



UNIVERSIDAD RICARDO PALMA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

“Comparar el californian bearing ratio aplicando los métodos de campo del penetrómetro dinámico ligero y de laboratorio para diseñar pavimentos en el sector 3 grupo 25A de Villa El Salvador.”

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

AUTOR

Tupayachi Coral, Gerardo Sebastián

ORCID: 0000-0002-6935-489X

ASESOR

Arévalo Lay, Víctor Eleuterio

ORCID: 0000-0002-2518-8201

Lima, Perú

2022

Metadatos Complementarios

Datos del autor(es)

Tupayachi Coral, Gerardo Sebastián

DNI: 76951088

Datos de asesor

Arévalo Lay, Víctor Eleuterio

DNI: 04434662

Datos del jurado

JURADO 1

Donayre Córdova, Oscar Eduardo

DNI: 06162939

ORCID: 0000-0002-4778-3789

JURADO 2

Huamán Guerrero, Néstor Wilfredo

DNI: 10281360

ORCID: 0000-0002-7722-8711

JURADO 3

Ponce Filios, José Luis

DNI: 09500891

ORCID: 0000-0001-6065-3538

JURADO 4

Garfias Zúñiga, Xavier Ernesto

DNI: 08743801

ORCID: 0000-0002-5232-7107

Datos de la investigación

Campo del conocimiento OCDE: 2.01.01

Código del Programa: 732016

DEDICATORIA

Dedico esta tesis mi abuelo Jorge, el cual siempre estuvo para mí y fue como un segundo padre, también a mis padres Gilda y Gerardo por confiar en mí y creer que lo lograría.

Gerardo Sebastián Tupayachi Coral

AGRADECIMIENTO

Agradezco a todos los que de alguna forma me permitieron terminar la carrera de Ingeniería Civil; familiares, profesores y amigos.

Gerardo Sebastián Tupayachi Coral

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	i
ABSTRACT.....	ii
INTRODUCCIÓN	iii
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO Y DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA	1
1.1 Formulación y delimitación del problema	1
1.1.1 Problema General:	2
1.1.2 Problemas específicos:	2
1.2 Importancia y justificación del estudio	3
1.2.1 Técnico	3
1.2.2 Social	3
1.2.3 Metodológico.....	3
1.3 Limitaciones del estudio	4
1.3.1 Geográfico	4
1.3.2 Económicos	4
1.3.3 Acceso a Documentación	4
CAPÍTULO II: OBJETIVOS	5
2.1 Objetivo General.....	5
2.2 Objetivos Específicos	5
CAPÍTULO III: MARCO TEÓRICO.....	6
3.1 Antecedentes.....	6
3.2 Investigaciones relacionadas.....	7
3.2.1 Estudios nacionales	7
3.2.1 Estudios internacionales	8
3.3 Estructura teórica y científica que sustenta el estudio	10
3.3.1 Pavimentos	10
3.3.2 Clasificación del pavimento	10
3.3.3 Estructura del pavimento	11
3.3.4 Diseño de pavimento rígido.....	11
3.3.5 Módulo de reacción de la subrasante (k)	12
3.3.6 Propiedades físicas – mecánicas de la subrasante	12

3.3.7 Métodos para estudio de las características del material de la subrasante.	13
3.3.8 CBR según MTC	15
3.3.9 PCD según ASTMD	18
3.3.10 Correlación de Variables	20
CAPÍTULO IV: HIPÓTESIS	23
4.1 Hipótesis General.....	23
4.2 Hipótesis Específicas	23
CAPÍTULO V: METODOLOGÍA DEL ESTUDIO	24
5.1 Tipo y método de investigación.....	24
5.1.1 Tipo de investigación	24
5.2 Método de investigación.....	25
5.3 Población de estudio	25
5.4 Diseño Muestral	25
5.5 Relación entre variables.....	26
5.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	27
5.5.1 Ensayo CBR en laboratorio	27
5.5.2 Ensayo DCP in situ.....	28
5.6 Procedimientos para recolección de datos	29
5.7 Descripción de los procesos.....	30
5.7.1 Selección de herramientas y equipos a utilizar.....	30
5.7.2. Obtención de muestras en la zona de estudio.....	30
5.7.3. Aplicación de ensayo DCP in-situ.....	30
5.7.4. Aplicación de ensayo CBR en laboratorio	33
5.8 Técnicas de procesamiento y análisis de datos	39
CAPÍTULO VI: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	40
6.1 Resultados en gráficos y tablas.	40
6.1.1 Contenido de Humedad	40
6.1.2 Granulometría.....	40
6.1.3 Proctor Modificado.....	46
6.1.4 Relación de Soporte – CBR (en laboratorio).....	51
6.1.5 Ensayo DCP - ASTM-D 6951 para comparar con CBR de laboratorio.....	56
6.1.6 Ensayo DCP - ASTM-D 6951 para comparar con software UK DCP.....	68

