100\% = 40.14\%$$

PESO DE LA MUESTRA DESPÚES DEL CUARTEO = 1013.37gr

$$\% \text{ retenido tamiz } \#8 = \frac{45.14 \times 99.13\text{gr}}{1013.37\text{gr}} \times 100\% = 4.42\%$$

$$\% \text{ retenido tamiz } \#10 = \frac{45.14 \times 180.49\text{gr}}{1013.37\text{gr}} \times 100\% = 8.04\%$$

$$\% \text{ retenido tamiz } \#16 = \frac{45.14 \times 297.43\text{gr}}{1013.37\text{gr}} \times 100\% = 13.25\%$$

$$\% \text{ retenido tamiz } \#40 = \frac{45.14 \times 448.18\text{gr}}{1013.37\text{gr}} \times 100\% = 19.96\%$$

$$\% \text{ retenido tamiz } \#50 = \frac{45.14 \times 568.87\text{gr}}{1013.37\text{gr}} \times 100\% = 25.34\%$$

$$\% \text{ retenido tamiz } \#60 = \frac{45.14 \times 681.06\text{gr}}{1013.37\text{gr}} \times 100\% = 30.34\%$$

$$\% \text{ retenido tamiz } \#100 = \frac{45.14 \times 794.78\text{gr}}{1013.37\text{gr}} \times 100\% = 35.40\%$$

$$\% \text{ retenido tamiz } \#200 = \frac{45.14 \times 920.74\text{gr}}{1013.37\text{gr}} \times 100\% = 41.01\%$$

$$\% \text{ retenido PASA } \#200 = \frac{45.14 \times 92.63\text{gr}}{1013.37\text{gr}} \times 100\% = 4.13\%$$

Porcentaje que pasa

$$\% \text{ pasa} = 100\% - \% \text{retenido}$$

$$\% \text{ pasa tamiz } 3" = 100\% - 0.00\% = 100.00\%$$

$$\% \text{ pasa tamiz } 2" = 100\% - 6.82\% = 93.18\%$$

$$\% \text{ pasa tamiz } 1 \frac{1}{2}" = 100\% - 14.67\% = 85.33\%$$

$$\% \text{ pasa tamiz } 1" = 100\% - 21.31\% = 78.69\%$$

% pasa tamiz 3/4"= 100% - 29.63%=70.37%

% pasa tamiz 1/2"= 100% - 37.84%=62.16%

% pasa tamiz 3/8"= 100% - 45.83%=54.17%

% pasa tamiz #4= 100% - 54.86%=45.14%

Porcentaje que Pasa tamiz #4

% pasa tamiz #8= 45.14% - 4.42%=40.72%

% pasa tamiz #10= 45.81% - 8.04%=37.10%

% pasa tamiz #16= 45.81% - 13.25%=31.89%

% pasa tamiz #40= 45.81% - 19.96%=25.17%

% pasa tamiz #50= 45.81% - 25.34% =19.80%

% pasa tamiz #60= 45.81% - 30.34% = 14.80%

% pasa tamiz #100= 45.81% - 35.40%=9.74%

% pasa tamiz #200= 45.81% - 41.01%=4.13%

D10=0.17mm - Diámetro que pasa el 10% de la muestra

D30=1.20mm - Diámetro que pasa el 30% de la muestra

D60=12.40mm- Diámetro que pasa el 60% de la muestra

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL GRANULOMETRÍA DEL ÁRIDOS					
NORMAS: ASTM: D421-58 D-422-63 AASHTO: 7-87-70 7-88-70					
PESO MUESTRA:	10000	gr	MUESTRA N°03	SUB BASE CLASE III	
ENSAYO PARA DETERMINAR LA GRANULOMETRÍA DE LOS ÁRIDOS					
TAMIZ #	mm	PESO RET/ACUM. (gr)	% RETENIDO	% QUE PASA	ESPECIFICACIÓN
3"	76,10	0,00	0,00	100,00	100
2"	50,80	682,45	6,82	93,18	-
1 1/2"	38,10	1466,82	14,67	85,33	-
1"	25,40	2130,60	21,31	78,69	-
3/4"	19,05	2963,34	29,63	70,37	-
1/2"	12,50	3784,16	37,84	62,16	-
3/8"	9,53	4582,52	45,83	54,17	-
#4	4,76	5486,27	54,86	45,14	30-70
PASA #4		4513,73	45,14		
#8	2,36	99,13	4,42	40,72	-
#10	2,00	180,49	8,04	37,10	-
#16	1,18	297,43	13,25	31,89	-
#40	0,43	448,18	19,96	25,17	-
#50	0,30	568,87	25,34	19,80	-
#60	0,25	681,06	30,34	14,80	-
#100	0,15	794,78	35,40	9,74	-
#200	0,08	920,74	41,01	4,13	0- 20
PASA #200		92,63	4,13		
TOTAL		10000,00			
Total - Cuarteo (gr)				1013,37	

Figura 12. Granulometría de suelos, muestra N°03, resumen de cálculo manual

Fuente: Merino Jiménez Steven David

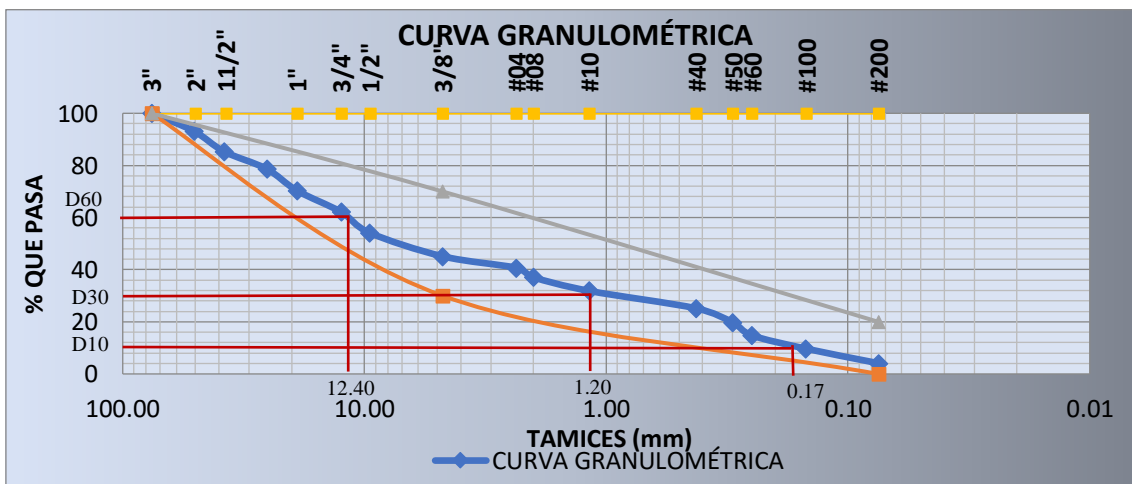


Figura 13. Curva granulométrica, muestra N°03, gráfico de cálculo manual

Fuente: Merino Jiménez Steven David

3.1.3.2. Resolución mediante el programa desarrollado, granulometría

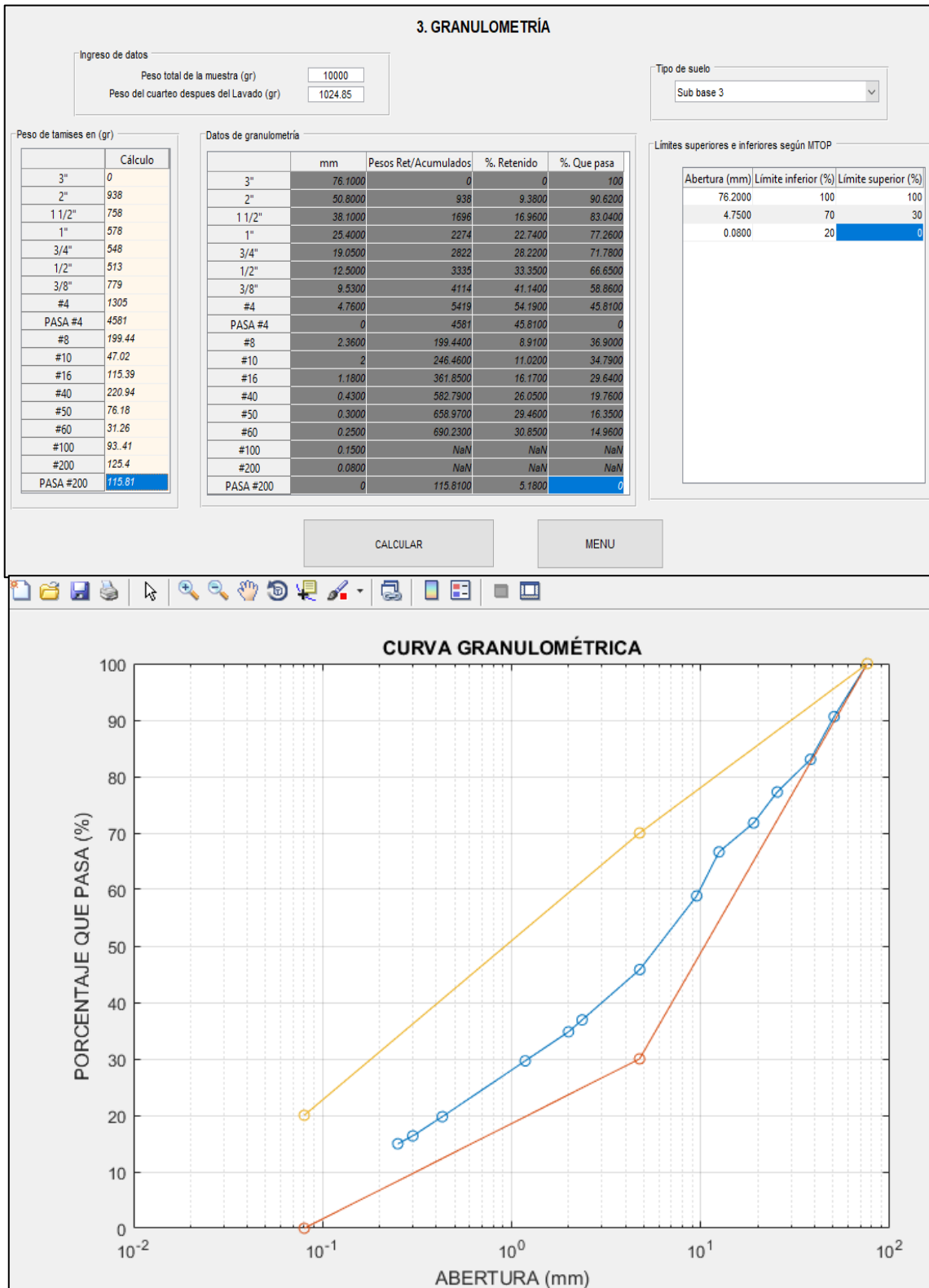


Figura 14. Granulometría, muestra N°01, captura de programa

Fuente: Merino Jiménez Steven David

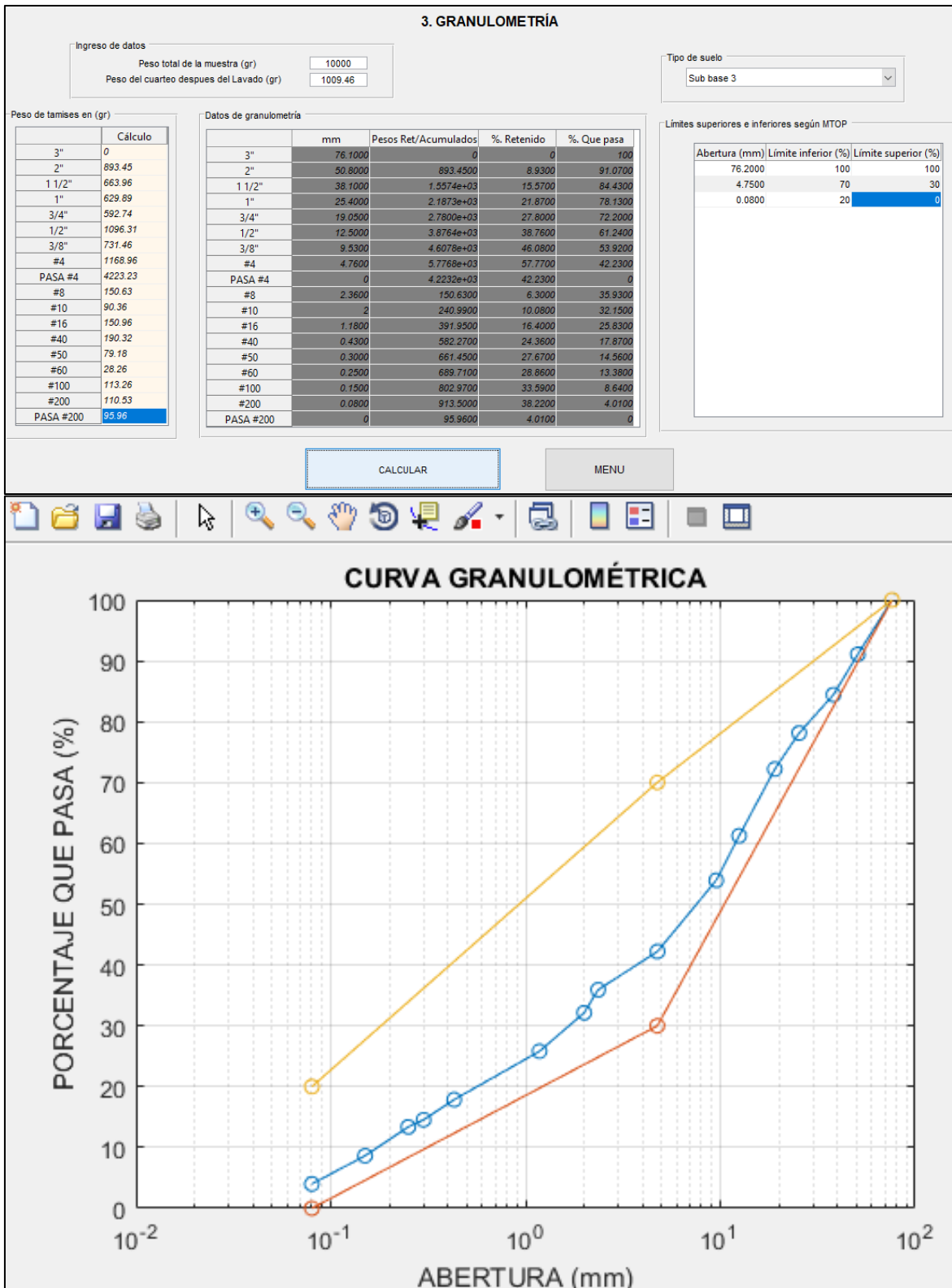


Figura 15. Granulometría, muestra N°02, captura de programa

Fuente: Merino Jiménez Steven David

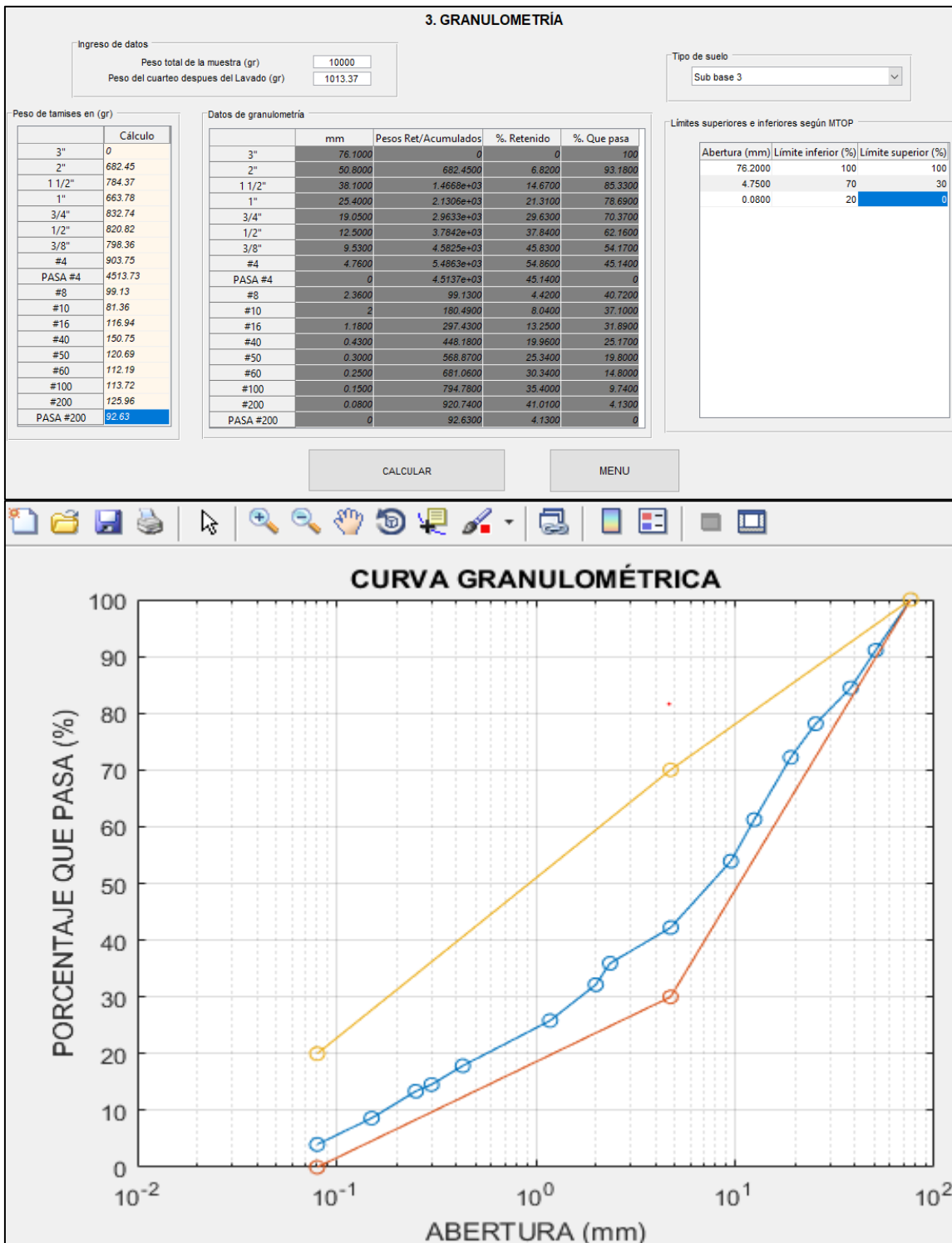


Figura 16. Granulometría, muestra N°3, captura de programa

Fuente: Merino Jiménez Steven David

3.1.4. Límite Líquido

Normas

NORMA ASTM: D-424-71.

NORMA AASHTO: T-90-70.

NORMA INEN: 691.

Nomenclatura

W_{hr} , Peso de la muestra húmeda más el peso del recipiente.

W_{sr} , Peso de la muestra seca más el peso del recipiente.

W_w , Peso del agua.

W_r , Peso del recipiente.

W_s , Peso de la muestra seca.

$\omega\%_1$, Contenido de humedad del primer recipiente.

$\omega\%_2$, Contenido de humedad del segundo recipiente.

$\omega_p\%$, Contenido de humedad promedio.

3.1.4.1. Resolución manual, límite líquido

Cálculo para las muestras pertenecientes a la tabla N°. 08

MUESTRA N°. 01

NÚMERO DE GOLPES: 6.

Recipiente: A.

$$W_w = W_{hr} - W_{sr}$$

$$W_w = 13.37\text{gr.} - 11.02\text{gr.}$$

$$W_w = 2.35\text{gr.}$$

$$W_s = W_{sr} - W_r$$

$$W_s = 11.02\text{gr.} - 4.24\text{gr.}$$

$$W_s = 6.78\text{gr.}$$

$$\omega\%_1 = \frac{W_w}{W_s} * 100\%$$

$$\omega\%_1 = \frac{2.35gr.}{6.78gr.}$$

$$\omega\%_1 = 34.62\%$$

Recipiente: B.

$$W_w = W_{hr} - W_{sr}$$

$$W_w = 13.85gr. - 11.43gr.$$

$$W_w = 2.42gr.$$

$$W_s = W_{sr} - W_r$$

$$W_s = 11.43gr. - 4.43gr.$$

$$W_s = 7.00gr.$$

$$\omega\%_2 = \frac{W_w}{W_s} * 100\%$$

$$\omega\%_2 = \frac{2.42gr.}{7gr.}$$

$$\omega\%_2 = 34.57\%$$

Contenido de humedad promedio

$$\omega_p\% = \frac{\omega\%_1 + \omega\%_2}{2}$$

$$\omega_p\% = \frac{34.62\% + 30.84\%}{2}$$

$$\omega_p\% = 34.62\%$$

NÚMERO DE GOLPES: 15.

Recipiente: C.

$$W_w = W_{hr} - W_{sr}$$

$$W_w = 9.54gr. - 8.32gr.$$

$$W_w = 1.22gr.$$

$$W_s = W_{sr} - W_r$$

$$W_s = 8.32gr. - 4.37gr.$$

$$W_s = 3.95gr.$$

$$\omega\%_1 = \frac{W_w}{W_s} * 100\%$$

$$\omega\%_1 = \frac{1.22gr.}{3.95gr.}$$

$$\omega\%_1 = 30.89\%$$

Recipiente: D.

$$W_w = W_{hr} - W_{sr}$$

$$W_w = 8.90gr. - 7.85gr.$$

$$W_w = 1.05gr.$$

$$W_s = W_{sr} - W_r$$

$$W_s = 7.85gr. - 4.44gr.$$

$$W_s = 3.41gr.$$

$$\omega\%_2 = \frac{W_w}{W_s} * 100\%$$

$$\omega\%_2 = \frac{1.05}{3.41} * 100\%$$

$$\omega\%_2 = 30.79\%$$

Contenido de humedad promedio

$$\omega_p\% = \frac{\omega\%_1 + \omega\%_2}{2}$$

$$\omega_p\% = \frac{30.89\% + 30.79\%}{2}$$

$$\omega_p\% = 30.84\%$$

NÚMERO DE GOLPES: 28.

Recipiente: E.

$$W_w = W_{hr} - W_{sr}$$

$$W_w = 11.33gr. - 9.73gr.$$

$$W_w = 1.60gr.$$

$$W_s = W_{sr} - W_r$$

$$W_s = 9.73gr. - 4.25gr.$$

$$W_s = 5.48 \text{ gr.}$$

$$\omega\%_1 = \frac{W_w}{W_s} * 100\%$$

$$\omega\%_1 = \frac{1.60 \text{ gr.}}{5.48 \text{ gr.}}$$

$$\omega\%_1 = 29.20\%$$

Recipiente: F.

$$W_w = W_{hr} - W_{sr}$$

$$W_w = 11.67 \text{ gr.} - 9.98 \text{ gr.}$$

$$W_w = 1.68 \text{ gr.}$$

$$W_s = W_{sr} - W_r$$

$$W_s = 9.98 \text{ gr.} - 4.41 \text{ gr.}$$

$$W_s = 5.57 \text{ gr.}$$

$$\omega\%_2 = \frac{W_w}{W_s} * 100\%$$

$$\omega\%_2 = \frac{1.69 \text{ gr.}}{5,57 \text{ gr.}}$$

$$\omega\%_2 = 30.34\%$$

Contenido de humedad promedio

$$\omega_p\% = \frac{\omega\%_1 + \omega\%_2}{2}$$

$$\omega_p\% = \frac{29.20\% + 30.34\%}{2}$$

$$\omega_p\% = 29.77\%$$

NÚMERO DE GOLPES: 37.

Recipiente: G.

$$W_w = W_{hr} - W_{sr}$$

$$W_w = 11.13 \text{ gr.} - 9.73 \text{ gr.}$$

$$W_w = 1.40 \text{ gr.}$$

$$W_s = W_{sr} - W_r$$

$$W_s = 9.73\text{gr.} - 4.50\text{gr.}$$

$$W_s = 5.23\text{gr.}$$

$$\omega\%_1 = \frac{W_w}{W_s} * 100\%$$

$$\omega\%_1 = \frac{1.40\text{gr.}}{5.23\text{gr.}} * 100\%$$

$$\omega\%_1 = 26.77\%$$

Recipiente: H.

$$W_w = W_{hr} - W_{sr}$$

$$W_w = 11.33\text{gr.} - 9.98\text{gr.}$$

$$W_w = 1.35\text{gr.}$$

$$W_s = W_{sr} - W_r$$

$$W_s = 9.98\text{gr.} - 4.39\text{gr.}$$

$$W_s = 5.59\text{gr.}$$

$$\omega\%_2 = \frac{W_w}{W_s} * 100\%$$

$$\omega\%_2 = \frac{1.35\text{gr.}}{5.59\text{gr.}} * 100\%$$

$$\omega\%_2 = 24.15\%$$

Contenido de humedad promedio

$$\omega_p\% = \frac{\omega\%_1 + \omega\%_2}{2}$$

$$\omega_p\% = \frac{26.77\% + 24.15\%}{2}$$

$$\omega_p\% = 25.46\%$$

Determinación de Límite líquido

$$LL\% = -4.396 * LN(25) + 42.748$$

$$LL\% = 28.60\%$$

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO								
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA							
	CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL							
ENSAYO: "LÍMITE LÍQUIDO"								
NORMA AASHTO: T-90-70								
MUESTRA N°: 01								
N° MUESTRA	1	2	3	4	5	6	7	8
N° RECIPIENTE	A	B	C	D	E	F	G	H
PESO DEL RECIPIENTE W_r (gr)	4,24	4,43	4,37	4,44	4,25	4,41	4,5	4,39
PESO HÚMEDO + RECIPIENTE (W_m+W_r)(gr)	13,37	13,85	9,54	8,9	11,33	11,67	11,13	11,33
PESO SECO + RECIPIENTE (W_s+W_r) (gr)	11,02	11,43	8,32	7,85	9,73	9,98	9,73	9,98
PESO AGUA (W_w) (gr)	2,35	2,42	1,22	1,05	1,6	1,69	1,4	1,35
PESO DE LA MUESTRA SECA (W_s)	6,78	7	3,95	3,41	5,48	5,57	5,23	5,59
CONTENIDO DE HUMEDAD W%	34,66	34,57	30,89	30,79	29,20	30,34	26,77	24,15
PROMEDIO W%	34,62		30,84		29,77		25,46	
NÚMERO DE GOLPES	6		15		28		37	
LÍMITE LÍQUIDO L.L (%)	28,60							

Tabla 15. Límite Líquido, muestra N°01, resumen de cálculo manual

Fuente: Merino Jiménez Steven David

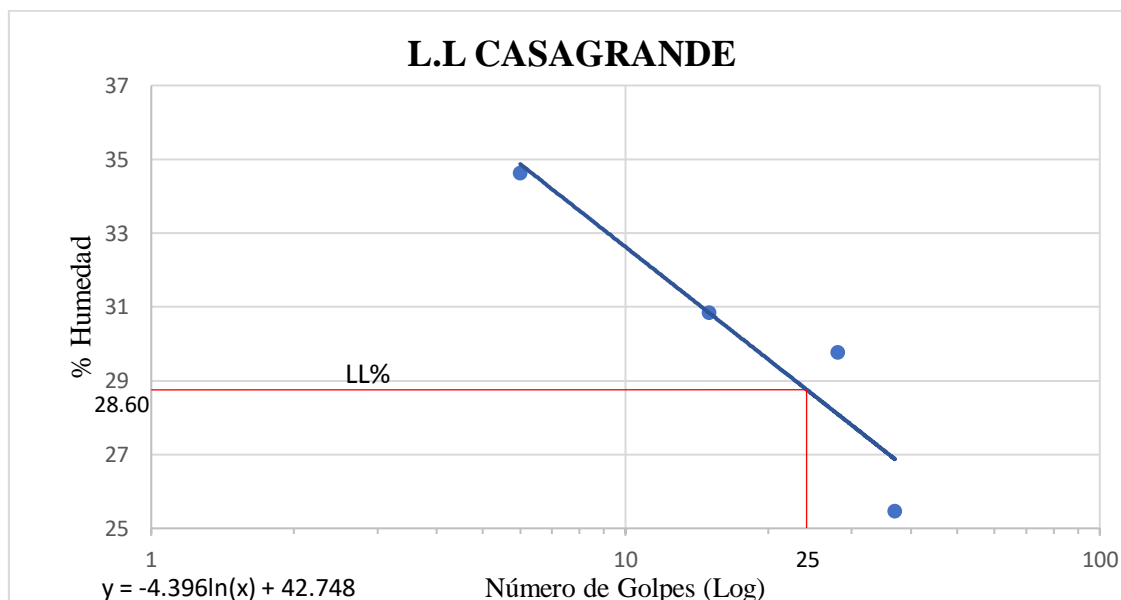


Figura 17. Límite líquido, muestra N°01, gráfico de cálculo manual

Fuente: Merino Jiménez Steven David

Cálculo para las muestras pertenecientes a la tabla N°. 09

MUESTRA N°. 02

NÚMERO DE GOLPES: 5.

Recipiente: A.

$$W_w = W_{hr} - W_{sr}$$

$$W_w = 19.81\text{gr.} - 18.02\text{gr.}$$

$$W_w = 1.79\text{gr.}$$

$$W_s = W_{sr} - W_r$$

$$W_s = 18.02\text{gr.} - 11.48\text{gr.}$$

$$W_s = 6.54\text{gr.}$$

$$\omega\%_1 = \frac{W_w}{W_s} * 100\%$$

$$\omega\%_1 = \frac{1.79\text{gr.}}{6.54\text{gr.}}$$

$$\omega\%_1 = 27.37\%$$

Recipiente: B.

$$W_w = W_{hr} - W_{sr}$$

$$W_w = 21.25\text{gr.} - 19.15\text{gr.}$$

$$W_w = 2.10\text{gr.}$$

$$W_s = W_{sr} - W_r$$

$$W_s = 19.15\text{gr.} - 11.19\text{gr.}$$

$$W_s = 7.96\text{gr.}$$

$$\omega\%_2 = \frac{W_w}{W_s} * 100\%$$

$$\omega\%_2 = \frac{2.10\text{gr.}}{7.96\text{gr.}} * 100$$

$$\omega\%_2 = 26.38\%$$

Contenido de humedad promedio

$$\omega_p \% = \frac{\omega\%_1 + \omega\%_2}{2}$$

$$\omega_p \% = \frac{27.37\% + 26.38\%}{2}$$

$$\omega_p \% = 26.88\%$$

NÚMERO DE GOLPES: 15.

Recipiente: C.

$$W_w = W_{hr} - W_{sr}$$

$$W_w = 28.37\text{gr.} - 25.22\text{gr.}$$

$$W_w = 3.15\text{gr.}$$

$$W_s = W_{sr} - W_r$$

$$W_s = 25.22\text{gr.} - 11.21\text{gr.}$$

$$W_s = 3.15\text{gr.}$$

$$\omega\%_1 = \frac{W_w}{W_s} * 100\%$$

$$\omega\%_1 = \frac{3.15\text{gr.}}{14.01\text{gr.}}$$

$$\omega\%_1 = 22.48\%$$

Recipiente: D.

$$W_w = W_{hr} - W_{sr}$$

$$W_w = 25.98\text{gr.} - 23.22\text{gr.}$$

$$W_w = 2.76\text{gr.}$$

$$W_s = W_{sr} - W_r$$

$$W_s = 23.22\text{gr.} - 10.88\text{gr.}$$

$$W_s = 12.34\text{gr.}$$

$$\omega\%_2 = \frac{W_w}{W_s} * 100\%$$

$$\omega\%_2 = \frac{2.76}{12.34} * 100\%$$

$$\omega\%_2 = 22.37\%$$

Contenido de humedad promedio

$$\omega_p \% = \frac{\omega\%_1 + \omega\%_2}{2}$$

$$\omega_p \% = \frac{22.48\% + 22.37\%}{2}$$

$$\omega_p \% = 22.43\%$$

NÚMERO DE GOLPES: 26.

Recipiente: E.

$$W_w = W_{hr} - W_{sr}$$

$$W_w = 23.16\text{gr.} - 21.11\text{gr.}$$

$$W_w = 2.05\text{gr.}$$

$$W_s = W_{sr} - W_r$$

$$W_s = 21.11\text{gr.} - 11.35\text{gr.}$$

$$W_s = 9.76\text{gr.}$$

$$\omega\%_1 = \frac{W_w}{W_s} * 100\%$$

$$\omega\%_1 = \frac{2.05\text{gr.}}{9.76\text{gr.}} * 100\%$$

$$\omega\%_1 = 21.00\%$$

Recipiente: F.

$$W_w = W_{hr} - W_{sr}$$

$$W_w = 24.07\text{gr.} - 21.86\text{gr.}$$

$$W_w = 2.21\text{gr.}$$

$$W_s = W_{sr} - W_r$$

$$W_s = 21.86\text{gr.} - 11.66\text{gr.}$$

$$W_s = 10.20\text{gr.}$$

$$\omega\%_2 = \frac{W_w}{W_s} * 100\%$$

$$\omega\%_2 = \frac{2.21\text{gr.}}{10.20\text{gr.}}$$

$$\omega\%_2 = 21.67\%$$

Contenido de humedad promedio

$$\omega_p\% = \frac{\omega\%_1 + \omega\%_2}{2}$$

$$\omega_p\% = \frac{21.00\% + 21.67\%}{2}$$

$$\omega_p\% = 21.34\%$$

NÚMERO DE GOLPES: 34.

Recipiente: G.

$$W_w = W_{hr} - W_{sr}$$

$$W_w = 23.46\text{gr.} - 21.67\text{gr.}$$

$$W_w = 1.79\text{gr.}$$

$$W_s = W_{sr} - W_r$$

$$W_s = 21.67\text{gr.} - 11.25\text{gr.}$$

$$W_s = 10.42\text{gr.}$$

$$\omega\%_1 = \frac{W_w}{W_s} * 100\%$$

$$\omega\%_1 = \frac{1.79\text{gr.}}{10.42\text{gr.}} * 100\%$$

$$\omega\%_1 = 17.18\%$$

Recipiente: H.

$$W_w = W_{hr} - W_{sr}$$

$$W_w = 23.06\text{gr.} - 21.02\text{gr.}$$

$$W_w = 2.04\text{gr.}$$

$$W_s = W_{sr} - W_r$$

$$W_s = 21.02\text{gr.} - 10.89\text{gr.}$$

$$W_s = 10.13\text{gr.}$$

$$\omega\%_2 = \frac{W_w}{W_s} * 100\%$$

$$\omega\%_2 = \frac{2.04\text{gr.}}{10.13\text{gr.}} * 100\%$$

$$\omega\%_2 = 20.14\%$$

Contenido de humedad promedio

$$\omega_p\% = \frac{\omega\%_1 + \omega\%_2}{2}$$

$$\omega_p\% = \frac{17.18\% + 20.14\%}{2}$$

$$\omega_p\% = 18.66\%$$

Determinación de Límite líquido

$$LL\% = -3.954 * LN(25) + 33.298$$

$$LL\% = 20.57\%$$

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				ENSAYO: "LÍMITE LÍQUIDO Y PLÁSTICO"							
				NORMA AASHTO: T-90-70							
MUESTRA N°: 02											
N° MUESTRA	1	2	3	4	5	6	7	8			
N° RECIPIENTE	A	B	C	D	E	F	G	H			
PESO DEL RECIPIENTE W_r (gr)	11,48	11,19	11,21	10,88	11,35	11,66	11,25	10,89			
PESO HÚMEDO + RECIPIENTE (W_m+W_r)(gr)	19,81	21,25	28,37	25,98	23,16	24,07	23,46	23,06			
PESO SECO + RECIPIENTE (W_s+W_r) (gr)	18,02	19,15	25,22	23,22	21,11	21,86	21,67	21,02			
PESO AGUA (W_w) (gr)	1,79	2,1	3,15	2,76	2,05	2,21	1,79	2,04			
PESO DE LA MUESTRA SECA (W_s)	6,54	7,96	14,01	12,34	9,76	10,2	10,42	10,13			
CONTENIDO DE HUMEDAD W%	27,37	26,38	22,48	22,37	21,00	21,67	17,18	20,14			
PROMEDIO W%	26,88		22,43		21,34		18,66				
NÚMERO DE GOLPES	5		15		26		34				
LÍMITE LÍQUIDO L.L (%)	20,57										

Tabla 16. Límite Líquido, muestra N°02, resumen de cálculo manual

Fuente: Merino Jiménez Steven David

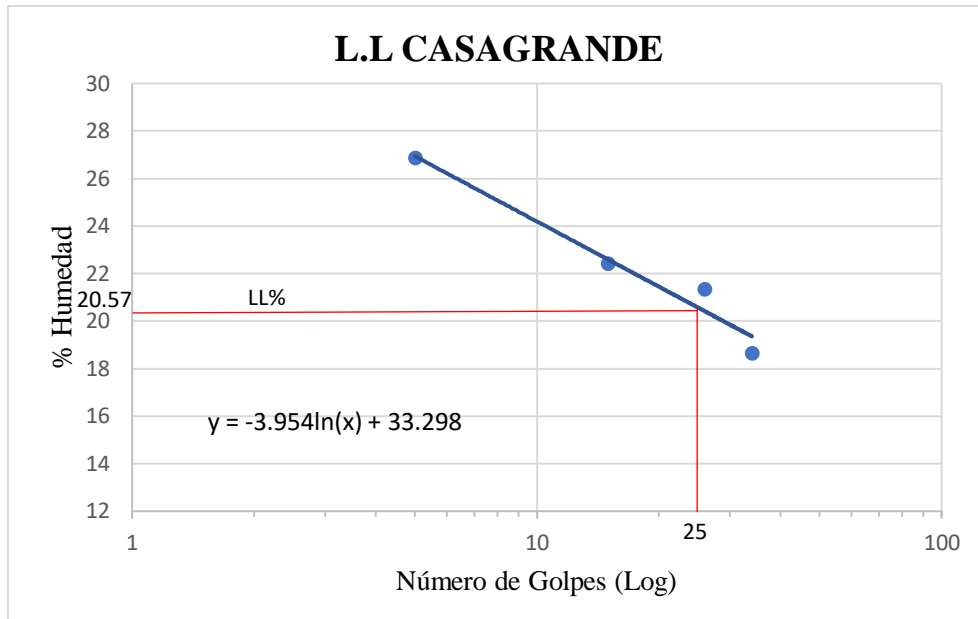


Figura 18. Límite líquido, muestra N°02, gráfico de cálculo manual

Fuente: Merino Jiménez Steven David

Cálculo para las muestras pertenecientes a la tabla N° . 10

MUESTRA N° . 03

NÚMERO DE GOLPES: 8.

Recipiente: A.

$$W_w = W_{hr} - W_{sr}$$

$$W_w = 12.71gr. - 11.36gr.$$

$$W_w = 1.35gr.$$

$$W_s = W_{sr} - W_r$$

$$W_s = 11.36gr. - 6.21gr.$$

$$W_s = 5.15gr.$$

$$\omega\%_1 = \frac{W_w}{W_s} * 100\%$$

$$\omega\%_1 = \frac{1.35gr.}{5.15gr.} * 100\%$$

$$\omega\%_1 = 26.21\%$$

Recipiente: B.

$$W_w = W_{hr} - W_{sr}$$

$$W_w = 12.82\text{gr.} - 11.06\text{gr.}$$

$$W_w = 1.76\text{gr.}$$

$$W_s = W_{sr} - W_r$$

$$W_s = 11.06\text{gr.} - 4.35\text{gr.}$$

$$W_s = 6.71\text{gr.}$$

$$\omega\%_2 = \frac{W_w}{W_s} * 100\%$$

$$\omega\%_2 = \frac{1.76\text{gr.}}{6.71\text{gr.}} * 100$$

$$\omega\%_2 = 26.23\%$$

Contenido de humedad promedio

$$\omega_p\% = \frac{\omega\%_1 + \omega\%_2}{2}$$

$$\omega_p\% = \frac{26.21\% + 26.23\%}{2}$$

$$\omega_p\% = 26.22\%$$

NÚMERO DE GOLPES: 15.

Recipiente: C.

$$W_w = W_{hr} - W_{sr}$$

$$W_w = 16.41\text{gr.} - 13.98\text{gr.}$$

$$W_w = 2.43\text{gr.}$$

$$W_s = W_{sr} - W_r$$

$$W_s = 13.98\text{gr.} - 4.17\text{gr.}$$

$$W_s = 9.81\text{gr.}$$

$$\omega\%_1 = \frac{W_w}{W_s} * 100\%$$

$$\omega\%_1 = \frac{2.43\text{gr.}}{9.81\text{gr.}}$$

$$\omega\%_1 = 24.77\%$$

Recipiente: D.

$$W_w = W_{hr} - W_{sr}$$

$$W_w = 15.98\text{gr.} - 13.65\text{gr.}$$

$$W_w = 2.33\text{gr.}$$

$$W_s = W_{sr} - W_r$$

$$W_s = 13.65\text{gr.} - 4.3\text{gr.}$$

$$W_s = 9.35\text{gr.}$$

$$\omega\%_2 = \frac{W_w}{W_s} * 100\%$$

$$\omega\%_2 = \frac{2.33}{9.35} * 100\%$$

$$\omega\%_2 = 24.92\%$$

Contenido de humedad promedio

$$\omega_p\% = \frac{\omega\%_1 + \omega\%_2}{2}$$

$$\omega_p\% = \frac{24.77\% + 24.92\%}{2}$$

$$\omega_p\% = 24.85\%$$

NÚMERO DE GOLPES: 24.

Recipiente: E.

$$W_w = W_{hr} - W_{sr}$$

$$W_w = 14.61\text{gr.} - 12.63\text{gr.}$$

$$W_w = 1.98\text{gr.}$$

$$W_s = W_{sr} - W_r$$

$$W_s = 12.63\text{gr.} - 4.21\text{gr.}$$

$$W_s = 8.42\text{gr.}$$

$$\omega\%_1 = \frac{W_w}{W_s} * 100\%$$

$$\omega\%_1 = \frac{1.98gr.}{8.42gr.} * 100\%$$

$$\omega\%_1 = 23.52\%$$

Recipiente: F.

$$W_w = W_{hr} - W_{sr}$$

$$W_w = 15.26gr. - 13.17gr.$$

$$W_w = 2.09gr.$$

$$W_s = W_{sr} - W_r$$

$$W_s = 13.17gr. - 4.36gr.$$

$$W_s = 8.81gr.$$

$$\omega\%_2 = \frac{W_w}{W_s} * 100\%$$

$$\omega\%_2 = \frac{2.09gr.}{8.81gr.}$$

$$\omega\%_2 = 23.72\%$$

Contenido de humedad promedio

$$\omega_p\% = \frac{\omega\%_1 + \omega\%_2}{2}$$

$$\omega_p\% = \frac{23.52\% + 23.72\%}{2}$$

$$\omega_p\% = 23.62\%$$

NÚMERO DE GOLPES: 36.

Recipiente: G.

$$W_w = W_{hr} - W_{sr}$$

$$W_w = 15.40gr. - 13.35gr.$$

$$W_w = 2.05gr.$$

$$W_s = W_{sr} - W_r$$

$$W_s = 13.35gr. - 4.51gr.$$

$$W_s = 8.84gr.$$

$$\omega_{01}^{\%} = \frac{W_w}{W_s} * 100\%$$

$$\omega_{01}^{\%} = \frac{2.05gr.}{8.84gr.} * 100\%$$

$$\omega_{01}^{\%} = 23.19\%$$

Recipiente: H.

$$W_w = W_{hr} - W_{sr}$$

$$W_w = 16.71gr. - 14.4gr.$$

$$W_w = 2.31gr.$$

$$W_s = W_{sr} - W_r$$

$$W_s = 14.4gr. - 4.43gr.$$

$$W_s = 9.97gr.$$

$$\omega_{02}^{\%} = \frac{W_w}{W_s} * 100\%$$

$$\omega_{02}^{\%} = \frac{2.31gr.}{9.97gr.} * 100\%$$

$$\omega_{02}^{\%} = 23.17\%$$

Contenido de humedad promedio

$$\omega_p^{\%} = \frac{\omega_{01}^{\%} + \omega_{02}^{\%}}{2}$$

$$\omega_p^{\%} = \frac{23.19\% + 23.17\%}{2}$$

$$\omega_p^{\%} = 23.18\%$$

Determinación de Límite líquido

$$LL\% = -2.096 * LN(25) + 30.517$$

$$LL\% = 23.77\%$$

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO								
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL								
ENSAYO: "LÍMITE LÍQUIDO Y PLÁSTICO"								
NORMA AASHTO: T-90-70								
MUESTRA N°: 03								
1.- LÍMITE LÍQUIDO								
N° MUESTRA	1	2	3	4	5	6	7	8
N° RECIPIENTE	A	B	C	D	E	F	G	H
PESO DEL RECIPIENTE W_r (gr)	6,21	4,35	4,17	4,3	4,21	4,36	4,51	4,43
PESO HÚMEDO + RECIPIENTE (W_m+W_r)(gr)	12,71	12,82	16,41	15,98	14,61	15,26	15,4	16,71
PESO SECO + RECIPIENTE (W_s+W_r) (gr)	11,36	11,06	13,98	13,65	12,63	13,17	13,35	14,4
PESO AGUA (W_w) (gr)	1,35	1,76	2,43	2,33	1,98	2,09	2,05	2,31
PESO DE LA MUESTRA SECA (W_s)	5,15	6,71	9,81	9,35	8,42	8,81	8,84	9,97
CONTENIDO DE HUMEDAD W%	26,21	26,23	24,77	24,92	23,52	23,72	23,19	23,17
PROMEDIO W%	26,22		24,85		23,62		23,18	
NÚMERO DE GOLPES	8		15		24		36	
LÍMITE LÍQUIDO L.L (%)	23,77							

Figura 19. Límite Líquido, muestra N°03, resumen de cálculo manual

Fuente: Merino Steven

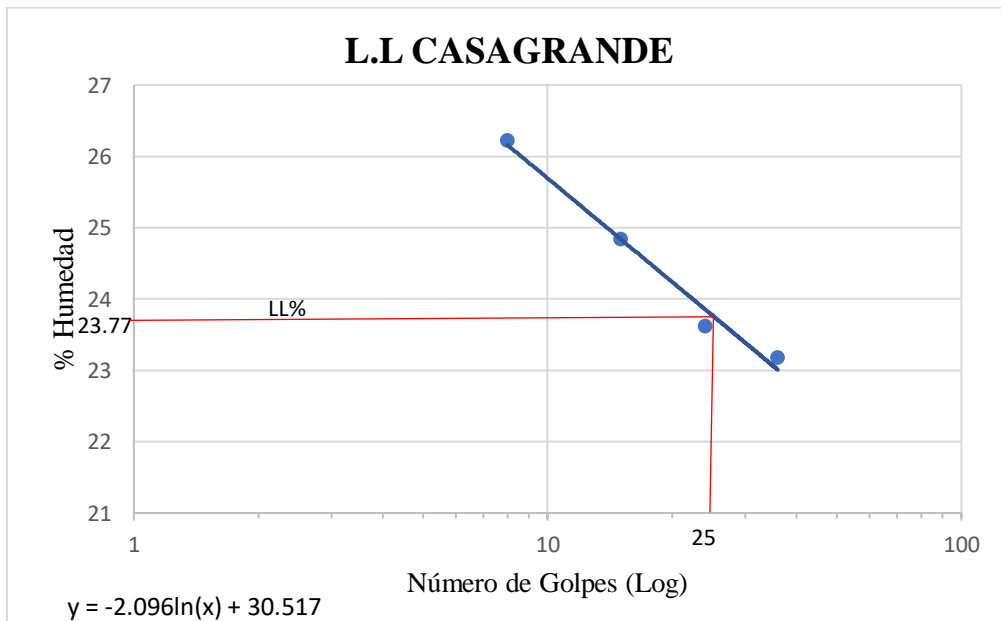


Figura 20. Límite líquido, muestra N°03, gráfico de cálculo manual

Fuente: Merino Jiménez Steven David

3.1.4.2. Resolución mediante el programa desarrollado, límite líquido

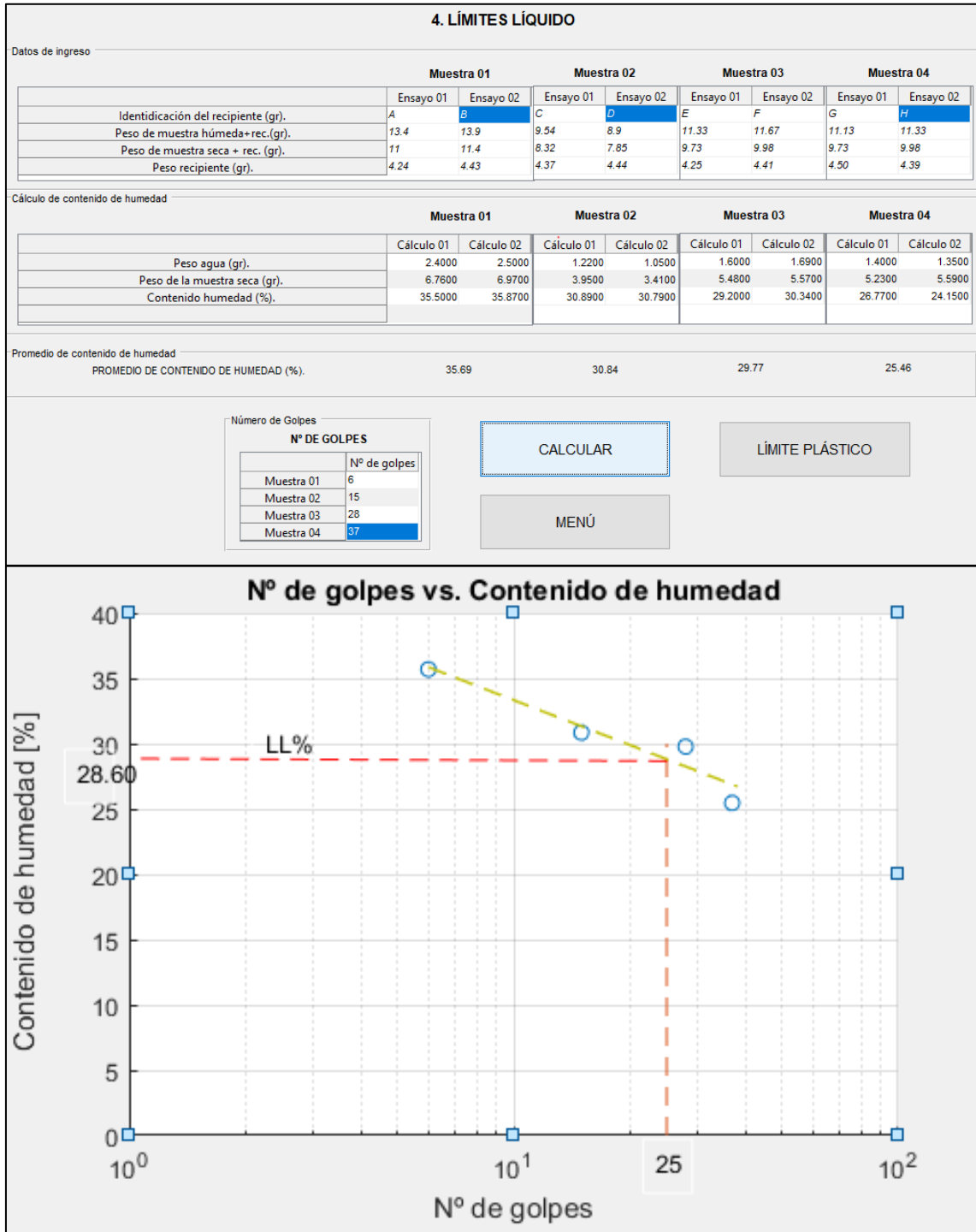


Figura 21. Límite Líquido, muestra N°01, captura de programa

Fuente: Merino Jiménez Steven David

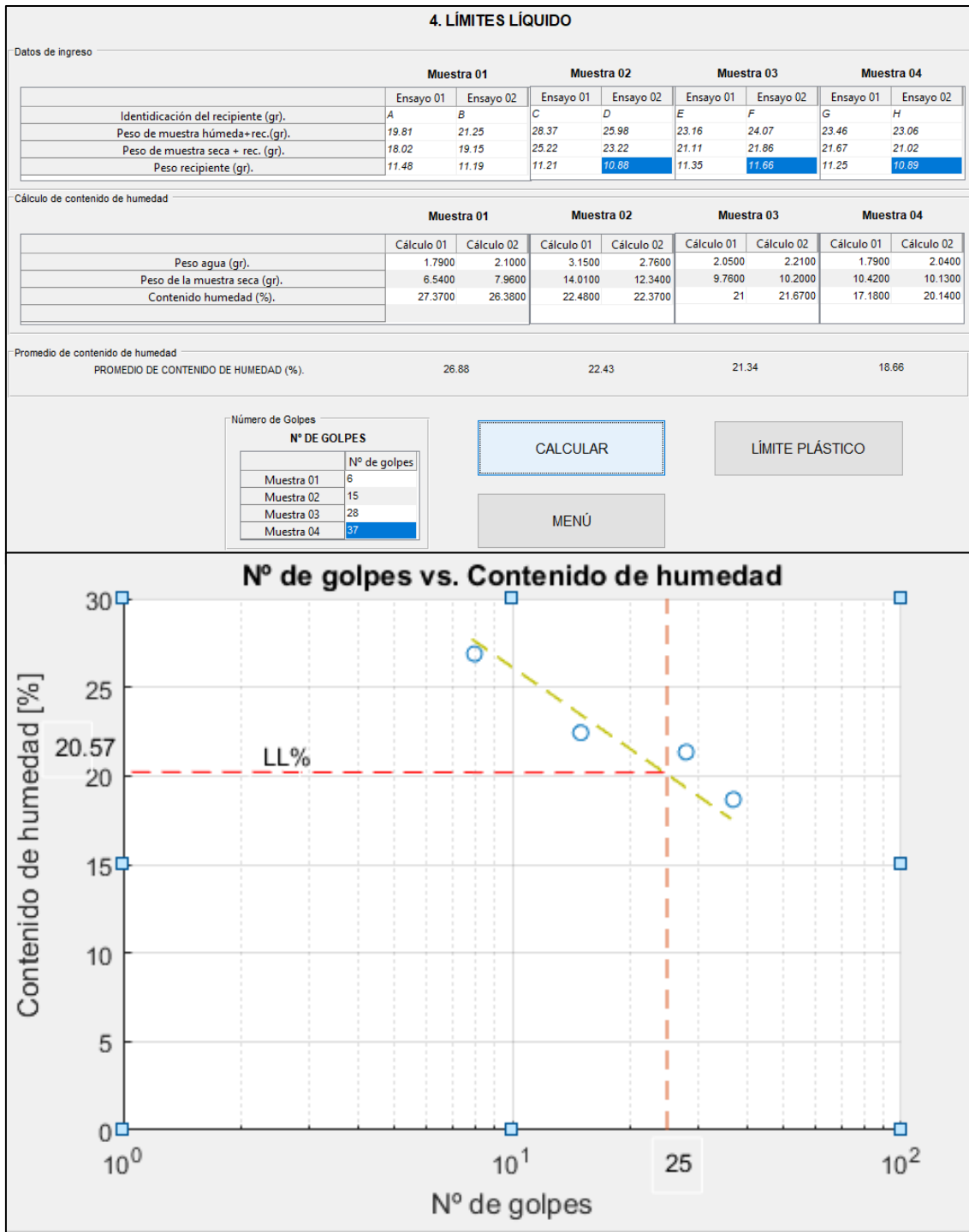


Figura 22. Límite Líquido, muestra N°02, captura de programa

Fuente: Merino Jiménez Steven David

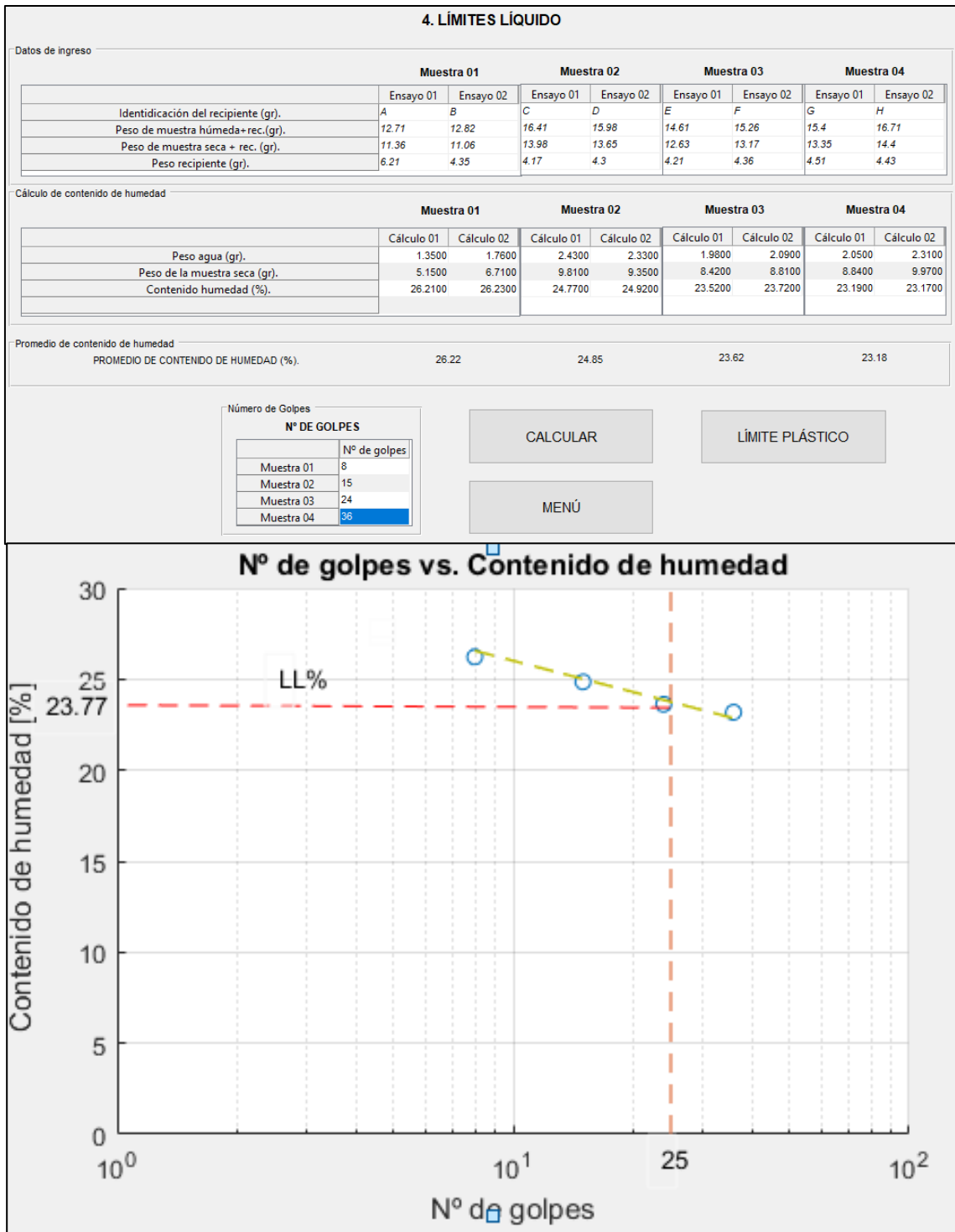


Figura 23. Límite Líquido, muestra N°03, captura de programa

Fuente: Merino Jiménez Steven David

3.1.5. Límite Plástico

Normas

NORMA ASTM: D-424-71.

