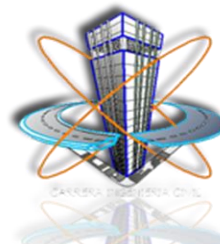


UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO
VICERRECTORADO
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN CIENCIA Y TECNOLOGÍA
INSTITUTO DE INVESTIGACION DE INGENIERÍA CIVIL



**“FORMULACION DE UN MODELO MATEMATICO QUE RELACIONE
LOS ENSAYOS DE PENETRACION ESTANDAR SPT y CBR EN
SUELOS DEL SECTOR ALPACOMA, EL ALTO.”**

EQUIPO DE INVESTIGADORES:

Ing. JORGE FELIX CHAVEZ VISCARRA
Univ. JHOSELINE CALLI HUARACHI
Univ. VERONICA CASTAÑETA YUCRA

EL ALTO – BOLIVIA 2022

UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO

AUTORIDADES

Dr. Carlos Condori Titirico

RECTOR

Dr. Efraín Chambi Vargas Ph.D

VICERRECTOR

DECANO AREA DE CIENCIA Y TECNOLOGIA

Dr. Antonio López Andrade pH. D.

DIRECTOR DE INSTIGACIÓN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

Ing. Guido Gutierrez Rios

DIRECTOR DE CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Msc Ing. Antonio Anaya Valverde

COORDINADOR INSTITUTO DE INVESTIGACION DE INGENIERÍA CIVIL

REGISTRO SENAPI: Resolución Administrativa Nro 1-3030/2022

DERECHOS RESERVADOS: Universidad Pública de El Alto

Dirección UPEA: Av. Sucre s/n Zona Villa Esperanza

Diciembre. 2022

El Alto – Bolivia

PRESENTACIÓN

La Universidad Pública de El Alto, tiene el objetivo fundamental de promover la investigación en todos los campos del conocimiento y proponer respuestas a la problemática y necesidades de la Ciudad de El Alto, o del país y la sociedad boliviana en su conjunto.

Alcanzando dichos objetivos. La investigación científica e innovación tecnológica son los pilares fundamentales que se implementa en las Carreras de Ingeniería Civil de la Universidad Pública de El Alto, y conformar ingenieros con conocimientos técnico-científico, con habilidades y destrezas para intervenir en la solución de los problemas de carácter tecnológico en los sectores municipales, regionales y nacionales.

El proyecto “Formulación de un modelo matemático que relacione los ensayos de penetración estándar SPT y CBR en suelos del sector Alpacoma, El Alto”, desarrollado por el equipo de investigación conformado por el Ing. Jorge Felix Chavez Viscarra, y los auxiliares de investigación universitarias: Univ.Jhoseline Calli Huarachi; Univ. Veronica Castañeta Yucra, los que en conjunto se han logrado concluir la investigación mediante ensayos de laboratorio muy esforzados, que han facilitado la obtención del modelo matemático que relacione los ensayos SPT y CBR en el suelo de talud Alpacoma, mediante la correlación de resultados obtenidos de los ensayos en laboratorio. El uso de este instrumento analítico, permitirá la optimización de respuestas y el ahorro de recursos económicos para el análisis de suelos, y la implementación de obras civiles en el sector Alpacoma.

El desarrollo del proyecto de investigación se realizó en coordinación con el Gobierno autónomo de El Alto, en campo (in-situ) y en el laboratorio materiales de la carrera de Ingeniería Civil-UPEA, entidades que brindaron un apoyo importante para la ejecución de presente proyecto.

Msc. Ing. Antonio Anaya Valverde
COORDINADOR
INSTITUTO DE INVESTIGACION DE INGENIERIA CIVIL

AGRADECIMIENTOS INSTITUCIONALES

La Universidad Pública de El Alto (UPEA), la Dirección de Investigación Ciencia y Tecnología (DICyT), así como el Instituto de Investigaciones de Ingeniería de Ingeniería Civil, proyecta ser un brazo articulador de la investigación científica.

El Instituto de Investigaciones de la carrera de Ing Civil ha adoptado acciones adecuadas para el tema de investigación y el desarrollo del proyecto “Formulación de un modelo matemático que relacione los ensayos de penetración estándar SPT y CBR en suelos del sector Alpacoma, El Alto” efectuado por el Ing. Jorge Felix Chavez Viscarra, y los auxiliares de investigación universitarias: Univ. Jhoseline Calli Huarachi y Univ. Veronica Castañeta Yucra.

Al Msc Antonio Anaya Valverde Coordinador de Investigación, por todo su desprendimiento y colaboración, por acompañar al desarrollo de este proyecto.

Al director de la carrera de Ingeniería Civil Ingeniero Guido Gutierrez Rios por su apoyo e impulso al equipo de investigación docente- estudiantil en el desarrollo del proyecto

Al laboratorio resistencia de materiales de la carrera de ingeniería Civil que brindo todo su apoyo que fueron necesarios para llevar a cabo el proceso de investigación.

A la Universidad Pública de El Alto, por el incentivo a la investigación científica para la generación de nuevos conocimientos y transmisión del mismo a la sociedad a través de la dirección DICyT y todo el personal de la Universidad.

Un agradecimiento especial al Gobierno Municipal de El Alto, al director y al personal de la dirección de Saneamiento

A todas las entidades mencionadas y unidades ya que con su apoyo se pudo arribar a los resultados esperados y su incondicional ayuda.

Ing. Jorge Felix Chavez Viscarra

DOCENTE INVESTIGADOR

INSTITUTO DE INVESTIGACION DE INGENIERIA CIVIL

INDICE

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN	1
1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACION	1
1.2. OBJETIVOS	4
1.2.1. OBJETIVO GENERAL	4
1.2.2. OBJETIVOS ESPECIFICO	4
1.3. HIPOTESIS	5
1.4. JUSTIFICACIÓN	5
1.4.1. JUSTIFICACIÓN TECNICA	5
1.4.2. JUSTIFICACIÓN ECONOMICA	6
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	7
2.1. MENSION DE OTROS ESTUDIOS RELATIVOS AL TEMA	7
2.1.1. CORRELACIÓN GEOTÉCNICA SPT Y DENSIDAD RELATIVA	7
2.1.2. CORRELACIÓN DE RESULTADOS ENSAYOS DPSH Y SPT EN SUELOS FINOS	10
2.2. PUNTOS DE VISTA DE OTROS INVESTIGADORES	12
2.3. CORRIENTE O ENFOQUE ELEGIDO POR EL INVESTIGADOR	18
2.4. IDENTIFICACIÓN DE LAS FUENTES	18
2.5. ENSAYOS CONVENCIONALES	19
2.5.1. ENSAYO DE PENETRACION ESTANDAR (SPT)	19
2.5.2. ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)	23
2.6. UBICACION Y ZONIFICACIÓN	27
CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO	29
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	29
3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	30
3.3. VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN	31
3.4. POBLACIÓN Y MUESTRAS	35
3.5. AMBIENTE DE INVESTIGACIÓN	40
3.6. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS	40
3.7. PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	45
CAPITULO IV: RESULTADOS	47
4.1. DIAGNOSTICO AREA DE ESTUDIO SECTOR ALPACOMA LA CIUDAD DE EL ALTO	47
4.1.1. EXPLORACION PRELIMINAR IN SITU. SECTOR DE ALPACOMA	49

4.2	SONDEO Y TOMA DE MUESTRAS DE SUELOS	54
4.2.1	UBICACIÓN DE POZOS PARA SONDEO	54
4.2.2	EXCAVACION DE POZOS	60
4.3	ENSAYOS DE PENETRACION ESTANDAR IN SITU “SPT”	64
4.4.	MUESTRAS DE SUELO PARA ENSAYOS CBR	71
4.5	ENSAYOS SPT Y CORRECCION DE DATOS “N”	72
4.6.	SELECCIÓN DEL SUELO	73
4.7.	CARACTERIZACION DEL SUELO	74
4.7.1	SECADO, DESTERRONADO Y CUARTEADO DEL SUELO	74
4.8	GRANULOMETRÍA	75
4.9	CONTENIDO DE HUMEDAD Y PREPARACION MUESTRAS PARA ENSAYOS PROCTOR	85
4.10	ENSAYOS PROCTOR	86
4.11	ENSAYOS CBR	96
4.12	FACTORES DE APROXIMACION ENTRE EL SPT Y CBR	115
4.13	MODELO MATEMATICO	115
CAPITULO V: CONCLUSIONES		118
CAPITULO VI: RECOMENDACIONES		120
BIBLIOGRAFIA		121
ANEXOS		124

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. EQUIPO CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)	2
FIGURA2. DISPOSITIVO DE GOLPEO MEDIANTE MAZA AUTOMÁTICA (CATÁLOGO DE MAQUINARIA DE ROLATEC)	3
FIGURA 3 LA PUNTA CIEGA CÓNICA SE UTILIZA EN EL ENSAYO DE SUELOS DE GRANULOMETRÍA MUY GRUESA (GRAVAS)	3
FIGURA 4. DIMENSIONES DEL TOMA-MUESTRAS	19
FIGURA 5 DIMENSIONES DEL TOMA-MUESTRAS SPT PROPUESTO POR LA NORMA UNE 103.800:92 (AENOR).	19
FIGURA 6. TOMA-MUESTRAS A 60CM	20
FIGURA 7. SONDEO	21
FIGURA 8. HINCA DE TOMA MUESTRAS	21
FIGURA 9. EQUIPO SPT	22
FIGURA 10. EQUIPO CBR	26
FIGURA 11. SECTOR ALPACOMA EL ALTO	28
FIGURA 12. SECTOR DE ESTUDIO Y MUESTRA	35
FIGURA 13. ESQUEMA DE MUESTRAS	36
FIGURA 14. UBICACIÓN DE PUNTOS DE MUESTRAS Y ÁREA CUBIERTAS	37
FIGURA 15. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN	39
FIGURA 16. EQUIPO PARA ENSAYO DE COMPACTACIÓN	41
FIGURA 17. EQUIPO DE SPT TRÍPODE Y ACCESORIOS	42
FIGURA 18. SONDA «EDELMAN» SONDA MANUAL PARA GRAVAS. SONDA MANUAL HELICOIDAL	43
FIGURA 19. BARRENOS DE SUELOS MUESTREADORES	45
FIGURA 20. OBRA CIVIL-CANALIZACIÓN ANTIGUO EN TALUD ALPACOMA	49
FIGURA 21. DESLIZAMIENTO DE TALUD ALPACOMA	49
FIGURA 22. FALLA GEOLÓGICA EN TALUD ALPACOMA	50

FIGURA 23. IDENTIFICACIÓN DEL TALUD DE DESLIZAMIENTO	50
FIGURA 24. INSPECCIÓN IN SITU	51
FIGURA 25. UBICACIÓN DE SONDEOS	51
FIGURA 26. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	52
FIGURA 27. LOCALIZACIÓN DE OBRAS Y ACTIVIDADES HIDRÁULICAS DEL SECTOR.....	52
FIGURA 28. USO ACTUAL DE USOS DE TIERRAS.....	53
FIGURA 29. UBICACIÓN DE POZOS DE SONDEO PARA EXCAVACIÓN	54
FIGURA 30. UBICACIÓN PARA SONDEO POZO 1.....	55
FIGURA 31. UBICACIÓN PARA SONDEO POZO 2.....	55
FIGURA 32. UBICACIÓN PARA SONDEO POZO 3.....	56
FIGURA 33. UBICACIÓN PARA SONDEO POZO 4.....	56
FIGURA 34. UBICACIÓN PARA SONDEO POZO 5.....	57
FIGURA 35. UBICACIÓN PARA SONDEO POZO 6.....	57
FIGURA 36. UBICACIÓN PARA SONDEO POZO 7.....	58
FIGURA 37. UBICACIÓN PARA SONDEO POZO 8.....	58
FIGURA 38. EXCAVACIÓN A CIELO ABIERTO POZO 1	59
FIGURA 39. EXCAVACIÓN A CIELO ABIERTO POZO 2	60
FIGURA 40. EXCAVACIÓN A CIELO ABIERTO POZO 3	60
FIGURA 41. EXCAVACIÓN A CIELO ABIERTO POZO 4	61
FIGURA 42. EXCAVACIÓN A CIELO ABIERTO POZO 5	61
FIGURA 43. EXCAVACIÓN A CIELO ABIERTO POZO 6	62
FIGURA 44. EXCAVACIÓN A CIELO ABIERTO POZO 7	62
FIGURA 45. EXCAVACIÓN A CIELO ABIERTO POZO 8	63
FIGURA 46. DESPIECE ESQUIPO SPT	64
FIGURA 47, ARMADO ESQUIPO SPT	66

FIGURA 48. IN-SITU ENSAYO SPT POZO 1.....	67
FIGURA 49. IN-SITU ENSAYO SPT POZO 2.....	67
FIGURA 50. IN-SITU ENSAYO SPT POZO 3.....	68
FIGURA 51. IN-SITU ENSAYO SPT POZO 4.....	68
FIGURA 52. IN-SITU ENSAYO SPT POZO 5.....	69
FIGURA 53. IN-SITU ENSAYO SPT POZO 6.....	69
FIGURA 54. IN-SITU ENSAYO SPT POZO 7.....	70
FIGURA 55. IN-SITU ENSAYO SPT POZO 8.....	70
FIGURA 56. TRASLADO DE MUESTRAS Y ACOPIO DE SUELOS EN LABORATORIO ING. CIVIL	71
FIGURA 57. SECADO AL MEDIO AMBIENTE DE LA MUESTRA DE CADA POZO	73
FIGURA 58. DESTERRONADO Y CUARTEADO.....	74
FIGURA 59. EQUIPO DE CUARTEADO Y DESTERRONADO.....	74
FIGURA 60. EQUIPO DE TAMIZADO	76
FIGURA 61. PROCESO TAMIZADO CON EQUIPO AUTOMÁTICO MATERIAL GRUESO Y FINOS	76
FIGURA 62. PESADO DE CANTIDAD TAMIZADA GRUESOS Y FINOS	77
FIGURA 63. EQUIPO DE LAVADO DE PARTÍCULAS FINAS DE SUELO	77
FIGURA 64. PROCESO DE LAVADO DE FINOS.....	78
FIGURA 65. PREPARACIÓN DE MUESTRAS CON TAMIZ PARA ENSAYOS PROCTOR Y CBR (3/4; N°4, 200).....	78
FIGURA 66. TAMIZADO Y SELECCIÓN DE MATERIAL PARA ENSAYOS PROCTOR - CBR.....	79
FIGURA 67. MUESTRAS SELECCIONADAS Y PREPARADAS PARA ENSAYOS PROCTOR Y CBR	79
FIGURA 68. PESADO DE MUESTRAS PARA ENSAYOS PROCTOR Y CBR.....	79
FIGURA 69. MUESTRAS SECADAS AL HORNO 105 °C.....	84
FIGURA 70. MUESTRAS SECAS.....	85
FIGURA 71. EQUIPO PROCTOR	85

FIGURA 72. MEZCLA DEL MATERIAL CON AGUA, COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO.....	86
FIGURA.73. EQUIPOS CBR	96
FIGURA 74. MOLDES CBR	96
FIGURA 75. ESCURRIMIENTO DE LAS MUESTRAS Y PESADO DE MUESTRAS	96
FIGURA 76. SECADO DE MUESTRAS EN HORNO A 110°C DURANTE 24 HRS.....	97
FIGURA. 77. MUESTRAS SUMERGIDAS POR 96 HRS	97
FIGURA 78. TRIANGULACIÓN DE SUELOS Y PUNTOS DE EXPLORACIÓN.....	117

INDICE DE TABLAS

TABLA 1. CORRELACIONES	12
TABLA 2. PRESIONES DE VÁSTAGO PARA UN MATERIAL PATRÓN	22
TABLA 3. MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	30
TABLA 4. VARIABLES INDEPENDIENTES Y DEPENDIENTES DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	33
TABLA 5. CLASIFICACIÓN DE SUELOS SEGÚN CBR	40
TABLA 6. PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	47
TABLA 7. CORRECCIÓN DE DATOS DE CAMPO N.....	72
TABLA 8. JUEGO DE TAMICES.....	75
TABLA 9. ENSAYOS DE PENETRACIÓN CBR POZO 1	98
TABLA 10. ENSAYOS DE PENETRACIÓN CBR POZO 2	100
TABLA 11. ENSAYOS DE PENETRACIÓN CBR POZO 3	102
TABLA 12. ENSAYOS DE PENETRACIÓN CBR POZO 4	104
TABLA 13. ENSAYOS DE PENETRACIÓN CBR POZO 5	106
TABLA 14. ENSAYOS DE PENETRACIÓN CBR POZO 6	108
TABLA 15. ENSAYOS DE PENETRACIÓN CBR POZO 7	110
TABLA 16. ENSAYOS DE PENETRACIÓN CBR POZO 8	112
TABLA 17. VARIABLES DE ANÁLISIS	114
TABLA. 18. COEFICIENTE DE CORRELACIÓN GENERAL DE LOS POZOS	115
TABLA. 19. COEFICIENTE DE CORRELACIÓN DE SUELOS SEGÚN FACTOR SELECTIVO SPT(N60)	117
TABLA 20. MUESTRAS Y GOLPES DEL MARTINETE	120

INDICE DE GRÁFICAS

GRÁFICO 1 FORMA ESQUEMÁTICA DE RELACIONES SPT.....	7
GRÁFICO 2. DENSIDAD RELATIVA.....	8
GRÁFICO 3. ABACO DE GIBBS Y HLTZ	9
GRÁFICO 4. RESULTADOS ENSAYOS PD-RE12-03 Y SPT S-RE-11-05. Y RESULTADOS ENSAYOS PD-RE-12- 10 Y SPT S-RE-12-02.	11
GRAFICO 5. ESFUERZO – PENETRACIÓN.....	23
GRAFICO 6.: GRANULOMETRÍA POZO-1	80
GRÁFICO 7. GRANULOMETRÍA POZO-2	80
GRÁFICO 8. GRANULOMETRÍA POZO-3	81
GRÁFICO 9. GRANULOMETRÍA POZO-4	81
GRÁFICO 10. GRANULOMETRÍA POZO-5	82
GRÁFICO 11. GRANULOMETRÍA POZO-6	82
GRÁFICO 12. GRANULOMETRÍA POZO-7	83
GRÁFICO 13. GRANULOMETRÍA POZO-8	83
GRÁFICO 14. PROCTOR POZO -1	87
GRÁFICO 15. PROCTOR POZO -2	88
GRÁFICO 16. PROCTOR POZO -3	89
GRÁFICO 17. PROCTOR POZO -4	90
GRÁFICO 18. PROCTOR POZO -5	91
GRÁFICO 19. PROCTOR POZO -6.....	92
GRÁFICO 20. PROCTOR POZO -7	93
GRÁFICO 21. PROCTOR POZO -8	94
GRÁFICO 22. ESFUERZO -PENETRACIÓN Y CBR POZO 1	99
GRÁFICO 23. ESFUERZO -PENETRACIÓN Y CBR POZO 2.....	101

GRÁFICO 24. ESFUERZO -PENETRACIÓN Y CBR POZO 3	103
GRÁFICO 25. ESFUERZO -PENETRACIÓN Y CBR POZO 4	105
GRÁFICO 26. ESFUERZO -PENETRACIÓN Y CBR POZO 5	107
GRÁFICO 27. ESFUERZO -PENETRACIÓN Y CBR POZO 6	109
GRÁFICO 28. ESFUERZO -PENETRACIÓN Y CBR POZO 7	111
GRÁFICO 29. ESFUERZO -PENETRACIÓN Y CBR POZO 8	113
GRÁFICO 30 APROXIMACIÓN SPT -CBR	115
GRÁFICO 31. MODELO ANALÍTICO SPT-CBR	118

RESUMEN

La composición de suelos en la ciudad de El Alto, por su ubicación geográfica está en relación directa con suelos del altiplano, Tradicionalmente, estos suelos, han sido considerados desde un punto de vista geotécnico, como materiales favorables, induciendo su uso por debajo de la capa vegetal para obras civiles. Estas consideraciones no han sido avaladas por un conjunto de ensayos geotécnicos que definan estas características. Con el proyecto se busca encontrar un modelo matemático que relacione los ensayos convencionales como el ensayo de PENETRACIÓN ESTÁNDAR (SPT) y el ensayo CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR) y obtener datos confiables de un determinado suelo, mejorando la estabilidad y costos en el emplazamiento de obras civiles.

Para el desarrollo del proyecto se efectuaron inspecciones preliminares in situ al sector de Alpacoma juntamente con el GAMEA, la exploración de suelos se efectuó mediante calicatas con una atura promedio de excavación 1.6 m, luego se procedió a efectuar el ensayo **(SPT)**, se extrajeron muestras de suelo de 38 kg cada pozo de un total de ocho calicatas para la determinación en laboratorio del ensayo CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.). Para conocer su comportamiento geomecánica y entender sus capacidades y cualidades y optar su uso de un modo correcto y adecuado, se considera estudios de correlación de suelos, orientados al uso de información por tiempo, costo y seguridad.

Se efectúa la correlación de datos de ambos ensayos convencionales SPT y CBR mediante la exploración de suelos a cielo abierto, y obtener una relación de sus valores que permitan desarrollar un modelo matemático lo más consistente posible mediante la variable N_{60} y CBR_{56} , analizando esta relación mediante el coeficiente de correlación de Pearson se encontró R^2 (0.992), que nos indica una fuerte relación de las variables, por lo que se ha considerado una relación lineal obteniendo el modelo analítico para $N_{60} = (4 \text{ a } 12)$, $CBR = 2.6742 SPT_{N_{60}} - 3.8032$; Este índice se puede aplicar para evaluar la capacidad de soporte de los suelos de subrasante y de las capas de base.

Palabras Clave: exploración de suelos, , calicatas, cielo abierto, preparación de muestras de suelo, ensayos de laboratorio, penetración, rangos, consistencia, modelo matemático.

ABSTRACT

The composition of soils in the city of El Alto, due to its geographical location, is directly related to highland soils. Traditionally, these soils have been considered from a geotechnical point of view, as favorable materials, inducing its use below the vegetal layer for civil works. These considerations have not been endorsed by a set of geotechnical tests that define these characteristics. The project seeks to find a mathematical model that relates conventional tests such as the STANDARD PENETRATION test (SPT) and the CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR) test and obtain reliable data for a given soil, improving stability and costs at the location of civil works.

For the development of the project, preliminary inspections were carried out in situ in the Alpacoma sector together with the GAMEA, the soil exploration was carried out through test pits with an average excavation height of 1.6 m, then the test (SPT) was carried out, the Soil samples of 38 kg each well from a total of eight test pits for laboratory determination of the CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) test. In order to know its geomechanical behavior and understand its capacities and qualities and choose its use in a correct and adequate way, soil correlation studies are considered, oriented to the use of information by time, cost and safety.

The correlation of data from both conventional SPT and CBR tests is carried out by means of the exploration of soils in the open sky, and obtaining a relationship of their values that allow the development of a mathematical model as consistent as possible through the variable N_{60} and CBR_{56} , analyzing this relationship through Pearson's correlation coefficient R^2 (0.992) was found, which indicates a strong relationship between the variables, so a linear relationship has been considered, obtaining the analytical model for $N_{60} = (4 \text{ to } 12)$, $CBR = 2.6742 \text{ SPT}_{N60} - 3.8032$; This index can be applied to evaluate the bearing capacity of subgrade soils and base layers.

Keywords: soil exploration, test pits, open pit, soil sample preparation, laboratory tests, penetration, ranges, consistency, mathematical model.

CAPITULO I: INTRODUCCION

1.1 PROBLEMA DE INVESTIGACION

La composición de suelos en la ciudad de El Alto, por su ubicación geográfica está en relación directa con suelos del altiplano, tradicionalmente, estos suelos, han sido considerados desde un punto de vista geotécnico, como materiales favorables, induciendo su uso por debajo de la capa vegetal para obras civiles. Estas consideraciones no han sido avaladas por un conjunto de ensayos geotécnicos que definan estas características y cuantifique el grado de peligro de los suelos. El no considerar su uso con información especializada de suelos implica un grave perjuicio económico para la ejecución de cualquier obra civil que se desarrolle en su área de influencia; dado que en general las zonas urbanas ocupadas, no suelen presentar suelos de mejores características localizadas, sino modificadas por la presencia de la población, en cualquier caso esta búsqueda y localización se relaciona con el tráfico vial y la construcción de obras civiles en el ámbito urbano en desarrollo permanente.

Para conocer su comportamiento geomecánica y discernir sus capacidades y cualidades para optar por su uso de un modo correcto y adecuado; salen varios estudios de correlación de suelos, orientados al uso de información por tiempo, costo y seguridad

El lugar de estudio del sector de Alpacoma El Alto, se encuentra poblado en la que se ubica viviendas familiares, así como también existen avenidas y calles de acceso al sector del talud de Alpacoma Bajo y limítrofe entre el Municipio El Alto y La Paz.

El terreno presente características especiales puesto que el talud tiene diferentes composiciones de suelos, y sus características físico-mecánicas pueden variar, por lo que se lo analizara mediante los métodos convencionales SPT -CBR.

El índice CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR), este procedimiento de ensayo determina un índice de resistencia de los suelos denominado valor de la relación de soporte, que es muy conocido, como CBR (California Bearing Ratio). El ensayo se realiza sobre suelo preparado en el laboratorio en condiciones determinadas de humedad y densidad; pero

también puede operarse en forma análoga sobre muestras inalteradas tomadas del terreno. Este índice se utiliza para evaluar la capacidad de soporte de los suelos de subrasante y de las capas de base, sub-base y de consolidado de carreteras.

Figura -1 equipo California Bearing Ratio (CBR)



Fuente elaboración propia

En relación a lo anterior que son muestras preparadas en laboratorio se tiene otro ensayo para determinar características en virtud a otros parámetros se tiene el Ensayo de penetración estándar SPT (Standard Penetration Test) que es un ensayo convencional de campo, se puede realizar a diferentes profundidades y en muchos sitios del proyecto de forma económica y versátil; ésta investigación propone obtener una correlación desde el punto de vista analítico y deductivo; entre el valor del N corregido. Y el índice CBR, concibiendo las evidentes diferencias entre estos ensayos. Los procesos de investigación en ingeniería y en especial de ingeniería geotécnica, involucran gran cantidad de abstracciones de tipo matemático y práctico, con el propósito de que el objeto de estudio pueda ser modelado de forma entendible y los resultados obtenidos puedan pertenecer al campo de la verosimilitud, ésta investigación pretende obtener un modelo analítico del ensayo de CBR (California Bearing Ratio) a partir de una relación basada en el ensayo de SPT; y que al iniciar esta investigación se pretenda la obtención de resultados valederos y verificables, con la consideración de que toda investigación técnica puede lanzar resultados inesperados en relación a los valores a correlacionar o que sus magnitudes el cual igualmente es un resultado valioso para la ingeniería y para la investigación.

Figura.2 dispositivo de golpeo mediante maza automática (catálogo de maquinaria de [ROLATEC](#))



Fuente: <https://estudiosgeotecnicos.info/index.php/el-spt-ensayo-de-penetracion-estandar/>

Figura 3 La punta cónica se utiliza en el ensayo de suelos de granulometría muy gruesa (gravas)



Fuente: <https://estudiosgeotecnicos.info/index.php/el-spt-ensayo-de-penetracion-estandar/>

Los inconvenientes en la infraestructura vial en nuestro país y en la ciudad de El Alto radica en desconocer el comportamiento dinámico de los pavimentos que son utilizados en

carreteras, avenidas y calles de los cuales, según el orden de uso debido a la sobrecarga de vehículos pesados, cambios bruscos de temperatura, presencia de aguas pluviales, falta de drenaje pluvial etc. Como también debido a diseño de pavimentos sin información clara del suelo sobre el cual se emplazará la obra civil. Esto se refleja en numerosas calles y carreteras del país, donde se encuentra asentamientos, deformaciones y grietas en la calzada de calles y avenidas y en la superficie de rodadura de carreteras.

Con el proyecto se busca encontrar una la correlación analítica entre los ensayos convencionales de CBR-SPT para obtener datos confiables de un determinado suelo, con la finalidad de desarrollar su diseño y construcción de obras civiles, mejorando la estabilidad y costos en el emplazamiento de obras civiles.

La gran cantidad de ensayos de laboratorio en suelos, y por la diversidad de pruebas a realizar, requieren de tiempo de 24 en algunos ensayos, pueden utilizarse métodos alternativos correlacionados que den lugar a una estimación bastante cercana a lo esperado. En tal sentido, el uso de equipos como los que se analizaron en este proyecto de investigación, se convierte en una herramienta eficaz para el manejo de los recursos; ya que aportan mayores criterios al ingeniero de campo en el proceso de dirección e inspección y ejecución de obras civiles

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un modelo matemático que relacione el ensayo de resistencia a la penetración estándar SPT y ensayo de CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR) para suelos en el sector de Alpacoma El Alto.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Efectuar sondeos in situ y ensayos de laboratorio
- Caracterización de los parámetros físico-mecánico del suelo que se encuentran en el sector
- Analizar los valores de los índices obtenidos en los dos ensayos de campo (SPT y CBR) mediante métodos estadísticos que permitan correlacionar los resultados.

**FORMULACION DE UN MODELO MATEMATICO QUE
RELACIONE LOS ENSAYOS DE PENETRACION ESTANDAR
SPT Y CBR EN SUELOS DEL SECTOR ALPACOMA, EL ALTO.**

- Relación de índices del suelo que pueden encontrar un patrón o fórmula matemática de comportamiento para aplicaciones en obras civiles.

1.3 HIPOTESIS

Existe una relación entre los valores del ensayo de penetración estándar (SPT) y el Índice california Bearing Ratio (CBR), que será útil para realizar estimaciones aproximadas del valor CBR o SPT en suelos de características similares.

Los valores obtenidos de ensayos de laboratorio mediante la relación de índices pueden proponer aplicaciones efectivas para un determinado tipo de suelo.

1.4 JUSTIFICACION

1.4.1. JUSTIFICACION TECNICA

El método que se utiliza actualmente para determinar el índice california Bearing Ratio (CBR), requiere de preparar en laboratorio muestras de suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas, pero también puede trabajarse en muestras inalteradas obtenidas en el terreno. El valor relativo de soporte se obtiene de una prueba de penetración, en la cual un vástago de 19,4 cm² de área se hace penetrar en un espécimen de suelo a razón de 0,127 cm/min. Se mide la carga aplicada para penetraciones que varíen en 0,25cm. El CBR se define como la relación expresada en porcentaje, entre la presión necesaria para penetrar los primeros 0,25cm y la presión para tener la misma penetración en un material arbitrario, adoptado como patrón, que es una piedra triturada en la cual se tienen las presiones en el vástago para penetraciones indicadas.

El ensayo de penetración estándar se realiza en el interior de sondeos durante la perforación. Permite obtener un valor N de resistencia a la penetración que puede ser correlacionado con parámetros geotécnicos. En este ensayo se obtiene una muestra inalterada, para realizar ensayos de identificación en laboratorio. El ensayo SPT se puede ejecutar en todo tipo de suelos, aunque es en los suelos finos donde se realiza preferentemente. Este se debe hincar en el terreno 45 cm, contando el número de golpes necesarios para hincar tramos de 15 cm. El golpeo para la hincia se realiza con una masa de 63,5 kg, cayendo libremente desde una altura de 76 cm sobre una cabeza de golpeo o

yunque. La lectura del golpeo del primer tramo no se debe tomar en cuenta, por la alteración del suelo o derrumbes de las paredes. La suma de los valores de golpeo, segundo y tercero como promedio es el valor N, denominado también como la resistencia a la penetración estándar. En ocasiones dada la resistencia del terreno, no se consigue el avance del muestreador. En estos casos, el ensayo se suspende cuando se exceden 100 golpes para avanzar un tramo de 15 cm, y se considera un rechazo. Los ensayos SPT puede verse afectado por factores como:

- Preparación y calidad del sondeo
- Longitud del varillaje y diámetro del sondeo
- Dispositivo de golpeo: puede ser manual o automático, existiendo diferencias notables entre los resultados de ambos.

1.1.2 JUSTIFICACION ECONOMICA

En virtud a los diferentes procedimientos de cada ensayo, se hace necesario determinar una correlación entre otro ensayo de campo como lo es el (SPT. Estándar penetración test) y índice CBR, ya que ahorraría tiempo y recursos económicos.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. MENCIÓN DE OTROS ESTUDIOS RELATIVOS AL TEMA

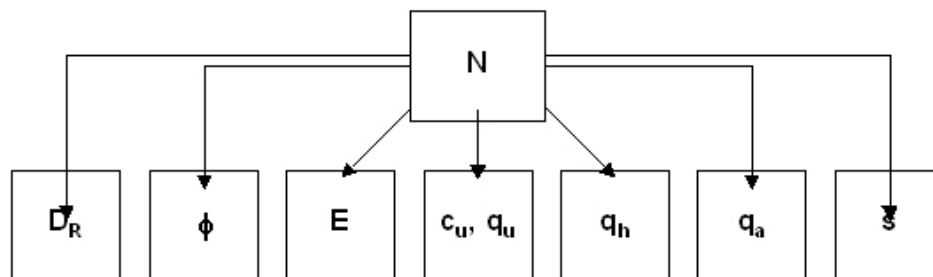
2.1.1. CORRELACIÓN GEOTÉCNICA SPT Y DENSIDAD RELATIVA

Correlaciones geotécnicas (2) y ensayos “in situ”: el SPT y la densidad relativa, Publicada el 10 septiembre, 2013 por frankie

Estos ensayos «in situ» describe con detalle la naturaleza y procedimiento de ejecución del ensayo de penetración estándar, comúnmente denominado SPT (por sus siglas inglesas «standart penetration test».)

En la siguiente figura se representan de forma esquemática las relaciones que se pueden establecer entre los valores obtenidos en los ensayos de penetración estándar (SPT) y los parámetros geotécnicos característicos del terreno:

Gráfico 1 Forma esquemática de relaciones SPT



Fuente <https://estudiosgeotecnicos.info/index.php/correlaciones-spt-densidad-relativa/>

Donde:

D_r : densidad relativa para suelos granulares

Φ : ángulo de rozamiento interno efectivo para suelos granulares

E : módulo de deformación para suelos granulares

c_u : resistencia al corte no drenado para suelos cohesivos

q_u : resistencia a la compresión simple para suelos cohesivos

q_h : tensión de hundimiento para cimentaciones sobre suelos granulares

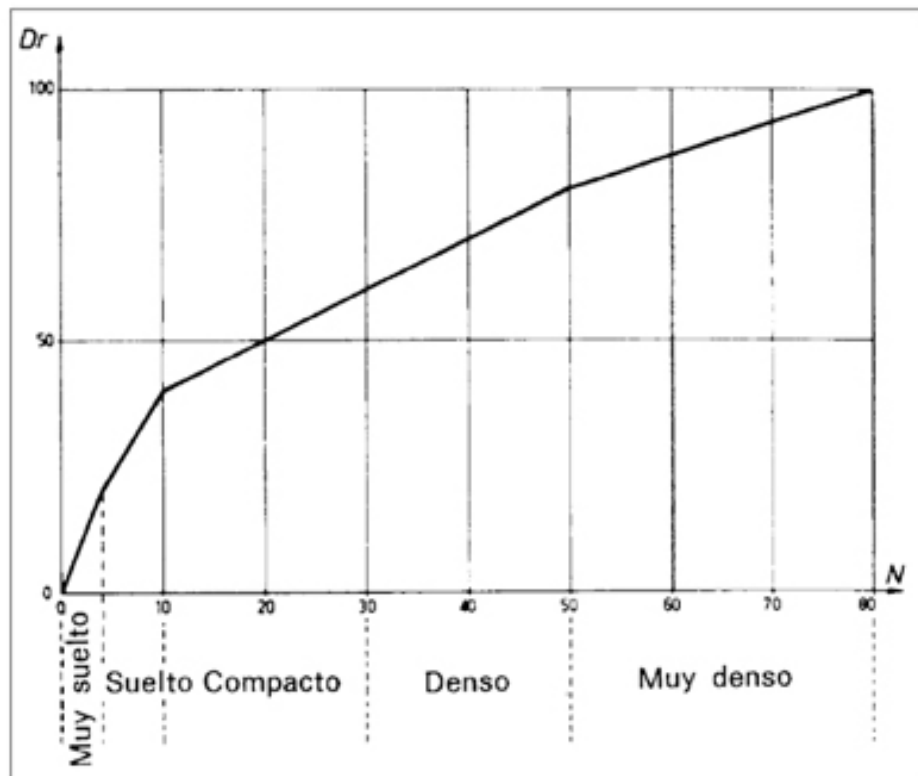
q_a : tensión admisible para cimentaciones sobre suelos granulares

s: asiento para cimentaciones sobre suelos granulares

Dado que el SPT es el ensayo «in situ» más utilizado y con mayor historia en la determinación de los parámetros geotécnicos, existe una cantidad ingente de relaciones empíricas entre dicho ensayo y cualquier parámetro del suelo, muchas de las cuales tienen un valor exclusivamente local. Debe realizarse siempre un examen crítico ante una correlación que parta de este ensayo y de cuya aplicación no se tenga experiencia previa, Densidad relativa en suelos granulares v.s. N_{SPT} .

Terzaghi y Peck (1948) establecieron la primera de entre las más populares relaciones entre el resultado del ensayo de penetración estándar y la densidad relativa, a partir de la cual postularon lo que hoy es ya un clásico sistema de clasificación de las arenas en función de su compacidad:

Gráfico 2. Densidad relativa

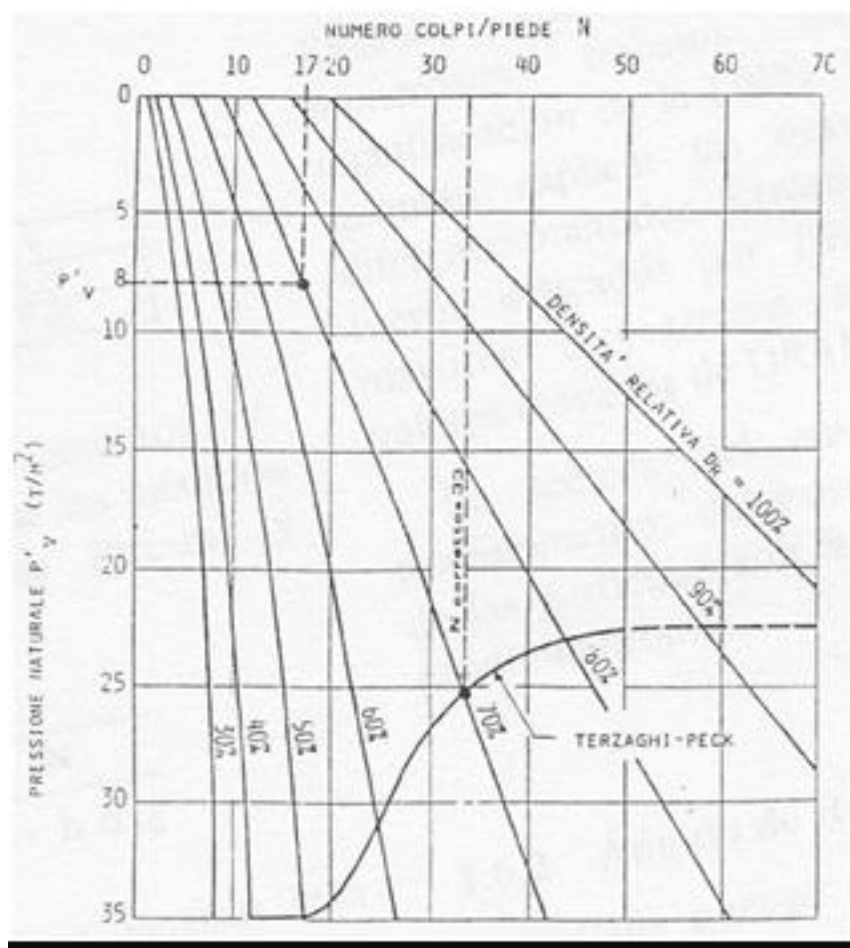


Fuente Correlaciones geotécnicas (2): el SPT y la densidad relativa (estudiosgeotecnicos.info)

Relación entre el valor del ensayo de penetración estándar (N) y la densidad relativa, indicando la calificación del suelo en función de su compacidad (extraído de Devicenzi y Frank, 2004)

Gibbs y Holtz postularon en 1957 que el valor de N_{SPT} no dependía solo de la densidad relativa de la arena, sino también de la presión de confinamiento. En la siguiente figura se presenta una didáctica construcción gráfica de Coffman (1960) en la que se presenta el ábaco de Gibbs y Holtz comparado con el trabajo de Terzaghi y Peck.

Gráfico 3. Abaco de Gibbs y Hltz



Fuente Correlaciones geotécnicas (2): el SPT y la densidad relativa (estudiosgeotecnicos.info)

Ábaco de Gibbs y Holtz (1957), comparado con el trabajo de Terzaghi y Peck (1948).

Tomado de Cestari (1990), según la elaboración de Coffman (1960).

2.1.2. CORRELACIÓN DE RESULTADOS ENSAYOS DPSH Y SPT EN SUELOS FINOS

efectuado por Sebastián Aravena Vidal (1); Miguel Jaramillo Bopp (2) (1) Ingeniero Civil, U.T.F.S.M., ENDESA CHILE (2) Ingeniero Civil, U. de Chile, M. Sc. en Geotecnia U. de Chile, ENDESA CHILE seav@endesa.cl - Marcoleta 665 Piso 6 Santiago Centro, Santiago

**FORMULACION DE UN MODELO MATEMATICO QUE
RELACIONE LOS ENSAYOS DE PENETRACION ESTANDAR
SPT Y CBR EN SUELOS DEL SECTOR ALPACOMA, EL ALTO.**

Este trabajo presenta la correlación obtenida entre los resultados de los ensayos (Dynamic Probe Super Heavy) DPSH y SPT ejecutados en un terreno con un alto contenido de suelos finos, principalmente limos de baja plasticidad. En los primeros metros de ejecución de estos ensayos la relación NSPT N30 se encontró cercana a la unidad, pero a medida que se aumentaba en profundidad esta relación comenzó a disminuir. Este hecho se atribuyó a la fricción ejercida por el terreno sobre las barras durante la ejecución del ensayo DPSH. Pudiendo independizarse de otras variables existentes, se puede afirmar que la relación NSPT N30 se encuentra cercana a la unidad para suelos finos.