6.1.7 CBR según software UK DCP	79
6.2 Discusión de resultados	82
CONCLUSIONES	89
RECOMENDACIONES	90
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	91
ANEXOS.....	94
Anexo 1: Ensayo de Contenido de Humedad	94
Anexo 2: Análisis Granulométrico	95
Anexo 3: Ensayo Próctor Modificado	98
Anexo 4: Relación de Soporte – CBR	101
Anexo 5: Ensayo DCP ASTM-D 6951	107
Anexo 6: Carta de Autorización	110

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 - Resumen de la expresión brindada por el ASTM D-6951	19
Tabla 2 - Muestra resumen de ecuaciones en diversas investigaciones	22
Tabla 3 – Número de Puntos de Investigación según Tipo de Vía.	26
Tabla 4 – Variables de tesis.	27
Tabla 5 – Ensayos según norma	29
Tabla 6 – Valores de Cálculo ensayo de Contenido de Humedad.....	40
Tabla 7 – Datos de Tamices para Muestra 1 de Calicata 01 en ensayo de Granulometría	41
Tabla 8 – Datos de Tamices para Muestra 1 de Calicata 02 en ensayo de Granulometría	43
Tabla 9 – Datos de Tamices para Muestra 1 de Calicata 02 en ensayo de Granulometría	45
Tabla 10 – Valores y Cálculos de ensayo Proctor Modificado para Calicata 01.....	47
Tabla 11 – Valores y Cálculos de ensayo Proctor Modificado para Calicata 02.....	48
Tabla 12 – Valores y Cálculos de ensayo Proctor Modificado para Calicata 03.....	50
Tabla 13 – Valores y Cálculos de ensayo CBR para Calicata 01	51
Tabla 14 – Valores y Cálculos de ensayo CBR para Calicata 02	53
Tabla 15 – Valores y Cálculos de ensayo CBR para Calicata 03	55
Tabla 16 – Valores de ensayo 01 DCP para Calicata 01	57
Tabla 17 – Valores de ensayo 02 DCP para Calicata 01	58
Tabla 18 – Valores de ensayo 03 DCP para Calicata 01	59
Tabla 19 – Valores de ensayo 01 DCP para Calicata 02	61
Tabla 20 – Valores de ensayo 02 DCP para Calicata 02	62
Tabla 21 – Valores de ensayo 03 DCP para Calicata 02	63

Tabla 22 – Valores de ensayo 01 DCP para Calicata 03	65
Tabla 23 – Valores de ensayo 02 DCP para Calicata 03	66
Tabla 24 – Valores de ensayo 03 DCP para Calicata 03	67
Tabla 25 – Valores de ensayo 01 DCP para Calicata 04	69
Tabla 26 – Valores de ensayo 02 DCP para Calicata 04	70
Tabla 27 – Valores de ensayo 03 DCP para Calicata 04	71
Tabla 28 – Valores de ensayo 01 DCP para Calicata 05	72
Tabla 29 – Valores de ensayo 02 DCP para Calicata 05	73
Tabla 30 – Valores de ensayo 03 DCP para Calicata 05	74
Tabla 31 – Valores de ensayo 01 DCP para Calicata 06	75
Tabla 32 – Valores de ensayo 02 DCP para Calicata 06	76
Tabla 33 – Valores de ensayo 03 DCP para Calicata 06	78
Tabla 34 – Comparación de resultados de ensayos CBR	83
Tabla 35 – Análisis de Varianza de Resultados del DCP de Campo (Calicatas 01, 02 y 03)	83
Tabla 36 – Comparación de resultados de ensayos CBR en campo y CBR según software UK DCP	86