NORMA AASHTO: T-90-70.

NORMA INEN: 691.

Nomenclatura

W_{hr} , Peso de la muestra húmeda más el peso del recipiente.

W_{sr} , Peso de la muestra seca más el peso del recipiente.

W_w , Peso del agua.

W_r , Peso del recipiente.

W_s , Peso de la muestra seca.

$\omega\%_1$, Contenido de humedad del primer recipiente.

$\omega\%_2$, Contenido de humedad del segundo recipiente.

$\omega_p\%$, Contenido de humedad promedio.

3.1.5.1. Resolución manual, límite plástico

Cálculo para las muestras pertenecientes a la tabla N°. 11

MUESTRA N°. 01

Recipiente: A.

$$W_w = W_{hr} - W_{sr}$$

$$W_w = 7.03\text{gr.} - 6.82\text{gr.}$$

$$W_w = 0.21\text{gr.}$$

$$W_s = W_{sr} - W_r$$

$$W_s = 6.82\text{gr.} - 5.95\text{gr.}$$

$$W_s = 0.87\text{gr.}$$

$$\omega\%_1 = \frac{W_w}{W_s} * 100\%$$

$$\omega\%_1 = \frac{0.21\text{gr.}}{0.87\text{gr.}} * 100\%$$

$$\omega\%_1 = 0.87\%$$

Recipiente: B.

$$W_w = W_{hr} - W_{sr}$$

$$W_w = 12.02\text{gr.} - 11.77\text{gr.}$$

$$W_w = 0.25\text{gr.}$$

$$W_s = W_{sr} - W_r$$

$$W_s = 11.77\text{gr.} - 10.56\text{gr.}$$

$$W_s = 1.21\text{gr.}$$

$$\omega\%_2 = \frac{W_w}{W_s} * 100\%$$

$$\omega\%_2 = \frac{0.25\text{gr.}}{1.21\text{gr.}} * 100\%$$

$$\omega\%_2 = 20.66\%$$

Recipiente: C.

$$W_w = W_{hr} - W_{sr}$$

$$W_w = 11.83\text{gr.} - 11.63\text{gr.}$$

$$W_w = 0.20\text{ gr.}$$

$$W_s = W_{sr} - W_r$$

$$W_s = 11.63\text{gr.} - 10.79\text{gr.}$$

$$W_s = 0.84\text{gr.}$$

$$\omega\%_3 = \frac{W_w}{W_s} * 100\%$$

$$\omega\%_3 = \frac{0.20\text{gr.}}{0.84\text{gr.}}$$

$$\omega\%_3 = 22.81\%$$

Recipiente: D.

$$W_w = W_{hr} - W_{sr}$$

$$W_w = 6.89\text{gr.} - 6.71\text{gr.}$$

$$W_w = 0.18gr.$$

$$W_s = W_{sr} - W_r$$

$$W_s = 6.71gr. - 5.83gr.$$

$$W_s = 0.88gr.$$

$$\omega\%_5 = \frac{W_w}{W_s} * 100\%$$

$$\omega\%_5 = \frac{0.18}{0.88} * 100\%$$

$$\omega\%_5 = 20.45\%$$

Recipiente: E.

$$W_w = W_{hr} - W_{sr}$$

$$W_w = 7.60gr. - 7.31gr.$$

$$W_w = 7.31gr.$$

$$W_s = W_{sr} - W_r$$

$$W_s = 7.31gr. - 6.03gr.$$

$$W_s = 1.28gr.$$

$$\omega\%_1 = \frac{W_w}{W_s} * 100\%$$

$$\omega\%_1 = \frac{0.29gr.}{1.28gr.} * 100\%$$

$$\omega\%_1 = 22.66\%$$

Recipiente: F.

$$W_w = W_{hr} - W_{sr}$$

$$W_w = 7.74gr. - 7.44gr.$$

$$W_w = 0.30gr.$$

$$W_s = W_{sr} - W_r$$

$$W_s = 7.44gr. - 6.14gr.$$

$$W_s = 1.30gr.$$

$$\omega\%_6 = \frac{W_w}{W_s} * 100\%$$

$$\omega\%_6 = \frac{0.30\text{gr.}}{1.30\text{gr.}}$$

$$\omega\%_6 = 23.08\%$$

$$\omega_p\% = \frac{\omega\%_1 + \omega\%_2 + \omega\%_3 + \omega\%_4 + \omega\%_5 + \omega\%_6}{6}$$

$$\omega_p\% = \frac{24.14\% + 20.66\% + 23.81\% + 23.81\% + 20.45\% + 22.66\% + 23.08\%}{6}$$

$$\omega_p\% = 22.47\%$$

$$LL\% = 28.60\%$$

$$LP\% = 22.47\%$$

$$IP\% = 28.60\% - 22.47\%$$

$$IP\% = 6.13\%$$

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
ENSAYO: "LÍMITE PLÁSTICO"						
NORMA AASHTO: T-90-70						
MUESTRA N°: 01						
N° RECIPIENTE	A	B	C	D	E	F
PESO DEL RECIPIENTE W _r (gr)	5,95	10,56	10,79	5,83	6,03	6,14
PESO HÚMEDO + RECIPIENTE (W _m +W _r) (gr)	7,03	12,02	11,83	6,89	7,6	7,74
PESO SECO + RECIPIENTE (W _s +W _r) (gr)	6,82	11,77	11,63	6,71	7,31	7,44
PESO AGUA (W _w) (gr)	0,21	0,25	0,2	0,18	0,29	0,3
PESO DE LA MUESTRA SECA (W _s)	0,87	1,21	0,84	0,88	1,28	1,3
CONTENIDO DE HUMEDAD W%	24,14	20,66	23,81	20,45	22,66	23,08
PROMEDIO W%	22,47					
LÍMITE LÍQUIDO LL (%)	28,60					
LÍMITE PLÁSTICO LP (%)	22,47					
ÍNDICE PLÁSTICO IP (%)	6,13					

Tabla 17. Límite Plástico, muestra N°01, resumen de cálculo manual

Fuente: Merino Jiménez Steven David

Cálculo para las muestras pertenecientes a la tabla N°. 12

MUESTRA N°. 02

Recipiente: A.

$$W_w = W_{hr} - W_{sr}$$

$$W_w = 12.61\text{gr.} - 12.34\text{gr.}$$

$$W_w = 0.27\text{gr.}$$

$$W_s = W_{sr} - W_r$$

$$W_s = 12.34\text{gr.} - 10.81\text{gr.}$$

$$W_s = 1.53\text{gr.}$$

$$\omega\%_1 = \frac{W_w}{W_s} * 100\%$$

$$\omega\%_1 = \frac{0.27\text{gr.}}{1.53\text{gr.}} * 100\%$$

$$\omega\%_1 = 17.65\%$$

Recipiente: B.

$$W_w = W_{hr} - W_{sr}$$

$$W_w = 11.83\text{gr.} - 11.65\text{gr.}$$

$$W_w = 0.18\text{gr.}$$

$$W_s = W_{sr} - W_r$$

$$W_s = 11.65\text{gr.} - 10.74\text{gr.}$$

$$W_s = 0.91\text{gr.}$$

$$\omega\%_2 = \frac{W_w}{W_s} * 100\%$$

$$\omega\%_2 = \frac{0.18\text{gr.}}{0.91\text{gr.}} * 100\%$$

$$\omega\%_2 = 19.78\%$$

Recipiente: C.

$$W_w = W_{hr} - W_{sr}$$

$$W_w = 11.79\text{gr.} - 11.72\text{gr.}$$

$$W_w = 0.07\text{ gr.}$$

$$W_s = W_{sr} - W_r$$

$$W_s = 11.63\text{gr.} - 10.79\text{gr.}$$

$$W_s = 0.37\text{gr.}$$

$$\omega\%_3 = \frac{W_w}{W_s} * 100\%$$

$$\omega\%_3 = \frac{0.07\text{gr.}}{0.37\text{gr.}}$$

$$\omega\%_3 = 18.92\%$$

Recipiente: D.

$$W_w = W_{hr} - W_{sr}$$

$$W_w = 13.03\text{gr.} - 12.67\text{gr.}$$

$$W_w = 0.36\text{gr.}$$

$$W_s = W_{sr} - W_r$$

$$W_s = 12.67\text{gr.} - 10.70\text{gr.}$$

$$W_s = 1.97\text{gr.}$$

$$\omega\%_4 = \frac{W_w}{W_s} * 100\%$$

$$\omega\%_4 = \frac{0.36}{1.97} * 100\%$$

$$\omega\%_4 = 20.45\%$$

Recipiente: E.

$$W_w = W_{hr} - W_{sr}$$

$$W_w = 12.84\text{gr.} - 12.52\text{gr.}$$

$$W_w = 0.32 \text{ gr.}$$

$$W_s = W_{sr} - W_r$$

$$W_s = 12.52 \text{ gr.} - 10.72 \text{ gr.}$$

$$W_s = 1.80 \text{ gr.}$$

$$\omega_{05} = \frac{W_w}{W_s} * 100\%$$

$$\omega_{05} = \frac{0.32 \text{ gr.}}{1.80 \text{ gr.}} * 100\%$$

$$\omega_{05} = 17.78\%$$

Recipiente: F.

$$W_w = W_{hr} - W_{sr}$$

$$W_w = 12.31 \text{ gr.} - 12.14 \text{ gr.}$$

$$W_w = 0.17 \text{ gr.}$$

$$W_s = W_{sr} - W_r$$

$$W_s = 12.14 \text{ gr.} - 10.80 \text{ gr.}$$

$$W_s = 1.34 \text{ gr.}$$

$$\omega_{06} = \frac{W_w}{W_s} * 100\%$$

$$\omega_{06} = \frac{0.17 \text{ gr.}}{1.34 \text{ gr.}}$$

$$\omega_{06} = 12.69\%$$

$$LL\% = 20.91\%$$

$$\omega_p\% = \frac{\omega_{01} + \omega_{02} + \omega_{03} + \omega_{04} + \omega_{05} + \omega_{06}}{6}$$

$$\omega_p\% = \frac{17.65\% + 19.78\% + 18.92\% + 18.27\% + 17.78\% + 12.69\%}{6}$$

$$\omega_p\% = 17.51\%$$

$$LP\% = 17.51\%$$

$$IP\% = 20.91\% - 17.51\%$$

$$IP\% = 3.40\%$$



 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
ENSAYO: "LÍMITE PLÁSTICO"						
NORMA AASHTO: T-90-70						
MUESTRA N°: 02						
N° RECIPIENTE	A	B	C	D	E	F
PESO DEL RECIPIENTE W_r (gr)	10,81	10,74	11,35	10,7	10,72	10,8
PESO HÚMEDO + RECIPIENTE (W_m+W_r)(gr)	12,61	11,83	11,79	13,03	12,84	12,31
PESO SECO + RECIPIENTE (W_s+W_r) (gr)	12,34	11,65	11,72	12,67	12,52	12,14
PESO AGUA (W_w) (gr)	0,27	0,18	0,07	0,36	0,32	0,17
PESO DE LA MUESTRA SECA (W_s)	1,53	0,91	0,37	1,97	1,8	1,34
CONTENIDO DE HUMEDAD W%	17,65	19,78	18,92	18,27	17,78	12,69
PROMEDIO W%	17,51					
LÍMITE LÍQUIDO LL (%)	20,91					
LÍMITE PLÁSTICO LP (%)	17,51					
ÍNDICE PLÁSTICO IP (%)	3,40					

Tabla 18. Límite Plástico, muestra N°02, resumen de cálculo manual

Fuente: Merino Jiménez Steven David

Cálculo para las muestras pertenecientes a la tabla N° . 13

MUESTRA N° . 03

Recipiente: A.

$$W_w = W_{hr} - W_{sr}$$

$$W_w = 8.28gr. - 8.18gr.$$

$$W_w = 0.10gr.$$

$$W_s = W_{sr} - W_r$$

$$W_s = 8.18gr. - 7.48gr.$$

$$W_s = 0.70gr.$$

$$\omega\%_1 = \frac{W_w}{W_s} * 100\%$$

$$\omega\%_1 = \frac{0.10gr.}{0.70gr.} * 100\%$$

$$\omega\%_1 = 14.29\%$$

Recipiente: B.

$$W_w = W_{hr} - W_{sr}$$

$$W_w = 7.02\text{gr.} - 6.85\text{gr.}$$

$$W_w = 0.17\text{gr.}$$

$$W_s = W_{sr} - W_r$$

$$W_s = 6.85\text{gr.} - 5.95\text{gr.}$$

$$W_s = 0.90\text{gr.}$$

$$\omega\%_{02} = \frac{W_w}{W_s} * 100\%$$

$$\omega\%_{02} = \frac{0.17\text{gr.}}{0.90\text{gr.}} * 100\%$$

$$\omega\%_{02} = 18.89\%$$

Recipiente: C.

$$W_w = W_{hr} - W_{sr}$$

$$W_w = 6.47\text{gr.} - 6.19\text{gr.}$$

$$W_w = 0.28\text{gr.}$$

$$W_s = W_{sr} - W_r$$

$$W_s = 6.19\text{gr.} - 4.36\text{gr.}$$

$$W_s = 1.83\text{gr.}$$

$$\omega\%_{03} = \frac{W_w}{W_s} * 100\%$$

$$\omega\%_{03} = \frac{0.28\text{gr.}}{1.83\text{gr.}}$$

$$\omega\%_{03} = 15.30\%$$

Recipiente: D.

$$W_w = W_{hr} - W_{sr}$$

$$W_w = 8.27\text{gr.} - 8.13\text{gr.}$$

$$W_w = 0.14\text{gr.}$$

$$W_s = W_{sr} - W_r$$

$$W_s = 8.13\text{gr.} - 7.48\text{gr.}$$

$$W_s = 0.65 \text{ gr.}$$

$$\omega\%_4 = \frac{W_w}{W_s} * 100\%$$

$$\omega\%_4 = \frac{0.14}{0.65} * 100\%$$

$$\omega\%_4 = 21.54\%$$

Recipiente: E.

$$W_w = W_{hr} - W_{sr}$$

$$W_w = 7.12 \text{ gr.} - 6.92 \text{ gr.}$$

$$W_w = 0.20 \text{ gr.}$$

$$W_s = W_{sr} - W_r$$

$$W_s = 6.92 \text{ gr.} - 5.95 \text{ gr.}$$

$$W_s = 0.97 \text{ gr.}$$

$$\omega\%_5 = \frac{W_w}{W_s} * 100\%$$

$$\omega\%_5 = \frac{0.20 \text{ gr.}}{0.97 \text{ gr.}} * 100\%$$

$$\omega\%_5 = 20.62\%$$

Recipiente: F.

$$W_w = W_{hr} - W_{sr}$$

$$W_w = 8.90 \text{ gr.} - 8.65 \text{ gr.}$$

$$W_w = 0.25 \text{ gr.}$$

$$W_s = W_{sr} - W_r$$

$$W_s = 8.68 \text{ gr.} - 7.46 \text{ gr.}$$

$$W_s = 1.19 \text{ gr.}$$

$$\omega\%_6 = \frac{W_w}{W_s} * 100\%$$

$$\omega\%_6 = \frac{0.25 \text{ gr.}}{1.19 \text{ gr.}}$$

$$\omega\%_6 = 21.01\%$$

$$\omega_p \% = \frac{\omega\%_1 + \omega\%_2 + \omega\%_3 + \omega\%_4 + \omega\%_5 + \omega\%_6}{6}$$

$$\omega_p \% = \frac{14.29\% + 18.89\% + 15.30\% + 21.54\% + 20.62\% + 21.01\%}{6}$$

$$\omega_p \% = 18.61\%$$

$$LL\% = 23.77\%$$

$$LP\% = 18.61\%$$

$$IP\% = LL\% - LP\%$$

$$IP\% = 5.16\%$$



 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 						
ENSAYO: "LÍMITE PLÁSTICO"						
NORMA AASHTO: T-90-70						
MUESTRA N°: 03						
N° RECIPIENTE	A	B	C	D	E	F
PESO DEL RECIPIENTE W_r (gr)	7,48	5,95	4,36	7,48	5,95	7,46
PESO HÚMEDO + RECIPIENTE (W_m+W_r)(gr)	8,28	7,02	6,47	8,27	7,12	8,9
PESO SECO + RECIPIENTE (W_s+W_r) (gr)	8,18	6,85	6,19	8,13	6,92	8,65
PESO AGUA (W_w) (gr)	0,1	0,17	0,28	0,14	0,2	0,25
PESO DE LA MUESTRA SECA (W_s)	0,7	0,9	1,83	0,65	0,97	1,19
CONTENIDO DE HUMEDAD W%	14,29	18,89	15,30	21,54	20,62	21,01
PROMEDIO W%	18,61					
LÍMITE LÍQUIDO LL (%)	23,77					
LÍMITE PLÁSTICO LP (%)	18,61					
ÍNDICE PLÁSTICO IP (%)	5,16					

Tabla 19. Límite Plástico, muestra N°03, resumen de cálculo manual

Fuente: Merino Jiménez Steven David

3.1.5.2. Resolución mediante el programa desarrollado, límite plástico

5. LÍMITE PLÁSTICO

Datos de ingreso

	Ensayo 01	Ensayo 02	Ensayo 03	Ensayo 04	Ensayo 05	Ensayo 06
Identificación del recipiente (gr).	A	B	C	D	E	F
Peso de muestra húmeda + rec. (gr).	7.03	12.02	11.83	6.89	7.6	7.74
Peso de muestra seca + rec. (gr).	6.82	11.77	11.63	6.71	7.31	7.44
Peso recipiente (gr).	5.95	10.56	10.79	5.83	6.03	6.14

Cálculo de contenido de humedad

	Cálculo 01	Cálculo 02	Cálculo 01	Cálculo 02	Cálculo 01	Cálculo 02
Peso agua (gr).	0.2100	0.2500	0.2000	0.1800	0.2900	0.3000
Peso de la muestra seca (gr).	0.8700	1.2100	0.8400	0.8800	1.2800	1.3000
Contenido humedad (%).	24.1400	20.6600	23.8100	20.4500	22.6600	23.0800

Promedio de contenido de humedad

PROMEDIO DE CONTENIDO DE HUMEDAD (%) 22.47

Índice Plástico

LÍMITE LÍQUIDO [%] 28.60 ÍNDICE PLÁSTICO [%] 6.13

CALCULAR MENÚ

Figura 24. Límite plástico, muestra N°01, captura de programa

Fuente: Merino Jiménez Steven David

5. LÍMITE PLÁSTICO

Datos de ingreso

	Ensayo 01	Ensayo 02	Ensayo 03	Ensayo 04	Ensayo 05	Ensayo 06
Identificación del recipiente (gr).	A	B	C	D	E	F
Peso de muestra húmeda + rec. (gr).	12.61	11.83	11.79	13.03	12.84	12.31
Peso de muestra seca + rec. (gr).	12.34	11.65	11.72	12.67	12.52	12.14
Peso recipiente (gr).	10.81	10.74	11.35	10.7	10.72	10.8

Cálculo de contenido de humedad

	Cálculo 01	Cálculo 02	Cálculo 01	Cálculo 02	Cálculo 01	Cálculo 02
Peso agua (gr).	0.2700	0.1800	0.0700	0.3600	0.3200	0.1700
Peso de la muestra seca (gr).	1.5300	0.9100	0.3700	1.9700	1.8000	1.3400
Contenido humedad (%).	17.6500	19.7800	18.9200	18.2700	17.7800	12.6900

Promedio de contenido de humedad

PROMEDIO DE CONTENIDO DE HUMEDAD (%) 17.51

Índice Plástico

LÍMITE LÍQUIDO [%] 20.91 ÍNDICE PLÁSTICO [%] 3.40

CALCULAR MENÚ

Figura 25. Límite plástico, muestra N°02, captura de programa

Fuente: Merino Jiménez Steven David

5. LÍMITE PLÁSTICO

Datos de ingreso

	Ensayo 01	Ensayo 02	Ensayo 03	Ensayo 04	Ensayo 05	Ensayo 06
Identificación del recipiente (gr).	A	B	C	D	E	F
Peso de muestra húmeda + rec. (gr).	8.28	7.02	6.47	8.27	7.12	8.9
Peso de muestra seca + rec. (gr).	8.18	6.85	6.19	8.13	6.92	8.65
Peso recipiente (gr).	7.48	5.95	4.36	7.48	5.95	7.46

Cálculo de contenido de humedad

	Cálculo 01	Cálculo 02	Cálculo 01	Cálculo 02	Cálculo 01	Cálculo 02
Peso agua (gr).	0.1000	0.1700	0.2800	0.1400	0.2000	0.2500
Peso de la muestra seca (gr).	0.7000	0.9000	1.8300	0.6500	0.9700	1.1900
Contenido humedad (%).	14.2900	18.8900	15.3000	21.5400	20.6200	21.0100

Promedio de contenido de humedad

PROMEDIO DE CONTENIDO DE HUMEDAD (%) 18.61

Índice Plástico

LÍMITE LÍQUIDO [%] 23.77

ÍNDICE PLÁSTICO [%] 5.16

CALCULAR

MENÚ

Figura 26. Límite plástico, muestra N°03, captura de programa

Fuente: Merino Jiménez Steven David

3.1.6. Límite de Contracción

Norma

NORMA AASHTO T-9268

NORMA ASTM D-427

Nomenclatura

gr= Representa a la unidad de gramos.

W_{CHg} =Representa al peso de la cápsula de contracción con mercurio.

W_C =Representa al peso de la cápsula de contracción.

W_{Hg} =Representa al peso del mercurio.

γ_{Hg} =Representa a la densidad del mercurio.

V_m =Representa al volumen del mercurio

$\omega\%$ =Representa al valor del contenido de humedad.

W_M =Representa al peso de la muestra húmeda y el recipiente.

W_{SC} =Representa al peso de la muestra seca y el recipiente.

W_W =Representa al peso del agua.

W_S =Representa al peso de los sólidos.

W_{LHg} =Representa al peso del cristal de lucita y el mercurio.

W_L =Representa al peso del cristal de lucita con desalojo de mercurio.

W_{DHg} =Representa al peso del mercurio desalojado.

V_O =Representa al volumen del suelo contraído.

$Lc\%$ =Representa al valor del límite contracción del suelo

3.1.6.1. Resolución manual, límite de contracción

MUESTRA N. °01

Cálculo para las muestras pertenecientes a la tabla N°. 14

Cápsula N.°01

Determinación del volumen del suelo húmedo moldeado

$$W_{CHg} = 283.80 \text{ gr}$$

$$W_C = 22.10 \text{ gr}$$

$$\gamma_{Hg} = 13.60 \text{ gr/cm}^3$$

Peso del mercurio

$$W_{Hg} = W_{CHg} - W_C$$

$$W_S = 283.80 \text{ gr} - 22.10 \text{ gr}$$

$$W_S = 261.70 \text{ gr}$$

Volumen del mercurio

$$\gamma_{Hg} = \frac{W_{Hg}}{V_{Hg}}$$

$$V_{Hg} = \frac{W_{Hg}}{\gamma_{Hg}}$$

$$V_{Hg} = \frac{261.70 \text{ gr}}{13.60 \text{ gr/cm}^3}$$

$$V_{Hg} = 19.31 \text{ cm}^3$$

$$V_m = V_{Hg} = 19.24 \text{ cm}^3$$

Determinación del contenido de humedad $\omega\%$

Peso del suelo seco

$$\begin{aligned}W_S &= W_{SC} - W_C \\W_S &= 47.98 \text{ gr} - 22.10 \text{ gr} \\W_S &= 29.44 \text{ gr}\end{aligned}$$

Peso del agua

$$\begin{aligned}W_W &= W_M - W_{SC} \\W_W &= 55.6 \text{ gr} - 47.98 \text{ gr} \\W_W &= 7.62 \text{ gr}\end{aligned}$$

Contenido de humedad $\omega\%$

$$\begin{aligned}\omega\% &= \frac{W_W}{W_S} * 100\% \\ \omega\% &= \frac{7.62 \text{ gr}}{25.88 \text{ gr}} * 100\% \\ \omega\% &= 29.44 \%\end{aligned}$$

Determinación del volumen del suelo seco moldeado

Peso del mercurio desalojado

$$\begin{aligned}W_{DHg} &= W_{LHg} - W_L \\W_{DHg} &= 749.90 \text{ gr} - 526.60 \text{ gr} \\W_{DHg} &= 223.30 \text{ gr}\end{aligned}$$

Volumen del mercurio

$$\begin{aligned}\gamma_{Hg} &= \frac{W_{DHg}}{V_{Hg}} \\V_{Hg} &= \frac{223.30 \text{ gr}}{13.60 \text{ gr/cm}^3} \\V_{Hg} &= 16.42 \text{ cm}^3\end{aligned}$$

Determinación del límite de contracción

$$\begin{aligned}Lc\% &= \left(\omega\% - \frac{(V_m - V_o) * \gamma_o}{W_S} \right) * 100\% \\Lc\% &= \left(0.2944 - \frac{(19.31 \text{ gr} - 16.42 \text{ gr}) * 1 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}}{25.88} \right) * 100\% \\Lc\% &= 18.54 \%\end{aligned}$$

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL		
ENSAYO: "LÍMITE DE CONTRACCIÓN"		
NORMA AASHTO 92-97		
MUESTRA N°: 01		
LÍMITE CONTRACCIÓN		
1. DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DEL SUELO HÚMEDO MOLDEADO		
Número de cápsula	1	#
Peso de la cápsula de contracción con mercurio	283,80	gr
Peso de la cápsula de contracción	22,10	gr
Peso del mercurio	261,70	gr
Densidad del mercurio	13,60	gr/cm ³
Volumen del mercurio	19,24	cm ³
2. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD		
Peso muestra húmeda + recipiente	55,60	gr
Peso muestra seca + recipiente	47,98	gr
Peso recipiente	22,10	gr
Peso de agua	7,62	gr
Peso Sólidos	25,88	gr
Contenido de humedad	29,44	%
3. DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DEL SUELO SECO MOLDEADO		
Peso cristal de lucita + mercurio	749,90	gr
Peso cristal de lucita con desalojo de mercurio	526,60	gr
Peso de mercurio desalojado	223,30	gr
Densidad del mercurio	13,60	gr/cm ³
Volumen del suelo contraído	16,42	cm ³
4. DETERMINACIÓN DEL LÍMITE DE CONTRACCIÓN (Lc%)		
	18,54	%

Tabla 20. Límite de contracción, muestra N°01, resumen de cálculo manual

Fuente: Merino Jiménez Steven David

MUESTRA N. °02

Cálculo para las muestras pertenecientes a la tabla N°. 15

Cápsula N.°02

Determinación del volumen del suelo húmedo moldeado

Peso del mercurio

$$W_{Hg} = W_{CHg} - W_C$$

$$W_S = 269.00 \text{ gr} - 22.90 \text{ gr}$$

$$W_S = 246.10 \text{ gr}$$

Volumen del mercurio

$$\gamma_{Hg} = \frac{W_{Hg}}{V_{Hg}}$$

$$V_{Hg} = \frac{W_{Hg}}{\gamma_{Hg}}$$

$$V_{Hg} = \frac{246.10 \text{ gr}}{13.60 \text{ gr/cm}^3}$$

$$V_{Hg} = 18.10 \text{ cm}^3$$

Determinación del contenido de humedad $\omega\%$

Peso del suelo seco

$$W_S = W_{SC} - W_C$$

$$W_S = 48.01 \text{ gr} - 23.10 \text{ gr}$$

$$W_S = 24.91 \text{ gr}$$

Peso del agua

$$W_W = W_M - W_{SC}$$

$$W_W = 55.12 \text{ gr} - 48.01 \text{ gr}$$

$$W_W = 7.11 \text{ gr}$$

Contenido de humedad $\omega\%$

$$\omega\% = \frac{W_W}{W_S} * 100\%$$

$$\omega\% = \frac{7.62 \text{ gr}}{24.91 \text{ gr}} * 100\%$$

$$\omega\% = 28.54 \%$$

Determinación del volumen del suelo seco moldeado

Peso del mercurio desalojado

$$W_{DHg} = W_{LHg} - W_L$$

$$W_{DHg} = 750.28 \text{ gr} - 517.78 \text{ gr}$$

$$W_{DHg} = 232.50 \text{ gr}$$

Volumen del mercurio

$$\gamma_{Hg} = \frac{W_{DHg}}{V_{Hg}}$$

$$V_{Hg} = \frac{232.50 \text{ gr}}{13.60 \text{ gr/cm}^3}$$

$$V_{Hg} = 17.10 \text{ cm}^3$$

Determinación del límite de contracción

$$L_c\% = \left(\omega\% - \frac{(V_m - V_o) * \gamma_o}{W_s} \right) * 100\%$$

$$L_c\% = \left(0.2854 - \frac{(18.16\text{gr} - 17.10\text{gr}) * 1 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}}{24.91} \right) * 100\%$$

$$L_c\% = 24.53\%$$


 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 		
ENSAYO: "LÍMITE DE CONTRACCIÓN"		
NORMA AASHTO 92-97		
MUESTRA N°: 02		
LÍMITE CONTRACCIÓN		
1. DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DEL SUELO HÚMEDO MOLDEADO		
Número de cápsula	2	#
Peso de la cápsula de contracción con mercurio	269,00	gr
Peso de la cápsula de contracción	22,90	gr
Peso del mercurio	246,10	gr
Densidad del mercurio	13,60	gr/cm ³
Volumen del mercurio	18,10	cm ³
2. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD		
Peso muestra húmeda + recipiente	55,12	gr
Peso muestra seca + recipiente	48,01	gr
Peso recipiente	23,10	gr
Peso de agua	7,11	gr
Peso Sólidos	24,91	gr
Contenido de humedad	28,54	%
3. DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DEL SUELO SECO MOLDEADO		
Peso cristal de lucita + mercurio	750,28	gr
Peso cristal de lucita con desalojo de mercurio	517,78	gr
Peso de mercurio desalojado	232,50	gr
Densidad del mercurio	13,60	gr/cm ³
Volumen del suelo contraído	17,10	cm ³
4. DETERMINACIÓN DEL LÍMITE DE CONTRACCIÓN (Lc%)	24.53	%

Tabla 21. Límite de contracción, muestra N°02, resumen de cálculo manual

Fuente: Merino Jiménez Steven David

MUESTRA N. °03

Cálculo para las muestras pertenecientes a la tabla N°. 15

Cápsula N. °03

Determinación del volumen del suelo húmedo moldeado

Peso del mercurio

$$W_{Hg} = W_{CHg} - W_C$$
$$W_S = 280.95 \text{ gr} - 21.90 \text{ gr}$$
$$W_S = 259.05 \text{ gr}$$

Volumen del mercurio

$$\gamma_{Hg} = \frac{W_{Hg}}{V_{Hg}}$$
$$V_{Hg} = \frac{259.05 \text{ gr}}{13.60 \text{ gr/cm}^3}$$
$$V_{Hg} = 19.05 \text{ cm}^3$$

Determinación del contenido de humedad $\omega\%$

Peso del suelo seco

$$W_S = W_{SC} - W_C$$
$$W_S = 49.23 \text{ gr} - 25.13 \text{ gr}$$
$$W_S = 24.10 \text{ gr}$$

Peso del agua

$$W_W = W_M - W_{SC}$$
$$W_W = 56.47 \text{ gr} - 49.23 \text{ gr}$$
$$W_W = 7.24 \text{ gr}$$

Contenido de humedad $\omega\%$

$$\omega\% = \frac{W_W}{W_S} * 100\%$$
$$\omega\% = \frac{7.24 \text{ gr}}{24.10 \text{ gr}} * 100\%$$
$$\omega\% = 30.04 \%$$

Determinación del volumen del suelo seco moldeado

Peso del mercurio desalojado

$$W_{DHg} = W_{LHg} - W_L$$
$$W_{DHg} = 748.85 \text{ gr} - 527.12 \text{ gr}$$
$$W_{DHg} = 221.73 \text{ gr}$$

Volumen del mercurio

$$\gamma_{Hg} = \frac{W_{DHg}}{V_{Hg}}$$

$$V_{Hg} = \frac{221.73 \text{ gr}}{13.60 \text{ gr/cm}^3}$$

$$V_{Hg} = 16.30 \text{ cm}^3$$

Determinación del límite de contracción

$$Lc\% = \left(\omega\% - \frac{(V_m - V_o) * \gamma_o}{W_s} \right) * 100\%$$

$$Lc\% = \left(0.3004 - \frac{(19.00 \text{ gr} - 16.30 \text{ gr}) * 1 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}}{24.10} \right) * 100\%$$

$$Lc\% = 18.63 \%$$



 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 		
ENSAYO: "LÍMITE DE CONTRACCIÓN"		
NORMA AASHTO 92-97		
MUESTRA N°: 03		
LÍMITE CONTRACCIÓN		
1. DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DEL SUELO HÚMEDO MOLDEADO		
Número de cápsula	3	#
Peso de la cápsula de contracción con mercurio	280,95	gr
Peso de la cápsula de contracción	21,9	gr
Peso del mercurio	259,05	gr
Densidad del mercurio	13,60	gr/cm ³
Volumen del mercurio	19,05	cm ³
2. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD		
Peso muestra húmeda + recipiente	56,47	gr
Peso muestra seca + recipiente	49,23	gr
Peso recipiente	25,13	gr
Peso de agua	7,24	gr
Peso Sólidos	24,10	gr
Contenido de humedad	30,04	%
3. DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DEL SUELO SECO MOLDEADO		
Peso cristal de lucita + mercurio	748,85	gr
Peso cristal de lucita con desalojo de mercurio	527,12	gr
Peso de mercurio desalojado	221,73	gr
Densidad del mercurio	13,60	gr/cm ³
Volumen del suelo contraído	16,30	cm ³
4. DETERMINACIÓN DEL LÍMITE DE CONTRACCIÓN (Lc%)	18.63	%

Tabla 22. Límite de contracción, muestra N°03, resumen de cálculo manual

Fuente: Merino Jiménez Steven David

3.1.6.2. Resolución mediante el programa desarrollado, límite de contracción

6. LÍMITE DE CONTRACCIÓN

1. Determinación del volumen suelo húmedo

	Ensayo 01
Peso cápsula de contracción+mercurio(gr)	283.8
Peso cápsula de contracción(gr)	22.1
Densidad del mercurio (gr/cm ³)	13.80
Peso del mercurio (gr)	261.7
Volumen del mercurio (cm³)	19.24

2. Determinación del contenido de humedad

	Ensayo 01
Identificación (r)	1
Peso muestra húmeda+recipiente (gr).	55.6
Peso muestra seca+ recipiente (gr).	47.98
Peso recipiente gr.	22.1
Peso agua (Ww) gr.	7.6200
Peso de la muestra seca (Ws) gr.	25.8800
Contenido humedad ((Ww/Ws)*100) %.	29.4400

CALCULAR

MENÚ

3. Determinación del volumen del suelo húmedo

	Ensayo 01
Peso cristal de lucita+mercurio (gr)	749.9
Peso C. lucita y desalojo de mercurio(gr)	526.6
Densidad del mercurio (gr/cm ³)	13.60
Peso del mercurio desalojado(gr)	223.3
Volumen del mercurio (cm³)	16.42

4. Resultado

LÍMITE DE CONTRACCIÓN (Lc%)	18.54
------------------------------------	--------------

Figura 27. Límite de contracción, muestra N°01, captura de programa

Fuente: Merino Jiménez Steven David

6. LÍMITE DE CONTRACCIÓN

1. Determinación del volumen suelo húmedo

		Ensayo 01
Peso cápsula de contracción+mercurio(gr)		289.00
Peso cápsula de contracción(gr)		22.90
Densidad del mercurio (gr/cm ³)		13.60
Peso del mercurio (gr)		246.1
Volumen del mercurio (cm ³)		18.1

2. Determinación del contenido de humedad

		Ensayo 01
Identificación (r)		2
Peso muestra húmeda+recipiente (gr).		55.12
Peso muestra seca+recipiente (gr).		48.01
Peso recipiente gr.		23.10
Peso agua (Ww) gr.		7.1100
Peso de la muestra seca (Ws) gr.		24.9100
Contenido humedad ((Ww/Ws)*100) %.		28.5400

CALCULAR

MENÚ

3. Determinación del volumen del suelo húmedo

		Ensayo 01
Peso cristal de lucita+mercurio (gr)		750.28
Peso C. lucita y desalojo de mercurio(gr)		517.78
Densidad del mercurio (gr/cm ³)		13.60
Peso del mercurio desalojado(gr)		232.5
Volumen del mercurio (cm ³)		17.1

4. Resultado

LÍMITE DE CONTRACCIÓN (Lc%) 24.53

Figura 28. Límite de contracción, muestra N°02, captura de programa

Fuente: Merino Jiménez Steven David

6. LÍMITE DE CONTRACCIÓN

1. Determinación del volumen suelo húmedo

		Ensayo 01
Peso cápsula de contracción+mercurio(gr)		280.95
Peso cápsula de contracción(gr)		21.90
Densidad del mercurio (gr/cm ³)		13.60
Peso del mercurio (gr)		259.05
Volumen del mercurio (cm ³)		19.05

2. Determinación del contenido de humedad

		Ensayo 01
Identificación (r)		2
Peso muestra húmeda+recipiente (gr).		56.47
Peso muestra seca+recipiente (gr).		49.23
Peso recipiente gr.		25.13
Peso agua (Ww) gr.		7.2400
Peso de la muestra seca (Ws) gr.		24.1000
Contenido humedad ((Ww/Ws)*100) %.		30.0400

CALCULAR

MENÚ

3. Determinación del volumen del suelo húmedo

		Ensayo 01
Peso cristal de lucita+mercurio (gr)		748.85
Peso C. lucita y desalojo de mercurio(gr)		527.12
Densidad del mercurio (gr/cm ³)		13.60
Peso del mercurio desalojado(gr)		221.73
Volumen del mercurio (cm ³)		16.3

4. Resultado

LÍMITE DE CONTRACCIÓN (Lc%) 18.63

Figura 29. Límite de contracción, muestra N°03, captura de programa

Fuente: Merino Jiménez Steven David

3.1.7. Clasificación de Suelos SUCS

NORMAS

NORMA ASTM C117-C135

NOMENCLATURA

D_{10} , Diámetro que pasa el 10%.

D_{30} , Diámetro que pasa el 30%.

D_{60} , Diámetro que pasa el 60%.

C_u , Coeficiente de uniformidad.

C_c , Coeficiente de curvatura.

LL , Límite líquido (%).

LP , Límite plástico (%).

IP , Índice plástico (%).

3.1.7.1. Resolución manual, clasificación de suelos SUCS.

Cálculo para las muestras pertenecientes a la tabla N°. 17

MUESTRA N.º 01

Cálculo de coeficiente de curvatura

Los siguientes diámetros se han recolectado del ensayo de granulometría

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} * D_{60}}$$
$$C_c = \frac{(1.30mm)^2}{0.14mm * 9.80mm}$$
$$C_c = 1.23$$

Cálculo de coeficiente de uniformidad

Los siguientes diámetros se han recolectado del ensayo de granulometría

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$
$$C_u = \frac{9.80mm}{0.14mm}$$

$$Cu = 70.00$$

Porcentaje que pasa el tamiz #4

1. Primera condición: grava o arena

% Que pasa #4 = 45.81% < 50%. **Se trata de gravas, "G".

2. Segunda condición: Solo grava o grava arcillosa o limosa

% Que pasa #200 = 5 < 5.18% < 12

**Se trata de grava bien o pobremente graduada con partículas de limo o arcilla según el gráfico de plasticidad del SUCS.

LL=28.60%

IP=6.13%

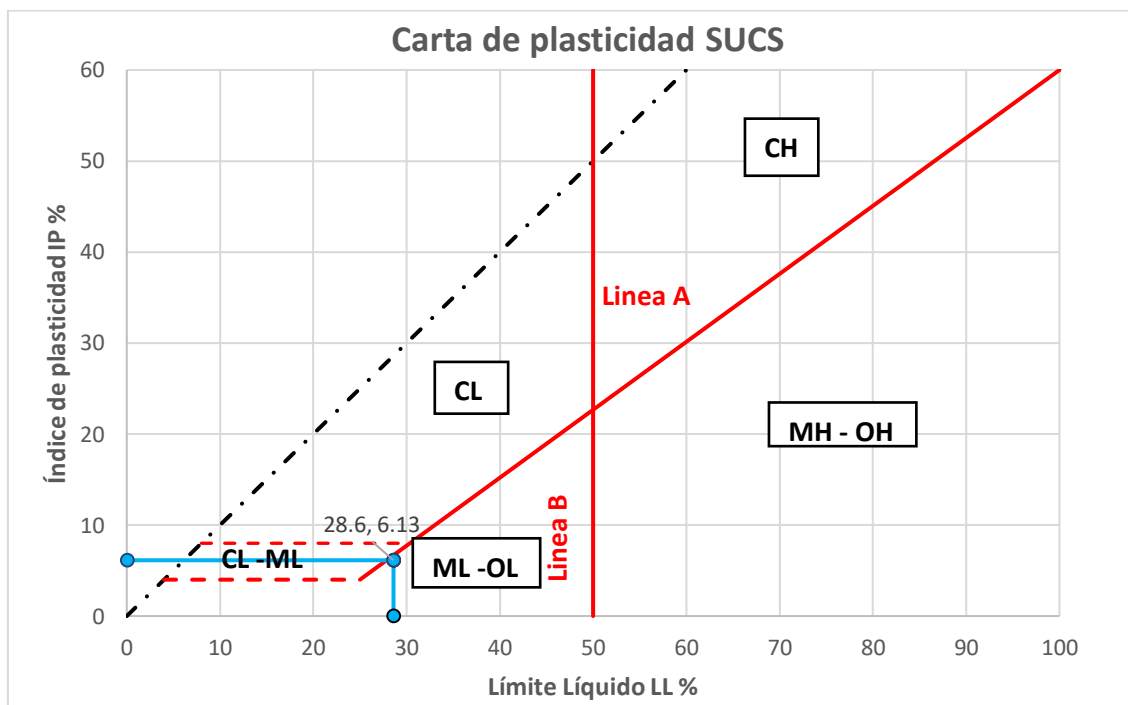


Figura 30. Carta de plasticidad SUCS, muestra N°.01

Fuente: Merino Jiménez Steven David

** Corresponde a una grava limosa.

3. Tercera condición: Si la grava limosa es bien o pobremente graduada

$Cu = 70.00$, $Cc = 1.23$.

$C_u > 4 ; 1 \leq C_c \leq 3$ ****Si cumple con la condición por lo cual se confirma que es una grava bien graduada “GW-GM”.**

MUESTRA N.º 02

Cálculo de coeficiente de curvatura

Los siguientes diámetros se han recolectado del ensayo de granulometría

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} * D_{60}}$$
$$C_c = \frac{(1.80mm)^2}{0.19mm * 12.50mm}$$
$$C_c = 1.36$$

Cálculo de coeficiente de uniformidad

Los siguientes diámetros se han recolectado del ensayo de granulometría

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$
$$C_u = \frac{12.50mm}{0.19mm}$$
$$C_u = 65.79$$

Porcentaje que pasa el tamiz #4

4. Primera condición: grava o arena

% Que pasa #4 = 42.23% < 50%. ****Se trata de gravas, “G”.**

5. Segunda condición: Solo grava o grava arcillosa o limosa

% Que pasa #200 = 4.01% < 5%. ****Se trata de gravas bien graduadas “GW”,
o gravas pobremente graduadas “GP”.**

6. Tercera condición: Si la grava es bien o pobremente graduada

$C_u = 65.79, C_c = 1.36.$

$C_u > 4 ; 1 \leq C_c \leq 3$ ****Si cumple con la condición por lo cual se confirma que es una grava bien graduada “GW”.**

MUESTRA N.º 03

Cálculo de coeficiente de curvatura

Los siguientes diámetros se han recolectado del ensayo de granulometría

$$Cc = \frac{D_{30}^2}{D_{10} * D_{60}}$$

$$Cc = \frac{(1.20mm)^2}{0.17mm * 12.40mm}$$

$$Cc = 0.68$$

Cálculo de coeficiente de uniformidad

Los siguientes diámetros se han recolectado del ensayo de granulometría

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

$$Cu = \frac{12.40mm}{0.17mm}$$

$$Cu = 72.94$$

Porcentaje que pasa el tamiz #4

7. Primera condición: grava o arena

% Que pasa #4 = 45.14% < 50%. ****Se trata de gravas, “G”.**

8. Segunda condición: Solo grava o grava arcillosa o limosa

% Que pasa #200 = 4.13% < 5%. ****Se trata de gravas bien graduadas “GW”,
o gravas pobremente graduadas “GP”.**

9. Tercera condición: Si la grava es bien o pobremente graduada

Cu = 72.94, Cc=0.68.