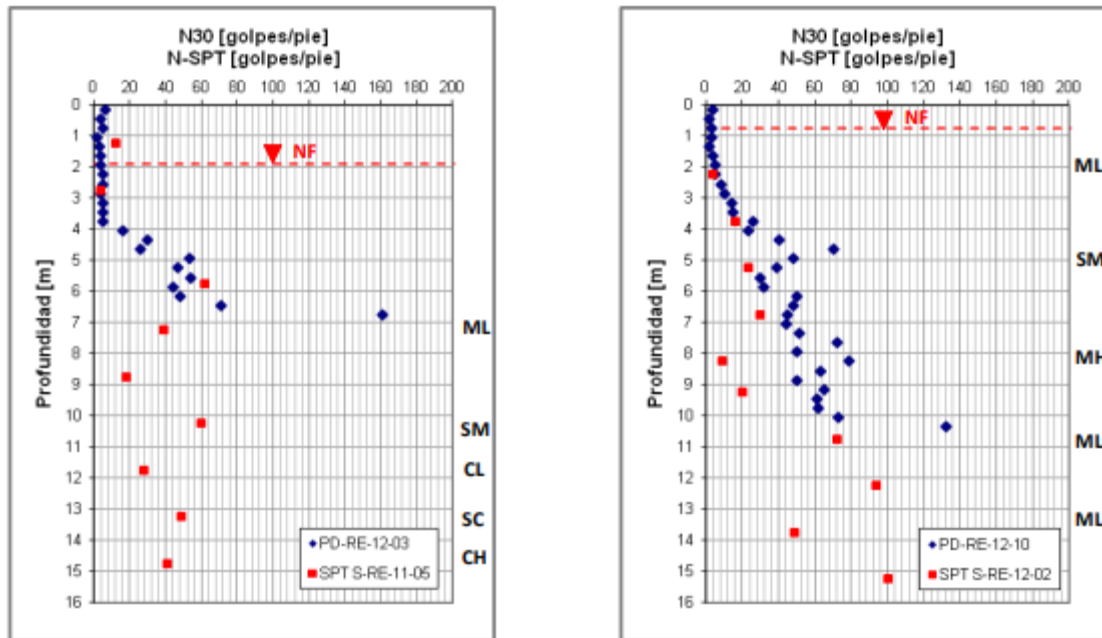
Definición ensayos

Los resultados de los ensayos DPSH y SPT utilizados en este trabajo se enmarcan dentro de una campaña de exploración geotécnica definida para un proyecto de Parque Eólico ubicado en la Comuna de Renaico, Provincia de Malleco, IX Región de La Araucanía. El terreno donde se emplazará el proyecto se caracteriza por la existencia de suelos finos en sus estratos superficiales, los cuales geológicamente se asocian a depósitos sedimentarios de baja energía, transportados principalmente por la interacción de los tres ríos mayores de la zona, que son el Biobío, Renaico y Malleco. Otro dato característico del terreno es su orografía prácticamente llana. Ocho (8) fueron los pares de ensayos DPSH - SPT ejecutados en esta campaña de exploración. Cada par de ensayo se realizó con una separación de 3 [m], distancia que tuvo como objetivo mantener en profundidad las condiciones estratigráficas donde eran ejecutados los ensayos. La ubicación de los ensayos trató de abarcar homogéneamente un área aproximada de 1000 [ha]. Para la hincas de las barras, en ambos ensayos se utilizó el impacto de una masa estandarizada de 63,5 [kg] dejada caer desde 76 [cm] de altura. En los ensayos SPT se utilizó el criterio de rechazo indicado en la norma ASTM D1586, mientras que para el ensayo DPSH se utilizó como criterio de rechazo el alcanzar 100 [golpes] para avanzar 15 [cm] de penetración de las barras.

Resultados

Los gráficos presentan los resultados de los ensayos de DPSH y SPT analizados en este trabajo. Estos resultados corresponden a los valores medidos directamente del ensayo, a los cuales no se les ha aplicado ningún tipo de corrección o normalización. En estas mismas figuras se ha incorporado información sobre la profundidad de la napa y la clasificación USCS en profundidad en cada posición

Gráfico 4. Resultados ensayos PD-RE12-03 y SPT S-RE-11-05. y Resultados ensayos PD-RE-12- 10 y SPT S-RE-12-02.



Fuente [03_A_78.pdf \(ingeotec.cl\)](http://03_A_78.pdf(ingeotec.cl))

Los resultados obtenidos en los primeros metros de ejecución de los ensayos, donde existe el más alto porcentaje de finos del terreno, indicarían que la relación entre los resultados de los ensayos DPSH y SPT, representados por N30 y NSPT respectivamente, se encuentra cercana a la unidad. Sin embargo, los resultados de los ensayos DPSH comienzan a distanciarse de los resultados del ensayo SPT a medida que se aumenta en profundidad. Este hecho que se atribuye principalmente a la fricción ejercida por el terreno sobre las barras durante la ejecución del ensayo DPSH. Por otro lado, se puede afirmar que ambos ensayos identifican las variaciones de resistencia a la penetración a una misma profundidad

2.2. PUNTOS DE VISTA DE OTROS INVESTIGADORES

Se han identificados en términos generales, dos tipos de relacionamiento de ensayos de suelos:

ensayos convencionales

- Límites de consistencia

**FORMULACION DE UN MODELO MATEMATICO QUE
RELACIONE LOS ENSAYOS DE PENETRACION ESTANDAR
SPT Y CBR EN SUELOS DEL SECTOR ALPACOMA, EL ALTO.**

- granulometría
- SPT
- CBR
- Proctor modificado

ensayos con métodos alternos

- Cono dinámico
- Penetración con anillo de carga
- Compactómetro electrónico

En la tabla siguiente detallada se menciona la relación de ensayos alternos con ensayos convencionales

Tabla 1. Correlaciones

Equipo alternativo	Correlación con
Cono dinámico	SPT
Anillo de carga	Proctor y CBR
Compactómetro	Proctor y CBR

Fuente elaboración propia

CORRELACIONES ENTRE MÉTODOS CONVENCIONALES Y ALTERNATIVOS PARA ESTIMAR LA RESISTENCIA Y COMPACTACIÓN DE SUELO. POR DANIA NAVARRO MARTÍNEZ, FRANCISCO GÓMEZ GÓMEZ, FEBRERO DEL 2004, INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN.
<https://core.ac.uk/download/60988044.pdf>

Indica “El proyecto se enmarcó en el área de la mecánica de suelos, en lo referente a la evaluación de pruebas de campo y laboratorio. Se pretendió establecer correlaciones entre métodos convencionales y alternativos para estimar la resistencia y compactación de los suelos. Los equipos empleados en este estudio son: cono dinámico, penetrómetro con anillo de carga y compactómetro electrónico. El cono dinámico es una herramienta útil para el control del proceso constructivo de estructuras pequeñas, donde no se cuenta con un presupuesto, para realizar un estudio de suelo que requiera equipo de perforación especializado o en donde no hay acceso para una máquina perforadora. El penetrómetro con anillo de carga es una herramienta que puede ser usada en un sin número de aplicaciones. Se utiliza de una forma rápida, para determinar la resistencia a la penetración de los suelos en trabajos de exploración poco profundos. Los ensayos de campo y laboratorio con este equipo, han probado ser una herramienta muy útil y rápida para revisar y reemplazar a otros ensayos que consumen mucho tiempo y mayor costo. El compactómetro electrónico se convierte en una alternativa práctica, rápida y de fácil

manipulación, para determinar la densidad en sitio y establecer una relación con el CBR. Es igualmente factible para uso in situ o en laboratorio.

ESTUDIO DE CORRELACIONES ENTRE LOS ENSAYOS DE CBR TERRENO Y CPT: POR MASIHY ZAWADZKI, JOSÉ MIGUEL; GUÍA- MOFFAT COVARRUBIAS, RICARDO ANDRÉS. Estudio de correlaciones entre los ensayos de CBR terreno y CPT (uchile.cl)

Indica: " La capacidad soportante de la subrasante es clave en el diseño de pavimentos, para proyectos viales. El ensayo de Razón de Soporte de California (CBR) es una metodología adecuada para este tipo de investigación. Este se realiza tanto en terreno como en laboratorio y entrega un índice de resistencia, que caracteriza la capacidad de la subrasante, con respecto a un material normalizado. Además, el parámetro mencionado corresponde a un valor confiable al momento de evaluar el comportamiento estático del suelo. Por otro lado, existen nuevos ensayos en el área de la geotecnia como, por ejemplo, el Cono Estático (CPT) o también llamado Piezocono. Este obtiene resultados confiables y repetibles, utilizando tecnologías avanzadas, que permiten comprender el comportamiento del subsuelo. El presente trabajo estudia la existencia de correlaciones entre los parámetros entregados por los ensayos CBR de terreno y CPT. De esta manera, se busca obtener el valor de un índice confiable, para el diseño de pavimentos, a partir de los resultados de una metodología diferente y más rápida como el CPT. Por lo tanto, se llevan a cabo 36 mediciones en terreno, para cada uno de los ensayos mencionados. Estos se realizan en la Laguna Aculeo y en el Puente Águila Norte, ambas zonas pertenecientes a la comuna de Paine, Región Metropolitana. Además, se extraen muestras de suelo para cada lugar ensayado, con motivo de obtener el contenido de agua de este, en terreno. De los resultados entregados por cada ensayo, se tiene que se encuentra una correlación lineal creciente, entre el índice CBR y el parámetro de resistencia de punta, perteneciente al CPT. Esta tiene un coeficiente de determinación de 0,6465, indicando un grado de correlación moderado alto. Se propone un intervalo de confianza, en base a herramientas estadísticas, que permite una mayor libertad al momento de utilizar dicha relación empírica. Por otra parte, se obtiene el tipo de suelo según comportamiento (SBT), para cada uno de los datos estudiados. Dicha información es entregada por el software CPeT-IT y contextualiza el comportamiento de las mediciones hechas en terreno. Con respecto a los valores de humedad, se tiene que estos son bastante bajos y no pueden ser analizados. Por esto, se recomienda cambiar la metodología implementada. Además, se encuentra que al elegir el CPT por sobre el CBR, el tiempo dedicado a la ejecución de los ensayos disminuye

considerablemente. Finalmente, se correlacionan ambas metodologías con el módulo resiliente y se grafican para validar el modelo obtenido.

CORRELACIÓN ENTRE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO DE CBR DE CAMPO Y EL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN ESTÁNDAR SPT EN CONDICIONES NORMALES, EN SUELOS COHESIVOS LOCALIDAD DE SUBA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C. <http://hdl.handle.net/11349/14118>

Indica: “El ensayo CBR (California Bearing Ratio: Ensayo de relación de soporte de California), este se desarrolló por parte de la división de carreteras de California en 1929 como una forma de clasificación y evaluación de la capacidad de un suelo para ser utilizado como sub-base o material de base en construcciones de carreteras mide la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo y para poder evaluar la calidad del terreno para subrasante, sub base y base de pavimentos. Se realiza bajo condiciones controladas de humedad y densidad. Este es uno de los parámetros necesarios obtenidos en los estudios geotécnicos previos a la construcción, como también lo son el ensayo Proctor y los análisis granulométricos del terreno. Este trabajo de investigación está enmarcado en el área de mecánica de suelos, en lo referente a la evaluación de pruebas de campo y laboratorio. En esta investigación se pretende realizar una búsqueda de información mediante la correlación entre los ensayos de CBR de campo y el ensayo SPT con fines de poder encontrar los parámetros de resistencia del suelo en condiciones normales. Se trata de establecer una correlación entre los ensayos de CBR de campo y de resistencia a la penetración estándar SPT, en suelos tipo CH, bajo condiciones normales en la localidad de Suba, ciudad de Bogotá D.C, mediante la aplicación de métodos numéricos y estadísticos, para estimar la resistencia de los suelos. Para establecer dicha correlación entre los ensayos, se utilizó el método de la regresión, que consiste en las distribuciones bidimensionales que siguen una dependencia estadística, se utilizan graficas de puntos para representar sus tendencias. No obstante dichas tendencias pueden apuntar a una ley de tipo funcional que pueda explicar el comportamiento global de la distribución. Para esto se hará uso de la técnica de regresión y correlación, la cual resulta una herramienta muy útil a la hora de analizar el comportamiento de dos o más variables relacionadas. Esta dependencia se refleja en una nube de puntos que representa la distribución, de modo que los puntos de esta grafica aparecen condensados en algunas zonas. En tales casos se pretende definir una ecuación de regresión que sirva para relacionar las dos variables de la distribución. Así mismo, de acuerdo a los cálculos realizados se logró determinar que no es

fiable al 100% estimar un CBR para suelos cohesivos tipo CH. De igual manera, se logró obtener información como guía y método comparativo de estudios realizados con la misma tendencia; entre los títulos más destacados se encuentran: “Aproximación a la zonificación del CBR en la localidad de chapinero”, “Propuesta de correlación entre propiedades geotécnicas de materiales de edad triásica en las cordilleras béticas (Andalucía, España).” e “Instrucción para el diseño de firmes de la red de carreteras de Andalucía, España.”

El instituto de tecnología de costa rica 2004, efectúa un estudio sobre la correlación de métodos convencionales para estimar la resistencia de la compactación de un suelo, Según El proyecto se enmarcó en el área de la mecánica de suelos, en lo referente a la evaluación de pruebas de campo y laboratorio. Se pretendió establecer correlaciones entre métodos convencionales y alternativos para estimar la resistencia y compactación de los suelos. Los equipos empleados en este estudio son: cono dinámico, penetrómetro con anillo de carga y compactómetro electrónico. El cono dinámico es una herramienta útil para el control del proceso constructivo de estructuras pequeñas, donde no se cuenta con un presupuesto, para realizar un estudio de suelo que requiera equipo de perforación especializado o en donde no hay acceso para una máquina perforadora. El penetrómetro con anillo de carga es una herramienta que puede ser usada en un sin número de aplicaciones. Se utiliza de una forma rápida, para determinar la resistencia a la penetración de los suelos en trabajos de exploración poco profundos. Los ensayos de campo y laboratorio con este equipo, han probado ser una herramienta muy útil y rápida para revisar y reemplazar a otros ensayos que consumen mucho tiempo y mayor costo. El compactómetro electrónico se convierte en una alternativa práctica, rápida y de fácil manipulación, para determinar la densidad en sitio y establecer una relación con el CBR. Es igualmente factible para uso in situ o en laboratorio. Correlaciones entre métodos convencionales y alternativos para estimar la resistencia y compactación de suelos. Los métodos de prueba convencionales se realizaron de acuerdo a las normas ASTM. Las pruebas con los equipos de campo se realizaron según los manuales y normas ASTM

EL ESTUDIO DE LA UNIVERSIDAD LIBRE DE COLOMBIA 2015, CONSIDERA EL ESTUDIO SOBRE LA RELACIÓN ENTRE EL ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR Y EL COEFICIENTE DE BALASTO (K) PARA SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCÁNICAS.

La investigación se enfocada a estudiar la posible relación entre el ensayo de penetración estándar por sus siglas en ingles SPT (Standart Penetration Test) y el coeficiente de balasto (K), mediante un ensayo de placa de carga, el tema es importante para la ingeniería civil, debido a que el coeficiente de balasto (K) se utiliza en el cálculo estructural de las cimentaciones y por lo tanto influye en toda edificación, considerado de importancia para la ingeniería por que facilitara usar valores de (k) más aproximados y estudiados recientemente, al compararlos con los valores existentes en tablas antiguas elaborados con suelos de otros países, con este estudio se podría brindar datos que permitan estimar el valor de (K) en el terreno a partir de un resultado de un ensayo que utiliza la metodología del SPT. El estudio se realizó en suelos derivados de cenizas volcánicas de tipo limos y arcillas de alta compresibilidad, hasta una profundidad de 9.0 m, localizados en el sector de cerritos de la ciudad de Pereira y se fundamentó en las normas respectivas para cada ensayo a cabalidad para llegar hasta una solución analítica-experimental, a partir de la correlación entre las dos variables dependientes obtenidas en los ensayos de placa y SPT.

EN ESTUDIO DE LA UNIVERSIDAD DE PIURA 2014 CONSIDERA EL ANÁLISIS DE ECUACIONES DE CORRELACIÓN DEL CBR CON PROPIEDADES ÍNDICE DE SUELOS PARA LA CIUDAD DE PIURA,

Este ensayo puede ser evaluado tanto en laboratorio como en campo, siendo en ambos casos de un alto costo y tiempo. Para caracterizar el material de base se usa el CBR de laboratorio (CBR lab), con muestras recopiladas en campo, remoldeadas y sometidas a condiciones saturadas por 4 días (ASTM, 2007), lo que supone aproximadamente una semana de duración para la obtención del resultado. Según el Manual de diseño de carreteras pavimentadas de bajo volumen de tránsito (2008) para obtener el valor del CBR en subrasantes y poder caracterizar un suelo se necesitan como mínimo 6 valores de CBR y éstos se deben tomar cada 2 Km de espaciamiento como máximo. Sin embargo la cantidad de muestras se ve influenciada por la variabilidad del terreno, longitud, importancia del proyecto, recursos técnicos y económicos disponibles Además el valor de un CBR equivale al promedio de tres especímenes ensayados (NTP 339.145 – 1999), lo cual en la región Piura – Perú tiene un costo entre 45 a 80 dólares americanos (UNP, SENCICO, UDEP). Por encima del costo que todo esto representa, el número de muestras siempre es limitado y el valor del CBR puede ser poco significativo. Obtener el CBR por tramos en una carretera resulta siempre complicado porque cualquier retraso en la construcción

representa un incremento en el costo del proyecto y para la ingeniería de transportes esto siempre ha significado un problema

2.3. CORRIENTE O ENFOQUE ELEGIDO POR EL INVESTIGADOR

Según la información y datos expuestos identifican los ensayos de laboratorio de suelos como ensayos convencionales, alternos y correlacionados para encontrar información importante a la hora de adoptar un criterio para su aplicación en el análisis de suelos de diferentes composiciones.

Es importante obtener datos reales y oportunos mediante ensayos de laboratorio relacionados para aplicación correctas en obras civiles.

El desarrollo del estudio será con enfoque de investigación cuantitativo, el cual comprende características que medirá los parámetros del suelo y sus propiedades físicas, mecánicas, mediante ensayos de campo y de laboratorio.

2.4. IDENTIFICACIÓN DE LAS FUENTES

Se han revisado fuentes de información, revistas científicas y manuales de laboratorio según normativa internacional.

Por lo que se menciona los siguientes estudios como fuentes secundarias

PROPUESTA DE CORRELACIÓN ENTRE PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DE MATERIALES DE EDAD TRIÁSICA EN LAS CORDILLERAS BÉTICAS (ANDALUCÍA, ESPAÑA) J. C. Hernández del Pozo. Link: Microsoft Word - Ponencia C.B.R..doc (geotecnicadelsur.com)

CORRELACION ENTRE SPT Y CBR.

Link: www.coursehero.com/file/86972568/CORRELACION-ENTRE-SPT-Y-CBR-TAREAdocx/

CORRELACION ENTRE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO DE CBR DE CAMPO Y EL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA PENETRACION ESTANDAR SPT EN CONDICIONES NORMALES EN SUELOS COHESIVOS LOCALIDAD DE SUBA CIUDAD DE BOGOTA D-C. Link: superior Correlación entre los resultados obtenidos del ensayo de CBR de campo y el ensayo de resistencia a la penetración estándar SPT en condiciones normales, en suelos cohesivos localidad de Suba Ciudad de Bogotá D C - 1Library.Co

2.5. ENSAYOS CONVENCIONALES

FORMULACION DE UN MODELO MATEMATICO QUE RELACIONE LOS ENSAYOS DE PENETRACION ESTANDAR SPT Y CBR EN SUELOS DEL SECTOR ALPACOMA, EL ALTO.

El estudio se establece en el área de la mecánica de suelos y en lo referente a la evaluación de pruebas de campo y laboratorio. Estos ensayos convencionales son el **SPT** que permiten determinar la resistencia, capacidad y asentamiento de suelos y compactación de los suelos. Y el ensayo denominado soporte California **CBR**, que sirve para evaluar la calidad de un material de suelo con base en su resistencia, medida a través de un ensayo de placa a escala.

2.5.1. ENSAYO DE PENETRACION ESTANDAR (SPT)

El ensayo de penetración estándar SPT (de siglas inglesas Standart Penetration Test), que consiste en hincar (clavar) mediante golpes de un toma-muestras (*cuchara*) con forma de tubo, de 60 cm de longitud, fabricado de acero y seccionado longitudinalmente en dos mitades.

El ensayo SPT cuenta con un recorrido restringido a la longitud del toma-muestras (el hincado se limita de 45 cm a 60 cm)

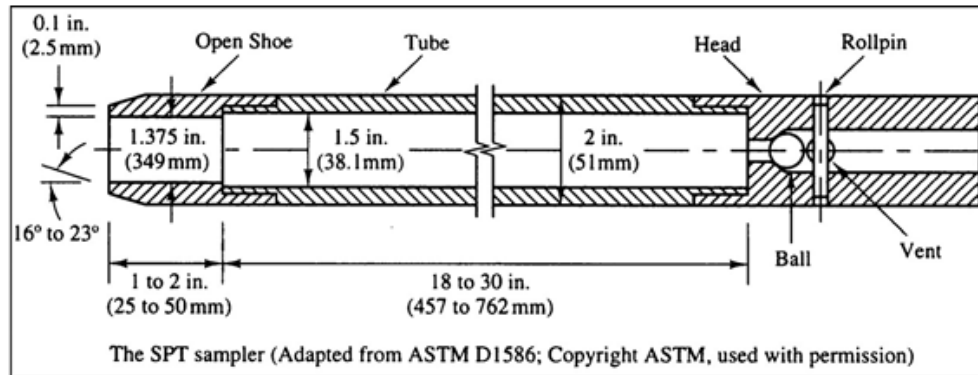
Este ensayo de penetración dinámica se realiza en el fondo del sondeo geotécnico durante la perforación. Se obtiene un valor N de resistencia a la penetración que puede ser relacionado con parámetros geotécnicos. En el ensayo se puede obtener una muestra inalterada, para realizar ensayos de identificación en laboratorio. El ensayo SPT se ejecuta prácticamente en todo tipo de suelos, aunque es en los suelos finos se realiza preponderantemente. Este se debe hincar en el terreno 45 cm, contando el número de golpes necesarios para hincar tramos de 15 cm. El golpeo para la hincada se realiza con una masa de 63,5 kg, cayendo libremente desde una altura de 76 cm sobre una cabeza de golpeo o llamado yunque. La lectura de golpes del primer tramo no se debe tomar en cuenta, por la alteración del suelo o derrumbes de las paredes. La suma de los valores de golpes, segundo y tercero como promedio es el valor N, denominado resistencia a la penetración estándar. En ocasiones dada la resistencia del terreno, no se consigue avanzar un tramo de 15 cm con el muestreador, en estos casos el ensayo se suspende cuando se exceden 100 golpes, y se considera un rechazo.

El resultado de los ensayos SPT puede afectarse por factores relacionados a:

- la preparación y calidad del sondeo, limpieza de paredes de la perforación.
- Longitud del varillaje y diámetro del sondeo, que condicionan el peso del elemento a hincar y la fricción con las paredes del sondeo.

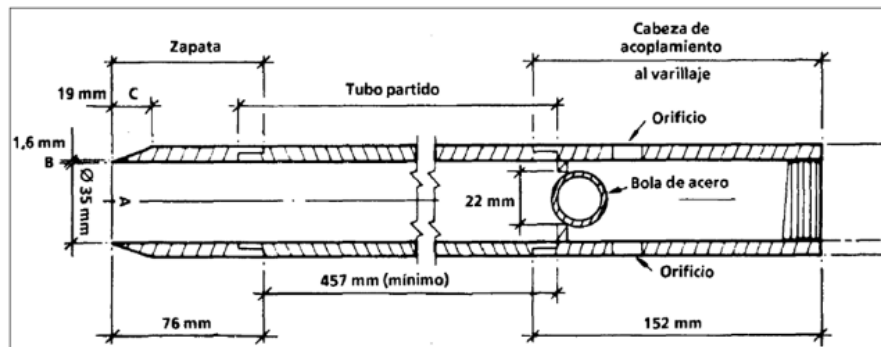
- Dispositivo de golpeo puede ser manual o automático; existiendo diferencias considerables entre los resultados de ambos. Los dispositivos automáticos garantizan la aplicación de la misma energía de impacto en todos los casos.

Figura 4. Dimensiones del toma-muestras



Fuente: <https://estudiosgeotecnicos.info/index.php/el-spt-ensayo-de-penetracion-estandar/>

Figura 5 Dimensiones del toma-muestras SPT propuesto por la norma UNE 103.800:92 (AENOR).



Fuente: <https://estudiosgeotecnicos.info/index.php/el-spt-ensayo-de-penetracion-estandar/>

La punta ciega cónica se utiliza en el ensayo de suelos de granulometría muy gruesa (gravas) o muy duros (rocas blandas), donde resulta inviable la recuperación de muestra, o donde el tomamuestras estándar puede resultar dañado.

La energía para hincar el tubo se consigue mediante una maza de 63,5 Kg que cae desde 76 cm de altura sobre un yunque, solidario al varillaje que transmite el golpe al tomamuestras, situado éste en el fondo de la perforación.

La longitud de la hinka es de 45 cm, dividiéndose en tres tramos de 15 cm, para cada uno de los cuales se determina el número de golpes necesarios. El primer conteo, correspondiente a la hinka del primer tramo de 15 cm, se desestima, pues el fondo de la perforación puede encontrarse alterado por la ejecución del sondeo. El resultado del ensayo corresponde a la suma de los conteos de la segunda y tercera tanda (30 cm).

En otros países se añade un conteo adicional (otra tanda de 15 cm) hincando el tomamuestras hasta los 60 cm, a fin de obtener una valoración cualitativa de la densidad (compacidad) o consistencia de un tramo del terreno, e incrementar también la cantidad de la muestra obtenida hasta el límite de capacidad de la *cuchara*.

Realizado el ensayo, se recupera el toma-muestras, del cual se obtiene una muestra representativa (siempre que la granulometría del terreno sea tal que no quede adulterada por el diámetro de la cuchara.)

Figura 6. toma-muestras a 60cm



Fuente: <https://estudiosgeotecnicos.info/index.php/el-spt-ensayo-de-penetracion-estandar/>

Muestra obtenida de un ensayo SPT hincado hasta 60 cm (generalmente no se alcanza el llenado de la cuchara).

Para evitar la caída de la muestra del tubo en operaciones bajo el nivel freático por empuje del agua se coloca en la parte superior del tomamuestras una válvula de bola, que hace asiento en la cabeza del tubo e impide que el agua descienda y presione la muestra; por encima de la bola se ubican dos agujeros por donde se expulsa el agua.

Figura 7. sondeo

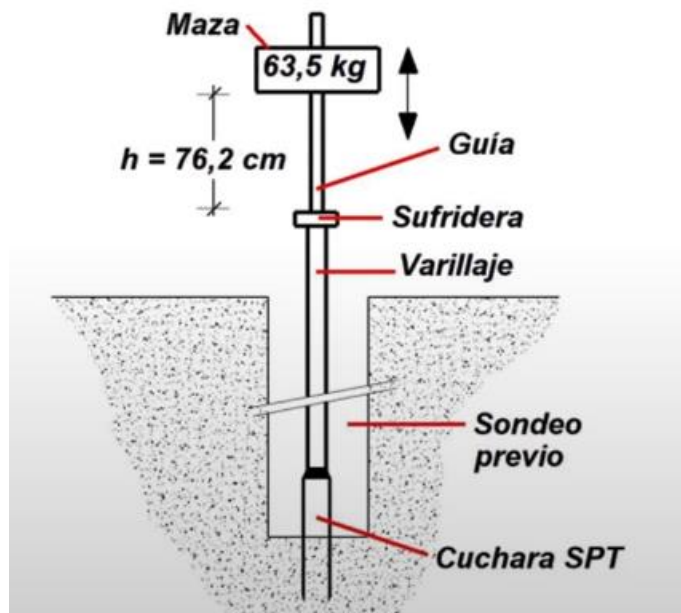
Fuente [Ensayo de PENETRACIÓN ESTÁNDAR \(SPT\) - Bing video](#)

Figura 8. hincas de toma muestras

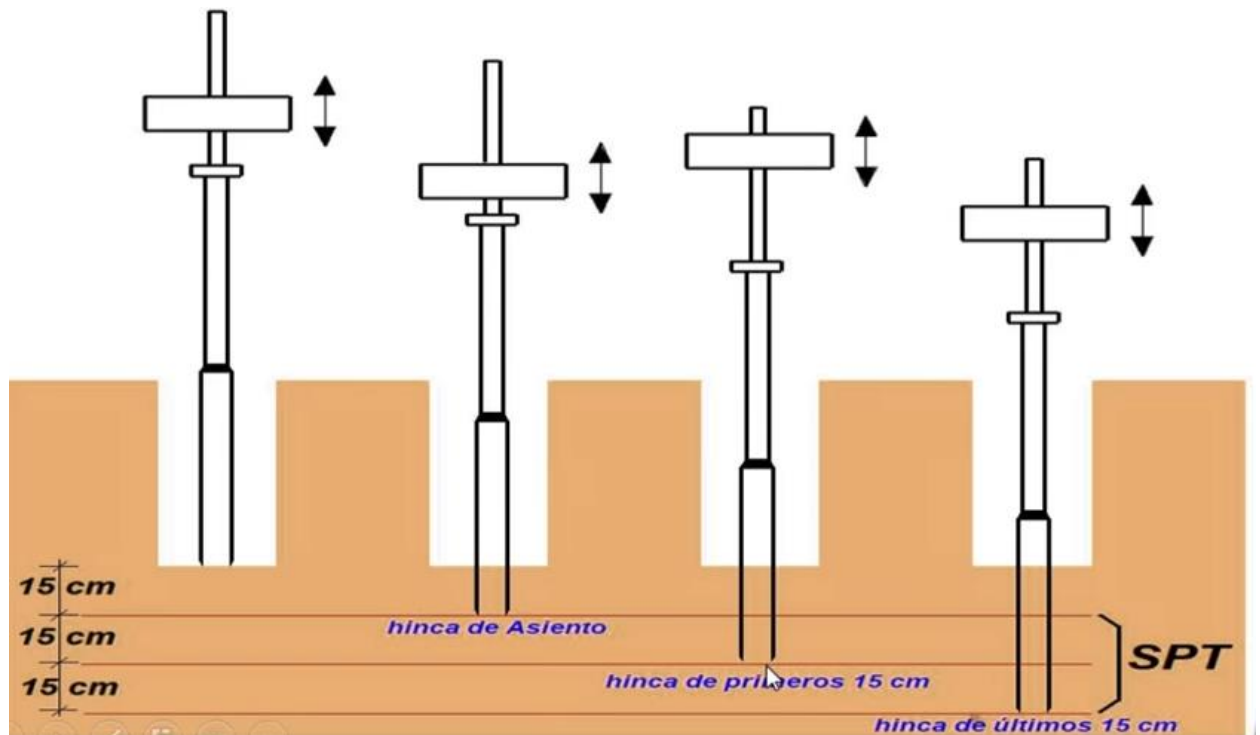
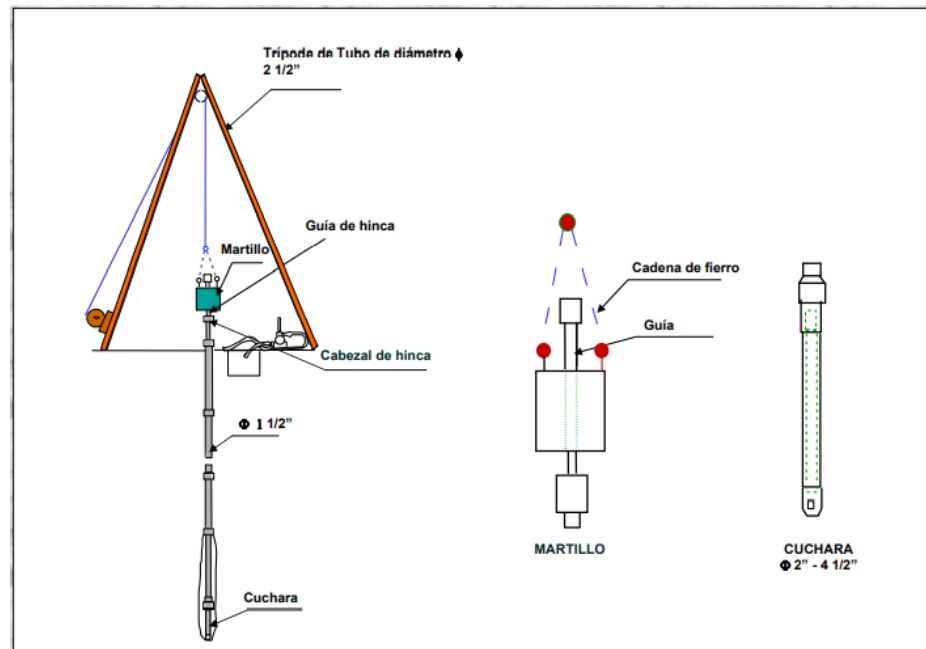
Fuente [Ensayo de PENETRACIÓN ESTÁNDAR \(SPT\) - Bing video](#)

Figura 9. Equipo SPT



Fuente elaboración propia

2.5.2. ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)

Este ensayo establece que el valor referente de soporte se obtiene de una prueba de penetración, en la cual un vástago de 19,4 cm² de área se hace penetrar en un espécimen de suelo a razón de 0,127 cm/min. Se mide la carga aplicada para penetraciones que varíen en 0,25cm. El CBR se define como la relación expresada en porcentaje, entre la presión necesaria para penetrar los primeros 0,25cm y la presión para tener la misma penetración en un material arbitrario, adoptado como patrón, que es una piedra triturada en la cual se tienen las presiones en el vástago para las penetraciones indicadas en la tabla siguiente.

Tabla 2. presiones de vástago para un material patrón

Penetración (cm)	Presión en el vástago (kg/cm ²)
0,25	70
0,50	105
0,75	133
1,00	161
1,25	182

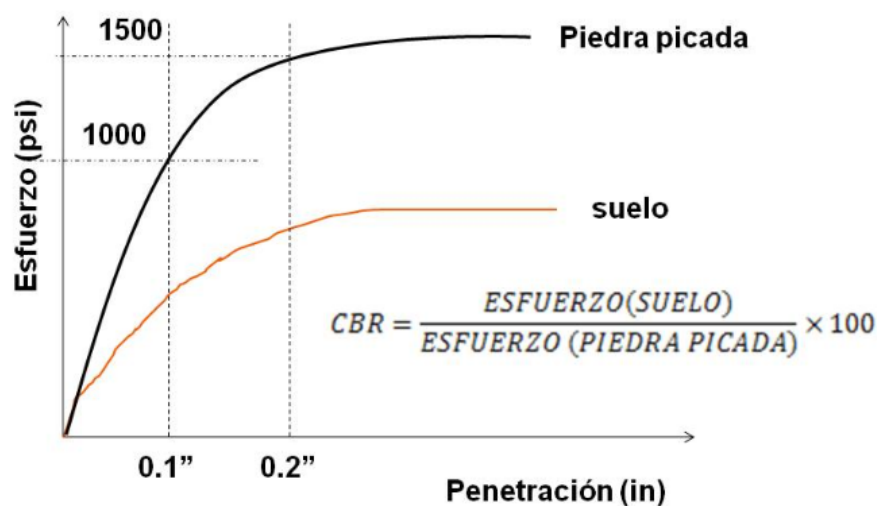
Fuente manual de ensayos CBR

Como se menciona, la penetración que se usa para calcular el CBR es la de los primeros

0,25cm. Como regla general, el CBR disminuye cuando la penetración en que se hace el cálculo es mayor, pero a veces si se calcula con la penetración 0,5cm resulta mayor que el calculado con la penetración 0,25cm. En tal caso, se adopta como CBR el valor obtenido con la penetración 0,5cm.

Entonces se puede indicar que el CBR es un ensayo para evaluar la calidad de un material de suelo con base en su resistencia, medida a través de un ensayo de placa a escala.

Grafico 5. Esfuerzo – penetración



Fuente <https://civilgeeks.com/2012/08/14/que-es-el-cbr-de-un-suelo>

CBR en español significa relación de soporte California, por las siglas en inglés de «California Bearing Ratio», en otros países se conoce como el ensayo por las siglas VRS, de Valor Relativo del Soporte (México).

El ensayo se desarrolló en 1925, y aparece en los estándares norteamericanos ASTM (por American Standards for Testing and Materials) desde 1964, en su versión para laboratorio (ASTM D 1883), y en su versión para campo (ASTM D 4429). A pesar de sus múltiples limitaciones, el CBR es uno de los ensayos más extendidos y aceptados en el mundo debido al relativo bajo costo de ejecución (si se compara con ensayos triaxiales), y a que está asociado a un número de correlaciones y métodos semi-empíricos de diseño de pavimentos.

Según la norma ASTM D 1883-07, el CBR es un ensayo de carga que usa un pistón

metálico, de 0.5 pulgadas cuadradas de área, para penetrar desde la superficie de un suelo compactado en un molde metálico a una velocidad constante de penetración. Se define CBR, el parámetro del ensayo, como la relación entre la carga unitaria en el pistón requerida para penetrar 0.1" (2.5 cm) y 0.2" (5 cm) en el suelo ensayado, y la carga unitaria requerida para penetrar la misma cantidad en una piedra picada bien gradada estándar; esta relación se expresa en porcentaje.

Por cada muestra de suelo se calculan dos valores de CBR, uno a 0.1" de penetración, y el otro a 0.2" de penetración. ASTM indica que se debe reportar el de 0.1" mientras este sea menor que el de 0.2". En el caso en el que el valor de CBR para 0.1" fuera mayor que el de 0.2" habría que repetir el ensayo para ese espécimen (La norma indica volver a hacer el ensayo,

Los valores de CBR cercanos a 0% representan suelos de pobre calidad, y los más cercanos a 100% indican de la mejor calidad. Es posible obtener registros de CBR mayores que 100%, típicamente en suelos ensayados en condición «en seco» o «tal como se compactó».

En la versión de CBR de laboratorio, los especímenes de suelo se compactan con el equipamiento del ensayo Proctor, utilizando moldes de 6" de diámetro y martillo grande. La velocidad de penetración del pistón durante el ensayo es constante e igual a 1.27 mm/min.

Variantes del ensayo de laboratorio

Según ASTM, para la versión de laboratorio del ensayo CBR existen dos variantes, una llamada «CBR para humedad óptima», y la otra llamada «CBR para un rango de contenidos de agua».

El CBR para humedad óptima es la variante más popular y es conocida también como «CBR de tres puntos». Consiste en elaborar tres especímenes compactando el suelo con energías de compactación de 12, 25 y 56 golpes por capa. La humedad de mezclado del suelo es la humedad óptima del Proctor Modificado. Para obtener el CBR del suelo se prepara una gráfica con los resultados del ensayo de los tres especímenes poniendo en las abscisas al grado de compactación o la densidad y en las ordenadas al valor de CBR, y se unen los puntos a través de una curva. El CBR del suelo se define como el intercepto correspondiente al grado mínimo de compactación establecido por la especificación del proyecto o agencia solicitante. Aunque ASTM explica que esta variante está destinada a

suelos que no son susceptibles al humedecimiento (por ejemplo, suelos granulares limpios), es práctica común utilizarla para todo tipo de suelos (corriendo el riesgo de no evaluar la influencia de la humedad en un suelo susceptible a la humedad).<

El CBR para un rango de humedades conocido también como «CBR de 15 puntos» y ASTM lo recomienda para suelos susceptibles a la humedad (suelos cohesivos o todos los suelos no limpios) o en los que se quiera evaluar el efecto de la humedad en la resistencia. ASTM dice que se preparan varios especímenes de suelo compactándolos en un rango de contenidos de agua similares a los que se piensa estará sometido en campo, y a varios niveles de energía de compactación, típicamente 12, 25 y 56 golpes por capa. Aunque antes el procedimiento ASTM proponía un método gráfico para definir el CBR, a partir de la versión 2005 de la norma D 1883 dicho procedimiento fue suprimido luego de la actualización de 2005. Entiendo que deja libre al laboratorista la interpretación. La variante de CBR para un rango de humedad es propicia para elaborar experimentos factoriales e interpretarlos con mapas de resistencia al estilo RAMCODES.

Hidratación y sobre carga

Además de todas estas consideraciones, en el ensayo de CBR se pueden variar tanto la condición de hidratación, como el número de sobrecargas anulares.