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Sección del Pavimento Asfáltico	10
Figura 2 – Sección del Pavimento Asfáltico.....	11
Figura 3 – Formula % de agua a añadir	16
Figura 4 – Formula % de expansión	17
Figura 5 – Presión ejercida en relación con la penetración	17
Figura 6 - Esquema del Equipo DCP	18
Figura 7 – Ejemplo de Curva DCP	19
Figura 8 - Formula de correlación de DCP con CBR.	21
Figura 9 – Área Vial en Líneas Amarillas, Sector 3 Grupo 25A Villa el Salvador.....	25
Figura 10 – Limpieza de terreno.....	31
Figura 11 – Realización de calicatas.....	31
Figura 12 – Realización de ensayo DCP	32
Figura 13 – Medición en ensayo DCP	32
Figura 14 – Realización de ensayo DCP	33
Figura 15 – Realización de ensayo contenido de humedad	34
Figura 16 – Realización de análisis granulométrico	35
Figura 17 – Verificación de limites	36
Figura 18 – Cuarteo de muestra.....	37
Figura 19 – Realización de ensayo proctor.....	38
Figura 20 – Granulometría Calicata 01.....	42
Figura 21 – Granulometría Calicata 02.....	44
Figura 22 – Granulometría Calicata 03.....	46
Figura 23 – Máxima Densidad y Óptimo Contenido de Humedad Calicata 01	47

Figura 24 – Máxima Densidad y Óptimo Contenido de Humedad Calicata 02	49
Figura 25 – Máxima Densidad y Óptimo Contenido de Humedad Calicata 03	50
Figura 26 – CBR a 0.1” de penetración Calicata 01	52
Figura 27 – CBR a 0.1” de penetración Calicata 02	54
Figura 28 – CBR a 0.1” de penetración Calicata 03	56
Figura 29 – Diagrama estructural DN vs Profundidad Calicata 01 – Ensayo 01	57
Figura 30 – Diagrama estructural DN vs Profundidad Calicata 01 – Ensayo 02	59
Figura 31 – Diagrama estructural DN vs Profundidad Calicata 01 – Ensayo 03	60
Figura 32 – Diagrama estructural DN vs Profundidad Calicata 02 – Ensayo 01	61
Figura 33 – Diagrama estructural DN vs Profundidad Calicata 02 – Ensayo 02	63
Figura 34 – Diagrama estructural DN vs Profundidad Calicata 02 – Ensayo 03	64
Figura 35 – Diagrama estructural DN vs Profundidad Calicata 03 – Ensayo 01	65
Figura 36 – Diagrama estructural DN vs Profundidad Calicata 03 – Ensayo 02	67
Figura 37 – Diagrama estructural DN vs Profundidad Calicata 03 – Ensayo 03	68
Figura 38 – Diagrama estructural DN vs Profundidad Calicata 04 – Ensayo 01	69
Figura 39 – Diagrama estructural DN vs Profundidad Calicata 04 – Ensayo 02	70
Figura 40 – Diagrama estructural DN vs Profundidad Calicata 04 – Ensayo 03	71
Figura 41 – Diagrama estructural DN vs Profundidad Calicata 05 – Ensayo 01	73
Figura 42 – Diagrama estructural DN vs Profundidad Calicata 05 – Ensayo 02	74
Figura 43 – Diagrama estructural DN vs Profundidad Calicata 05 – Ensayo 03	75
Figura 44 – Diagrama estructural DN vs Profundidad Calicata 06 – Ensayo 01	76
Figura 45 – Diagrama estructural DN vs Profundidad Calicata 06 – Ensayo 02	77
Figura 46 – Diagrama estructural DN vs Profundidad Calicata 05 – Ensayo 03	78
Figura 47 – Estado de capa ingresado en UK DCP	79