Cu > 4 ; 1 <= Cc <= 3 ****No cumple con la condición por lo cual se
confirma que es una grava pobremente graduada “GP”.**

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
ENSAYO: "CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR"								
NORMA: ASTM D-3282								
MUESTRA N°1		MUESTRA N°2		MUESTRA N°3				
PORCENTAJE QUE PASA DE TAMICES								
#4	45,81	#4	42,23	#4	45,14			
#200	5,18	#200	4,01	#200	4,13			
Observaciones	Tamiz #4 < 50%, Se trata de Grava, Analizar Cc y	Observaciones	Tamiz #4 < 50%, Se trata de Grava, Analizar Cc y	Observaciones	Tamiz #4 < 50%, Se trata de Grava, Analizar Cc y			
	5% < Tamiz #200 < 12%,		Tamiz #200 < 5%, Solo material grueso		Tamiz #200 < 5%, Solo material grueso			
	Ánalisis con cartilla de plasticidad		Ánalisis sin cartilla de plasticidad		Ánalisis sin cartilla de plasticidad			
DIÁMETROS DE PORCENTAJE QUE PASA								
D10	D30	D60	D10	D30	D60	D10	D30	D60
0,14	1,30	9,80	0,19	1,80	12,50	0,17	1,20	12,40
COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD (Cu) y COEFICIENTE DE CURVATURA (Cc)								
Condición a analizar para todas las muestra: $Cu > 4$ $1 \leq Cc \leq 3$, para GW ó GP								
Cu	72,94	GP	Cu	65,79	GW	Cu	70,0	GW
Cc	0,68		Cc	1,36		Cc	1,2	
Grava pobremente graduada		Grava bien graduada		Grava bien graduada				
ANÁLISIS CON CARTA DE PLASTICIDAD EN MUESTRA N°01								
Límites de Atterberg muestra N°01		Se trata de una grava pobremente graduada con partículas de limo						
IP %	6,13							
LL %	28,60							
LP %	22,47							

Tabla 23. Clasificación de suelos SUCS, 3 muestras, resumen de cálculo manual

Fuente: Merino Jiménez Steven David

3.1.7.2. Resolución mediante el programa desarrollado, clasificación de suelos SUCS

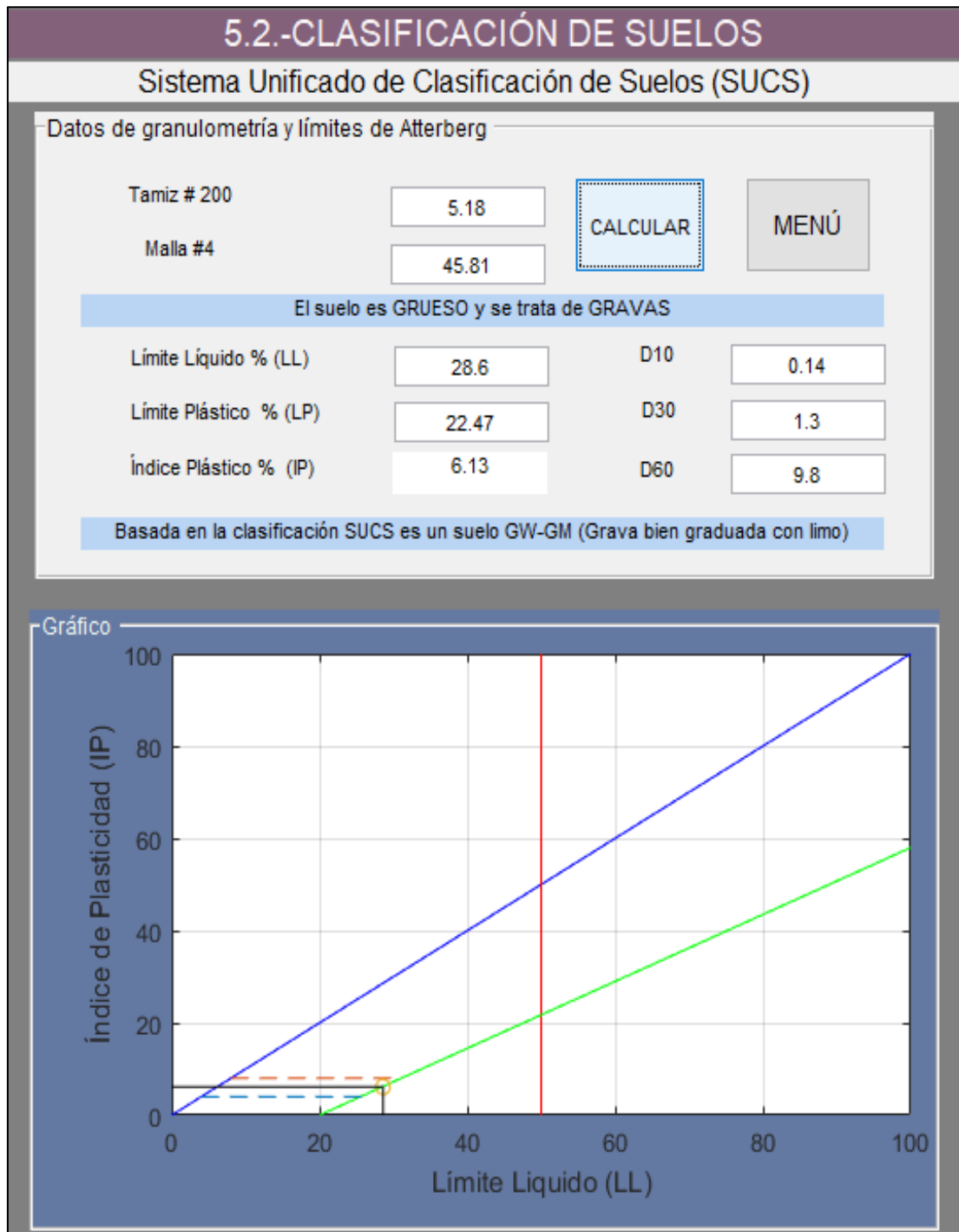


Figura 31. Clasificación de suelos SUCS, muestra N°01, captura de programa

Fuente: Merino Jiménez Steven David

5.2.-CLASIFICACIÓN DE SUELOS
Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)

Datos de granulometría y límites de Atterberg

Tamiz # 200	<input type="text" value="4.01"/>	CALCULAR	MENÚ
Malla #4	<input type="text" value="42.23"/>		

El suelo es GRUESO y se trata de GRAVAS

Límite Líquido % (LL)	<input type="text"/>	D10	<input type="text" value="0.19"/>
Límite Plástico % (LP)	<input type="text"/>	D30	<input type="text" value="1.80"/>
Índice Plástico % (IP)	<input type="text" value="0"/>	D60	<input type="text" value="12.50"/>

Basada en la clasificación SUCS es un suelo GW (Grava bien graduada)

Figura 32. Clasificación de suelos SUCS, muestra N°02, captura de programa

Fuente: Merino Jiménez Steven David

5.2.-CLASIFICACIÓN DE SUELOS
Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)

Datos de granulometría y límites de Atterberg

Tamiz # 200	<input type="text" value="4.13"/>	CALCULAR	MENÚ
Malla #4	<input type="text" value="45.14"/>		

El suelo es GRUESO y se trata de GRAVAS

Límite Líquido % (LL)	<input type="text"/>	D10	<input type="text" value="0.19"/>
Límite Plástico % (LP)	<input type="text"/>	D30	<input type="text" value="1.80"/>
Índice Plástico % (IP)	<input type="text" value="0"/>	D60	<input type="text" value="12.50"/>

Basada en la clasificación SUCS es un suelo GW (Grava bien graduada)

Figura 33. Clasificación de suelos SUCS, muestra N°03, captura de programa

Fuente: Merino Jiménez Steven David

3.1.8. Clasificación de Suelos AASHTO

NORMAS

NORMA

NOMENCLATURA

IG, Índice de grupo.

LL, Límite líquido (%).

LP, Límite plástico (%).

IP, Índice plástico (%).

3.1.8.1. Resolución manual, clasificación de suelos AASHTO

Cálculo para las muestras pertenecientes a la tabla N°. 18

MUESTRA N.º 01

Cálculo del índice de grupo

$$IG = 0.2(a) + 0.005(a)(c) + 0.01(b)(d)$$

a: % que pasa Tamiz N°.200

35%(min) - 75%(máx)

0 40

% Que pasa tamiz#200 = 5.18%

$$a = 0$$

b: % que pasa Tamiz N°.200

15%(min) - 55%(máx)

0 40

% Que pasa tamiz#200 = 5.18%

$$b = 0$$

c: % Límite líquido LL

40%(min) - 60%(máx)

0 20

LL % = 28.60%

$$c = 0$$

d: % Índice plástico IP

10%(min) - 30%(máx)

$$0 \quad 20$$

$$IP \% = 6.13\%$$

$$d = 0$$

$$IG = 0.2(0) + 0.005(0)(0) + 0.01(0)(0)$$

$$IG = 0$$

Límite líquido LL%

$$LL \% = 28.60\%$$

Índice plástico IP%

$$IP \% = 6.13\%$$

DIVISIÓN GENERAL	MATERIALES GRANULARES (pasa menos del 35% por el tamiz ASTM #200)								MATERIALES LIMO -ARCILLOSOS (más del 35% por el tamiz ASTM #200)				
GRUPO	A-1			A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7	
Subgrupo	A-1-a	A-1-b			A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5	A-7-6
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICOS (% que pasa por cada tamiz)													
Serie ASTM	#10	<=50											
	#40	<=30	<=50	<=50	>=51								
	#200	<=15	<=25	<=25	<=10	<=35	<=35	<=35	<=35	>=36	>=36	>=36	>=36
ESTADO DE CONSISTENCIA (de la fracción de suelo que pasa por el tamiz ASTM #40)													
Límite Líquido				NP	<=40	>=41	<=40	<=41	<=40	>=41	<=40	>41 (IP<LL=30)	>41 (IP>LL=30)
Índice de plasticidad		<=6			<=10	<=10	>=11	>=11	<=10	<=10	>=11	>=11	>=11
Índice de grupo		0		0	0		<=4		<=8	<=12	<=20	<=20	
Tipología	Fragmentos de piedra, grava y arena			Arena fina	Gravas y arenas limosas o arcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos		
Calidad	EXCELENTE A BUENA						ACEPTABLE A MALA						

Figura 34. Cuadro de clasificación de suelos AASHTO, muestra N°01, cálculo manual

Fuente: Merino Jiménez Steven David

Grupo perteneciente de la muestra N°.01: A-2-4, gravas y arenas limosas o arcillosas

MUESTRA N.º 02

Cálculo del índice de grupo

$$IG = 0.2(a) + 0.005(a)(c) + 0.01(b)(d)$$

a: % que pasa Tamiz N.º.200

35%(min) - 75%(máx)

1 40

% Que pasa tamiz#200 = 4.01%

$$a = 0$$

b: % que pasa Tamiz N.º.200

15%(min) - 55%(máx)

1 40

% Que pasa tamiz#200 = 4.01%

$$b = 0$$

c: % Límite líquido LL

40%(min) - 60%(máx)

1 20

$$LL \% = 20.91\%$$

$$c = 0$$

d: % Índice plástico IP

10%(min) - 30%(máx)

1 20

$$IP \% = 3.40\%$$

$$d = 0$$

$$IG = 0.2(0) + 0.005(0)(0) + 0.01(0)(0)$$

$$IG = 0$$

Límite líquido LL%

$$LL \% = 20.91\%$$

Índice plástico IP%

$$IP \% = 3.40\%$$

DIVISIÓN GENERAL	MATERIALES GRANULARES (pasa menos del 35% por el tamiz ASTM #200)								MATERIALES LIMO -ARCILLOSOS (más del 35% por el tamiz ASTM #200)					
GRUPO	A-1			A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7		
Subgrupo	A-1-a		A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5	A-7-6	
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICOS (% que pasa por cada tamiz)														
Serie ASTM	#10	<=50												
	#40	<=30	<=50	<=50	>=51									
	#200	<=15	<=25	<=25	<=10	<=35	<=35	<=35	<=35	>=36	>=36	>=36	>=36	>=36
ESTADO DE CONSISTENCIA (de la fracción de suelo que pasa por el tamiz ASTM #40)														
Límite Líquido					<=40	>=41	<=40	<=41	<=40	>=41	<=40	>41 (IP<LL=30)	>41 (IP>LL=30)	
Índice de plasticidad	<=6			NP	<=10	<=10	>=11	>=11	<=10	<=10	>=11	>=11	>=11	
Índice de grupo	0		0	0	0			<=4	<=8	<=12	<=20	<=20		
Tipología	Fragmentos de piedra, grava y arena		Arena fina	Gravas y arenas limosas o arcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos				
Calidad	EXCELENTE A BUENA							ACEPTABLE A MALA						

Figura 35. Cuadro de clasificación de suelos AASHTO, muestra N°02, cálculo manual

Fuente: Merino Jiménez Steven David

Grupo perteneciente de la muestra N°.02: A-2-4, gravas y arenas limosas o arcillosas

MUESTRA N.º 03

Cálculo del índice de grupo

$$IG = 0.2(a) + 0.005(a)(c) + 0.01(b)(d)$$

a: % que pasa Tamiz N°.200

$$35\%(\text{min}) - 75\%(\text{/máx})$$

$$\frac{2}{40}$$

$$\% \text{ Que pasa tamiz\#200} = 4.13\%$$

$$a = 0$$

b: % que pasa Tamiz N°.200

$$15\%(\text{min}) - 55\%(\text{/máx})$$

$$\frac{2}{40}$$

$$\% \text{ Que pasa tamiz\#200} = 4.13\%$$

$$b = 0$$

c: % Límite líquido LL

$$40\%(\text{min}) - 60\%(\text{/máx})$$

2 20

$$LL \% = 23.77\%$$

$$c = 0$$

d: % Índice plástico IP

10%(min) - 30%(máx)

2 20

$$IP \% = 18.61\%$$

$$d = 0$$

$$IG = 0.2(0) + 0.005(0)(0) + 0.01(0)(0)$$

$$IG = 0$$

Límite líquido LL%

$$LL \% = 23.77\%$$

Índice plástico IP%

$$IP \% = 5.16\%$$

DIVISIÓN GENERAL	MATERIALES GRANULARES (pasa menos del 35% por el tamiz ASTM #200)								MATERIALES LIMO -ARCILLOSOS (más del 35% por el tamiz ASTM #200)					
	A-1			A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7		
Subgrupo	A-1-a	A-1-b	A-2-4		A-2-5	A-2-6	A-2-7	A-7-5				A-7-6		
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICOS (% que pasa por cada tamiz)														
Serie ASTM	#10	<=50												
	#40	<=30	<=50	<=50	>=51									
	#200	<=15	<=25	<=25	<=10	<=35	<=35	<=35	<=35	>=36	>=36	>=36	>=36	>=36
ESTADO DE CONSISTENCIA (de la fracción de suelo que pasa por el tamiz ASTM #40)														
Límite Líquido					<=40	>=41	<=40	<=41	<=40	>=41	<=40	>41 (IP<LL=30)	>41 (IP>LL=30)	
Índice de plasticidad		<=6			<=10	<=10	>=11	>=11	<=10	<=10	>=11	>=11	>=11	
Índice de grupo		0	0	0	0		<=4		<=8	<=12	<=20		<=20	
Tipología	Fragmentos de piedra, grava y arena		Arena fina	Gravas y arenas limosas o arcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos				
Calidad	EXCELENTE A BUENA							ACEPTABLE A MALA						

Figura 36. Cuadro de clasificación de suelos AASHTO, muestra N°03, cálculo manual

Fuente: Merino Jiménez Steven David

Grupo perteneciente de la muestra N°.03: A-2-4, gravas y arenas limosas o arcillosas



 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
ENSAYO: "CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR"					
NORMA AASHTO M-145					
Muestra N°1					
Límites de Atterberg %		Tamiz #	%PASA	Índice de grupo (IG)	
				= 0	
				a	0
LL	28,60	#10	34,79	b	0
LP	22,47	#40	19,76	c	0
IP	6,13	#200	5,18	d	0
Grupo muestra N°1		A-2-4, gravas y arenas limosas o arcillosas			
Muestra N°2					
Límites de Atterberg %		Tamiz #	%PASA	Índice de grupo (IG)	
				= 0	
				a	0
LL	20,91	#10	32,15	b	0
LP	17,51	#40	17,87	c	0
IP	3,4	#200	4,01	d	0
Grupo muestra N°2		A-2-4, gravas y arenas limosas o arcillosas			
Muestra N°3					
Límites de Atterberg %		Tamiz #	%PASA	Índice de grupo (IG)	
				= 0	
				a	0
LL	23,77	#10	37,10	b	0
LP	18,61	#40	25,17	c	0
IP	5,16	#200	4,13	d	0
Grupo muestra N°3		A-2-4, gravas y arenas limosas o arcillosas			

Tabla 24. Clasificación de suelos AASHTO, 3 muestras, resumen de cálculo manual

Fuente: Merino Jiménez Steven David

3.1.8.2. Resolución mediante el programa desarrollado, clasificación de suelos AASHTO

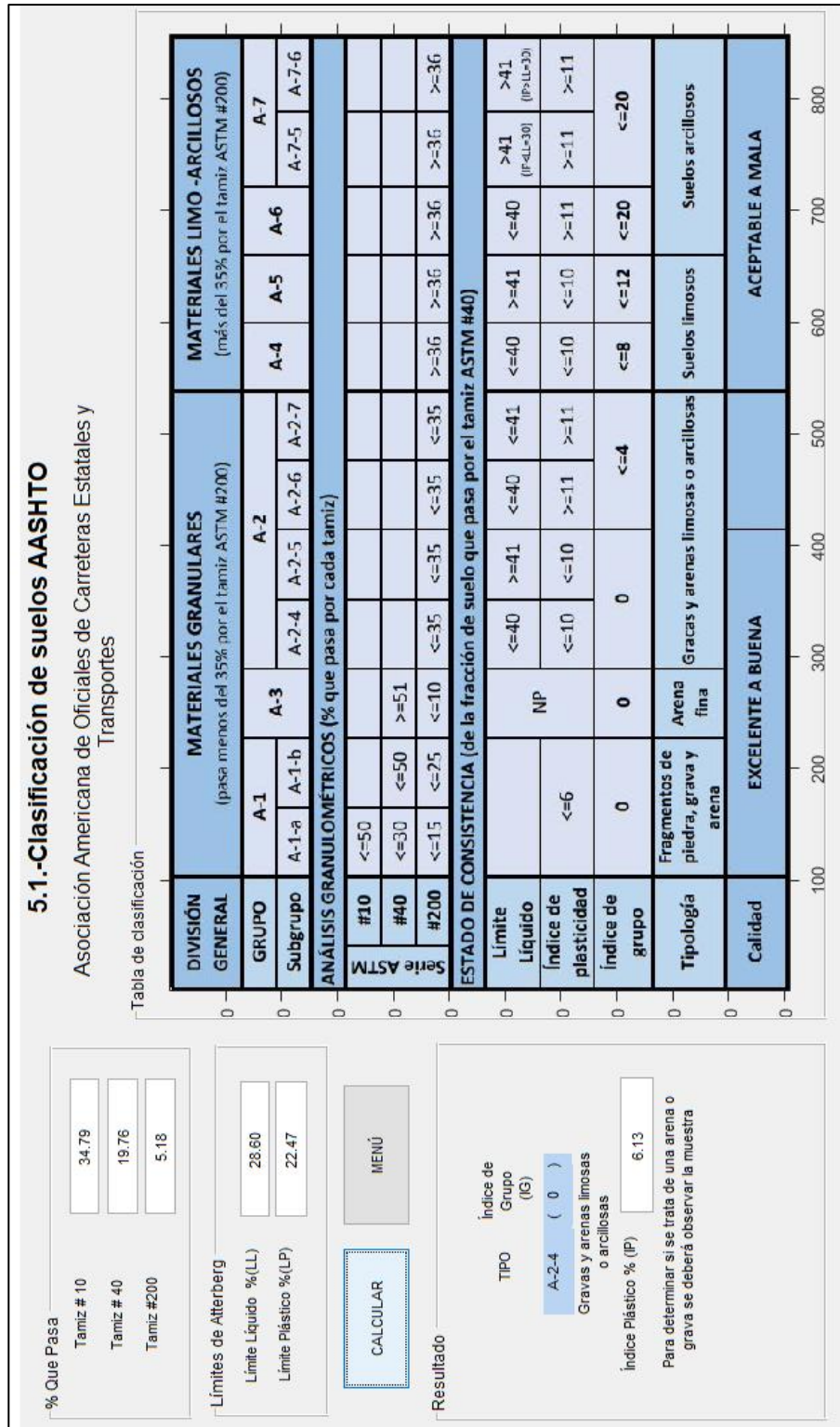


Figura 37. Clasificación de suelos AASHTO, muestra N°01, captura de programa

Fuente: Merino Jiménez Steven David

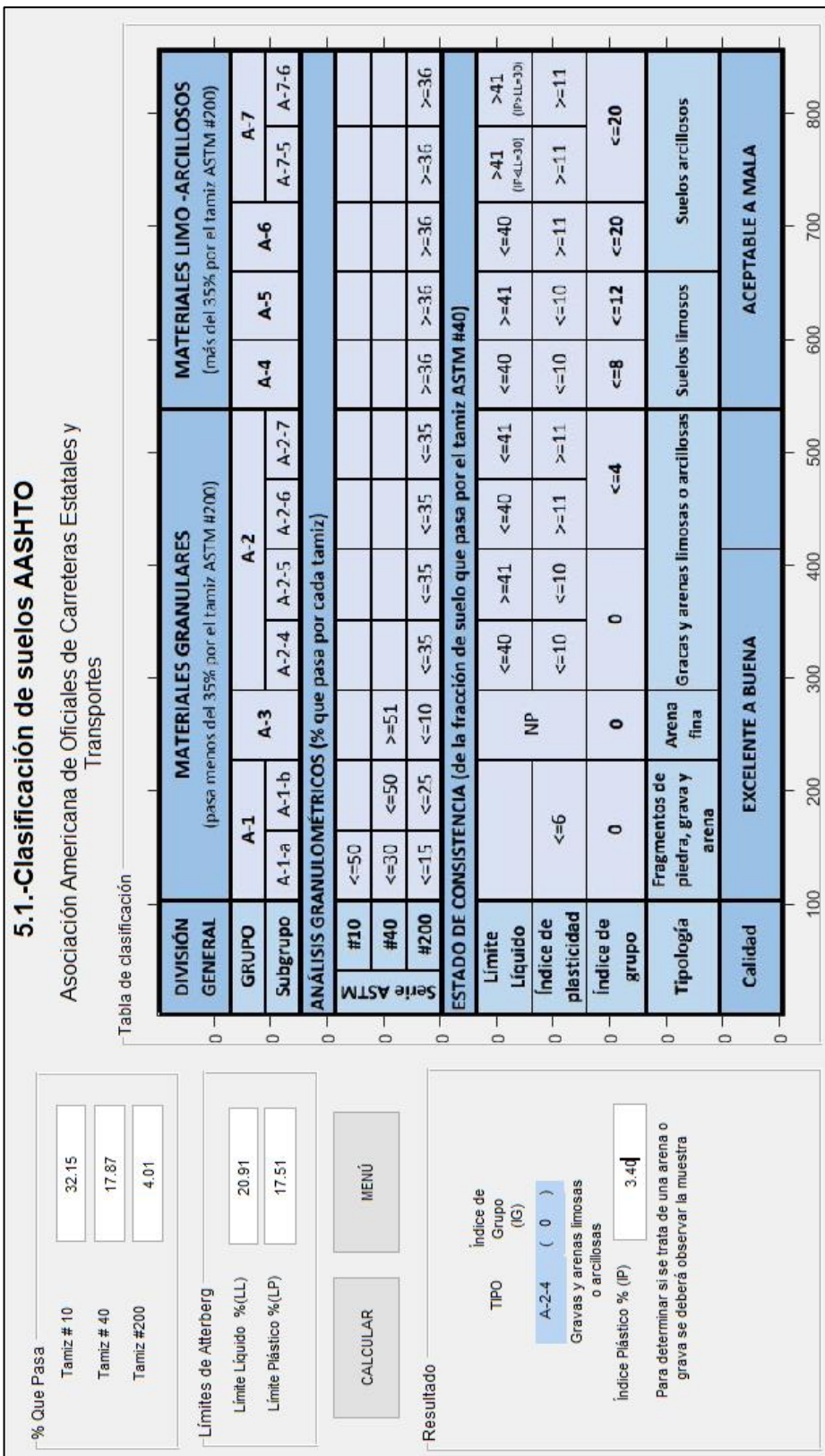


Figura 38. Clasificación de suelos AASHTO, muestra N°02, captura de programa

Fuente: Merino Jiménez Steven David

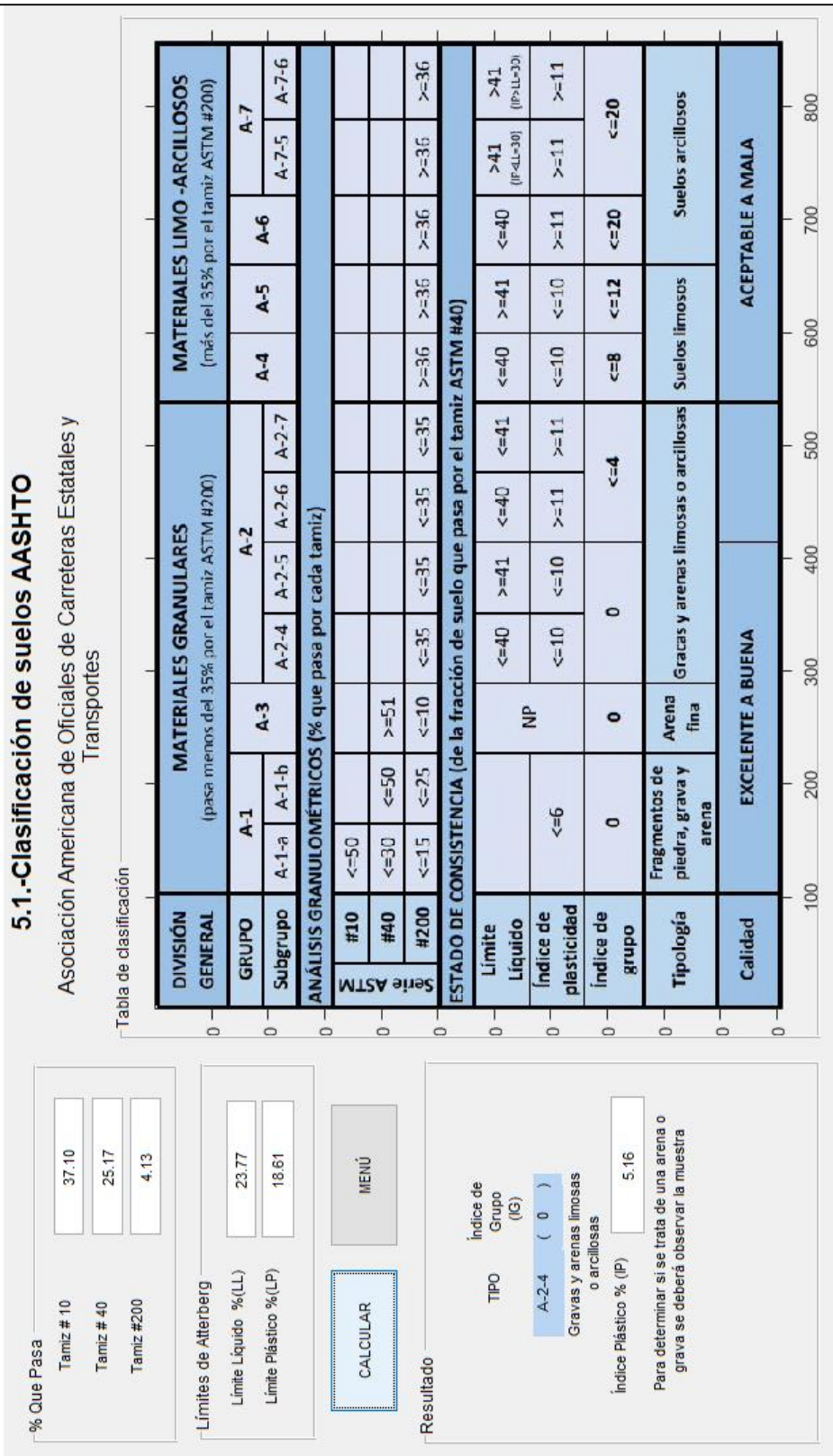


Figura 39. Clasificación de suelos AASHTO, muestra N°03, captura de programa

Fuente: Merino Jiménez Steven David

3.1.9. Proctor Modificado

NORMAS

NORMA AASHTO: T-99.

NOMENCLATURA

A_m , Área del molde (cm^2).

V_m , Volumen del molde (cm^3).

W_{sh} , Peso del suelo húmedo (gr.).

W_{msh} , Peso del molde + suelo húmedo (gr.).

W_m , Peso del molde (gr.).

γ_h , Peso volumétrico húmedo ($\frac{\text{gr.}}{\text{cm}^3}$).

W_w , Peso del agua (gr.).

W_{rsh} , Peso del recipiente + suelo húmedo (gr.).

W_{rss} , Peso del recipiente + suelo seco (gr.).

W_{ss} , Peso del suelo seco (gr.).

W_r , Peso del recipiente (gr.).

$\omega\%$, Contenido de humedad porcentual (%).

$\omega_p\%$, Contenido de humedad promedio porcentual (%).

γ_d , Peso volumétrico seco ($\frac{\text{gr.}}{\text{cm}^3}$).

E_c , Energía de compactación ($\frac{\text{lb} - \text{pie}}{\text{pie}^3}$).

N , Número de golpes por capa.

n , Número de capas.

w , Peso del pisón.

h , Altura de caída

V , Volumen estándar.

γ_{campo} , Densidad de campo.

$G_c\%$, Grado de compactación porcentual.

3.1.9.1. Resolución manual, Proctor modificado

MUESTRA N.º 01

Cálculo para las muestras pertenecientes a la tabla N.º. 17

Cálculo del volumen del molde

$$A_m = \frac{\pi * D^2}{4}$$

$$A_m = \frac{\pi * (15,20 \text{ cm})^2}{4}$$

$$A_m = 181.46 \text{ cm}^2.$$

$$V_m = A_m * h$$

$$V_m = 181.46 \text{ cm}^2 * 12.66 \text{ cm}$$

$$V_m = 2297.26 \text{ cm}^3.$$

Proceso de compactación

- 1 ensayo

$$W_{sh} = W_{msh} - W_m$$

$$W_{sh} = 17963 \text{ gr.} - 13125 \text{ gr.}$$

$$W_{sh} = 4838 \text{ gr.}$$

- 2 ensayo

$$W_{sh} = W_{msh} - W_m$$

$$W_{sh} = 18117 \text{ gr.} - 13125 \text{ gr.}$$

$$W_{sh} = 4992 \text{ gr.}$$

- 3 ensayo

$$W_{sh} = W_{msh} - W_m$$

$$W_{sh} = 18269 \text{ gr.} - 13125 \text{ gr.}$$

$$W_{sh} = 5144 \text{ gr.}$$

- 4 ensayo

$$W_{sh} = W_{msh} - W_m$$

$$W_{sh} = 18325 \text{ gr.} - 13125 \text{ gr.}$$

$$W_{sh} = 5200 \text{ gr.}$$

Cálculo del peso volumétrico húmedo

- 1 ensayo

$$\gamma_h = \frac{W_{sh}}{V_m}$$

$$\gamma_h = \frac{4838\text{gr.}}{2297.26 \text{ cm}^3}$$

$$\gamma_h = 2.106 \text{ gr./cm}^3.$$

- 2 ensayo

$$\gamma_h = \frac{W_{sh}}{V_m}$$

$$\gamma_h = \frac{4992\text{gr.}}{2297.26 \text{ cm}^3}$$

$$\gamma_h = 2.173 \text{ gr./cm}^3.$$

- 3 ensayo

$$\gamma_h = \frac{W_{sh}}{V_m}$$

$$\gamma_h = \frac{5144\text{gr.}}{2297.26 \text{ cm}^3}$$

$$\gamma_h = 2.239 \text{ gr./cm}^3.$$

- 4 ensayo

$$\gamma_h = \frac{W_{sh}}{V_m}$$

$$\gamma_h = \frac{5200\text{gr.}}{2297.26 \text{ cm}^3}$$

$$\gamma_h = 2.264 \text{ gr./cm}^3.$$

Cálculo del peso del agua

- 1 ensayo

Recipiente N.º: 01

$$W_w = W_{rsh} - W_{rss}$$

$$W_w = 204.51\text{gr.} - 195.42\text{gr.}$$

$$W_w = 9.09\text{gr.}$$

Recipiente N.º: 02

$$W_w = W_{rsh} - W_{rss}$$

$$W_w = 213.82\text{gr.} - 203.95\text{gr.}$$

$$W_w = 9.87\text{gr.}$$

- 2 ensayo

Recipiente N.º: 03

$$W_w = W_{rsh} - W_{rss}$$

$$W_w = 195.26\text{gr.} - 182.10\text{gr.}$$

$$W_w = 13.16\text{gr.}$$

Recipiente N.º: 04

$$W_w = W_{rsh} - W_{rss}$$

$$W_w = 185.93\text{gr.} - 173.37\text{gr.}$$

$$W_w = 12.56\text{gr.}$$

- 3 ensayo

Recipiente N.º: 05

$$W_w = W_{rsh} - W_{rss}$$

$$W_w = 189.26\text{gr.} - 171.60\text{gr.}$$

$$W_w = 17.66\text{gr.}$$

Recipiente N.º: 06

$$W_w = W_{rsh} - W_{rss}$$

$$W_w = 185.19\text{gr.} - 168.49\text{gr.}$$

$$W_w = 16.70\text{gr.}$$

- 4 ensayo

Recipiente N.º: 07

$$W_w = W_{rsh} - W_{rss}$$

$$W_w = 215.35\text{gr.} - 192,05\text{gr.}$$

$$W_w = 23.30\text{gr.}$$

Recipiente N.º: 08

$$W_w = W_{rsh} - W_{rss}$$

$$W_w = 243.50\text{gr.} - 216.45\text{gr.}$$

$$W_w = 27.05\text{gr.}$$

Cálculo del peso del suelo seco

- 1 ensayo

Recipiente N.º: 01

$$W_{ss} = W_{rss} - W_r$$

$$W_{ss} = 195.42 - 32.26\text{gr.}$$

$$W_{ss} = 163.16.$$

Recipiente N.º: 02

$$W_{ss} = W_{r_{ss}} - W_r$$

$$W_{ss} = 203.95\text{gr.} - 31.82\text{gr.}$$

$$W_{ss} = 172.13\text{gr.}$$

- 2 ensayo

Recipiente N.º: 03

$$W_{ss} = W_{r_{ss}} - W_r$$

$$W_{ss} = 182.10\text{gr.} - 31.47\text{gr.}$$

$$W_{ss} = 150.63\text{gr.}$$

Recipiente N.º: 04

$$W_{ss} = W_{r_{ss}} - W_r$$

$$W_{ss} = 173.37\text{gr.} - 33.21\text{gr.}$$

$$W_{ss} = 140.16\text{gr.}$$

- 3 ensayo

Recipiente N.º: 05

$$W_{ss} = W_{r_{ss}} - W_r$$

$$W_{ss} = 171.60\text{gr.} - 31.92\text{gr.}$$

$$W_{ss} = 139.68\text{gr.}$$

Recipiente N.º: 06

$$W_{ss} = W_{r_{ss}} - W_r$$

$$W_{ss} = 168.49\text{gr.} - 30,76\text{gr.}$$

$$W_{ss} = 137.73\text{gr.}$$

- 4 ensayo

Recipiente N.º: 07

$$W_{ss} = W_{r_{ss}} - W_r$$

$$W_{ss} = 192.05\text{gr.} - 31,75\text{gr.}$$

$$W_{ss} = 160.30\text{gr.}$$

Recipiente N.º: 08

$$W_{ss} = W_{r_{ss}} - W_r$$

$$W_{ss} = 216.45\text{gr.} - 30,34\text{gr.}$$

$$W_{ss} = 186.11\text{gr.}$$

Cálculo del contenido de humedad

- 1 ensayo

Recipiente N.º: 01

$$\omega\% = \frac{W_w}{W_{ss}}$$

$$\omega\% = \frac{9.09\text{gr.}}{163.16\text{gr.}}$$

$$\omega\% = 5,65\%.$$

Recipiente N.º: 02

$$\omega\% = \frac{W_w}{W_{ss}}$$

$$\omega\% = \frac{9.87\text{gr.}}{172.13\text{gr.}}$$

$$\omega\% = 5,73\%.$$

- 2 ensayo

Recipiente N.º: 03

$$\omega\% = \frac{W_w}{W_{ss}}$$

$$\omega\% = \frac{13.16\text{gr.}}{150.63\text{gr.}}$$

$$\omega\% = 8.74\%.$$

Recipiente N.º: 04

$$\omega\% = \frac{W_w}{W_{ss}}$$

$$\omega\% = \frac{12.56\text{gr.}}{140.16\text{gr.}}$$

$$\omega\% = 8,96\%.$$

- 3 ensayo

Recipiente N.º: 05

$$\omega\% = \frac{W_w}{W_{ss}}$$

$$\omega\% = \frac{17.66\text{gr.}}{139.68\text{gr.}}$$

$$\omega\% = 12.64\%.$$

Recipiente N.º: 06

$$\omega\% = \frac{W_w}{W_{ss}}$$

$$\omega\% = \frac{16.70\text{gr.}}{137.73\text{gr.}}$$

$$\omega\% = 12.13\%.$$

- 4 ensayo

Recipiente N.º: 07

$$\omega\% = \frac{W_w}{W_{ss}}$$

$$\omega\% = \frac{23.30\text{gr.}}{160.30\text{gr.}}$$

$$\omega\% = 14.54\%.$$

Recipiente N.º: 08

$$\omega\% = \frac{W_w}{W_{ss}}$$

$$\omega\% = \frac{27.05\text{gr.}}{186.11\text{gr.}}$$

$$\omega\% = 14.53\%.$$

Cálculo del contenido de humedad promedio

- 1 ensayo

$$\omega_p\% = \frac{W_w}{W_{ss}}$$

$$\omega_p\% = \frac{5.57\% + 5.73\%}{2}$$

$$\omega_p\% = 5.65\%.$$

- 2 ensayo

$$\omega_p\% = \frac{W_w}{W_{ss}}$$

$$\omega_p\% = \frac{8.74\% + 8.96\%}{2}$$

$$\omega_p\% = 8.85\%.$$

- 3 ensayo

$$\omega_p \% = \frac{W_w}{W_{ss}}$$

$$\omega_p \% = \frac{12,64\% + 12,13\%}{2}$$

$$\omega_p \% = 12,39\%.$$

- 4 ensayo

$$\omega_p \% = \frac{W_w}{W_{ss}}$$

$$\omega_p \% = \frac{14,54\% + 14,53\%}{2}$$

$$\omega_p \% = 14,54\%.$$

Cálculo del peso volumétrico seco

- 1 ensayo

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

$$\gamma_d = \frac{2,106 \text{ gr./cm}^3}{1 + 0,0565}$$

$$\gamma_d = 1,993 \text{ gr./cm}^3$$

- 2 ensayo

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

$$\gamma_d = \frac{2,173 \text{ gr./cm}^3}{1 + 0,0885}$$

$$\gamma_d = 1,996 \text{ gr./cm}^3$$

- 3 ensayo

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

$$\gamma_d = \frac{2,239 \text{ gr./cm}^3}{1 + 0,1239}$$

$$\gamma_d = 1,992 \text{ gr./cm}^3$$

- 4 ensayo

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

$$\gamma_d = \frac{2,264 \text{ gr./cm}^3}{1 + 0,1454}$$

$$\gamma_d = 1,977 \text{ gr./cm}^3$$

Cálculo del peso volumétrico máximo, según el gráfico

$$\gamma_d = 1,998 \text{ gr./cm}^3$$



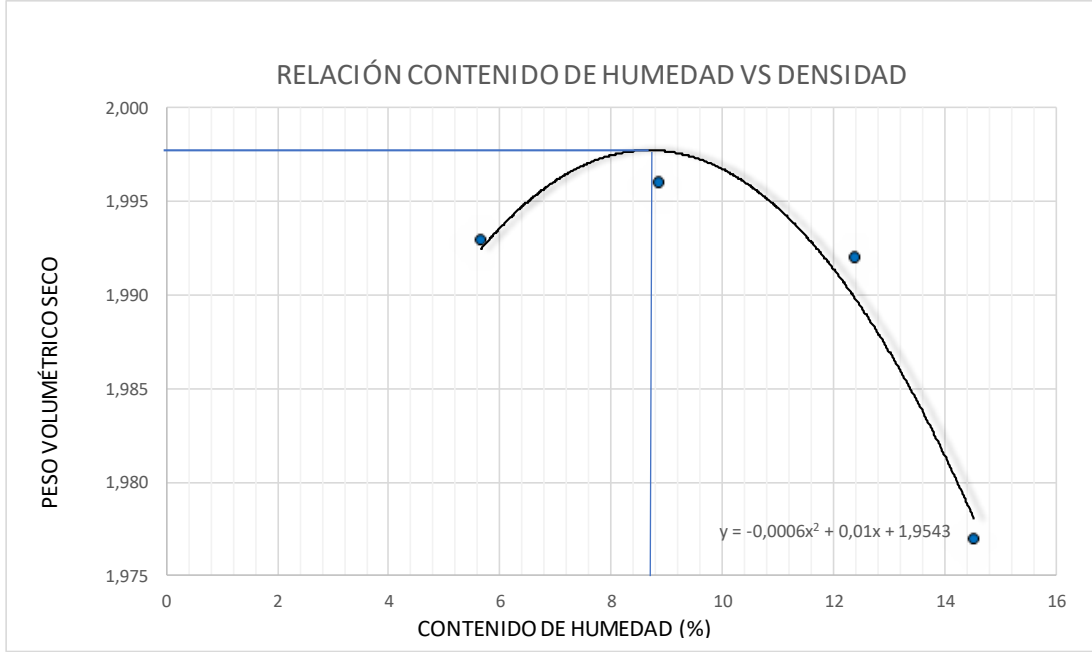
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL								
ENSAYO: "ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO "B""								
NORMA AASHTO: T-180								
MUESTRA N°: 01								
SUBBASE CLASE 3								
Número de Golpes	56	Altura de Caída	18"	Peso del molde	13125	gr		
Número de Capas	5	Peso del Martillo	10 lb	Volumen del molde	2297,26	cm ³		
Energía de Compactación								
Peso Inicial Deseado	6000	6000	6000	6000	6000			
1. PROCESO DE COMPACTACIÓN								
Ensayo Número	1	2	3	4				
Humedad inicial añadida en %	0	3	6	9				
P. molde + Suelo húmedo (gr)	17963	18117	18269	18325				
Peso suelo húmedo Wm (gr)	4838	4992	5144	5200				
Peso unitario húmedo (gr/cm ³)	2,106	2,173	2,239	2,264				
2. DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE HUMEDAD								
Recipiente número	1	2	3	4	5	6	7	8
Peso del recipiente Wr (gr)	32,26	31,82	31,47	33,21	31,92	30,76	31,75	30,34
Rec+ suelo húmedo Wr + Wm (gr)	204,51	213,82	195,26	185,93	189,26	185,19	215,35	243,50
Rec+ suelo seco Ws + Wm (gr)	195,42	203,95	182,10	173,37	171,60	168,49	192,05	216,45
Peso solidos Ws (gr)	163,16	172,13	150,63	140,16	139,68	137,73	160,30	186,11
Peso del agua Ww (gr)	9,09	9,87	13,16	12,56	17,66	16,70	23,30	27,05
Cont. Humedad w%	5,57	5,73	8,74	8,96	12,64	12,13	14,54	14,53
Cont. Humedad promedio w%	5,65	8,85	12,385	14,535				
Peso volumétrico Seco (gr/cm ³)	1,993	1,996	1,992	1,977				
3. DETERMINACION GRAFICA DE LA DENSIDAD MAXIMA Y HUMEDA								
								
4. DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO								
La máxima densidad alcanzada según la gráfica corresponde a 1,998gr/cm ³ , la cual corresponde a un contenido de humedad óptimo de 8,78%, sin embargo los parámetros pueden variar ligeramente cuando se traza la gráfica.								

Tabla 25. Proctor modificado B, muestra N°01, resumen de cálculo manual

Fuente: Merino Jiménez Steven David

MUESTRA N.º 02

Cálculo para las muestras pertenecientes a la tabla N.º. 18

Cálculo del volumen del molde

$$A_m = \frac{\pi * D^2}{4}$$

$$A_m = \frac{\pi * (15.11 \text{ cm})^2}{4}$$

$$A_m = 179.32 \text{ cm}^2.$$

$$V_m = A_m * h$$

$$V_m = 179.32 \text{ cm}^2 * 12.72 \text{ cm}$$

$$V_m = 2280.90 \text{ cm}^3.$$

Proceso de compactación

- 1 ensayo

$$W_{sh} = W_{msh} - W_m$$

$$W_{sh} = 17975 \text{ gr.} - 13481 \text{ gr.}$$

$$W_{sh} = 4494 \text{ gr.}$$

- 2 ensayo

$$W_{sh} = W_{msh} - W_m$$

$$W_{sh} = 18120 \text{ gr.} - 13481 \text{ gr.}$$

$$W_{sh} = 4639 \text{ gr.}$$

- 3 ensayo

$$W_{sh} = W_{msh} - W_m$$

$$W_{sh} = 18113 \text{ gr.} - 13481 \text{ gr.}$$

$$W_{sh} = 4632 \text{ gr.}$$

- 4 ensayo

$$W_{sh} = W_{msh} - W_m$$

$$W_{sh} = 18058 \text{ gr.} - 13481 \text{ gr.}$$

$$W_{sh} = 4577 \text{ gr.}$$

Cálculo del peso volumétrico húmedo

- 1 ensayo

$$\gamma_h = \frac{W_{sh}}{V_m}$$

$$\gamma_h = \frac{4494\text{gr.}}{2280.90 \text{ cm}^3}$$

$$\gamma_h = 1.970 \text{ gr./cm}^3.$$

- 2 ensayo

$$\gamma_h = \frac{W_{sh}}{V_m}$$

$$\gamma_h = \frac{4639\text{gr.}}{2280.90 \text{ cm}^3}$$

$$\gamma_h = 2.034 \text{ gr./cm}^3.$$

- 3 ensayo

$$\gamma_h = \frac{W_{sh}}{V_m}$$

$$\gamma_h = \frac{4632\text{gr.}}{2280.90 \text{ cm}^3}$$

$$\gamma_h = 2.031 \text{ gr./cm}^3.$$

- 4 ensayo

$$\gamma_h = \frac{W_{sh}}{V_m}$$

$$\gamma_h = \frac{4577\text{gr.}}{2280.90 \text{ cm}^3}$$

$$\gamma_h = 2.007 \text{ gr./cm}^3.$$

Cálculo del peso del agua

- 1 ensayo

Recipiente N.º: 01

$$W_w = W_{rsh} - W_{rss}$$

$$W_w = 108.72\text{gr.} - 104.40\text{gr.}$$

$$W_w = 4.32\text{gr.}$$

Recipiente N.º: 02

$$W_w = W_{rsh} - W_{rss}$$

$$W_w = 101.89\text{gr.} - 98.19\text{gr.}$$

$$W_w = 3.70\text{gr.}$$

- 2 ensayo

Recipiente N.º: 03

$$W_w = W_{rsh} - W_{rss}$$

$$W_w = 121.21\text{gr.} - 114.70\text{gr.}$$

$$W_w = 6.51\text{gr.}$$

Recipiente N.º: 04

$$W_w = W_{\text{rsh}} - W_{\text{rss}}$$

$$W_w = 103.92\text{gr.} - 96.51\text{gr.}$$

$$W_w = 7.41\text{gr.}$$

- 3 ensayo

Recipiente N.º: 05

$$W_w = W_{\text{rsh}} - W_{\text{rss}}$$

$$W_w = 138.83\text{gr.} - 127.44\text{gr.}$$

$$W_w = 9.39\text{gr.}$$

Recipiente N.º: 06

$$W_w = W_{\text{rsh}} - W_{\text{rss}}$$

$$W_w = 136.83\text{gr.} - 127.44\text{gr.}$$

$$W_w = 9.39\text{gr.}$$

- 4 ensayo

Recipiente N.º: 07

$$W_w = W_{\text{rsh}} - W_{\text{rss}}$$

$$W_w = 115.51\text{gr.} - 104.12\text{gr.}$$

$$W_w = 11.39\text{gr.}$$

Recipiente N.º: 08

$$W_w = W_{\text{rsh}} - W_{\text{rss}}$$

$$W_w = 142.81\text{gr.} - 132.61\text{gr.}$$

$$W_w = 10.20\text{gr.}$$

Cálculo del peso del suelo seco

- 1 ensayo

Recipiente N.º: 01

$$W_{\text{ss}} = W_{\text{rss}} - W_{\text{r}}$$

$$W_{\text{ss}} = 104.40 - 23.10\text{gr.}$$

$$W_{\text{ss}} = 81.30\text{gr.}$$

Recipiente N.º: 02

$$W_{\text{ss}} = W_{\text{rss}} - W_{\text{r}}$$

$$W_{\text{ss}} = 98.19\text{gr.} - 24.20\text{gr.}$$

$$W_{ss} = 73.99\text{gr.}$$

- 2 ensayo

Recipiente N.º: 03

$$W_{ss} = W_{rss} - W_r$$

$$W_{ss} = 114.70\text{gr.} - 24.04\text{gr.}$$

$$W_{ss} = 90.66\text{gr.}$$

Recipiente N.º: 04

$$W_{ss} = W_{rss} - W_r$$

$$W_{ss} = 96.51\text{gr.} - 23.42\text{gr.}$$

$$W_{ss} = 73.09\text{gr.}$$

- 3 ensayo

Recipiente N.º: 05

$$W_{ss} = W_{rss} - W_r$$

$$W_{ss} = 127.44\text{gr.} - 24.70\text{gr.}$$

$$W_{ss} = 102.74\text{gr.}$$

Recipiente N.º: 06

$$W_{ss} = W_{rss} - W_r$$

$$W_{ss} = 123.79\text{gr.} - 22.79\text{gr.}$$

$$W_{ss} = 101.00\text{gr.}$$

- 4 ensayo

Recipiente N.º: 07

$$W_{ss} = W_{rss} - W_r$$

$$W_{ss} = 104.12\text{gr.} - 23.77\text{gr.}$$

$$W_{ss} = 80.35\text{gr.}$$

Recipiente N.º: 08

$$W_{ss} = W_{rss} - W_r$$

$$W_{ss} = 132.61\text{gr.} - 24.81\text{gr.}$$

$$W_{ss} = 107.80\text{gr.}$$

Cálculo del contenido de humedad

- 1 ensayo

Recipiente N.º: 01

$$\omega\% = \frac{W_w}{W_{ss}}$$

$$\omega\% = \frac{4.32\text{gr.}}{81.30\text{gr.}}$$

$$\omega\% = 5.31\%.$$

Recipiente N.º: 02

$$\omega\% = \frac{W_w}{W_{ss}}$$

$$\omega\% = \frac{3.70\text{gr.}}{73.99\text{gr.}}$$

$$\omega\% = 5,00\%.$$

- 2 ensayo

Recipiente N.º: 03

$$\omega\% = \frac{W_w}{W_{ss}}$$

$$\omega\% = \frac{6.51\text{gr.}}{90.66\text{gr.}}$$

$$\omega\% = 7.18\%.$$

Recipiente N.º: 04

$$\omega\% = \frac{W_w}{W_{ss}}$$

$$\omega\% = \frac{7.41\text{gr.}}{73.09\text{gr.}}$$

$$\omega\% = 10.14\%.$$

- 3 ensayo

Recipiente N.º: 05

$$\omega\% = \frac{W_w}{W_{ss}}$$

$$\omega\% = \frac{9.39\text{gr.}}{102.41\text{gr.}}$$

$$\omega\% = 9.14\%.$$

Recipiente N.º: 06

$$\omega\% = \frac{W_w}{W_{ss}}$$

$$\omega\% = \frac{12.29\text{gr.}}{102.79\text{gr.}}$$

$$\omega\% = 12.17\%.$$

- 4 ensayo

Recipiente N.º: 07

$$\omega\% = \frac{W_w}{W_{ss}}$$

$$\omega\% = \frac{11.39\text{gr.}}{80.35\text{gr.}}$$

$$\omega\% = 14.18\%.$$

Recipiente N.º: 08

$$\omega\% = \frac{W_w}{W_{ss}}$$

$$\omega\% = \frac{10.20\text{gr.}}{107.80\text{gr.}}$$

$$\omega\% = 9.46\%.$$

Cálculo del contenido de humedad promedio

- 1 ensayo

$$\omega_p\% = \frac{W_w}{W_{ss}}$$

$$\omega_p\% = \frac{5.31\% + 5.00\%}{2}$$

$$\omega_p\% = 5.16\%.$$

- 2 ensayo

$$\omega_p\% = \frac{W_w}{W_{ss}}$$

$$\omega_p\% = \frac{7.18\% + 10.14\%}{2}$$

$$\omega_p\% = 8.66\%.$$

- 3 ensayo

$$\omega_p\% = \frac{W_w}{W_{ss}}$$

$$\omega_p\% = \frac{9.14\% + 12.17\%}{2}$$

$$\omega_p\% = 10.66\%.$$

- 4 ensayo

$$\omega_p\% = \frac{W_w}{W_{ss}}$$

$$\omega_p\% = \frac{14.18\% + 9.46\%}{2}$$

$$\omega_p\% = 11.82\%.$$

Cálculo del peso volumétrico seco

- 1 ensayo

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

$$\gamma_d = \frac{1.970 \text{ gr./cm}^3}{1 + 0,0516}$$

$$\gamma_d = 1,873 \text{ gr./cm}^3$$

- 2 ensayo

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

$$\gamma_d = \frac{2.034 \text{ gr./cm}^3}{1 + 0,0866}$$

$$\gamma_d = 1,872 \text{ gr./cm}^3$$

- 3 ensayo

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

$$\gamma_d = \frac{2.031 \text{ gr./cm}^3}{1 + 0,1066}$$

$$\gamma_d = 1.835 \text{ gr./cm}^3$$

- 4 ensayo

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

$$\gamma_d = \frac{2,007 \text{ gr./cm}^3}{1 + 0.1182}$$

$$\gamma_d = 1,795 \text{ gr./cm}^3$$

Cálculo del peso volumétrico máximo, según el gráfico

$$\gamma_d = 1,885 \text{ gr./cm}^3$$



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



ENSAYO: "ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO "B" ""

NORMA AASHTO: T-180

MUESTRA N°: 02

SUBBASE CLASE 3

Número de Golpes	56	Altura de Caída	18"	Peso del molde	13481	gr
Número de Capas	5	Peso del Martillo	10 lb	Volumen del molde	2280,9	cm ³

Energía de Compactación				
Peso Inicial Deseado	6000	6000	6000	6000

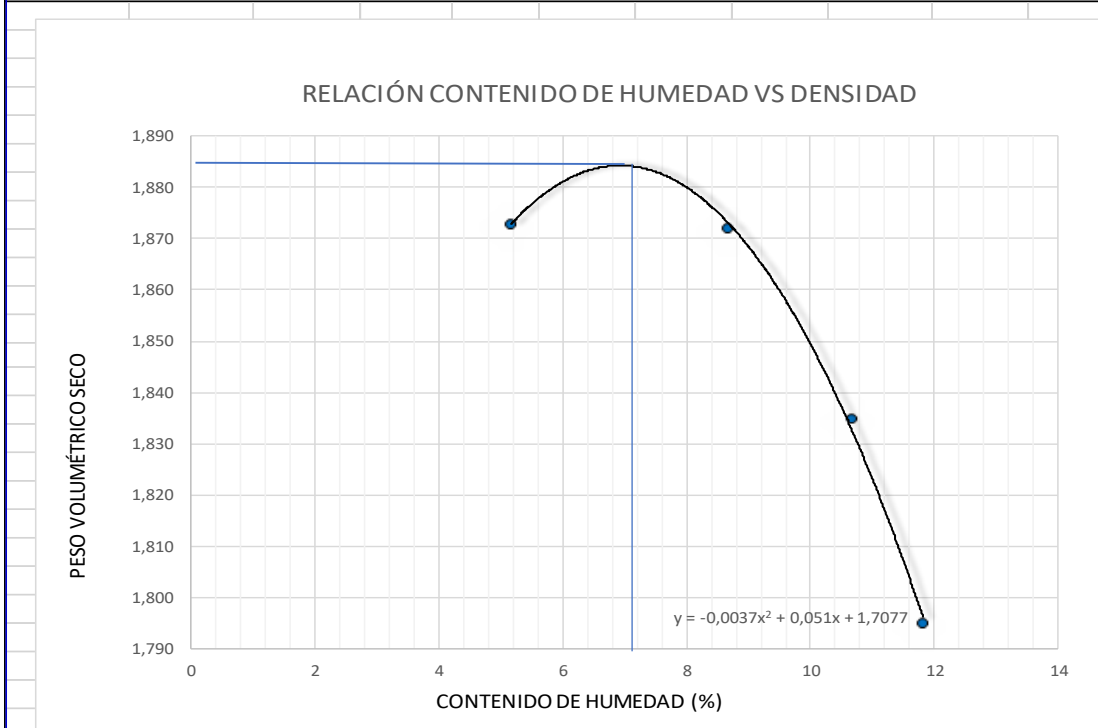
1. PROCESO DE COMPACTACIÓN

Ensayo Número	1	2	3	4
Humedad inicial añadida en %	0	3	6	9
P. molde + Suelo húmedo (gr)	17975	18120	18113	18058
Peso suelo húmedo Wm (gr)	4494	4639	4632	4577
Peso unitario húmedo (gr/cm ³)	1,97	2,034	2,031	2,007

2. DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE HUMEDAD

Recipiente número	1	2	3	4	5	6	7	8
Peso del recipiente Wr (gr)	23,10	24,20	24,04	23,42	24,70	22,79	23,77	24,81
Rec+ suelo húmedo Wr + Wm /gr)	108,72	101,89	121,21	103,92	136,83	136,08	115,51	142,81
Rec+ suelo seco Ws + Wm (gr)	104,40	98,19	114,70	96,51	127,44	123,79	104,12	132,61
Peso sólidos Ws (gr)	81,30	73,99	90,66	73,09	102,74	101,00	80,35	107,80
Peso del agua Ww (gr)	4,32	3,70	6,51	7,41	9,39	12,29	11,39	10,20
Cont. Humedad w%	5,31	5	7,18	10,14	9,14	12,17	14,18	9,46
Cont. Humedad promedio w%	5,16		8,66		10,66		11,82	
Peso volumétrico Seco (gr/cm ³)	1,873		1,872		1,835		1,795	

3. DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HÚMEDA



4. DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

La máxima densidad alcanzada según la gráfica corresponde a 1,885gr/cm³, la cual corresponde a un contenido de humedad óptimo de 7,23%, sin embargo los parámetros pueden variar ligeramente cuando se traza la gráfica.