Para ASTM, la condición de hidratación por defecto es la de 4 días de inmersión, a menos que la agencia o especificación solicite una diferente, como por ejemplo «tal como se compactó», o la llamada «humedad de equilibrio». La de 4 días es también la condición más utilizada en todo el mundo; inclusive hay especificaciones que la requieren expresamente (independientemente de que el suelo no vaya a estar en esa condición durante la vida útil del pavimento o estructura civil)

Usos

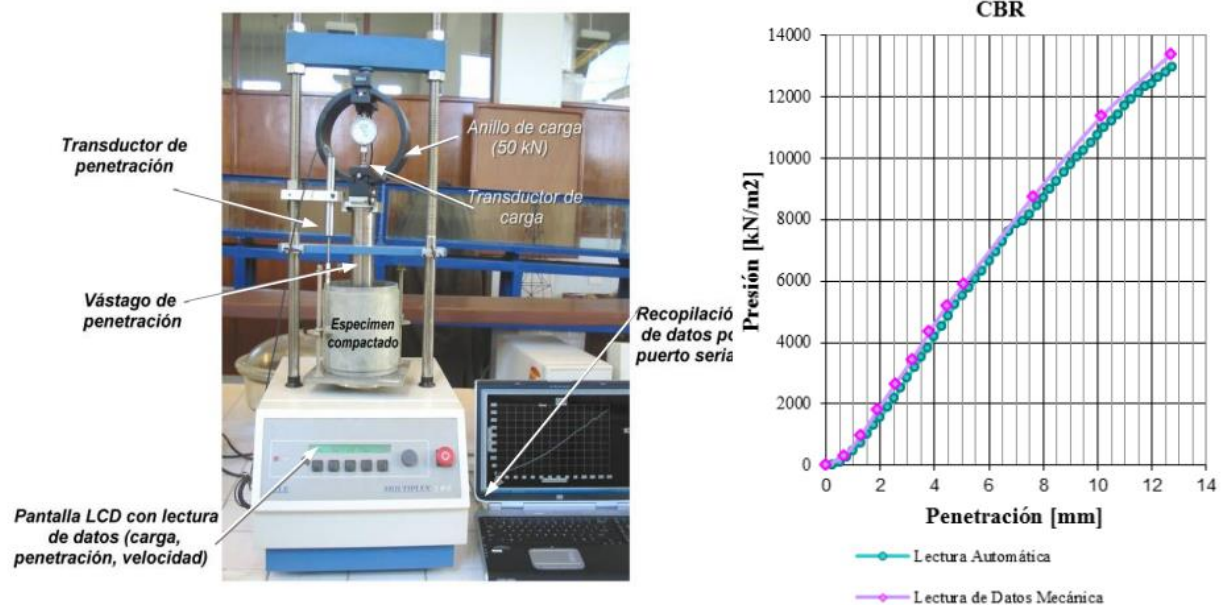
El CBR es un ensayo que se puede utilizar para evaluar y diseñar. Se evalúan subrasantes o superficies de colocación de estructuras. Por otra parte, se diseñan suelos para ser utilizados como materiales de base y subbase de pavimento, o para rellenos estructurales. En el siguiente artículo se profundiza más sobre esta diferencia de criterios para utilizar el CBR.

Limitaciones del ensayo

Las limitaciones que tiene el CBR pueden ser algunas que se detallan de este ensayo:

1. El valor de CBR es un parámetro geomecánico, y está asociado a múltiples correlaciones y métodos semiempíricos de diseño de pavimentos.
2. Durante el ensayo bajo condición de 4 días de inmersión no es posible controlar el grado de saturación del suelo. La muestra es sacada del agua y dejado escurrir por 15 minutos antes de ser ensayado. Y este escurrimiento incrementa la succión en el suelo excesivamente, lo que da lugar a resultados con tendencia inclinada.
3. La gráfica densidad versus CBR en el procedimiento ASTM para obtener el CBR de diseño del suelo no es una curva de diseño. Por tanto, en el sentido estricto, no debería ser usada para diseñar el suelo compactado. De hacerse se obtendrían resultados no adecuados ya que no hay forma de asegurar que todos las muestras pertenecientes a la gráfica tienen el mismo grado de saturación.
- 4.

Figura 10. equipo CBR



Fuente el cono dinámico de penetración y su aplicación en la evaluación de suelos
(upb.edu)

2.6. UBICACION Y ZONIFICACIÓN.

Departamento La Paz, se encuentra ubicado en el noreste de Bolivia, entre los paralelos 11° 50' a 18° 05' de latitud Sur y 66° 42' a 69° 32' de longitud Oeste.

Limita al norte con el departamento de Pando, al sur con el departamento de Oruro, al este con los departamentos de Cochabamba y Beni, y al oeste con las repúblicas del Perú y Chile. Su superficie es de 133 985 km²

se caracteriza por su heterogeneidad ecológica y sociocultural, relacionada con la diversidad de ambientes naturales que incluye las regiones de los Andes, subandino y llanura amazónica

Suelos del altiplano

Los suelos del altiplano se han formado sobre un relleno cuaternario y sobre roca sedimentaria en las serranías interaltiplánicas, sin embargo, el proceso de formación de suelos es lento, debido al clima frío y relativamente árido, sobre todo en el altiplano sur.

La característica común más generalizada de los suelos del altiplano, es la baja a moderada fertilidad, así como bajos niveles de materia orgánica, nitrógeno, fósforo y cationes básicos (SNC, 1992).

En las llanuras del altiplano norte se tiene en su generalidad suelos profundos de textura franco arenosa, mientras que en las colinas se presentan suelos pedregosos y poco profundos. El pH del suelo es débil a moderadamente ácido.

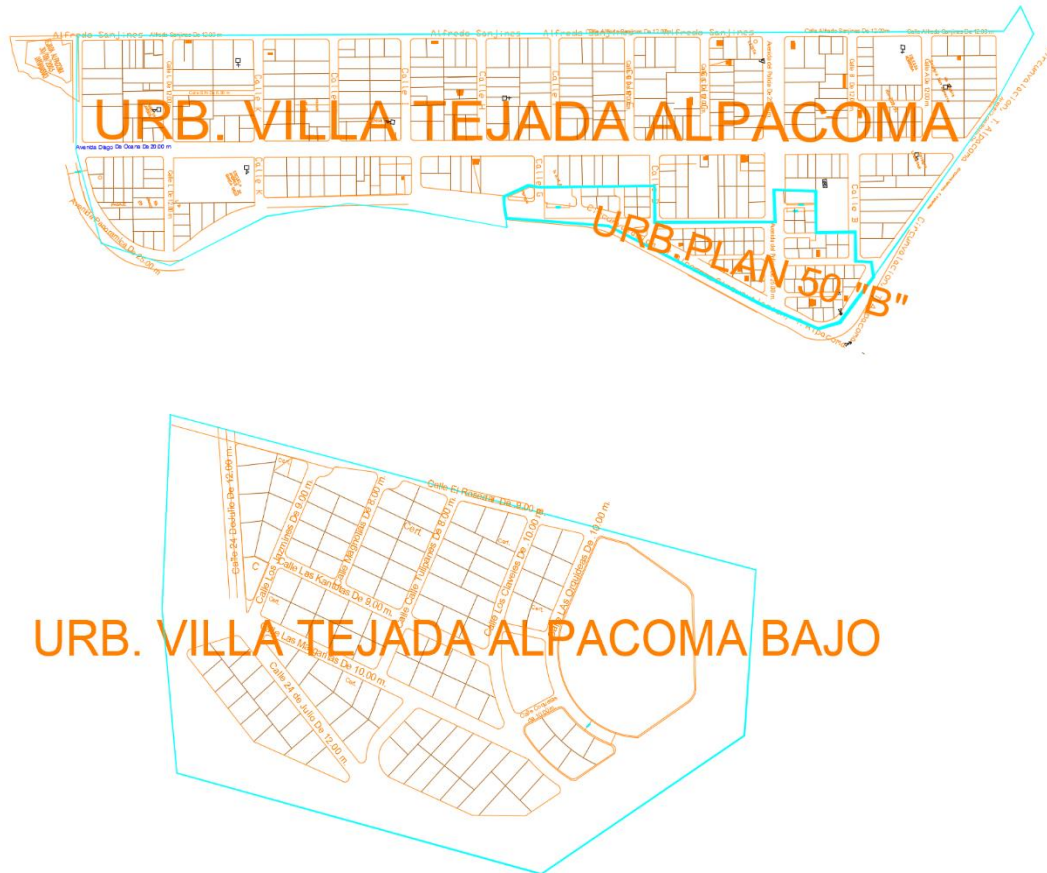
Los suelos del altiplano sur por lo general se caracterizan por tener texturas francas, franco arcillo arenosas, franco arcillosas y arcillosas, pH moderadamente ácido y con baja disponibilidad de nutrientes. En la llanura aluvial del río Desaguadero se presentan problemas de salinización y un pH moderadamente básico (SALM, 1983).

En la región del lago Titicaca crece todo tipo de cultivos andinos y se practica una ganadería intensiva a extensiva de vacunos, ovinos y camélidos. Hacia el sur disminuye la capacidad productiva por factores

climáticos y los cultivos se limitan básicamente a papa, cebada y quinua, mientras que la ganadería predominante es extensiva, de ovinos y camélidos.

El presente estudio se efectuara en el sector Alpacoma de la ciudad de El Alto el cual que es parte de la meseta del altiplano y presenta particular situación debido a que se presenta deslizamientos del talud hacia el municipio de La Paz y en la orilla se encuentra densamente poblada con edificaciones y vías de comunicación como calles la avenida panorámica cercana al borde de un precipicio que divide a ambos municipios ver figura -3

Figura 11. sector Alpacoma El Alto



Fuente GAMEA

CAPITULO III: MARCO METODOLOGICO

3.1. TIPO DE INVESTIGACION

El proyecto de investigación tiene un enfoque de tipo cuantitativo. Según el enfoque cuantitativo se calculará las variables de los objetivos específicos mencionados en el capítulo inicial, con estas variables se explicará el beneficio que tiene el desarrollo de un modelo matemático que relacione ensayos de suelos SPT y CBR que son los adecuados y de uso para el análisis de suelos y su beneficio económico por altos costos que se requiere para estudio de suelos para obras civiles de medianas y grandes de construcciones público y/o privado. Y según este enfoque se buscará la especificidad y profundidad para darle una solución al planteamiento del problema en la investigación según los ensayos de laboratorio, caracterización de suelos identificar las cualidades, identificando la capacidad portante de suelos, con el fin de comprender el contexto del proyecto llevada a cabo en la ciudad de El Alto.

Según el alcance del proyecto de investigación será exploratorio ya que, si bien en el aspecto internacional existe proyectos relacionados, de investigación requerida, en el contexto particular de la ciudad de El Alto, existe poca información bibliográfica, en la aplicación de relacionar ensayos convencionales SPT -CBR en el estudio de suelos. Al mismo en alcance correlacional se comparará el comportamiento de las variables y factores de los ensayos convencionales en suelos ubicados en el sector Alpacoma en la ciudad de El Alto”

3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACION

El proyecto de investigación se desarrollará según un diseño experimental, ya que posee un carácter cuantitativo. Inicialmente en el diseño se efectuará sondeos de suelos en el área de trabajo de suelos del sector de Alpacoma de la ciudad de El Alto, comprendiendo el contexto de la investigación, identificando los factores y calidad de suelos para su posterior análisis en laboratorio, para un diseño de carácter cuantitativo experimental, mediante ensayos e identificando variables independientes y dependientes en laboratorio, donde la variable dependiente serán relacionadas para desarrollar el modelo matemático del estudio de suelos mediante ensayos convencionales.

3.3. VARIABLES DE LA INVESTIGACION

Es necesario considerar los siguientes aspectos para identificar las variables del proyecto de investigación, para tal efecto consideramos al Sr avalos que indica:

Avalos (2014), explica que, la operacionalización de las variables comprende la desintegración de los elementos que conforman la estructura de la hipótesis y de manera especial a las variables y precisa que la operacionalización se logra cuando se descomponen las variables en dimensiones y estas a su vez son traducidas en indicadores que permitan la observación directa y la medición, con el fin de llegar a conclusiones.

La siguiente tabla identificara las variables del proyecto

Tabla 3. Matriz de operacionalización de variables.

ENSAYO	Variable	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores	Escala	Índice
SPT	numero de golpes "N"	Número de golpes necesarios para hincar un toma-muestras o la penetración de la barra de incado en el suelo	se mide en cantidades enteras hasta un máximo de 50 golpes	maximo 50 golpes en un tramo	cantidad de golpes por tramo	medicion numerica
				maximo 100 golpes sucesivos en total de tramos		
	tramo de hincado "H"	el tramo de hincado es la altura de penetracon de la barra de incado en el suelo	se mide en cm que varia en tramos o profundidades desde	tramo1: 0-15 cm	cm	medicion lineal
				tramo2: 15-30 cm		
				tramo3: 15-30 cm		
				tramo4: 15-30 cm		
ENSAYO	Variable	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores	Escala	Índice
CBR	numero de golpes "N" por capa	Número de golpes necesarios compactar las capas de la muestra de suelo en laboratorio	se mide en cantidades enteras a las cinco capas	12 golpes por cada capa	cantidad de golpes	medicion numerica
				26 golpes por cada capa		
				56 golpes por cada capa		
	contenido de humedad	cantidad de agua necesaria para la muestra de suelo	se añade agua para determinar la humedad y densidad	humeda optima	cantidad de agua	porcentual
				Densidad maxima	gr/cm3	peso /volumen
	penetracion	penetracion del piston estadarizado en la muestra de suelo compactada	penetracion del piston estadarizado en la muestra de suelo compactada a velocidad uniforme	0,25 pulg - 0,5 pulg	pulg/min	distancia / tiempo

Fuente elaboración propia

El presente estudio considera variables independientes y dependientes

VARIABLE INDEPENDIENTE. - Es aquella que determina el valor de la variable dependiente. Esto, en un modelo matemático, estudio estadístico u otro estudio. La variable independiente, es aquella cuya variación también causa un cambio en la variable dependiente. Puede existir más de una variable independiente en una investigación, teniendo cada una de ellas un peso distinto. Es decir, algunas variables independientes pueden ser más importantes que otras.

Lo que suele buscar es explicar cómo se forma una variable a partir de otra (u otras), las cuales serán las variables independientes.

Características de la variable independiente. - Entre las características de la variable independiente destacan:

En la aplicación y operabilidad de esta variable en correspondencia con el eje de las abscisas, o con el eje horizontal o eje (x). A su vez, la variable dependiente se coloca en el eje de las ordenadas o con el eje vertical o eje (y). Cuantas más variables independientes se incluyan, una mejor explicación tendrá la variable dependiente. La variable independiente no requiere de otra variable para incluirse en la investigación, de manera que sus datos simplemente se incorporan sin tener que explicarse cómo se originaron. El investigador define las variables independientes en función de un marco teórico.

VARIABLE DEPENDIENTE. - La variable dependiente es aquella cuyo valor depende del valor numérico que adopta la variable independiente en la función. Una magnitud, de este modo, es función de otra cuando el valor de la primera magnitud depende de forma exclusiva del valor que evidencia la segunda magnitud. La primera magnitud es la variable dependiente; la segunda magnitud, la variable independiente.

VARIABLES ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR (SPT), para el presente ensayo se identificaron dos variables; Una dependiente (número de golpes) y otro independiente tramo de hincado de penetración del toma-muestras a diferentes profundidades del suelo in situ en cada estudio.

Una vez ejecutado el sondeo, luego inicialmente se efectuará la penetración de los

primeros 15 cm luego se contabilizará los restantes 15 + 15 cm llegando al valor de 45 cm, entonces el valor de N (Número de golpes necesarios para hincar un toma-muestras será de 30 cm. de longitud en un estrato de suelo, una profundidad que generalmente varía de metro en metro) se determina sumando los valores de $N_1 + N_2$, entonces $N = N_1 + N_2$

Dónde:

N_1 : Número de golpes necesarios para hincar el toma-muestras 15 cm.

N_2 : Número de golpes necesarios para hincar el toma-muestras otros 15 cm

A partir del N del ensayo S.P.T. se logran determinar la Resistencia a la Penetración y la Presión Admisible

Otro parámetro que se puede determinar a partir del N obtenido y de la clasificación posterior del suelo, es:

- el Grado de Compacidad en caso de suelos arenosos
- la consistencia en caso de suelos arcillosos.

Se efectuar correcciones, del valor de (NF) (final) de campo. Al valor nuevo se le llama N corregido, estándar (N_s) o N_{60}

Así es que:

$$N_{60} = NF * CN * h_1 * h_2 * h_3 * h_4 * h_5$$

N_{60} se interpreta aquí como la energía que llega a la cabeza de golpeo cuando ERs = 60 %

CN = Corrección por sobre-capa

n_1 = Factor de ajuste = ER / ERs

ERs es aproximadamente = 60 % (USA)

n_2 = Factor de ajuste por longitud de las barras de perforación

n_3 = Factor de ajuste por el revestimiento del toma-muestras

n_4 = Factor de ajuste por el diámetro del toma-muestras

N_5 = Factor de ajuste por nivel freático en caso de existir la presencia de agua

VARIABLES ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) ASTM D 1883.- El ensayo considera tres variables; Una dependiente (contenido de humedad)), dos variables independientes (número de golpes "N" por capa y penetración del pistón estandarizado en la muestra de suelo compactada)

**FORMULACION DE UN MODELO MATEMATICO QUE
RELACIONE LOS ENSAYOS DE PENETRACION ESTANDAR
SPT Y CBR EN SUELOS DEL SECTOR ALPACOMA, EL ALTO.**

El procedimiento es tal que los valores de la relación de soporte se obtienen a partir de muestras de suelo de ensayo que posean el mismo peso unitario y contenido de agua que se espera encontrar en el terreno.

En general, la condición de humedad crítica (más desfavorable) se tiene cuando el material está saturado. Por esta razón, el método original del Cuerpo de Ingenieros de EEUU. contempla el ensayo de las muestras después de estar sumergidos en agua por un período de cuatro (4) días confinados en el molde con una sobrecarga igual al peso del pavimento que actuará sobre el material

Para los ensayos CBR se considera los ensayos de compactación, contenido de humedad y penetración de la muestra de suelos, el cual se caracterizará en laboratorio, el equipo CBR, será debidamente calibrado para una caracterización sólida.

En la compactación se considerarán el número de golpes (n) por capa, densidad seca y contenido de humedad.

VARIABLES DEL PROYECTO

Tabla 4. variables independientes y dependientes del proyecto de investigación

ENSAYO	Variable	tipo de variable	Definición operacional
SPT	numero de golpes "N"	dependiente	Número de golpes necesarios para hincar un toma-muestras o la penetración de la barra de hincado en el suelo
	tramo de hincado "H"	independiente	el tramo de hincado es la altura de penetración de la barra de hincado en el suelo
CBR	numero de golpes "N" por capa	independiente	Número de golpes necesarios compactar las capas de la muestra de suelo en laboratorio
	contenido de humedad	independiente	cantidad de agua necesaria para la muestra de suelo
	penetración	dependiente	penetración del pistón estandarizado en la muestra de suelo compactada

--	--	--	--

Fuente elaboración propia

3.4. POBLACION Y MUESTRAS

Al momento de efectuar la investigación, se identificará en el sector de análisis mediante en los diversos tipos de muestreo que se analizan en el ámbito de la investigación para recopilar datos y responder las preguntas de investigación.

Una muestra es un subconjunto de todo el sector del área de análisis que está siendo estudiada. y se utiliza para sacar conclusiones de ese sector. Es una manera de recopilar información sin tener que medir a todo un sector de Alpacoma.

TIPO DE MUESTREO Y PROCEDIMIENTO

Es necesario manifestar que en el estudio de suelos, esta presente la heterogeneidad, es decir que las características del terreno en cualquier parte de la ciudad de El Alto pueden variar, por lo tanto el suelo del sector de estudio resulta heterogéneo y puede variar, más aún si este se encuentra en la periferia de El Alto y La Paz, debido a las tipologías del sector.

Para el presente caso se efectuará un muestreo no probabilístico debido a la situación de poblacional ya que se tiene un sector de terreno con una composición de suelos heterogénea. por lo que se efectuara las siguientes consideraciones:

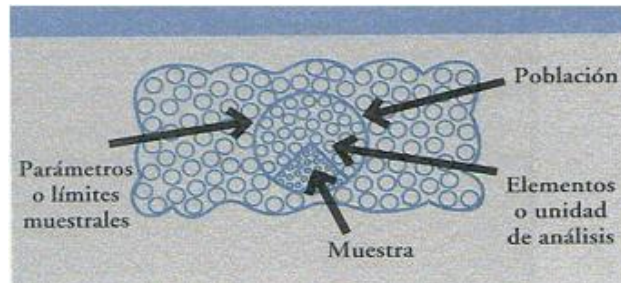
- se quiere estudiar las características del suelo en el sector de Alpacoma (El Alto - La Paz)
- conocimiento de riesgos de asentamiento y deslizamiento de suelos del sector
- conocimiento de la existencia de asentamientos humanos en el sector de deslizamiento
- existe la canalización de aguas subterráneas
- existencia de filtración de aguas residuales
- canalización existente en el talud

Por lo que se adoptara en primera instancia un **muestreo por conveniencia y luego Muestreo deliberado, crítico o por juicio**

**FORMULACION DE UN MODELO MATEMATICO QUE
RELACIONE LOS ENSAYOS DE PENETRACION ESTANDAR
SPT Y CBR EN SUELOS DEL SECTOR ALPACOMA, EL ALTO.**

Una muestra representativa es una muestra que recoge todas las características relevantes del sector de estudio del área de Alpacoma. según figura siguiente.

Figura 12. Sector de estudio y muestra



Fuente: elaboración propia

MUESTREO DE SUELOS

El análisis del suelo es una herramienta muy importante ya que nos permite cuantificar sus propiedades física-mecánicas y en base a ello hacer las correspondientes recomendaciones.

La operación de toma de muestras incluye:

- Toma del material que forma el suelo
- El manejo y elaboración de la muestra
- Toma de fracciones de muestra para determinaciones analíticas concretas

Los interrogantes en la toma de muestras de suelo son:

- 1) Número de muestras/superficie o sea considerar la Variabilidad Horizontal.
- 2) El momento del muestreo.
- 3) La profundidad del muestreo o Variabilidad Vertical (perfil de suelo con sus horizontes).

El suelo que se toma de muestra debe ser considerado como un volumen.

TIPO DE MUESTRAS

A- Muestras simples: Una muestra simple es aquella que se toma en forma individual, y como tal es llevada al laboratorio para las determinaciones analíticas. Puede ser alterada o inalterada. Un buen número de propiedades físicas de los suelos (Densidad Aparente, Conductividad Hidráulica, Permeabilidad al Aire, Curvas de Capacidad Hídrica), exigen para su determinación muestras de suelo inalteradas, es decir muestras donde el ordenamiento natural (estructural), del suelo no haya sido alterado. Deben realizarse repeticiones de estas determinaciones a los fines de obtener un valor promedio de la propiedad determinada.

B- Muestra compuesta: Una muestra compuesta es aquella constituida por un conjunto de muestras simples, convenientemente mezcladas, y llevadas al laboratorio para el análisis correspondiente. Siempre es alterada. Una muestra compuesta da un valor analítico medio de la propiedad determinada, representativo del volumen de suelo del que se tomó la muestra compuesta. Este valor es equivalente a la media de los valores de las muestras simples o individuales que componen la muestra compuesta, si hubiesen sido analizadas individualmente. El número de muestras simples necesarias para constituir una muestra compuesta depende de la variabilidad de la propiedad a analizar en el área en estudio. A mayor variabilidad mayor número de muestras simples. Una marcada diferencia en el muestreo de suelos para análisis físicos y para análisis químicos, es que para estos últimos se toman siempre muestras alteradas, que luego pueden constituir muestras compuestas, sobre las cuales se obtendrá un valor medio representativo. La toma de muestras compuestas reduce el número de muestras a analizar.

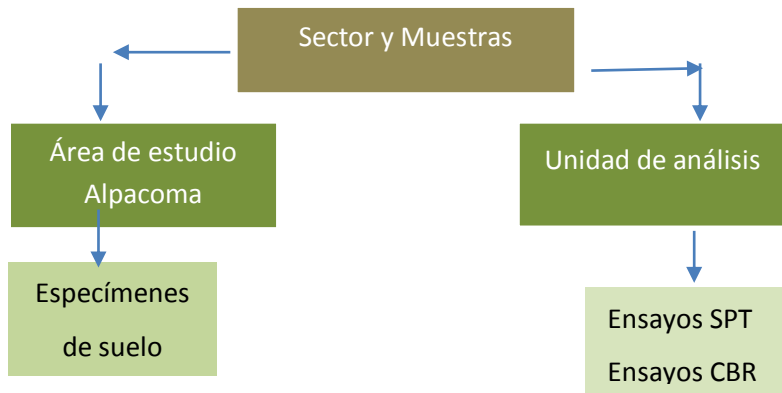
En terreno debe dividirse en varias áreas, estratificarse, en función de las heterogeneidades que presente. Definidas estas áreas homogéneas, se constituyen muestras compuestas de cada unidad homogénea por separado

Para el presente estudio se tomará el **tipo de muestras simples** alteradas e inalteradas para los diferentes tipos de ensayos de laboratorio y la caracterización del suelo.

La muestra de la presente investigación, se realiza enfocado por el criterio de las características y un criterio estadístico generalizado, por lo que la muestra será no probabilística.

La unidad de muestreo son las muestras de suelos del sector de trabajo de la ciudad de El Alto y la unidad de análisis se efectuará en campo y laboratorio según los ensayos convencionales SPT y CBR

Figura 13. esquema de muestras



Fuente: Elaboración propia

Para la determinación de la muestra se considera una muestra cualitativa, considerando los sectores de análisis del sector de Alpacoma de la ciudad de El Alto.

Las muestras se tomaron según el siguiente procedimiento en todo el sector de análisis:

- CANALIZACION: Pozo-1 Principio; Pozo-2 centro y Pozo-3 final, del canal
- CAMINO ACCESO LADERA SUPERIOR: Pozo-7, Pozo-8 camino acceso ladera.
- CAMINO DE INGRESO PRINCIPAL: Pozo -4, Pozo-5; Pozo-6

Esta ubicación cubre todo el sector de área de análisis, cubriendo un área de radio 15m en cada pozo. En la práctica un pozo puede tener una representación aproximada de 100 a 200 m², y para el sector esta ubicación es representativa según criterio de técnico del ingeniero especialista en suelos. como se ve en el grafico siguiente.

Figura 14. ubicación de puntos de muestras y área cubiertas



Fuente elaboración propia

3.5. AMBIENTE DE INVESTIGACIÓN

Efectuado los trabajos de compilación de información bibliográfica y trabajos de campo mediante sondeos y ensayos in situ con reportes fotográficos y mediciones, se efectuará con ensayos de gabinete de suelos, sistematización de información y análisis experimental en laboratorio,

Los ensayos de laboratorio permitirán efectuar la caracterización de suelos para el desarrollo de un modelo matemático que relacione los ensayos SPT – CBR.

3.6. TECNICAS E INSTRUMENTOS

Técnicas e instrumentos para la investigación científica está en relación a los alcances del estudio.

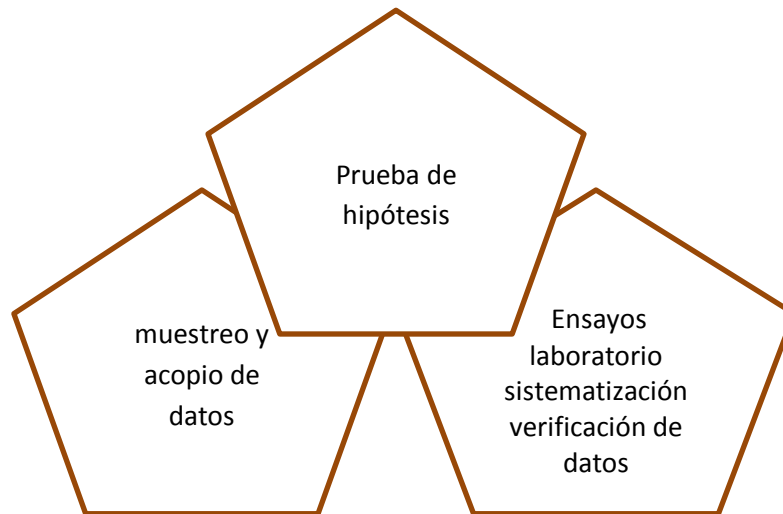
La indagación de información y la metodología que se aplicara al presente proyecto de

**FORMULACION DE UN MODELO MATEMATICO QUE
RELACIONE LOS ENSAYOS DE PENETRACION ESTANDAR
SPT Y CBR EN SUELOS DEL SECTOR ALPACOMA, EL ALTO.**

investigación es hallar evidencias en base a los hechos observados en campo y laboratorio, ya que estos determinaran el grado de valides de la hipótesis planteada con los hechos encontrados durante la investigación

Mediante el siguiente esquema se muestran los instrumentos y técnicas de trabajo.

Figura 15. Técnicas e instrumentos de investigación



Fuente: Elaboración propia

Técnicas e instrumentos para la realización de los ensayos CBR-SPT, en el presente estudio se la efectúa la técnica mediante la recolección datos por sondeo de pozos o calicatas de los cuales se extrajo muestras de suelos. Y los ensayos de laboratorio son instrumentos de análisis y la verificación de datos de los ensayos CBR Y SPT, los cuales se aplicaron para los suelos del sector de Alpacoma.

CBR:

La abreviación "CBR" corresponde al California Bearing Ratio, método de análisis de materiales desarrollado en el año de 1929 por la División de Carreteras de California, con el objetivo de determinar la capacidad del suelo para ser utilizado como material de base o subbase. También denominado ensayo de relación de soporte, es el procedimiento por medio del cual mediante pruebas de laboratorio y bajo condiciones de humedad y densidad controlada se puede medir la resistencia al corte de un suelo en el estado en que este se encuentre en ese momento. El método de CBR es normalmente utilizado para analizar materiales cuyo diámetro máximo de partículas es de $\frac{3}{4}$ ", existiendo metodologías adicionales para los casos en los cuales no se cumpla con este tipo de granulometría. En el diseño de pavimentos flexibles utilizados en las diferentes obras de infraestructura vial,

el método del CBR se convierte en pieza clave en la búsqueda de evaluar la resistencia potencial de los materiales utilizados en la base y subbase de las estructuras y además de esto, brindando información sobre la expansión esperada en el suelo bajo la estructura de pavimento cuando el suelo se satura e indicando la pérdida de resistencia debida a la saturación en el campo. La tabla siguiente con base a los valores de CBR se establece una clasificación general para el suelo

Tabla 5. Clasificación de suelos según CBR

Valor CBR	Clasificación General	Usos
0--3	Muy Pobre	Subrasante
3--7	Pobre a Regular	Subrasante
7--20	Regular	Sub-base
20--50	Bueno	Base, Subbase
>50	Excelente	Base

Fuente: Manual de laboratorio de Suelos. Joseph Bowles.

Este método de ensayo tiene el objetivo de obtener datos para determinar las siguientes constantes de los suelos:

- Contenido de Humedad
- Densidad Humedad y Densidad Seca
- Porcentaje de Expansión
- Valor de CBR a 0,1 "y 0,2 "de Penetración.
- Curva de Presiones de Penetración.

EQUIPO - Máquina de compresión: instrumento de compresión capaz de aplicar fuerzas normales a una velocidad constante y con un dispositivo de medición de las mismas, cuya precisión varía dependiendo del tipo de material.

Para suelos cuya resistencia a la compresión inconfiada se estime por debajo de 100 kPa (1kg/cm²), la máquina de compresión debe medir los valores de esfuerzos con una precisión de 1kPa (0.01 kg/cm²).

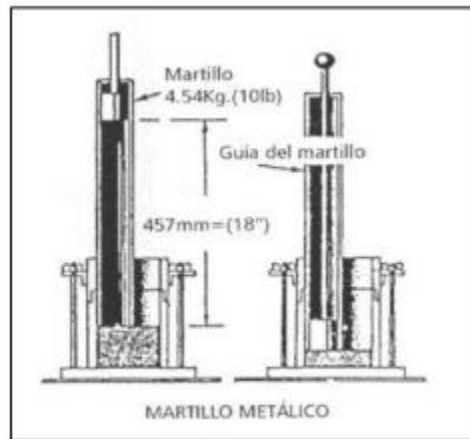
Para suelos cuya resistencia a la compresión inconfiada se estime por encima de 100 kPa (1kg/cm²), la máquina de compresión debe medir los valores de esfuerzos con una precisión de 5kPa (0.05 kg/cm²).

- Molde cilíndrico de compactación: se usa el mismo molde del ensayo de compactación. Diámetro de 6", altura de 116.4 mm y material metálico. El molde

viene acompañado de una camisa superior metálica, una placa de base perforada (mínimo 20 agujeros de diámetro 1,60 mm) con tornillos verticales para ensamblar todas las piezas y finalmente un disco espaciador metálico, de 150.8 mm de diámetro y un espesor de 61.50 mm, el cual estará ubicado dentro del molde en su parte inferior.

- Martillo de compactación: martillo especial, normalmente de operación mecánica utilizado para compactar la masa de suelo con número de golpes y procedimiento específico y a una altura fija. Su diámetro es de aprox. 50.8 mm, su peso de 4536 gramos y una altura de caída de 457.2 mm.

Figura 16. Equipo para ensayo de Compactación



Fuente: Universidad Nacional de Medellín- Geotecnia

- Placa de metal perforada de aprox. 150 mm de diámetro, trípode que conecte sus patas con el borde del molde y sostenga un deformímetro con su vástago de contacto.
- Sobrecargas metálicas: con un diámetro aprox. de 150 mm y peso de 2,27 kilogramos. Una de ellas anular con orificio central de 54 mm y las demás ranuradas.
- Deformímetro: debe ser un comparador de caratula, cuyos registros aporten una precisión de 0,0025 mm y una longitud de medición de mínimo 1,0 pulgadas.
- Cilindro de Penetración: el cilindro debe ser de material metálico, con una longitud mayor a 101,6 mm y un diámetro de 46,63 mm.
- Tamices: se debe contar con tamices No. 4 y $\frac{3}{4}$ ". La condición de su malla debe estar en perfecto estado.
- Horno de secado: con capacidad para mantener temperaturas constantes de $110 \pm 5^\circ\text{C}$.

ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTANDAR (SPT)

**FORMULACION DE UN MODELO MATEMATICO QUE
RELACIONE LOS ENSAYOS DE PENETRACION ESTANDAR
SPT Y CBR EN SUELOS DEL SECTOR ALPACOMA, EL ALTO.**

El ensayo SPT o ensayo de penetración estándar se realiza en suelos o en rocas muy alteradas y meteorizadas en el interior de los sondeos durante la perforación. Es el ensayo más usado y extendido de los que se realiza en el interior de un sondeo, por tal razón el ensayo SPT incluye diversas correlaciones con parámetros mecánicos del suelo en conjunto con datos y parámetros de laboratorio.

Consiste en definir (contar) el número de golpes que son necesarios para hincar (conseguir la penetración) una toma muestras partido en 30 centímetros del terreno.

Pasos para realizar el ensayo SPT

1. Se limpia cuidadosamente la perforación hasta llegar a la cota deseada para realizar el ensayo.
2. Se retira la batería de perforación y se procede a instalar el toma muestras con dimensión estandar.
3. Se procede a marcar el extremo superior de la tubería de perforación en tres partes iguales de 15 cm, para observar el avance del muestreador a efecto del impacto del martillo (maza o peso).
4. Se obtiene el valor (N) número de golpes necesarios para que el toma muestras penetre los segmentos 2 y 3 marcados, en total 30 cm, cabe recalcar que el primer segmento de 15 cm no se toma en cuenta (se desprecia). Es decir que N es igual al número de golpes necesarios para que el toma muestra penetre 30 cm del terreno.
5. Se puede realizar el ensayo en cuatro tramos de 15 cm en donde el valor (N) sería igual a la suma de los golpes necesarios para hincar el toma muestras en 30 cm del terreno tomando en cuenta solamente los tramos 2 y 3, mientras que los tramos 1 y 4 se desprecian.
6. Finalmente se saca la toma muestras y se procede guardar la muestra alterada para posteriores análisis de laboratorio.

Si se llega a los 100 golpes y no existe avance de la toma muestras en el terreno debido a que es muy duro, se considera rechazo y se detiene el ensayo SPT.

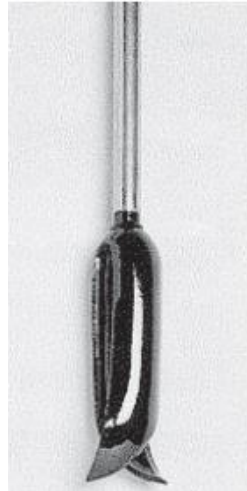
Figura 17. equipo de SPT trípode y accesorios



Fuente: elaboración propia

EQUIPOS DE SONDEO

Figura 18. Sonda «Edelman» Sonda manual para gravas. Sonda manual helicoidal



Fuente: catálogo Eijelkamp

3.7. PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

El desarrollo del proyecto de investigación se efectuará según el argumento actual y los objetivos planteados, mediante la hipótesis y los hechos que serán contrastados mediante experimentos y ensayos de laboratorio.

De tal manera que el marco metodológico en desarrollo permitirá encontrar el camino para este importante estudio de investigación, mediante la aplicación de las técnicas e instrumentos de investigación planteados.

CONSIDERACIONES EN CAMPO (IN SITU): Para la exploración de suelos se tiene los siguientes factores que deben ser consideraciones in situ

**FORMULACION DE UN MODELO MATEMATICO QUE
RELACIONE LOS ENSAYOS DE PENETRACION ESTANDAR
SPT Y CBR EN SUELOS DEL SECTOR ALPACOMA, EL ALTO.**

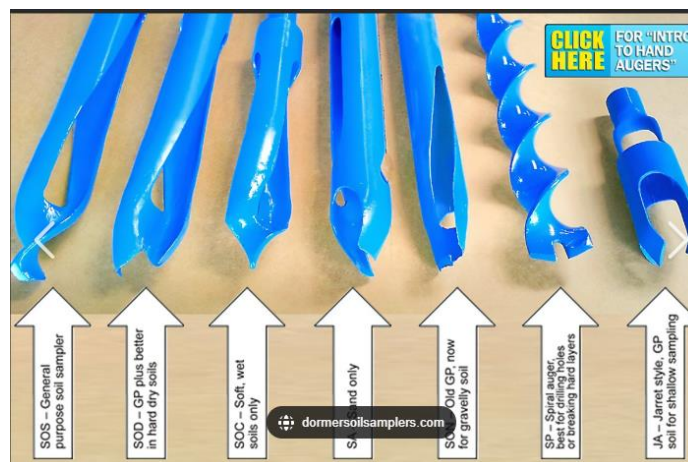
a) **pozos a cielo abierto.** - con muestreo alterado o inalterado, se considera como el más satisfactorio para conocer las condiciones del subsuelo, ya que consiste en excavar un pozo de dimensiones suficientes para que un técnico pueda directamente bajar y examinar los diferentes estratos de suelo en su estado natural, así como darse cuenta de las condiciones precisas referentes al agua contenida en el suelo. Este tipo de excavación no puede llevarse a grandes profundidades a causa, sobre todo, de la dificultad de controlar el flujo de agua bajo el nivel freático; naturalmente que el tipo de suelo de los diferentes estratos atravesados también influye grandemente en los alcances del método en sí. Deben cuidarse especialmente los criterios para distinguir la naturaleza del suelo "in situ" y la misma, modificada por la excavación realizada.

En efecto, una arcilla dura puede, con el tiempo, aparecer como suave y esponjosa a causa del flujo de agua hacia la cota de excavación; análogamente, una arena compacta puede presentarse como semifluida y suelta por el mismo motivo. Se recomienda que siempre que se haga un pozo a cielo abierto se lleve un registro completo de las condiciones del subsuelo durante la excavación, hecho por un técnico conocedor. En estos pozos se pueden tomar muestras alteradas o inalteradas de los diferentes estratos que se hayan encontrado.

b) **perforaciones con posteadora, barrenos helicoidales o métodos similares.** – estas perforaciones con posteadora únicamente obtiene muestras alteradas, y con esta muestra se puede determinar las características del suelo y la relación que tiene con la cantidad de agua, esto cuando es un suelo plástico. Para obtener estas muestras se usan barrenos helicoidales que son como saca corchos en espirales y los pasteadores que son como dos palas muy cerradas en la parte baja las cuales tienen un agarre en forma de T. Esta herramienta se hace penetrar en el suelo haciéndola girar. Algo importante que se debe tomar en cuenta es la forma o la distancia entre las hélices al perforar esto depende del tipo de suelo, si es un suelo arenoso deben de estar más cerradas que si se trata de un suelo plástico. Las herramientas antes mencionadas se adaptan en un extremo de la tubería y se le van añadiendo más tramos de tubo conforme a que el pozo se vaya haciendo más profundo, dichos tubos de colocan por la superficie. Si el muestreo continúa por debajo del nivel freático se deben de utilizar cucharas especiales, las muestras que se obtienen con esta cuchara son aún más alteradas ya que tiene la variable de la cantidad de agua que entra en la cuchara y el suelo. A causa de esto de las muestras obtenidas solo se puede obtener una clasificación y realizar pruebas para las cuales no es necesaria una muestra inalterada. En estas pruebas como hemos dicho, el contenido de agua es

mayor. Generalmente se recurre a colocar ademes en el pozo, esto se hace con tubos de hierro los cuales son hincados a golpes, pero con un diámetro necesario para que puedan pasar las herramientas utilizadas para muestrear. En la parte inferior esta tiene una zapata afilada para facilitar la penetración en el suelo. Cuando se agregan los segmentos de tubos de hierro para su manejo y colocación se usa una polea la cual es colocada en un trípode, esto a una altura que permita el manejo de los tubos de hierro. El cable que cruza por la polea y se sujeta a los tubos es un cable de manila o metálico y los operadores o técnicos pueden intervenir manualmente para guiar los tubos con la ayuda de unas llaves especiales y así poder atornillar los segmentos siguientes. Una desventaja de este método es que cuando tenemos un suelo firme y a este le sigue uno blando, en estos casos comúnmente se pierde la frontera que existe entre los dos tipos de suelo.