Figura 48 – Valores CBR para Calicata 04 según UK DCP.....	80
Figura 49 – Valores CBR para Calicata 05 según UK DCP.....	81
Figura 50 – Valores CBR para Calicata 06 según UK DCP.....	82
Figura 51 – Diagrama CBR Laboratorio vs N PDC	84
Figura 52 – Diagrama CBR Laboratorio vs N PDC Pisci para SM.....	85
Figura 53 – Diagrama CBR Laboratorio vs N PDC Pisci para CL y CL-ML.....	85
Figura 54 – Diagrama CBR Laboratorio vs N PDC	87

RESUMEN

Esta investigación presenta comparativa de los valores obtenidos entre California Bearing Ratio (CBR) de laboratorio y el Penetrómetro Dinámica de Cono (PDC) in situ, esta comparativa busca demostrar la confiabilidad del método de campo según la norma ASTM-D 6951 de tal forma que se pueda optimizar tiempos de ensayo y realizar mayor cantidad de puntos analizados, y sobretodo obtener valores in-situ con el suelo en estado natural

Este estudio se realizó en la zona de Villa El Salvador debido a que es un distrito en donde la inversión está centrada en el desarrollo urbano de pistas y veredas, por lo que la herramienta del ensayo con PDC para obtener valores CBR in-situ según ASTM-D 6951 puede ser de gran utilidad.

Se extrajeron muestras de la subrasante; muy cercanas a la realización del ensayo del PDC in situ, que se llevaron a un laboratorio de suelos, para ser ensayadas y así obtener sus propiedades, como la granulometría, máxima densidad seca, entre otros y también el valor del CBR de laboratorio; todos estos ensayos bajo las normativas peruanas vigentes según el MTC.

Luego de determinados los resultados del método de campo y laboratorio, se realizaron cuadros comparativos y análisis de varianza y error de los valores obtenidos de ambos métodos, además, a través de regresión logarítmica se logró una ecuación de correlación de Valor N PDC y el valor CBR de laboratorio.

Palabras Clave: CBR, Suelos, California bearing ratio, Penetrómetro Dinámico de Cono, Villa el Salvador, PDC

ABSTRACT

This research presents a comparison of the values obtained between the laboratory California Bearing Ratio (CBR) and the Cone Dynamic Penetrometer (PDC) in situ. This comparison seeks to demonstrate the reliability of the field method according to the ASTM-D 6951 standard in such a way that it is possible to optimize test times and carry out a greater number of points analyzed, and above all, obtain in-situ values with the soil in its natural state.

This study was carried out in the Villa El Salvador area because it is a district where investment is focused on the urban development of roads and sidewalks, therefore the PDC test tool to obtain in-situ CBR values according to ASTM -D 6951 can be very useful.

Samples were taken from the subgrade; very close to the completion of the PDC test in situ, which were taken to a soil laboratory, to be tested and thus obtain their properties, such as granulometry, maximum dry density, among others and also the laboratory CBR value; all these tests under current Peruvian regulations according to the MTC.

After determining the results of the field and laboratory method, comparative tables and analysis of variance and error of the values obtained from both methods were made, in addition, through logarithmic regression, a correlation equation of Value N PDC and the value Laboratory CBR.

Keywords: Soil, California bearing ratio, CBR, Dynamic Cone Penetrometer, PDC, Villa el Salvador.

INTRODUCCIÓN

La presente investigación comparó el valor CBR aplicando los métodos de campo del PDC y el CBR de laboratorio, de los suelos del Sector 3 Grupo 25A del distrito de Villa El Salvador, en la ciudad de Lima, Perú.

Además, se correlacionó los métodos de campo y laboratorio con la siguiente ecuación de correlación experimental para el suelo arena mal gradada con limo (SP-SM) y Arenal mal gradada (SP) de Villa El Salvador Sector 3 Grupo 25A obteniendo $CBR_{LAB} = -36.69 \ln(NPDC) + 120.63$, como dato adicional el coeficiente de correlación es $R^2 = 0.7557$; esta ecuación logarítmica se puede aplicar en los suelos del Sector 3 Grupo 25A de Villa el Salvador .