Tabla 26. Proctor modificado B, muestra N°02, resumen de cálculo manual

Fuente: Merino Jiménez Steven David

MUESTRA N.º 03

Cálculo para las muestras pertenecientes a la tabla N.º. 19

Cálculo del volumen del molde

$$A_m = \frac{\pi * D^2}{4}$$

$$A_m = \frac{\pi * (15,20 \text{ cm})^2}{4}$$

$$A_m = 181.46 \text{ cm}^2.$$

$$V_m = 181.46 \text{ cm}^2 * 12.63 \text{ cm}$$

$$V_m = 2291.82 \text{ cm}^3.$$

Proceso de compactación

- 1 ensayo

$$W_{sh} = W_{msh} - W_m$$

$$W_{sh} = 17963 \text{ gr.} - 13152 \text{ gr.}$$

$$W_{sh} = 4793 \text{ gr.}$$

- 2 ensayo

$$W_{sh} = W_{msh} - W_m$$

$$W_{sh} = 18117 \text{ gr.} - 13152 \text{ gr.}$$

$$W_{sh} = 4965 \text{ gr.}$$

- 3 ensayo

$$W_{sh} = W_{msh} - W_m$$

$$W_{sh} = 18146 \text{ gr.} - 13152 \text{ gr.}$$

$$W_{sh} = 4994 \text{ gr.}$$

- 4 ensayo

$$W_{sh} = W_{msh} - W_m$$

$$W_{sh} = 18076 \text{ gr.} - 13152 \text{ gr.}$$

$$W_{sh} = 4924 \text{ gr.}$$

Cálculo del peso volumétrico húmedo

- 1 ensayo

$$\gamma_h = \frac{W_{sh}}{V_m}$$

$$\gamma_h = \frac{4793\text{gr.}}{2291.82 \text{ cm}^3}$$

$$\gamma_h = 2.091 \text{ gr./cm}^3.$$

- 2 ensayo

$$\gamma_h = \frac{W_{sh}}{V_m}$$

$$\gamma_h = \frac{4965\text{gr.}}{2291.82 \text{ cm}^3}$$

$$\gamma_h = 2.166 \text{ gr./cm}^3.$$

- 3 ensayo

$$\gamma_h = \frac{W_{sh}}{V_m}$$

$$\gamma_h = \frac{4994\text{gr.}}{2291.82 \text{ cm}^3}$$

$$\gamma_h = 2.179 \text{ gr./cm}^3.$$

- 4 ensayo

$$\gamma_h = \frac{W_{sh}}{V_m}$$

$$\gamma_h = \frac{4924\text{gr.}}{2291.82 \text{ cm}^3}$$

$$\gamma_h = 2.149 \text{ gr./cm}^3.$$

Cálculo del peso del agua

- 1 ensayo

Recipiente N.º: 01

$$W_w = W_{rsh} - W_{rss}$$

$$W_w = 201.52\text{gr.} - 192.14\text{gr.}$$

$$W_w = 9.38\text{gr.}$$

Recipiente N.º: 02

$$W_w = W_{rsh} - W_{rss}$$

$$W_w = 205.17\text{gr.} - 194.03\text{gr.}$$

$$W_w = 11.14\text{gr.}$$

- 2 ensayo

Recipiente N.º: 03

$$W_w = W_{rsh} - W_{rss}$$

$$W_w = 233.78\text{gr.} - 216.98\text{gr.}$$

$$W_w = 16.80\text{gr.}$$

Recipiente N.º: 04

$$W_w = W_{\text{rsh}} - W_{\text{rss}}$$

$$W_w = 228.12\text{gr.} - 212.78\text{gr.}$$

$$W_w = 15.34\text{gr.}$$

- 3 ensayo

Recipiente N.º: 05

$$W_w = W_{\text{rsh}} - W_{\text{rss}}$$

$$W_w = 194.76\text{gr.} - 176.73\text{gr.}$$

$$W_w = 18.03\text{gr.}$$

Recipiente N.º: 06

$$W_w = W_{\text{rsh}} - W_{\text{rss}}$$

$$W_w = 185.19\text{gr.} - 169.62\text{gr.}$$

$$W_w = 15.57\text{gr.}$$

- 4 ensayo

Recipiente N.º: 07

$$W_w = W_{\text{rsh}} - W_{\text{rss}}$$

$$W_w = 215.35\text{gr.} - 195.63\text{gr.}$$

$$W_w = 19.72\text{gr.}$$

Recipiente N.º: 08

$$W_w = W_{\text{rsh}} - W_{\text{rss}}$$

$$W_w = 228.45\text{gr.} - 205.76\text{gr.}$$

$$W_w = 22.69\text{gr.}$$

Cálculo del peso del suelo seco

- 1 ensayo

Recipiente N.º: 01

$$W_{\text{ss}} = W_{\text{rss}} - W_{\text{r}}$$

$$W_{\text{ss}} = 192.14 - 30.51\text{gr.}$$

$$W_{\text{ss}} = 161.63\text{gr.}$$

Recipiente N.º: 02

$$W_{\text{ss}} = W_{\text{rss}} - W_{\text{r}}$$

$$W_{\text{ss}} = 205.17\text{gr.} - 29.48\text{gr.}$$

$$W_{ss} = 164.55\text{gr.}$$

- 2 ensayo

Recipiente N.º: 03

$$W_{ss} = W_{r_{ss}} - W_r$$

$$W_{ss} = 216.98\text{gr.} - 31.47\text{gr.}$$

$$W_{ss} = 185.51\text{gr.}$$

Recipiente N.º: 04

$$W_{ss} = W_{r_{ss}} - W_r$$

$$W_{ss} = 212.78\text{gr.} - 31.94\text{gr.}$$

$$W_{ss} = 180.84\text{gr.}$$

- 3 ensayo

Recipiente N.º: 05

$$W_{ss} = W_{r_{ss}} - W_r$$

$$W_{ss} = 176.73\text{gr.} - 30.55\text{gr.}$$

$$W_{ss} = 146.18\text{gr.}$$

Recipiente N.º: 06

$$W_{ss} = W_{r_{ss}} - W_r$$

$$W_{ss} = 169.62\text{gr.} - 31.70\text{gr.}$$

$$W_{ss} = 137.92.$$

- 4 ensayo

Recipiente N.º: 07

$$W_{ss} = W_{r_{ss}} - W_r$$

$$W_{ss} = 195.63\text{gr.} - 30.19\text{gr.}$$

$$W_{ss} = 165.44\text{gr.}$$

Recipiente N.º: 08

$$W_{ss} = W_{r_{ss}} - W_r$$

$$W_{ss} = 228.45\text{gr.} - 30.04\text{gr.}$$

$$W_{ss} = 175.72\text{gr.}$$

Cálculo del contenido de humedad

- 1 ensayo

Recipiente N.º: 01

$$\omega\% = \frac{W_w}{W_{ss}}$$
$$\omega\% = \frac{9.38\text{gr.}}{161.63\text{gr.}}$$
$$\omega\% = 5,80\%.$$

Recipiente N.º: 02

$$\omega\% = \frac{W_w}{W_{ss}}$$
$$\omega\% = \frac{11.14\text{gr.}}{161.55\text{gr.}}$$
$$\omega\% = 6.77\%.$$

- 2 ensayo

Recipiente N.º: 03

$$\omega\% = \frac{W_w}{W_{ss}}$$
$$\omega\% = \frac{16.80\text{gr.}}{185.51\text{gr.}}$$
$$\omega\% = 9.06\%.$$

Recipiente N.º: 04

$$\omega\% = \frac{W_w}{W_{ss}}$$
$$\omega\% = \frac{15.34\text{gr.}}{180.84\text{gr.}}$$
$$\omega\% = 8.48\%.$$

- 3 ensayo

Recipiente N.º: 05

$$\omega\% = \frac{W_w}{W_{ss}}$$
$$\omega\% = \frac{18.03\text{gr.}}{146.18\text{gr.}}$$
$$\omega\% = 12.33\%.$$

Recipiente N.º: 06

$$\omega\% = \frac{W_w}{W_{ss}}$$

$$\omega\% = \frac{15.57\text{gr.}}{137.92\text{gr.}}$$

$$\omega\% = 11.29\%.$$

- 4 ensayo

Recipiente N.º: 07

$$\omega\% = \frac{W_w}{W_{ss}}$$

$$\omega\% = \frac{19.72\text{gr.}}{165.44\text{gr.}}$$

$$\omega\% = 11.92\%.$$

Recipiente N.º: 08

$$\omega\% = \frac{W_w}{W_{ss}}$$

$$\omega\% = \frac{22.69\text{gr.}}{175.72\text{gr.}}$$

$$\omega\% = 12.91\%.$$

Cálculo del contenido de humedad promedio

- 1 ensayo

$$\omega_p\% = \frac{W_w}{W_{ss}}$$

$$\omega_p\% = \frac{5.80\% + 6.77\%}{2}$$

$$\omega_p\% = 6.29\%.$$

- 2 ensayo

$$\omega_p\% = \frac{W_w}{W_{ss}}$$

$$\omega_p\% = \frac{9.06\% + 8,48\%}{2}$$

$$\omega_p\% = 8,77\%.$$

- 3 ensayo

$$\omega_p\% = \frac{W_w}{W_{ss}}$$

$$\omega_p\% = \frac{12.33\% + 11.29\%}{2}$$

$$\omega_p\% = 11.81\%.$$

- 4 ensayo

$$\omega_p \% = \frac{W_w}{W_{ss}}$$

$$\omega_p \% = \frac{11.92\% + 12.91\%}{2}$$

$$\omega_p \% = 12.42\%.$$

Cálculo del peso volumétrico seco

- 1 ensayo

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

$$\gamma_d = \frac{2.091 \text{ gr./cm}^3}{1 + 0,0629}$$

$$\gamma_d = 1,967 \text{ gr./cm}^3$$

- 2 ensayo

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

$$\gamma_d = \frac{2.166 \text{ gr./cm}^3}{1 + 0,0877}$$

$$\gamma_d = 1,991 \text{ gr./cm}^3$$

- 3 ensayo

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

$$\gamma_d = \frac{2.179 \text{ gr./cm}^3}{1 + 0,1181}$$

$$\gamma_d = 1.949 \text{ gr./cm}^3$$

- 4 ensayo

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

$$\gamma_d = \frac{2.149 \text{ gr./cm}^3}{1 + 0.1242}$$

$$\gamma_d = 1,912 \text{ gr./cm}^3$$

Cálculo del peso volumétrico máximo, según el gráfico

$$\gamma_d = 1,995 \text{ gr./cm}^3$$



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



ENSAYO: "ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO "B" ""

NORMA AASHTO: T-180

MUESTRA N°: 03

SUBBASE CLASE 3

Número de Golpes	56	Altura de Caída	18"	Peso del molde	13152	gr
Número de Capas	5	Peso del Martillo	10 lb	Volumen del molde	2291,82	cm ³

Energía de Compactación						
Peso Inicial Deseado	6000	6000	6000	6000	6000	

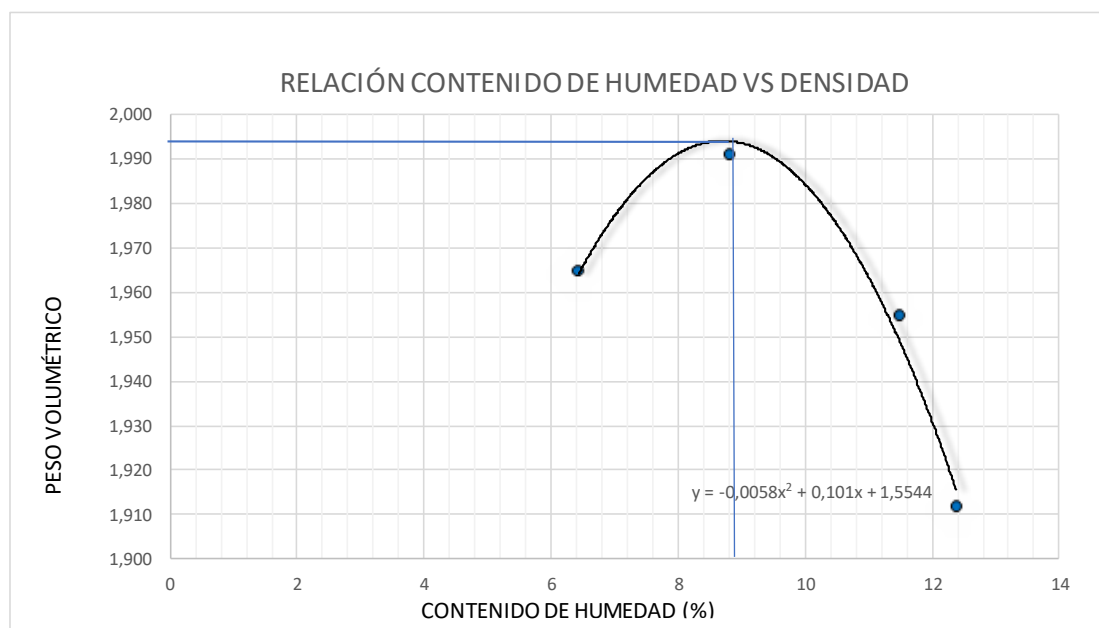
1. PROCESO DE COMPACTACIÓN

Ensayo Número	1	2	3	4
Humedad inicial añadida en %	0	3	6	9
P. molde + Suelo húmedo (gr)	17945	18117	18146	18076
Peso suelo húmedo Wm (gr)	4793	4965	4994	4924
Peso unitario húmedo (gr/cm ³)	2,091	2,166	2,179	2,149

2. DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE HUMEDAD

Recipiente número	1	2	3	4	5	6	7	8
Peso del recipiente Wr (gr)	30,51	29,48	31,47	31,94	30,55	31,70	30,19	30,04
Rec+ suelo húmedo Wr + Wm /gr	201,52	205,17	233,78	228,12	194,76	185,19	215,35	228,45
Rec+ suelo seco Ws + Wm (gr)	192,14	193,58	210,26	219,78	175,98	171,20	201,79	199,83
Peso solidos Ws (gr)	161,63	164,10	178,79	187,84	145,43	139,50	171,60	169,79
Peso del agua Ww (gr)	9,38	11,59	23,52	8,34	18,78	13,99	13,56	28,62
Cont. Humedad w%	5,8	7,06	13,16	4,44	12,91	10,03	7,9	16,86
Cont. Humedad promedio w%	6,43		8,8		11,47		12,38	
Peso volumétrico Seco (gr/cm ³)	1,965		1,991		1,955		1,912	

3. DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HÚMEDA



4. DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

La máxima densidad alcanzada según la gráfica corresponde a 1,995gr/cm³, la cual corresponde a un contenido de humedad óptimo de 8,80%, sin embargo los parámetros pueden variar ligeramente cuando se traza la gráfica.

Tabla 27. Proctor modificado B, muestra N°03, resumen de cálculo manual

Fuente: Merino Jiménez Steven David

3.1.9.2. Resolución mediante el programa desarrollado, Proctor modificado

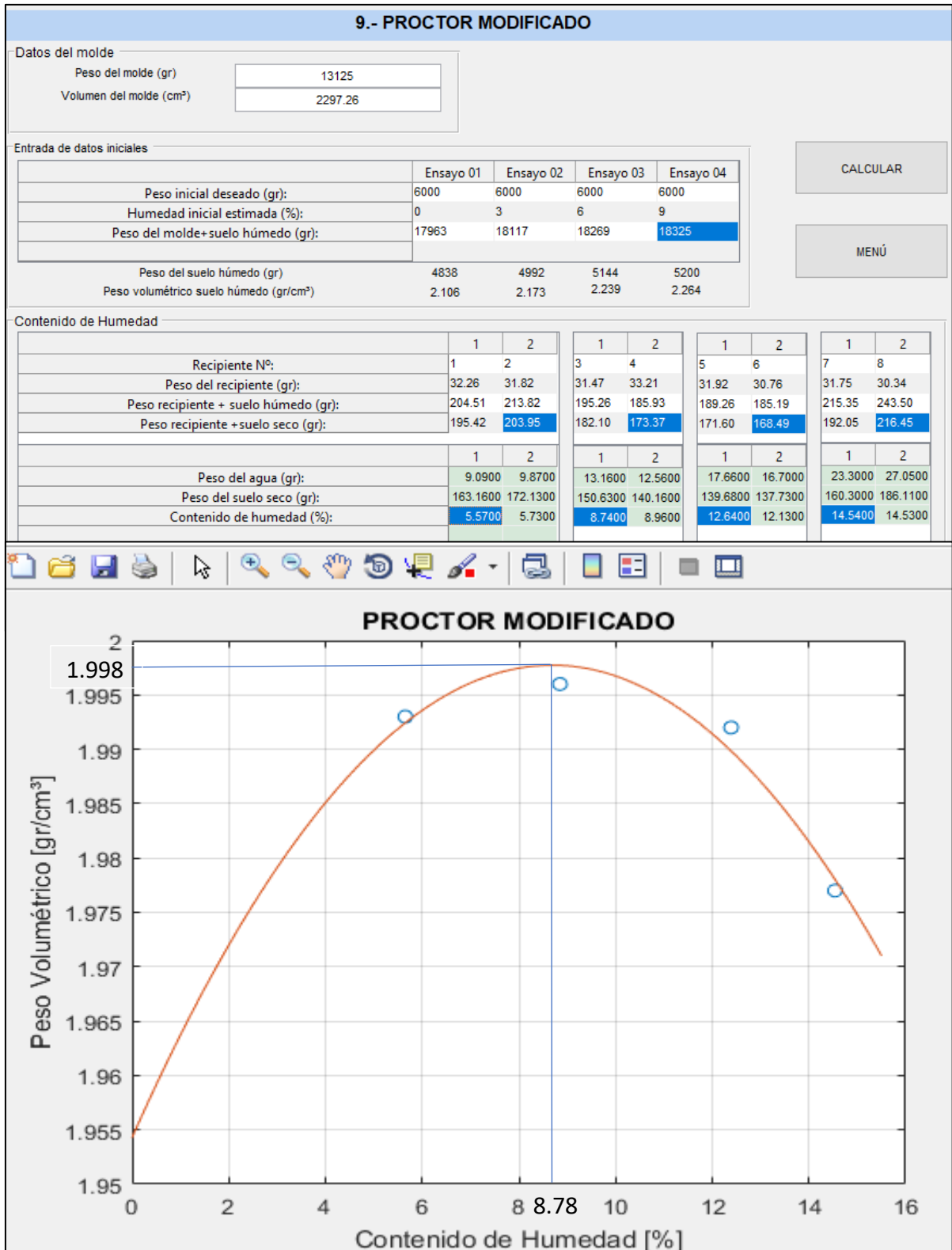


Figura 40. Proctor modificado, muestra N°01, captura de programa

Fuente: Merino Jiménez Steven David

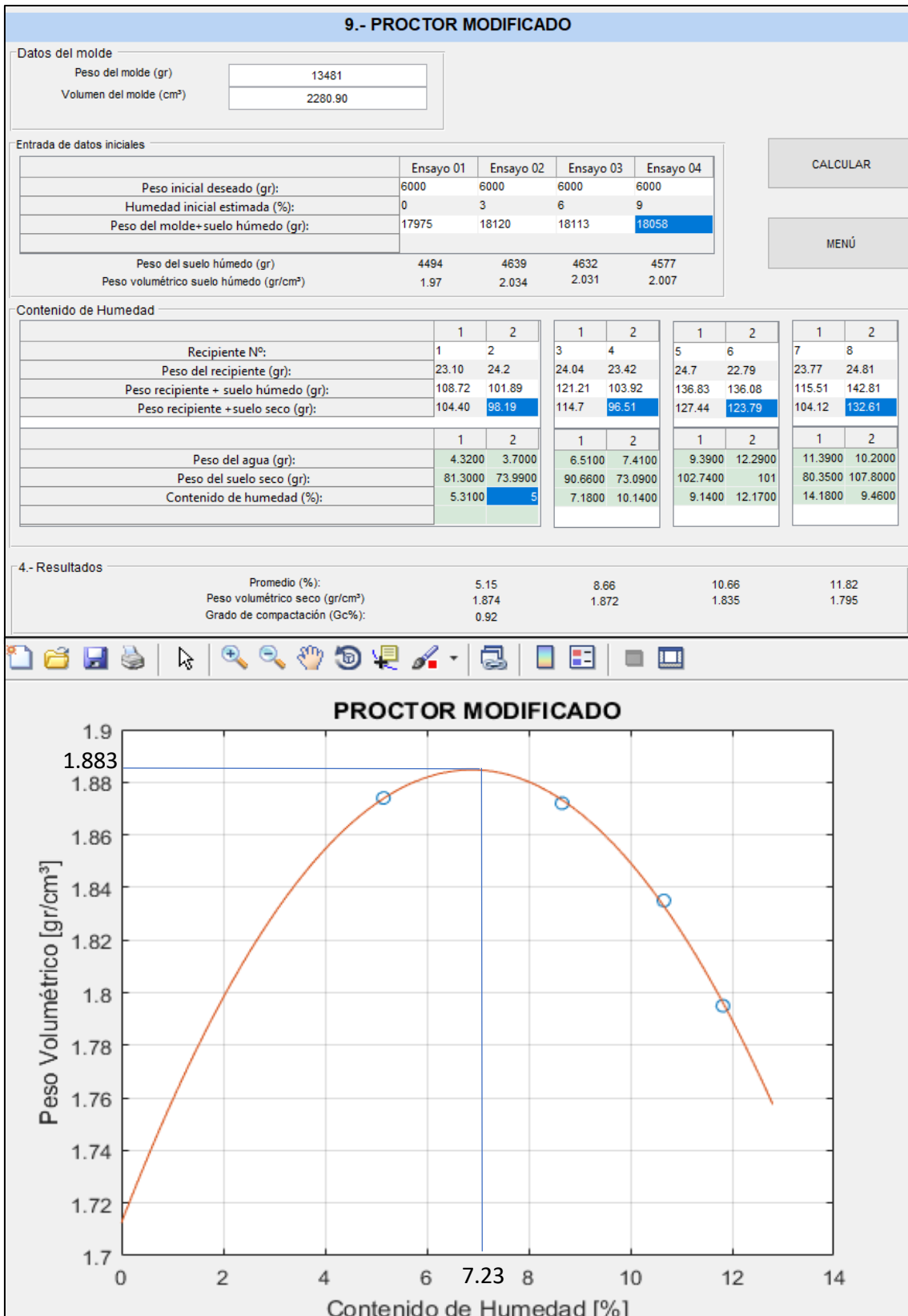


Figura 41. Proctor modificado, muestra N°02, captura de programa

Fuente: Merino Jiménez Steven David

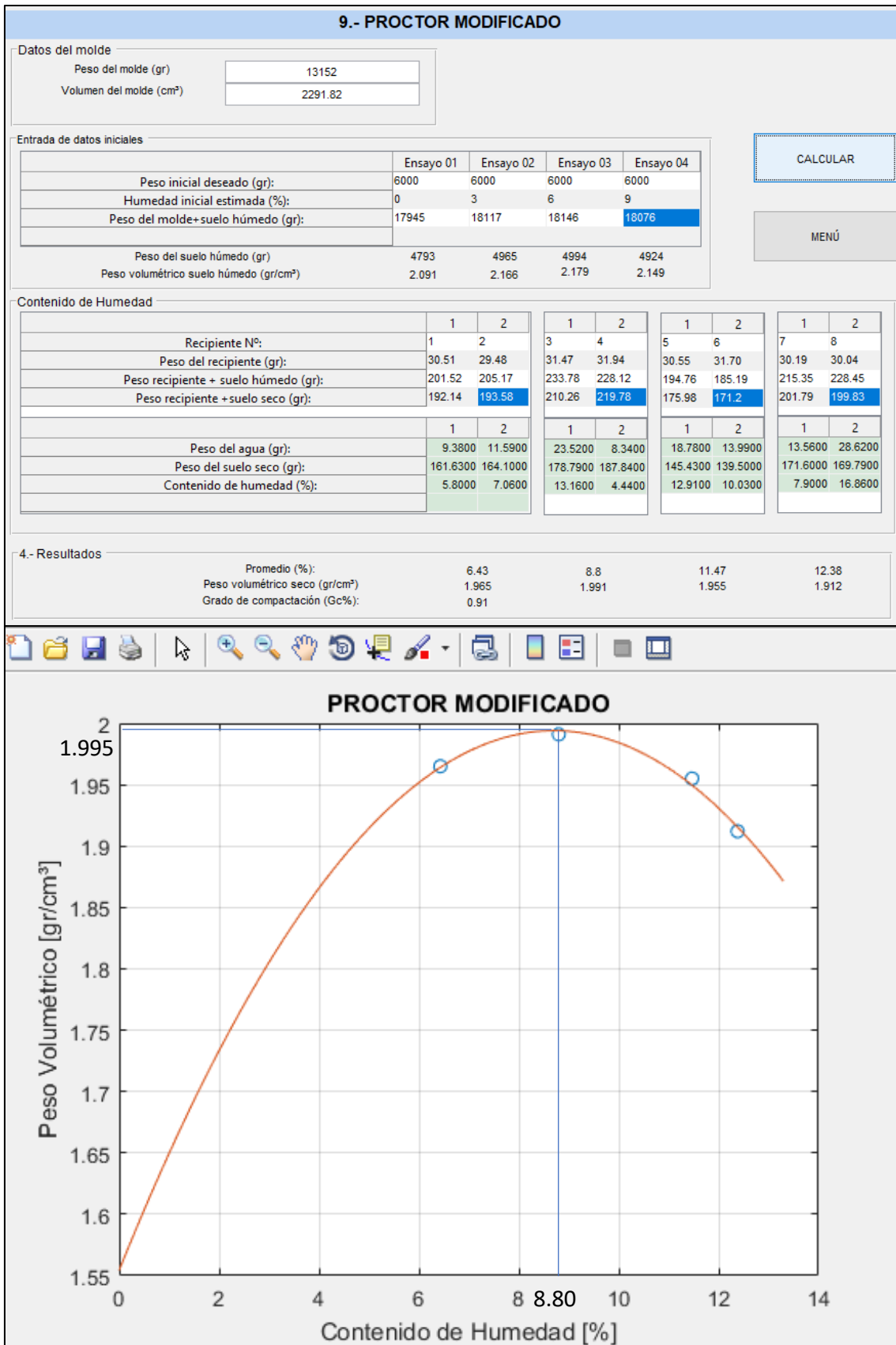


Figura 42. Proctor modificado, muestra N°03, captura de programa

Fuente: Merino Jiménez Steven David

3.1.10. California Bearing Ratio - CBR

NORMAS

NORMA AASHTO: T-99.

NOMENCLATURA

A_m , Área del molde (cm^2).

V_m , Volumen del molde (cm^3).

W_{sh} , Peso del suelo húmedo (gr.).

W_{msh} , Peso del molde + suelo húmedo (gr.).

W_m , Peso del molde (gr.).

γ_h , Peso volumétrico húmedo ($\frac{\text{gr.}}{\text{cm}^3}$).

W_w , Peso del agua (gr.).

W_{rsh} , Peso del recipiente + suelo húmedo (gr.).

W_{rss} , Peso del recipiente + suelo seco (gr.).

W_{ss} , Peso del suelo seco (gr.).

W_r , Peso del recipiente (gr.).

$\omega\%$, Contenido de humedad porcentual (%).

$\omega_p\%$, Contenido de humedad promedio porcentual (%).

γ_d , Peso volumétrico seco ($\frac{\text{gr.}}{\text{cm}^3}$).

E_c , Energía de compactación ($\frac{\text{lb} - \text{pie}}{\text{pie}^3}$).

N , Número de golpes por capa.

n , Número de capas.

w , Peso del pisón.

h , Altura de caída

V , Volumen estándar.

γ_{campo} , Densidad de campo.

$G_c\%$, Grado de compactación porcentual.

3.1.10.1. Resolución manual, California Bearing Ratio - CBR

MUESTRA N.º 01

Cálculo para las muestras pertenecientes a la tabla N.º. 21

Molde A

$$W_s = W_{s+m} - W_m$$

$$W_s = 11772gr. - 7020gr.$$

$$W_s = 4752gr.$$

$$V_m = \frac{\pi * D^2 * h}{4}$$

$$V_m = \frac{\pi * (15,20 \text{ cm})^2 * 12,63 \text{ cm}}{4}$$

$$V_m = 2291,82 \text{ cm}^3.$$

$$\gamma_h = \frac{W_s}{V_m}$$

$$\gamma_h = \frac{4752gr.}{2291,82 \text{ cm}^3}$$

$$\gamma_h = 2,073 \text{ gr./cm}^3$$

Molde B

$$W_s = W_{s+m} - W_m$$

$$W_s = 11389gr. - 6447gr.$$

$$W_s = 4942gr.$$

$$V_m = \frac{\pi * D^2 * h}{4}$$

$$V_m = \frac{\pi * (15,11 \text{ cm})^2 * 12,72 \text{ cm}}{4}$$

$$V_m = 2280,90 \text{ cm}^3.$$

$$\gamma_h = \frac{W_s}{V_m}$$

$$\gamma_h = \frac{4942gr.}{2280,90 \text{ cm}^3}$$

$$\gamma_h = 2,167 \text{ gr./cm}^3$$

Molde C

$$W_s = W_{s+m} - W_m$$

$$W_s = 14360\text{gr.} - 9196\text{gr.}$$

$$W_s = 5164\text{gr.}$$

$$V_m = \frac{\pi * D^2 * h}{4}$$

$$V_m = \frac{\pi * (15,20 \text{ cm})^2 * 12,66 \text{ cm}}{4}$$

$$V_m = 2297,26 \text{ cm}^3.$$

$$\gamma_h = \frac{W_s}{V_m}$$

$$\gamma_h = \frac{5164\text{gr.}}{2297,26\text{cm}^3}$$

$$\gamma_h = 2,248 \text{ gr./cm}^3$$

Contenido de humedad

Cálculo del peso del agua

- 1 ensayo

Recipiente N.º: 01

$$W_w = W_{rsh} - W_{rss}$$

$$W_w = 225,66\text{gr.} - 208,41\text{gr.}$$

$$W_w = 17,25\text{gr.}$$

Recipiente N.º: 02

$$W_w = W_{rsh} - W_{rss}$$

$$W_w = 201,18\text{gr.} - 184,64\text{gr.}$$

$$W_w = 16,54\text{gr.}$$

- 2 ensayo

Recipiente N.º: 03

$$W_w = W_{rsh} - W_{rss}$$

$$W_w = 178,53\text{gr.} - 161,38\text{gr.}$$

$$W_w = 17,15\text{gr.}$$

Recipiente N.º: 04

$$W_w = W_{rsh} - W_{rss}$$

$$W_w = 189,75\text{gr.} - 173,22\text{gr.}$$

$$W_w = 16.53\text{gr.}$$

- 3 ensayo

Recipiente N.º: 05

$$W_w = W_{rsh} - W_{rss}$$

$$W_w = 204.63\text{gr.} - 189.75\text{gr.}$$

$$W_w = 14.88\text{gr.}$$

Recipiente N.º: 06

$$W_w = W_{rsh} - W_{rss}$$

$$W_w = 228.40\text{gr.} - 202.72\text{gr.}$$

$$W_w = 25.68\text{gr.}$$

Cálculo del peso del suelo seco

- 1 ensayo

Recipiente N.º: 01

$$W_{ss} = W_{rss} - W_r$$

$$W_{ss} = 208.41 - 32.24\text{gr.}$$

$$W_{ss} = 176.17\text{gr.}$$

Recipiente N.º: 02

$$W_{ss} = W_{rss} - W_r$$

$$W_{ss} = 284.64\text{gr.} - 32.98\text{gr.}$$

$$W_{ss} = 151.66\text{gr.}$$

- 2 ensayo

Recipiente N.º: 03

$$W_{ss} = W_{rss} - W_r$$

$$W_{ss} = 161.38\text{gr.} - 31.59\text{gr.}$$

$$W_{ss} = 129.79\text{gr.}$$

Recipiente N.º: 04

$$W_{ss} = W_{rss} - W_r$$

$$W_{ss} = 151.388\text{gr.} - 31.59\text{gr.}$$

$$W_{ss} = 141.35\text{gr.}$$

- 3 ensayo

Recipiente N.º: 05

$$W_{ss} = W_{rss} - W_r$$

$$W_{ss} = 189.75\text{gr.} - 31.91\text{gr.}$$

$$W_{ss} = 157.84\text{gr.}$$

Recipiente N.º: 06

$$W_{ss} = W_{r_{ss}} - W_r$$

$$W_{ss} = 228.40\text{gr.} - 25.68\text{gr.}$$

$$W_{ss} = 167.97\text{gr.}$$

Cálculo del contenido de humedad

- 1 ensayo

Recipiente N.º: 01

$$\omega\% = \frac{W_w}{W_{ss}}$$

$$\omega\% = \frac{17.25\text{gr.}}{176.17\text{gr.}}$$

$$\omega\% = 9.79\%.$$

Recipiente N.º: 02

$$\omega\% = \frac{W_w}{W_{ss}}$$

$$\omega\% = \frac{16.54\text{gr.}}{151.66\text{gr.}}$$

$$\omega\% = 10.91\%.$$

- 2 ensayo

Recipiente N.º: 03

$$\omega\% = \frac{W_w}{W_{ss}}$$

$$\omega\% = \frac{17.15\text{gr.}}{129.79\text{gr.}}$$

$$\omega\% = 13.21\%.$$

Recipiente N.º: 04

$$\omega\% = \frac{W_w}{W_{ss}}$$

$$\omega\% = \frac{16.53\text{gr.}}{141.35\text{gr.}}$$

$$\omega\% = 11.69\%.$$

- 3 ensayo

Recipiente N.º: 05

$$\omega\% = \frac{W_w}{W_{ss}}$$

$$\omega\% = \frac{14.88\text{gr.}}{157.84\text{gr.}}$$

$$\omega\% = 9.43\%.$$

Recipiente N.º: 06

$$\omega\% = \frac{W_w}{W_{ss}}$$

$$\omega\% = \frac{25.68\text{gr.}}{167.97\text{gr.}}$$

$$\omega\% = 15.29\%.$$

Cálculo del contenido de humedad promedio

- 1 ensayo

$$\omega_p\% = \frac{W_w}{W_{ss}}$$

$$\omega_p\% = \frac{9.79\% + 10.91\%}{2}$$

$$\omega_p\% = 10.35\%.$$

- 2 ensayo

$$\omega_p\% = \frac{W_w}{W_{ss}}$$

$$\omega_p\% = \frac{13.21\% + 11.69\%}{2}$$

$$\omega_p\% = 12.45\%.$$

- 3 ensayo

$$\omega_p\% = \frac{W_w}{W_{ss}}$$

$$\omega_p\% = \frac{9.43\% + 15.29\%}{2}$$

$$\omega_p\% = 12.36\%.$$

Cálculo del peso volumétrico seco

- 1 ensayo

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

$$\gamma_d = \frac{2.073 \text{ gr./cm}^3}{1 + 0,1035}$$

$$\gamma_d = 1.879 \text{ gr./cm}^3$$

- 2 ensayo

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

$$\gamma_d = \frac{2.167 \text{ gr./cm}^3}{1 + 0,1245}$$

$$\gamma_d = 1,927 \text{ gr./cm}^3$$

- 3 ensayo

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

$$\gamma_d = \frac{2.248 \text{ gr./cm}^3}{1 + 0,1236}$$

$$\gamma_d = 2.001 \text{ gr./cm}^3$$

Después de la saturación

Molde A

$$W_s = W_{s+m} - W_m$$

$$W_s = 11752 \text{ gr.} - 7020 \text{ gr.}$$

$$W_s = 4732 \text{ gr.}$$

$$V_m = 2291.82 \text{ cm}^3.$$

$$\gamma_h = \frac{W_s}{V_m}$$

$$\gamma_h = \frac{4732 \text{ gr.}}{2291.82 \text{ cm}^3}$$

$$\gamma_h = 2.060 \text{ gr./cm}^3$$

Molde B

$$W_s = W_{s+m} - W_m$$

$$W_s = 11305 \text{ gr.} - 6447 \text{ gr.}$$

$$W_s = 4858\text{gr.}$$

$$V_m = 2280.90 \text{ cm}^3.$$

$$\gamma_h = \frac{W_s}{V_m}$$

$$\gamma_h = \frac{4858\text{gr.}}{2280.90\text{cm}^3}$$

$$\gamma_h = 2.130 \text{ gr./cm}^3$$

Molde C

$$W_s = W_{s+m} - W_m$$

$$W_s = 14226\text{gr.} - 9196\text{gr.}$$

$$W_s = 5030\text{gr.}$$

$$V_m = 2297.26 \text{ cm}^3.$$

$$\gamma_h = \frac{W_s}{V_m}$$

$$\gamma_h = \frac{5030\text{gr.}}{2297.26\text{cm}^3}$$

$$\gamma_h = 2.190 \text{ gr./cm}^3$$

Contenido de humedad – después de la saturación

Cálculo del peso del agua

- 1 ensayo

Recipiente N.º: 01

$$W_w = W_{rsh} - W_{rss}$$

$$W_w = 123.66\text{gr.} - 114.61\text{gr.}$$

$$W_w = 9.05\text{gr.}$$

Recipiente N.º: 02

$$W_w = W_{rsh} - W_{rss}$$

$$W_w = 123.27\text{gr.} - 111.06\text{gr.}$$

$$W_w = 11.67\text{gr.}$$

- 2 ensayo

Recipiente N.º: 03

$$W_w = W_{rsh} - W_{rss}$$

$$W_w = 143.39\text{gr.} - 131.65\text{gr.}$$

$$W_w = 11.74\text{gr.}$$

Recipiente N.º: 04

$$W_w = W_{rsh} - W_{rss}$$

$$W_w = 150.05\text{gr.} - 139.01\text{gr.}$$

$$W_w = 11.04\text{gr.}$$

- 3 ensayo

Recipiente N.º: 05

$$W_w = W_{rsh} - W_{rss}$$

$$W_w = 130.69\text{gr.} - 121.37\text{gr.}$$

$$W_w = 9.32\text{gr.}$$

Recipiente N.º: 06

$$W_w = W_{rsh} - W_{rss}$$

$$W_w = 138.70\text{gr.} - 127.09\text{gr.}$$

$$W_w = 11.61\text{gr.}$$

Cálculo del peso del suelo seco

- 1 ensayo

Recipiente N.º: 01

$$W_{ss} = W_{rss} - W_r$$

$$W_{ss} = 114.61 - 24.05\text{gr.}$$

$$W_{ss} = 90.56\text{gr.}$$

Recipiente N.º: 02

$$W_{ss} = W_{rss} - W_r$$

$$W_{ss} = 111.60\text{gr.} - 24.08\text{gr.}$$

$$W_{ss} = 87.52\text{gr.}$$

- 2 ensayo

Recipiente N.º: 03

$$W_{ss} = W_{rss} - W_r$$

$$W_{ss} = 131.65\text{gr.} - 29.95\text{gr.}$$

$$W_{ss} = 101.70\text{gr.}$$

Recipiente N.º: 04

$$W_{ss} = W_{rss} - W_r$$

$$W_{ss} = 139.01\text{gr.} - 32.46\text{gr.}$$

$$W_{ss} = 106.55\text{gr.}$$

- 3 ensayo

Recipiente N.º: 05

$$W_{ss} = W_{rss} - W_r$$

$$W_{ss} = 121.7\text{gr.} - 24.35\text{gr.}$$

$$W_{ss} = 97.02\text{gr.}$$

Recipiente N.º: 06

$$W_{ss} = W_{rss} - W_r$$

$$W_{ss} = 127.09\text{gr.} - 26.52\text{gr.}$$

$$W_{ss} = 100.57\text{gr.}$$

Cálculo del contenido de humedad

- 1 ensayo

Recipiente N.º: 01

$$\omega\% = \frac{W_w}{W_{ss}}$$

$$\omega\% = \frac{9.05\text{gr.}}{90.56\text{gr.}}$$

$$\omega\% = 9.99\%.$$

Recipiente N.º: 02

$$\omega\% = \frac{W_w}{W_{ss}}$$

$$\omega\% = \frac{11.67\text{gr.}}{87.52\text{gr.}}$$

$$\omega\% = 13.33\%.$$

- 2 ensayo

Recipiente N.º: 03

$$\omega\% = \frac{W_w}{W_{ss}}$$

$$\omega\% = \frac{11.74\text{gr.}}{101.70\text{gr.}}$$

$$\omega\% = 11.54\%.$$

Recipiente N.º: 04

$$\omega\% = \frac{W_w}{W_{ss}}$$

$$\omega\% = \frac{11.04\text{gr.}}{106.55\text{gr.}}$$

$$\omega\% = 10.36\%.$$

- 3 ensayo

Recipiente N.º: 05

$$\omega\% = \frac{W_w}{W_{ss}}$$

$$\omega\% = \frac{9.32\text{gr.}}{97.02\text{gr.}}$$

$$\omega\% = 9.61\%.$$

Recipiente N.º: 06

$$\omega\% = \frac{W_w}{W_{ss}}$$

$$\omega\% = \frac{11.61\text{gr.}}{100.57\text{gr.}}$$

$$\omega\% = 11.54\%.$$

Cálculo del contenido de humedad promedio

- 1 ensayo

$$\omega_p\% = \frac{W_w}{W_{ss}}$$

$$\omega_p\% = \frac{9.99\% + 13.33\%}{2}$$

$$\omega_p\% = 11.66\%.$$

- 2 ensayo

$$\omega_p\% = \frac{W_w}{W_{ss}}$$

$$\omega_p\% = \frac{11.54\% + 10.369\%}{2}$$

$$\omega_p\% = 10.95\%.$$

- 3 ensayo

$$\omega_p\% = \frac{W_w}{W_{ss}}$$

$$\omega_p\% = \frac{9.61\% + 11.54\%}{2}$$

$$\omega_p\% = 10.58\%.$$

Para obtener la Presión en lb/in², de la lectura obtenida del dial se divide para el área del pistón correspondiente a 3in² y se obtiene los resultados para cada molde.

Máquina de compresión simple	Área Pistón (in ²)= 3,00		Vel. Carga = 1,27 mm/min (0,05in/min)			
Nº MOLDE	A		B		C	
Penetración (in)	dial	Presión (lb/in ²)	dial	Presión (lb/in ²)	dial	Presión (lb/in ²)
0,000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,025	318,60	106,20	445,50	148,50	599,50	199,83
0,050	536,80	178,93	856,10	285,37	1013,30	337,77
0,075	734,90	244,97	1176,90	392,30	1438,50	479,50
0,100	946,30	315,43	1438,10	479,37	1869,80	623,27
0,200	1552,30	517,43	2539,90	846,63	3696,30	1232,10
0,250	1729,05	576,35	2873,36	957,79	4319,98	1439,99
0,300	1996,50	665,50	3179,20	1059,73	4908,30	1636,10
0,350	2179,50	726,50	3328,46	1109,49	5379,81	1793,27
0,400	2318,90	772,97	3552,80	1184,27	5648,20	1882,73
0,500	2498,50	832,83	3795,80	1265,27	6203,60	2067,87

Tabla 28. Datos de penetración, muestra N°01, cálculo manual

Fuente: Merino Jiménez Steven David

Para los moldes A, B, C, se obtiene que en la penetración de 0.100in el mayor de los 3 es 623.27 lb/in² corresponde al %CBR 0.1in de 62.33%.

Por otra parte, para los moldes A, B, C, se obtiene que en la penetración de 0.200in el mayor de los 3 es (1232.10 lb/in²/15%) corresponde al %CBR 0.2in de 82.14%.

Por lo tanto, el CBR obtenido corresponde al mayor 82.14%.