Figura 19. Barrenos de suelos muestreadores



Fuente [bing.com](https://www.bing.com/images) > images

RECOLECCIÓN DE DATOS

EN CAMPO (IN SITU)

Es importante considerar que, para todo proyecto relacionado con ingeniería civil, es necesario considerar el tipo y la magnitud de la obra y para ello se requiere conocer previamente las condiciones del terreno donde se efectuara apoyara la estructura, o si la estructura a desarrollar es construida con tierra o roca. Cuando se analiza una estructura, desde el punto de vista de la mecánica de suelo, se puede hablar de tres categorías:

a) Estructuras de la interacción de la estructura con el suelo. Dentro de estas estructuras incluyen: fundaciones, estructuras de retención, líneas o túneles o sistemas de conducción

b) Estructuras construidas en tierra como vías, carreteras, presas de tierra, bases y sub bases para pavimentos.

c) Estructuras de tierra o rocas en condiciones naturales, en estas incluimos los taludes naturales o los cortes generados ante alguna obra o acción desarrollada por el hombre. En todos estos casos, la recolección de datos de campo para el conocimiento de las propiedades del suelo es importantes, es necesario desarrollar un adecuado programa de exploración y muestreo del área de interés. Los procedimientos para obtener información de las características del suelo se pueden dividir en dos categorías:

a) Métodos indirectos: Dentro de estos se incluyen fotografías aéreas, mapas topográficos, interpretación de mapas e informes de reportes geológicos o estudios de suelo previamente desarrollados.

b) Métodos directos: Realmente son los más importante y los que más información suministran desde el punto de vista del estudio de suelos, son:

- Reconocimiento geológico de la zona. Incluye la inspección visual directa de las condiciones de los materiales en su estado natural. Visitando laderas de ríos o quebradas, cortes existentes de vías, túneles
- Realización de perforaciones, que permitan la recuperación de muestras alteradas o inalteradas de la zona de interés.
- Ensayos preliminares in-situ de los cuales correlacionar los resultados obtenidos con las propiedades técnicas ingenieriles o la información obtenida.
- Ensayos detallados in-situ, estos permiten medir directamente en campo las propiedades de los suelos. El propósito de este primer aparte es presenta la información respecto a las diferentes técnicas y métodos de recuperación de muestras alteradas como inalteradas para la posterior evaluación de sus propiedades tanto física como mecánica

TIPOS DE SONDEOS Y METODOLOGIA

Los tipos de principales de sondeos que se usan en mecánica de suelos para afines de muestreo y reconocimiento del subsuelo, son los siguientes métodos:

1. METODO EXPLORACION DE CARÁCTER PRELIMINAR a) Pozos a cielo abierto, con muestreo alterado o inalterado b) Perforaciones con posteadora, barrenos helicoidales o métodos similares. c) Métodos de lavado d) Métodos de penetración estándar e) Método de penetración cónica f) Perforaciones en boleos y gravas
2. METODO SONDEO DEFINITIVO a) Pozos a cielo abierto b) Métodos de tubo de pared

delgada c) Métodos rotatorios para roca

Tabla 6. Procedimiento de la investigación

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES 2022											
MODULO	ACTIVIDAD	MES									
		mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
ACTIVIDADES INICIALES DE GESTION											
	Coordinación equipo de investigación para determinar estrategias de trabajo										
	gestion con entidades publicas y privadas relacionadas al proyecto de investigacion										
DESARROLLO DEL PROYECTO DE INVESTIGACION											
	Analisis del estado actual										
	Identificacion de normativas sectoriales										
	Desarrollo de componentes de proyecto de investigacion según normativa y directrices de la DICyT										
	Identificacion de sectores de analisis y modificacion de proyecto de investigacion										
	Ensayos de campo y laboratorio										
	Inspeccion in situ										
	Sondeos y Toma de muestras										
	Tratamiento de las muestras										
	caracterizacion de materiales										
	Prueba convencional ensayo de Penetración estándar (SPT)										
	Prueba convencional ensayo CBR										
	Curvas y variables de relacion SPT-CBR										
	RESULTADOS										
	Clasificación de muestras										
	Ensayos convencionales SPT / CBR										
	Analisis de resultados de ensayos convencionales										
	Formulacion de un modelo matematico que relacione resultados CBR y STP										
C: INFORMES											
	PERIODICOS										
	FINAL										
D: AVANCES FISICO											
		10%	20%	25%	30%	50%	60%				

Fuente: Elaboración propia

CAPITULO IV: RESULTADOS**4.1. DIAGNOSTICO AREA DE ESTUDIO SECTOR ALPACOMA LA CIUDAD DE EL ALTO**

Para el desarrollo del proyecto se procedio en primera instancia a efectuar inspecciones preliminares de campo (in situ), a lo largo del área de estudio esto para tener una idea más clara y objetiva de la importancia del estudio en el sector, en coordinación con el Gobierno Municipal de El Alto, se realizó la visita al sector de Alpacoma y se efectuó la inspección preliminar in situ con personal de la Dirección de Saneamiento y recursos Hídricos del GAMEA, se pudo identificar los siguiente:

Ladera de suelos del sector

se tiene las siguientes consideraciones:

- i. Conformación taludes con presencia de deslizamiento de suelos, los cuales requiere estabilización de laderas y taludes orientadas a la reconfiguración de la geometría reduciendo el ángulo de inclinación de los taludes a través de movimiento de tierras para la conformación de banquetas, construcción de muros estabilizadores de diferentes características de los materiales
- ii. En la cabecera con riesgo de erosión y deslizamiento de suelos, para el cual se requieren asegurar su estabilización mediante forestación y el encauce de agua pluviales y sanitarias presentes en el sector, y así evitar la erosión de los suelos de la periferia en este sector de Alpacoma

4.1.1. EXPLORACION PRELIMINAR IN SITU. SECTOR DE ALPACOMA

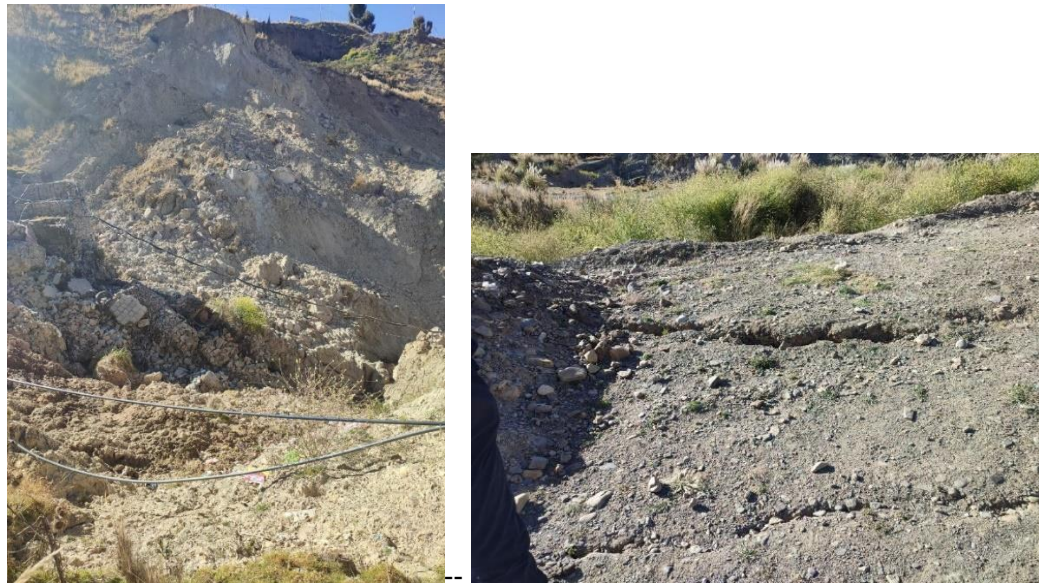
Se efectuaron inspecciones in situ preliminares para el desarrollo de estudios de suelos en el sector Alpacoma.

Figura 20. Obra civil-Canalización antiguo en talud Alpacoma



Fuente: elaboración propia

Figura 21. Deslizamiento de talud Alpacoma



Fuente: elaboración propia

Figura 22. Falla geológica en talud Alpacoma



Fuente: elaboración propia

Figura 23. Identificación del talud de deslizamiento



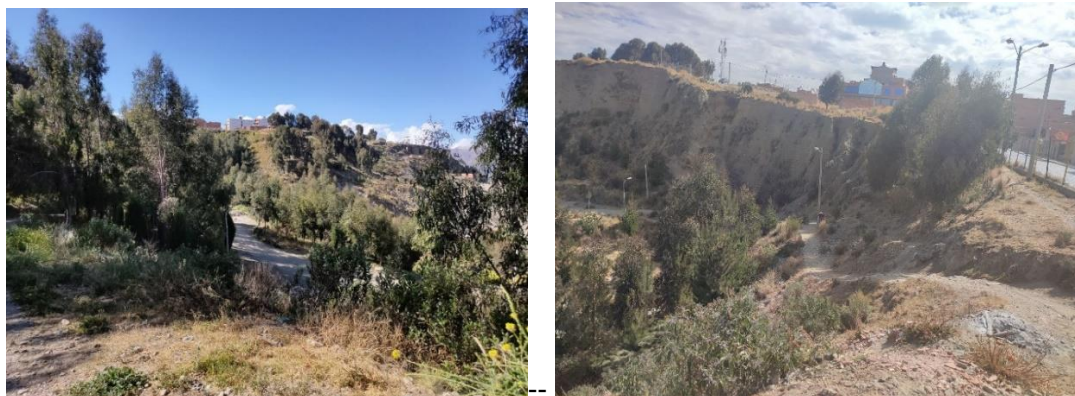
Fuente elaboración propia

Figura 24. Inspección in situ



Fuente elaboración propia

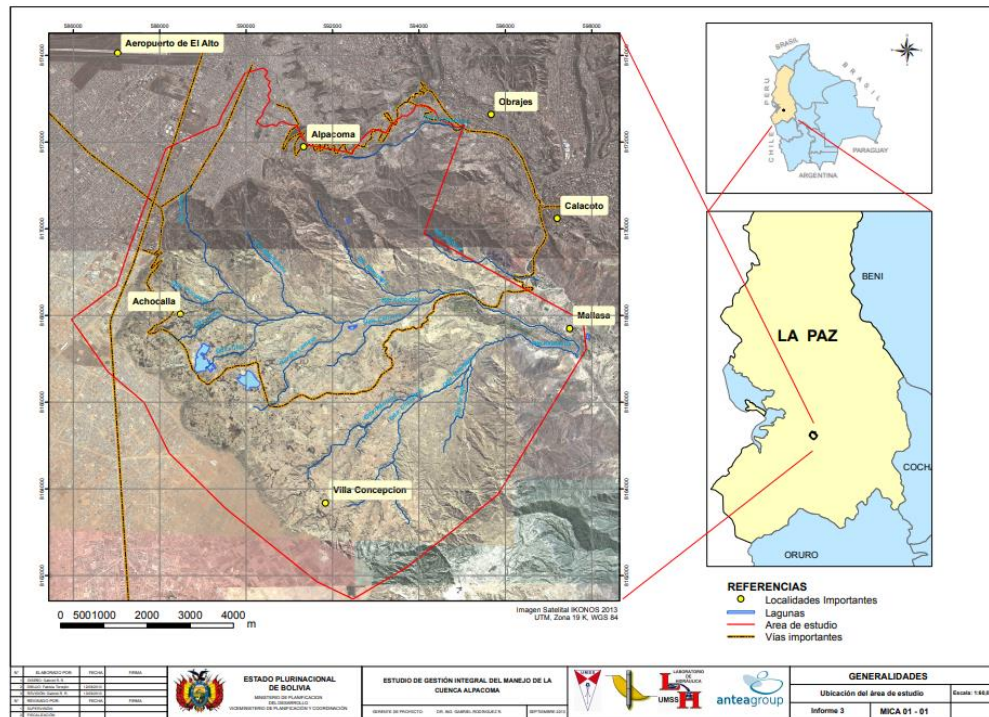
Figura 25. Ubicación de sondeos



Fuente elaboración propia

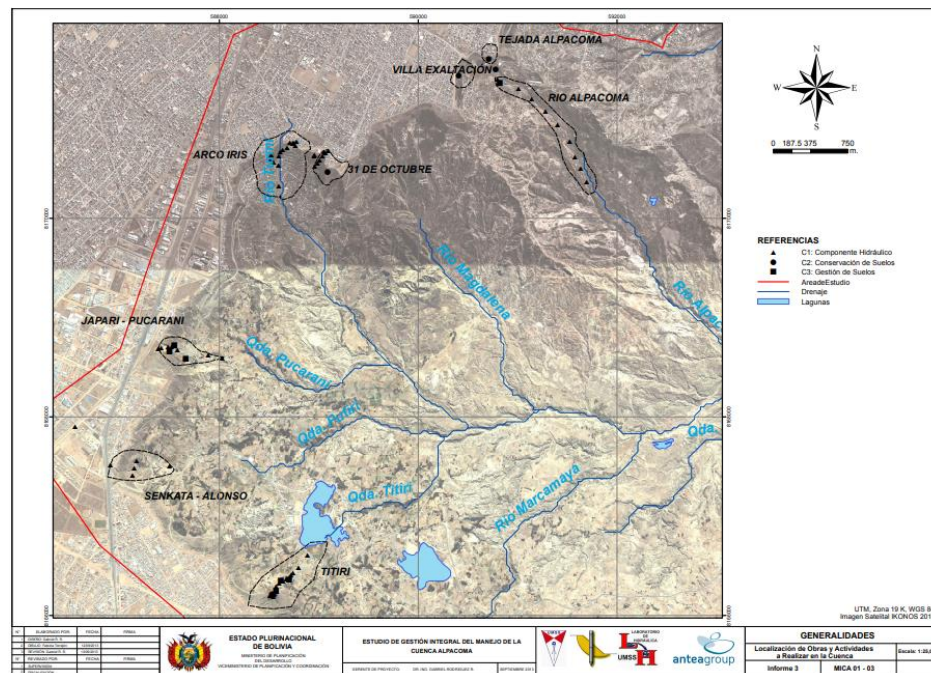
RECOPILACIÓN PROYECTO CUENCA ALPACOMA

Figura 26. Ubicación del área de estudio



Fuente: estudio de gestión integral del manejo de la cuenca Alpacoma GAMEA

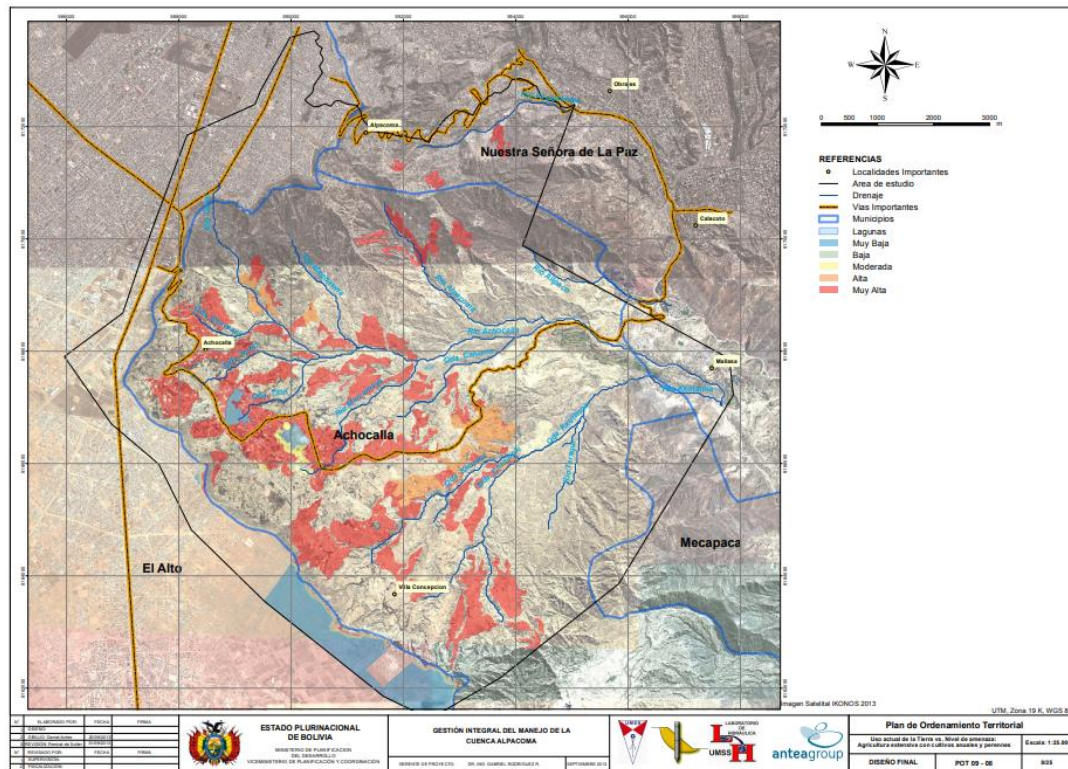
Figura 27. Localización de obras y actividades hidráulicas del sector



Fuente: estudio de gestión integral del manejo de la cuenca Alpacoma GAMEA

**FORMULACION DE UN MODELO MATEMATICO QUE
RELACIONE LOS ENSAYOS DE PENETRACION ESTANDAR
SPT Y CBR EN SUELOS DEL SECTOR ALPACOMA, EL ALTO.**

Figura 28. Uso actual de usos de tierras



Fuente: estudio de gestión integral del manejo de la cuenca Alpacoma GAMEA

4.2 SONDEO Y TOMA DE MUESTRAS DE SUELOS

Para la exploración de suelos se aplicó los siguientes factores y consideraciones in situ.

4.2.1 Ubicación de pozos para sondeo

Se realiza la exploración definitiva en coordinación con el GAMEA y el equipo de investigación del proyecto, según detalles en las figuras siguientes.

COORDENADAS Y UBICACION DEL LUGAR

Se efectuó la exploración definitiva y se identifica los puntos de sondeo para exploración mediante coordenadas georreferenciadas por GPS

Figura 29. Ubicación de pozos de sondeo para excavación



Fuente. Elaboración propia

PUNTOS DE SONDEO IN SITU - GEOREFERENCIADO

Figura 30. Ubicación para sondeo pozo 1



Altitude (m)		Date	
4105		2022-09-09	
D (°)	I (°)	X (nT)	Y (nT)
-8,95	-12,13	22225,3	-3501,0
H (nT)	Z (nT)	F (nT)	GV (°)
22499,4	-4835,9	23013,2	0,00
UTM		Easting: 590559.6, Northing: 8171634.7, Zone: 19, South of Equator	

Fuente elaboración propia

Figura 31. Ubicación para sondeo pozo 2



Altitude (m)		Date	
4051		2022-09-09	
D (°)	I (°)	X (nT)	Y (nT)
-8,95	-12,13	22225,4	-3501,0
H (nT)	Z (nT)	F (nT)	GV (°)
22499,5	-4836,9	23013,5	0,00
UTM		Easting: 590606.4, Northing: 8171500.6, Zone: 19, South of Equator	

Fuente elaboración propia

Figura 32. Ubicación para sondeo pozo 3



Altitude (m)		Date	
4022		2022-09-09	
D (°)	I (°)	X (nT)	Y (nT)
-8,95	-12,13	22225,3	-3501,4
H (nT)	Z (nT)	F (nT)	GV (°)
22499,4	-4837,7	23013,6	0,00
UTM		Easting: 590748.8, Northing: 8171416.9, Zone: 19, South of Equator	

Fuente elaboración propia

Figura 33. Ubicación para sondeo pozo 4



Altitude (m)		Date	
4024		2022-09-09	
D (°)	I (°)	X (nT)	Y (nT)
-8,95	-12,14	22225,1	-3501,3
H (nT)	Z (nT)	F (nT)	GV (°)
22499,2	-4838,1	23013,5	0,00
UTM		Easting: 590750.8, Northing: 8171346.1, Zone: 19, South of Equator	

Fuente elaboración propia

Figura 34. Ubicación para sondeo pozo 5



Altitude (m)		Date	
4067		2022-09-09	
D (°)	I (°)	X (nT)	Y (nT)
-8,95	-12,13	22225,1	-3500,9
H (nT)	Z (nT)	F (nT)	GV (°)
22499,1	-4837,3	23013,3	0,00
UTM		Easting: 590594.7, Northing: 8171411.1, Zone: 19, South of Equator	

Fuente elaboración propia

Figura 35. Ubicación para sondeo pozo 6



Altitude (m)		Date	
4079		2022-09-09	
D (°)	I (°)	X (nT)	Y (nT)
-8,95	-12,13	22225,2	-3500,6
H (nT)	Z (nT)	F (nT)	GV (°)
22499,2	-4837,0	23013,2	0,00
UTM		Easting: 590515.1, Northing: 8171442.4, Zone: 19, South of Equator	

Fuente elaboración propia

Figura 36. Ubicación para sondeo pozo 7



Altitude (m)		Date	
4072		2022-09-09	
D (°)	I (°)	X (nT)	Y (nT)
-8,95	-12,13	22225,3	-3500,9
H (nT)	Z (nT)	F (nT)	GV (°)
22499,4	-4836,7	23013,4	0,00
UTM		Easting: 590554.3, Northing: 8171512.2, Zone: 19, South of Equator	

Fuente elaboración propia

Figura 37. Ubicación para sondeo pozo 8



Altitude (m)		Date	
4047		2022-09-09	
D (°)	I (°)	X (nT)	Y (nT)
-8,95	-12,13	22225,7	-3501,0
H (nT)	Z (nT)	F (nT)	GV (°)
22499,8	-4836,4	23013,7	0,00
UTM		Easting: 590537.1, Northing: 8171572.1, Zone: 19, South of Equator	

Fuente elaboración propia

Una vez identificados los diferentes puntos de sondeo para el estudio de análisis de suelos mediante la exploración se llegó a determinar dos tramos paralelos uno cercanos a la canalización del río Alpacoma y el otro en la vía de acceso a la urbanización de Alpacoma bajo, en pleno talud del sector de análisis.

4.2.2 EXCAVACION DE POZOS

Para esta actividad de análisis de suelos se procede según lo indicado en la metodología

**FORMULACION DE UN MODELO MATEMATICO QUE
RELACIONE LOS ENSAYOS DE PENETRACION ESTANDAR
SPT Y CBR EN SUELOS DEL SECTOR ALPACOMA, EL ALTO.**

de sondeos con pozos a cielo abierto, para luego efectuar los ensayos SPT y la toma de muestras de suelo para la caracterización y ensayos CBR en laboratorio.

a) **pozos a cielo abierto**. - con muestreo alterado o inalterado Cuando este método se practique se considera como el más satisfactorio para conocer las condiciones del subsuelo, ya que consiste en excavar un pozo de dimensiones suficientes para que un técnico pueda directamente bajar y examinar los diferentes estratos de suelo en su estado natural, así como darse cuenta de las condiciones precisas referentes al agua contenida en el suelo. Este tipo de excavación no puede llevarse a grandes profundidades a causa, sobre todo, de la dificultad de controlar el flujo de agua bajo el nivel freático; naturalmente que el tipo de suelo de los diferentes estratos atravesados también influye grandemente en los alcances del método en sí. Deben cuidarse especialmente los criterios para distinguir la naturaleza del suelo "in situ" y la misma, modificada por la excavación realizada.

Para tal efecto se procede con la excavación de los puntos seleccionados para el análisis de suelos del sector Alpacoma.

Figura 38. Excavación a cielo abierto pozo 1



Pozo 1

Profundidad = 1,5 m

Largo = 1.1 m

Ancho = 1.4 m

Fuente elaboración propia

Figura 39. Excavación a cielo abierto pozo 2



Pozo 2

Profundidad=1.50

Largo=1.30

Ancho=0.90

Fuente. Elaboración propia

Figura 40. Excavación a cielo abierto pozo 3



Pozo 3

Profundidad=1.50

Largo=1.0

Ancho=0.90

Fuente elaboración propia

Figura 41. Excavación a cielo abierto pozo 4



Pozo 4

Profundidad=1.60

Largo=1.0

Ancho=1.0

Fuente elaboración propia

Figura 42. Excavación a cielo abierto pozo 5



Pozo 5

Profundidad=1.80

Largo=1.30

Ancho=1.25

Fuente elaboración propia

Figura 43. Excavación a cielo abierto pozo 6



Pozo 6

Profundidad=1.50

Largo=1.50

Ancho=1.10

Fuente elaboración propia

Figura 44. Excavación a cielo abierto pozo 7



Pozo 7

Profundidad=1.65

Largo=1.30

Ancho=1.30

Fuente elaboración propia

Figura 45. Excavación a cielo abierto pozo 8



Pozo 8

Profundidad=0.00 m

Largo=0.00

Ancho=0.00



Fuente elaboración propia

En este sondeo del pozo 8, se identificó en el proceso de excavación que el mismo presenta suelos con relleno y escombros de tierra, por lo que se desecha este pozo para el análisis de suelos

4.3 ENSAYOS DE PENETRACION ESTANDAR IN SITU “SPT”

Este ensayo de penetración estándar SPT (de siglas inglesas Standart Penetration Test), consiste en hincar (clavar) mediante golpes de un toma-muestras (*cuchara o sin cuchara toma muestras*) con forma de tubo, de 60 cm de longitud, fabricado de acero.

El ensayo SPT cuenta con un recorrido restringido a la longitud de la barra de hincado (el hincado se limita de 45 cm a 60 cm). Este ensayo de penetración dinámica se realiza en el fondo del sondeo geotécnico durante la perforación. Se obtiene un valor N de resistencia a la penetración que puede ser relacionado con parámetros geotécnicos. En este ensayo obtenemos una muestra inalterada, para realizar ensayos de identificación en laboratorio. El ensayo SPT se ejecuta prácticamente en todo tipo de suelos, aunque es en los suelos finos se realiza preponderantemente. Este se debe hincar en el terreno 45 cm, contando el número de golpes necesarios para hincar tramos de 15 cm. El golpeo

para la hincas se realiza con una masa de 63,5 kg, cayendo libremente desde una altura de 76 cm sobre una cabeza de golpeo o llamado yunque. La lectura de golpes del primer tramo no se toma en cuenta, por la alteración del suelo o derrumbes de las paredes. La suma de los valores de golpes, segundo y tercero como promedio es el valor N, denominado resistencia a la penetración estándar.

El resultado de los ensayos SPT puede afectarse por factores relacionados a:

- la preparación y calidad del sondeo, limpieza de paredes de la perforación.
- Longitud del varillaje y diámetro del sondeo, que condicionan el peso del elemento a hincar y la fricción con las paredes del sondeo.
- Dispositivo de golpeo que se utilizó es manual.

Figura 46. Despiece equipo SPT

Barra de penetración Punta de penetración



Anillo de carga

Barra guía



Martinete y soga de suspensión

Fuente elaboración propia

La punta ciega cónica se utiliza en el ensayo de suelos de granulometría muy gruesa (gravas) o muy duros (rocas blandas), donde resulta inviable la recuperación de muestra, o donde el toma-muestras estándar puede resultar dañado.

La energía para hincar el tubo se consigue mediante una maza de 63,5 Kg que cae desde 76 cm de altura sobre un yunque, solidario al varillaje que transmite el golpe al toma-muestras, situado éste en el fondo de la perforación.

La longitud de la hincia es de 45 cm, dividiéndose en tres tramos de 15 cm, para cada uno de los cuales se determina el número de golpes necesarios. El primer conteo, correspondiente a la hincia del primer tramo de 15 cm, se desestima, pues el fondo de la perforación puede encontrarse alterado por la ejecución del sondeo. El resultado del ensayo corresponde a la suma de los conteos de la segunda y tercera tanda (30 cm).

Según este procedimiento se efectuó los ensayos SPT in situ para cada uno de los pozos identificados en el sector del área de estudio, Alpacoma El Alto

PREPARATIVOS: ARMADO DE EQUIPO E HINCADO PARA ENSAYOS SPT

En la siguiente figura vemos el armado del equipo e hincado de barras según procedimiento establecido

Figura 47, Armado esquivo SPT



Fuente elaboración propia

ENSAYOS SPT IN-SITU EN EL SECTOR DE ALPACOMA

Figura 48. In-situ ensayo SPT pozo 1



PROFUNDIDAD (m)		NRO DE GOLPES
POZO N°	TRAMO (cm)	N
1	15	3
	30	4
	45	4
	60	3

Fuente elaboración propia

Figura 49. In-situ ensayo SPT pozo 2



PROFUNDIDAD (m)		NRO DE GOLPES
POZO N°	TRAMO (cm)	N
2	15	4
	30	3
	45	2
	60	2

Fuente elaboración propia

**FORMULACION DE UN MODELO MATEMATICO QUE
RELACIONE LOS ENSAYOS DE PENETRACION ESTANDAR
SPT Y CBR EN SUELOS DEL SECTOR ALPACOMA, EL ALTO.**

Figura 50. In-situ ensayo SPT pozo 3



PROFUNDIDAD (m)		NRO DE GOLPES
POZO N°	TRAMO (cm)	N
3	15	2
	30	2
	45	2
	60	2

Fuente elaboración propia

Figura 51. In-situ ensayo SPT pozo 4



PROFUNDIDAD (m)		NRO DE GOLPES
POZO N°	TRAMO (cm)	N
4	15	0
	30	0
	45	2
	60	2

Fuente elaboración propia

Figura 52. In-situ ensayo SPT pozo 5



PROFUNDIDAD (m)		NRO DE GOLPES
POZO N°	TRAMO (cm)	N
5	15	3
	30	4
	45	5
	60	9

Fuente elaboración propia

Figura 53. In-situ ensayo SPT pozo 6



PROFUNDIDAD (m)		NRO DE GOLPES
POZO N°	TRAMO (cm)	N
6	15	2
	30	1
	45	2
	60	1

Fuente elaboración propia

Figura 54. In-situ ensayo SPT pozo 7



PROFUNDIDAD (m)		NRO DE GOLPES
POZO N°	TRAMO (cm)	N
7	15	5
	30	15
	45	13
	60	13

Fuente elaboración propia

Figura 55. In-situ ensayo SPT pozo 8



PROFUNDIDAD (m)		NRO DE GOLPES
POZO N°	TRAMO (cm)	N
8	15	3
	30	8
	45	9
	60	9

Fuente elaboración propia

**FORMULACION DE UN MODELO MATEMATICO QUE
RELACIONE LOS ENSAYOS DE PENETRACION ESTANDAR
SPT Y CBR EN SUELOS DEL SECTOR ALPACOMA, EL ALTO.**

4.4. MUESTRAS DE SUELO PARA ENSAYOS CBR

Se tomaron muestras de suelos de los ocho pozos a cielo abierto a una altura promedio de 1.5 m de profundidad,

Figura 56, Traslado de muestras y acopio de suelos en laboratorio Ing. Civil



Fuente elaboración propia

4.5 ENSAYOS SPT Y CORRECCION DE DATOS “N”

Para este análisis es necesario efectuar consideración del ensayo in situ y que estos deben ser corregidos mediante el criterio de estandarización de datos para uso confiable en correlaciones con otros ensayos relacionados con es el caso con el CBR

El siguiente cuadro muestra este análisis de corrección de datos al factor N60

Ecuación de corrección de datos N

- N60= número de penetración estándar corregido
- N= número de penetración medido en campo
- nH= eficiencia del martillo
- nB = corrección por el diámetro de perforación
- nS= corrección por el muestreador
- nR= corrección por la longitud de la barra
- Er= relación de energías estándar y de ensayo in-situ

$$N_{60} := \frac{(N \cdot n_H \cdot n_B \cdot n_S \cdot n_R)}{60} \cdot E_r$$

Tabla 7. Corrección de datos de campo N

pozo	unidad	W (peso martillo) kg_m/s ²	h (altura caída) m	h (altura promedio campo) m	Ete (est)	Etm (sitio)	Er	nH	nB	nS	nR	N1	N2	N	N60
1	kg	635,03	0,76	0,97	482,62	615,98	78,35	1	1	1	1	4	4	8	10
2	kg	635,03	0,76	0,97	482,62	615,98	78,35	1	1	1	1	3	2	5	7
3	kg	635,03	0,76	0,97	482,62	615,98	78,35	1	1	1	1	2	2	4	5
4	kg	635,03	0,76	0,97	482,62	615,98	78,35	1	1	1	1	0	2	2	3
5	kg	635,03	0,76	0,97	482,62	615,98	78,35	1	1	1	1	4	5	9	12
6	kg	635,03	0,76	0,97	482,62	615,98	78,35	1	1	1	1	1	2	3	4
7	kg	635,03	0,76	0,97	482,62	615,98	78,35	1	1	1	1	15	13	28	37
8	kg	635,03	0,76	0,97	482,62	615,98	78,35	1	1	1	1	8	9	17	22

Fuente elaboración propia

4.6. SELECCIÓN DEL SUELO

El proyecto de investigación requiere para su análisis el uso de muestras de suelos para luego efectuar los respectivos ensayos de laboratorio y determinar propiedades mecánicas y la caracterización respectiva del suelo del sector de Alpacoma, posteriormente efectuar el análisis de los ensayos convencionales denominación SPT y CBR, y considerar la relación matemática entre ambos ensayos de laboratorio in situ y en suelos moldeados en laboratorio.

Para analizar los materiales serán sometidos a pruebas de laboratorio según normativa establecida en la AASHTO – ASTM y procedimientos establecidos por los laboratorios de la UPEA y el GMEA en cuanto al muestreo y su caracterización.

- muestras de suelos extraídas de calicatas de 1.5 m de profundidad
- ocho pozos excavados.
- granulometría de suelos del sector Alpacoma
- material seleccionado de suelos gruesos – medianos -finos -filler en el rango de tamices: 3/4", 3/8", Nro 4, Nro 10, Nro 40, Nro 200.
- equipos de laboratorio in situ SPT
- equipo de laboratorio ensayos Proctor
- Equipo de laboratorio índice CBR

4.7. CARACTERIZACION DEL SUELO

**FORMULACION DE UN MODELO MATEMATICO QUE
RELACIONE LOS ENSAYOS DE PENETRACION ESTANDAR
SPT Y CBR EN SUELOS DEL SECTOR ALPACOMA, EL ALTO.**

Como material de análisis el suelo estará sujeto a los diferentes procesos para ensayo de laboratorio según los métodos convencionales, estos se seleccionarán en un rango de tamices y se homogenizarán para la preparación de muestras

Los siguientes ensayos se efectuarán según procedimientos para su aplicación en los ensayos convencionales SPT Y CBR

- Secado al medio ambiente de la muestra de cada pozo
- Desterronado de suelos para la separación de partículas gruesas, arenas y finos
- Cuarteado de las muestras de los ocho pozos
- Análisis granulométrico
- Determinación del contenido de humedad natural
- Determinación de la masa de suelos secos
- Preparación de muestras de suelos para ensayos PROCTOR
- Preparación de muestras para ensayos CBR
- Ensayos PROCTOR
- Ensayos CBR

Se recolecta las muestras acopiadas en instalaciones del Laboratorio de materiales la de carrera de Ing. civil, suelos extraídos de pozos en el sector del talud Alpacomá

4.7.1 SECADO, DESTERRONADO Y CUARTEADO DEL SUELO

Al inicio es necesario efectuar estas actividades como procedimiento de la preparación de muestras para la caracterización del suelo.

En las figuras se muestra el proceso de secado de muestras al medio ambiente

Figura 57. Secado al medio ambiente de la muestra de cada pozo



Fuente elaboración propia

Figura 58. Desterronado y cuarteado



Fuente, elaboración propia

Figura 59. Equipo de cuarteado y desterronado



Fuente, elaboración propia

Los materiales son cuarteados en recipientes hasta obtener en recipiente de aproximadamente 10 kg, este procedimiento se lo efectúa para obtener que la muestra sea bien mezclada y obtener la representativa de cada uno de los pozos.

4.8 GRANULOMETRÍA

Ensayo que determina la distribución por tamaño de las partículas del suelo de cada uno de los pozos extraídos

Un vez efectuado la granulometría nos permitirá efectuar la preparación de muestras para los ensayos PROCTOR y CBR en forma secuencial

Equipo:

**FORMULACION DE UN MODELO MATEMATICO QUE
RELACIONE LOS ENSAYOS DE PENETRACION ESTANDAR
SPT Y CBR EN SUELOS DEL SECTOR ALPACOMA, EL ALTO.**

- Juego de tamices según normativa
- Juego de recipiente (taras)
- Balanza

Procedimiento:

Se procede a dividir las muestras ya cuarteadas de los agregados gruesos, medios y finos en un juego de recipientes pequeños (platos), se extraen dos muestras de cada pozo y se lo pesa y luego se procede a colocar en el juego de tamices normalizado, se coloca en el tamizador por un tiempo de 10 min, y luego procede a pesar de forma acumulativa según el tamiz retenido, desde el Tamiz 21/2 hasta completar el T#200.