La tesis desarrolla en el primer capítulo la problemática, donde se formula tanto el problema principal como los específicos, los cuales derivan en los objetivos presentados en el segundo capítulo. El tercer capítulo se presenta el marco teórico que incluye las normativas, antecedentes, bases teóricas e información de apoyo técnico para la elaboración de esta investigación. En el cuarto capítulo se presenta la hipótesis principal y las específicas. En el quinto capítulo se desarrolla el marco metodológico aplicado. El sexto capítulo desarrolla la interpretación de resultados para sustentar la validación o no de las hipótesis planteadas. Finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones en los capítulos homónimos.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO Y DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

1.1 Formulación y delimitación del problema

La ingeniería en el Perú, como industria, tiene mucha demanda debido al desarrollo económico y la búsqueda de descentralización del país. El desarrollo de nuevos proyectos y tecnologías, no solo aportan en la economía, sino también en el impacto social y el sentido de pertenencia al país.

Dentro de esta mencionada descentralización, se involucra a varios campos de la ingeniería, como la hidráulica (proyectos de presas, obras hidráulicas, energía), la eléctrica (Transmisión y Generación de energía), la mecánica (turbinas, maquinaria, habilitación de industrias), la sanitaria (plantas de tratamientos de aguas residuales, PTA) y muchas otras (vial, electrónica, textil, industrias alimentarias, vial, agroindustrias).

Uno de estos campos, y del cual se centrará esta investigación, es el sector vial/transportes (carreteras, vías), el cual tiene como función conectar el transporte terrestre, el cual fomenta la economía de los sectores beneficiados donde pasan las carreteras, en el ámbito turístico, comercial y social. Es en ese sentido que para desarrollar de manera correcta los proyectos viales, se requieren de obtener los mayores datos posibles que conlleven a un buen diseño y de manera económica.

Para un diseño de afirmado, pavimento o superficie de rodadura de terreno natural; es indispensable contar un diseño de pavimento, y, se requiere diversos parámetros, uno de ellos es la capacidad portante del suelo o la resistencia al corte; lo cual se hace sostenible mediante la realización de un estudio geotécnico, el cual nos brindará los datos y parámetros del suelo sobre el cual se realizará el proyecto. Uno de estos parámetros es el indicador denominado California Bearing Ratio (CBR), el cual generalmente se obtiene de ensayos realizados en laboratorio. Este parámetro está directamente relacionado con la capacidad portante del suelo.

“Entonces recalcando; el concepción y ejecución de carreteras y pavimentos incluye la obligación de realizar un estudio de suelos, para hallar las propiedades físicas y mecánicas, tales como capacidad portante, índice CBR y máxima densidad seca. Dentro de esta actividad se hace uso de diversos métodos como de CBR en laboratorio, CBR in situ, resistencia al corte, módulo resiliente, entre otros.

Claramente unos más procedimentalmente elaborados que otros. La evolución tecnológica exige una adaptación de herramientas y equipos a gracias a las nuevas tendencias, lo que encaja perfecto con países lo cuales cuentas con inversión suficiente para esta adaptación en sus laboratorios de ensayos para pavimentos y suelos, por otro lado países en reciente desarrollo como Perú las investigaciones están dirigidas a hacer los equipos más prácticos y económicos, esto fomentaría la frecuencia de uso debido a reducción de costos y la alternativa de que la mayoría de los profesionales de la construcción tengan oportunidad de obtener mayor data que los que recomienda el MTC según Cuadro 4.1 en el manual de carreteras Sección Suelos y Pavimentos, subrasantes para el caso de esta investigación (Tabla X - Número de Calicatas para Exploración de Suelos en Subrasantes según MTC); y a menores costos, lo que conlleva a un proyecto consistente en economía, diseño y buena ejecución de proyectos.” (Llanos y Reyes, 2017)

“Para obtener el CBR: realizar ensayos por métodos de laboratorio demanda más tiempo y disponibilidad inmediata del laboratorio, otra alternativa sería realizar el ensayo CBR in situ, el cual no es barato, es entonces cuando el DCP genera valor debido a que estos controles se pueden realizar, también, con el equipo DCP.” (Injante, 2012).