		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
ENSAYO: "CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR"							
NORMA AASHTO T 180							
MUESTRA N°: 01							
MOLDE	A		B		C		
Diámetro del Molde	15,20		15,11		15,20		
Altura del Molde	12,63		12,72		12,66		
N° de golpes	11		27		56		
Muestra húmeda + molde	11772		11389		14360		
Masa Molde	7020		6447		9196		
Masa muestra húmeda	4752		4942		5164		
Volumen de muestra	2291,82		2280,90		2297,26		
Peso unitario húmedo	2,073		2,167		2,248		
CONTENIDO DE HUMEDAD	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde	
N° Recipiente	1	2	3	4	5	6	
Masa del recipiente	32,24	32,98	31,59	31,87	31,91	34,75	
Suelo húmedo + rec	225,66	201,18	178,53	189,75	204,63	228,40	
Suelo seco + rec	208,41	184,64	161,38	173,22	189,75	202,72	
Masa de agua	17,25	16,54	17,15	16,53	14,88	25,68	
Masa de suelo seco	176,17	151,66	129,79	141,35	157,84	167,97	
Contenido de humedad	9,79	10,91	13,21	11,69	9,43	15,29	
Promedio	10,35		12,45		12,36		
Peso unitario seco	1,879		1,927		2,001		
DESPUÉS DE LA SATURACIÓN							
Muestra húmeda + molde	11752		11305		14226		
Masa Molde	7020		6447		9196		
Masa muestra húmeda	4732		4858		5030		
Volumen muestra	2291,82		2280,90		2297,26		
Peso unitario húmedo	2,060		2,130		2,190		
CONTENIDO DE HUMEDAD	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior	
N° Recipiente	A	B	C	D	E	F	
Masa de recipiente (gr)	24,05	24,08	29,95	32,46	24,35	26,52	
Suelo húmedo + rec (gr)	123,66	123,27	143,39	150,05	130,69	138,70	
Suelo seco + rec (gr)	114,61	111,6	131,65	139,01	121,37	127,09	
Masa de agua (gr)	9,05	11,67	11,74	11,04	9,32	11,61	
Masa de suelo seco (gr)	90,56	87,52	101,70	106,55	97,02	100,57	
Contenido de humedad W%	9,99	13,33	11,54	10,36	9,61	11,54	
Promedio W%	11,66		10,95		10,58		
ENSAYO DE CARGA - PENETRACIÓN							
Máquina de compresión simple	Área Pistón (in ²)= 3,00		Vel. Carga = 1,27 mm/min (0,05in/min)				
N° MOLDE	A		B		C		
Penetración (in)	dial	Presión (lb/in ²)	dial	Presión (lb/in ²)	dial	Presión (lb/in ²)	
0,000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
0,025	318,60	106,20	445,50	148,50	599,50	199,83	
0,050	536,80	178,93	856,10	285,37	1013,30	337,77	
0,075	734,90	244,97	1176,90	392,30	1438,50	479,50	
0,100	946,30	315,43	1438,10	479,37	1869,80	623,27	
0,200	1552,30	517,43	2539,90	846,63	3696,30	1232,10	
0,250	1729,05	576,35	2873,36	957,79	4319,98	1439,99	
0,300	1996,50	665,50	3179,20	1059,73	4908,30	1636,10	
0,350	2179,50	726,50	3328,46	1109,49	5379,81	1793,27	
0,400	2318,90	772,97	3552,80	1184,27	5648,20	1882,73	
0,500	2498,50	832,83	3795,80	1265,27	6203,60	2067,87	

Tabla 29. California Bearing Ratio, muestra N°01, cálculo manual parte 1

Fuente: Merino Jiménez Steven David

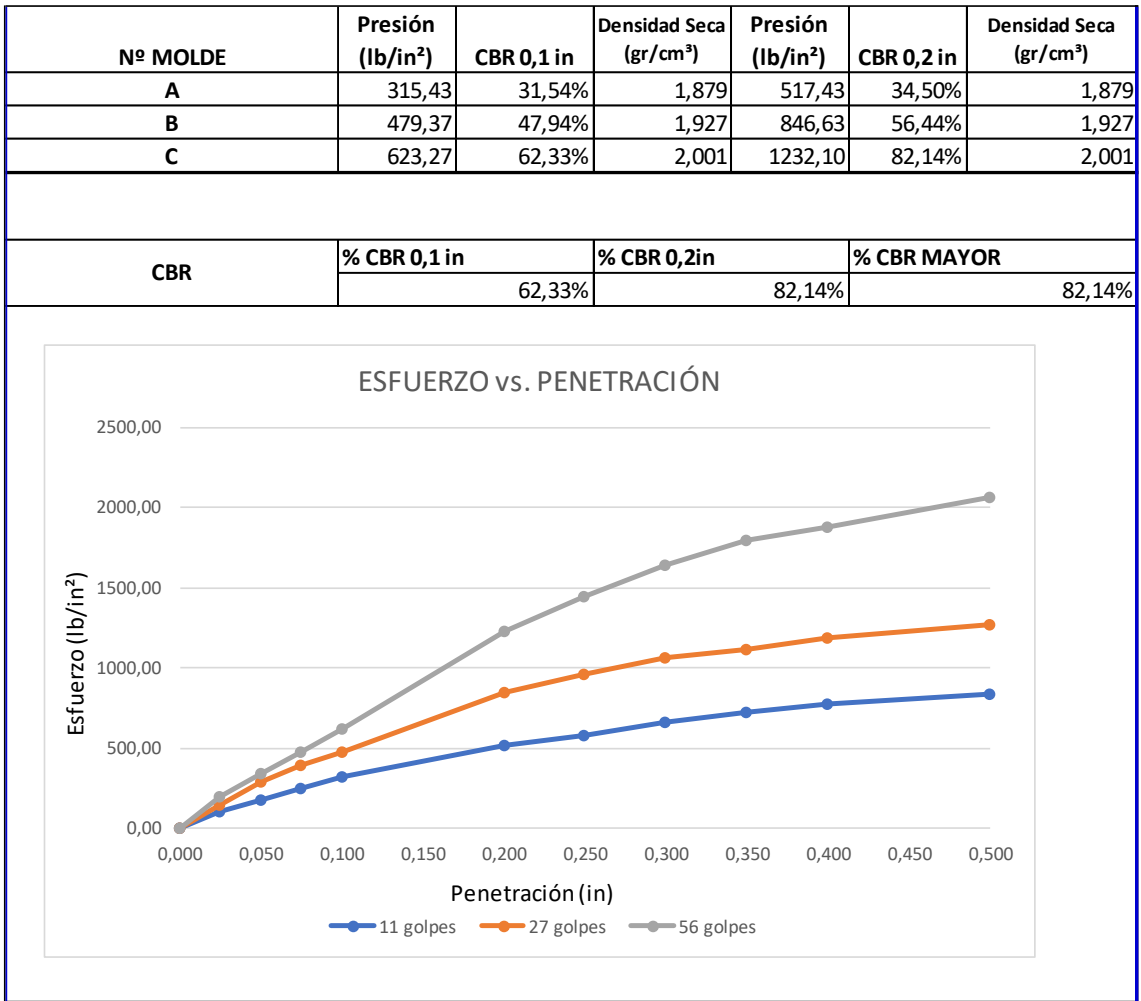


Tabla 30. California Bearing Ratio, muestra N°01, resumen de cálculo manual, parte 2

Fuente: Merino Jiménez Steven David

MUESTRA N.º 02

Cálculo para las muestras pertenecientes a la tabla N.º. 23

Molde A

$$W_s = W_{s+m} - W_m$$

$$W_s = 11636\text{gr.} - 7021\text{gr.}$$

$$W_s = 4615\text{gr.}$$

$$V_m = \frac{\pi * D^2 * h}{4}$$

$$V_m = \frac{\pi * (15,20 \text{ cm})^2 * 12,63 \text{ cm}}{4}$$

$$Vm = 2291.82 \text{ cm}^3.$$

$$\gamma_h = \frac{Ws}{Vm}$$

$$\gamma_h = \frac{4615\text{gr.}}{2291.82\text{cm}^3}$$

$$\gamma_h = 2.014 \text{ gr./cm}^3$$

Molde B

$$W_s = W_{s+m} - W_m$$

$$W_s = 11065\text{gr.} - 6443\text{gr.}$$

$$W_s = 4622\text{gr.}$$

$$V_m = \frac{\pi * D^2 * h}{4}$$

$$Vm = \frac{\pi * (15,11 \text{ cm})^2 * 12.72\text{cm}}{4}$$

$$Vm = 2280.90 \text{ cm}^3.$$

$$\gamma_h = \frac{Ws}{Vm}$$

$$\gamma_h = \frac{4622\text{gr.}}{2280.90\text{cm}^3}$$

$$\gamma_h = 2.026 \text{ gr./cm}^3$$

Molde C

$$W_s = W_{s+m} - W_m$$

$$W_s = 13821\text{gr.} - 9195\text{gr.}$$

$$W_s = 4626\text{gr.}$$

$$V_m = \frac{\pi * D^2 * h}{4}$$

$$Vm = \frac{\pi * (15,20 \text{ cm})^2 * 12.66\text{cm}}{4}$$

$$Vm = 2297.26 \text{ cm}^3.$$

$$\gamma_h = \frac{Ws}{Vm}$$

$$\gamma_h = \frac{4626\text{gr.}}{2297.26\text{cm}^3}$$

$$\gamma_h = 2.014 \text{ gr./cm}^3$$

Contenido de humedad

Cálculo del peso del agua

- 1 ensayo

Recipiente N.º: 01

$$W_w = W_{rsh} - W_{rss}$$

$$W_w = 221.89\text{gr.} - 208.98\text{gr.}$$

$$W_w = 12.91\text{gr.}$$

Recipiente N.º: 02

$$W_w = W_{rsh} - W_{rss}$$

$$W_w = 197.00\text{gr.} - 184.93\text{gr.}$$

$$W_w = 12.07\text{gr.}$$

- 2 ensayo

Recipiente N.º: 03

$$W_w = W_{rsh} - W_{rss}$$

$$W_w = 182.96\text{gr.} - 169.72\text{gr.}$$

$$W_w = 13.24\text{gr.}$$

Recipiente N.º: 04

$$W_w = W_{rsh} - W_{rss}$$

$$W_w = 189.75\text{gr.} - 175.86\text{gr.}$$

$$W_w = 13.89\text{gr.}$$

- 3 ensayo

Recipiente N.º: 05

$$W_w = W_{rsh} - W_{rss}$$

$$W_w = 215.85\text{gr.} - 195.64\text{gr.}$$

$$W_w = 20.21\text{gr.}$$

Recipiente N.º: 06

$$W_w = W_{rsh} - W_{rss}$$

$$W_w = 204.26\text{gr.} - 185.34\text{gr.}$$

$$W_w = 18.92\text{gr.}$$

Cálculo del peso del suelo seco

- 1 ensayo

Recipiente N.º: 01

$$W_{SS} = W_{RSS} - W_r$$

$$W_{SS} = 208.98 - 30.85\text{gr.}$$

$$W_{SS} = 178.13\text{gr.}$$

Recipiente N.º: 02

$$W_{SS} = W_{RSS} - W_r$$

$$W_{SS} = 184.93\text{gr.} - 32.04\text{gr.}$$

$$W_{SS} = 152.89\text{gr.}$$

- 2 ensayo

Recipiente N.º: 03

$$W_{SS} = W_{RSS} - W_r$$

$$W_{SS} = 169.72\text{gr.} - 30.98\text{gr.}$$

$$W_{SS} = 138.74\text{gr.}$$

Recipiente N.º: 04

$$W_{SS} = W_{RSS} - W_r$$

$$W_{SS} = 175.86\text{gr.} - 31.96\text{gr.}$$

$$W_{SS} = 143.90\text{gr.}$$

- 3 ensayo

Recipiente N.º: 05

$$W_{SS} = W_{RSS} - W_r$$

$$W_{SS} = 195.64 - 31.64\text{gr.}$$

$$W_{SS} = 164.00\text{gr.}$$

Recipiente N.º: 06

$$W_{SS} = W_{RSS} - W_r$$

$$W_{SS} = 185.34 - 32.44\text{gr.}$$

$$W_{SS} = 152.90\text{gr.}$$

Cálculo del contenido de humedad

- 1 ensayo

Recipiente N.º: 01

$$\omega\% = \frac{W_w}{W_{SS}}$$

$$\omega\% = \frac{12.91\text{gr.}}{178.13\text{gr.}}$$

$$\omega\% = 7.57\%.$$

Recipiente N.º: 02

$$\omega\% = \frac{W_w}{W_{ss}}$$

$$\omega\% = \frac{12.07\text{gr.}}{152.89\text{gr.}}$$

$$\omega\% = 7.89\%.$$

- 2 ensayo

Recipiente N.º: 03

$$\omega\% = \frac{W_w}{W_{ss}}$$

$$\omega\% = \frac{13.24\text{gr.}}{138.74\text{gr.}}$$

$$\omega\% = 9.54\%.$$

Recipiente N.º: 04

$$\omega\% = \frac{W_w}{W_{ss}}$$

$$\omega\% = \frac{13.89\text{gr.}}{143.90\text{gr.}}$$

$$\omega\% = 9.65\%.$$

- 3 ensayo

Recipiente N.º: 05

$$\omega\% = \frac{W_w}{W_{ss}}$$

$$\omega\% = \frac{20.21\text{gr.}}{164.00\text{gr.}}$$

$$\omega\% = 12.32\%.$$

Recipiente N.º: 06

$$\omega\% = \frac{W_w}{W_{ss}}$$

$$\omega\% = \frac{18.92\text{gr.}}{152.90\text{gr.}}$$

$$\omega\% = 12.37\%.$$

Cálculo del contenido de humedad promedio

- 1 ensayo

$$\omega_p \% = \frac{W_w}{W_{ss}}$$
$$\omega_p \% = \frac{7.25\% + 7.89\%}{2}$$
$$\omega_p \% = 7.57\%.$$

- 2 ensayo

$$\omega_p \% = \frac{W_w}{W_{ss}}$$
$$\omega_p \% = \frac{9.54\% + 9.65\%}{2}$$
$$\omega_p \% = 9.60\%.$$

- 3 ensayo

$$\omega_p \% = \frac{W_w}{W_{ss}}$$
$$\omega_p \% = \frac{12.32\% + 12.37\%}{2}$$
$$\omega_p \% = 12.35\%.$$

Cálculo del peso volumétrico seco

- 1 ensayo

$$\gamma_d = \frac{\gamma_h}{1 + \omega}$$
$$\gamma_d = \frac{2.014 \text{ gr./cm}^3}{1 + 0,0757}$$
$$\gamma_d = 1.872 \text{ gr./cm}^3$$

- 2 ensayo

$$\gamma_d = \frac{\gamma_h}{1 + \omega}$$
$$\gamma_d = \frac{2.026 \text{ gr./cm}^3}{1 + 0,0960}$$

$$\gamma_d = 1.849 \text{ gr./cm}^3$$

- 3 ensayo

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

$$\gamma_d = \frac{2.248 \text{ gr./cm}^3}{1 + 0.1235}$$

$$\gamma_d = 2.030 \text{ gr./cm}^3$$

Después de la saturación

Molde A

$$W_s = W_{s+m} - W_m$$

$$W_s = 11592 \text{ gr.} - 7021 \text{ gr.}$$

$$W_s = 4571 \text{ gr.}$$

$$V_m = 2291.82 \text{ cm}^3.$$

$$\gamma_h = \frac{W_s}{V_m}$$

$$\gamma_h = \frac{4571 \text{ gr.}}{2291.82 \text{ cm}^3}$$

$$\gamma_h = 1.990 \text{ gr./cm}^3$$

Molde B

$$W_s = W_{s+m} - W_m$$

$$W_s = 11006 \text{ gr.} - 6443 \text{ gr.}$$

$$W_s = 4563 \text{ gr.}$$

$$V_m = 2280.90 \text{ cm}^3.$$

$$\gamma_h = \frac{W_s}{V_m}$$

$$\gamma_h = \frac{4563 \text{ gr.}}{2280.90 \text{ cm}^3}$$

$$\gamma_h = 2.000 \text{ gr./cm}^3$$

Molde C

$$W_s = W_{s+m} - W_m$$

$$W_s = 13856\text{gr.} - 9195\text{gr.}$$

$$W_s = 4661\text{gr.}$$

$$V_m = 2297.26\text{ cm}^3.$$

$$\gamma_h = \frac{W_s}{V_m}$$

$$\gamma_h = \frac{4661\text{gr.}}{2297.26\text{cm}^3}$$

$$\gamma_h = 2.030\text{ gr./cm}^3$$

Contenido de humedad – después de la saturación

Cálculo del peso del agua

- 1 ensayo

Recipiente N.º: 01

$$W_w = W_{rsh} - W_{rss}$$

$$W_w = 165.98\text{gr.} - 151.13\text{gr.}$$

$$W_w = 14.85\text{gr.}$$

Recipiente N.º: 02

$$W_w = W_{rsh} - W_{rss}$$

$$W_w = 169.64\text{gr.} - 154.25\text{gr.}$$

$$W_w = 15.39\text{gr.}$$

- 2 ensayo

Recipiente N.º: 03

$$W_w = W_{rsh} - W_{rss}$$

$$W_w = 170.85\text{gr.} - 152.76\text{gr.}$$

$$W_w = 18.09\text{gr.}$$

Recipiente N.º: 04

$$W_w = W_{rsh} - W_{rss}$$

$$W_w = 175.43\text{gr.} - 156.89\text{gr.}$$

$$W_w = 18.54\text{gr.}$$

- 3 ensayo

Recipiente N.º: 05

$$W_w = W_{rsh} - W_{rss}$$

$$W_w = 180.36\text{gr.} - 160.72\text{gr.}$$

$$W_w = 19.64\text{gr.}$$

Recipiente N.º: 06

$$W_w = W_{rsh} - W_{rss}$$

$$W_w = 178.96\text{gr.} - 157.83\text{gr.}$$

$$W_w = 21.13\text{gr.}$$

Cálculo del peso del suelo seco

- 1 ensayo

Recipiente N.º: 01

$$W_{ss} = W_{rss} - W_r$$

$$W_{ss} = 151.13\text{gr.} - 29.86\text{gr.}$$

$$W_{ss} = 121.27\text{gr.}$$

Recipiente N.º: 02

$$W_{ss} = W_{rss} - W_r$$

$$W_{ss} = 154.25\text{gr.} - 31.59\text{gr.}$$

$$W_{ss} = 122.66\text{gr.}$$

- 2 ensayo

Recipiente N.º: 03

$$W_{ss} = W_{rss} - W_r$$

$$W_{ss} = 152.76\text{gr.} - 31.91\text{gr.}$$

$$W_{ss} = 120.85\text{gr.}$$

Recipiente N.º: 04

$$W_{ss} = W_{rss} - W_r$$

$$W_{ss} = 156.89\text{gr.} - 32.42\text{gr.}$$

$$W_{ss} = 124.47\text{gr.}$$

- 3 ensayo

Recipiente N.º: 05

$$W_{ss} = W_{rss} - W_r$$

$$W_{ss} = 160.72\text{gr.} - 32.97\text{gr.}$$

$$W_{ss} = 127.75\text{gr.}$$

Recipiente N.º: 06

$$W_{ss} = W_{r_{ss}} - W_r$$

$$W_{ss} = 157.83\text{gr.} - 33.06\text{gr.}$$

$$W_{ss} = 124.77\text{gr.}$$

Cálculo del contenido de humedad

- 1 ensayo

Recipiente N.º: 01

$$\omega\% = \frac{W_w}{W_{ss}}$$

$$\omega\% = \frac{14.85\text{gr.}}{121.27\text{gr.}}$$

$$\omega\% = 12.25\%.$$

Recipiente N.º: 02

$$\omega\% = \frac{W_w}{W_{ss}}$$

$$\omega\% = \frac{15.39\text{gr.}}{122.66\text{gr.}}$$

$$\omega\% = 12.55\%.$$

- 2 ensayo

Recipiente N.º: 03

$$\omega\% = \frac{W_w}{W_{ss}}$$

$$\omega\% = \frac{18.09\text{gr.}}{120.85\text{gr.}}$$

$$\omega\% = 14.97\%.$$

Recipiente N.º: 04

$$\omega\% = \frac{W_w}{W_{ss}}$$

$$\omega\% = \frac{18.54\text{gr.}}{124.47\text{gr.}}$$

$$\omega\% = 14.90\%.$$

- 3 ensayo

Recipiente N.º: 05

$$\omega\% = \frac{W_w}{W_{ss}}$$

$$\omega\% = \frac{19.64\text{gr.}}{127.75\text{gr.}}$$

$$\omega\% = 15.37\%.$$

Recipiente N.º: 06

$$\omega\% = \frac{W_w}{W_{ss}}$$

$$\omega\% = \frac{21.13\text{gr.}}{124.77\text{gr.}}$$

$$\omega\% = 16.94\%.$$

Cálculo del contenido de humedad promedio

- 1 ensayo

$$\omega_p\% = \frac{W_w}{W_{ss}}$$

$$\omega_p\% = \frac{12.25\% + 12.55\%}{2}$$

$$\omega_p\% = 12.40\%.$$

- 2 ensayo

$$\omega_p\% = \frac{W_w}{W_{ss}}$$

$$\omega_p\% = \frac{14.97\% + 14.90\%}{2}$$

$$\omega_p\% = 14.94\%.$$

- 3 ensayo

$$\omega_p\% = \frac{W_w}{W_{ss}}$$

$$\omega_p\% = \frac{15.37\% + 16.94\%}{2}$$

$$\omega_p\% = 16.16\%.$$

Para obtener la Presión en lb/in², de la lectura obtenida del dial se divide para el área del pistón correspondiente a 3in² y se obtiene los resultados para cada molde.

Máquina de compresión simple	Área Pistón (in ²)= 3,00		Vel. Carga = 1,27 mm/min (0,05in/min)			
Nº MOLDE	A		B		C	
Penetración (in)	dial	Presión (lb/in ²)	dial	Presión (lb/in ²)	dial	Presión (lb/in ²)
0,000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,025	309,04	103,01	436,59	145,53	581,52	193,84
0,050	552,90	184,30	881,78	293,93	1043,70	347,90
0,075	720,20	240,07	1153,36	384,45	1409,73	469,91
0,100	1040,93	346,98	1481,24	493,75	2000,69	666,90
0,200	1629,92	543,31	2717,69	905,90	3770,23	1256,74
0,250	1871,83	623,94	2937,81	979,27	4398,27	1466,09
0,300	2056,40	685,47	3274,58	1091,53	5055,55	1685,18
0,350	2141,32	713,77	3326,98	1108,99	5174,96	1724,99
0,400	2202,96	734,32	3375,16	1125,05	5365,79	1788,60
0,500	2548,47	849,49	3871,72	1290,57	6327,67	2109,22

Tabla 31. Datos de penetración, muestra N°02, cálculo manual

Fuente: Merino Jiménez Steven David

Para los moldes A, B, C, se obtiene que en la penetración de 0.100in el mayor de los 3 es 666.90 lb/in² corresponde al %CBR 0.1in de 66.69%.

Por otra parte, para los moldes A, B, C, se obtiene que en la penetración de 0.200in el mayor de los 3 es (1256.74 lb/in²/15%) corresponde al %CBR 0.2in de 83.78%.

Por lo tanto, el CBR obtenido corresponde al mayor 83.78%.



		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
ENSAYO: "CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR"							
NORMA AASHTO T 180							
MUESTRA N°: 02							
MOLDE	A		B		C		
Diámetro del Molde	15,20		15,11		15,20		
Altura del Molde	12,63		12,72		12,66		
Nº de golpes	10		26		56		
Muestra húmeda + molde	11636		11065		13821		
Masa Molde	7421		6443		8195		
Masa muestra húmeda	4215		4622		5626		
Volumen de muestra	2291,82		2280,90		2297,26		
Peso unitario húmedo	1,839		2,026		2,449		
CONTENIDO DE HUMEDAD	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde	
Nº Recipiente	1	2	3	4	5	6	
Masa del recipiente	30,85	32,04	30,98	31,96	31,64	32,44	
Suelo húmedo + rec	221,89	197,00	182,96	189,75	215,85	204,26	
Suelo seco + rec	208,98	184,93	169,72	175,86	195,64	185,34	
Masa de agua	12,91	12,07	13,24	13,89	20,21	18,92	
Masa de suelo seco	178,13	152,89	138,74	143,90	164,00	152,90	
Contenido de humedad	7,25	7,89	9,54	9,65	12,32	12,37	
Promedio	7,57		9,60		12,35		
Peso unitario seco	1,71		1,849		2,18		
DESPUÉS DE LA SATURACIÓN							
Muestra húmeda + molde	11592		11006		13856		
Masa Molde	7421		6443		8195		
Masa muestra húmeda	4171		4563		5661		
Volumen muestra	2291,82		2280,90		2297,26		
Peso unitario húmedo	1,820		2,001		2,464		
CONTENIDO DE HUMEDAD	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior	
Nº Recipiente	1	2	3	4	5	6	
Masa de recipiente (gr)	29,86	31,59	31,91	32,42	32,97	33,06	
Suelo húmedo + rec (gr)	165,98	169,64	170,85	175,43	180,36	178,96	
Suelo seco + rec (gr)	151,13	154,25	152,76	156,89	160,72	157,83	
Masa de agua (gr)	14,85	15,39	18,09	18,54	19,64	21,13	
Masa de suelo seco (gr)	121,27	122,66	120,85	124,47	127,75	124,77	
Contenido de humedad W%	12,25	12,55	14,97	14,9	15,37	16,94	
Promedio W%	12,40		14,94		16,16		
ENSAYO DE CARGA - PENETRACIÓN							
Máquina de compresión simple	Área Pistón (in ²)= 3,00			Vel. Carga = 1,27 mm/min (0,05in/min)			
Nº MOLDE	A		B		C		
Penetración (in)	dial	Presión (lb/in²)	dial	Presión (lb/in²)	dial	Presión (lb/in²)	
0,000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
0,025	309,04	103,01	436,59	145,53	581,52	193,84	
0,050	552,90	184,30	881,78	293,93	1043,70	347,90	
0,075	720,20	240,07	1153,36	384,45	1409,73	469,91	
0,100	1040,93	346,98	1481,24	493,75	2000,69	666,90	
0,200	1629,92	543,31	2717,69	905,90	3770,23	1256,74	
0,250	1871,83	623,94	2937,81	979,27	4398,27	1466,09	
0,300	2056,40	685,47	3274,58	1091,53	5055,55	1685,18	
0,350	2141,32	713,77	3326,98	1108,99	5174,96	1724,99	
0,400	2202,96	734,32	3375,16	1125,05	5365,79	1788,60	
0,500	2548,47	849,49	3871,72	1290,57	6327,67	2109,22	

Tabla 32. California Bearing Ratio, muestra N°02, cálculo manual, parte 1

Fuente: Merino Jiménez Steven David

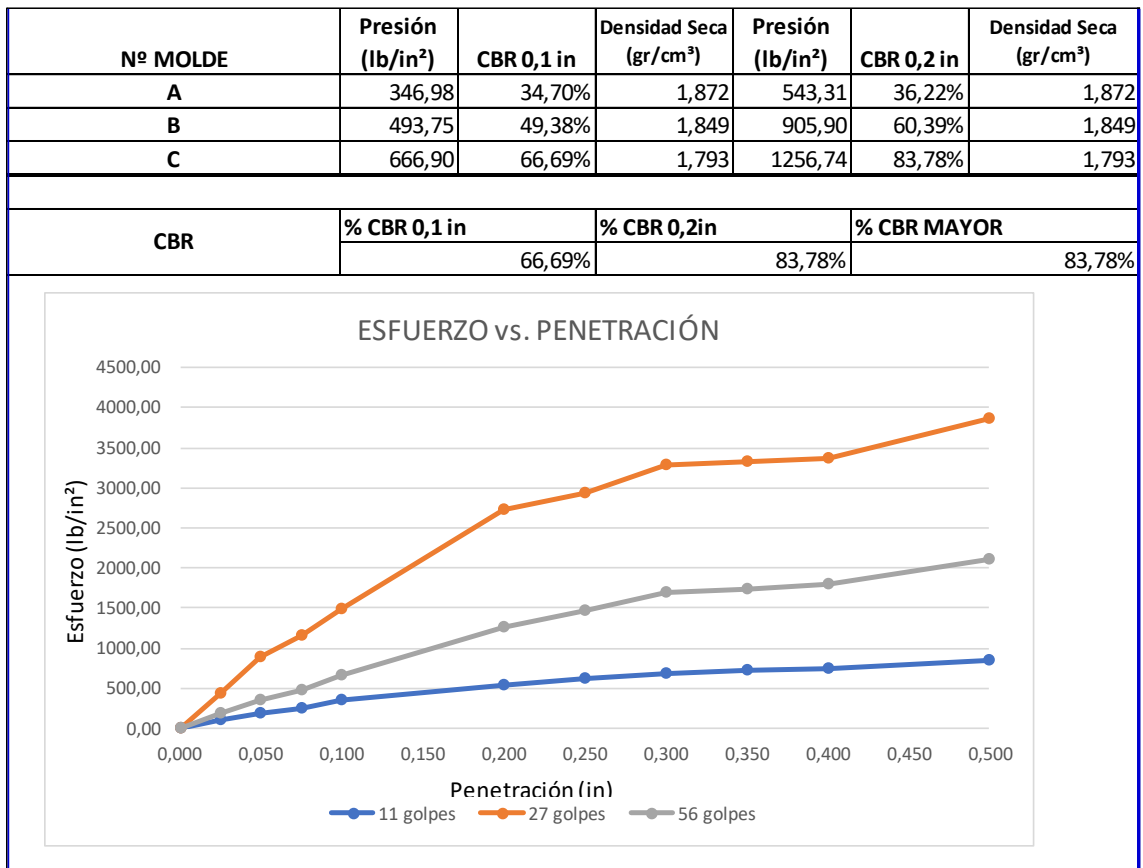


Tabla 33. California Bearing Ratio, muestra N°02, cálculo manual, parte 2

Fuente: Merino Jiménez Steven David

MUESTRA N.º 03

Cálculo para las muestras pertenecientes a la tabla N.º 25

Molde A

$$W_s = W_{s+m} - W_m$$

$$W_s = 118633 \text{ gr.} - 7020 \text{ gr.}$$

$$W_s = 4843 \text{ gr.}$$

$$V_m = \frac{\pi * D^2 * h}{4}$$

$$V_m = \frac{\pi * (15,20 \text{ cm})^2 * 12,63 \text{ cm}}{4}$$

$$V_m = 2291,82 \text{ cm}^3.$$

$$\gamma_h = \frac{W_s}{V_m}$$

$$\gamma_h = \frac{4843\text{gr.}}{2291.82\text{cm}^3}$$

$$\gamma_h = 2.113^{\text{gr.}}/\text{cm}^3$$

Molde B

$$W_s = W_{s+m} - W_m$$

$$W_s = 11517\text{gr.} - 6447\text{gr.}$$

$$W_s = 5070\text{gr.}$$

$$V_m = \frac{\pi * D^2 * h}{4}$$

$$Vm = \frac{\pi * (15,11 \text{ cm})^2 * 12.72\text{cm}}{4}$$

$$Vm = 2280.90 \text{ cm}^3.$$

$$\gamma_h = \frac{W_s}{Vm}$$

$$\gamma_h = \frac{5070\text{gr.}}{2280.90\text{cm}^3}$$

$$\gamma_h = 2.223^{\text{gr.}}/\text{cm}^3$$

Molde C

$$W_s = W_{s+m} - W_m$$

$$W_s = 14269\text{gr.} - 9196\text{gr.}$$

$$W_s = 5073\text{gr.}$$

$$V_m = \frac{\pi * D^2 * h}{4}$$

$$Vm = \frac{\pi * (15,20 \text{ cm})^2 * 12.66\text{cm}}{4}$$

$$Vm = 2297.26 \text{ cm}^3.$$

$$\gamma_h = \frac{W_s}{Vm}$$

$$\gamma_h = \frac{5073\text{gr.}}{2297.26\text{cm}^3}$$

$$\gamma_h = 2.208^{\text{gr.}}/\text{cm}^3$$

Contenido de humedad

Cálculo del peso del agua

- 1 ensayo

Recipiente N.º: 01

$$W_w = W_{rsh} - W_{rss}$$

$$W_w = 193.63\text{gr.} - 180.49\text{gr.}$$

$$W_w = 13.14\text{gr.}$$

Recipiente N.º: 02

$$W_w = W_{rsh} - W_{rss}$$

$$W_w = 182.78\text{gr.} - 172.11\text{gr.}$$

$$W_w = 10.67\text{gr.}$$

- 2 ensayo

Recipiente N.º: 03

$$W_w = W_{rsh} - W_{rss}$$

$$W_w = 187.72\text{gr.} - 172.68\text{gr.}$$

$$W_w = 15.04\text{gr.}$$

Recipiente N.º: 04

$$W_w = W_{rsh} - W_{rss}$$

$$W_w = 182.64\text{gr.} - 170.57\text{gr.}$$

$$W_w = 12.07\text{gr.}$$

- 3 ensayo

Recipiente N.º: 05

$$W_w = W_{rsh} - W_{rss}$$

$$W_w = 194.23\text{gr.} - 177.20\text{gr.}$$

$$W_w = 17.03\text{gr.}$$

Recipiente N.º: 06

$$W_w = W_{rsh} - W_{rss}$$

$$W_w = 190.51\text{gr.} - 173.16\text{gr.}$$

$$W_w = 17.35\text{gr.}$$

Cálculo del peso del suelo seco

- 1 ensayo

Recipiente N.º: 01

$$W_{ss} = W_{rss} - W_r$$

$$W_{ss} = 180.49 - 24.35\text{gr.}$$

$$W_{SS} = 156.14\text{gr.}$$

Recipiente N.º: 02

$$W_{SS} = W_{RSS} - W_R$$

$$W_{SS} = 182.78\text{gr.} - 26.96\text{gr.}$$

$$W_{SS} = 145.15\text{gr.}$$

- 2 ensayo

Recipiente N.º: 03

$$W_{SS} = W_{RSS} - W_R$$

$$W_{SS} = 172.68\text{gr.} - 24.08\text{gr.}$$

$$W_{SS} = 148.60\text{gr.}$$

Recipiente N.º: 04

$$W_{SS} = W_{RSS} - W_R$$

$$W_{SS} = 170.57\text{gr.} - 24.06\text{gr.}$$

$$W_{SS} = 146.51\text{gr.}$$

- 3 ensayo

Recipiente N.º: 05

$$W_{SS} = W_{RSS} - W_R$$

$$W_{SS} = 177.20 - 25.96\text{gr.}$$

$$W_{SS} = 151.24\text{gr.}$$

Recipiente N.º: 06

$$W_{SS} = W_{RSS} - W_R$$

$$W_{SS} = 173.16 - 26.35\text{gr.}$$

$$W_{SS} = 146.81\text{gr.}$$

Cálculo del contenido de humedad

- 1 ensayo

Recipiente N.º: 01

$$\omega\% = \frac{W_w}{W_{SS}}$$

$$\omega\% = \frac{13.14\text{gr.}}{156.14\text{gr.}}$$

$$\omega\% = 8.42\%.$$

Recipiente N.º: 02

$$\omega\% = \frac{W_w}{W_{ss}}$$

$$\omega\% = \frac{10.67\text{gr.}}{145.15\text{gr.}}$$

$$\omega\% = 7.35\%.$$

- 2 ensayo

Recipiente N.º: 03

$$\omega\% = \frac{W_w}{W_{ss}}$$

$$\omega\% = \frac{15.04\text{gr.}}{148.60\text{gr.}}$$

$$\omega\% = 10.12\%.$$

Recipiente N.º: 04

$$\omega\% = \frac{W_w}{W_{ss}}$$

$$\omega\% = \frac{12.07\text{gr.}}{146.51\text{gr.}}$$

$$\omega\% = 8.24\%.$$

- 3 ensayo

Recipiente N.º: 05

$$\omega\% = \frac{W_w}{W_{ss}}$$

$$\omega\% = \frac{17.03\text{gr.}}{151.24\text{gr.}}$$

$$\omega\% = 11.26\%.$$

Recipiente N.º: 06

$$\omega\% = \frac{W_w}{W_{ss}}$$

$$\omega\% = \frac{17.35\text{gr.}}{146.81\text{gr.}}$$

$$\omega\% = 11.82\%.$$

Cálculo del contenido de humedad promedio

- 1 ensayo

$$\omega_p \% = \frac{W_w}{W_{ss}}$$

$$\omega_p \% = \frac{8.42\% + 7.35\%}{2}$$

$$\omega_p \% = 7.89\%.$$

- 2 ensayo

$$\omega_p \% = \frac{W_w}{W_{ss}}$$

$$\omega_p \% = \frac{10.12\% + 8.24\%}{2}$$

$$\omega_p \% = 9.18\%.$$

- 3 ensayo

$$\omega_p \% = \frac{W_w}{W_{ss}}$$

$$\omega_p \% = \frac{11.26\% + 11.82\%}{2}$$

$$\omega_p \% = 11.54\%.$$

Cálculo del peso volumétrico seco

- 1 ensayo

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

$$\gamma_d = \frac{2.113 \text{ gr./cm}^3}{1 + 0,0789}$$

$$\gamma_d = 1.958 \text{ gr./cm}^3$$

- 2 ensayo

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

$$\gamma_d = \frac{2.223 \text{ gr./cm}^3}{1 + 0,0918}$$

$$\gamma_d = 2.036 \text{ gr./cm}^3$$

- 3 ensayo

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

$$\gamma_d = \frac{2.208 \text{ gr./cm}^3}{1 + 0.1154}$$

$$\gamma_d = 1.980 \text{ gr./cm}^3$$

Después de la saturación

Molde A

$$W_s = W_{s+m} - W_m$$

$$W_s = 11902 \text{ gr.} - 7020 \text{ gr.}$$

$$W_s = 4882 \text{ gr.}$$

$$V_m = 2291.82 \text{ cm}^3.$$

$$\gamma_h = \frac{W_s}{V_m}$$

$$\gamma_h = \frac{4882 \text{ gr.}}{2291.82 \text{ cm}^3}$$

$$\gamma_h = 2.130 \text{ gr./cm}^3$$

Molde B

$$W_s = W_{s+m} - W_m$$

$$W_s = 11586 \text{ gr.} - 6447 \text{ gr.}$$

$$W_s = 5139 \text{ gr.}$$

$$V_m = 2280.90 \text{ cm}^3.$$

$$\gamma_h = \frac{W_s}{V_m}$$

$$\gamma_h = \frac{5139 \text{ gr.}}{2280.90 \text{ cm}^3}$$

$$\gamma_h = 2.253 \text{ gr./cm}^3$$

Molde C

$$W_s = W_{s+m} - W_m$$

$$W_s = 14291 \text{ gr.} - 9196 \text{ gr.}$$

$$W_s = 5095 \text{ gr.}$$

$$Vm = 2297.26 \text{ cm}^3.$$

$$\gamma_h = \frac{Ws}{Vm}$$

$$\gamma_h = \frac{5095\text{gr.}}{2297.26\text{cm}^3}$$

$$\gamma_h = 2.218 \text{ gr./cm}^3$$

Contenido de humedad – después de la saturación

Cálculo del peso del agua

- 1 ensayo

Recipiente N.º: 01

$$W_w = W_{rsh} - W_{rss}$$

$$W_w = 150.85\text{gr.} - 138.72\text{gr.}$$

$$W_w = 12.13\text{gr.}$$

Recipiente N.º: 02

$$W_w = W_{rsh} - W_{rss}$$

$$W_w = 159.35\text{gr.} - 145.65\text{gr.}$$

$$W_w = 13.70\text{gr.}$$

- 2 ensayo

Recipiente N.º: 03

$$W_w = W_{rsh} - W_{rss}$$

$$W_w = 170.36\text{gr.} - 155.22\text{gr.}$$

$$W_w = 15.14\text{gr.}$$

Recipiente N.º: 04

$$W_w = W_{rsh} - W_{rss}$$

$$W_w = 169.97\text{gr.} - 153.85\text{gr.}$$

$$W_w = 16.12\text{gr.}$$

- 3 ensayo

Recipiente N.º: 05

$$W_w = W_{rsh} - W_{rss}$$

$$W_w = 159.32\text{gr.} - 145.18\text{gr.}$$

$$W_w = 14.14\text{gr.}$$

Recipiente N.º: 06

$$W_w = W_{rsh} - W_{rss}$$

$$W_w = 153.49\text{gr.} - 140.75\text{gr.}$$

$$W_w = 12.01\text{gr.}$$

Cálculo del peso del suelo seco

- 1 ensayo

Recipiente N.º: 01

$$W_{ss} = W_{rss} - W_r$$

$$W_{ss} = 138.72\text{gr.} - 32.95\text{gr.}$$

$$W_{ss} = 105.77\text{gr.}$$

Recipiente N.º: 02

$$W_{ss} = W_{rss} - W_r$$

$$W_{ss} = 145.65\text{gr.} - 32.29\text{gr.}$$

$$W_{ss} = 113.36\text{gr.}$$

- 2 ensayo

Recipiente N.º: 03

$$W_{ss} = W_{rss} - W_r$$

$$W_{ss} = 155.22\text{gr.} - 31.64\text{gr.}$$

$$W_{ss} = 123.58\text{gr.}$$

Recipiente N.º: 04

$$W_{ss} = W_{rss} - W_r$$

$$W_{ss} = 153.85\text{gr.} - 31.92\text{gr.}$$

$$W_{ss} = 121.93\text{gr.}$$

- 3 ensayo

Recipiente N.º: 05

$$W_{ss} = W_{rss} - W_r$$

$$W_{ss} = 145.18\text{gr.} - 31.84\text{gr.}$$

$$W_{ss} = 113.34\text{gr.}$$

Recipiente N.º: 06

$$W_{ss} = W_{rss} - W_r$$

$$W_{ss} = 140.75\text{gr.} - 34.71\text{gr.}$$

$$W_{ss} = 106.04\text{gr.}$$

Cálculo del contenido de humedad

- 1 ensayo

Recipiente N.º: 01

$$\omega\% = \frac{W_w}{W_{ss}}$$

$$\omega\% = \frac{12.13\text{gr.}}{105.77\text{gr.}}$$

$$\omega\% = 11.47\%.$$

Recipiente N.º: 02

$$\omega\% = \frac{W_w}{W_{ss}}$$

$$\omega\% = \frac{3.70\text{gr.}}{113.36\text{gr.}}$$

$$\omega\% = 12.09\%.$$

- 2 ensayo

Recipiente N.º: 03

$$\omega\% = \frac{W_w}{W_{ss}}$$

$$\omega\% = \frac{15.14\text{gr.}}{123.58\text{gr.}}$$

$$\omega\% = 12.25\%.$$

Recipiente N.º: 04

$$\omega\% = \frac{W_w}{W_{ss}}$$

$$\omega\% = \frac{16.12\text{gr.}}{121.93\text{gr.}}$$

$$\omega\% = 13.22\%.$$

- 3 ensayo

Recipiente N.º: 05

$$\omega\% = \frac{W_w}{W_{ss}}$$

$$\omega\% = \frac{14.14\text{gr.}}{113.34\text{gr.}}$$

$$\omega\% = 12.48\%.$$

Recipiente N.º: 06

$$\omega\% = \frac{W_w}{W_{ss}}$$

$$\omega\% = \frac{12.74\text{gr.}}{106.04\text{gr.}}$$

$$\omega\% = 12.01\%.$$

Cálculo del contenido de humedad promedio

- 1 ensayo

$$\omega_p\% = \frac{W_w}{W_{ss}}$$

$$\omega_p\% = \frac{11.47\% + 12.09\%}{2}$$

$$\omega_p\% = 11.78\%.$$

- 2 ensayo

$$\omega_p\% = \frac{W_w}{W_{ss}}$$

$$\omega_p\% = \frac{12.25\% + 13.22\%}{2}$$

$$\omega_p\% = 12.74\%.$$

- 3 ensayo

$$\omega_p\% = \frac{W_w}{W_{ss}}$$

$$\omega_p\% = \frac{12.48\% + 12.01\%}{2}$$

$$\omega_p\% = 12.25\%.$$

Para obtener la Presión en lb/in², de la lectura obtenida del dial se divide para el área del pistón correspondiente a 3in² y se obtiene los resultados para cada molde.

Máquina de compresión simple	Área Pistón (in ²)= 3,00		Vel. Carga = 1,27 mm/min (0,05in/min)			
Nº MOLDE	A		B		C	
Penetración (in)	dial	Presión (lb/in ²)	dial	Presión (lb/in ²)	dial	Presión (lb/in ²)
0,000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,025	302,67	100,89	445,50	148,50	599,50	199,83
0,050	520,70	173,57	856,10	285,37	1013,30	337,77
0,075	727,55	242,52	1176,90	392,30	1438,50	479,50
0,100	955,76	318,59	1438,10	479,37	1869,80	623,27
0,200	1598,87	532,96	2539,90	846,63	3196,90	1065,63
0,250	1837,94	603,75	2891,70	963,90	4085,27	1361,76
0,300	2116,29	705,43	3179,20	1059,73	4804,96	1601,65
0,350	2257,17	752,39	3383,25	1127,75	5376,85	1792,28
0,400	2342,09	780,70	3552,80	1184,27	5648,20	1882,73
0,500	2448,53	816,18	3795,80	1265,27	6203,60	2067,87

Tabla 34. Datos de penetración, muestra N°03, cálculo manual

Fuente: Merino Jiménez Steven David

Para los moldes A, B, C, se obtiene que la penetración de 0.100in el mayor de los 3 es 592.10 lb/in² corresponde al %CBR 0.1in de 59.21%.

Por otra parte, para los moldes A, B, C, se obtiene que la penetración de 0.200in el mayor de los 3 es (1170.50 lb/in²/15%) corresponde al %CBR 0.2in de 78.03%.

Por lo tanto, el CBR obtenido corresponde al mayor 78.03%.



 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
ENSAYO: "CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR"						
NORMA AASHTO T 180						
MUESTRA N°: 03						
MOLDE	A		B		C	
Diámetro del Molde	15,20		15,11		15,20	
Altura del Molde	12,63		12,72		12,66	
Nº de golpes	10		25		56	
Muestra húmeda + molde	11863		11517		14269	
Masa Molde	7289		6447		8796	
Masa muestra húmeda	4574		5070		5473	
Volumen de muestra	2291,82		2280,90		2297,26	
Peso unitario húmedo	1,996		2,223		2,382	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde
Nº Recipiente	1	2	3	4	5	6
Masa del recipiente	24,35	26,96	24,08	24,06	25,96	26,35
Suelo húmedo + rec	193,63	182,78	187,72	182,64	194,23	190,51
Suelo seco + rec	180,49	172,11	172,68	170,57	177,20	173,16
Masa de agua	13,14	10,67	15,04	12,07	17,03	17,35
Masa de suelo seco	156,14	145,15	148,60	146,51	151,24	146,81
Contenido de humedad	8,42	7,35	10,12	8,24	11,26	11,82
Promedio	7,89		9,18		11,54	
Peso unitario seco	1,85		2,036		2,136	
DESPUÉS DE LA SATURACIÓN						
Muestra húmeda + molde	11902		11586		14291	
Masa Molde	7020		6447		9196	
Masa muestra húmeda	4882		5139		5095	
Volumen muestra	2291,82		2280,90		2297,26	
Peso unitario húmedo	2,130		2,253		2,218	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
Nº Recipiente	A	B	C	D	E	F
Masa de recipiente (gr)	32,95	32,29	31,64	31,92	31,84	34,71
Suelo húmedo + rec (gr)	150,85	159,35	170,36	169,97	159,32	153,49
Suelo seco + rec (gr)	138,72	145,65	155,22	153,85	145,18	140,75
Masa de agua (gr)	12,13	13,70	15,14	16,12	14,14	12,74
Masa de suelo seco (gr)	105,77	113,36	123,58	121,93	113,34	106,04
Contenido de humedad W%	11,47	12,09	12,25	13,22	12,48	12,01
Promedio W%	11,78		12,74		12,25	
ENSAYO DE CARGA - PENETRACIÓN						
Máquina de compresión simple	Área Pistón (in ²)= 3,00			Vel. Carga = 1,27 mm/min (0,05in/min)		
Nº MOLDE	A		B		C	
Penetración (in)	dial	Presión (lb/in ²)	dial	Presión (lb/in ²)	dial	Presión (lb/in ²)
0,000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,025	302,67	100,89	445,50	148,50	599,50	199,83
0,050	520,70	173,57	856,10	285,37	1013,30	337,77
0,075	727,55	242,52	1176,90	392,30	1438,50	479,50
0,100	955,76	318,59	1438,10	479,37	1869,80	623,27
0,200	1598,87	532,96	2539,90	846,63	3196,90	1065,63
0,250	1837,94	603,75	2891,70	963,90	4085,27	1361,76
0,300	2116,29	705,43	3179,20	1059,73	4804,96	1601,65
0,350	2257,17	752,39	3383,25	1127,75	5376,85	1792,28
0,400	2342,09	780,70	3552,80	1184,27	5648,20	1882,73
0,500	2448,53	816,18	3795,80	1265,27	6203,60	2067,87

Tabla 35. California Bearing Ratio, muestra N°03, cálculo manual, parte 1

Fuente: Merino Jiménez Steven David

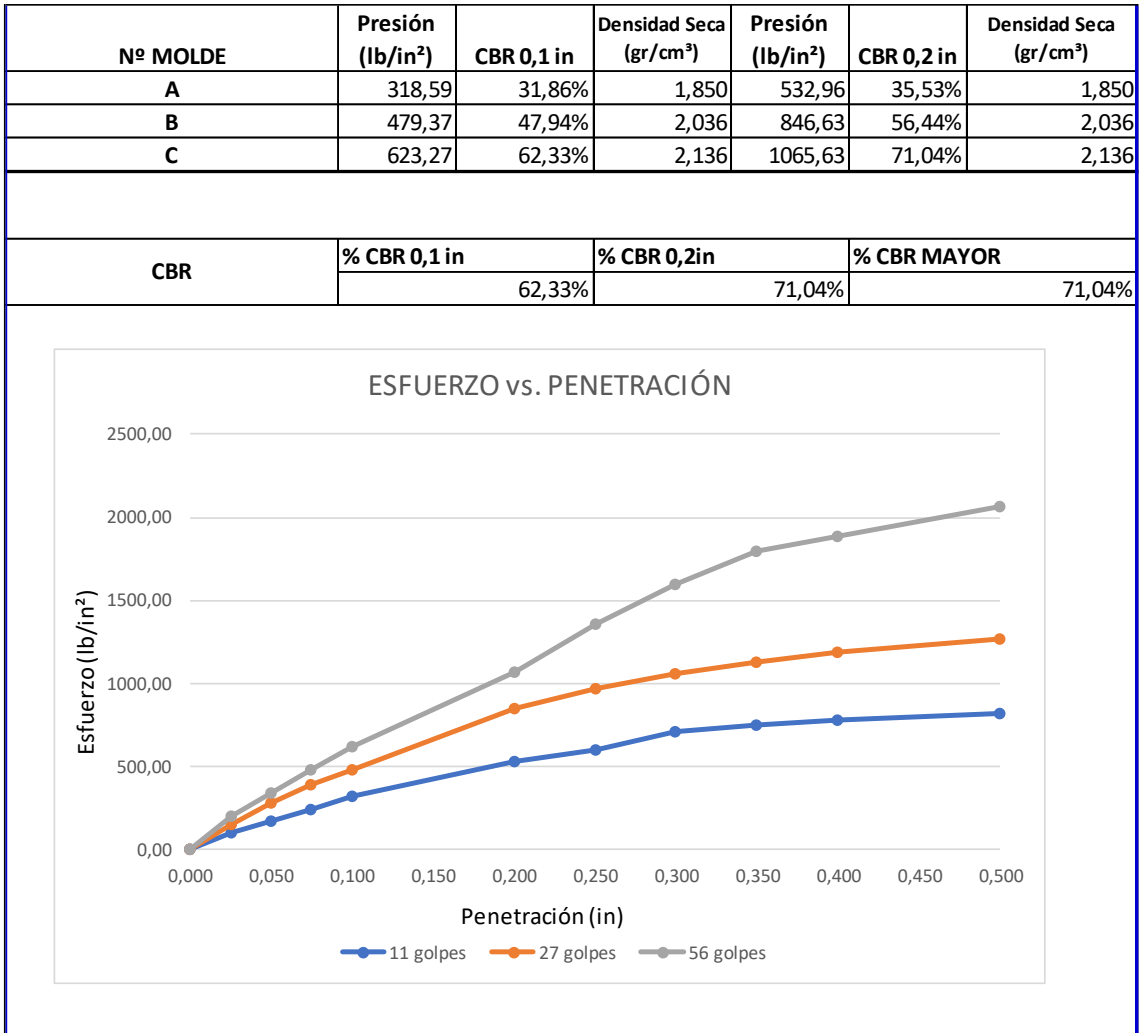


Tabla 36. California Bearing Ratio, muestra N°03, cálculo manual, parte 2

Fuente: Merino Jiménez Steven David

3.1.10.2. Resolución mediante el programa desarrollado, California Bearing Ratio

CBR - CALIFORNIA BEARING RATIO

1. Datos Iniciales de Entrada

	Ensayo 01	Ensayo 02	Ensayo 03
Diámetro molde (cm):	15.20	15.11	15.20
Altura del molde (cm):	12.63	12.72	12.66
Peso molde + suelo húmedo (gr):	11772	11389	14360
Peso molde (gr):	7020	6447	9196
Masa muestra húmeda (gr):	4752	4942	5164
Volumen de muestra (cm ³):	2.2918e+03	2.2809e+03	2.2973e+03
Peso unitario húmedo (gr/cm ³):	2.0730	2.1670	2.2480

Densidad Máxima (gr/cm³): 1.998
95% Densidad Máxima (gr/cm³): 1.898

4. Datos de carga de penetración

Área pistón (in²):

	Penetración (in)	dial 1	dial 2	dial 3	Presión 1 (lb/in ²)	Presión 2 (lb/in ²)	Presión 3 (lb/in ²)
1	0.000	0.00	0.00	0	0	0	0
2	0.025	318.60	445.50	599.50	106.2000	148.5000	199.8300
3	0.050	536.80	856.1	1013.30	178.9300	285.3700	337.7700
4	0.075	734.90	1176.90	1438.50	244.9700	392.3000	479.5000
5	0.100	946.30	1438.1	1869.80	315.4300	479.3700	623.2700
6	0.200	1552.30	2539.9	3696.30	517.4300	846.6300	1.2321e+03
7	0.250	1729.05	2873.36	4319.88	576.3500	957.7900	1.4400e+03
8	0.300	1996.50	3179.2	4908.30	665.5000	1.0597e+03	1.6361e+03
9	0.350	2179.50	3328.46	5379.81	726.5000	1.1095e+03	1.7933e+03
10	0.400	2318.90	3552.80	5648.20	772.9700	1.1843e+03	1.8827e+03
11	0.500	2498.50	3795.80	6203.60	832.8300	1.2653e+03	2.0679e+03