Tabla 8. Juego de tamices

TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)
3"	75
2 1/2"	63
2"	50
1 1/2"	37,5
1"	25,4
3/4"	19,05
3/8"	9,53
No4	4,76
No10	2,00
No40	0,42
No200	0,07

Fuente: elaboración propia

Figura 60. equipo de tamizado



Fuente: elaboración propia

Figura 61. Proceso tamizado con equipo automático material grueso y finos



Fuente: elaboración propia

Figura 62. Pesado de cantidad tamizada gruesos y finos



Fuente: elaboración propia

Figura 63. equipo de lavado de partículas finas de suelo



Fuente: elaboración propia

Figura 64. Proceso de lavado de finos



Fuente: elaboración propia

Figura 65. preparación de muestras con Tamiz para ensayos PROCTOR y CBR (3/4; N°4, 200)



Fuente: elaboración propia

Figura 66. tamizado y selección de material para ensayos Proctor - CBR



Fuente: elaboración propia

Figura 67. Muestras seleccionadas y preparadas para ensayos PROCTOR y CBR



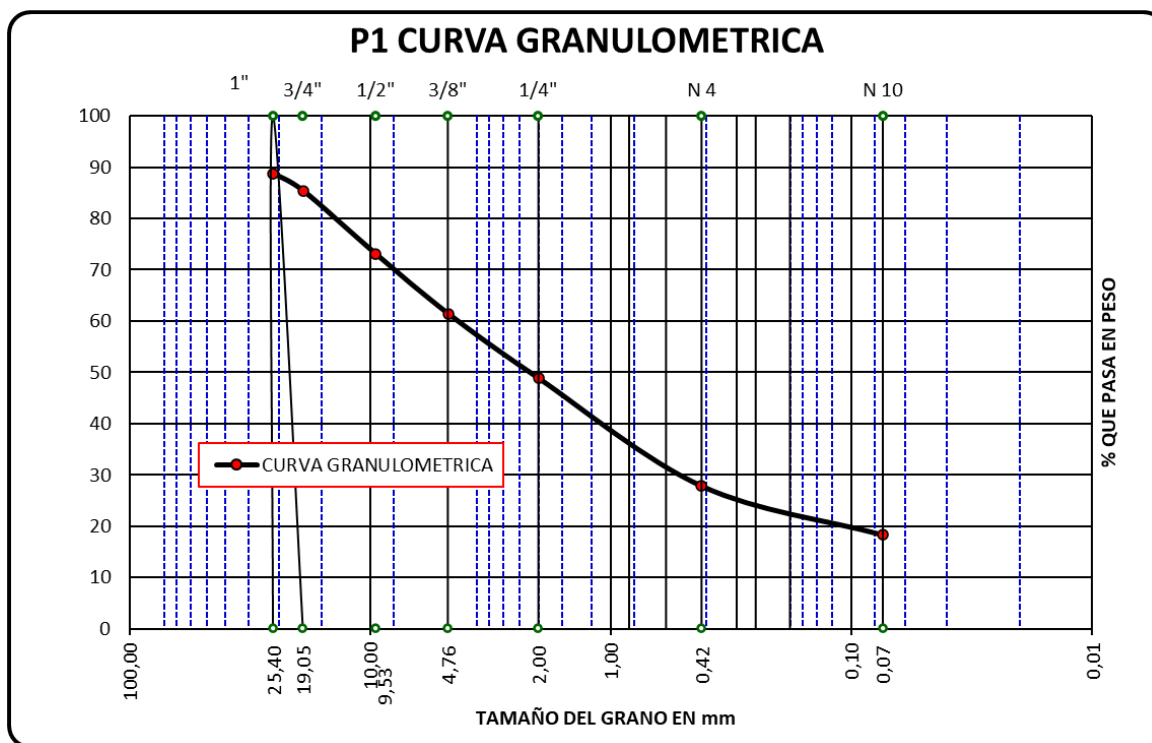
Fuente: elaboración propia

Figura 68. pesado de muestras para ensayos PROCTOR y CBR



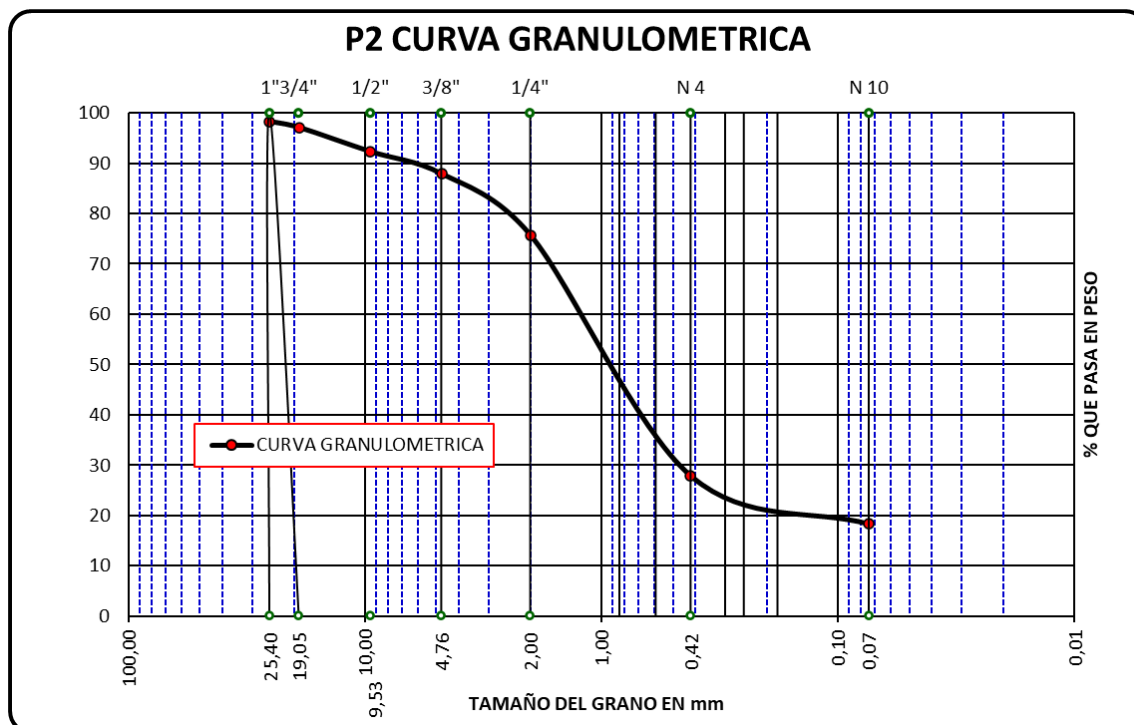
Fuente: elaboración propia

Grafico 6.: Granulometría pozo-1



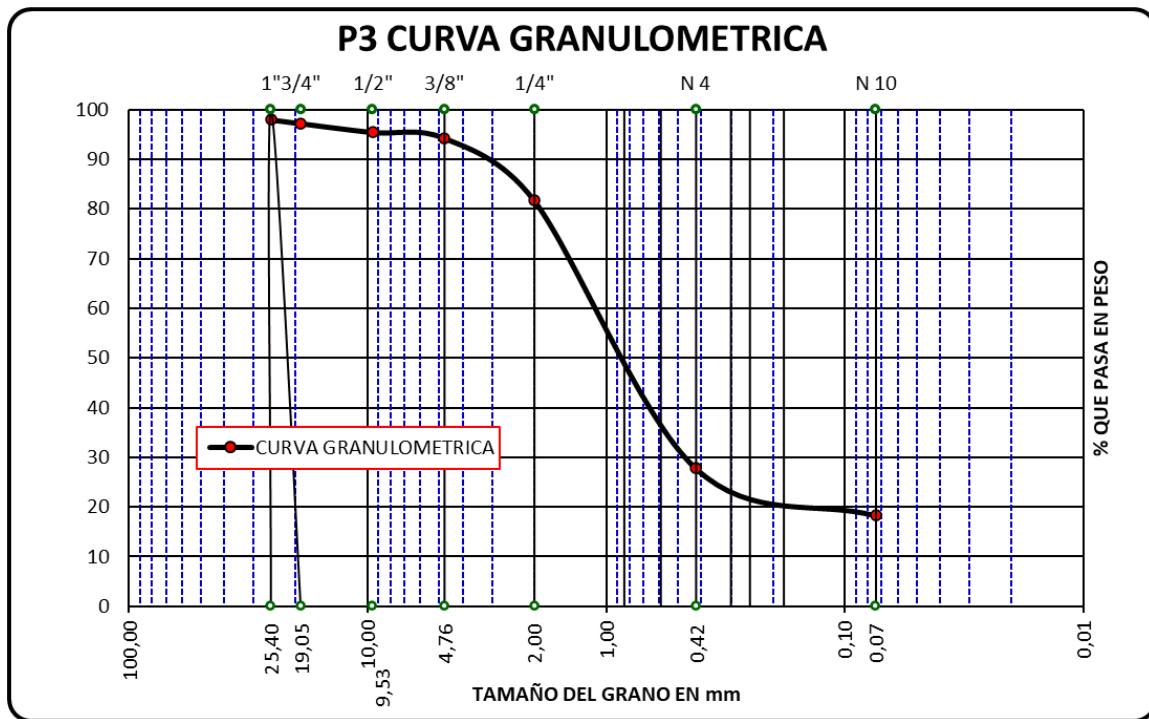
Fuente: elaboración propia

Gráfico 7. granulometría pozo-2



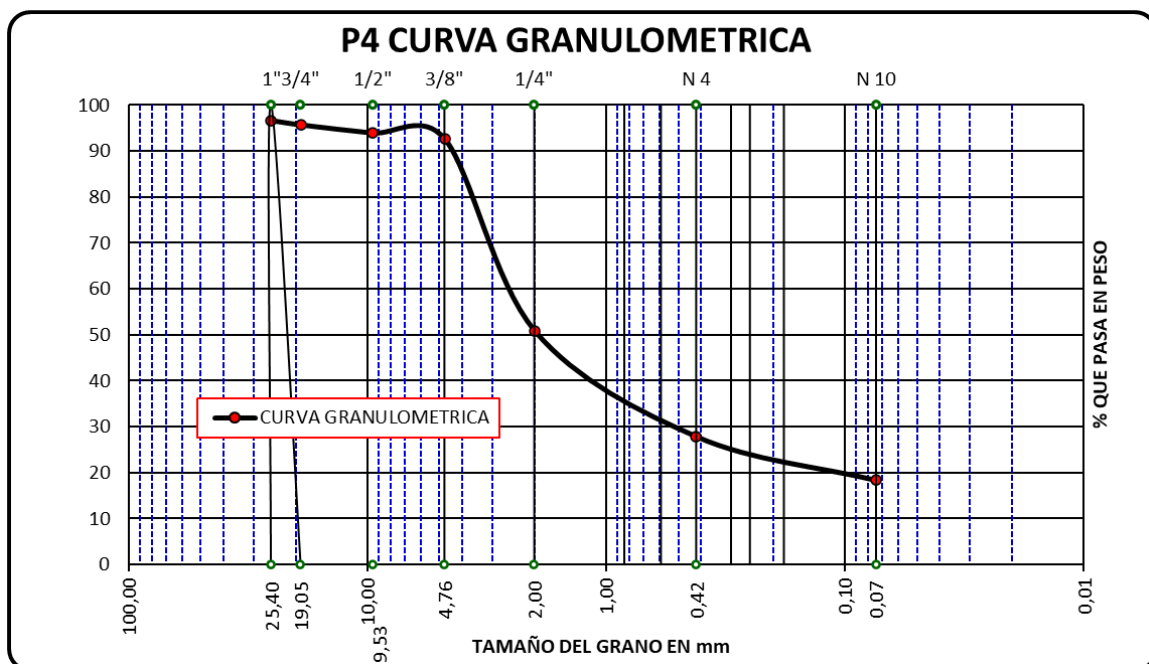
Fuente: elaboración propia

Gráfico 8. granulometría pozo-3



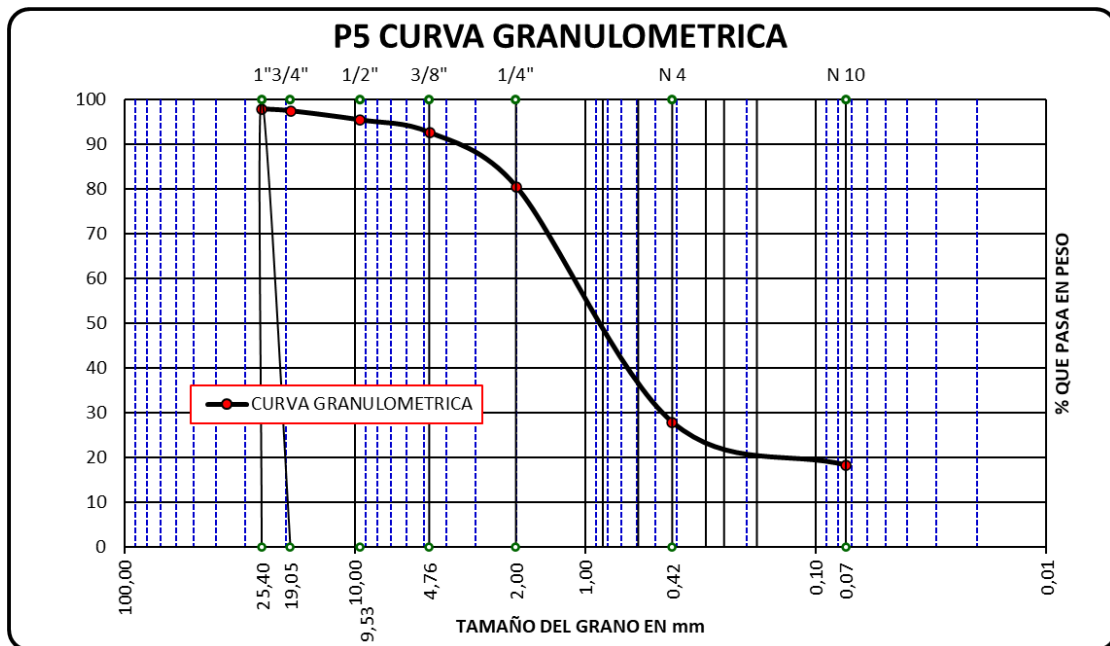
Fuente: elaboración propia

Gráfico 9. granulometría pozo-4



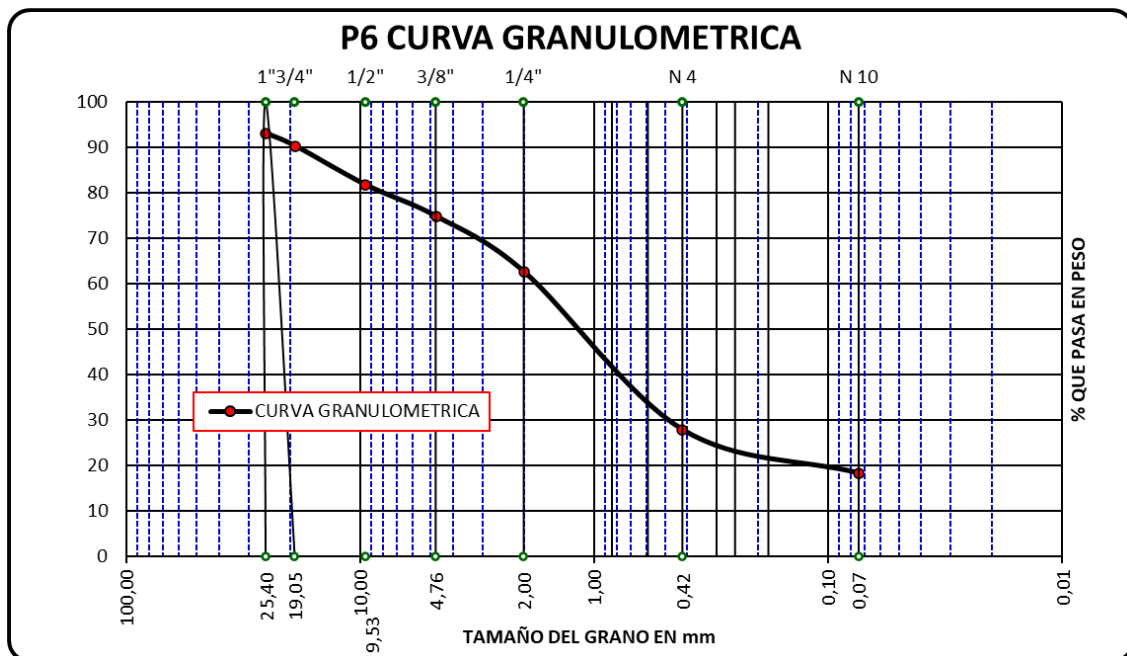
Fuente: elaboración propia

Gráfico 10. granulometría pozo-5



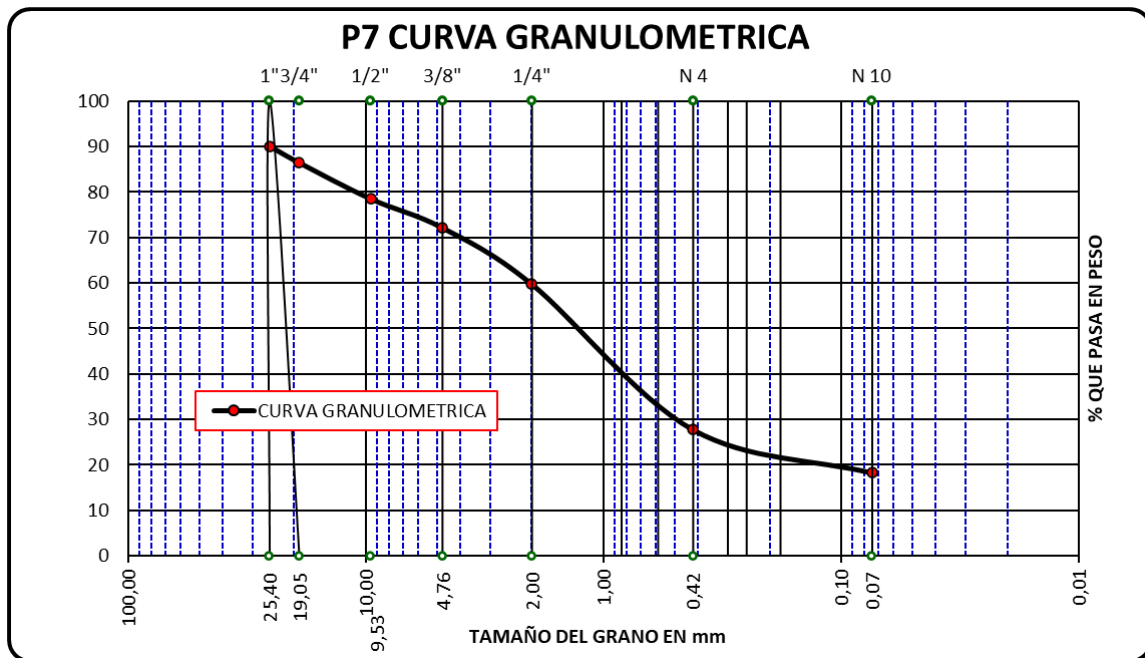
Fuente: elaboración propia

Gráfico 11. granulometría pozo-6



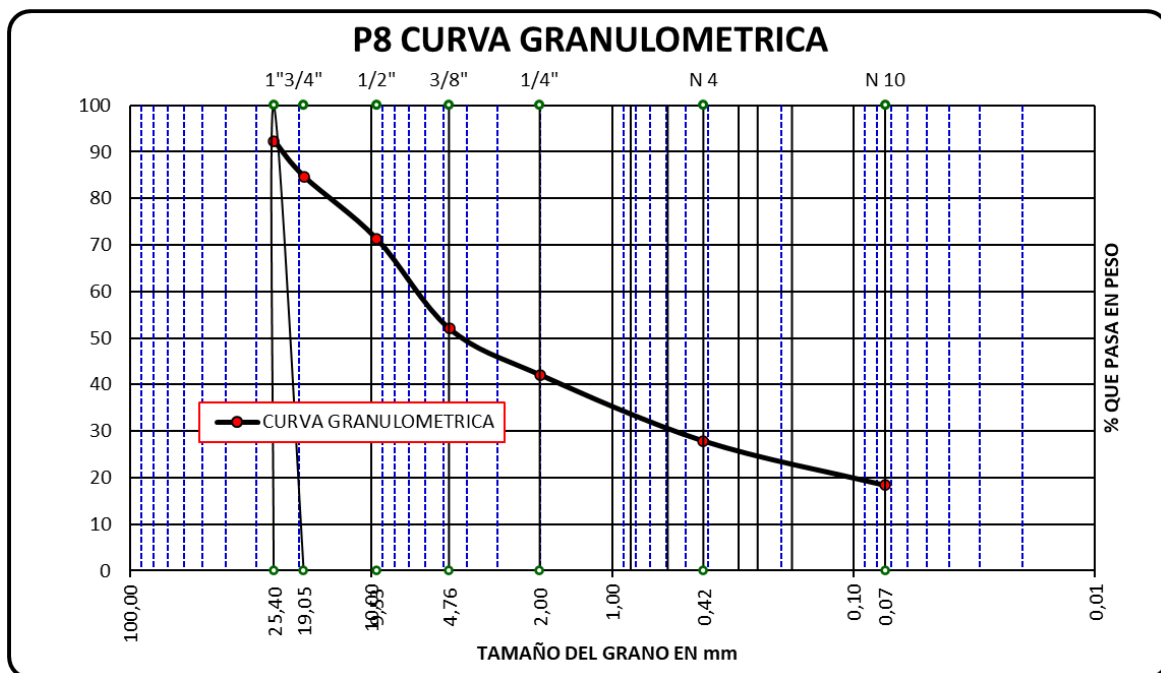
Fuente: elaboración propia

Gráfico 12. granulometría pozo-7



Fuente: elaboración propia

Gráfico 13. granulometría pozo-8



Fuente: elaboración propia

4.9 CONTENIDO DE HUMEDAD Y PREPARACION MUESTRAS PARA ENSAYOS PROCTOR

Luego de efectuado los ensayos de granulometría se procede a preparar las muestras para los ensayos PROCTOR y CBR

En las figuras siguientes se muestran las actividades y procedimientos que se efectuó en laboratorio

Figura 69. Muestras secadas al horno 105 °C



Fuente: elaboración propia

Figura 70. Muestras secas



Fuente: elaboración propia

4.10 ENSAYOS PROCTOR

Figura 71. equipo Proctor



Fuente: elaboración propia

Se procede a los ensayos Proctor para determinar la densidad máxima y cantidad de humedad óptima, de un determinado suelo en este caso de los suelos de Alpacomá

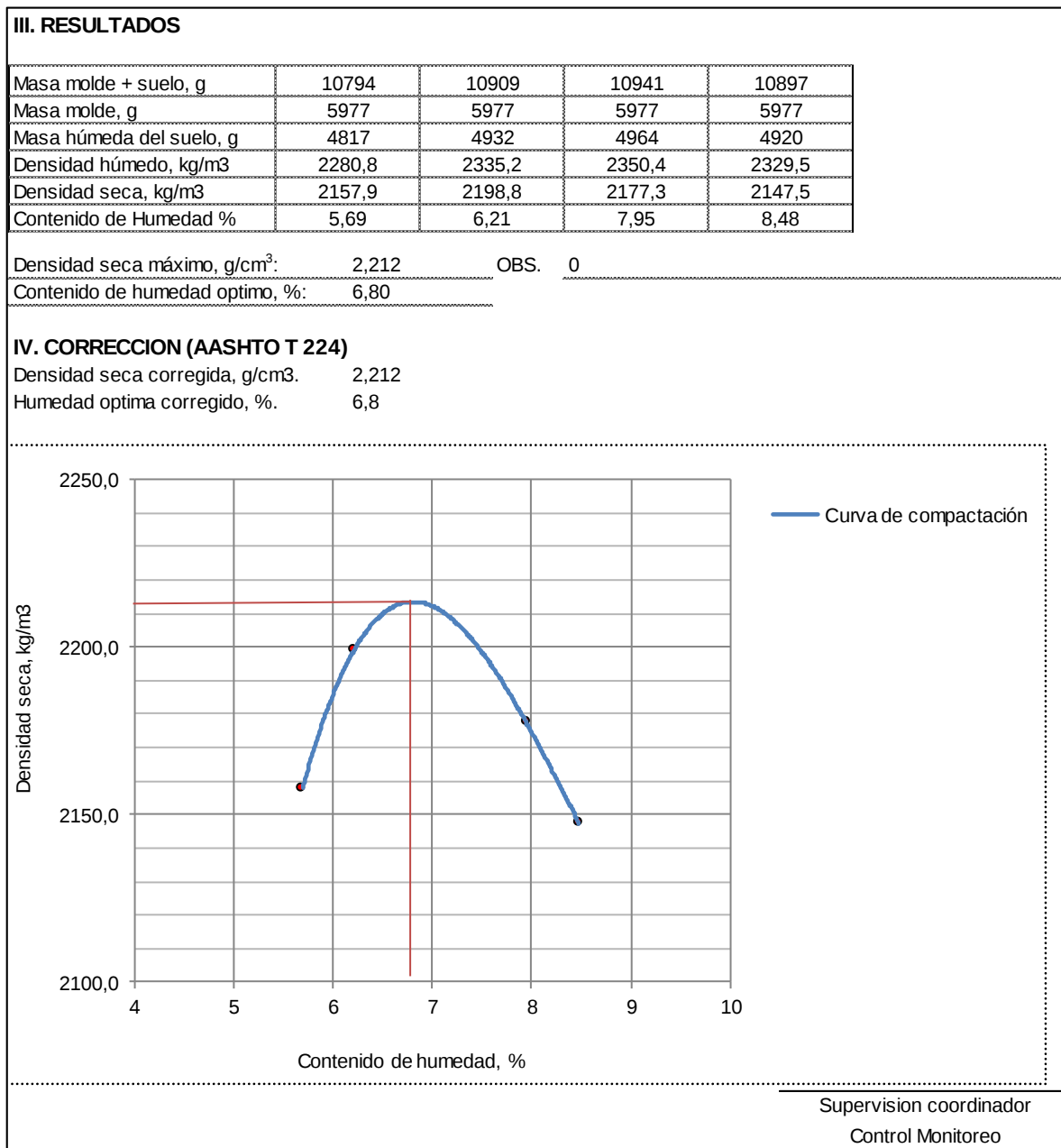
Figura 72. mezcla del material con agua, compactación Proctor modificado



Fuente elaboración propia

Las siguientes graficas se muestra los resultados obtenidos de Densidad Máxima y Humedad óptima para los ensayos CBR

Gráfico 14. PROCTOR POZO -1



Fuente elaboración propia

Gráfico 15. PROCTOR POZO -2

III. RESULTADOS

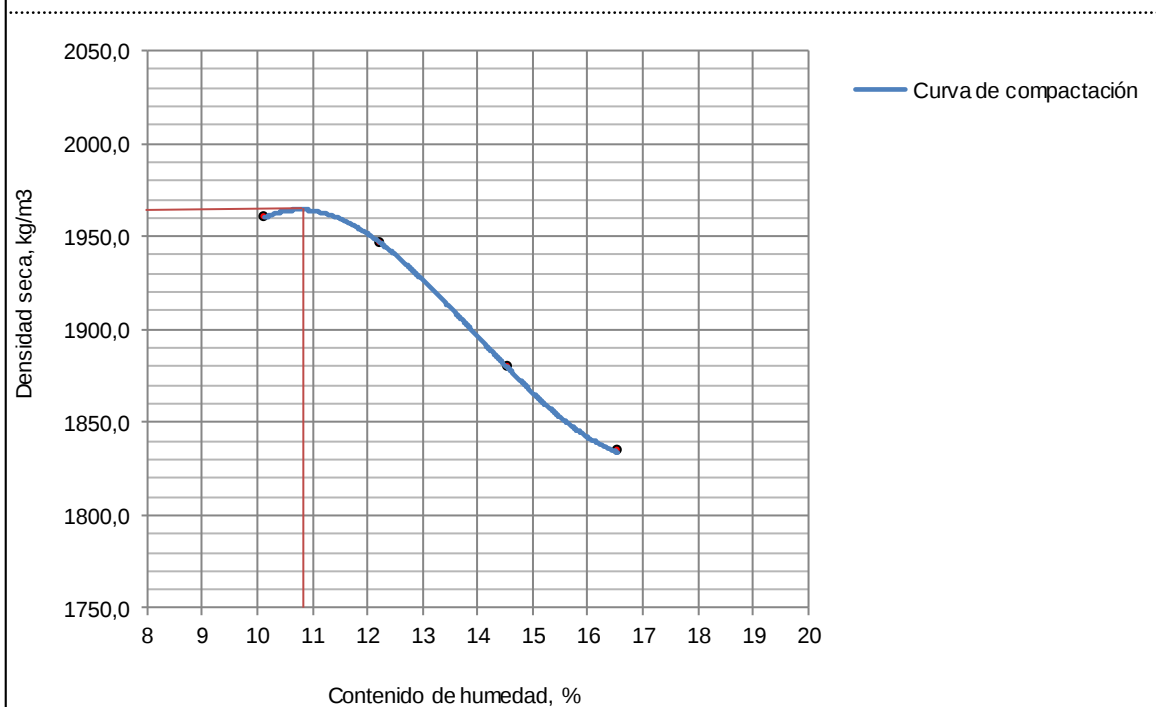
Masa molde + suelo, g	11123	11178	11110	11078
Masa molde, g	6536	6536	6536	6536
Masa húmeda del suelo, g	4587	4642	4574	4542
Densidad húmeda, kg/m ³	2158,6	2184,5	2152,5	2137,4
Densidad seca, kg/m ³	1960,0	1945,8	1879,0	1833,7
Contenido de Humedad %	10,13	12,27	14,56	16,56

Densidad seca máximo, g/cm³: 1,965 OBS. 0

Contenido de humedad óptimo, %: 10,90

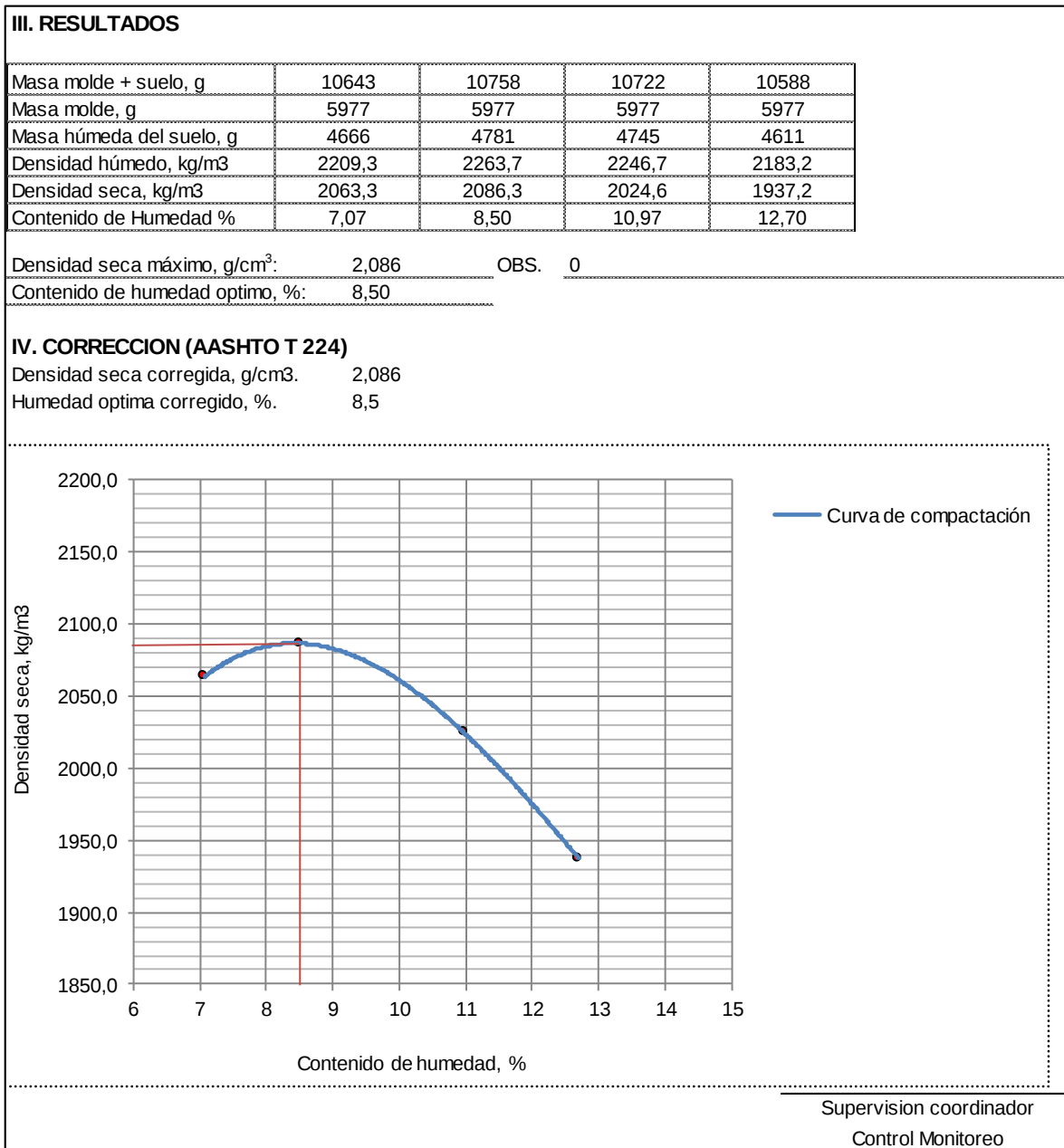
IV. CORRECCION (AASHTO T 224)Densidad seca corregida, g/cm³. 1,965

Humedad óptima corregido, %. 10,9

Supervision coordinador
Control Monitoreo

Fuente elaboración propia

Gráfico 16. PROCTOR POZO -3



Fuente elaboración propia

Gráfico 17. PROCTOR POZO -4

III. RESULTADOS

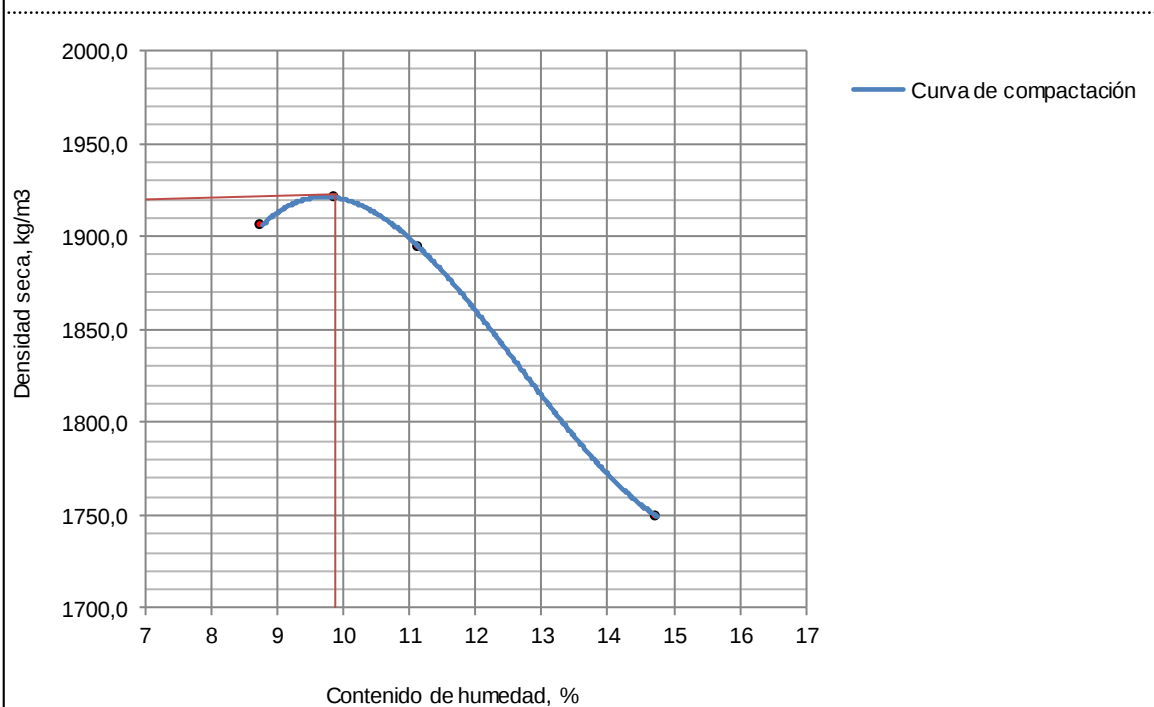
Masa molde + suelo, g	10355	10435	10423	10216
Masa molde, g	5977	5977	5977	5977
Masa húmeda del suelo, g	4378	4458	4446	4239
Densidad húmedo, kg/m ³	2072,9	2110,8	2105,1	2007,1
Densidad seca, kg/m ³	1905,8	1920,8	1893,8	1749,1
Contenido de Humedad %	8,77	9,89	11,16	14,75

Densidad seca máximo, g/cm³: 1,920 OBS. 0

Contenido de humedad óptimo, %: 9,90

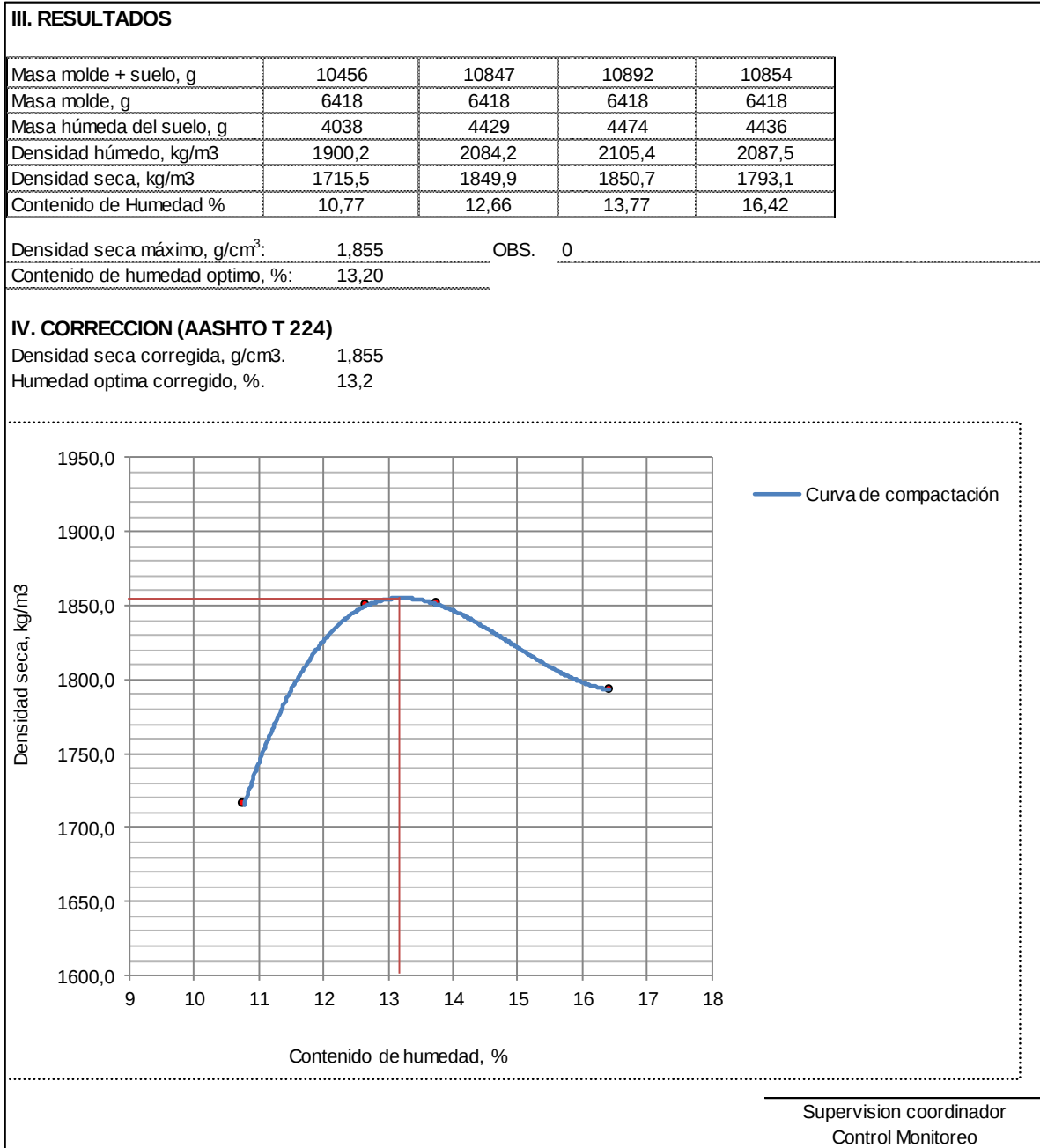
IV. CORRECCION (AASHTO T 224)Densidad seca corregida, g/cm³. 1,920

Humedad óptima corregido, %. 9,9

Supervision coordinador
Control Monitoreo

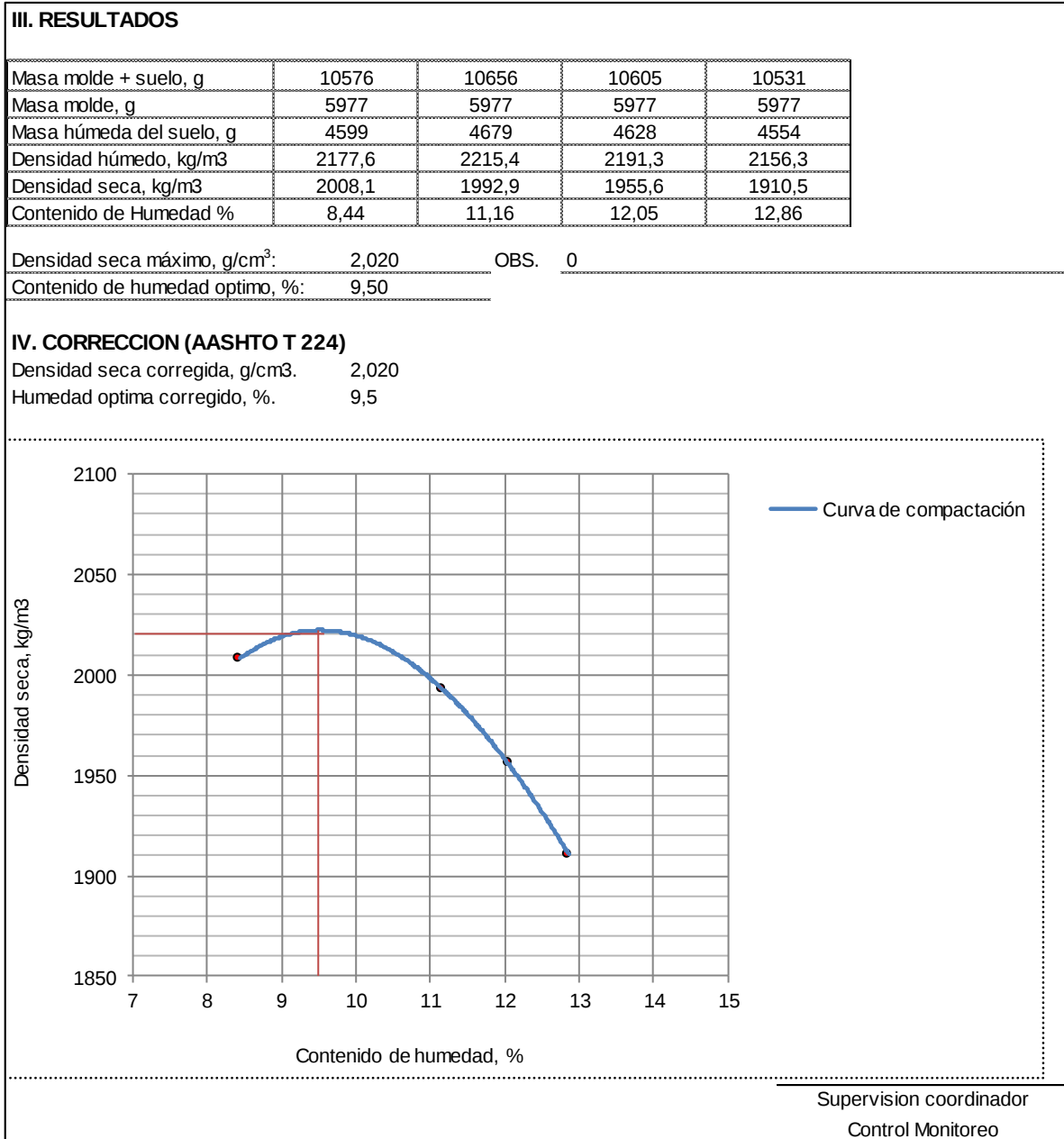
Fuente elaboración propia

Gráfico 18. PROCTOR POZO -5



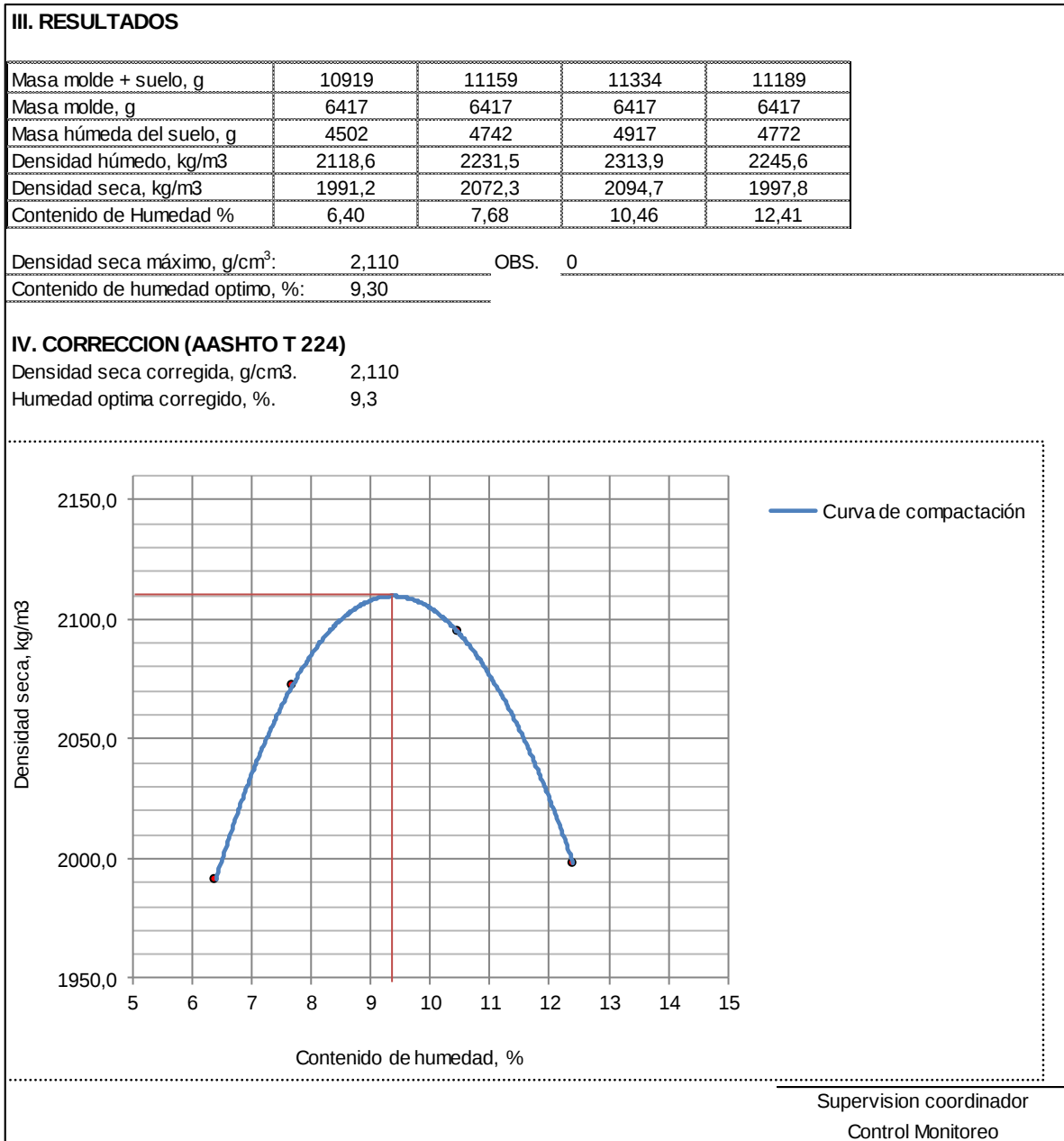
Fuente elaboración propia

Gráfico 19. PROCTOR POZO -6



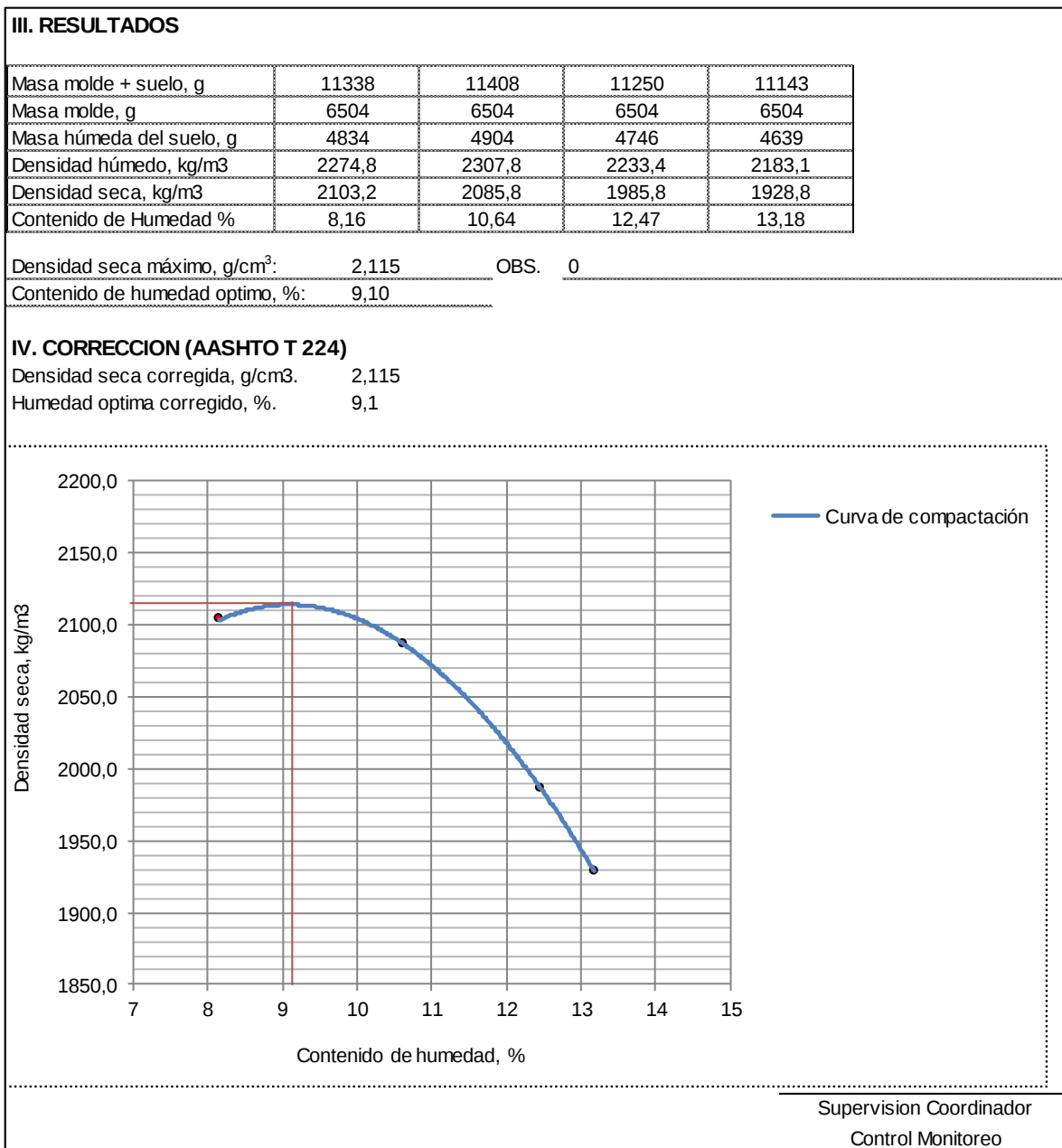
Fuente elaboración propia

Gráfico 20. PROCTOR POZO -7



Fuente elaboración propia

Gráfico 21. PROCTOR POZO -8



Fuente elaboración propia

Se aclara que para efectuar estos ensayos y desde el principio se presentaron varias eventualidades como la falta de un equipo SPT

También el lugar de estudio a presentado dificultades en su acceso al sector debido a que es un sector aislado y con riesgos en la realización de excavación de pozos, Su análisis mediante los ensayos SPT y CBR resultarán de mucha utilidad ya que se obtendrán datos importantes del sector Alpacoma.