En otras palabras, demostrar la eficacia del equipo DCP, permitiría proyectos más rápidos, más económicos y más versátiles que los de laboratorio que generalmente nos dan los resultados luego de 4 días.

El uso del equipo DCP no tiene complejidad alguna en el proceso y uso, como otros ensayos in-situ, ya que una simple capacitación al personal, permitiría obtener resultados precisos.

1.1.1. Problema General:

¿Cuál es el CBR con el método de campo del DCP (ASTMD-6951) y el método de laboratorio del CBR según los suelos del Sector 3 Grupo 25A de Villa el Salvador?

1.1.2. Problemas específicos:

a) ¿Cuál es el estado del arte de la norma ASTM D-6951 del método de campo del CBR aplicando el Penetrómetro de Cono Dinámico (DCP)?

b) ¿Cuál es el CBR aplicando el método de campo del DCP en los suelos del sector 3 Grupo 25A de Villa el Salvador?

c) ¿Cuál es el CBR aplicando el método de laboratorio en los suelos del sector 3 Grupo 25A de villa el salvador?

1.2 Importancia y justificación del estudio

1.2.1 Técnico

El Perú está en la obligación de desarrollar investigaciones que permitan obtener gran cantidad de datos de campo de infraestructura vial a menor costo y tiempo. Debido a eso, se realiza esta investigación para demostrarr la confiabilidad del ensayo DCP para obtener el CBR de suelos de Lima en el distrito de Villa el Salvador.

1.2.2 Social

Respecto a la importancia social, es importante saber la ejecución de patrimonio vial, es de uso público, por lo que una ejecución que parte de un correcto diseño, permitiría tener un proyecto bien desarrollado, el cual beneficiaría a la población usuaria en general. Además de las vías promueven el comercio, transporte, logística, entre otros factores que benefician la economía de la zona de intervención.

1.2.3 Metodológico

La importancia de metodología de la investigación radica en que esta es un conducto indispensable para focalizar la teoría y la práctica, para resolver problemas mediante el método científico. Además porque contribuye a tener una alternativa de método de auscultación de las capacidades y espesores de los estratos del terreno natural, frente a otros métodos como CBR de laboratorio, CBR in situ y módulo resiliente.

1.3 Limitaciones del estudio

1.3.1 Geográfico

El estudio se limita a un área de estudio determinada, ya que los resultados solo reflejan los de Sector 3 Grupo 25A el cual se encuentra en Villa el Salvador.

1.3.2 Económicos

La importancia económica radica en que permite ahorrar aproximadamente un 60% de los costos de estudio de suelos y la aproximación técnica está en el orden del 90% como se pretende demostrar en esta tesis.

1.3.3 Acceso a Documentación

Debido a la coyuntura (estado de emergencia) se tendrá al acceso digital de planos de ubicación, viales y lotización (los cuales ya se tienen archivados) brindados por el área de Proyectos de la municipalidad de Villa el Salvador, de manera digital.

CAPÍTULO II: OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Comparar el CBR con el método de campo del DCP (ASTMD-6951) y el método de laboratorio del CBR, para ser aplicados al diseño de pavimentos, en el Sector 3 Grupo 25A de Villa el Salvador.

2.2 Objetivos Específicos

- a) Estudiar el estado del arte de la norma ASTM D-6951 del método de campo del CBR aplicando el Penetrómetro de Cono Dinámico (DCP) a fin de analizar la aplicación en diseño de pavimentos.
- b) Determinar el CBR con el método de campo del DCP para ser aplicados al diseño de pavimentos en los suelos del sector 3 grupos 25A de Villa el Salvador
- c) Determinar el CBR aplicando el método de laboratorio para ser comparado con el método del DCP y ser aplicado al diseño de pavimentos en los suelos del sector 3 de Villa el salvador.