2. Contenido de Humedad

	Bandeja 01	Molde 01	Bandeja 02	Molde 02	Bandeja 03	Molde 03
Masa del recipiente (gr):	32.24	32.98	31.59	31.87	31.91	34.75
Masa suelo húm. + recip. (gr):	225.66	201.18	178.53	189.75	204.63	228.40
Masa suelo seco + recip. (gr):	208.41	184.64	161.38	173.22	189.75	202.72

	Bandeja 01	Molde 01	Bandeja 02	Molde 02	Bandeja 03	Molde 03
Masa de agua (gr):	17.2500	16.5400	17.1500	16.5300	14.8800	25.6800
Masa del suelo seco (gr):	176.1700	151.6800	129.7900	141.3500	157.8400	167.9700
Contenido de humedad (gr):	9.7900	10.9100	13.2100	11.6900	9.4300	15.2900

3. Peso Unitario Seco
Promedio - Contenido de Humedad (%): 10.35
Peso unitario seco (gr/cm³): 1.879

5. Resultados de CBR

	Presión (lb/in ²)	CBR 0.1in	Presión (lb/in ²)	CBR 0.2in	Densidad seca
Molde A	315.4300	31.5400	517.4300	34.5000	1.8790
Molde B	479.3700	47.9400	846.6300	56.4400	1.9270
Molde C	623.2700	62.3300	1.2321e+03	82.1400	2.0010

% CBR 0.1: 62.33 % CBR 0.2in: 82.14 % CBR MAYOR: 82.14

3. Peso Unitario Seco

Promedio - Contenido de Humedad (%): 10.35 12.45 12.36

Peso unitario seco (gr/cm³): 1.879 1.927 2.001

CALCULAR

MENÚ

Figura 43. California Bearing Ratio-CBR, muestra N°01, captura de programa cálculo

Fuente: Merino Jiménez Steven David

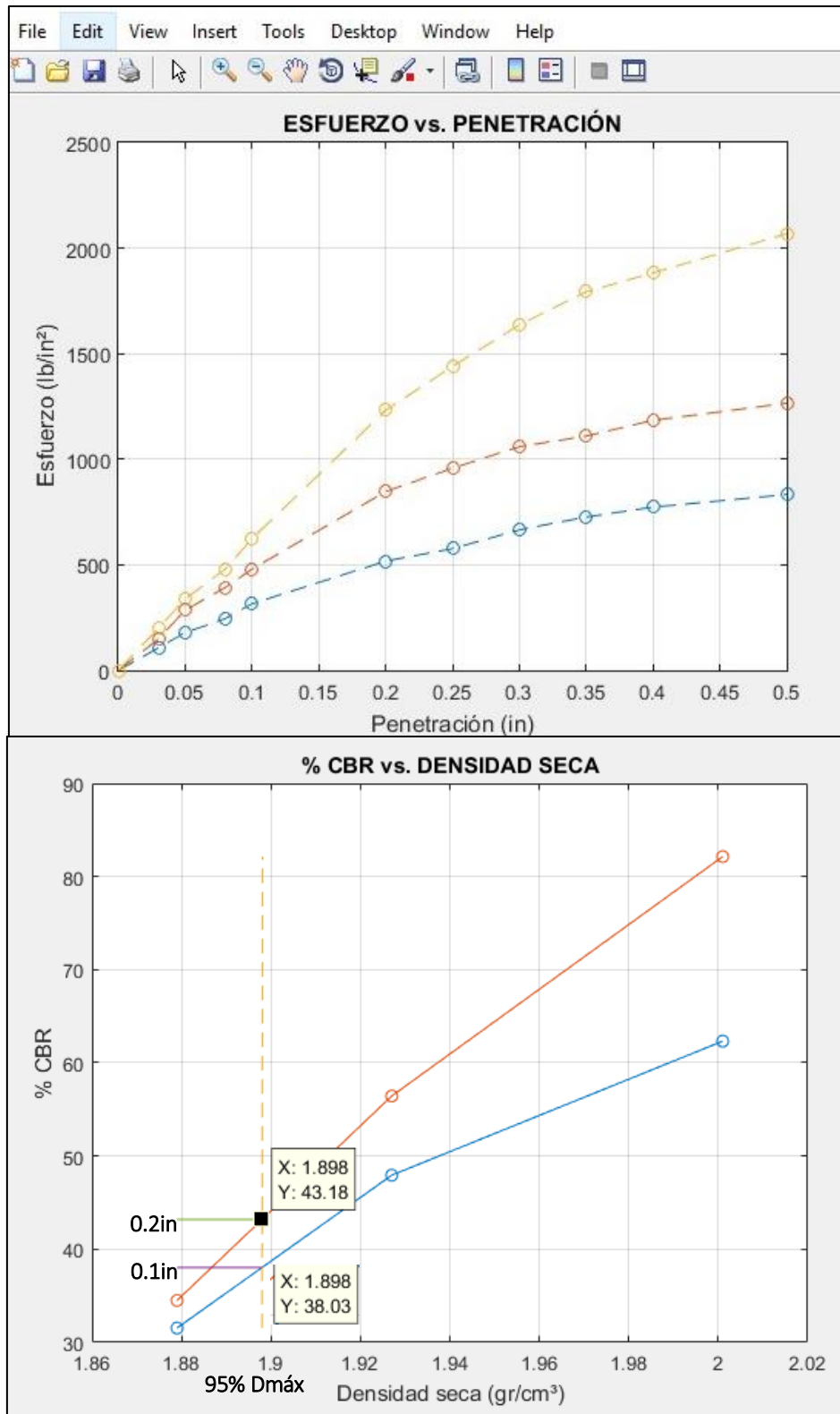


Figura 44. California Bearing Ratio-CBR, muestra N°01, captura de programa gráfico

Fuente: Merino Jiménez Steven David

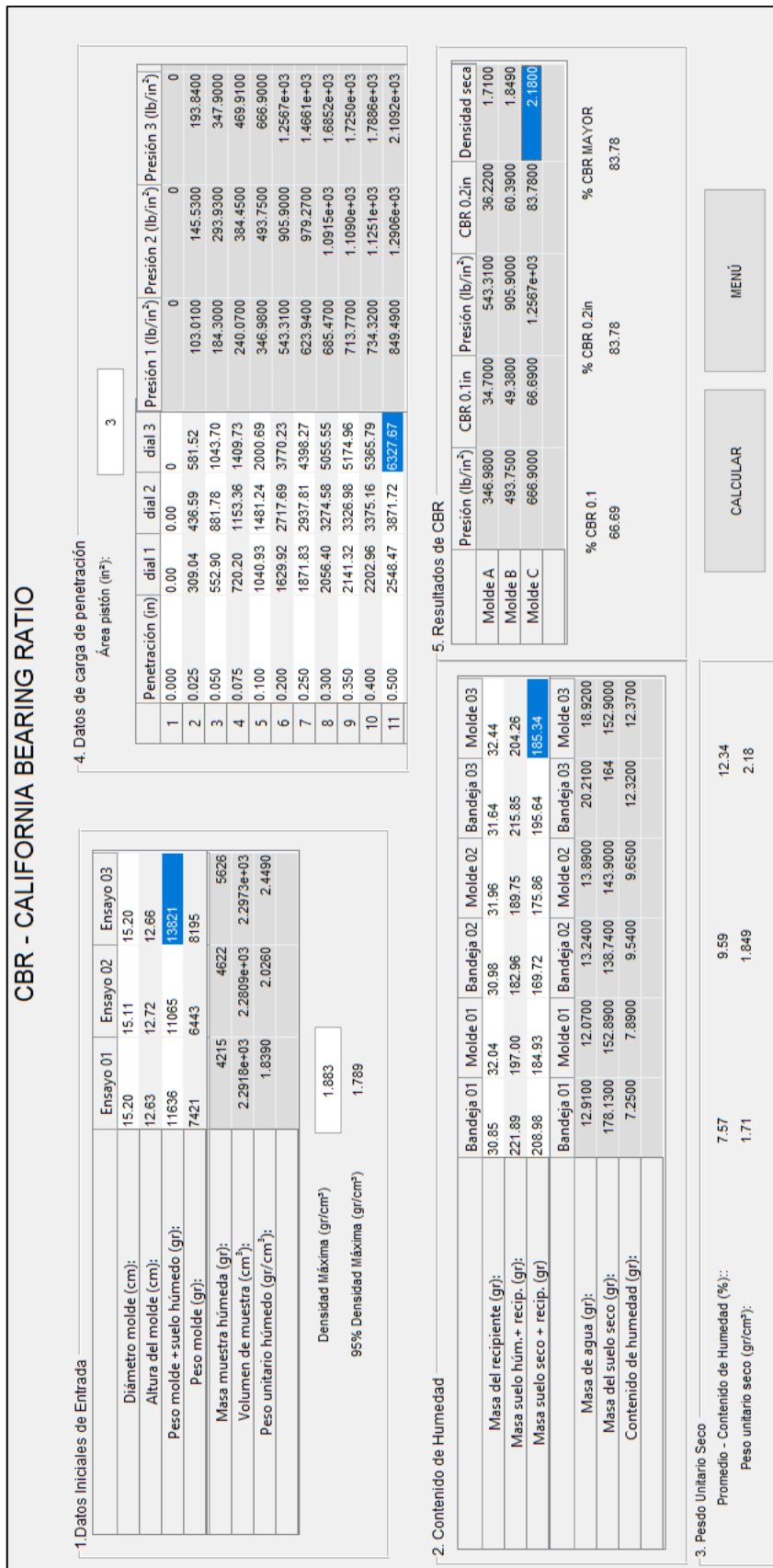


Figura 45. California Bearing Ratio-CBR, muestra N°02, captura de programa cálculo

Fuente: Merino Jiménez Steven David

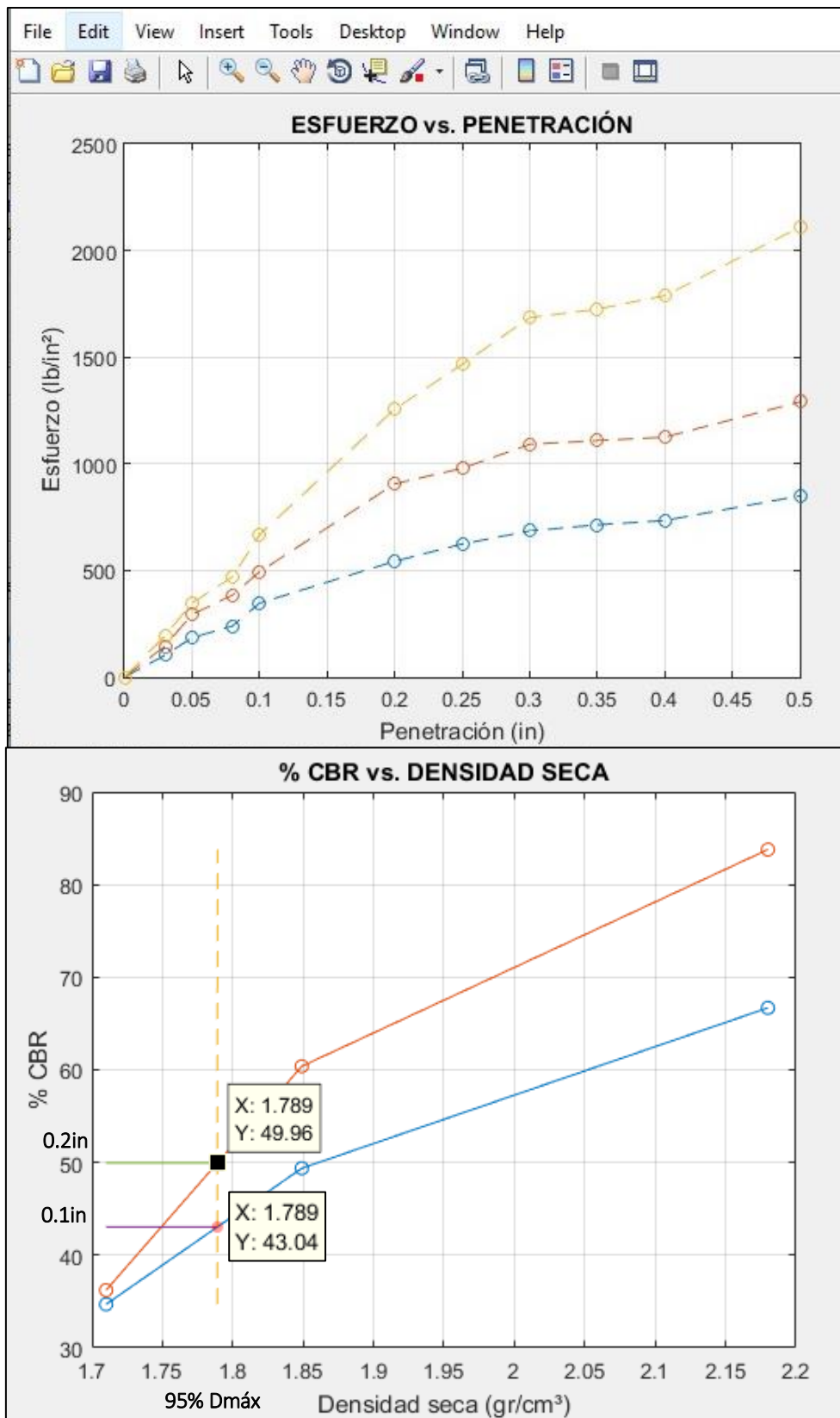


Figura 46. California Bearing Ratio-CBR, muestra N°02, captura de programa gráfico

Fuente: Merino Jiménez Steven David

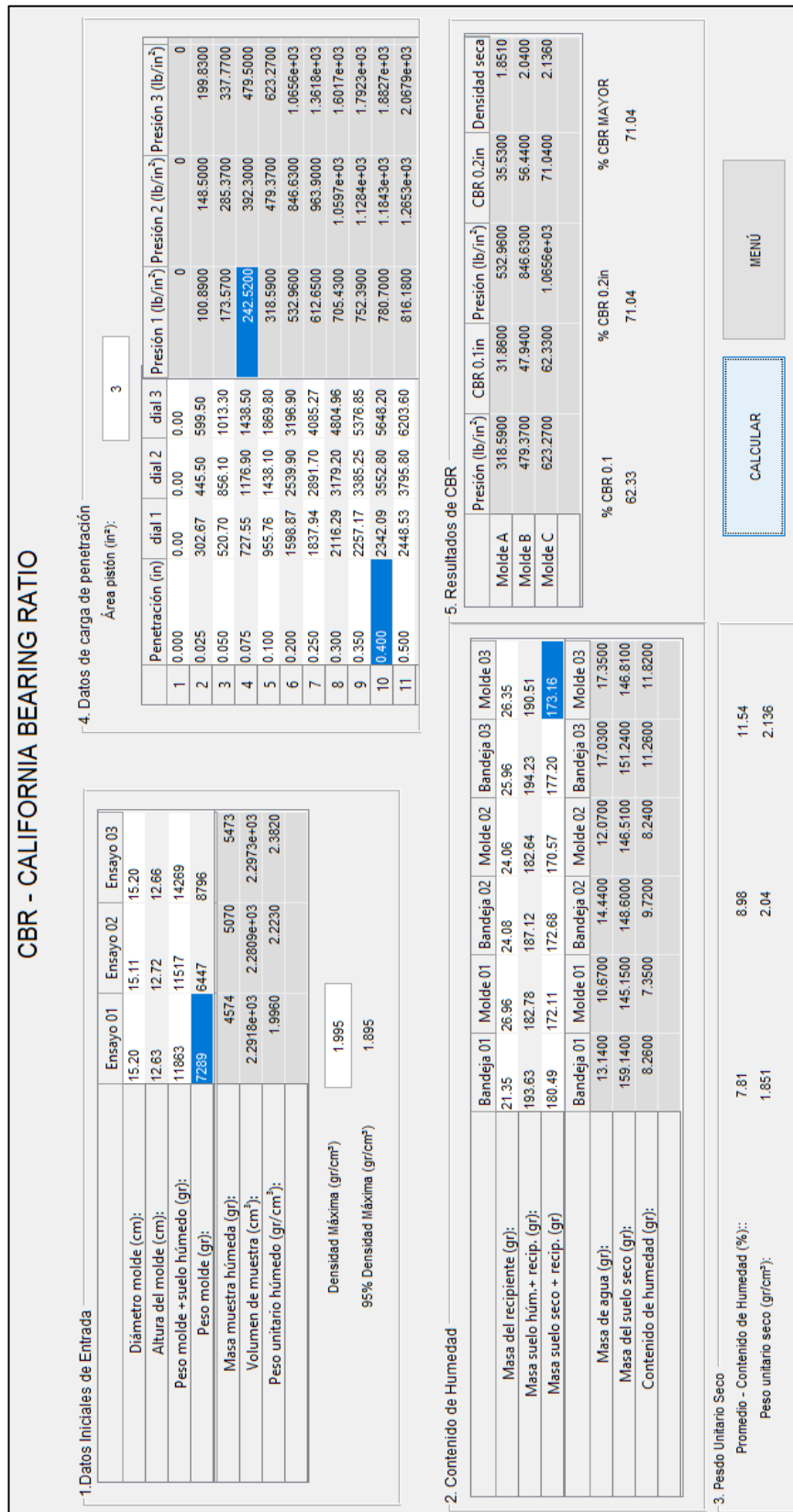


Figura 47. California Bearing Ratio-CBR, muestra N°03, captura de programa cálculo

Fuente: Merino Jiménez Steven David

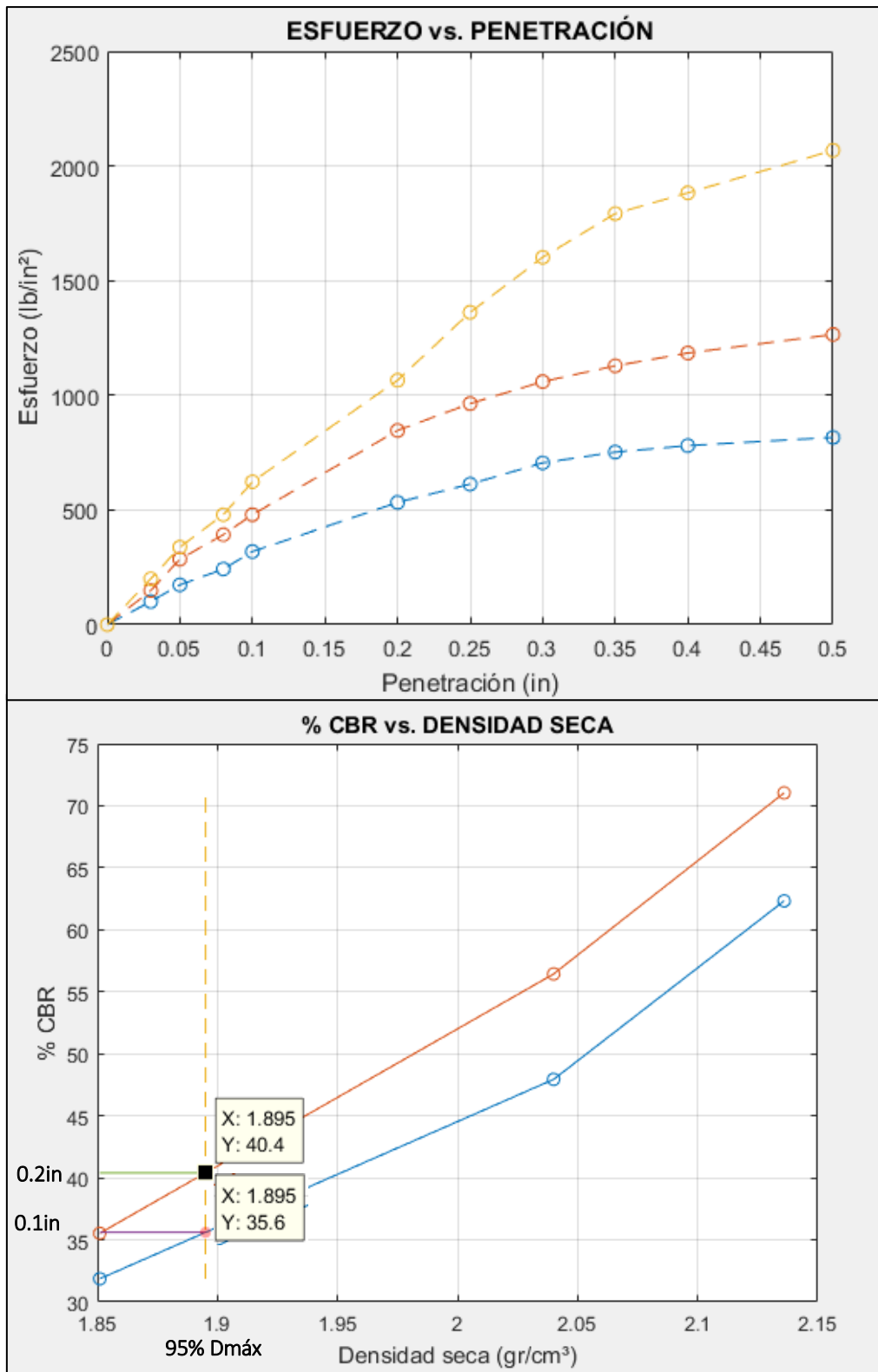


Figura 48. California Bearing Ratio-CBR, muestra N°03, captura de programa gráfico

Fuente: Merino Jiménez Steven David

3.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS

1.- ENSAYO DE HUMEDAD NATURAL					
Detalle	Manual	Programa	Unidad	Diferencia	Error (%)
Muestra N°.01					
Contenido de humedad promedio	12,36	12,36	%	0	0
Muestra N°.02					
Contenido de humedad promedio	13,17	13,17	%	0	0
Muestra N°.03					
Contenido de humedad promedio	8,84	8,84	%	0	0

Tabla 37. Comparación de resultados en ensayo de humedad natural

Fuente: Merino Jiménez Steven David

2.- ENSAYO DE DENSIDAD DE CAMPO					
Detalle	Manual	Programa	Unidad	Diferencia	Error (%)
Muestra N°.01					
Densidad húmeda	2,231	2,231	gr/cm ³	0	0
Densidad seca	2,071	2,071	gr/cm ³	0	0
Grado de compactación alcanzado	103,65	103,65	%	0	0
Muestra N°.02					
Densidad húmeda	2,092	2,092	gr/cm ³	0	0
Densidad seca	1,990	1,990	gr/cm ³	0	0
Porcentaje de compactación alcanzado	105,57	105,57	%	0	0
Muestra N°.03					
Densidad húmeda	2,136	2,136	gr/cm ³	0	0
Densidad seca	1,977	1,977	gr/cm ³	0	0
Porcentaje de compactación alcanzado	99,10	99,10	%	0	0

Tabla 38. Comparación de resultados en ensayo de densidad de campo

Fuente: Merino Jiménez Steven David

3.- ENSAYO DE GRANULOMETRÍA					
Detalle	Manual	Programa	Unidad	Diferencia	Error (%)
Muestra N°.01					
% Que pasa, tamiz #4	45,81	45,81	%	0	0
% Que pasa, tamiz #200	5,18	5,18	%	0	0
Muestra N°.02					
% Que pasa, tamiz #4	42,23	42,23	%	0	0
% Que pasa, tamiz #200	4,01	4,01	%	0	0
Muestra N°.03					
% Que pasa, tamiz #4	45,14	45,14	%	0	0
% Que pasa, tamiz #200	4,13	4,13	%	0	0

Tabla 39. Comparación de resultados en ensayo de granulometría

Fuente: Merino Jiménez Steven David

4.- ENSAYO DE LÍMITE LÍQUIDO					
Detalle	Manual	Programa	Unidad	Diferencia	Error (%)
Muestra N°.01					
Límite líquido	28,6	28,60	%	0	0
Muestra N°.02					
Límite líquido	20,57	20,57	%	0	0
Muestra N°.03					
Límite líquido	23,77	23,77	%	0	0

Tabla 40. Comparación de resultados en ensayo de límite líquido

Fuente: Merino Jiménez Steven David

5.- ENSAYO DE LÍMITE PLÁSTICO					
Detalle	Manual	Programa	Unidad	Diferencia	Error (%)
Muestra N°.01					
Límite plástico	22,47	22,47	%	0	0
Índice plástico	6,13	6,13	%	0	0
Muestra N°.02					
Límite plástico	17,51	17,51	%	0	0,00
Índice plástico	3,40	3,40	%	0	0
Muestra N°.03					
Límite plástico	18,61	18,61	%	0	0
Índice plástico	5,16	5,16	%	0	0

Tabla 41. Comparación de resultados en ensayo de límite plástico

Fuente: Merino Jiménez Steven David

6.- ENSAYO DE LÍMITE DE CONTRACCIÓN					
Detalle	Manual	Programa	Unidad	Diferencia	Error (%)
Muestra N°.01					
Límite de contracción	18,54	18,54	%	0,00	0,00
Muestra N°.02					
Límite de contracción	24,53	24,53	%	0,00	0,00
Muestra N°.03					
Límite de contracción	18.63	18.63	%	0,00	0,00

Tabla 42. Comparación de resultados en ensayo de límite de contracción

Fuente: Merino Jiménez Steven David

7.- CLASIFICACIÓN DE SUELOS SUCS					
Detalle	Manual	Programa	Unidad	Diferencia	Error
Muestra N°.01					
Tipo de suelo	GW-GM	GW-GM	S/N	S/N	S/N
Muestra N°.02					
Tipo de suelo	GW	GW	S/N	S/N	S/N
Muestra N°.03					
Tipo de suelo	GP	GP	S/N	S/N	S/N

Tabla 43. Comparación de resultados en ensayo de clasificación de suelos SUCS

Fuente: Merino Jiménez Steven David

8.- CLASIFICACIÓN DE SUELOS AASHTO					
Detalle	Manual	Programa	Unidad	Diferencia	Error
Muestra N°.01					
Subgrupo	A-2-4	A-2-4	S/N	S/N	S/N
Muestra N°.02					
Subgrupo	A-2-4	A-2-4	S/N	S/N	S/N
Muestra N°.03					
Subgrupo	A-2-4	A-2-4	S/N	S/N	S/N

Tabla 44. Comparación de resultados en ensayo de clasificación de suelos AASHTO

Fuente: Merino Jiménez Steven David

9.- PROCTOR MODIFICADO					
Detalle	Manual	Programa	Unidad	Diferencia	Error (%)
Muestra N°.01					
Densidad máxima	1,998	1,998	gr/cm ³	0,00	0,00
Humedad óptima	8,78	8,78	%	0,00	0,00
Muestra N°.02					
Densidad máxima	1,885	1,885	gr/cm ³	0,00	0,00
Humedad óptima	7,23	7,23	%	0,00	0,00
Muestra N°.03					
Densidad máxima	1,995	1,995	gr/cm ³	0,00	0,00
Humedad óptima	8,80	8,80	%	0,00	0,00

Tabla 45. Comparación de resultados en ensayo de Proctor modificado

Fuente: Merino Jiménez Steven David

10.- CALIFORNIA BEARING RATIO					
Detalle	Manual	Programa	Unidad	Diferencia	Error (%)
Muestra N°.01					
% CBR 0,1in	62,33	62,33	%	0,00	0,00
% CBR 0,2in	82,14	82,14	%	0,00	0,00
Muestra N°.02					
% CBR 0,1in	66,69	66,69	%	0,00	0,00
% CBR 0,2in	83,78	83,78	%	0,00	0,00
Muestra N°.03					
% CBR 0,1in	62,33	62,33	%	0,00	0,00
% CBR 0,2in	71,04	71,04	%	0,00	0,00

Tabla 46. Comparación de resultados en ensayo de CBR

Fuente: Merino Jiménez Steven David

La inexistente diferencia de los resultados calculados de forma manual y el programa se da debido, a que no se recurre a ningún material emergente de cálculo como son ábacos y tablillas, por lo cual los datos van a ser exactamente los mismos para los dos casos.

3.3. VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS

De acuerdo a la hipótesis propuesta en capítulos anteriores de esta investigación “El desarrollo de un Software específico (en código de Matlab) permitirá realizar el análisis y evaluación de las propiedades físico – mecánicas de los suelos”, se ha logrado verificar que el disponer de una herramienta computacional reduce significativamente el tiempo que toma procesar dichos cálculos, y de confiable exactitud. Ya que también existe la posibilidad de cometer errores al no utilizar todos los decimales en el cálculo manual, lo que el programa ya los toma automáticamente y los redondea.

La inexistente diferencia en los resultados de los cálculos manuales con el programa, se da, porque el programa está codificado de la misma manera en que se realiza el cálculo manual, ya que no se hizo uso de ábacos prediseñados que interfieran en la interpretación de los datos, en todos los ensayos realizados.

Para el caso de la clasificación de suelos SUCS, al utilizar la carta de plasticidad de forma manual la selección del suelo fino en los puntos cercanos a las líneas de división de categorías de los suelos no puede ser del todo confiable ya que depende directamente del ojo del observador y pueden inferir en errores, a diferencia del programa que sitúa el punto exacto mediante un algoritmo matemático, dando el cien por ciento de confianza al método.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

- Se cumplió con el objetivo principal de esta investigación que es analizar y evaluar las propiedades físico – mecánicas de suelos mediante la aplicación de un programa desarrollado, aplicando las normativas AASHTO y ASTM para cada ensayo.
- El programa desarrollado permitió el cálculo para el procesamiento de datos de las 3 muestras de suelos recolectadas y analizadas en los ensayos de: humedad natural, densidad de campo, granulometría, límites de consistencia, clasificación de suelos SUCS y AASHTO, Proctor modificado y CBR.
- Se determinó que los resultados obtenidos del procesamiento manual y los resultados obtenidos mediante el programa desarrollado tienen una diferencia del 0.00%, ya que los algoritmos matemáticos son los mismos para el cálculo manual como para la codificación del programa.
- Se concluyó que se reduce en gran medida el tiempo de procesamiento de los datos, y dando resultados cien por ciento exactos.
- La utilización del programa desarrollado reduce en gran medida el riesgo de cometer errores de cálculo, ya que todos los procesos matemáticos están codificados a diferencia del cálculo manual.
- Se logró determinar que es fiable realizar el cálculo manual para la clasificación de suelos AASHTO, en cambio para la clasificación de suelos SUCS es preferible utilizar el programa para evitar errores de interpretación a la hora de situar el punto en la cartilla de plasticidad.

- De las 3 muestras analizadas se concluye que los valores obtenidos de todos los ensayos realizados, corresponden a la de una subbase clase 3, siendo este suelo apto para a ser utilizado para lo que fue previsto.

4.2. RECOMENDACIONES

- Para el correcto uso del software, se requiere tener conocimiento en mecánica de suelos, con el objetivo de que se sepan recolectar e ingresar los datos al programa para su posterior procesamiento, por lo tanto, este programa beneficia a estudiantes y profesionales que estén involucrados en el estudio y la práctica de la mecánica de suelos.
- Para entender, añadir y modificar la codificación del programa es necesario conocer el lenguaje de programación de MATLAB, o a su vez para exportar el programa a otro lenguaje es necesario saber cómo interpretar los flujogramas de programación.
- Se recomienda instalar las librerías de MATLAB, necesarias para poder instalar el programa.

V. ANEXOS

1.- BIBLIOGRAFÍA

- [1] K. Sigmon, «Introducción a Matlab,» Department of Mathematics-University of Florida, Florida, 2000.
- [2] L. Joyanes, «Problemas de metodología de la programación,» McGraw-Hill, Madrid, 1990.
- [3] F. Ortiz, Interviewee, *La importancia de la programación en la ingeniería civil*. [Entrevista]. 22 octubre 2020.
- [4] A. Canchon y C. Ramirez, «Desarrollo de software para informes de labor a informes de laboratorio de mecánica orio de mecánica,» Universidad de la Salle, Bogotá, 2015.
- [5] W. Botía , «MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CÁLCULO,» UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA, Bogotá, 2015.
- [6] G. Duque y C. Escobar, «Geomecánica para ingenieros,» Universidad Nacional de Colombia, 2016.
- [7] J. Evett y L. Cheng, «Soils and Foundations,» Prentice Hall, TBD, 2007.
- [8] J. Bardillo y R. Rodriguez, de *Mecánica de suelos*, México, Limusa, 2021.
- [9] E. J. Badillo y A. R. Rodriguez, *Mecánica de los Suelos Tomo I*, México D.F.: LIMUSA S.A. , 1981.
- [10] L. y. Barba y J. J. S. Llano, *Mecanique Des Sols*, Barcelona_España: Editores Técnicos Asociados S.A., 1975.
- [11] D. Hidalgo, «Análisis comparativo de los procesos de estabilización de suelo con enzimas orgánicas y suelo-cemento, aplicado a duelos arcillosos de subrasante,» Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2016.
- [12] T. Fiallos, «Análisis comparativo de la estabilización de un suelo cohesivo (arcilloso) por tres métodos químicos cal, cloruro de calcio y sulfato,» Universidad Técnica de Ambato, 2016.

- [13] J. E. Bowels, Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil, México: Cámara Nacional de la Industria, 1978.
- [14] E. Serrano y E. Padilla, «Análisis de los cambios en las propiedades mecánicas de materiales de subrasante por la adición de materiales polímeros reciclados,» Ingeniería Solidaria, 2019.
- [15] B. Das, Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, 2015.
- [16] F. Villalobos, «Mecánica de suelos,» Chile: Copyright, 2016.
- [17] AASHTO, Diseño de Pavimentos (AASHTO - 93), 2006.
- [18] H. Juan, «Características Físicas y propiedades mecánicas de los suelos y sus métodos de medición,» Universidad de San Carlos de Guatemala, 2008.
- [19] J. Lumitasig, «Correlación entre el CBR y las propiedades índice y mecánicas en suelos granulares, de las parroquias: Constantino Fernández y Pinllo, cantón Ambato, provincia de Tungurahua,» Universidad Técnica de Ambato, 2016.
- [20] Norma Técnica Peruana (NTP 339.134), «Suelos. Método para la clasificación de suelos con propósitos de Ingeniería (sistema unificado de clasificación de suelos, SUCS,» *Diario Oficial El Peruano*, p. 26, 24 Octubre 2014.
- [21] J. Paredes, «Correlación entre el CBR, DCP, propiedades Índice y mecánicas en suelos de los cantones Píllaro: parroquias San Miguelito, Emilio María Terán y Baquerizo Moreno; provincia de Tungurahua,» Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2021.
- [22] I. Huancas, Clasificación de Suelos, Chile: Copyright, 2016.
- [23] I. Sommerville, «Ingeniería de Software,» 2016.
- [24] M. LABORATORY, «Descripción general de Matlab,» MAT-LAB, EE.UU., 2021.
- [25] J. S. CAÑAS, «ANÁLISIS DE TAMAÑO DE PARTÍCULAS POR TAMIZADO EN AGREGADO FINO Y GRUESO Y DETERMINACIÓN DE MATERIAL MÁS FINO QUE EL TAMIZ No. 200 (75 μm) EN AGREGADO MINERAL POR LAVADO,» Universidad Centroamericana, San Salvador, 2019.

[26] A. S. f. T. a. Materials, «Soils,» de *Classification of Soils for Engineering Purposes:*
Annual Book of ASTM Standards, USA, ASTM, 1985, pp. 395-408.

2. ALGORITMOS DE CODIFICACIÓN

2.1. FLUJOGRAMAS DE CODIFICACIÓN DEL PROGRAMA

2.1.1. CONTENIDO DE HUMEDAD

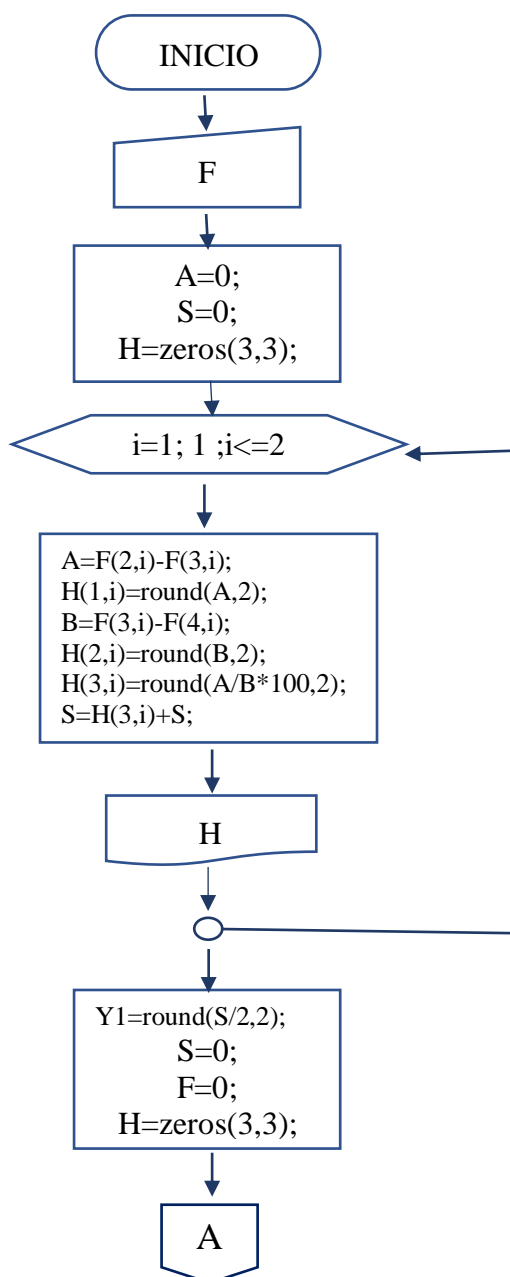
F, Matriz de ingreso de datos (peso de muestra húmeda. Recipiente y muestra seca).

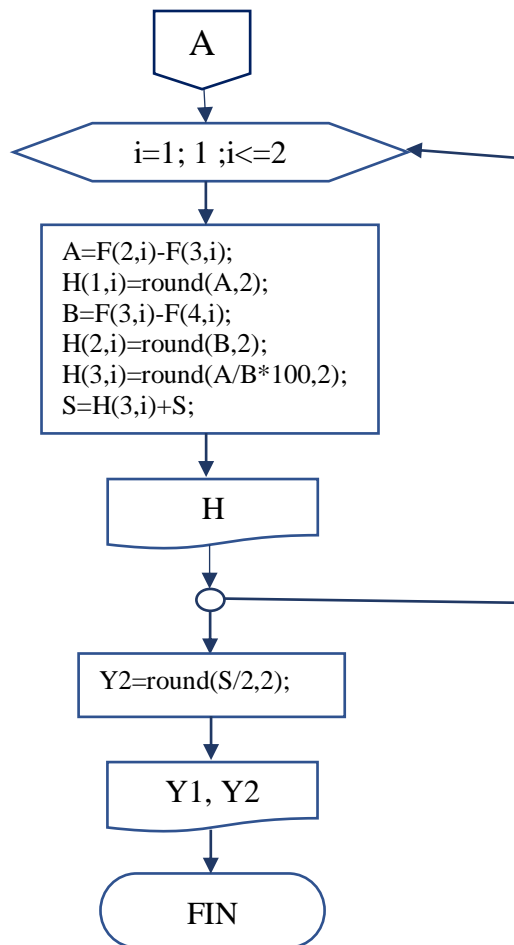
A, S, Sumadores automáticos.

i, Variable de bucle.

H, Matriz de procesamiento de cálculo para contenido de humedad.

Y#, Contenido de humedad promedio (gr.).





2.1.2. DENSIDAD DE CAMPO

psr, Peso del suelo + recipiente

pr, Peso del recipiente

lif, Lectura inicial del frasco

lff, Lectura final del frasco

cal, Matriz de ingreso de datos para calibración de arena

dch, Matriz de ingreso de datos para contenido de humedad

dmp, Densidad máxima del Proctor

pca, Porcentaje de compactación exigido

grr, Matriz de salida de datos para calibración de arena

vh, Volumen del hueco.

ps, Peso del suelo extraído.

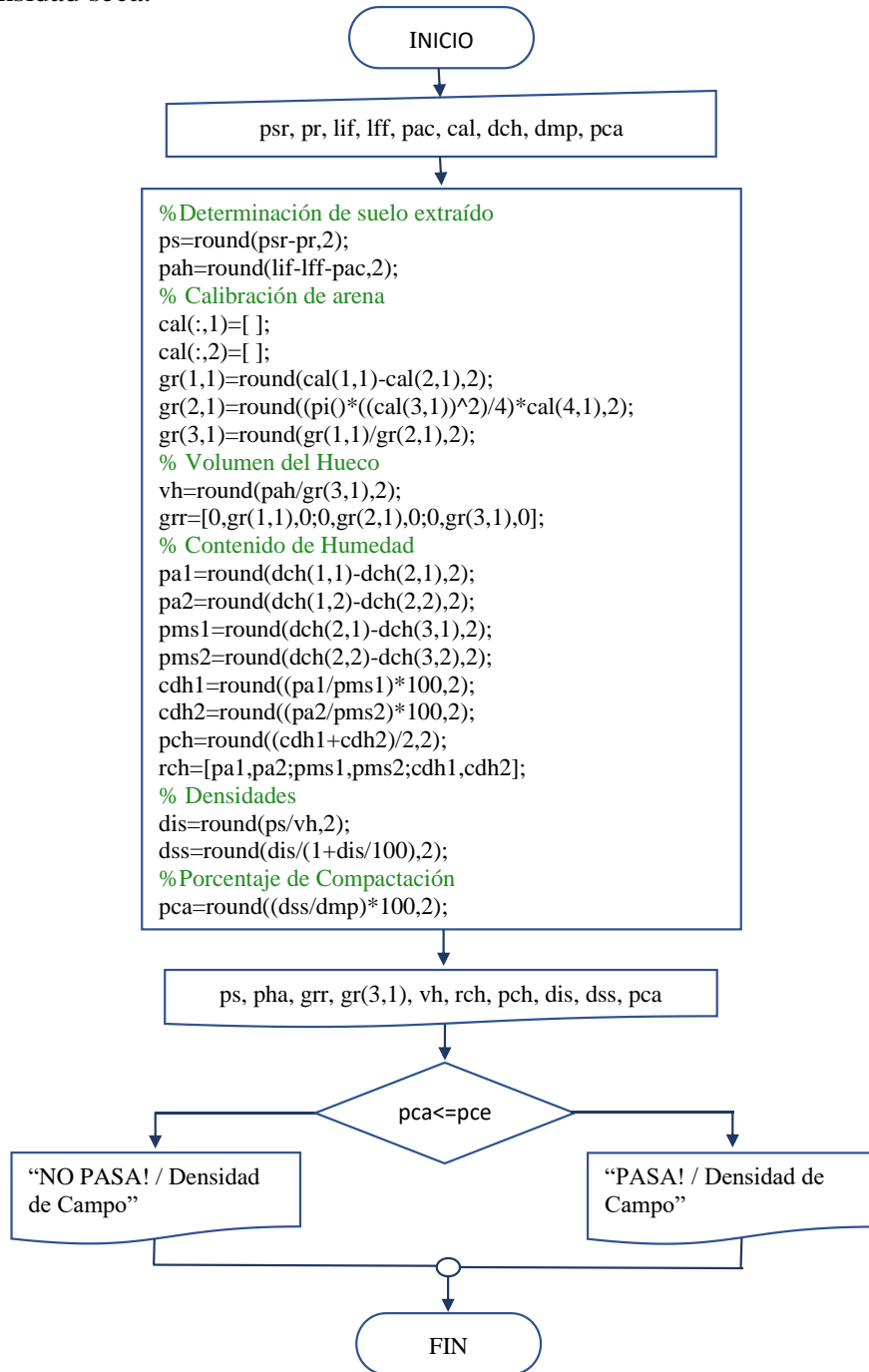
pah, Peso de arena en el codo.

cdh#, Contenido de humedad individual.

pch, Contenido de humedad promedio.

dis, Densidad húmeda.

dss, Densidad seca.



2.1.3. GRANULOMETRÍA

ptm, Peso total de la muestra.

pcd, Peso después del cuarteo.

in, Matriz de ingreso de datos.

ptm, Peso total de la muestra.

pcd, Peso después del cuarteo.

in, Matriz de ingreso de datos de tamices.

sele, Variable de selección de tipo de suelo.

pp200, Porcentaje que pasa el tamiz 200.

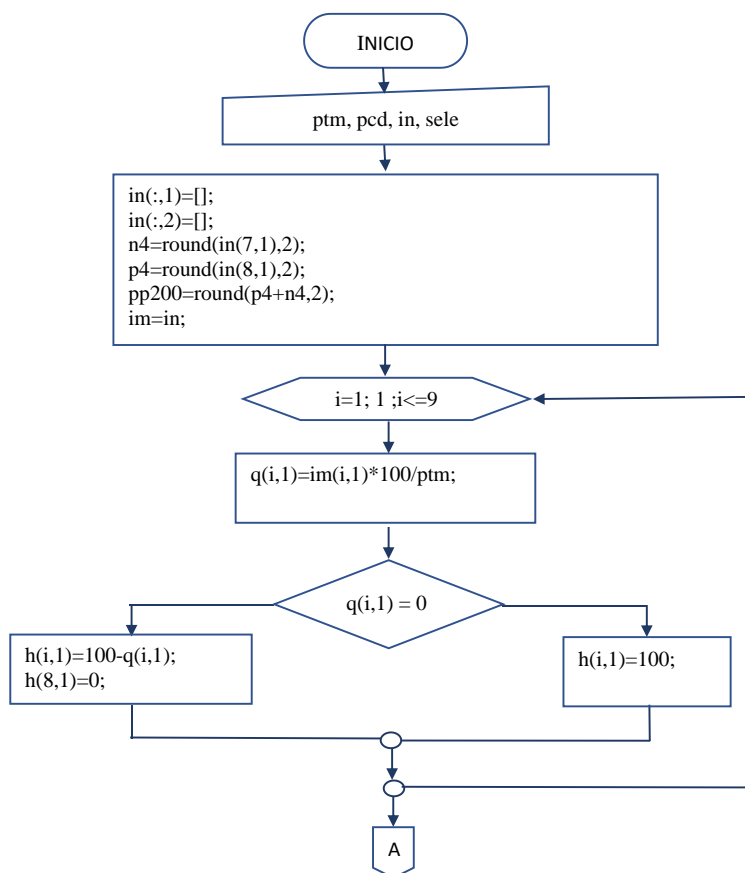
i, Contador automático.

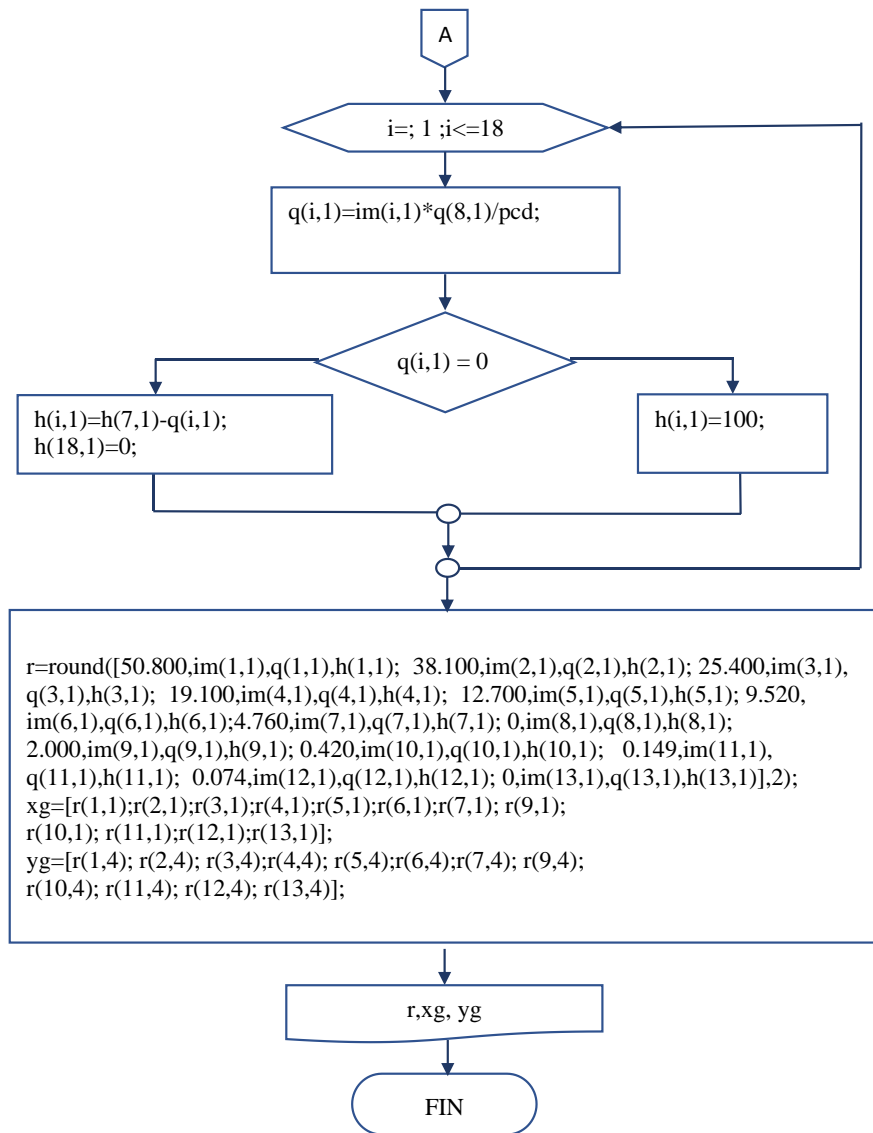
q, Porcentaje retenido por tamiz.

h, Porcentaje pasa por tamiz.

r, Matriz de impresión de granulometría.

xg; yg, Vectores de ploteo de puntos.





2.1.4. LÍMITE LÍQUIDO

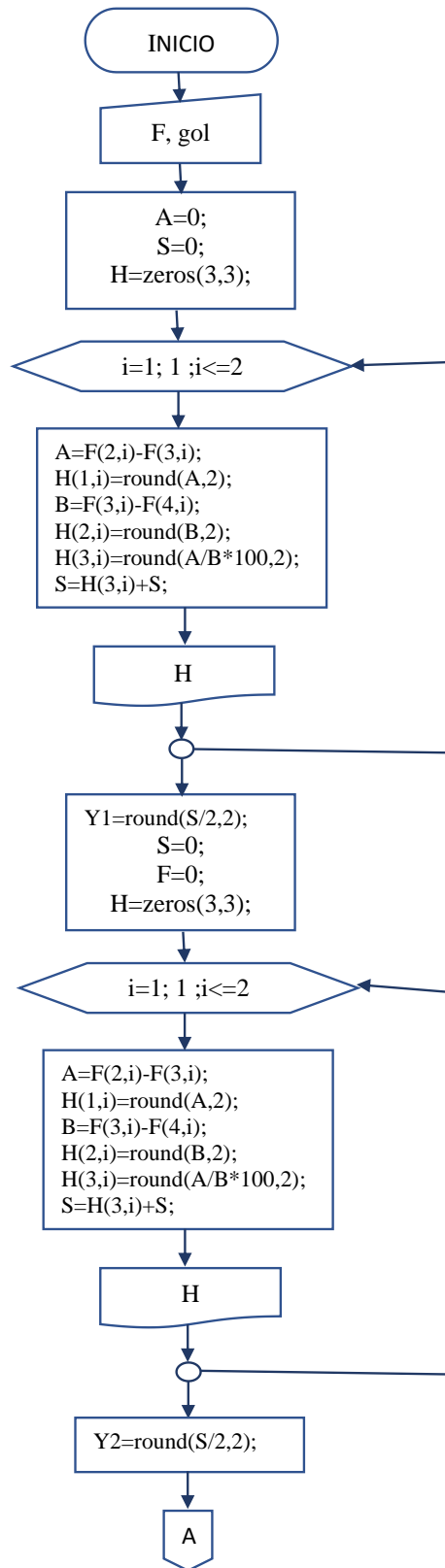
F, Matriz de ingreso de datos (peso de muestra húmeda. Recipiente y muestra seca).