**FORMULACION DE UN MODELO MATEMATICO QUE
RELACIONE LOS ENSAYOS DE PENETRACION ESTANDAR
SPT Y CBR EN SUELOS DEL SECTOR ALPACOMA, EL ALTO.**

4.11 ENSAYOS CBR

Se procede a los ensayos CBR de cada uno de los pozos sondeados en el sector Alpacoma, estos ensayos de laboratorio se efectuaron en el laboratorio de la carrera de Ingeniería civil de los cuales se puede identificar el proceso según la norma ASTM D 1883 - AASHTO T193.

se efectuó según el siguiente procedimiento de hitos importantes:

- Elaboración de 3 muestras de suelo de cada pozo, similar al ensayo Proctor, con los tamices de 3/8, nro 4 , Nro 200 y base, y cada muestra con aproximadamente 5.500 gr, haciendo un total de 24 muestras
- Preparación de muestras con las humedades optimas, y para ello se adiciona la cantidad de agua necesaria para alcanzar la humedad optima
- En moldes normalizados se adicionan las muestras homogenizadas con agua y se proceden a compactar con el martinete normalizado en 5 capas cada muestra y procediendo a incrementar la energía de compactación de 12 golpes, 25 golpes y 56 en cada muestra.
- Se sumergen las muestras compactadas en agua por 90 hrs
- Se miden la expansión de muestras al inicio y al final
- Se saca las muestras del recipiente y se deja escurrir el agua por aproximadante entre 10 a 15 min
- Se efectúan los pesajes correspondientes a las muestras semi-humedas y saturadas
- Se sacan muestras semihúmedas y saturadas para determinar el contenido de humedad
- Se efectúa el ensayo de penetración en el equipo Marshall de cada muestra y se miden las penetraciones desde (0.025; 0.050; 0.075; 0.100; 0.200; 0.300; 0.400; 0.500) plg, a una velocidad de 1.27 mm/min

Figura.73. Equipos CBR



Fuente elaboración propia

Figura 74. Moldes CBR



Fuente elaboración propia

Figura 75. escurrimiento de las muestras y pesado de muestras



Fuente elaboración propia

Figura 76. secado de muestras en horno a 110°C durante 24 hrs



Fuente elaboración propia

Figura. 77. Muestras sumergidas por 96 hrs



Ensayo de penetración CBR



Fuente elaboración propia

Se procede al cálculo de los ensayos de laboratorio mediante los siguientes cuadros y gráficos

TABLA 9. Ensayos de penetración CBR pozo 1

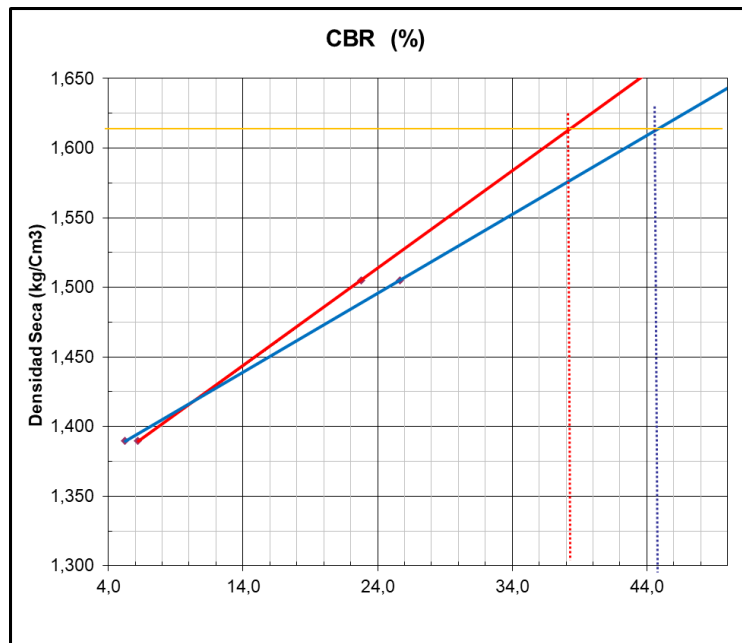
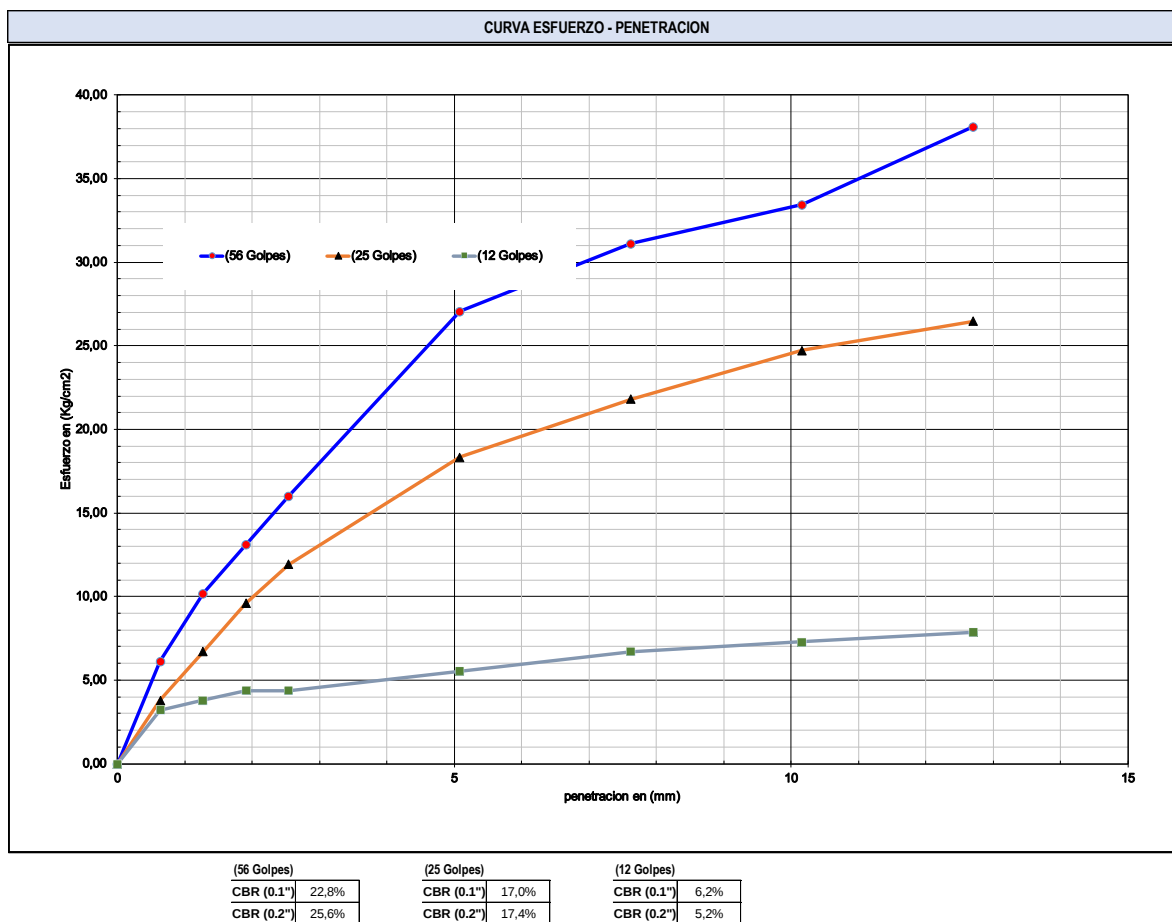
Penetracion		Carga Normal	(56 Golpes)				
			Lectura Div.	Carga de Ensayo			CBR
[plg.]	[mm]	[kg/cm ²]		[kg]	Calculado [kg/cm ²]	Calculado MPa	Calculado [%]
0,000	0,00		0	0,00	0,00	0,00	
0,025	0,64		7	118,16	6,12	0,60	
0,050	1,27		14	196,80	10,19	1,00	
0,075	1,91		19	252,97	13,09	1,28	
0,100	2,54	70,3	24	309,15	16,00	1,57	22,76
0,200	5,08	105,45	43	522,61	27,05	2,65	25,65
0,300	7,62		50	601,25	31,12	3,05	
0,400	10,16		54	646,19	33,44	3,28	
0,500	12,70		62	736,07	38,10	3,74	

(25 Golpes)				
Lectura Div.	Carga de Ensayo			CBR
	[kg]	Calculado	Calculado	Calculado
		[kg/cm ²]	MPa	
0	0,00	0,00	0,00	
3	73,22	3,79	0,37	
8	129,39	6,70	0,66	
13	185,57	9,60	0,94	
17	230,50	11,93	1,17	16,97
28	354,09	18,33	1,80	17,38
34	421,50	21,81	2,14	
39	477,67	24,72	2,43	
42	511,38	26,47	2,60	

(12 Golpes)				
Lectura Div.	Carga de Ensayo			CBR
	[kg]	Calculado	Calculado	Calculado
		[kg/cm ²]	MPa	
0	0,00	0,00	0,00	
2	61,98	3,21	0,31	
3	73,22	3,79	0,37	
4	84,45	4,37	0,43	
4	84,45	4,37	0,43	6,22
6	106,92	5,53	0,54	5,25
8	129,39	6,70	0,66	
9	140,63	7,28	0,71	
10	151,86	7,86	0,77	

Fuente elaboración propia

Gráfico 22. Esfuerzo -penetración y CBR pozo 1



Fuente elaboración propia

**FORMULACION DE UN MODELO MATEMATICO QUE
RELACIONE LOS ENSAYOS DE PENETRACION ESTANDAR
SPT Y CBR EN SUELOS DEL SECTOR ALPACOMA, EL ALTO.**

TABLA 10. Ensayos de penetración CBR pozo 2

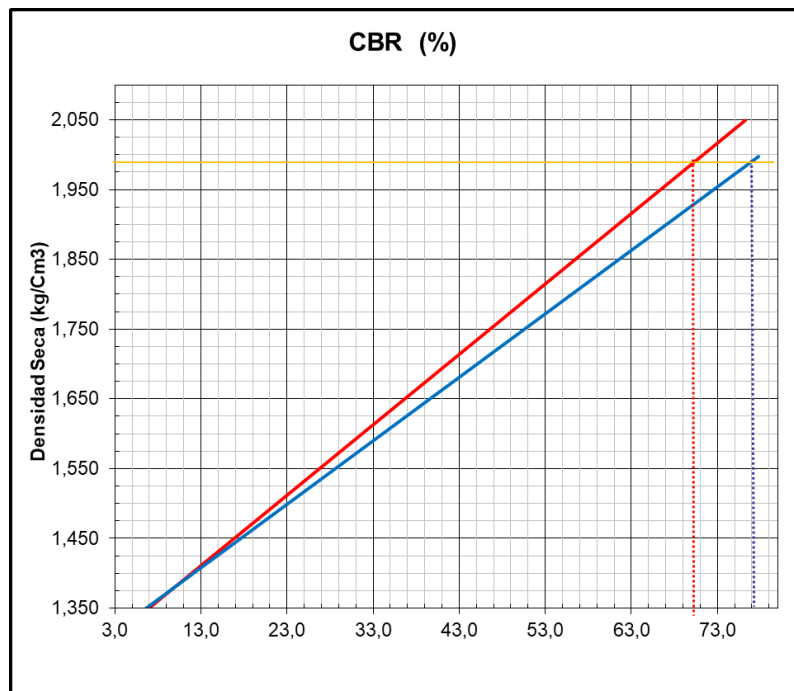
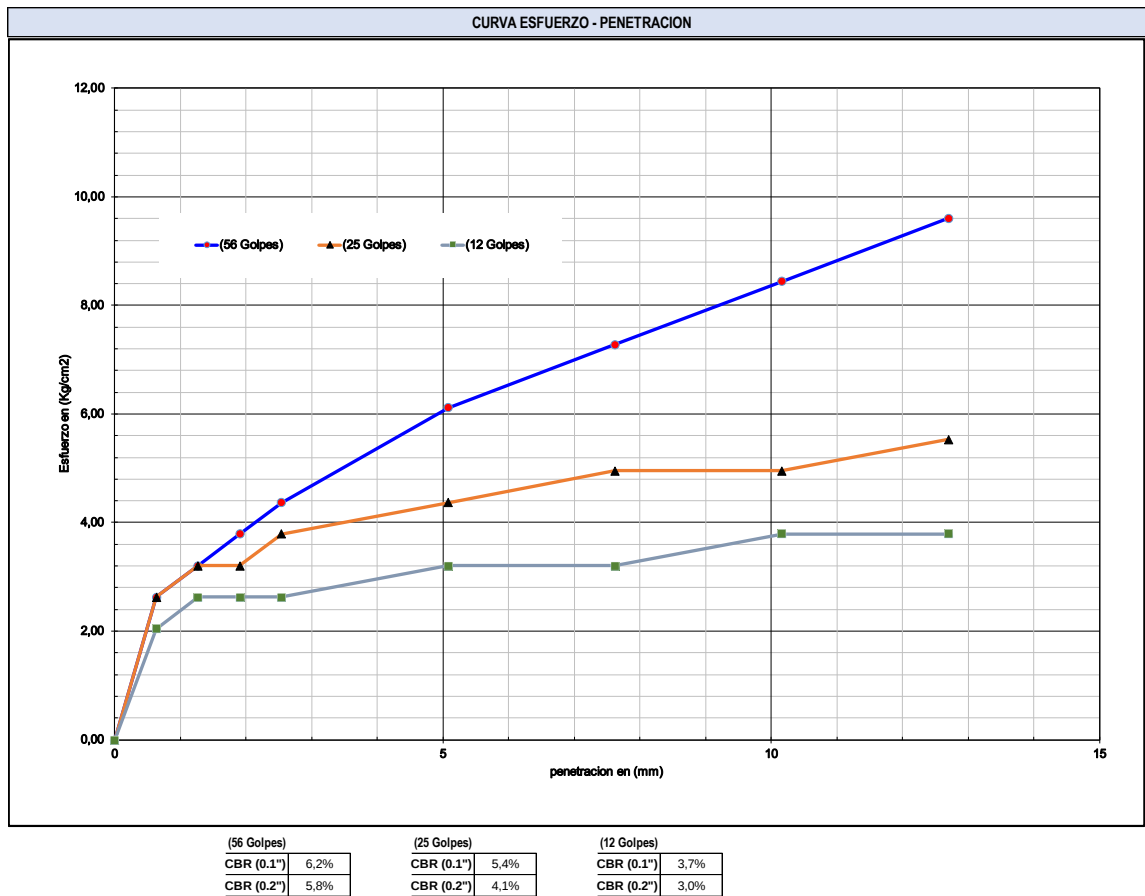
Penetracion		Carga Normal	(56 Golpes)				
			Lectura Div.	Carga de Ensayo			CBR
[plg.]	[mm]	[kg/cm ²]		[kg]	Calculado	Calculado	Calculado
					[kg/cm ²]	MPa	[%]
0,000	0,00		0	0,00	0,00	0,00	
0,025	0,64		1	50,75	2,63	0,26	
0,050	1,27		2	61,98	3,21	0,31	
0,075	1,91		3	73,22	3,79	0,37	
0,100	2,54	70,3	4	84,45	4,37	0,43	6,22
0,200	5,08	105,45	7	118,16	6,12	0,60	5,80
0,300	7,62		9	140,63	7,28	0,71	
0,400	10,16		11	163,10	8,44	0,83	
0,500	12,70		13	185,57	9,60	0,94	

(25 Golpes)				
Lectura Div.	Carga de Ensayo			CBR
	[kg]	Calculado	Calculado	Calculado
		[kg/cm ²]	MPa	[%]
0	0,00	0,00	0,00	
1	50,75	2,63	0,26	
2	61,98	3,21	0,31	
2	61,98	3,21	0,31	
3	73,22	3,79	0,37	5,39
4	84,45	4,37	0,43	4,14
5	95,69	4,95	0,49	
5	95,69	4,95	0,49	
6	106,92	5,53	0,54	

(12 Golpes)				
Lectura Div.	Carga de Ensayo			CBR
	[kg]	Calculado	Calculado	Calculado
		[kg/cm ²]	MPa	[%]
0	0,00	0,00	0,00	
0	39,51	2,04	0,20	
1	50,75	2,63	0,26	
1	50,75	2,63	0,26	
1	50,75	2,63	0,26	3,74
2	61,98	3,21	0,31	3,04
2	61,98	3,21	0,31	
3	73,22	3,79	0,37	
3	73,22	3,79	0,37	

Fuente elaboración propia

Gráfico 23. Esfuerzo -penetración y CBR pozo 2



Fuente elaboración propia

**FORMULACION DE UN MODELO MATEMATICO QUE
RELACIONE LOS ENSAYOS DE PENETRACION ESTANDAR
SPT Y CBR EN SUELOS DEL SECTOR ALPACOMA, EL ALTO.**

TABLA 11. Ensayos de penetración CBR pozo 3

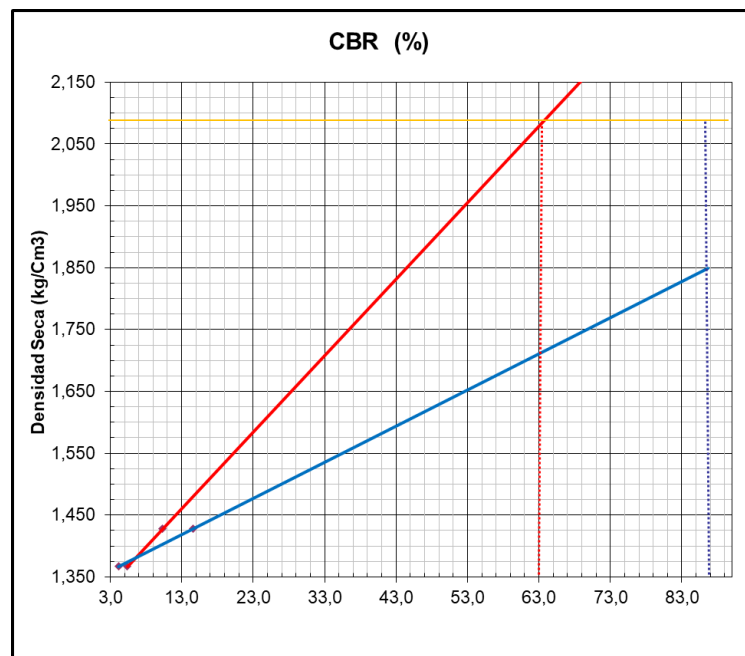
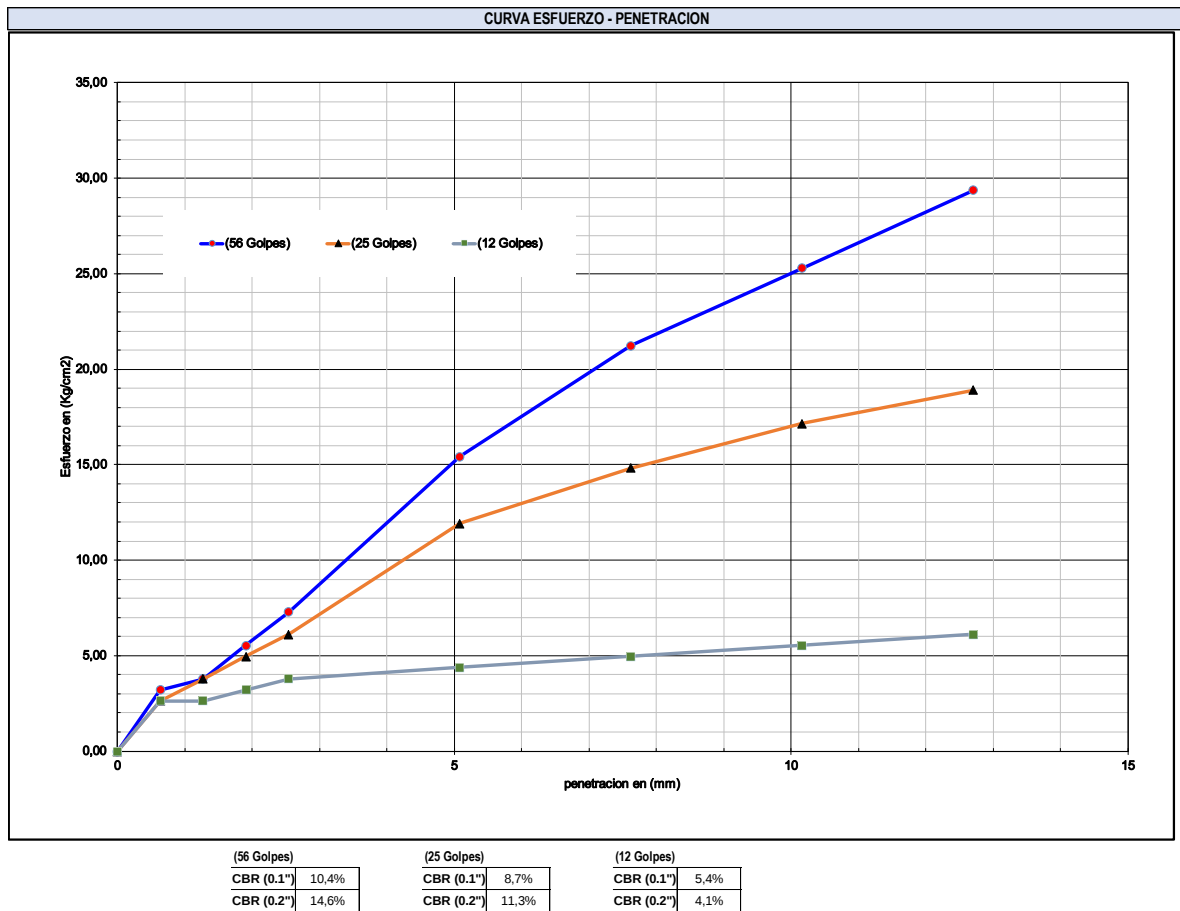
Penetracion		Carga Normal	(56 Golpes)				
			Lectura Div.	Carga de Ensayo			CBR
				[kg]	Calculado	Calculado	Calculado
[plg.]	[mm]	[kg/cm ²]			[kg/cm ²]	MPa	[%]
0,000	0,00		0	0,00	0,00	0,00	
0,025	0,64		2	61,98	3,21	0,31	
0,050	1,27		3	73,22	3,79	0,37	
0,075	1,91		6	106,92	5,53	0,54	
0,100	2,54	70,3	9	140,63	7,28	0,71	10,35
0,200	5,08	105,45	23	297,91	15,42	1,51	14,62
0,300	7,62		33	410,26	21,23	2,08	
0,400	10,16		40	488,91	25,30	2,48	
0,500	12,70		47	567,55	29,37	2,88	

(25 Golpes)				
Lectura Div.	Carga de Ensayo			CBR
	[kg]	Calculado	Calculado	Calculado
		[kg/cm ²]	MPa	[%]
0	0,00	0,00	0,00	
1	50,75	2,63	0,26	
3	73,22	3,79	0,37	
5	95,69	4,95	0,49	
7	118,16	6,12	0,60	8,70
17	230,50	11,93	1,17	11,31
22	286,68	14,84	1,46	
26	331,62	17,16	1,68	
29	365,32	18,91	1,85	

(12 Golpes)				
Lectura Div.	Carga de Ensayo			CBR
	[kg]	Calculado	Calculado	Calculado
		[kg/cm ²]	MPa	[%]
0	0,00	0,00	0,00	
1	50,75	2,63	0,26	
1	50,75	2,63	0,26	
2	61,98	3,21	0,31	
3	73,22	3,79	0,37	5,39
4	84,45	4,37	0,43	4,14
5	95,69	4,95	0,49	
6	106,92	5,53	0,54	
7	118,16	6,12	0,60	

Fuente elaboración propia

Gráfico 24. Esfuerzo -penetración y CBR pozo 3



Fuente elaboración propia

**FORMULACION DE UN MODELO MATEMATICO QUE
RELACIONE LOS ENSAYOS DE PENETRACION ESTANDAR
SPT Y CBR EN SUELOS DEL SECTOR ALPACOMA, EL ALTO.**

TABLA 12. Ensayos de penetración CBR pozo 4

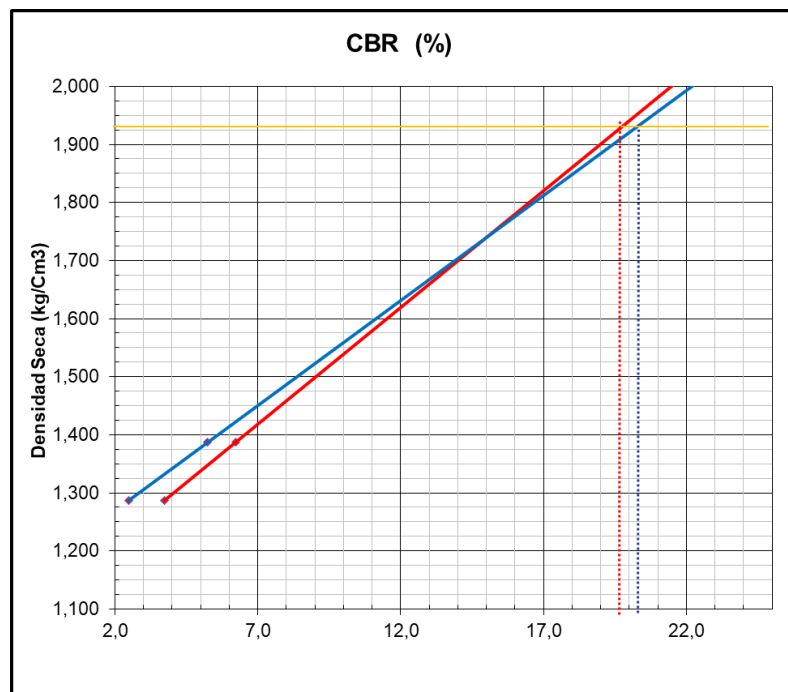
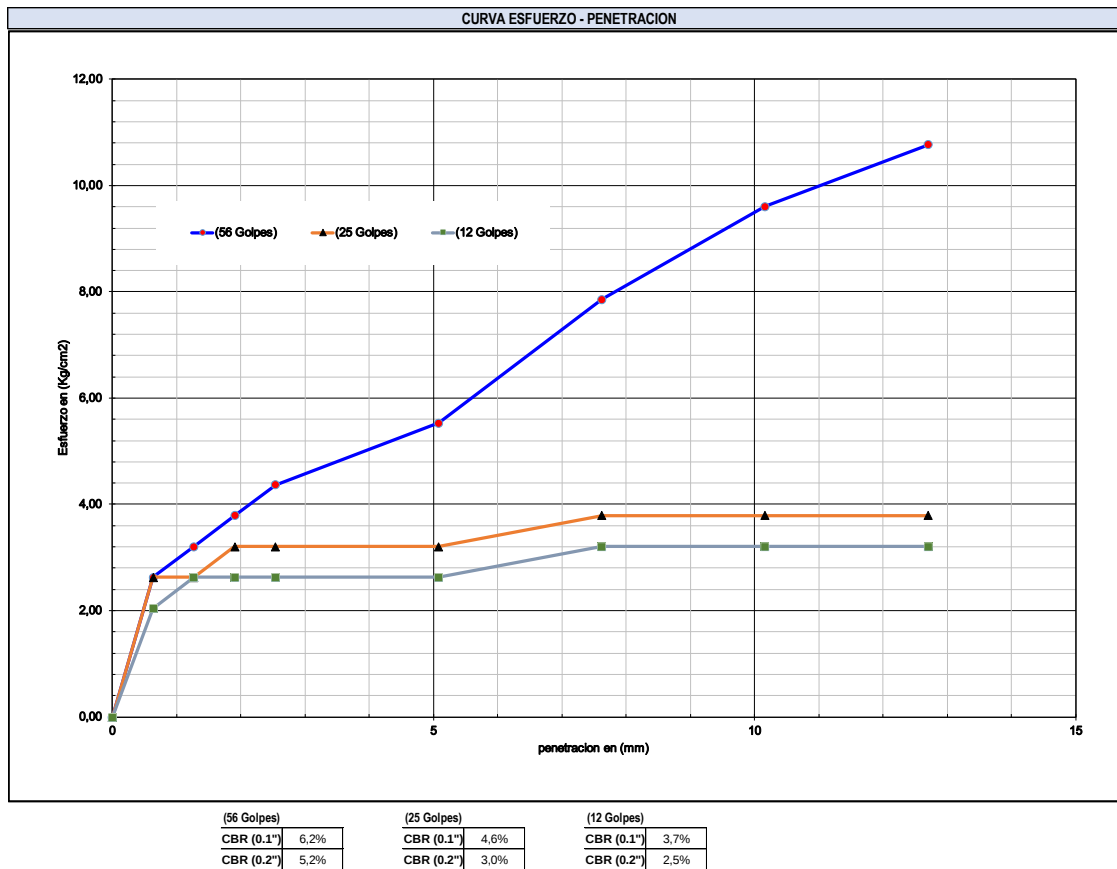
Penetracion		Carga Normal	(56 Golpes)				
			Lectura Div.	Carga de Ensayo			CBR
				[kg]	Calculado	Calculado	Calculado
[plg.]	[mm]	[kg/cm ²]			[kg/cm ²]	MPa	[%]
0,000	0,00		0	0,00	0,00	0,00	
0,025	0,64		1	50,75	2,63	0,26	
0,050	1,27		2	61,98	3,21	0,31	
0,075	1,91		3	73,22	3,79	0,37	
0,100	2,54	70,3	4	84,45	4,37	0,43	6,22
0,200	5,08	105,45	6	106,92	5,53	0,54	5,25
0,300	7,62		10	151,86	7,86	0,77	
0,400	10,16		13	185,57	9,60	0,94	
0,500	12,70		15	208,03	10,77	1,06	

(25 Golpes)				
Lectura Div.	Carga de Ensayo			CBR
	[kg]	Calculado	Calculado	Calculado
		[kg/cm ²]	MPa	[%]
0	0,00	0,00	0,00	
1	50,75	2,63	0,26	
1	50,75	2,63	0,26	
2	61,98	3,21	0,31	
2	61,98	3,21	0,31	4,56
2	61,98	3,21	0,31	3,04
3	73,22	3,79	0,37	
3	73,22	3,79	0,37	
3	73,22	3,79	0,37	

(12 Golpes)				
Lectura Div.	Carga de Ensayo			CBR
	[kg]	Calculado	Calculado	Calculado
		[kg/cm ²]	MPa	[%]
0	0,00	0,00	0,00	
0	39,51	2,04	0,20	
1	50,75	2,63	0,26	
1	50,75	2,63	0,26	
1	50,75	2,63	0,26	3,74
1	50,75	2,63	0,26	2,49
2	61,98	3,21	0,31	
2	61,98	3,21	0,31	
2	61,98	3,21	0,31	

Fuente elaboración propia

Gráfico 25. Esfuerzo -penetración y CBR pozo 4



Fuente elaboración propia

**FORMULACION DE UN MODELO MATEMATICO QUE
RELACIONE LOS ENSAYOS DE PENETRACION ESTANDAR
SPT Y CBR EN SUELOS DEL SECTOR ALPACOMA, EL ALTO.**

TABLA 13. Ensayos de penetración CBR pozo 5

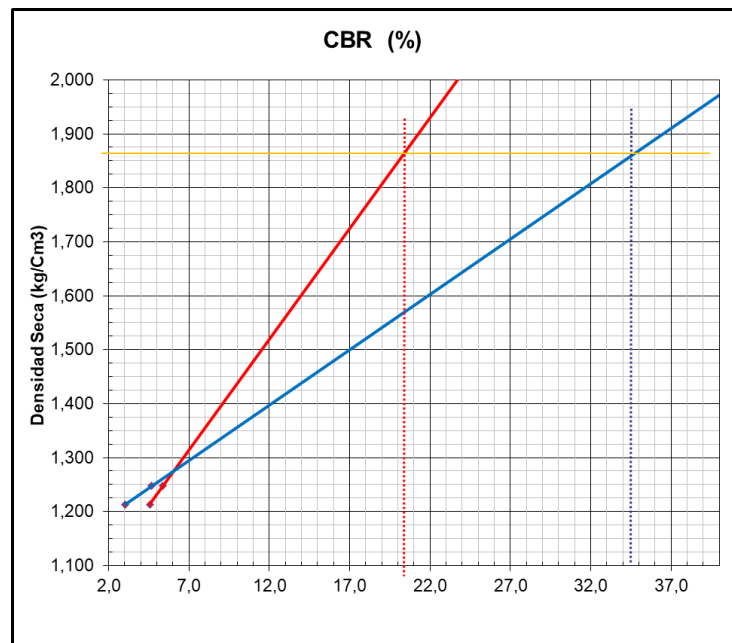
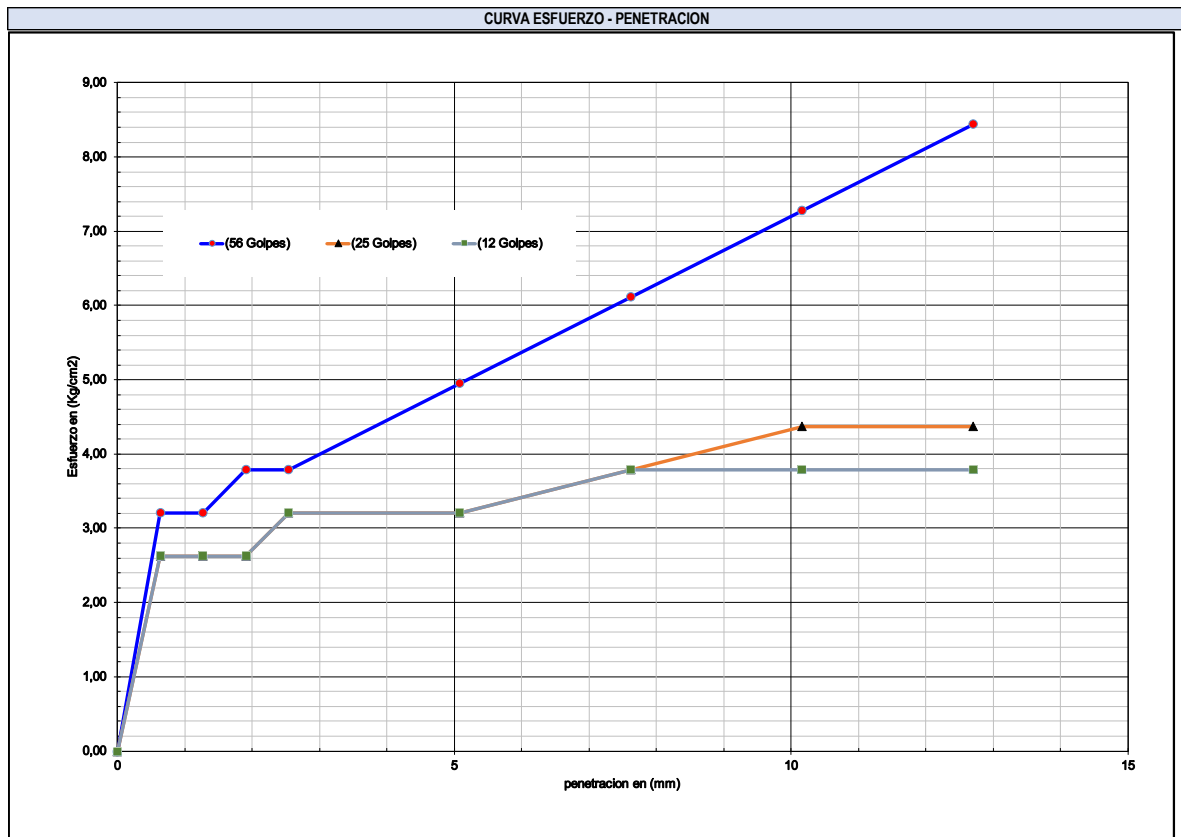
Penetracion		Carga Normal	(56 Golpes)				
			Lectura Div.	Carga de Ensayo			CBR
[plg.]	[mm]	[kg/cm ²]		[kg]	Calculado	Calculado	Calculado
					[kg/cm ²]	MPa	[%]
0,000	0,00		0	0,00	0,00	0,00	
0,025	0,64		2	61,98	3,21	0,31	
0,050	1,27		2	61,98	3,21	0,31	
0,075	1,91		3	73,22	3,79	0,37	
0,100	2,54	70,3	3	73,22	3,79	0,37	5,39
0,200	5,08	105,45	5	95,69	4,95	0,49	4,70
0,300	7,62		7	118,16	6,12	0,60	
0,400	10,16		9	140,63	7,28	0,71	
0,500	12,70		11	163,10	8,44	0,83	

(25 Golpes)				
Lectura Div.	Carga de Ensayo			CBR
	[kg]	Calculado	Calculado	Calculado
		[kg/cm ²]	MPa	[%]
0	0,00	0,00	0,00	
1	50,75	2,63	0,26	
1	50,75	2,63	0,26	
1	50,75	2,63	0,26	
2	61,98	3,21	0,31	4,56
2	61,98	3,21	0,31	3,04
3	73,22	3,79	0,37	
4	84,45	4,37	0,43	
4	84,45	4,37	0,43	