CAPÍTULO III: MARCO TEÓRICO

3.1 Antecedentes

“California Bearing Ratio es un ensayo que permite a evaluar la calidad de un suelo basado en su resistencia” (Manotoa, 2016)

“CBR, según sus siglas, en español significa relación de soporte California, y por las siglas en inglés significa California Bearing Ratio.” (Manotoa, 2016)

“A pesar de ser desarrollado en 1925, el ensayo recién aparece en la norma ASTM desde el año 1964, en la versión para laboratorio del ensayo (ASTM D 1883), y en la versión para campo (ASTM D 4429). Hoy por hoy, debido al relativo bajo costo de ejecución en comparación a otros más complejos como los ensayos triaxiales, el CBR es uno de los ensayos más aceptados y reconocidos en el mundo, además de que está asociado diversas correlaciones empíricas y semi-empíricas” (Manotoa, 2016)

El CBR se puede obtener mediante fórmulas de correlación a partir del ensayo DCP gracias a la norma ASTM D 6951. Uno de los aspectos mecánicos de DCP es generar valores de CBR en el campo mediante mediciones de tasas de penetración en suelo no perturbado. Este estudio se basa en la recopilación de data tanto de campo como de laboratorio a través de varias pruebas mecánicas del suelo, para validar si se puede confirmar o no una correlación entre los métodos CBR y DCP para la subrasante de la zona de estudio (Viscarra, 2006).

“Por cada muestra de suelo se calcularon dos valores de CBR, uno a 0.1 pulgada de penetración y otro a 0.2 pulgada de penetración. La pregunta habitual es ¿Qué CBR se reporta? ASTM dice que se informa 0,1 pulgadas siempre que sea inferior a 0,2 pulgadas. En caso de que el valor de CBR para 0,1 pulgadas sea mayor que el valor de 0,2 pulgadas, la prueba debe repetirse para esta muestra (el estándar en inglés dice re-ejecutar, lo traducimos como rehacer prueba, pero esto no aclara si debe ser volver a hacer, o si la opción voltear y verificar se puede usar por otro lado).” (Viscarra, 2006).

“En la versión de laboratorio de CBR, las muestras de suelo se compactan con el probador Proctor, utilizando un molde de 6 pulgadas de diámetro y un martillo grande. La tasa de penetración del pistón durante la prueba fue constante e igual a 1,27 mm/min” (Viscarra, 2006).

Según ASTM, para la versión de laboratorio de la prueba CBR, existen dos variaciones, una denominada "CBR para humedad óptima" y la otra denominada "CBR para un amplio rango de contenido de agua".

CBR para Optimum Humidity es la variante más popular y también se conoce como "Three Point CBR". "Implicó crear tres muestras de prueba compactando el suelo con energías de compresión de 12, 25 y 56 golpes por capa. El contenido de humedad del suelo mezclado es el contenido de humedad óptimo de Proctor modificado. Para obtener el CBR del suelo se elabora un histograma con los resultados de los ensayos de tres probetas, dando el grado de compactación o densidad por abscisas y el valor CBR en la coordenada, y los puntos se conectan mediante una curva. Suelo CBR se define como la intersección correspondiente al nivel mínimo de compactación establecido por las especificaciones de organización del proyecto o aplicación. Aunque ASTM explica que esta variación es para suelos que probablemente no se humedezcan (p. ej., suelos limpios), generalmente se usa para todos los suelos (existe el riesgo de no evaluar el efecto del contenido de humedad en suelos sensibles) (Viscarra, 2006).

3.2 Investigaciones relacionadas

3.2.1. Estudios nacionales

Tupia (2001), en su estudio tuvo como objetivo correlacionar matemáticamente el PDC y el CBR in situ, esta correlación facilitó determinar parámetros del terreno de fundación. Contribuyo, también, en su investigación con un método de corrección del CBR in situ, con un equivalente a la corrección del Ensayo CBR de laboratorio. De misma forma, Injante (2012), en su estudio acerca de la Resistencia insitu de subrasante utilizando penetrómetro dinámico de cono en la ciudad de Ica, correlacionó los valores de DCP y CBR pero para el caso de la ciudad de Ica; y Cruz (2019), en su tesis lo hizo para el caso de la ciudad de Lambayeque.