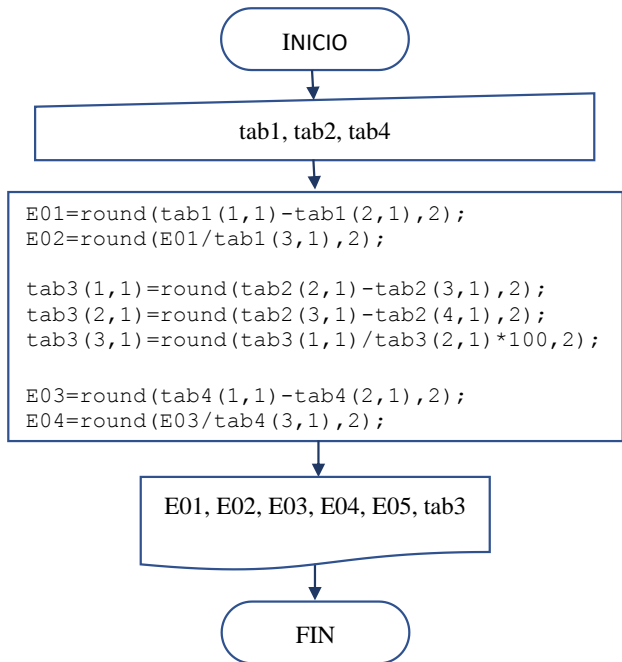
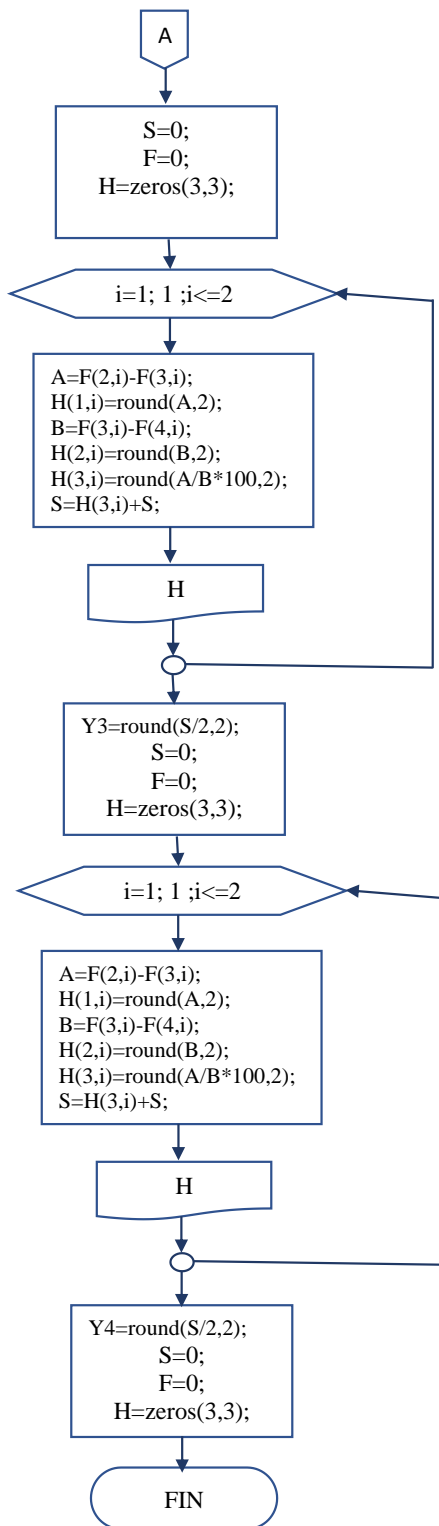
A, S, Sumadores automáticos.

i, Variable de bucle.

H, Matriz de procesamiento de cálculo para contenido de humedad.

Y#, Contenido de humedad promedio (gr.).





2.1.5. LÍMITE PLÁSTICO

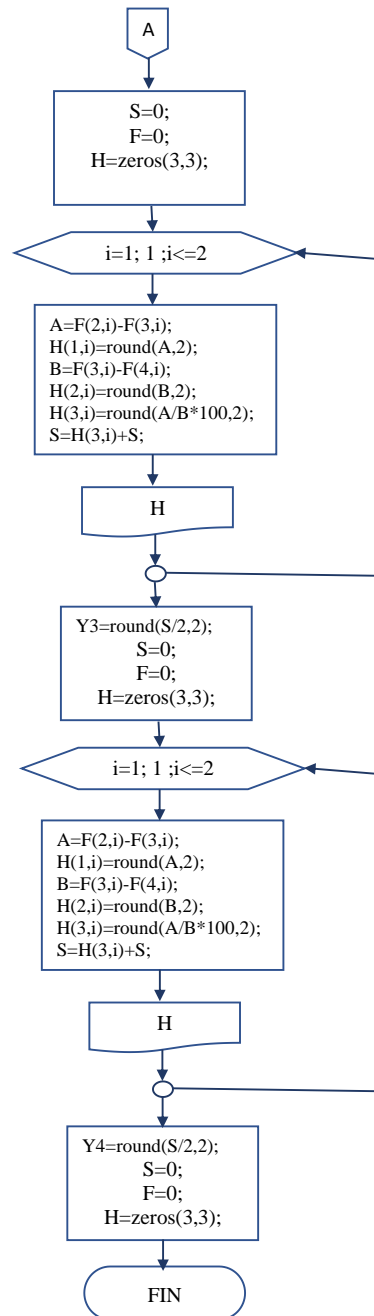
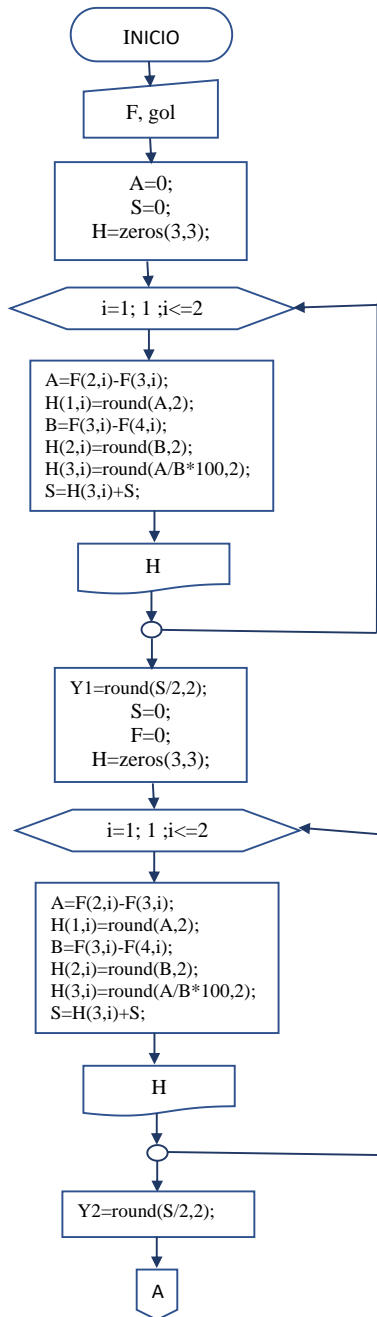
F, Matriz de ingreso de datos (peso de muestra húmeda. Recipiente y muestra seca).

A, S, Sumadores automáticos.

i, Variable de bucle.

H, Matriz de procesamiento de cálculo para contenido de humedad.

Y#, Contenido de humedad promedio (gr.).



2.1.6. LÍMITE DE CONTRACCIÓN

tab1, Matriz de ingreso de datos peso de suelo húmedo.

tab2, Matriz de ingreso de datos contenido de humedad.

tab4, Matriz de ingreso de datos volumen del suelo húmedo.

E01, Peso del mercurio.

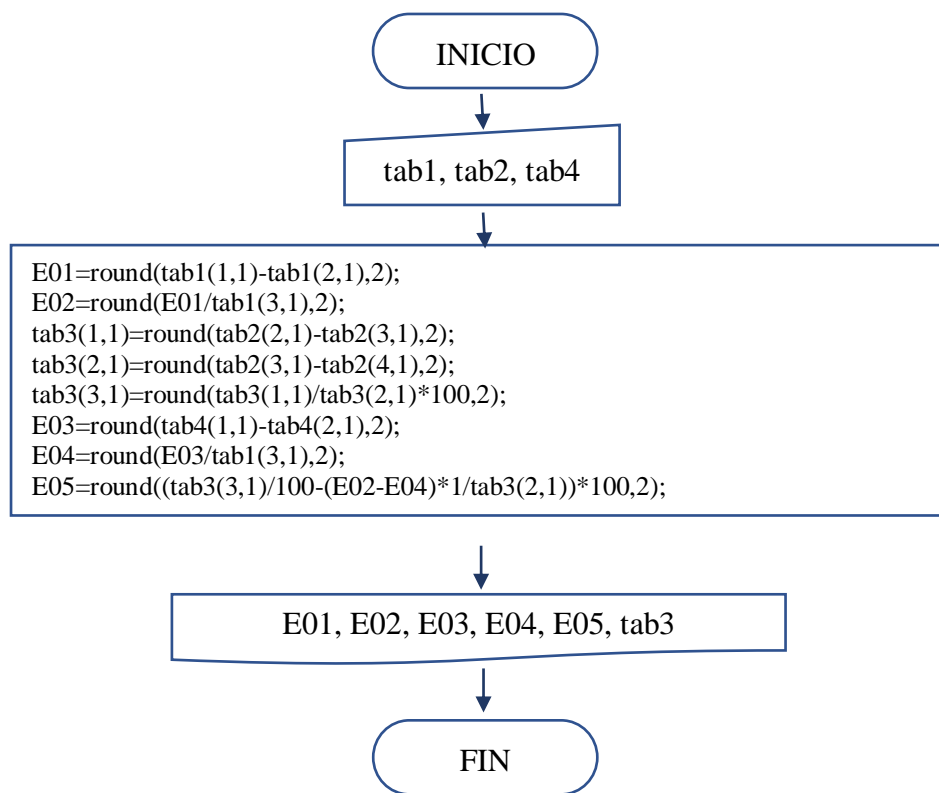
E02, Volumen del mercurio.

E03, Peso del mercurio desalojado.

E04, Peso Volumen del mercurio.

E05, Límite de contracción.

tab3, Contenido de humedad.



2.1.7. CLASIFICACIÓN DE SUELOS SUCS

psa, Porcentaje que pasa tamiz #4.

psg, Porcentaje que pasa tamiz #200.

LL, Límite líquido.

LP, Límite plástico.

IP, Índice plástico.

D60, Diámetro de tamiz que pasa el 60% de la muestra.

D10, Diámetro de tamiz que pasa el 10% de la muestra.

D30, Diámetro de tamiz que pasa el 30% de la muestra.

x#; y#, Vectores de comparación de muestra.

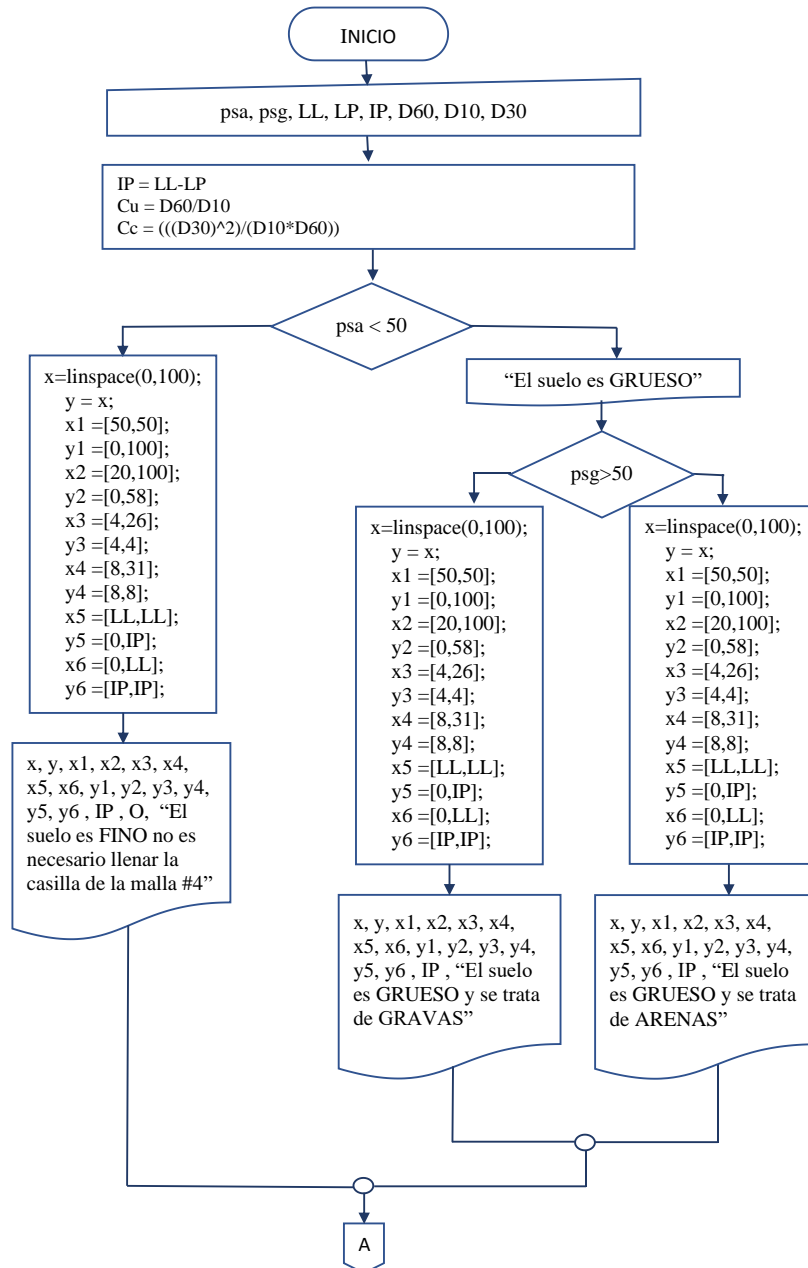
Cc, Coeficiente de curvatura.

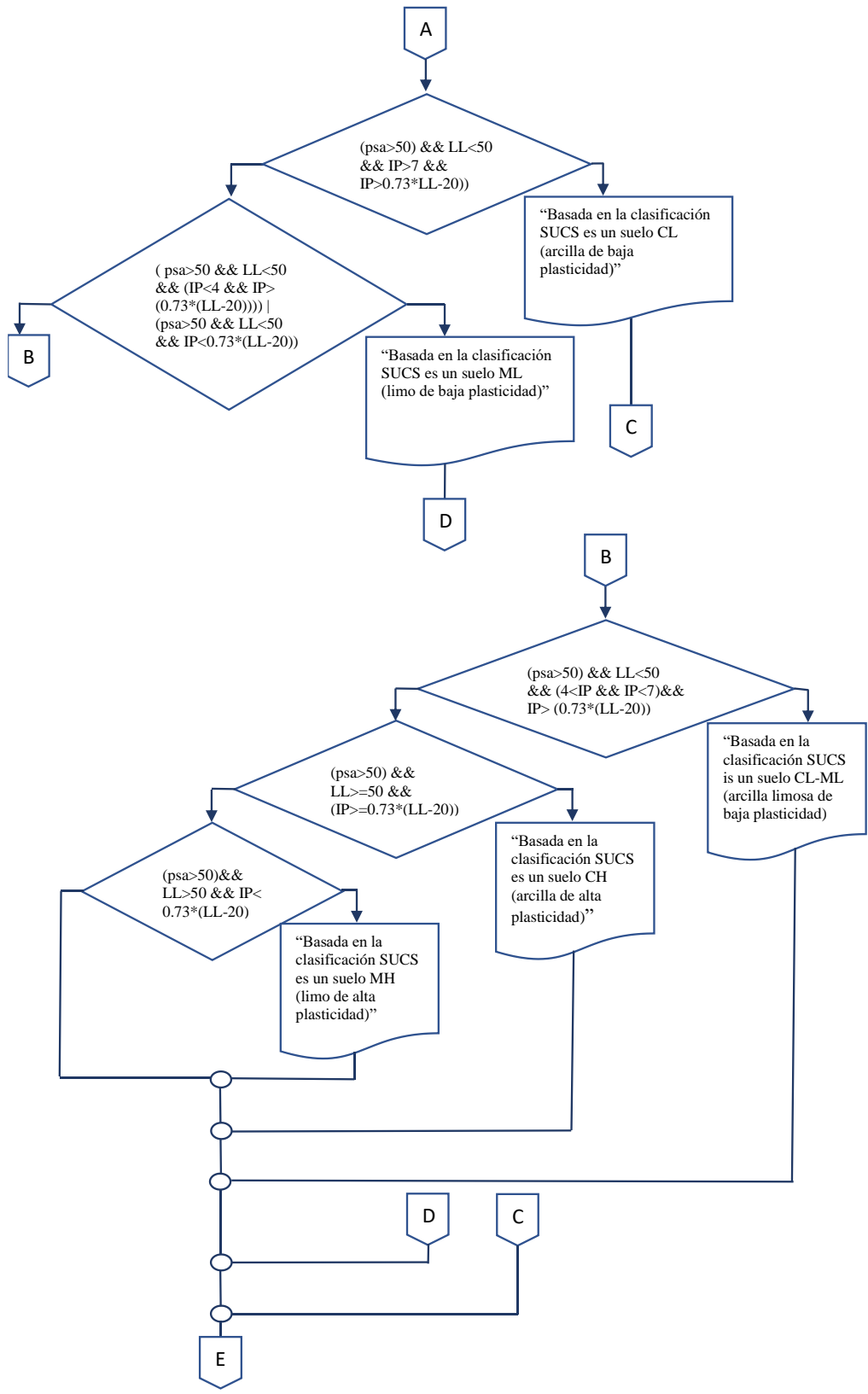
Cu, Coeficiente de uniformidad.

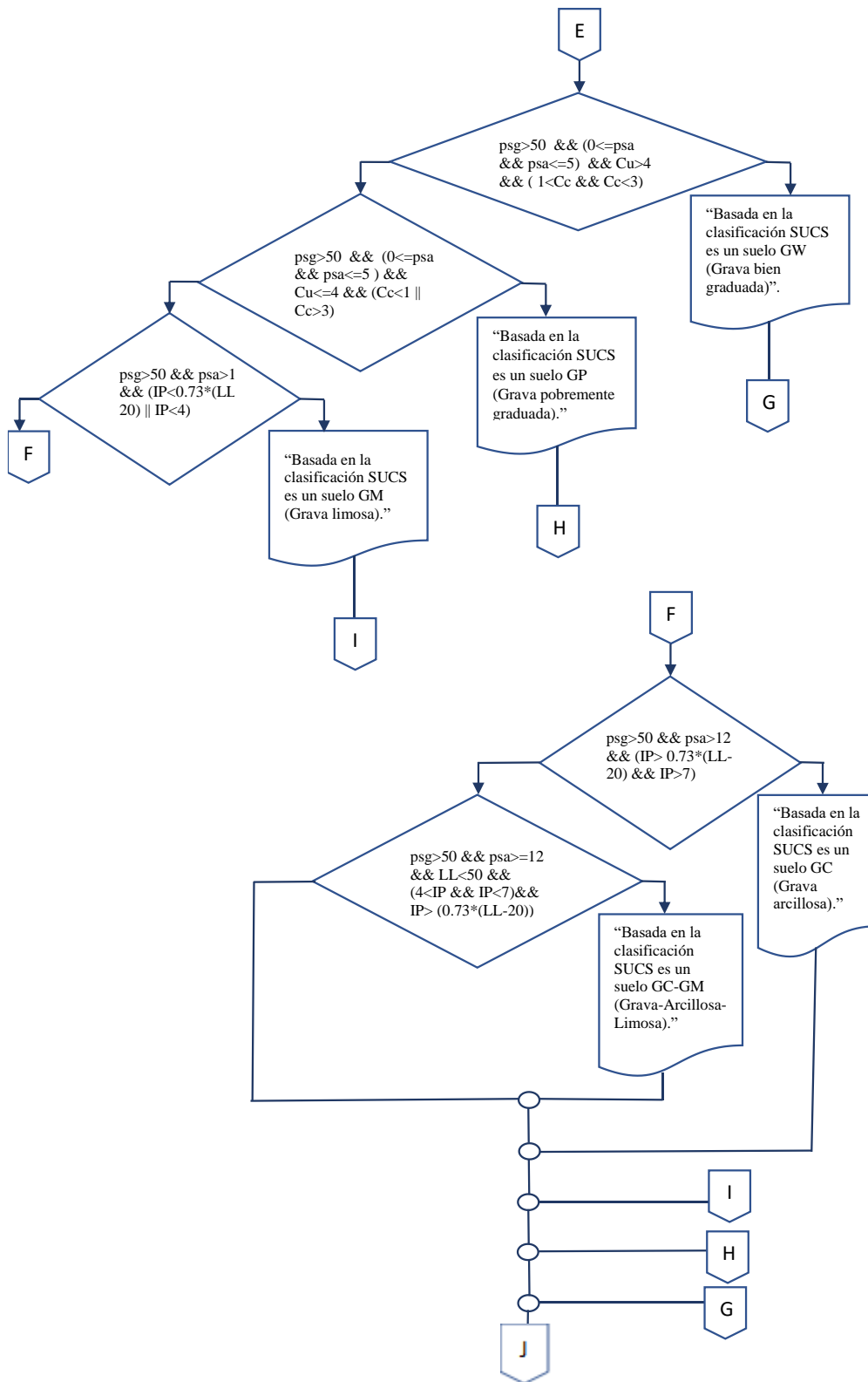
tamiz, Diámetro de tamiz.

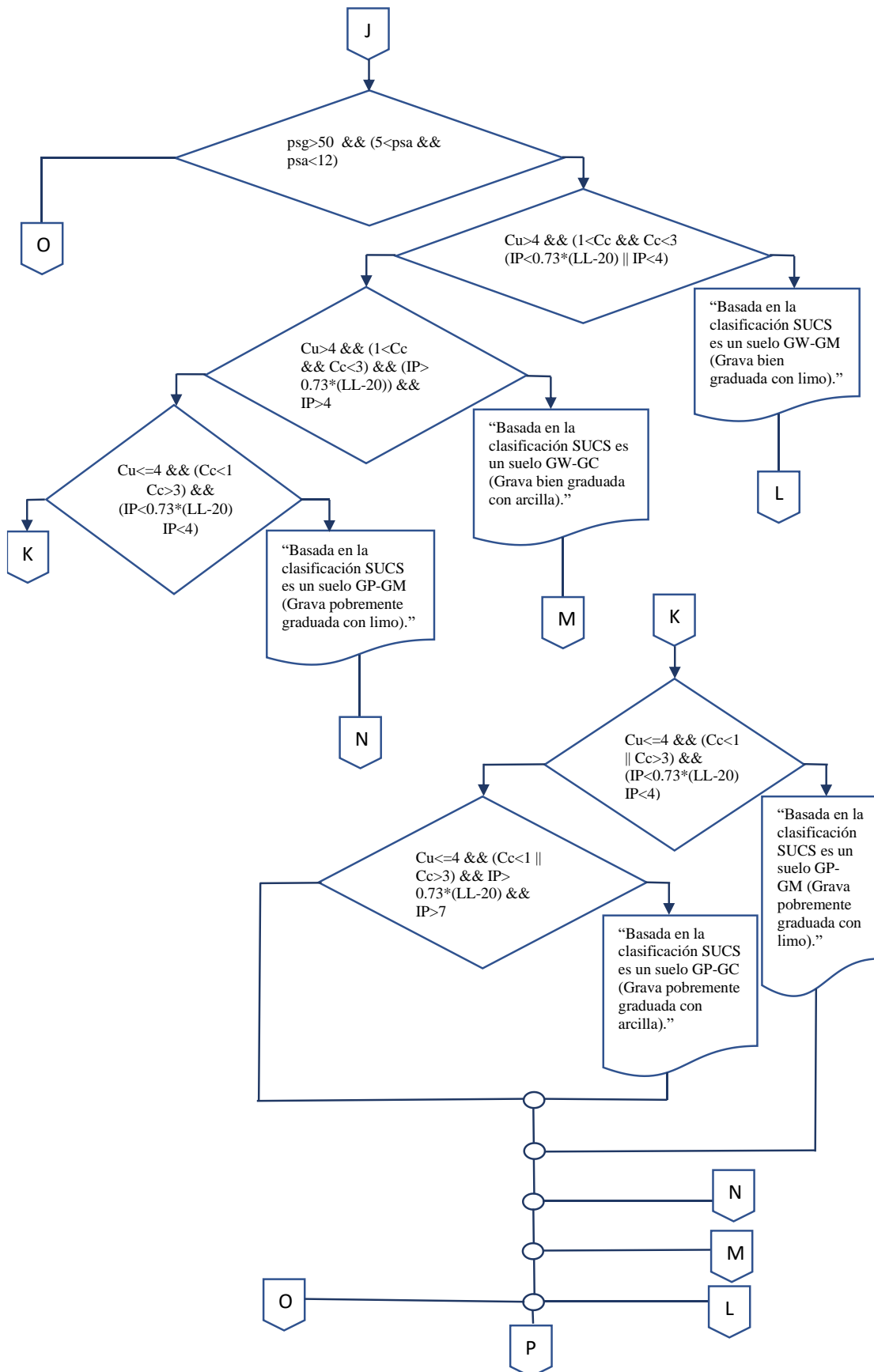
a; b; c, Variables adicionales de cálculo, para índice de grupo.

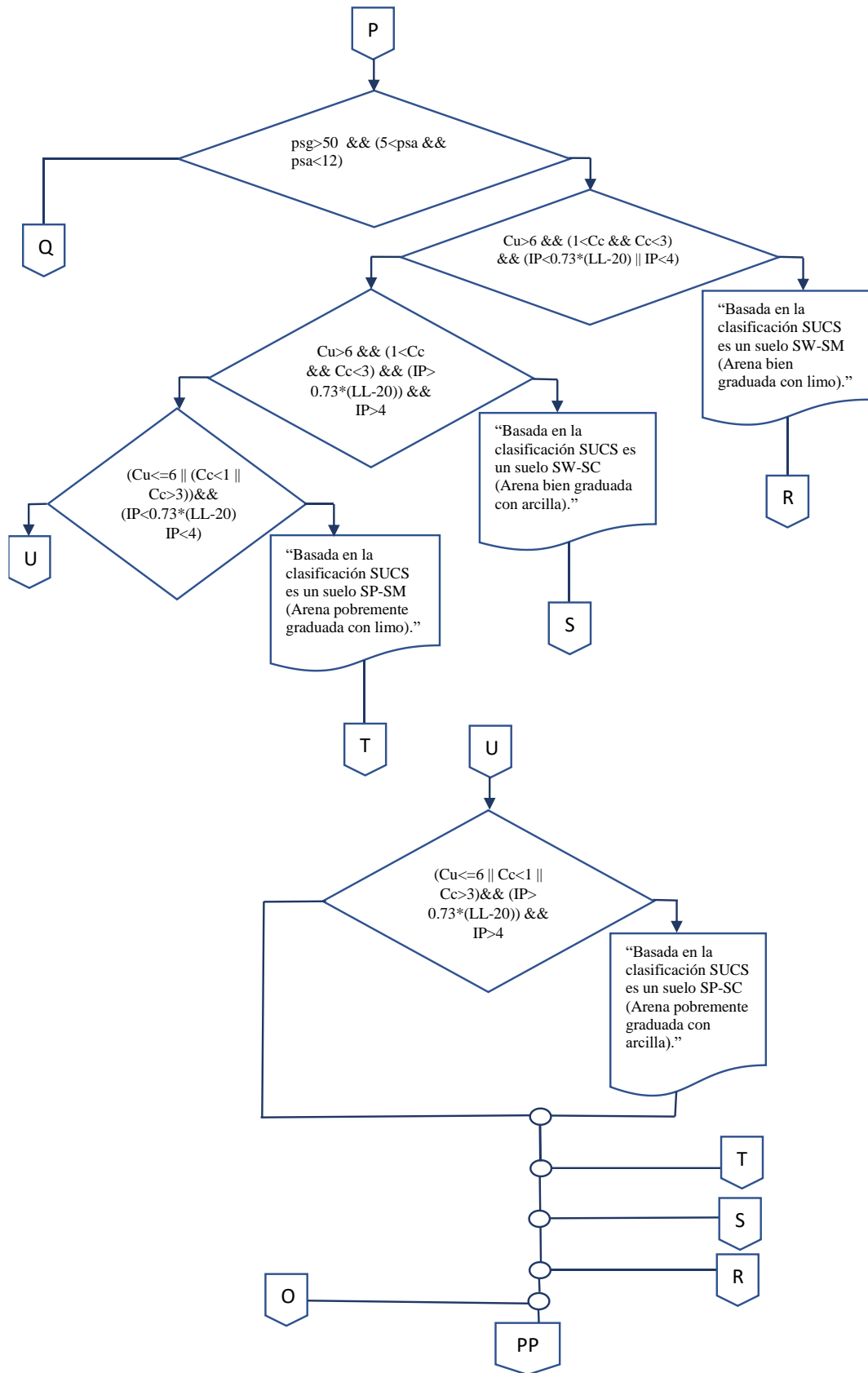
IG, Índice de grupo.

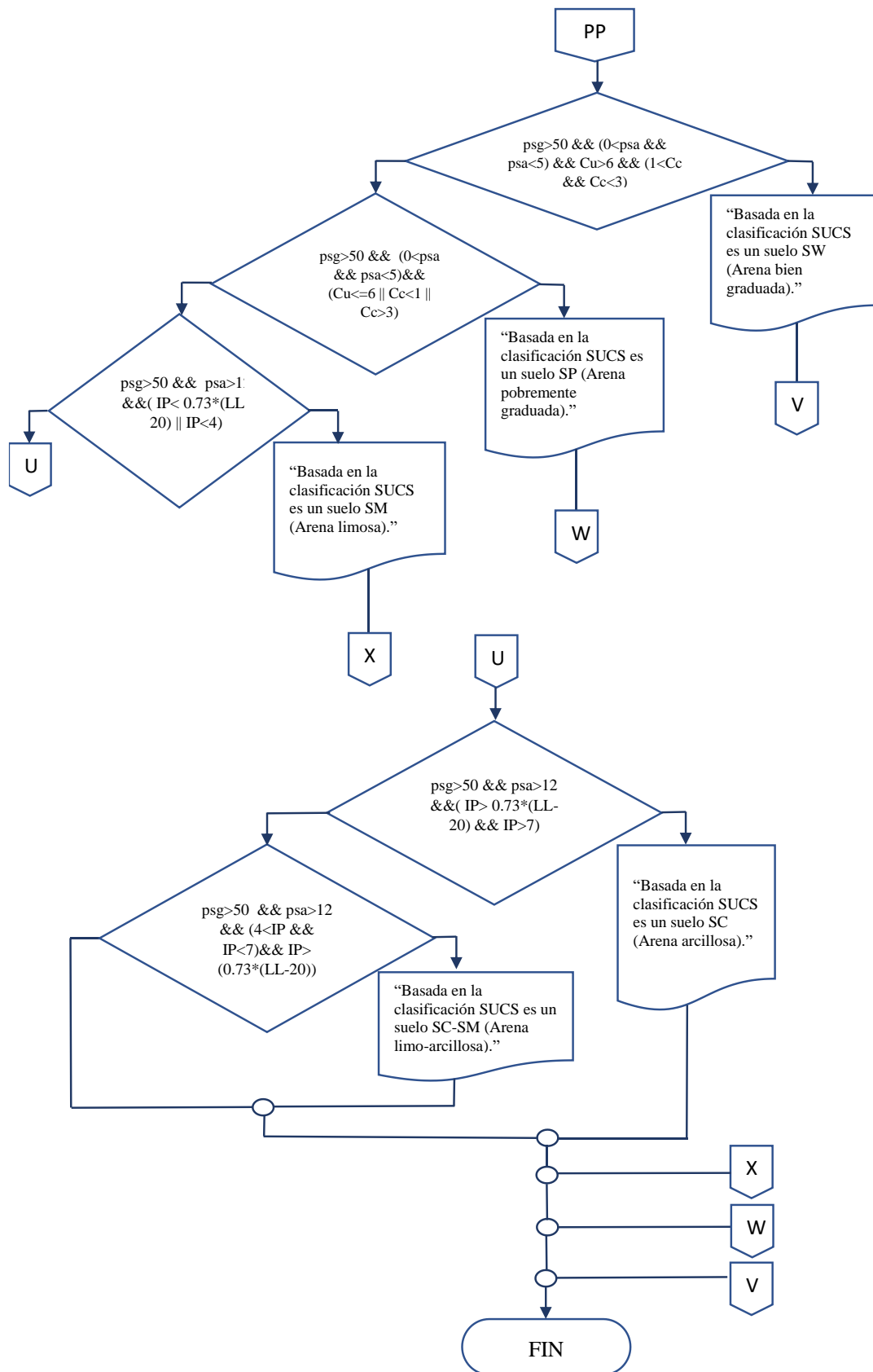












2.1.8. CLASIFICACIÓN DE SUELOS AASHTO

tamiz, Porcentaje que pasa tamiz #200.

tamiz10, Porcentaje que pasa tamiz #10.

tamiz40, Porcentaje que pasa tamiz #40.

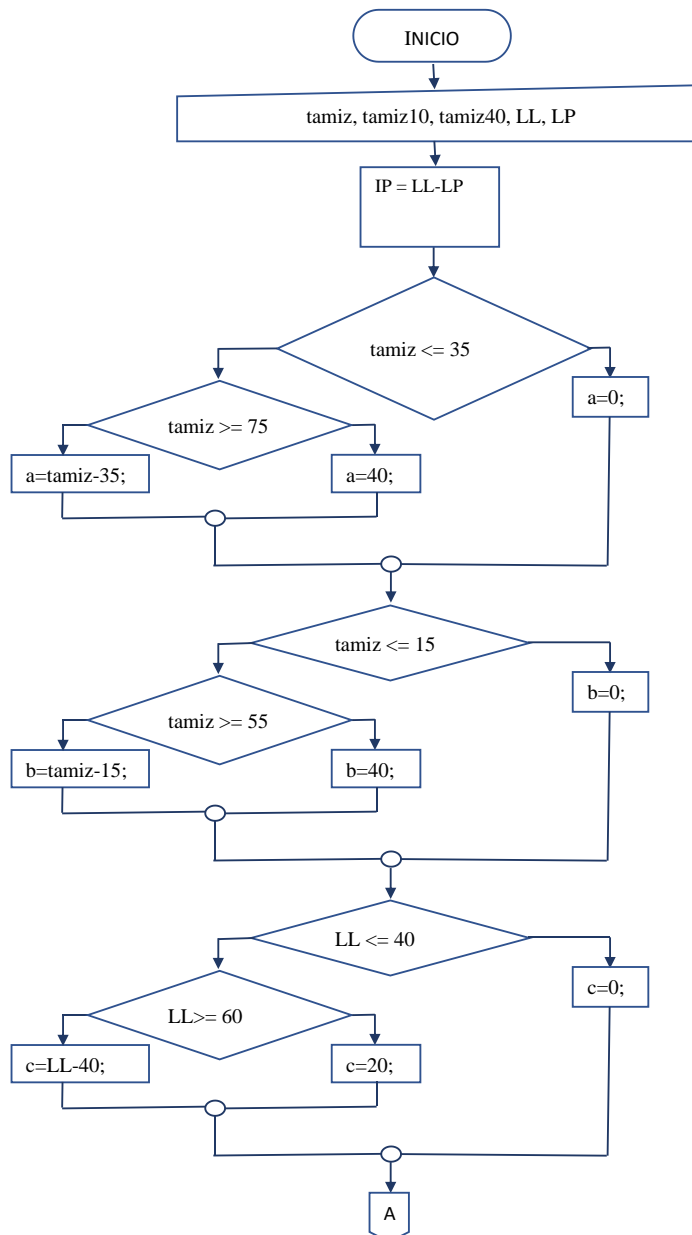
LP, Límite plástico.

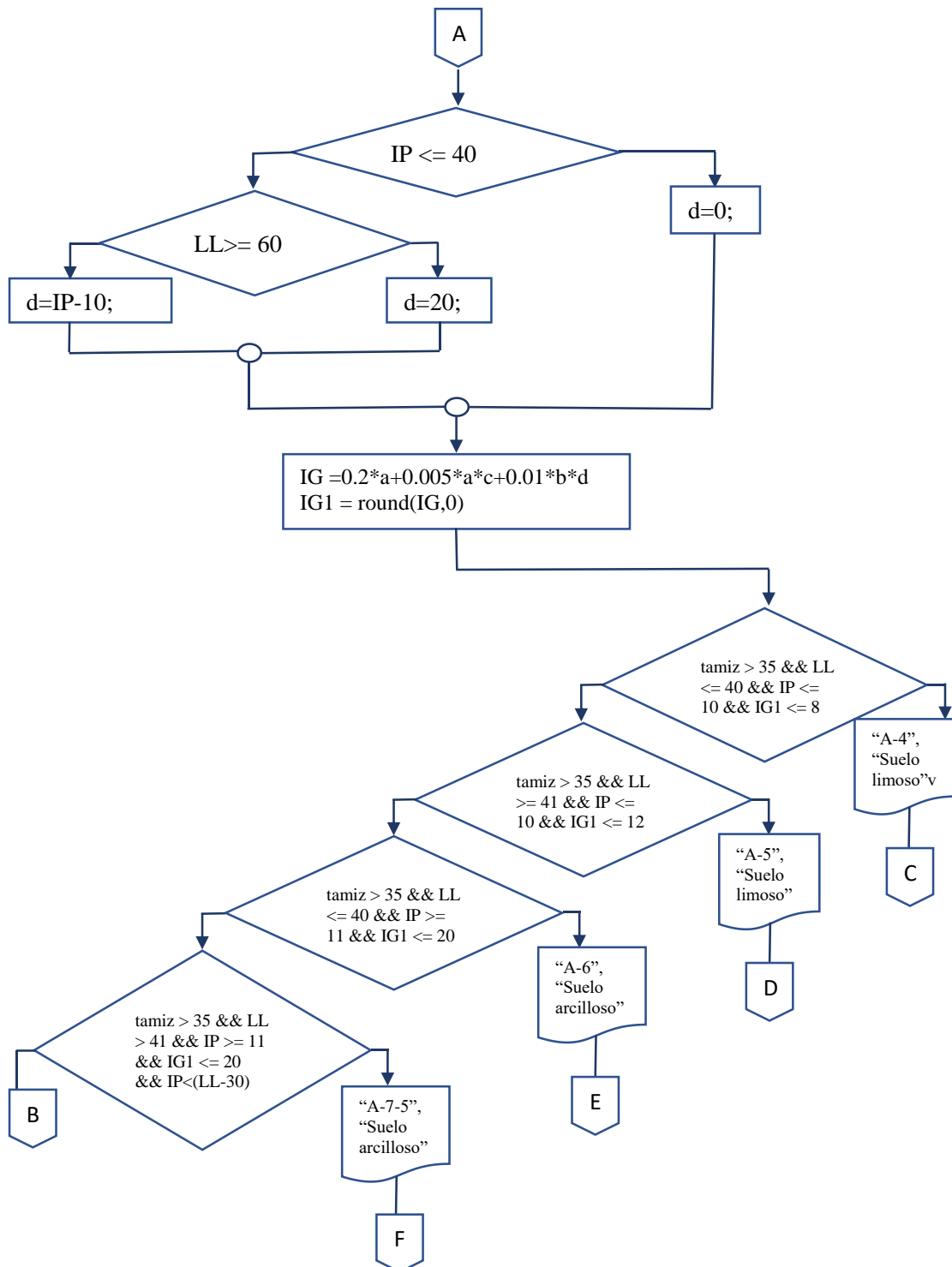
LL, Límite líquido.

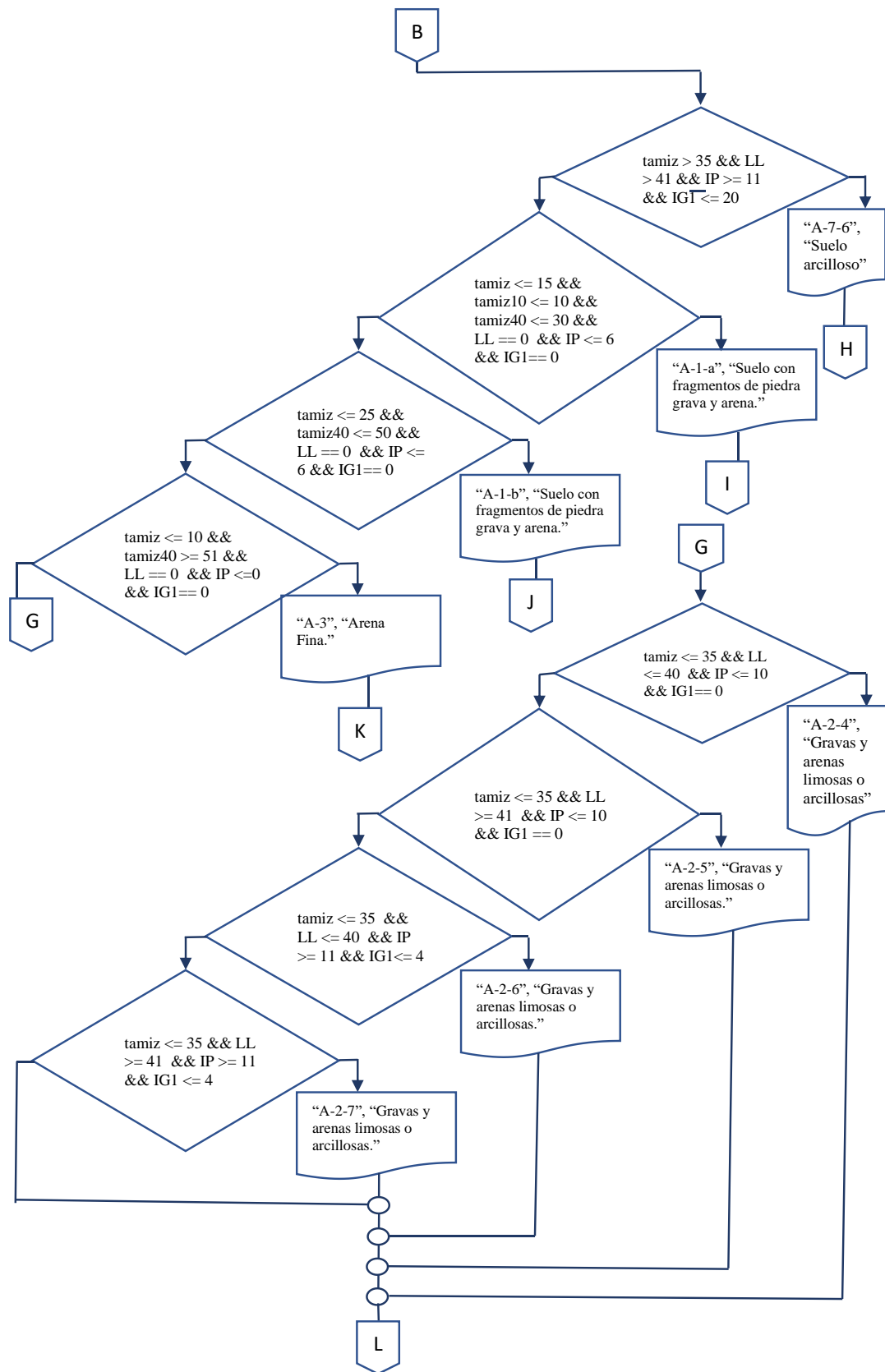
IP, Índice plástico.

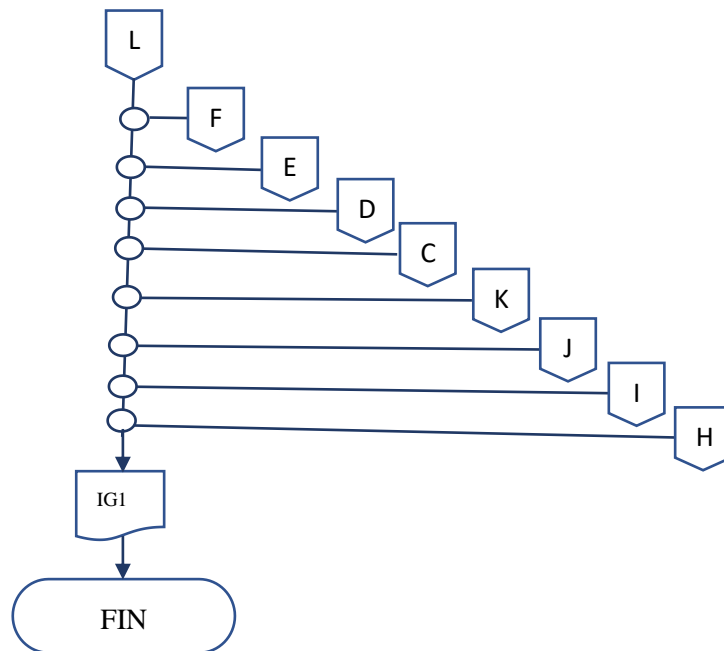
a; b; c, d Variables adicionales de cálculo, para índice de grupo.

IG1, Índice de grupo.









2.1.9. PROCTOR MODIFICADO

pes, Peso del molde.

vol, Volumen del molde.

ing2, Ingreso de datos para cálculo de peso volumétrico.

Ing31; Ing32; Ing33; Ing31, Ingreso de datos para cálculo de contenido de humedad.

i, Contador automático

S, Peso del suelo húmedo.

ca, Peso volumétrico húmedo.

G#, Peso del agua.

SS#, Peso del suelo seco.

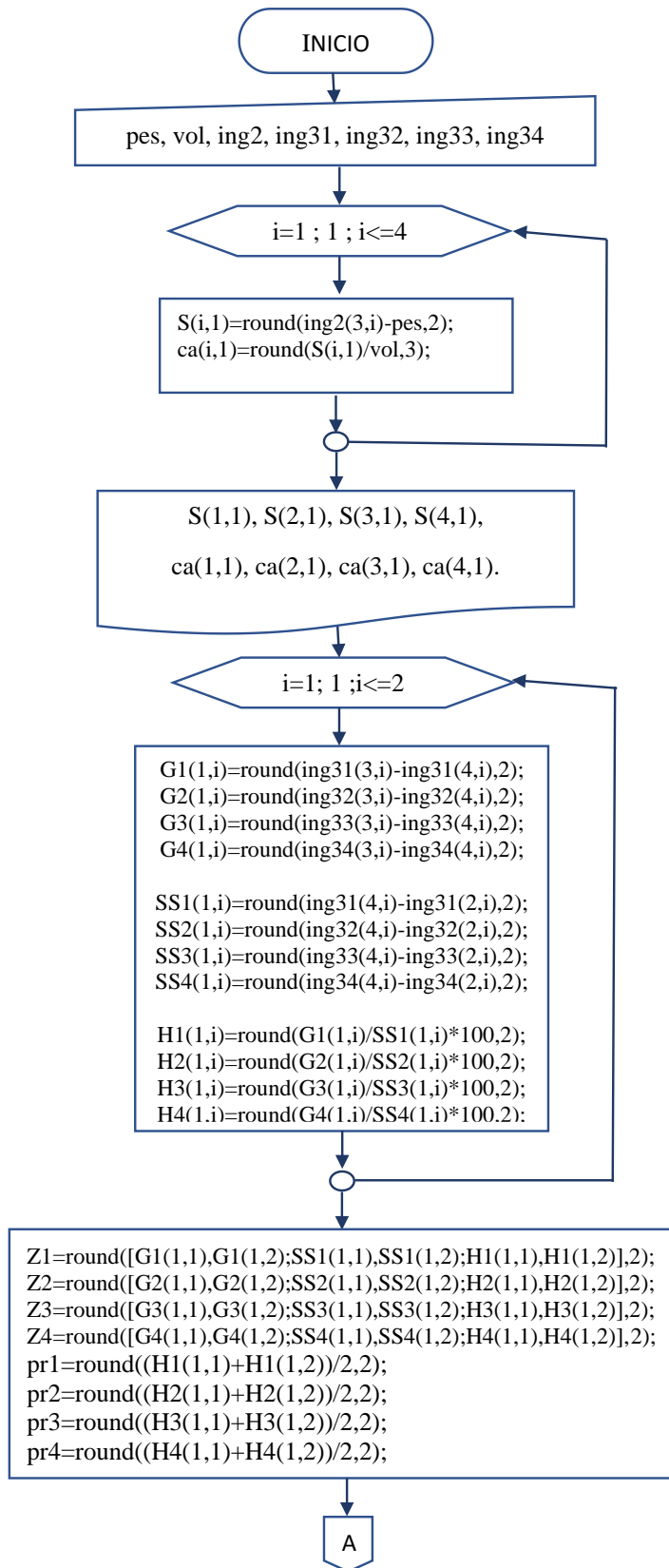
H#, Contenido de humedad individual.

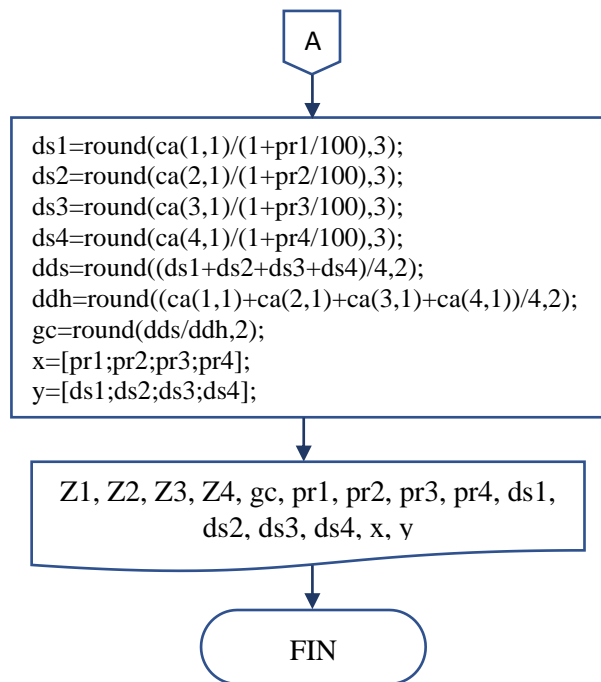
pr#, Contenido de humedad promedio.

Z#, Matriz de cálculo de contenido de humedad.

ds#, Peso volumétrico seco.

gc, grado de compactación.





2.1.10. CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR

tab1, Matriz de ingreso de datos de lectura del molde.

tab3, Matriz de ingreso de datos para cálculo de contenido de humedad.

tab5, Matriz de ingreso de datos de lectura del Dial.

i, Contador automático

tab2, Matriz de cálculo de datos de iniciales.

tab4, Cálculo de humedad promedio.

E#, Contenido de humedad promedio.

P#, Peso unitario seco.

tab6, Matriz de presiones.

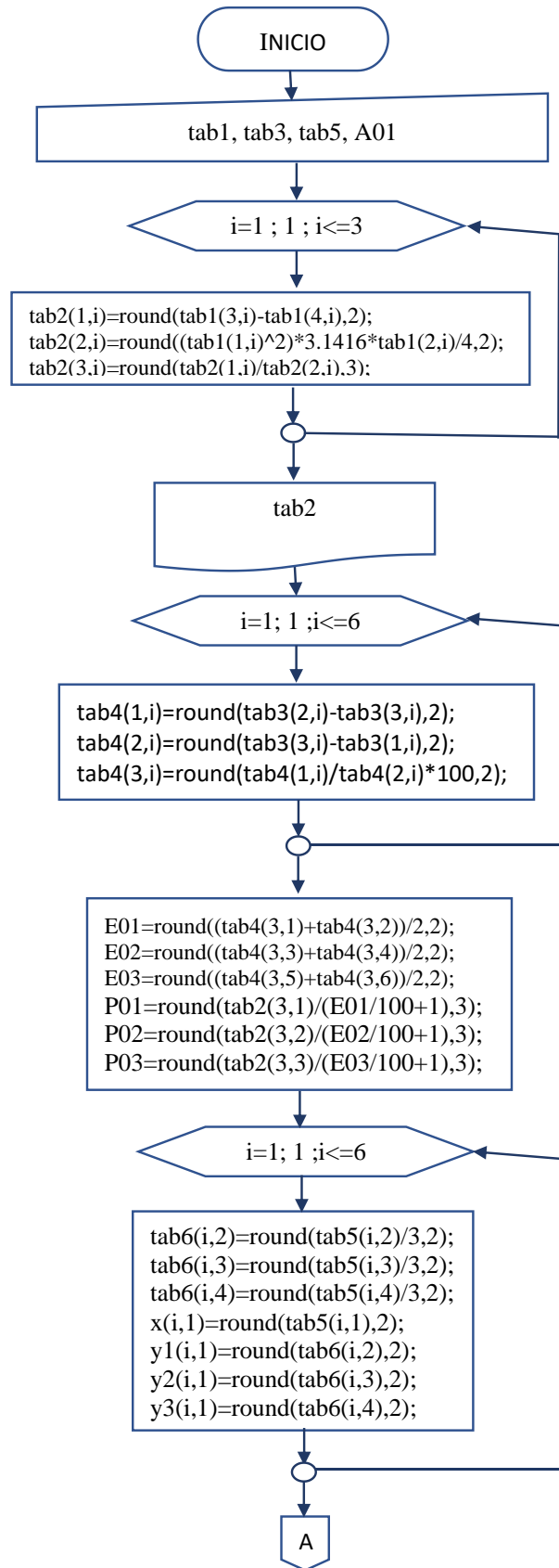
tab7, Resultados de CBR.