(12 Golpes)				
Lectura Div.	Carga de Ensayo			CBR
	[kg]	Calculado	Calculado	Calculado
		[kg/cm ²]	MPa	[%]
0	0,00	0,00	0,00	
1	50,75	2,63	0,26	
1	50,75	2,63	0,26	
1	50,75	2,63	0,26	
2	61,98	3,21	0,31	4,56
2	61,98	3,21	0,31	3,04
3	73,22	3,79	0,37	
3	73,22	3,79	0,37	
3	73,22	3,79	0,37	

Fuente elaboración propia

Gráfico 26. Esfuerzo -penetración y CBR pozo 5



Fuente elaboración propia

**FORMULACION DE UN MODELO MATEMATICO QUE
RELACIONE LOS ENSAYOS DE PENETRACION ESTANDAR
SPT Y CBR EN SUELOS DEL SECTOR ALPACOMA, EL ALTO.**

TABLA 14. Ensayos de penetración CBR pozo 6

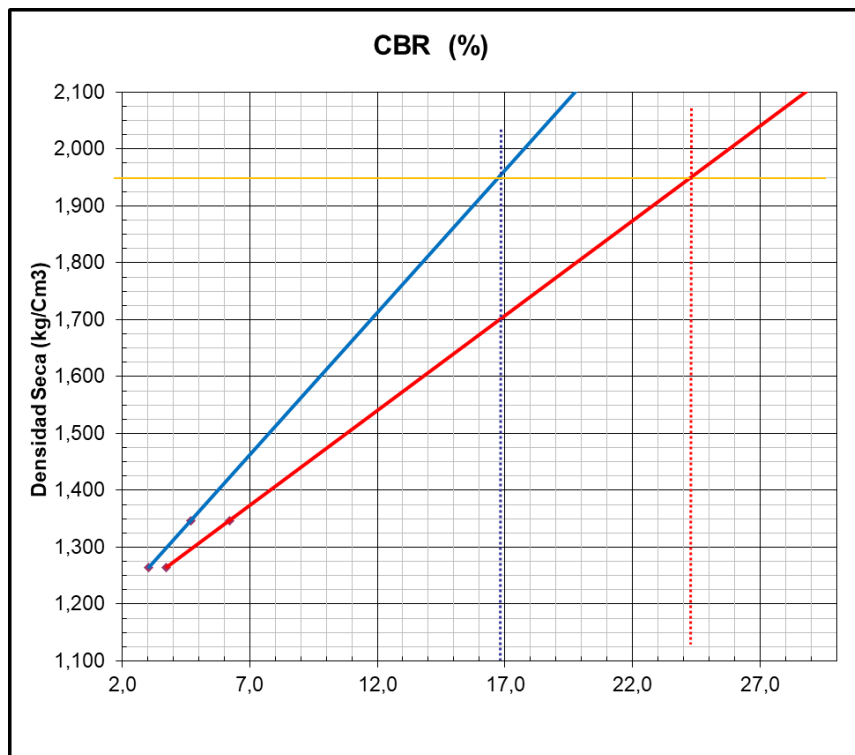
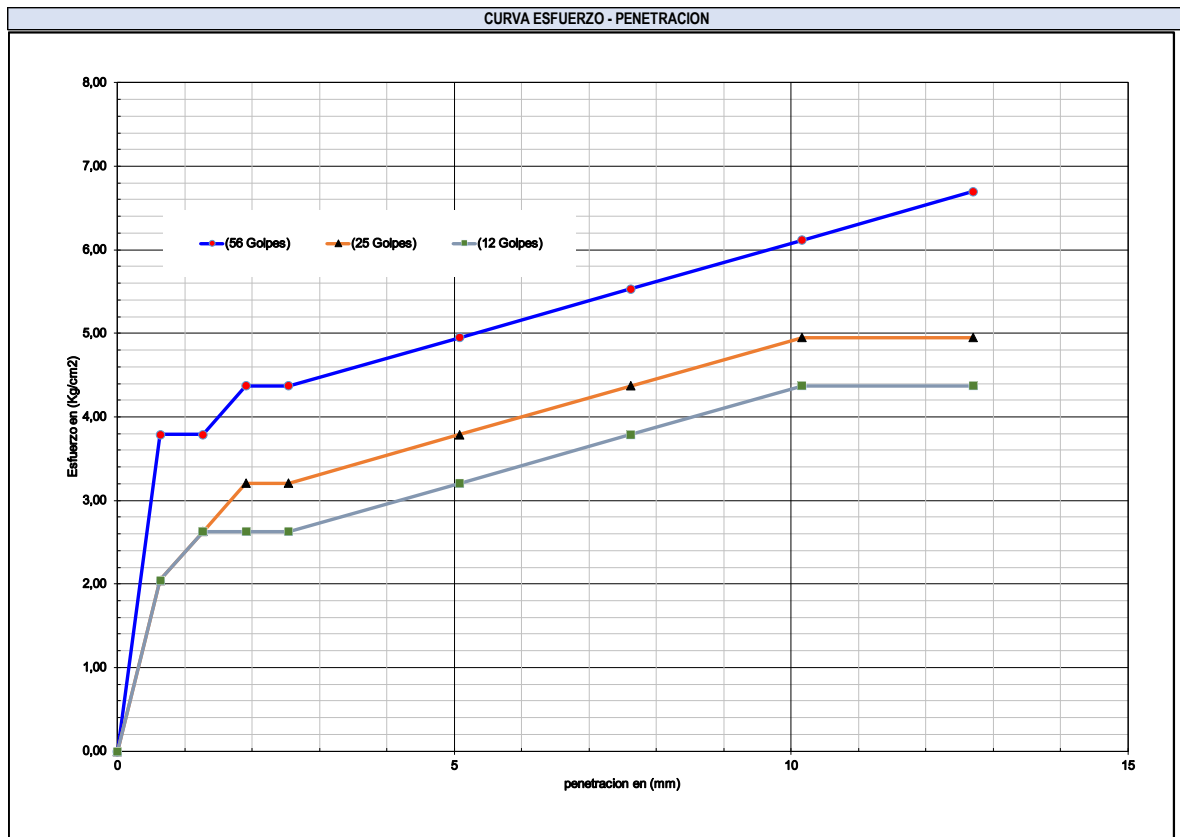
Penetracion		Carga Normal	(56 Golpes)				
			Lectura Div.	Carga de Ensayo			CBR
				[kg]	Calculado	Calculado	Calculado
[plg.]	[mm]	[kg/cm ²]			[kg/cm ²]	MPa	[%]
0,000	0,00		0	0,00	0,00	0,00	
0,025	0,64		3	73,22	3,79	0,37	
0,050	1,27		3	73,22	3,79	0,37	
0,075	1,91		4	84,45	4,37	0,43	
0,100	2,54	70,3	4	84,45	4,37	0,43	6,22
0,200	5,08	105,45	5	95,69	4,95	0,49	4,70
0,300	7,62		6	106,92	5,53	0,54	
0,400	10,16		7	118,16	6,12	0,60	
0,500	12,70		8	129,39	6,70	0,66	

(25 Golpes)				
Lectura Div.	Carga de Ensayo			CBR
	[kg]	Calculado	Calculado	Calculado
		[kg/cm ²]	MPa	[%]
0	0,00	0,00	0,00	
0	39,51	2,04	0,20	
1	50,75	2,63	0,26	
2	61,98	3,21	0,31	
2	61,98	3,21	0,31	4,56
3	73,22	3,79	0,37	3,59
4	84,45	4,37	0,43	
5	95,69	4,95	0,49	
5	95,69	4,95	0,49	

(12 Golpes)				
Lectura Div.	Carga de Ensayo			CBR
	[kg]	Calculado	Calculado	Calculado
		[kg/cm ²]	MPa	[%]
0	0,00	0,00	0,00	
0	39,51	2,04	0,20	
1	50,75	2,63	0,26	
1	50,75	2,63	0,26	
1	50,75	2,63	0,26	3,74
2	61,98	3,21	0,31	3,04
3	73,22	3,79	0,37	
4	84,45	4,37	0,43	
4	84,45	4,37	0,43	

Fuente elaboración propia

Gráfico 27. Esfuerzo -penetración y CBR pozo 6



Fuente elaboración propia

FORMULACION DE UN MODELO MATEMATICO QUE
RELACIONE LOS ENSAYOS DE PENETRACION ESTANDAR
SPT Y CBR EN SUELOS DEL SECTOR ALPACOMA, EL ALTO.

TABLA 15. Ensayos de penetración CBR pozo 7

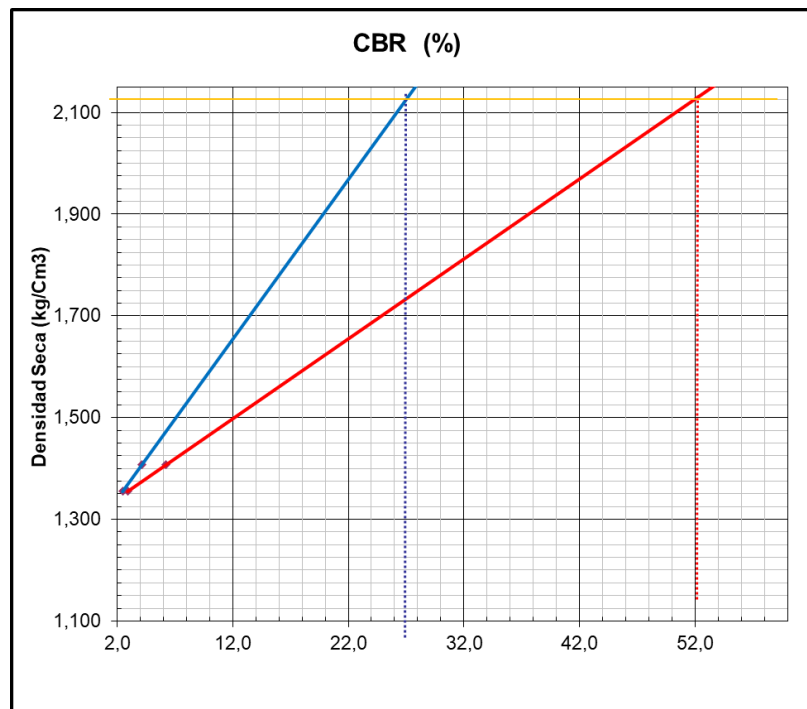
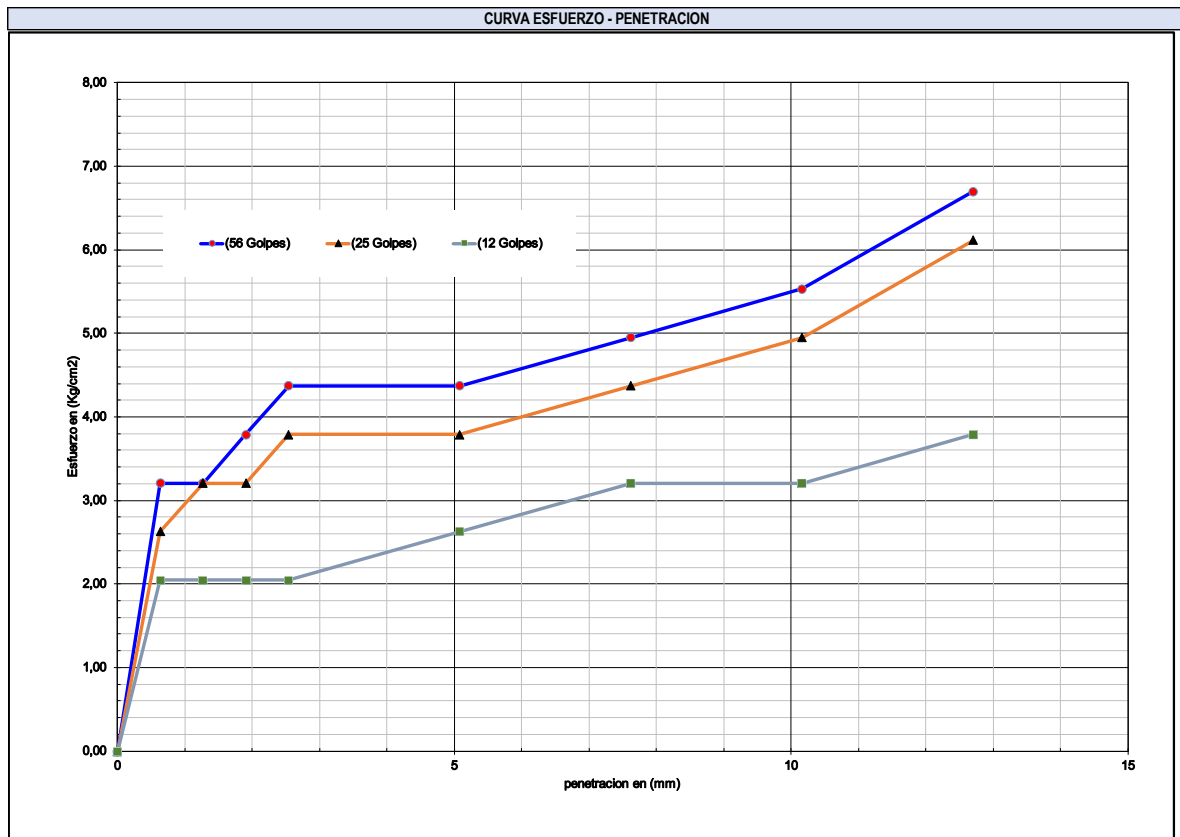
Penetracion		Carga Normal	(56 Golpes)				
			Lectura Div.	Carga de Ensayo			CBR
[plg.]	[mm]	[kg/cm ²]		[kg]	Calculado [kg/cm ²]	Calculado MPa	Calculado [%]
0,000	0,00		0	0,00	0,00	0,00	
0,025	0,64		2	61,98	3,21	0,31	
0,050	1,27		2	61,98	3,21	0,31	
0,075	1,91		3	73,22	3,79	0,37	
0,100	2,54	70,3	4	84,45	4,37	0,43	6,22
0,200	5,08	105,45	4	84,45	4,37	0,43	4,14
0,300	7,62		5	95,69	4,95	0,49	
0,400	10,16		6	106,92	5,53	0,54	
0,500	12,70		8	129,39	6,70	0,66	

(25 Golpes)				
Lectura Div.	Carga de Ensayo			CBR
	[kg]	Calculado	Calculado	Calculado
		[kg/cm ²]	MPa	[%]
0	0,00	0,00	0,00	
1	50,75	2,63	0,26	
2	61,98	3,21	0,31	
2	61,98	3,21	0,31	
3	73,22	3,79	0,37	5,39
3	73,22	3,79	0,37	3,59
4	84,45	4,37	0,43	
5	95,69	4,95	0,49	
7	118,16	6,12	0,60	

(12 Golpes)				
Lectura Div.	Carga de Ensayo			CBR
	[kg]	Calculado	Calculado	Calculado
		[kg/cm ²]	MPa	[%]
0	0,00	0,00	0,00	
0	39,51	2,04	0,20	
0	39,51	2,04	0,20	
0	39,51	2,04	0,20	
0	39,51	2,04	0,20	2,91
1	50,75	2,63	0,26	2,49
2	61,98	3,21	0,31	
2	61,98	3,21	0,31	
3	73,22	3,79	0,37	

Fuente elaboración propia

Gráfico 28. Esfuerzo -penetración y CBR pozo 7



Fuente elaboración propia

**FORMULACION DE UN MODELO MATEMATICO QUE
RELACIONE LOS ENSAYOS DE PENETRACION ESTANDAR
SPT Y CBR EN SUELOS DEL SECTOR ALPACOMA, EL ALTO.**

TABLA 16. Ensayos de penetración CBR pozo 8

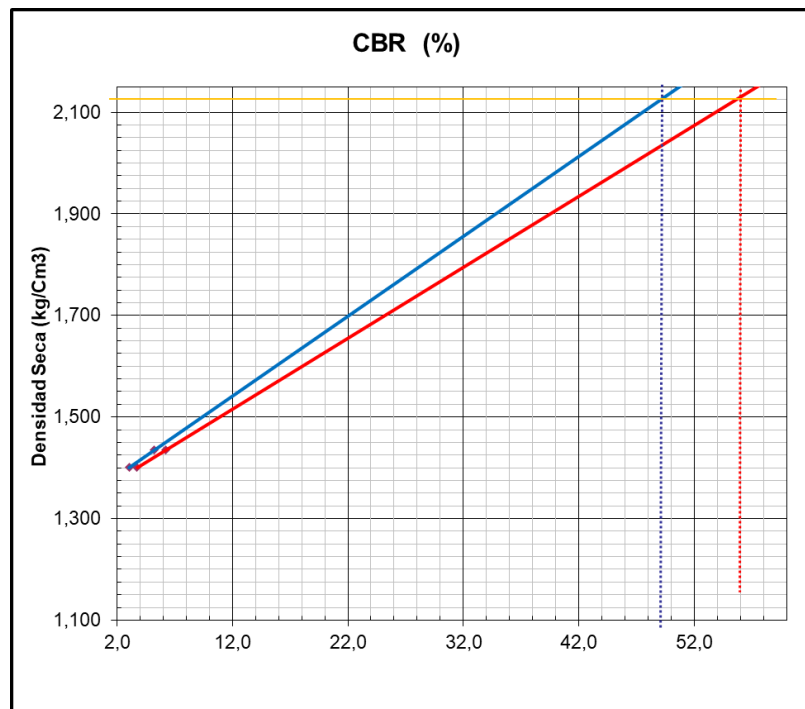
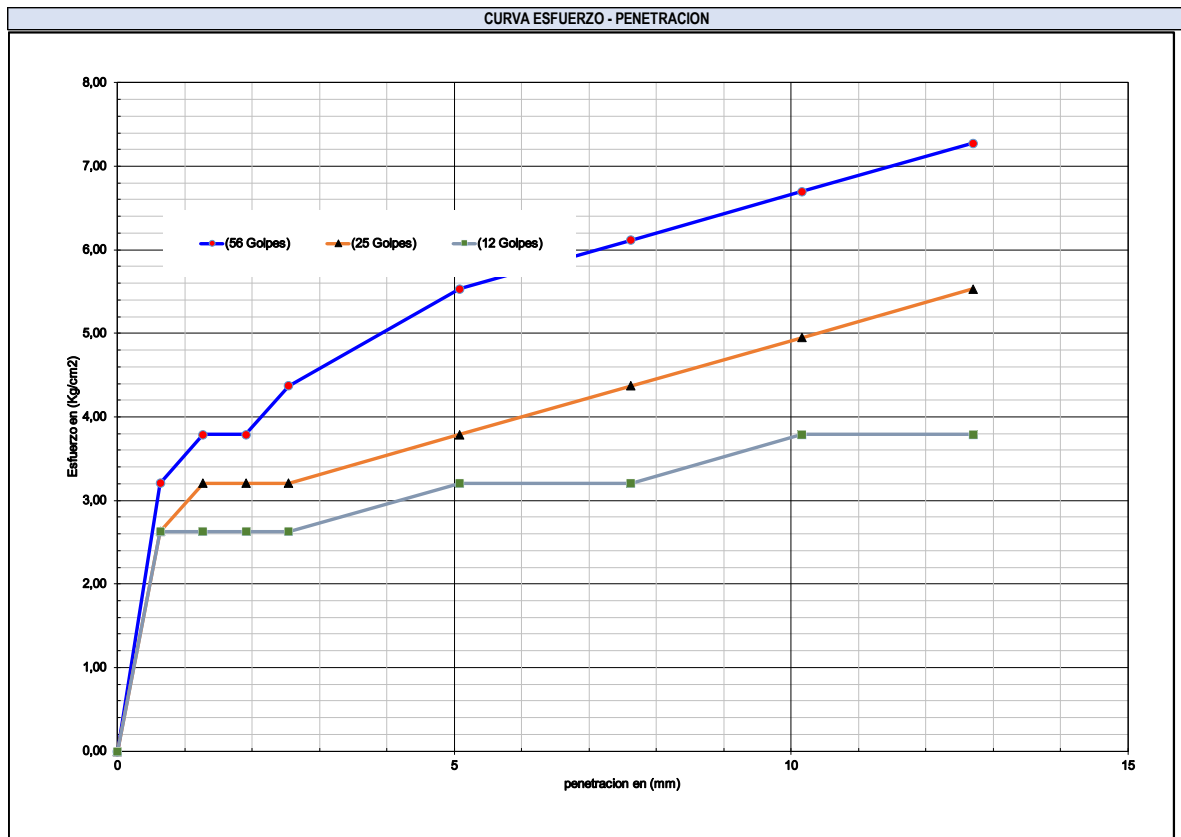
Penetracion		Carga Normal	(56 Golpes)				
			Lectura Div.	Carga de Ensayo		CBR	
[plg.]	[mm]	[kg/cm ²]		[kg]	Calculado	Calculado	Calculado
					[kg/cm ²]	MPa	[%]
0,000	0,00		0	0,00	0,00	0,00	
0,025	0,64		2	61,98	3,21	0,31	
0,050	1,27		3	73,22	3,79	0,37	
0,075	1,91		3	73,22	3,79	0,37	
0,100	2,54	70,3	4	84,45	4,37	0,43	6,22
0,200	5,08	105,45	6	106,92	5,53	0,54	5,25
0,300	7,62		7	118,16	6,12	0,60	
0,400	10,16		8	129,39	6,70	0,66	
0,500	12,70		9	140,63	7,28	0,71	

(25 Golpes)				
Lectura Div.	Carga de Ensayo			CBR
	[kg]	Calculado	Calculado	Calculado
		[kg/cm ²]	MPa	[%]
0	0,00	0,00	0,00	
1	50,75	2,63	0,26	
2	61,98	3,21	0,31	
2	61,98	3,21	0,31	
2	61,98	3,21	0,31	4,56
3	73,22	3,79	0,37	3,59
4	84,45	4,37	0,43	
5	95,69	4,95	0,49	
6	106,92	5,53	0,54	

(12 Golpes)				
Lectura Div.	Carga de Ensayo			CBR
	[kg]	Calculado	Calculado	Calculado
		[kg/cm ²]	MPa	[%]
0	0,00	0,00	0,00	
1	50,75	2,63	0,26	
1	50,75	2,63	0,26	
1	50,75	2,63	0,26	
1	50,75	2,63	0,26	3,74
2	61,98	3,21	0,31	3,04
2	61,98	3,21	0,31	
3	73,22	3,79	0,37	
3	73,22	3,79	0,37	

Fuente elaboración propia

Gráfico 29. Esfuerzo -penetración y CBR pozo 8



Fuente elaboración propia

FORMULACION DE UN MODELO MATEMATICO QUE
RELACIONE LOS ENSAYOS DE PENETRACION ESTANDAR
SPT Y CBR EN SUELOS DEL SECTOR ALPACOMA, EL ALTO.

4.12 FACTORES DE APROXIMACION ENTRE EL SPT Y CBR

Los factores de aproximación para obtener una relación analítica entre estos dos ensayos se consideran como estratégicos un análisis de datos de carácter global y otro de selección esto debido a que el suelo en el sector del talud Alpacoma tiene presente factores de asentamiento y deslizamiento de suelos los cuales afectan su análisis, generándose mezclas de los diferentes estratos, es por esta razón que se efectuó un análisis selectivo mediante según los siguientes factores:

- Calicatas con una profundidad media de 1.6 m
- Análisis global de ensayos SPT y CBR
- Selección de suelos con SPT mínimos
- Coeficiente de Pearson de variables N60 vs CBR₅₆
- Correlación para este tipo de suelos

Tabla 17. Variables de análisis

pozos	SPT_N60	CBR_56
	x	y
1	10	22,76
2	7	6,22
3	5	10,35
4	3	6,22
5	12	5,39
6	4	6,22
7	37	6,22
8	22	6,22

Fuente elaboración propia

4.13 MODELO MATEMATICO

PRIMERA APROXIMACIÓN

Los resultados de ensayos de laboratorio han merecido varios trabajos tanto de campo y en gabinete de los cuales se muestran en las tablas y gráficos siguientes:

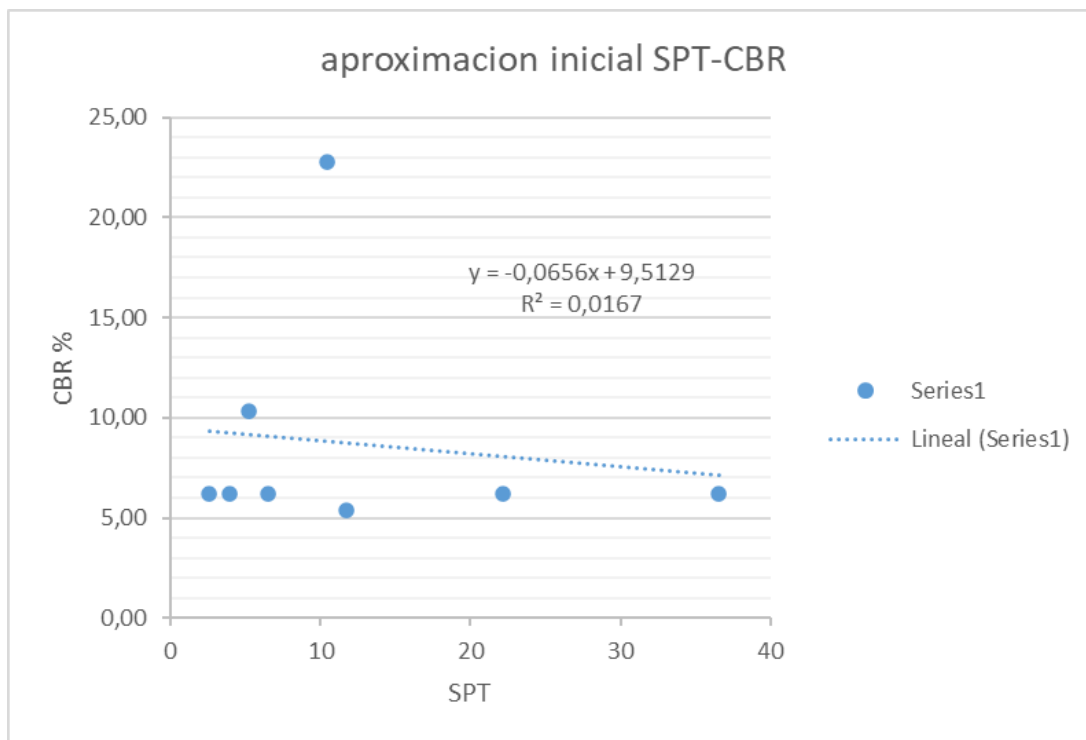
Como procedimiento se efectúa en cálculo del Coeficiente de Pearson de variables N60 vs CBR₅₆. Considerando la generalidad de todos los pozos y sus ensayos respectivos si la selección de pozos según el factor N

Tabla. 18. Coeficiente de correlación general de los pozos

COEF CORRELACION R				
Y-mediaY	X-mediaX	(Y-mediaY) ²	(X-mediaX) ²	(x-medx)(y-medx)
14,06	-89	197,705	7884,952	-1248,557
-2,48	-93	6,157	8596,030	230,054
1,65	-94	2,736	8839,877	-155,530
-2,48	-97	6,157	9337,802	239,775
-3,31	-87	10,946	7654,747	289,458
-2,48	-95	6,157	9087,134	236,535
-2,48	-63	6,157	3928,834	155,530
-2,48	-77	6,157	5935,882	191,172
		242,172	61265,257	-61,564

Fuente elaboración propia

Gráfico 30 aproximación SPT -CBR



Fuente elaboración propia

 $R^2 = 0.0167$

según el Coeficiente **R^2** La relación de estas variables es baja, , por lo que es necesario analizar los resultados en virtud a:

**FORMULACION DE UN MODELO MATEMATICO QUE
 RELACIONE LOS ENSAYOS DE PENETRACION ESTANDAR
 SPT Y CBR EN SUELOS DEL SECTOR ALPACOMA, EL ALTO.**

- la característica del suelo en estudio
- las condiciones locales del sector
- asentamientos de suelos
- las mezclas y los deslizamientos del suelo
- presencia de escombros en ese sector
- las fisuras que se identificaron a lo largo del sector
- colapso del suelo en la parte cercana al canal hidráulico
- vertientes de agua puede ser pluvial y/o residual de la parte aguas arriba del talud Apacoma

MODELO MATEMÁTICO SEGÚN FACTOR SELECTIVO

Selección de pozos separando aquellos que presentan los siguientes factores

- suelos con factor N60 menores a 4 del SPT
- Suelos con presencia de aguas subterráneas
- Suelos con piedras por encima del tamiz $1\frac{1}{2}$ "
- Suelos con presencia de humus

Esto producto del deslizamiento del talud, que generan estas características del suelo

Según la selección de suelos se identifica los siguientes sectores ubicados en los pozos P1, P3 y P6, para efectuar un análisis de correlación que pueda identificar parámetros y factores de relación entre las variables SPT y CBR, para el cual se tiene la selección de un sector de terreno que identifique suelos sin factores o efectos que puedan alterar la relación de datos.

Se procede a calcular el coeficiente de Pearson R^2 entre estos suelos

Figura 78. Triangulación de suelos y puntos de exploración



Fuente elaboración propia

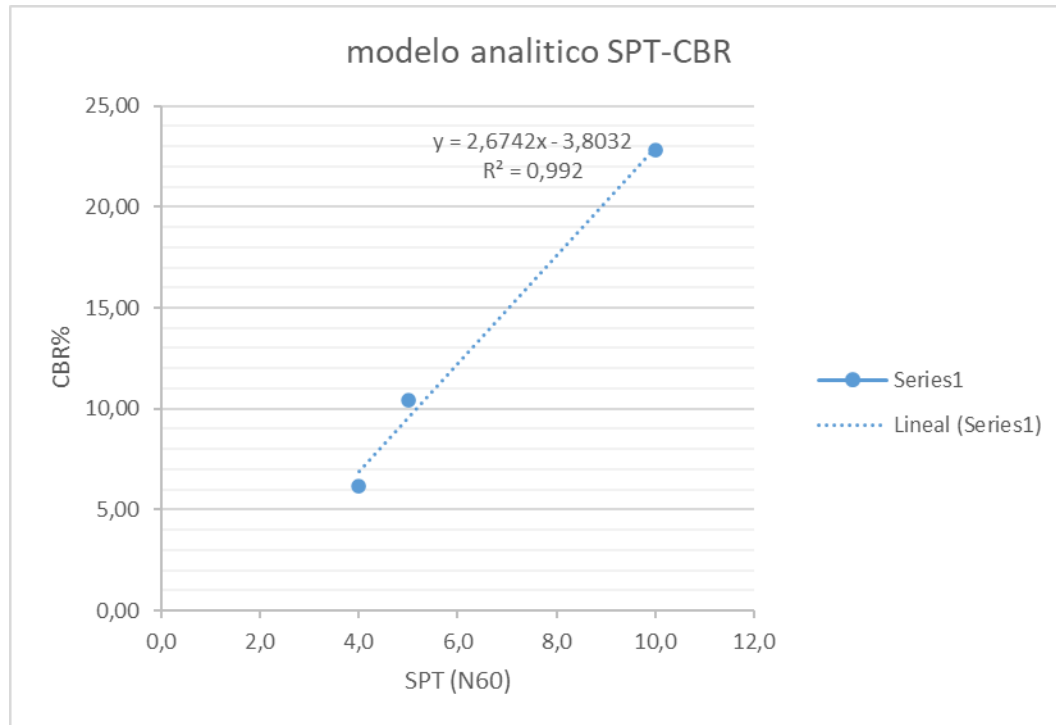
Tabla. 19. Coeficiente de correlación de suelos según factor selectivo SPT(N60)

pozos	SPT_N60	CBR_56	y-mediat	x-mediat	(y-mediat) ²	(x-mediat) ²	(x-mediat)(y-mediat)
	x	y					
1	10,0	22,80	9,67	4	93,444	13,444	35,444
2			-2,73	-1	7,471	1,778	3,644
3	5,0	10,40					
4							
5							
6	4,0	6,20	-6,93	-2	48,071	5,444	16,178
7							
8							

Fuente elaboración propia

**FORMULACION DE UN MODELO MATEMATICO QUE
RELACIONE LOS ENSAYOS DE PENETRACION ESTANDAR
SPT Y CBR EN SUELOS DEL SECTOR ALPACOMA, EL ALTO.**

Gráfico 31. Modelo analítico SPT-CBR



Fuente elaboración propia

 $R^2 = 0.992$

Según el Coeficiente de correlación Pearson R^2 , La relación de variables de estos suelos es alta, por lo que tomado en cuenta los factores citados los resultados son adecuados, ya que el ensayo SPT considera la capacidad de soporte para valores $N_{60} > 4$, lo mismo el CBR que identifica suelos adecuados para conformación de terraplenes con ese tipo de suelos.

Modelo matemático de suelos del sector cercano a la canalización desde su cabecera hacia agua abajo y lateral

$$CBR_{56} = 2,6742 * SPT(N_{60}) - 3,8032$$

$$SPT(N_{60}) = \text{rango } 4 \text{ a } 12$$

CAPITULO V: CONCLUSIONES

- Se efectuó la exploración del subsuelo mediante un reconocimiento preliminar y la investigación del sitio de estudio del sector Alpacoma Bajo, y su ubicación de este sector en el límite entre El Alto y La Paz, Talud con condiciones topográficas inclinadas, presencia de asentamientos de suelos, deslizamiento de suelos, presencia de aguas subterráneas, sector con densidad moderada poblacional, y canalización de río. Se efectuaron calicatas con la excavación de ocho pozos con una profundidad promedio de 1,6 m y la extracción muestras de suelos de aproximadamente 30 kg a 35 kg cada pozo
- En la exploración mediante calicatas en las capas profundas de este suelo se observó partículas granulares y otras de menor tamaño por lo cual se considera un gravo-arenoso, suelo limo-arenoso hacia limo-arcilloso y el cual posee características mecánicas diferentes.
- Las relaciones encontradas entre el resultado de $SPT(N_{60})$ y CBR_{56} son estadísticamente débiles considerando los puntos de análisis en un sector de suelos heterogéneos, sin embargo si consideramos los ensayos SPT en relación a los valores de N_{60} , demuestran una relación más lineal con el CBR_{56} , fuerte mediante la aplicación del coeficiente de Pearson. Desarrollándose el modelo matemático con sus rangos óptimos de aplicación:

$$CBR_{56} = 2,6742 * SPT(N_{60}) - 3,8032$$

$$SPT(N_{60}) = \text{rango } 4 \text{ a } 12$$

Este rango se establece según las condiciones del suelo mediante las profundidades de sondeos que se efectuaron los ensayos y las muestras de suelo en el sector Alpacoma

- La comparación de los resultados obtenidos de los dos ensayos de campo (SPT y CBR) arroja esta posible correlación mediante un modelo matemático lineal, dependiente del N_{60} , esta relación sería aplicable inicialmente a suelos del sector Alpacoma que correspondan a la descripción de la presente investigación y a una profundidad media de 1.6 metros.
- La hipótesis planteada sobre la relación entre los valores del ensayo de penetración estándar (SPT) y el Índice california Bearing Ratio (CBR), se logra obtener mediante desarrollo de un modelo matemático los cuales se consiguen identificando los valores

relacionados de N_{60} y CBR_{56} , esta relación permite su aplicación útil para estimaciones aproximadas de los valores obtenidos de ensayos de laboratorio mediante la relación de índices se pueden proponer aplicaciones efectivas para un determinado tipo de suelo, tal es el caso del suelo Alpacoma.

- La triangulación de suelos seleccionados representan una correlación de ensayos SPT_{N60} y CBR_{56} óptimo con un coeficiente de correlación Pearson R^2 Elevado, y un rango de análisis SPT adecuado en el sector más representativo
- Es necesario indicar también que se efectuaron la exploración de suelos mediante la excavación de ocho calicatas para el ensayo SPT y la preparación de 56 muestras de suelo según la tabla siguiente:

Tabla 20. Muestras y golpes del martinete

ENSAYO	POZOS	NUESTRAS	CAPAS	56 GOLPES	25 GOLPES	12 GOLPES	TOTAL
PROCTOR	8	4	5	8960			8960
CBR	8	3	5	2240	1000	480	3720
SUB TOTAL							12680
SPT	8						76
TOTAL							12756

Fuente elaboración propia

CAPITULO VI: RECOMENDACIONES

- El proyecto proporciona el principio de un proceso investigativo que procura obtener un modelo matemático confiable y aplicable para estimar los valores del índice CBR en diferentes sectores o puntos de análisis de suelos de la zona de Alpacoma, a una profundidad de 1.6 m, y para avanzar en otros sectores colindantes del talud se sugiere continuar con este estudio mediante ensayos SPT, bajo las condiciones similares.
- Los valores relativamente aleatorios del resultado del ensayo SPT Y CBR, pueden ser causados por que la ubicación de las muestras de suelo se encuentra en un talud con presencia de aguas subterráneas, aguas residuales, asentamiento y deslizamiento de suelos, que afectan estos resultados donde el suelo este en su estado más natural posible.
- Para que esta correlación sea aplicable a diferentes profundidades, se requiere tener valores del SPT Y CBR a diferentes profundidades, para esto se recomienda también efectuar sondeos a diferentes profundidades.
- Para un estudio sobre esta relación y su posible aplicación en otros terrenos, se sugiere identificar lugares específicos que permita realizar un mayor número de ensayos de SPT, este es un factor relevante para obtener modelos matemáticos específicos que permitirán su uso en obras civiles con calidad, optimizando tiempos y costos

BIBLIOGRAFIA

JUÁREZ BADILLO, E.; RICO RODRÍGUEZ, A. 2002. MECÁNICA DE SUELOS. TOMO 1. MÉXICO D.F. :EDITORIAL LIMUSA.

JUÁREZ BADILLO, E.; RICO RODRÍGUEZ, A. 2002. MECÁNICA DE SUELOS. TOMO 2. MÉXICO D.F. : EDITORIAL LIMUSA.

BERRY , PETER L.; REID, D. 2001. MÉCANICA DE SUELOS . SANTAFÉ DE BOGOTA: EDITORIAL MCGRAW HILL INTERAMERICANA S.A..

BRAJA M. DAS. 2001. FUNDAMENTOS DE INGENIERÍA GEOTÉCNICA. MÉXICO: THOMSON EDITORES S.A..

ASTM D 421-85: STANDARD PRACTICE FOR DRY PREPARATION OF SOIL SAMPLES FOR PARTICLE-SIZE ANALYSIS AND DETERMINATION OF SOIL CONSTANTS, Vol. 04.08.

ASTM D 422-63: STANDARD TEST METHOD FOR PARTICLE-SIZE ANALYSIS OF SOILS, Vol. 04.08.

ASTM D 1557-00: STANDARD TEST METHOD FOR LABORATORY COMPACTION CHARACTERISTICS OF SOIL USING MODIFIED EFFORT, Vol. 04.08.

ASTM D 1586-99: STANDARD TEST METHOD FOR PENETRATION TEST AND SPLIT-BARREL SAMPLING OF SOILS, Vol. 04.08.

ASTM D 1883-99: STANDARD TEST METHOD FOR CBR (CALIFORNIA BEARING RATIO) OF LABORATORY- COMPACTED SOILS, Vol. 04.08.

ASTM D 2487-00: STANDARD PRACTICE FOR CLASSIFICATION OF SOIL FOR ENGINEERING PURPOSES (UNIFIED SOIL CLASSIFICATION SYSTEM), Vol. 04.08.

ASTM D 4318-00: STANDARD TEST METHOD FOR LIQUID LIMIT, PLASTIC LIMIT, AND PLASTICITY INDEX OF SOILS, Vol. 04.08.

ASTM D 5874-95: STANDARD TEST METHOD FOR DETERMINATION OF THE IMPACT VALUE (IV) OF A SOIL, VOL. 04.09. ASTM D6951M-09. (2009). STANDARD TEST METHOD FOR USE OF THE DYNAMIC CONE PENETROMETER IN SHALLOW PAVEMENT APPLICATIONS. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 04, 03 - (2009).

KLEYN, E. G. . (1975). THE USE OF THE DYNAMIC CONE PENETROMETER (DCP). REPORT 2/74, TRANSVAAL ROADS DEPARTMENT, PRETORIA, SOUTH AFRICA, JULY, P. 35.

AASHTO (2003). STANDARD METHOD OF TEST FOR CALIFORNIA BEARING RATIO.

AASHTO T 193-99.

AASHTO (2009). STANDARD METHOD OF TEST FOR CALIFORNIA BEARING RATIO OF LABORATORY COMPACTED SOILS. ASTM D1883-07.

BAHABRA, O, ASI, I., AL- ABDUL, H Y KHAN, Z. (2002) CLEGG HAMMER CALIFORNIA BEATING RATIO CORRELATIONS. JOURNAL OF MATERIALS IN CIVIL ENGINEERING. PP 512-523.

BAÑÓN, L. (1999). CAPÍTULO 2. PROPIEDADES DE LOS SUELOS Y SU DETERMINACIÓN. SUELOS. INFRAESTRUCTURA.

BREYTENBACH, (2009) I. THE RELATIONSHIP BETWEEN INDEX TESTING AND CALIFORNIA BEARING RATIO VALUES FOR NATURAL ROAD CONSTRUCTION MATERIAL IN SOUTH AFRICA. UNIVERSITY OF PRETORIA.

CHOTTOPADHYAY, B Y T. DATTA. (2011). CORRELATION BETWEEN CBR AND INDEX PROPERTIES OF SOIL. PROCEEDINGS OF INDIAN GEOTECHNICAL

CONFERENCE. PAPER N° A-350.

CHOTTOPADHYAY, B, ROY T. Y ROY S. (2010). CALIFORNIA BEARING RATIO, EVALUATION AND ESTIMATION: A STUDY ON COMPARISONS. INDIAN GEOTECHNICAL CONFERENCE.

KHRISNA, K (2013). CORRELATION BETWEEN CALIFORNIA BEARING RATIO AND SHEAR STRENGTH ON ARTIFICIALLY PREPARED SOLIDS WITH VARYING PLASTIC INDEX. INTERNATIONAL JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING AND TECHNOLOGY. VOL. 4, N°.6PP. 61-66

ANEXOS

ANEXO 1

RESOLUCION SENAPI

ANEXO 2

ANEXO DE LA INVESTIGACION

	UNIVERSIDAD PUBLICA DE EL ALTO CARRERA DE INGENIERIA CIVIL MECÁNICA DE SUELOS II (LABORATORIO) CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR) ASTM D 1883 - AASHTO T193	
---	--	---

PROYECTO: FORMULACION DE UN MODELO MATEMATICO QUE RELACIONE LOS ENSAYOS DE PENETRACION ESTANDAR SPT y CBR EN SUELOS DEL SECTOR ALPACOMA, EL ALTO RESPONSABLE: ING JORGE CH UNIV JHOSELIN C UNIV VERONICA C.I.: 2445557 LP FECHA: martes, 25 de octubre de 2022	PROCEDENCIA: TALUD ALPACOMA CLIENTE: ING CIVIL PROG.: MATERIAL: TERRENO TALUD
--	---

CARACTERISTICAS DEL SUELO			Area del Piston: 19,322 (cm ²)	
Muestra N°	H _{opt} (%)	D _{max} (kg/cm ³)	Rango del Extensometro: 0,0025 (cm)	
pozo 1	6,80	1,612	Altura inicial de la Muestra: 11,600 (cm)	

CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD					
MOLDE N°	14		15		12
N° DE CAPAS	5		5		5
N° DE GOLPES	56		25		12

Condicion de la Muestra		Antes de Sumergirse		Despues de Sumergirse		Antes de Sumergirse		Despues de Sumergirse		Antes de Sumergirse		Despues de Sumergirse	
Descripcion	Unidad												
Peso muestra humeda + molde	[kg]	11,780		11,858		11,502		11,680		11,240		11,497	
Peso del molde	[kg]	6,772		6,772		6,772		6,772		6,772		6,772	
Peso muestra humeda	[kg]	5,008		5,086		4,730		4,908		4,468		4,725	
Volumen de la muestra	[cm ³]	3,252		3,252		3,252		3,252		3,252		3,252	
Densidad Humeda	[kg/cm ³]	1,540		1,564		1,454		1,509		1,374		1,453	
Muestra en Humedad		centro n/s		Centro s		centro n/s		Centro s		centro n/s		Centro s	
Descripcion	Unidad												
Lata N°	-	1, 1		1h		1, 2		1h		1, 3		1h	
Peso muestra humeda + lata	[g]	473,22		371,00		649,10		465,50		831,00		443,30	
Peso muestra seca + lata	[g]	455,55		354,90		600,80		433,40		797,80		404,70	
Peso del agua	[g]	17,67		16,10		48,30		32,10		33,20		38,60	
Peso de la lata	[g]	73,04		99,30		83,10		83,20		93,40		76,10	
Peso de la muestra seca	[g]	382,51		354,90		517,70		350,20		704,40		328,60	
Contenido de humedad	[%]	4,62		4,54		9,33		9,17		4,71		11,75	
Promedio del cont. de humedad	[%]	2,310		4,536		4,665		9,166		2,357		11,747	
Densidad seca	[kg/cm ³]	1,505		1,496		1,390		1,383		1,342		1,300	

EXPANSION										
Fecha	Tiempo Transcurrido (dias)	(56 Golpes)			(25 Golpes)			(12 Golpes)		
		Lectura extens.	Expansion		Lectura extens.	Expansion		Lectura extens.	Expansion	
			[cm]	[%]		[cm]	[%]		[cm]	[%]
25/10/2022	0	359	0.00	0.00	429	0.00	0.00	913	0.00	0.00
26/10/2022	1									
27/10/2022	2									
28/10/2022	3									
29/10/2022	4	972	0.00	0.04	502	0.01	0.07	1402	0.00	0.02

C.B.R.																
Penetracion		Carga Normal	(56 Golpes)				(25 Golpes)				(12 Golpes)					
			Lectura Div.	Carga de Ensayo			Lectura Div.	Carga de Ensayo			Lectura Div.	Carga de Ensayo				
				[kg]	Calculado [kg/cm ²]	Calculado MPa		Calculado [%]	[kg]	Calculado [kg/cm ²]		Calculado MPa	Calculado [%]	[kg]	Calculado [kg/cm ²]	Calculado MPa
[p[g.]]	[mm]	[kg/cm ²]														
0,000	0,00		0	0,00	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0,00		
0,025	0,64		7	118,16	6,12	0,60	3	73,22	3,79	0,37	2	61,98	3,21	0,31		
0,050	1,27		14	196,80	10,19	1,00	8	129,39	6,70	0,66	3	73,22	3,79	0,37		
0,075	1,91		19	252,97	13,09	1,28	13	185,57	9,60	0,94	4	84,45	4,37	0,43		
0,100	2,54	70,3	24	309,15	16,00	1,57	17	230,50	11,93	1,17	16,97	4	84,45	4,37	0,43	6,22
0,200	5,08	105,45	43	522,61	27,05	2,65	28	354,09	18,33	1,80	17,38	6	106,92	5,53	0,54	5,25
0,300	7,62		50	601,25	31,12	3,05	34	421,50	21,81	2,14		8	129,39	6,70	0,66	
0,400	10,16		54	646,19	33,44	3,28	39	477,67	24,72	2,43		9	140,63	7,28	0,71	
0,500	12,70		62	736,07	38,10	3,74	42	511,38	26,47	2,60		10	151,86	7,86	0,77	

Fuente elaboration propia

FORMULACION DE UN MODELO MATEMATICO QUE RELACIONE LOS ENSAYOS DE PENETRACION ESTANDAR SPT Y CBR EN SUELOS DEL SECTOR ALPACOMA, EL ALTO.

	UNIVERSIDAD PUBLICA DE EL ALTO CARRERA DE INGENIERIA CIVIL MECÁNICA DE SUELOS II (LABORATORIO) CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR) ASTM D 1883 - AASHTO T193	
---	--	---

PROYECTO: FORMULACION DE UN MODELO MATEMATICO QUE RELACIONE LOS ENSAYOS DE PENETRACION ESTANDAR SPT y CBR EN SUELOS DEL SECTOR ALPACOMA, EL ALTO RESPONSABLE: ING JORGE CH UNIV JHOSELIN C UNIV VERONICA C.I.: 2445557 LP FECHA: jueves, 27 de octubre de 2022	PROCEDENCIA: TALUD ALPACOMA CLIENTE: ING CIVIL MATERIAL: TERRENO TALUD
--	--

CARACTERISTICAS DEL SUELO			Area del Piston: 19,322 (cm ²)	
Muestra N°	H _{opt} (%)	D _{max} (kg/cm ³)	Rango del Extensometro: 0,0025 (cm)	
pozo 2	10,90	1,965	Altura inicial de la Muestra: 11,600 (cm)	

CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD			
MOLDE N°	20	25	28
N° DE CAPAS	5	5	5
N° DE GOLPES	56	25	12

Condicion de la Muestra		Antes de Sumergirse		Despues de Sumergirse		Antes de Sumergirse		Despues de Sumergirse		Antes de Sumergirse		Despues de Sumergirse	
Descripcion	Unidad												
Peso muestra humeda + molde	[kg]	11,249		11,509		11,206		11,513		10,948		11,274	
Peso del molde	[kg]	6,676		6,772		6,699		6,772		6,673		6,772	
Peso muestra humeda	[kg]	4,573		4,737		4,507		4,741		4,275		4,502	
Volumen de la muestra	[cm ³]	3,252		3,252		3,252		3,252		3,252		3,252	
Densidad Humeda	[kg/cm ³]	1,406		1,457		1,386		1,458		1,315		1,384	
Muestra en Humedad		centro n/s		Centro s		centro n/s		Centro s		centro n/s		Centro s	
Descripcion	Unidad												
Lata N°	-	2,1		H		2,2		H		2,3		H	
Peso muestra humeda + lata	[g]	401,30		368,60		449,90		425,70		497,30		448,10	
Peso muestra seca + lata	[g]	376,50		325,40		420,90		371,00		462,40		389,90	
Peso del agua	[g]	24,80		43,20		29,00		54,70		34,90		58,20	
Peso de la lata	[g]	114,60		79,80		141,30		96,00		120,60		102,70	
Peso de la muestra seca	[g]	261,90		354,90		279,60		275,00		341,80		287,20	
Contenido de humedad	[%]	9,47		12,17		10,37		19,89		10,21		20,26	
Promedio del cont. de humedad	[%]	4,735		12,172		5,186		19,891		5,105		20,265	
Densidad seca	[kg/cm ³]	1,343		1,299		1,318		1,216		1,251		1,151	

EXPANSION										
Fecha	Tiempo Transcurrido (dias)	(56 Golpes)			(25 Golpes)			(12 Golpes)		
		Lectura extens.	Expansion		Lectura extens.	Expansion		Lectura extens.	Expansion	
			[cm]	[%]		[cm]	[%]		[cm]	[%]
27/10/2022	0	427	0.00	0.00	580	0.00	0.00	940	0.00	0.00
28/10/2022	1									
29/10/2022	2									
30/10/2022	3									
31/10/2022	4	1066	0.00	0.03	1083	0.00	0.03	1085	0.00	0.03

C.B.R.																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
Penetracion		Carga Normal	(56 Golpes)				(25 Golpes)				(12 Golpes)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
			Carga de Ensayo			CBR	Carga de Ensayo			CBR	Carga de Ensayo			CBR																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
			Lectura Div.	[kg]	Calculado [kg/cm ²]		Calculado MPa	Calculado [%]	Lectura Div.		[kg]	Calculado [kg/cm ²]	Calculado MPa		Calculado [%]	Lectura Div.	[kg]	Calculado [kg/cm ²]	Calculado MPa	Calculado [%]																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
[plg.]	[mm]	[kg/cm ²]																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											</

Fuente elaboration propia

FORMULACION DE UN MODELO MATEMATICO QUE RELACIONE LOS ENSAYOS DE PENETRACION ESTANDAR SPT Y CBR EN SUELOS DEL SECTOR ALPACOMA, EL ALTO.

	UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO CARRERA DE INGENIERIA CIVIL MECÁNICA DE SUELOS II (LABORATORIO) CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR) ASTM D 1883 - AASHTO T193	
---	--	---

PROYECTO: FORMULACION DE UN MODELO MATEMATICO QUE RELACIONE LOS ENSAYOS DE PENETRACION ESTANDAR SPT Y CBR EN SUELOS DEL SECTOR ALPACOMA, EL ALTO RESPONSABLE: ING JORGE CH UNIV JHOSELIN C UNIV VERONICA C.I.: 2445557 LP FECHA: martes, 25 de octubre de 2022	PROCEDENCIA: TALUD ALPACOMA CLIENTE: ING CIVIL MATERIAL: TERRENO TALUD
--	---

CARACTERISTICAS DEL SUELO			Area del Piston: 19,322 (cm ²)	
Muestra N°	H _{opt} (%)	D _{max} (kg/cm ³)	Rango del Extensometro: 0,0025 (cm)	
pozo 3	8,50	2,086	Altura inicial de la Muestra: 11,600 (cm)	

CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD			
MOLDE N°	26	5	2
N° DE CAPAS	5	5	5
N° DE GOLPES	56	25	12

Condicion de la Muestra		Antes de Sumergirse		Despues de Sumergirse		Antes de Sumergirse		Despues de Sumergirse		Antes de Sumergirse		Despues de Sumergirse	
Descripcion	Unidad												
Peso muestra humeda + molde	[kg]	11,483		11,624		11,211		11,413		10,875		11,149	
Peso del molde	[kg]	6,665		6,665		6,586		6,586		6,576		6,576	
Peso muestra humeda	[kg]	4,818		4,959		4,625		4,827		4,299		4,573	
Volumen de la muestra	[cm ³]	3,252		3,252		3,252		3,252		3,252		3,252	
Densidad Humeda	[kg/cm ³]	1,482		1,525		1,422		1,484		1,322		1,406	
Muestra en Humedad		centro n/s		Centro s		centro n/s		Centro s		centro n/s		Centro s	
Descripcion	Unidad												
Lata N°	-	3,1		H		3,2		H		3,3		H	
Peso muestra humeda + lata	[g]	813,40		439,20		690,40		414,30		673,90		414,70	
Peso muestra seca + lata	[g]	766,40		407,00		646,20		384,80		628,20		377,00	
Peso del agua	[g]	47,00		32,20		44,20		29,50		45,70		37,70	
Peso de la lata	[g]	136,30		93,30		99,30		136,20		76,00		110,60	
Peso de la muestra seca	[g]	630,10		354,90		546,90		248,60		552,20		266,40	
Contenido de humedad	[%]	7,46		9,07		8,08		11,87		8,28		14,15	
Promedio del cont. de humedad	[%]	3,730		9,073		4,041		11,866		4,138		14,152	
Densidad seca	[kg/cm ³]	1,428		1,398		1,367		1,327		1,269		1,232	

EXPANSION										
Fecha	Tiempo Transcurrido (dias)	(56 Golpes)			(25 Golpes)			(12 Golpes)		
		Lectura extens.	Expansion		Lectura extens.	Expansion		Lectura extens.	Expansion	
			[cm]	[%]		[cm]	[%]		[cm]	[%]
27/10/2022	0	430	0.00	0.00	648	0.00	0.00	351	0.00	0.00
28/10/2022	1									
29/10/2022	2									
30/10/2022	3									
31/10/2022	4	634	0.01	0.05	841	0.00	0.04	548	0.01	0.06

C.B.R.															
Penetracion		Carga Normal	(56 Golpes)				(25 Golpes)				(12 Golpes)				
			Lectura Div.	Carga de Ensayo			Lectura Div.	Carga de Ensayo			Lectura Div.	Carga de Ensayo			
				[kg]	Calculado [kg/cm²]	Calculado MPa		[kg]	Calculado [kg/cm²]	Calculado MPa		[kg]	Calculado [kg/cm²]	Calculado MPa	
[plg.]	[mm]	[kg/cm²]													
0,000	0,00		0	0,00	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0,00	
0,025	0,64		2	61,98	3,21	0,31	1	50,75	2,63	0,26	1	50,75	2,63	0,26	
0,050	1,27		3	73,22	3,79	0,37	3	73,22	3,79	0,37	1	50,75	2,63	0,26	
0,075	1,91		6	106,92	5,53	0,54	5	95,69	4,95	0,49	2	61,98	3,21	0,31	
0,100	2,54	70,3	9	140,63	7,28	0,71	7	118,16	6,12	0,60	3	73,22	3,79	0,37	5,39
0,200	5,08	105,45	23	297,91	15,42	1,51	17	230,50	11,93	1,17	4	84,45	4,37	0,43	4,14
0,300	7,62		33	410,26	21,23	2,08	22	286,68	14,84	1,46	5	95,69	4,95	0,49	
0,400	10,16		40	488,91	25,30	2,48	26	331,62	17,16	1,68	6	106,92	5,53	0,54	
0,500	12,70		47	567,55	29,37	2,88	29	365,32	18,91	1,85	7	118,16	6,12	0,60	

Fuente elaboration propia

FORMULACION DE UN MODELO MATEMATICO QUE RELACIONE LOS ENSAYOS DE PENETRACION ESTANDAR SPT Y CBR EN SUELOS DEL SECTOR ALPACOMA, EL ALTO.

	UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO CARRERA DE INGENIERIA CIVIL MECÁNICA DE SUELOS II (LABORATORIO) CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR) ASTM D 1883 - AASHTO T193	
---	---	---

PROYECTO: FORMULACION DE UN MODELO MATEMATICO QUE RELACIONE LOS ENSAYOS DE PENETRACION ESTANDAR SPT y CBR EN SUELOS DEL SECTOR ALPACOMA, EL ALTO RESPONSABLE: ING JORGE CH UNIV JHOSELIN C UNIV VERONICA C.I.: 2445557 LP FECHA: martes, 25 de octubre de 2022	PROCEDENCIA: TALUD ALPACOMA CLIENTE: ING CIVIL PROG.: 0+400 MATERIAL: TERRENO TALUD
--	--

CARACTERISTICAS DEL SUELO			Area del Piston: 19,322 (cm ²) Rango del Extensometro: 0,0025 (cm) Altura inicial de la Muestra: 11,600 (cm)
Muestra N°	H _{opt} (%)	D _{max} (kg/cm ³)	
pozo 4	9,90	1,920	

CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD			
MOLDE N°	1	3	18
N° DE CAPAS	5	5	5
N° DE GOLPES	56	25	12

Condicion de la Muestra		Antes de Sumergirse	Despues de Sumergirse	Antes de Sumergirse	Despues de Sumergirse	Antes de Sumergirse	Despues de Sumergirse
Descripcion	Unidad						
Peso muestra humeda + molde	[kg]	11,398	11,628	11,023	11,048	10,771	11,259
Peso del molde	[kg]	6,676	6,676	6,703	6,703	6,686	6,686
Peso muestra humeda	[kg]	4,722	4,952	4,320	4,345	4,085	4,573
Volumen de la muestra	[cm ³]	3,251	3,251	3,252	3,252	3,252	3,252
Densidad Humeda	[kg/cm ³]	1,452	1,523	1,328	1,336	1,256	1,406
Muestra en Humedad		centro n/s	Centro s	centro n/s	Centro s	centro n/s	Centro s
Descripcion	Unidad						
Lata N°	-	4, 1	H	4, 2	H	4, 3	H
Peso muestra humeda + lata	[g]	686,20	469,00	828,70	499,90	495,50	457,30
Peso muestra seca + lata	[g]	636,90	420,50	785,10	436,60	463,50	400,10
Peso del agua	[g]	49,30	48,50	43,60	63,30	32,00	57,20
Peso de la lata	[g]	116,10	120,70	105,90	116,00	65,10	110,40
Peso de la muestra seca	[g]	520,80	354,90	679,20	320,60	398,40	289,70
Contenido de humedad	[%]	9,47	13,67	6,42	19,74	8,03	19,74
Promedio del cont. de humedad	[%]	4,733	13,666	3,210	19,744	4,016	19,745
Densidad seca	[kg/cm ³]	1,387	1,340	1,287	1,116	1,208	1,174

EXPANSION										
Fecha	Tiempo Transcurrido (dias)	(56 Golpes)			(25 Golpes)			(12 Golpes)		
		Lectura extens.	Expansion		Lectura extens.	Expansion		Lectura extens.	Expansion	
			[cm]	[%]		[cm]	[%]		[cm]	[%]
27/10/2022	0	418	0.00	0.00	667	0.00	0.00	358	0.00	0.00
28/10/2022	1									
29/10/2022	2									
30/10/2022	3									
31/10/2022	4	1045	0.00	0.03	1081	0.00	0.03	939	0.00	0.04

C.B.R.																	
Penetracion		Carga Normal	(56 Golpes)				(25 Golpes)				(12 Golpes)						
			Lectura Div.	Carga de Ensayo			Lectura Div.	Carga de Ensayo			Lectura Div.	Carga de Ensayo					
[plg.]	[mm]	[kg/cm ²]		[kg]	Calculado	Calculado		CBR	[kg]	Calculado		Calculado	CBR	[kg]	Calculado	Calculado	CBR
			[kg/cm ²]		MPa	[%]	[kg/cm ²]	MPa		[%]	[kg/cm ²]	MPa	[%]				
0,000	0,00		0	0,00	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0,00			
0,025	0,64		1	50,75	2,63	0,26	1	50,75	2,63	0,26	0	39,51	2,04	0,20			
0,050	1,27		2	61,98	3,21	0,31	1	50,75	2,63	0,26	1	50,75	2,63	0,26			
0,075	1,91		3	73,22	3,79	0,37	2	61,98	3,21	0,31	1	50,75	2,63	0,26			
0,100	2,54	70,3	4	84,45	4,37	0,43	2	61,98	3,21	0,31	4,56	1	50,75	2,63	0,26	3,74	
0,200	5,08	105,45	6	106,92	5,53	0,54	5,25	2	61,98	3,21	0,31	3,04	1	50,75	2,63	0,26	2,49
0,300	7,62		10	151,86	7,86	0,77		3	73,22	3,79	0,37		2	61,98	3,21	0,31	
0,400	10,16		13	185,57	9,60	0,94		3	73,22	3,79	0,37		2	61,98	3,21	0,31	
0,500	12,70		15	208,03	10,77	1,06		3	73,22	3,79	0,37		2	61,98	3,21	0,31	

Fuente elaboration propia

FORMULACION DE UN MODELO MATEMATICO QUE RELACIONE LOS ENSAYOS DE PENETRACION ESTANDAR SPT Y CBR EN SUELOS DEL SECTOR ALPACOMA, EL ALTO.

	UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO CARRERA DE INGENIERIA CIVIL MECÁNICA DE SUELOS II (LABORATORIO) CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR) ASTM D 1883 - AASHTO T193	
---	---	---

PROYECTO: FORMULACION DE UN MODELO MATEMATICO QUE RELACIONE LOS ENSAYOS DE PENETRACION ESTANDAR SPT y CBR EN SUELOS DEL SECTOR ALPACOMA, EL ALTO RESPONSABLE: ING JORGE CH UNIV JHOSELIN C UNIV VERONICA C.I.: 2445557 LP FECHA: jueves, 27 de octubre de 2022	PROCEDENCIA: TALUD ALPACOMA CLIENTE: ING CIVIL PROG.: 0+400 MATERIAL: TERRENO TALUD
--	--

CARACTERISTICAS DEL SUELO			Area del Piston: 19,322 (cm ²)
Muestra N°	H _{opt} (%)	D _{max} (kg/cm ³)	Rango del Extensometro: 0,0025 (cm)
pozo 5	13,20	1,855	Altura inicial de la Muestra: 11,600 (cm)

CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD			
MOLDE N°	27	17	11
N° DE CAPAS	5	5	5
N° DE GOLPES	56	25	12

Condicion de la Muestra		Antes de Sumergirse	Despues de Sumergirse	Antes de Sumergirse	Despues de Sumergirse	Antes de Sumergirse	Despues de Sumergirse
Descripcion	Unidad						
Peso muestra humeda + molde	[kg]	11,056	11,350	10,874	11,251	10,764	11,122
Peso del molde	[kg]	6,680	6,680	6,703	6,703	6,686	6,686
Peso muestra humeda	[kg]	4,376	4,670	4,171	4,548	4,078	4,436
Volumen de la muestra	[cm ³]	3,252	3,252	3,249	3,249	3,253	3,253
Densidad Humeda	[kg/cm ³]	1,346	1,436	1,284	1,400	1,254	1,364
Muestra en Humedad		centro n/s	Centro s	centro n/s	Centro s	centro n/s	Centro s
Descripcion	Unidad						
Lata N°	-	5, 1	H	5, 2	H	5, 3	H
Peso muestra humeda + lata	[g]	570,60	415,20	482,50	439,60	488,00	437,00
Peso muestra seca + lata	[g]	520,50	366,70	445,80	375,50	437,00	375,60
Peso del agua	[g]	50,10	48,50	36,70	64,10	51,00	61,40
Peso de la lata	[g]	202,70	141,30	129,60	110,50	79,80	130,00
Peso de la muestra seca	[g]	317,80	354,90	316,20	265,00	357,20	245,60
Contenido de humedad	[%]	15,76	13,67	11,61	24,19	14,28	25,00
Promedio del cont. de humedad	[%]	7,882	13,666	5,803	24,189	7,139	25,000
Densidad seca	[kg/cm ³]	1,247	1,263	1,213	1,127	1,170	1,091

EXPANSION										
Fecha	Tiempo Transcurrido (dias)	(56 Golpes)			(25 Golpes)			(12 Golpes)		
		Lectura extens.	Expansion		Lectura extens.	Expansion		Lectura extens.	Expansion	
			[cm]	[%]		[cm]	[%]		[cm]	[%]
27/10/2022	0	422	0.00	0.00	60	0.00	0.00	620	0.00	0.00
28/10/2022	1									
29/10/2022	2									
30/10/2022	3									
31/10/2022	4	1083	0.004	0.03	748	0.01	0.05	1082	0.00	0.03

C.B.R.															
Penetracion		Carga Normal	(56 Golpes)				(25 Golpes)				(12 Golpes)				
			Lectura Div.	Carga de Ensayo			Lectura Div.	Carga de Ensayo			Lectura Div.	Carga de Ensayo			
				[kg]	Calculado [kg/cm ²]	Calculado MPa		Calculado [%]	[kg]	Calculado [kg/cm ²]		Calculado MPa	Calculado [%]	[kg]	Calculado [kg/cm ²]
[p[g.]]	[mm]	[kg/cm ²]													
0,000	0,00		0	0,00	0,00			0	0,00	0,00			0	0,00	0,00
0,025	0,64		2	61,98	3,21	0,31		1	50,75	2,63	0,26		1	50,75	2,63
0,050	1,27		2	61,98	3,21	0,31		1	50,75	2,63	0,26		1	50,75	2,63
0,075	1,91		3	73,22	3,79	0,37		1	50,75	2,63	0,26		1	50,75	2,63
0,100	2,54	70,3	3	73,22	3,79	0,37	5,39	2	61,98	3,21	0,31	4,56	2	61,98	3,21
0,200	5,08	105,45	5	95,69	4,95	0,49	4,70	2	61,98	3,21	0,31	3,04	2	61,98	3,21
0,300	7,62		7	118,16	6,12	0,60		3	73,22	3,79	0,37		3	73,22	3,79
0,400	10,16		9	140,63	7,28	0,71		4	84,45	4,37	0,43		3	73,22	3,79
0,500	12,70		11	163,10	8,44	0,83		4	84,45	4,37	0,43		3	73,22	3,79

Fuente elaboration propia

FORMULACION DE UN MODELO MATEMATICO QUE RELACIONE LOS ENSAYOS DE PENETRACION ESTANDAR SPT Y CBR EN SUELOS DEL SECTOR ALPACOMA, EL ALTO.

	UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO CARRERA DE INGENIERIA CIVIL MECÁNICA DE SUELOS II (LABORATORIO) CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR) ASTM D 1883 - AASHTO T193	
---	---	---

PROYECTO: FORMULACION DE UN MODELO MATEMATICO QUE RELACIONE LOS ENSAYOS DE PENETRACION ESTANDAR SPT y CBR EN SUELOS DEL SECTOR ALPACOMA, EL ALTO RESPONSABLE: ING JORGE CH UNIV JHOSELIN C UNIV VERONICA C.I.: 2445557 LP FECHA: jueves, 27 de octubre de 2022	PROCEDENCIA: TALUD ALPACOMA CLIENTE: ING CIVIL MATERIAL: TERRENO TALUD
--	---

CARACTERISTICAS DEL SUELO			Area del Piston: 19,322 (cm ²)	
Muestra N°	H _{opt} (%)	D _{max} (kg/cm ³)	Rango del Extensometro: 0,0025 (cm)	
pozo 6	9,50	2,020	Altura inicial de la Muestra: 11,600 (cm)	

CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD			
MOLDE N°	13	6	16
N° DE CAPAS	5	5	5
N° DE GOLPES	56	25	12

Condicion de la Muestra		Antes de Sumergirse		Despues de Sumergirse		Antes de Sumergirse		Despues de Sumergirse		Antes de Sumergirse		Despues de Sumergirse	
Descripcion	Unidad												
Peso muestra humeda + molde	[kg]	11,282		11,619		11,076		11,466		10,783		11,185	
Peso del molde	[kg]	6,737		6,737		6,779		6,779		6,665		6,665	
Peso muestra humeda	[kg]	4,545		4,882		4,297		4,687		4,118		4,520	
Volumen de la muestra	[cm ³]	3,253		3,253		3,254		3,254		3,252		3,252	
Densidad Humeda	[kg/cm ³]	1,397		1,501		1,321		1,440		1,266		1,390	
Muestra en Humedad		centro n/s		Centro s		centro n/s		Centro s		centro n/s		Centro s	
Descripcion	Unidad												
Lata N°	-	6,1		H		6,2		H		6,3		H	
Peso muestra humeda + lata	[g]	453,00		452,20		489,70		452,90		539,90		443,20	
Peso muestra seca + lata	[g]	430,60		397,90		458,70		400,80		498,60		387,50	
Peso del agua	[g]	22,40		54,30		31,00		52,10		41,30		55,70	
Peso de la lata	[g]	130,00		83,10		110,60		93,30		61,80		110,50	
Peso de la muestra seca	[g]	300,60		354,90		348,10		307,50		436,80		277,00	
Contenido de humedad	[%]	7,45		15,30		8,91		16,94		9,46		20,11	
Promedio del cont. de humedad	[%]	3,726		15,300		4,453		16,943		4,728		20,108	
Densidad seca	[kg/cm ³]	1,347		1,302		1,264		1,232		1,209		1,157	

EXPANSION										
Fecha	Tiempo Transcurrido (dias)	(56 Golpes)			(25 Golpes)			(12 Golpes)		
		Lectura extens.	Expansion		Lectura extens.	Expansion		Lectura extens.	Expansion	
			[cm]	[%]		[cm]	[%]		[cm]	[%]
31/10/2022	0	37	0.00	0.00	313	0.00	0.00	15	0.00	0.00
1/11/2022	1									
2/11/2022	2									
3/11/2022	3									
4/11/2022	4	818	0.00	0.04	887	0.00	0.04	401	0.01	0.09

C.B.R.																	
Penetracion		Carga Normal	(56 Golpes)					(25 Golpes)					(12 Golpes)				
			Lectura Div.	Carga de Ensayo			CBR	Lectura Div.	Carga de Ensayo			CBR	Lectura Div.	Carga de Ensayo			CBR
				[kg]	Calculado [kg/cm ²]	Calculado MPa			[%]	[kg]	Calculado [kg/cm ²]			Calculado MPa	[%]	[kg]	
[p[g.]]	[mm]	[kg/cm ²]															
0,000	0,00		0	0,00	0,00	0,00		0	0,00	0,00	0,00		0	0,00	0,00	0,00	
0,025	0,64		3	73,22	3,79	0,37		0	39,51	2,04	0,20		0	39,51	2,04	0,20	
0,050	1,27		3	73,22	3,79	0,37		1	50,75	2,63	0,26		1	50,75	2,63	0,26	
0,075	1,91		4	84,45	4,37	0,43		2	61,98	3,21	0,31		1	50,75	2,63	0,26	
0,100	2,54	70,3	4	84,45	4,37	0,43	6,22	2	61,98	3,21	0,31	4,56	1	50,75	2,63	0,26	3,74
0,200	5,08	105,45	5	95,69	4,95	0,49	4,70	3	73,22	3,79	0,37	3,59	2	61,98	3,21	0,31	3,04
0,300	7,62		6	106,92	5,53	0,54		4	84,45	4,37	0,43		3	73,22	3,79	0,37	
0,400	10,16		7	118,16	6,12	0,60		5	95,69	4,95	0,49		4	84,45	4,37	0,43	
0,500	12,70		8	129,39	6,70	0,66		5	95,69	4,95	0,49		4	84,45	4,37	0,43	

Fuente elaboration propia

FORMULACION DE UN MODELO MATEMATICO QUE RELACIONE LOS ENSAYOS DE PENETRACION ESTANDAR SPT Y CBR EN SUELOS DEL SECTOR ALPACOMA, EL ALTO.

	UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO CARRERA DE INGENIERIA CIVIL MECÁNICA DE SUELOS II (LABORATORIO) CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR) ASTM D 1883 - AASHTO T193	
---	---	---

PROYECTO: FORMULACION DE UN MODELO MATEMATICO QUE RELACIONE LOS ENSAYOS DE PENETRACION ESTANDAR SPT y CBR EN SUELOS DEL SECTOR ALPACOMA, EL ALTO RESPONSABLE: ING JORGE CH UNIV JHOSELIN C UNIV VERONICA C.I.: 2445557 LP FECHA: viernes, 28 de octubre de 2022	PROCEDENCIA: TALUD ALPACOMA CLIENTE: ING CIVIL PROG.: 0+400 MATERIAL: TERRENO TALUD
---	--

CARACTERISTICAS DEL SUELO			Area del Piston: 19,322 (cm ²)	
Muestra N°	H _{opt} (%)	D _{max} (kg/cm ³)	Rango del Extensometro: 0,0025 (cm)	
pozo 7	9,30	2,110	Altura inicial de la Muestra: 11,600 (cm)	

CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD			
MOLDE N°	19	29	30
N° DE CAPAS	5	5	5
N° DE GOLPES	56	25	12

Condicion de la Muestra		Antes de Sumergirse		Despues de Sumergirse		Antes de Sumergirse		Despues de Sumergirse		Antes de Sumergirse		Despues de Sumergirse	
Descripcion	Unidad												
Peso muestra humeda + molde	[kg]	11,484		11,751		11,293		11,591		10,976		11,348	
Peso del molde	[kg]	6,724		6,724		6,700		6,700		6,667		6,667	
Peso muestra humeda	[kg]	4,760		5,027		4,593		4,891		4,309		4,681	
Volumen de la muestra	[cm ³]	3,252		3,252		3,252		3,252		3,253		3,253	
Densidad Humeda	[kg/cm ³]	1,464		1,546		1,412		1,504		1,325		1,439	
Muestra en Humedad		centro n/s		Centro s		centro n/s		Centro s		centro n/s		Centro s	
Descripcion	Unidad												
Lata N°	-	7, 1		H		7, 2		H		7, 3		H	
Peso muestra humeda + lata	[g]	504,40		435,50		542,20		451,10		511,50		412,20	
Peso muestra seca + lata	[g]	474,00		388,10		508,60		404,20		479,60		366,80	
Peso del agua	[g]	30,40		47,40		33,60		46,90		31,90		45,40	
Peso de la lata	[g]	96,00		93,50		110,50		103,60		104,90		100,60	
Peso de la muestra seca	[g]	378,00		354,90		398,10		300,60		374,70		266,20	
Contenido de humedad	[%]	8,04		13,36		8,44		15,60		8,51		17,05	
Promedio del cont. de humedad	[%]	4,021		13,356		4,220		15,602		4,257		17,055	
Densidad seca	[kg/cm ³]	1,407		1,364		1,355		1,301		1,271		1,229	

EXPANSION										
Fecha	Tiempo Transcurrido (dias)	(56 Golpes)			(25 Golpes)			(12 Golpes)		
		Lectura extens.	Expansion		Lectura extens.	Expansion		Lectura extens.	Expansion	
			[cm]	[%]		[cm]	[%]		[cm]	[%]
31/10/2022	0	614	0.00	0.00	25	0.00	0.00	5	0.00	0.00
1/11/2022	1									
2/11/2022	2									
3/11/2022	3									
4/11/2022	4	1083	0.00	0.03	580	0.01	0.06	400	0.01	0.09

C.B.R.																	
Penetracion		Carga Normal	(56 Golpes)					(25 Golpes)					(12 Golpes)				
			Carga de Ensayo				CBR	Carga de Ensayo				CBR	Carga de Ensayo			CBR	
			Lectura Div.	[kg]	Calculado	Calculado		Calculado	Lectura Div.	[kg]	Calculado		Calculado	Calculado	Lectura Div.		[kg]
[g/g.]	[mm]	[kg/cm²]			[kg]	[kg/cm²]	MPa	[%]			[kg]	[kg/cm²]	MPa	[%]		[kg]	
0,000	0,00		0	0,00	0,00	0,00		0	0,00	0,00	0,00		0	0,00	0,00	0,00	
0,025	0,64		2	61,98	3,21	0,31		1	50,75	2,63	0,26		0	39,51	2,04	0,20	
0,050	1,27		2	61,98	3,21	0,31		2	61,98	3,21	0,31		0	39,51	2,04	0,20	
0,075	1,91		3	73,22	3,79	0,37		2	61,98	3,21	0,31		0	39,51	2,04	0,20	
0,100	2,54	70,3	4	84,45	4,37	0,43	6,22	3	73,22	3,79	0,37	5,39	0	39,51	2,04	0,20	2,91
0,200	5,08	105,45	4	84,45	4,37	0,43	4,14	3	73,22	3,79	0,37	3,59	1	50,75	2,63	0,26	2,49
0,300	7,62		5	95,69	4,95	0,49		4	84,45	4,37	0,43		2	61,98	3,21	0,31	
0,400	10,16		6	106,92	5,53	0,54		5	95,69	4,95	0,49		2	61,98	3,21	0,31	
0,500	12,70		8	129,39	6,70	0,66		7	118,16	6,12	0,60		3	73,22	3,79	0,37	

Fuente elaboration propia

FORMULACION DE UN MODELO MATEMATICO QUE RELACIONE LOS ENSAYOS DE PENETRACION ESTANDAR SPT Y CBR EN SUELOS DEL SECTOR ALPACOMA, EL ALTO.

	UNIVERSIDAD PUBLICA DE EL ALTO CARRERA DE INGENIERIA CIVIL MECÁNICA DE SUELOS II (LABORATORIO) CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR) ASTM D 1883 - AASHTO T193	
---	--	---

PROYECTO: FORMULACION DE UN MODELO MATEMATICO QUE RELACIONE LOS ENSAYOS DE PENETRACION ESTANDAR SPT y CBR EN SUELOS DEL SECTOR ALPACOMA, EL ALTO RESPONSABLE: ING JORGE CH UNIV JHOSELIN C UNIV VERONICA C.I.: 2445557 LP FECHA: viernes, 28 de octubre de 2022	PROCEDENCIA: TALUD ALPACOMA CLIENTE: ING CIVIL PROG.: 0-400 MATERIAL: TERRENO TALUD
---	---

CARACTERISTICAS DEL SUELO			Area del Piston: 19,322 (cm ²)
Muestra N°	H _{opt} (%)	D _{max} (kg/cm ³)	Rango del Extensometro: 0,0025 (cm)
pozo 8	9,10	2,115	Altura inicial de la Muestra: 11,600 (cm)

CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD			
MOLDE N°	21	22	23
N° DE CAPAS	5	5	5
N° DE GOLPES	56	25	12

Condicion de la Muestra		Antes de Sumergirse	Despues de Sumergirse	Antes de Sumergirse	Despues de Sumergirse	Antes de Sumergirse	Despues de Sumergirse
Descripcion	Unidad						
Peso muestra humeda + molde	[kg]	11,515	11,815	11,402	11,735	11,080	11,487
Peso del molde	[kg]	6,704	6,704	6,681	6,681	6,716	6,716
Peso muestra humeda	[kg]	4,811	5,111	4,721	5,054	4,364	4,771
Volumen de la muestra	(cm ³)	3,252	3,252	3,253	3,253	3,251	3,251
Densidad Humeda	[kg/cm ³]	1,479	1,572	1,451	1,554	1,342	1,468
Muestra en Humedad		centro n/s	Centro s	centro n/s	Centro s	centro n/s	Centro s
Descripcion	Unidad						
Lata N°	-	8,1	H	8,2	H	8,3	H
Peso muestra humeda + lata	[g]	780,20	489,30	503,20	432,40	508,40	626,30
Peso muestra seca + lata	[g]	741,10	440,10	476,40	391,00	479,60	555,00
Peso del agua	[g]	39,10	49,20	26,80	41,40	28,80	71,30
Peso de la lata	[g]	100,60	103,60	103,60	100,60	93,50	93,50
Peso de la muestra seca	[g]	640,50	354,90	372,80	290,40	386,10	461,50
Contenido de humedad	[%]	6,10	13,86	7,19	14,26	7,46	15,45
Promedio del cont. de humedad	[%]	3,052	13,863	3,594	14,256	3,730	15,450
Densidad seca	[kg/cm ³]	1,436	1,380	1,401	1,360	1,294	1,271

EXPANSION										
Fecha	Tiempo Transcurrido (dias)	(56 Golpes)			(25 Golpes)			(12 Golpes)		
		Lectura extens.	Expansion		Lectura extens.	Expansion		Lectura extens.	Expansion	
			[cm]	[%]		[cm]	[%]		[cm]	[%]
31/10/2022	0	515	0.00	0.00	308	0.00	0.00	82	0.00	0.00
1/11/2022	1									
2/11/2022	2									
3/11/2022	3									
4/11/2022	4	1082	0.00	0.03	810	0.00	0.04	514	0.01	0.01

C.B.R.																
Penetracion		Carga Normal	(56 Golpes)				(25 Golpes)				(12 Golpes)					
			Lectura Div.	Carga de Ensayo			Lectura Div.	Carga de Ensayo			Lectura Div.	Carga de Ensayo				
[plg.]	[mm]	[kg/cm²]		[kg]	Calculado [kg/cm²]	Calculado MPa		Calculado [%]	[kg]	Calculado [kg/cm²]		Calculado MPa	Calculado [%]	[kg]	Calculado [kg/cm²]	Calculado MPa
0,000	0,00		0	0,00	0,00	0,00		0	0,00	0,00	0,00		0	0,00	0,00	0,00
0,025	0,64		2	61,98	3,21	0,31		1	50,75	2,63	0,26		1	50,75	2,63	0,26
0,050	1,27		3	73,22	3,79	0,37		2	61,98	3,21	0,31		1	50,75	2,63	0,26
0,075	1,91		3	73,22	3,79	0,37		2	61,98	3,21	0,31		1	50,75	2,63	0,26
0,100	2,54	70,3	4	84,45	4,37	0,43	6,22	2	61,98	3,21	0,31	4,56	1	50,75	2,63	0,26
0,200	5,08	105,45	6	106,92	5,53	0,54	5,25	3	73,22	3,79	0,37	3,59	2	61,98	3,21	0,31
0,300	7,62		7	118,16	6,12	0,60		4	84,45	4,37	0,43		2	61,98	3,21	0,31
0,400	10,16		8	129,39	6,70	0,66		5	95,69	4,95	0,49		3	73,22	3,79	0,37
0,500	12,70		9	140,63	7,28	0,71		6	106,92	5,53	0,54		3	73,22	3,79	0,37

Fuente elaboration propia

FORMULACION DE UN MODELO MATEMATICO QUE RELACIONE LOS ENSAYOS DE PENETRACION ESTANDAR SPT Y CBR EN SUELOS DEL SECTOR ALPACOMA, EL ALTO.