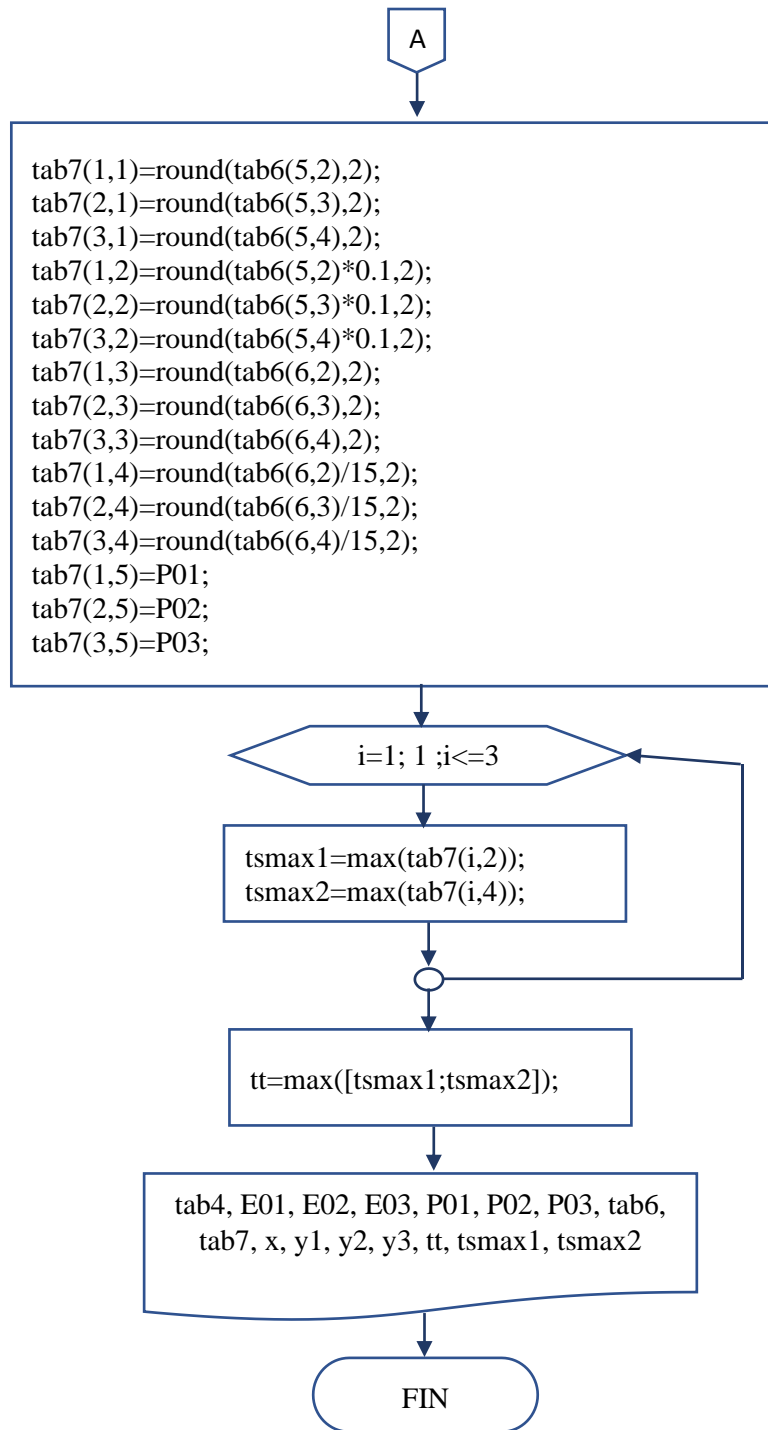
tsmax1, % CBR 0.1in mayor .

tsmax2, % CBR 0.2in mayor .

x, y1, y2, Vectores para puntos en gráfica.

tt, % CBR MAYOR.





3. ANEXO FOTOGÁFICO

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL	
1.- LUGAR DE RECOLECCIÓN DE LAS MUESTRAS		
		
Lugar de recolección de la muestra en obra Plazoleta Bellavista Ambato.	Conformación de subbase clase 3 en lugar de recolección de muestra.	
2.1.- HUMEDAD NATURAL		
		
Colocación de muestra en balanza digital.	Peso de muestras húmeda.	



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



2.2.- HUMEDAD NATURAL



Identificación de muestras para contenido de humedad.



Colocación de muestras en horno.

3.- DENSIDAD DE CAMPO



Calibración de cono y arena.



Ensayo in situ de cono y arena.



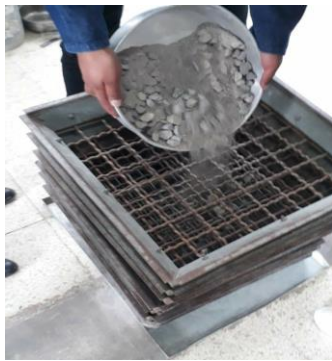
Recolección de suelo en ensayo de densidad de campo.



Colocación de muestras en horno.



4.- GRANULOMETRÍA



Tamizado de suelo grueso.



Tamizado de suelo fino.



Determinación de peso de suelo tamizado.



Determinación de suelo que pasa el tamiz.

5.1.- LÍMITE LÍQUIDO



Identificación - Cuchara de Casa Grande.



Identificación de muestras ensayadas con Cuchara de Casa Grande



5.2.- LÍMITE PLÁSTICO



Enrolle de masa de suelo.



Identificación de rollos para ensayo de límite plástico.

5.3.- LÍMITE DE CONTRACCIÓN



Determinación de peso de mercurio.



Retiro de excedente de mercurio con la placa tripi.

6.1.- PROCTOR MODIFICADO



Molde para ensayo proctor modificado.



Compactación de suelo en molde.



6.2.- PROCTOR MODIFICADO



Peso del molde + el suelo húmedo



Secado de muestras en horno, tomadas desde el molde.

7.- CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)



Identificación de materiales para ensayo CBR.



Sumergido de muestras para ensayo CBR.



Muestras sumergidas en agua.



Aplicación de carga sobre pistón de penetración mediante prensa CBR.

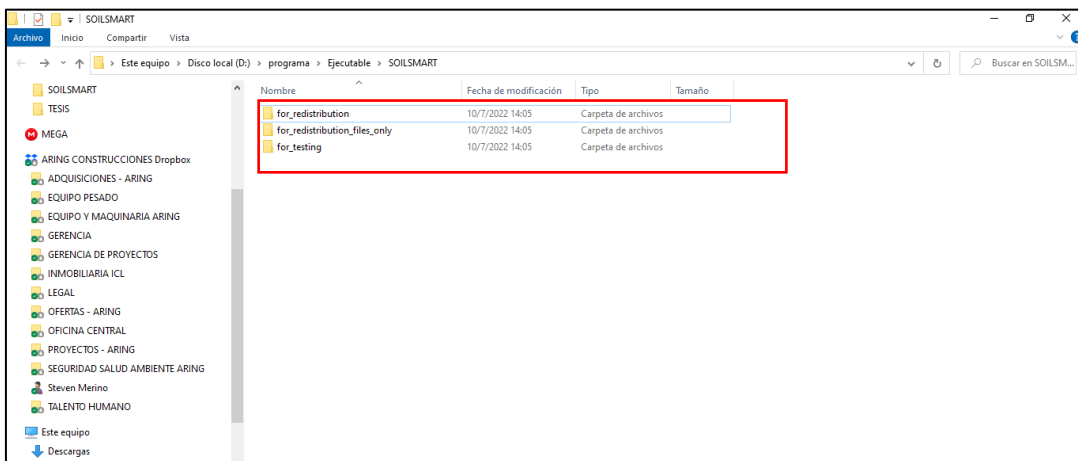
4. MANUAL DE USUARIO

MANUAL DE USUARIO DEL PROGRAMA SOILSMART PARA EL PROCESAMIENTO DE DATOS DE ENSAYOS DE MECÁNICA DE SUELOS.

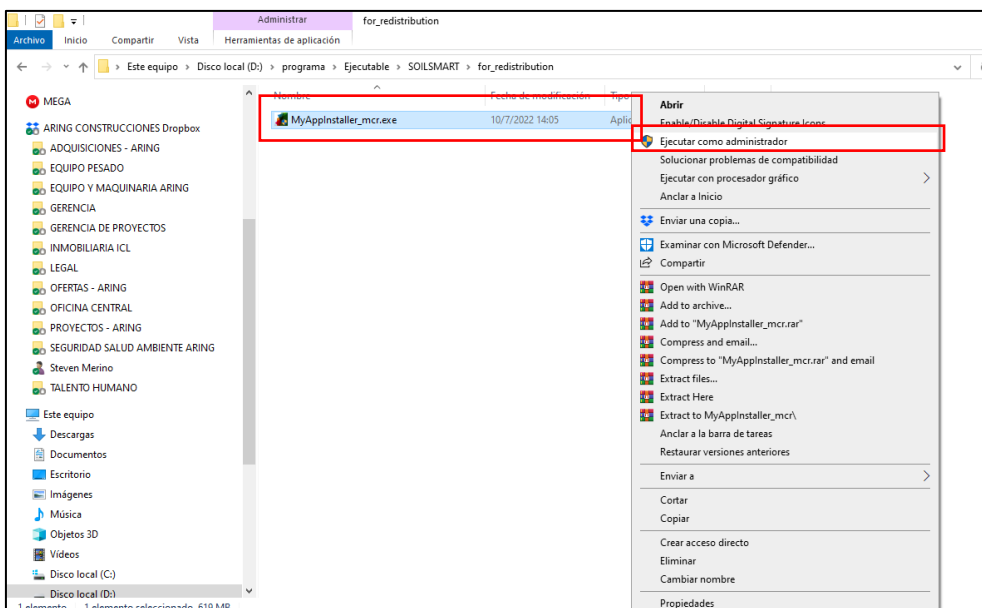
El programa SOILSMART, con carácter educativo y profesional permite realizar el análisis y procesamiento de datos de los ensayos de mecánica de suelos, permitiendo mostrar los resultados mediante tablas y gráficos en el caso de ser necesario.

4.1. INSTALACIÓN DEL PROGRAMA

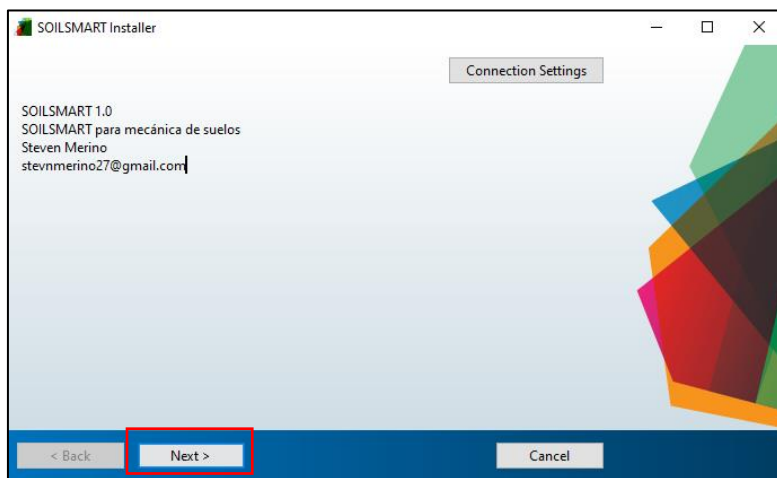
1. Primero se extrae los datos del programa.



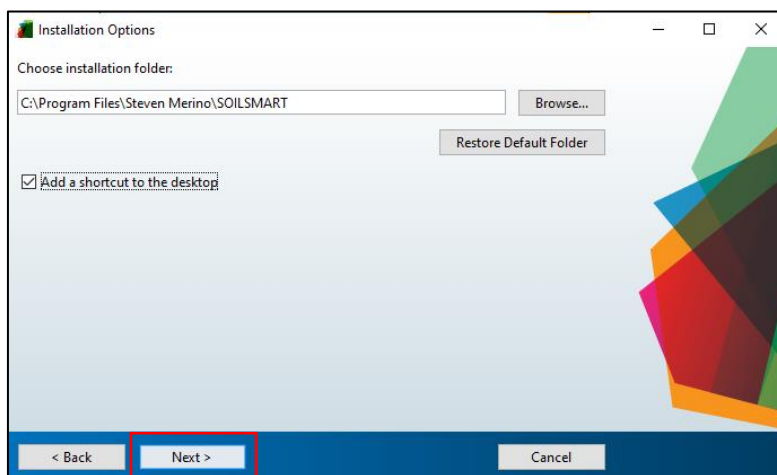
2. Luego se instala las librerías y archivos necesarios para que corra el programa, ingresando a la primera carpeta: “for_redistribution”, seguido se da clic derecho en el instalador “MyAppInstaller_mcr.exe”, y se ejecuta como administrador.



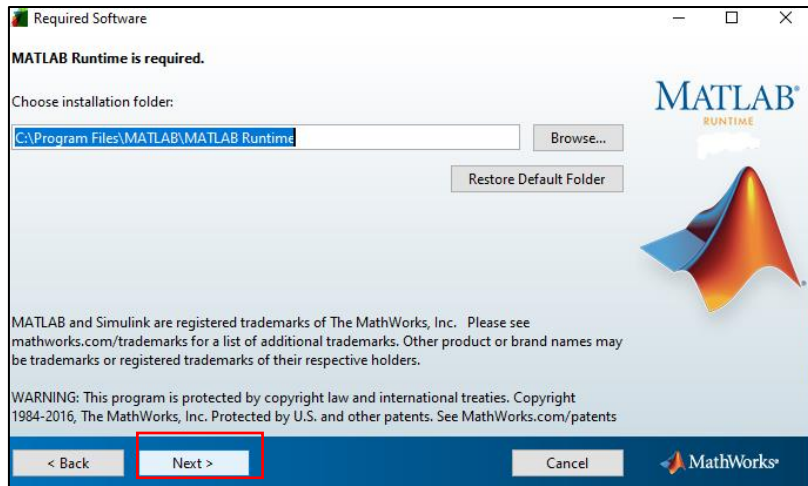
3. Se muestran los datos generales del programa y se da Clic en “Next”.



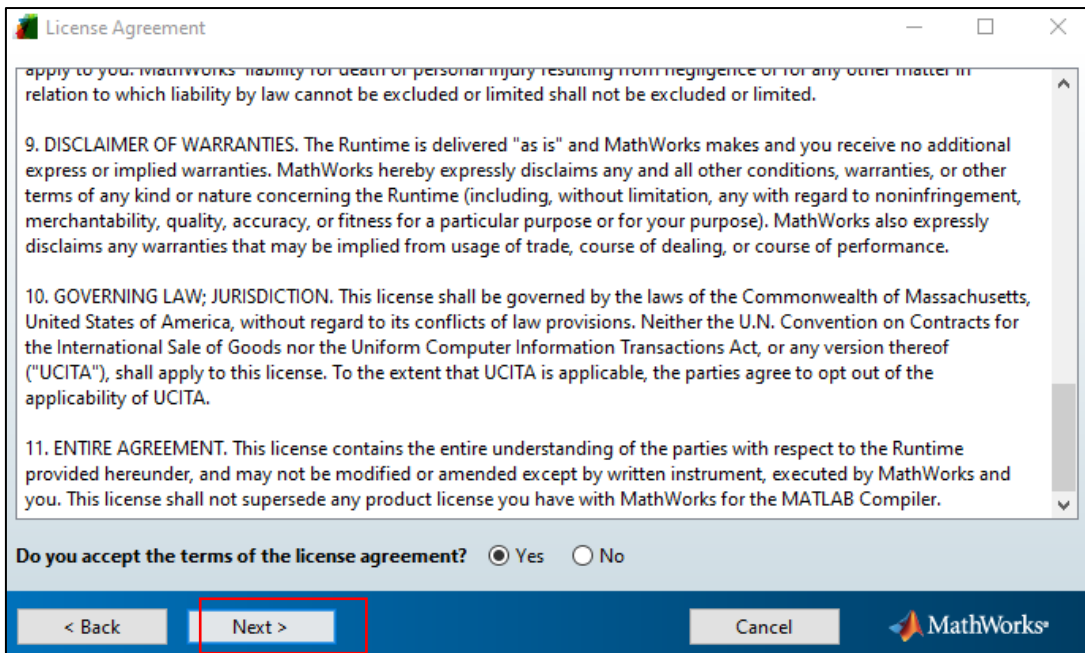
4. Seguido se elige la carpeta donde se instalará el programa, se recomienda dejarlo por defecto, y se da clic en “Next”..



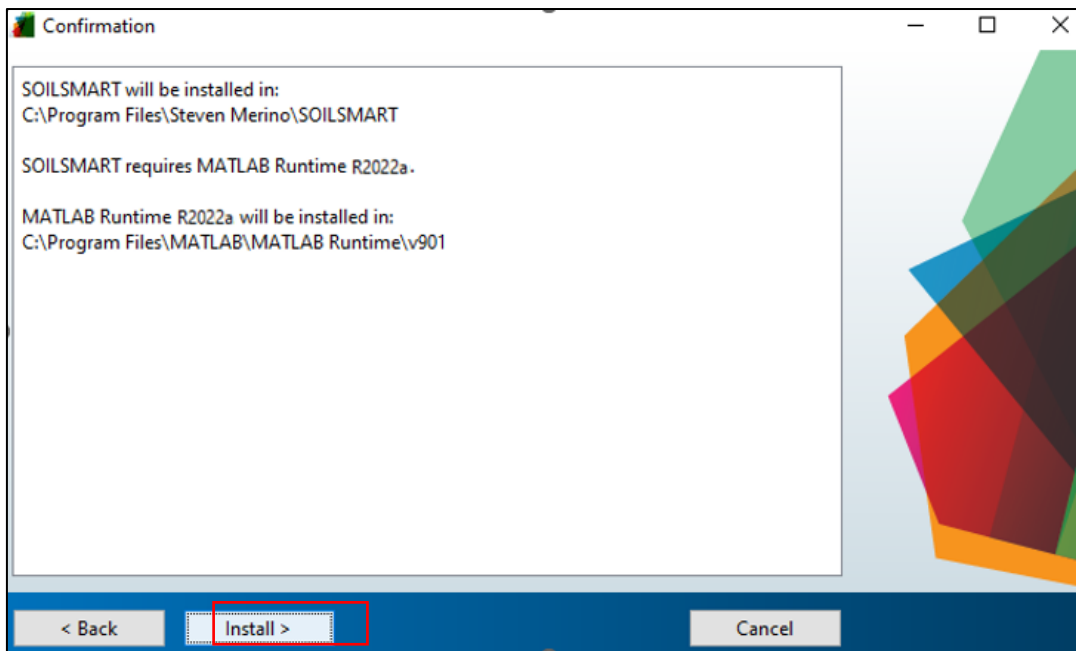
5. Seguido se elige la carpeta donde se instalará el “MATLAB Runtime”, se recomienda dejarlo por defecto, y se da clic en “Next”.



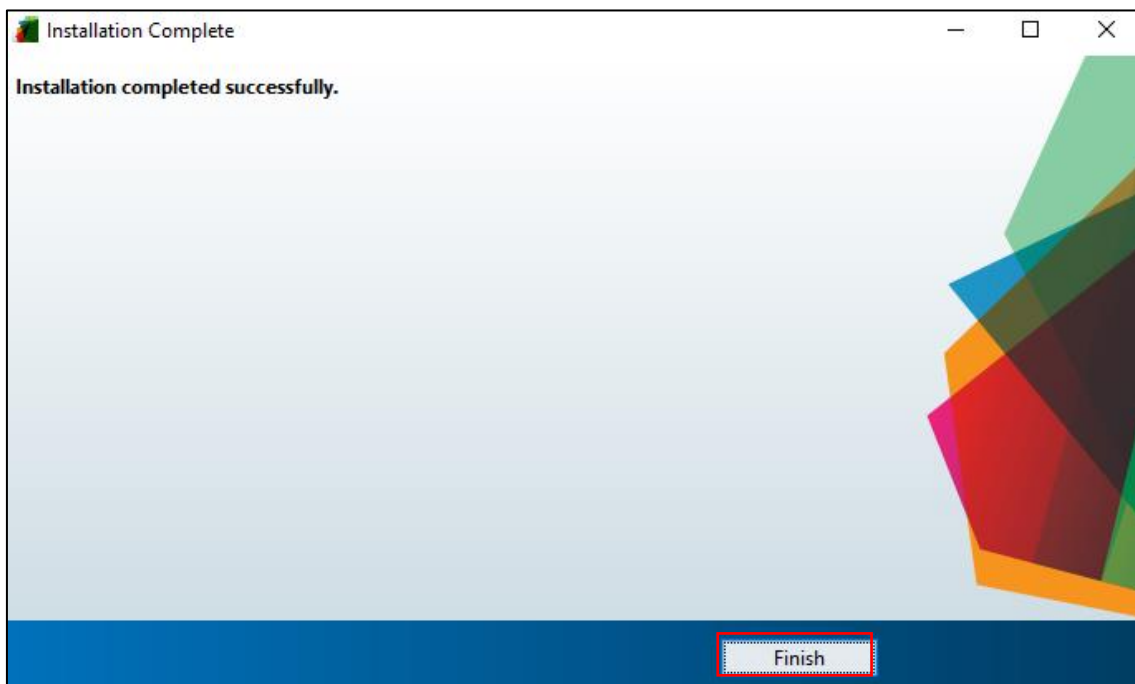
6. Se acepta los términos de licencia del “MATLAB Runtime”, y seguido se da clic en “Next”.



7. Para instalar se da clic en “Install” y se espera a que se acabe de instalar el programa.



8. Para terminar con la instalación se da clic en “Finish”.

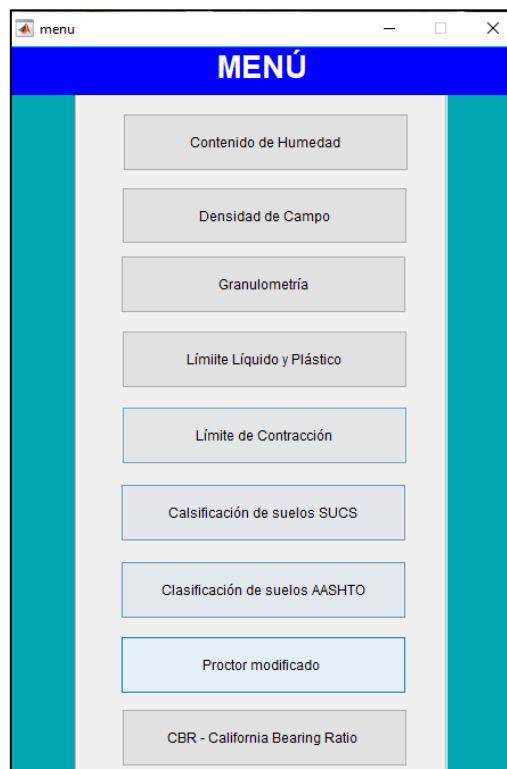


4.2. MANUAL DE USO DEL PROGRAMA

1. Una vez instalado el programa se muestra la portada del programa, siguiente se da clic en el botón “MENÚ”.



2. Esta ventana muestra el menú donde se puede elegir el tipo de ensayo que se quiere procesar.



A. CONTENIDO DE HUMEDAD

1. Se ingresa los datos recolectados en las celdas azules, y da a “PROCESAR” y se genera los resultados en las celdas gris y verdes.

HUMEDAD_NATURAL

1. ENSAYO HUMEDAD NATURAL

1.- INGRESO DE DATOS

	Muestra 01		Muestra 02		Muestra 03	
	Ensayo 01	Ensayo 02	Ensayo 01	Ensayo 02	Ensayo 01	Ensayo 02
Identificación (r)	1	2	3	4	5	6
Peso muestra húmeda+ recipiente (gr).	171.60	167.60	168.96	167.50	169.25	162.30
Peso muestra seca+ recipiente (gr).	155.20	152.10	149.60	153.50	156.80	151.76
Peso recipiente gr.	24.10	25.20	23	26.71	22.89	25.83

2.- CÁLCULO

	Cálculo 01		Cálculo 02		Cálculo 01		Cálculo 02	
	Peso agua (Ww) gr.	16.4000	15.5000	19.3600	14	12.4500	10.5400	
Peso de la muestra seca (Ws) gr.	131.1000	126.9000	126.6000	126.7900	133.9100	125.9300		
Contenido humedad ((Ww/Ws)*100) %.	12.5100	12.2100	15.2900	11.0400	9.3000	8.3700		

3.- RESULTADO DE CONTENIDO DE HUMEDAD

CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO (W)%.	12.36	13.17	8.84
--	-------	-------	------

PROCESAR MENÚ

1. Se ingresan los datos recolectados en las celdas grises, y da a “PROCESAR”, los resultados se generan en las celdas negras.

DENSIDAD_DE_CAMPO

2. ENSAYO DENSIDAD DE CAMPO

1.- DETERMINACIÓN DEL SUELO EXTRAÍDO

Peso de la masa del suelo + recipiente (gr)	2188.50
Peso del recipiente funda plástica (gr)	4.86
Peso de la masa del suelo (gr)	2183.64

2.- DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DEL SUELO

Lectura inicial frasco + cono + Arena (gr)	6028
Lectura final frasco + cono + Arena (gr)	2850.50
Peso de la arena en el cono (gr)	1629
Peso de la arena en el hueco (gr)	1548.5
Calibración de la Arena de Ottawa (gr/cm³)	1.582
Volumen del hueco (cm³)	978.82

3.- DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

	Recipiente A	Recipiente B
Peso del suelo húmedo + recipiente (gr)	142.17	147.93
Peso del suelo seco + recipiente (gr)	133.84	139.86
Peso del recipiente (gr)	31.12	28.99
Peso del Agua (gr)	8.3300	8.0700
Peso de la muestra seca (gr)	102.7200	110.8700
Contenido de humedad (%)	8.1100	7.2800
Contenido de Humedad promedio (%)	7.7	

2.1.- CALIBRACIÓN DE LA ARENA

	Datos
Peso frasco+arena gr.	3222
Peso del frasco gr.	2239.6
Diámetro del cono cm.	10.1
Altura de hueco cm.	7.75
Peso de la arena de Ottawa gr	982.4000
Volumen de la areba de Ottawa cm³.	620.9200
Densidad de la arena gr/cm³.	1.5820

4.- DETERMINACIÓN DEL GRADO DE COMPACTACIÓN

Determinación del peso volumétrico del suelo húmedo gr/cm³	2.231
Determinación del peso volumétrico seco gr/cm³	2.071
Densidad Max Proctor (gr/cm³)	1.998
Porcentaje de compactación Exigido (%)	95
Porcentaje de compactación alcanzado (%)	103.65

PASA! / Densidad de Campo

PROCESAR MENÚ

El procesamiento de la información se divide en 4 partes principales que son:

1. DETERMINACIÓN DEL SUELO EXTRAÍDO.
2. DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DEL SUELO.
 - 2.1. CALIBRACIÓN DE LA ARENA.
3. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD.
4. DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE COMPACTACIÓN.

NOTA: Para cada tipo de cálculo dentro de la ventana se puede hacer por partes, sin que se interrumpan los otros cálculos ya generados o por generar.

C. GRANULOMETRÍA

1. Se ingresa los datos recolectados en las celdas amarillas y blancas, también se elige el tipo de suelo con el que se quiere comparar los resultados y se muestra

la tabla con celdas grises y en la tabla de celdas amarillas en

3. GRANULOMETRÍA

Ingreso de datos

Peso total de la muestra (gr)

Peso del cuarteo despues del Lavado (gr)

Tipo de suelo

Sub base 3

Peso de tamises en (gr)

	Cálculo
3"	0
2"	938
1 1/2"	758
1"	578
3/4"	548
1/2"	513
3/8"	779
#4	1305
PASA #4	4581
#8	199.44
#10	47.02
#16	115.39
#40	220.94
#50	76.18
#60	31.26
#100	93.41
#200	125.4
PASA #200	115.81

Datos de granulometría

	mm	Pesos Ret/Acumulados	% Retenido	% Que pasa
3"	76.1000	0	0	100
2"	50.8000	938	9.3800	90.6200
1 1/2"	38.1000	1698	16.9800	83.0400
1"	25.4000	2274	22.7400	77.2600
3/4"	19.0500	2822	28.2200	71.7800
1/2"	12.5000	3338	33.3500	66.6500
3/8"	9.5300	4114	41.1400	58.8600
#4	4.7600	5419	54.1900	45.8100
PASA #4	0	4581	45.8100	0
#8	2.3600	199.4400	8.9100	36.9000
#10	2	246.4600	11.0200	34.7900
#16	1.1800	361.8500	16.1700	29.6400
#40	0.4300	582.7900	26.0500	19.7600
#50	0.3000	658.9700	29.4600	16.3500
#60	0.2500	690.2300	30.8500	14.9600
#100	0.1500	NaN	NaN	NaN
#200	0.0800	NaN	NaN	NaN
PASA #200	0	115.8100	5.1800	0

Límites superiores e inferiores según MITOP

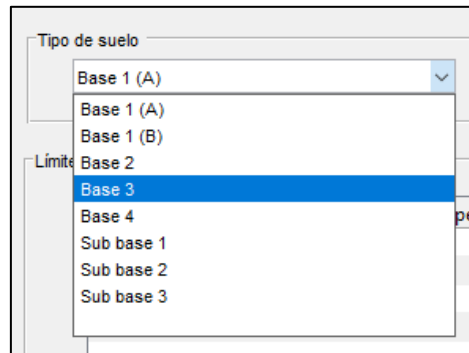
Abertura (mm)	Límite inferior (%)	Límite superior (%)
76.2000	100	100
4.7500	70	30
0.0800	20	0

CALCULAR

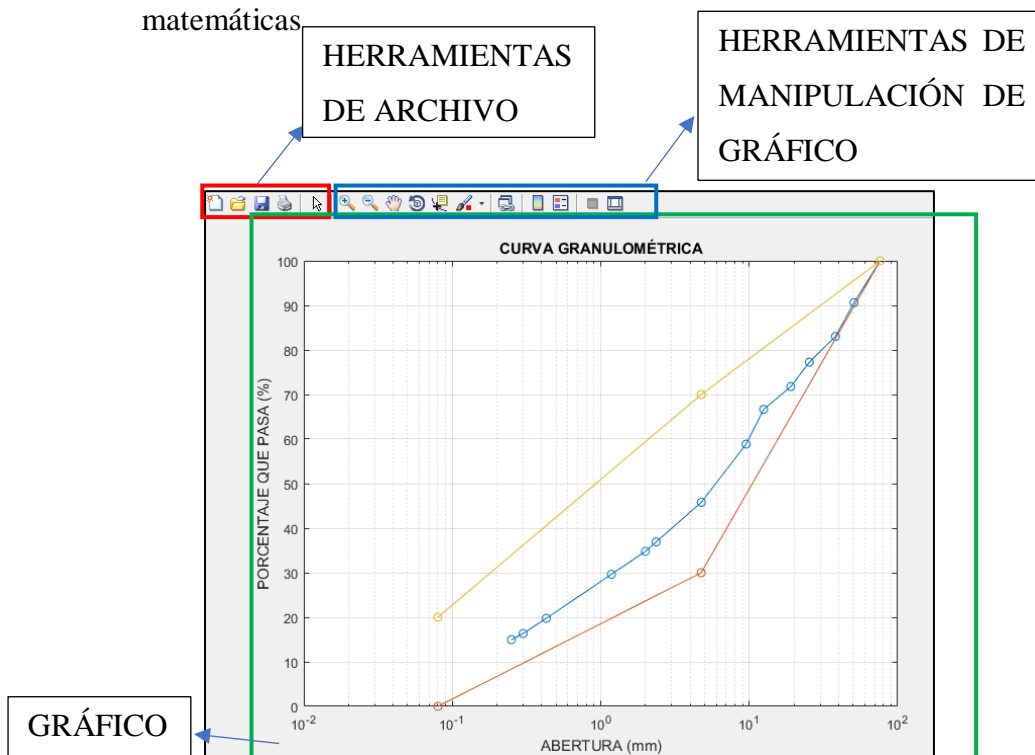
MENU

DATOS CALCULADOS

- El ensayo de granulometría permite realizar comparaciones del suelo analizado con diferentes tipos de suelos predefinidos que se rigen bajo la normativa MTOP.



- Una vez ingresados los datos se generará la curva granulométrica a la cual se puede manipular como se requiera, con una amplia gama de herramientas matemáticas.



D. LÍMITE LÍQUIDO

- Para el límite líquido se ingresa los datos del ensayo de contenido de humedad en las tablas superiores, además es necesario ingresar el número de golpes en el recuadro inferior.

DATOS DE INGRESO – PARA CONTENIDO DE HUMEDAD

DATOS

4. LÍMITES LÍQUIDO

Datos de ingreso

	Muestra 01		Muestra 02		Muestra 03		Muestra 04	
	Ensayo 01	Ensayo 02	Ensayo 01	Ensayo 02	Ensayo 01	Ensayo 02	Ensayo 01	Ensayo 02
Identificación del recipiente (gr).	A	B	C	D	E	F	G	H
Peso de muestra húmeda+rec.(gr).	13.4	13.9	9.54	8.9	11.33	11.67	11.13	11.33
Peso de muestra seca + rec. (gr).	11	11.4	8.32	7.85	9.73	9.98	9.73	9.98
Peso recipiente (gr).	4.24	4.43	4.37	4.44	4.25	4.41	4.50	4.39

Cálculo de contenido de humedad

	Muestra 01		Muestra 02		Muestra 03		Muestra 04	
	Cálculo 01	Cálculo 02	Cálculo 01	Cálculo 02	Cálculo 01	Cálculo 02	Cálculo 01	Cálculo 02
Peso agua (gr).	2.4000	2.5000	1.2200	1.0500	1.6000	1.6900	1.4000	1.3500
Peso de la muestra seca (gr).	6.7600	6.9700	3.9500	3.4100	5.4800	5.5700	5.2300	5.5900
Contenido humedad (%).	35.5000	35.8700	30.8900	30.7900	29.2000	30.3400	26.7700	24.1500

Promedio de contenido de humedad

	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03	Muestra 04
PROMEDIO DE CONTENIDO DE HUMEDAD (%).	35.69	30.84	29.77	25.46

Nº DE GOLPES

	Nº de golpes
Muestra 01	6
Muestra 02	15
Muestra 03	28
Muestra 04	37

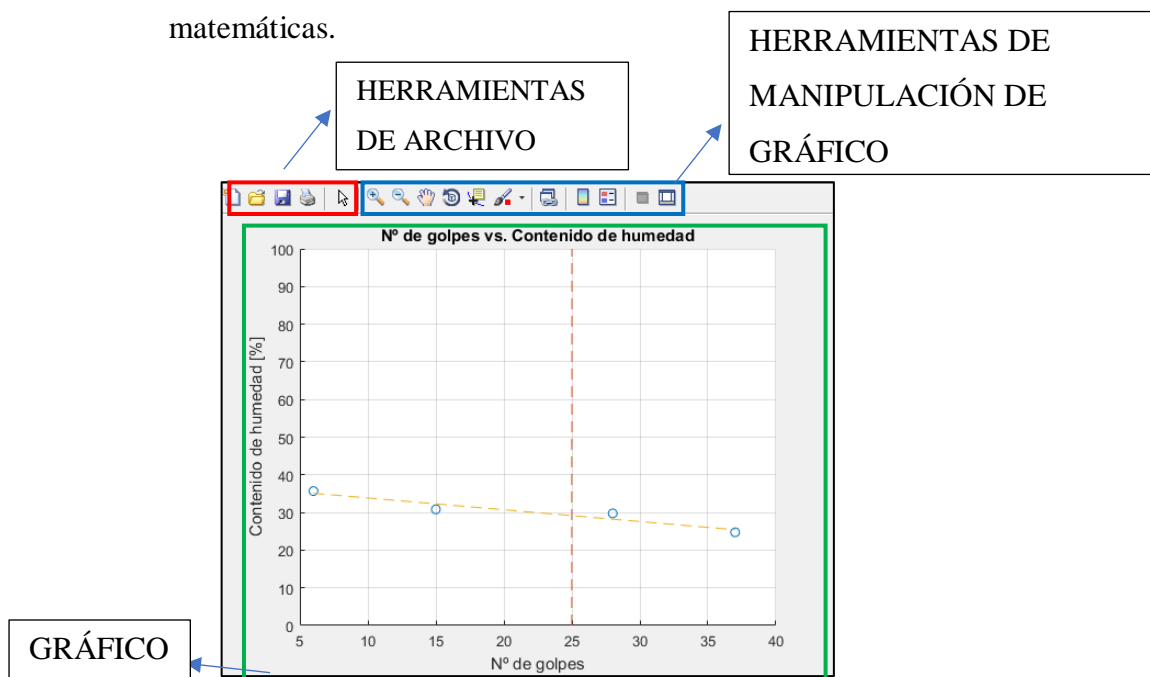
INGRESO DE NÚMERO DE GOLPES

CALCULAR

LÍMITE PLÁSTICO

MENÚ

- Una vez ingresados los datos se generará la curva de límite líquido a la cual se puede manipular como se requiera, con una amplia gama de herramientas matemáticas.



E. LÍMITE PLÁSTICO

- Para el límite plástico se ingresan los datos del ensayo de contenido de humedad en las tablas superiores, también ingresamos el límite líquido para el cálculo del índice plástico, los resultados se generarán en la parte inferior.

DATOS DE INGRESO – PARA CONTENIDO DE HUMEDAD

DATOS

5. LÍMITE PLÁSTICO

Datos de ingreso

	Ensayo 01	Ensayo 02	Ensayo 03	Ensayo 04	Ensayo 05	Ensayo 06
Identificación del recipiente (gr).	A	B	C	D	E	F
Peso de muestra húmeda + rec. (gr).	7.03	12.02	11.83	6.89	7.6	7.74
Peso de muestra seca + rec. (gr).	6.82	11.77	11.63	6.71	7.31	7.44
Peso recipiente (gr).	5.95	10.56	10.79	5.83	6.03	6.14

Cálculo de contenido de humedad

	Cálculo 01	Cálculo 02	Cálculo 01	Cálculo 02	Cálculo 01	Cálculo 02
Peso agua (gr).	0.2100	0.2500	0.2000	0.1800	0.2900	0.3000
Peso de la muestra seca (gr).	0.8700	1.2100	0.8400	0.8800	1.2800	1.3000
Contenido humedad (%).	24.1400	20.6600	23.8100	20.4500	22.6600	23.0800

Promedio de contenido de humedad

PROMEDIO DE CONTENIDO DE HUMEDAD (%) 22.47

Índice Plástico

LÍMITE LÍQUIDO [%]	ÍNDICE PLÁSTICO [%]
28.60	6.13

CALCULAR

MENÚ

INGRESO DE LÍMITE LÍQUIDO

LÍMITE DE CONTRACCIÓN

1. El proceso se divide por partes, se ingresan los datos por cada sección de cálculo que lo requiere.

6. LÍMITE DE CONTRACCIÓN

1. Determinación del volumen suelo húmedo

	Ensayo 01
Peso cápsula de contracción+mercurio(gr)	283.80
Peso cápsula de contracción(gr)	22.1
Densidad del mercurio (gr/cm ³)	13.55

Peso del mercurio (gr) 261.7 Volumen del mercurio (cm³) 19.31

2. Determinación del contenido de humedad

	Ensayo 01
Identificación (r)	1
Peso muestra húmeda+recipiente (gr).	55.6
Peso muestra seca+recipiente (gr).	47.98
Peso recipiente gr.	22.1

Peso agua (Ww) gr. 7.6200
 Peso de la muestra seca (Ws) gr. 25.8800
 Contenido humedad ((Ww/Ws)*100) %. 29.4400

3. Determinación del volumen del suelo húmedo

	Ensayo 01
Peso cristal de lucita+mercurio (gr)	749.90
Peso C. lucita y desalojo de mercurio(gr)	526.60
Densidad del mercurio (gr/cm ³)	13.55

Peso del mercurio desalojado(gr) 223.3 Volumen del mercurio (cm³) 16.48

4. Resultado

LÍMITE DE CONTRACCIÓN (Lc%) 18.5

INGRESO DE DATOS

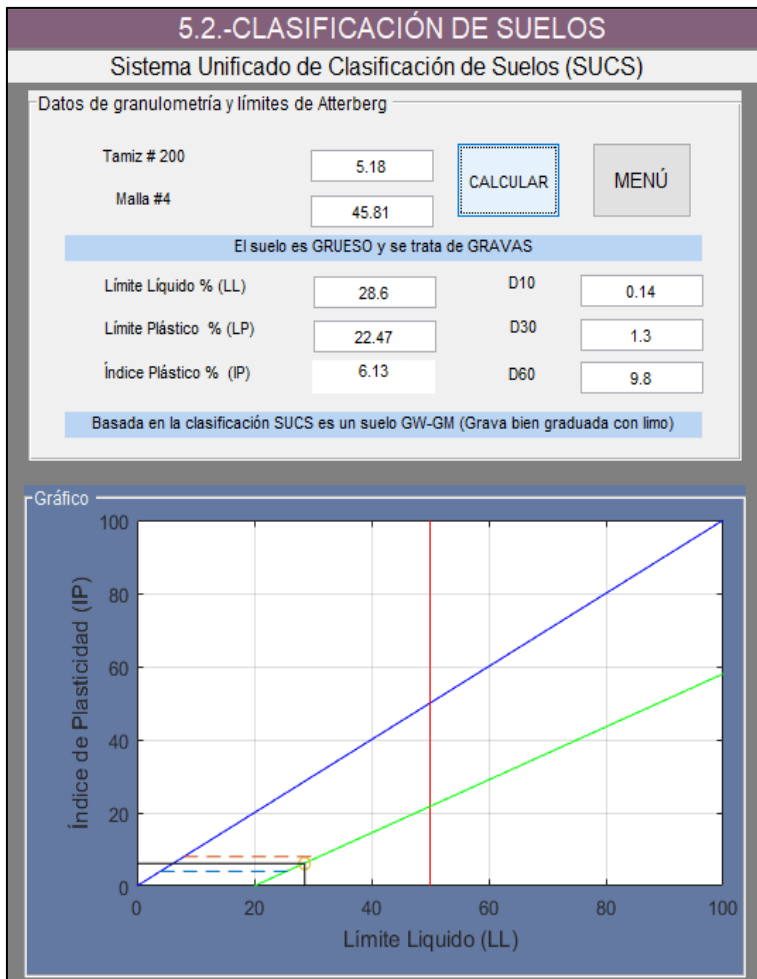
CALCULAR

MENÚ

DATOS CALCULADOS

G. CLASIFICACIÓN DE SUELOS SUCS

1. Para este ensayo solo se ingresa en las celdas en blanco los datos necesarios, y mediante el algoritmo lógico el programa mostrará los resultados de la clasificación del suelo ingresado.



NOTA: El gráfico se genera automáticamente solo si el suelo es fino.

H. CLASIFICACIÓN DE SUELOS AASHTO

En este caso se puede ingresar los datos en la parte izquierda, el programa se encargará de calcular automáticamente a qué Grupo y Subgrupo de la cartilla pertenece el suelo.

INGRESO DE DATOS:
GRANULOMETRÍA Y LÍMITE
LÍQUIDO.

5.1.-Clasificación de suelos AASHTO

Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes

% Que Pasa

Tamiz # 10

Tamiz # 40

Tamiz #200

Límites de Atterberg

Límite Líquido %(LL)

Límite Plástico %(LP)

Tabla de clasificación

DIVISIÓN GENERAL	MATERIALES GRANULARES <small>(pasa menos del 35% por el tamiz ASTM #200)</small>						MATERIALES LIMO -ARCILLOSOS <small>(más del 35% por el tamiz ASTM #200)</small>					
	A-1		A-3	A-2			A-4	A-5	A-6	A-7		
GRUPO	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5	A-7-6
Subgrupo	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5	A-7-6
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICOS (% que pasa por cada tamiz)												
Serie ASTM	#10	<=50										
	#40	<=30	<=50	>=51								
	#200	<=15	<=75	<=10	<=35	<=35	<=35	<=35	>=36	>=36	>=36	>=36
ESTADO DE CONSISTENCIA (de la fracción de suelo que pasa por el tamiz ASTM #40)												
Límite Líquido			NP	<=40	>=41	<=40	<=41	<=40	>=41	<=40	>=41 <small>([P<LL+30])</small>	>=41 <small>([P>LL+30])</small>
Índice de plasticidad	<=6			<=10	<=10	>=11	>=11	<=10	<=10	>=11	>=11	>=11
Índice de grupo	0	0	0	0	0	<=4	<=4	<=8	<=12	<=20	<=20	<=20
Tipología	Fragmentos de piedra, grava y arena		Arena fina	Gravas y arenas limosas o arcillosas			Suelos limosos			Suelos arcillosos		
Calidad	EXCELENTE A BUENA						ACEPTABLE A MALA					

Índice de Grupo (IG) **A-2-4 (0)**

Gravas y arenas limosas o arcillosas

Índice Plástico %(IP)

Para determinar si se trata de una arena o grava se deberá observar la muestra

RESULTADOS DE CLASIFICACIÓN

Tabla de clasificación

I. PROCTOR MODIFICADO

1. En este caso se puede ingresar los datos del molde, del suelo en el molde y los datos para el cálculo para el contenido de humedad.
2. Los resultados se muestran como el peso volumétrico y contenido de humedad.

250

9.- PROCTOR MODIFICADO

Datos del molde

Peso del molde (gr)

Volumen del molde (cm³)

Entrada de datos iniciales

	Ensayo 01	Ensayo 02	Ensayo 03	Ensayo 04
Peso inicial deseado (gr):	6000	6000	6000	6000
Humedad inicial estimada (%):	0	3	6	9
Peso del molde+suelo húmedo (gr):	17963	18117	18269	18325
Peso del suelo húmedo (gr)	4838	4992	5144	5200
Peso volumétrico suelo húmedo (gr/cm³)	2.106	2.173	2.239	2.264

CALCULAR

MENÚ

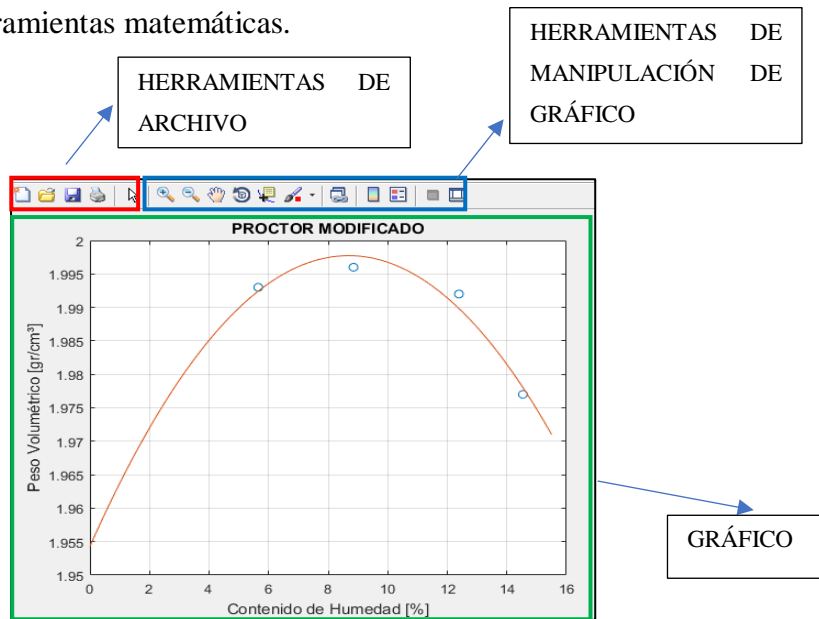
Contenido de Humedad

	1	2	1	2	1	2	1	2
Recipiente N°:	1	2	3	4	5	6	7	8
Peso del recipiente (gr):	32.26	31.82	31.47	33.21	31.92	30.76	31.75	30.34
Peso recipiente + suelo húmedo (gr):	204.51	213.82	195.26	185.93	189.26	185.19	215.35	243.50
Peso recipiente + suelo seco (gr):	195.42	203.95	182.10	173.37	171.60	168.49	192.05	216.45
Peso del agua (gr):	9.0900	9.8700	13.1600	12.5600	17.6600	16.7000	23.3000	27.0500
Peso del suelo seco (gr):	163.1600	172.1300	150.6300	140.1600	139.6800	137.7300	160.3000	186.1100
Contenido de humedad (%):	5.5700	5.7300	8.7400	8.9600	12.6400	12.1300	14.5400	14.5300

4.- Resultados

Promedio (%):	5.65	8.85	12.39	14.54
Peso volumétrico seco (gr/cm³)	1.993	1.996	1.992	1.977

- Una vez ingresados los datos se generará la curva de Proctor modificado a la cual se puede manipular como se requiera, con una amplia gama de herramientas matemáticas.



J. CALIFORNIA BEARING RATIO – CBR

- Para el CBR se debe ingresar los datos del molde, datos del suelo para el contenido de humedad después de sumergirlo y los datos del dial.

- Los resultados se dan como el peso volumétrico, contenido de humedad, la penetración y el CBR.

CBR - CALIFORNIA BEARING RATIO

1. Datos Iniciales de Entrada

	Ensayo 01	Ensayo 02	Ensayo 03
Diámetro molde (cm):	15.20	15.11	15.2
Altura del molde (cm):	12.63	12.72	12.66
Peso molde + suelo húmedo (gr):	11772	11389	14360
Peso molde (gr):	7020	6447	9196
Masa muestra húmeda (gr):		4752	4942
Volumen de muestra (cm ³):	2.2918e+03	2.2809e+03	2.2973e+03
Peso unitario húmedo (gr/cm ³):	2.0730	2.1670	2.2480

4. Datos de carga de penetración

Área pistón (in²):

Penetración (in)	dial 1	dial 2	dial 3	Presión 1 (lb/in ²)	Presión 2 (lb/in ²)	Presión 3 (lb/in ²)
1	0	0	0	0	0	0
2	0.025	318.60	445.5	599.5	106.2000	148.5000
3	0.05	536.8	856.1	1013.30	178.9300	285.3700
4	0.075	734.90	1176.9	1438.5	244.9700	392.3000
5	1	946.3	1438.1	1869.8	315.4300	479.3700
6	2	1552.3	2539.9	3696.3	517.4300	846.6300
7	3	1996.5	3179.2	4908.30	665.5000	1.0597e+03
8	4	2318.9	3552.8	5648.2	772.9700	1.1843e+03
9	5	2496.5	3795.8	6203.6	832.8300	1.2653e+03

2. Contenido de Humedad

	Bandeja 01	Molde 01	Bandeja 02	Molde 02	Bandeja 03	Molde 03
Masa del recipiente (gr):	32.24	32.98	31.59	31.87	31.91	34.75
Masa suelo húm.+ recip. (gr):	225.66	201.18	178.53	189.75	204.63	228.40
Masa suelo seco + recip. (gr):	208.41	184.64	161.38	173.22	189.75	202.72
Masa de agua (gr):	17.2500	16.5400	17.1500	16.5300	14.8800	25.6800
Masa del suelo seco (gr):	176.1700	151.6600	129.7900	141.3500	157.8400	167.9700
Contenido de humedad (gr):	9.7900	10.9100	13.2100	11.6900	9.4300	15.2900

5. Resultados de CBR

Molde	Presión (lb/in ²)	CBR 0.1in	Presión (lb/in ²)	CBR 0.2in	Densidad seca
Molde A	315.4300	31.5400	517.4300	34.5000	1.8790
Molde B	479.3700	47.9400	846.6300	56.4400	1.9270
Molde C	623.2700	62.3300	1.2321e+03	82.1400	2.0010

% CBR 0.1 % CBR 0.2in % CBR MAYOR
 62.33 82.14 82.14

- Una vez ingresados los datos se generará la curva de CBR a la cual se puede manipular como se requiera, con una amplia gama de herramientas matemáticas.