Llanos & Reyes (2017), también realizaron el estudio comparativo de CBR y DCP en la localidad de Picsi, donde además de validar la confiabilidad del ensayo DCP según norma ASTM D 6951 también validaron la economicidad del ensayo DCP menos de la mitad (42%) respecto al ensayo California

Bearing Ratio (CBR de laboratorio). Dentro de sus conclusiones, nos da un indicador de la eficacia de los resultados y velocidad del uso de DCP, lo cual se comenta en el planteamiento del problema.

3.2.1. Estudios internacionales

Riofrio (2015): “En el estudio acerca de la Caracterización de los materiales de subrasante en zonas no urbanizadas de la ciudad de Loja, aplicadas a obras de infraestructura vial en el polígono denominado Borja. Se concluye que la capacidad portante es el esfuerzo máximo que puede resistir un suelo sin llegar a romperse o mostrar fallas por cortante por acción de las cargas a las que esta se encuentre sometido. Existen diversos ensayos que ayudan a determinar el comportamiento de los suelos bajo la acción de cargas, entre los más comunes tenemos el Ensayo de Relación de Soporte California (C.B.R.), Ensayo del penetrómetro dinámico de cono (D.C.P.) y Módulo de reacción de la subrasante (k). Nos da a entender la relación de la capacidad portante, parámetro importante en la investigación del cual se detallará más en el marco teórico, con los ensayos a realizar.”

Manotoa (2016): “Realizó el estudio de la correlación entre los ensayos (DCP) penetrómetro dinámico de cono y (CBR) relación de soporte de california en los diferentes tipos de suelos, donde se ha concluido que el número CBR se obtiene como relación de carga unitaria necesarias para lograr una cierta profundidad de una penetración del pistón dentro de una muestra de suelo con condiciones controladas respecto a la carga unitaria patrón requerida para obtener la misma profundidad de penetración en una muestra estándar de material triturado.”

Contreras & Garcia (2019): “Realizaron el estudio relacionado con el ensayo DCP para establecer condiciones de compacidad de estratos arenosos sueltos densos y condiciones de consistencia de estratos arcillosos de consistencia media firme. Se concluye que debido a su carácter dinámico no es muy adecuado o confiable para los suelos arcillosos sensitivos de consistencia media a baja. En suelos arenosos el resultado del P.D.C., está influenciado principalmente por la densidad relativa del suelo y por el nivel de confinamiento efectivo reinante a la profundidad del ensayo, similar a lo

expresado para el ensayo de penetración estándar. Para arenas muy finas y limos arenosos saturados con densidades relativas superiores a la crítica el resultado del P.D.C., puede ser anormalmente alto debido a las presiones de poros negativas generadas por la dilatación, con el consecuente aumento instantáneo de los esfuerzos efectivos y de la resistencia. Muy adecuado para complementar exploraciones de suelo, combinándolo con perforaciones, muestreos, sondeos y otros ensayos de campo reduciendo costos y tiempo, y cubriendo grandes áreas con suficiente información.”

Bermúdez & Vásquez (2016): “Sostienen que la validación del método de DCP aplicado en campo en relación al ensayo CBR en laboratorio; se constituye en un instrumento diseñado para el rápido uso en pavimento que permite obtener las propiedades del suelo de manera fácil y en zonas difíciles de ingresar. Una de las facultades mecánicas del DCP es producir el valor de CBR en campo a través mediciones del índice de penetración en suelos inalterados. En su investigación comprobaron que la fórmula establecida por la norma ASTM D 6951 es válida y aplicable en los suelos de Tegucigalpa.”

Viscarra (2006): “Señaló que el número DCP representa la penetración obtenida por golpe y se expresa en mm/golpe; es el valor de la pendiente de la curva DCP para la capa en estudio, mientras más vertical sea la gradiente, menor será la resistencia del suelo. Asimismo, esta medida de penetración describe la resistencia promedio de un suelo a través de cierta profundidad alcanzada, la cual se determina como el trabajo realizado por el suelo para detener el cono de penetración, dividido entre la distancia de penetración. Concluyo su investigación con la premisa de que existe una correlación significativa entre el número DCP y el valor de CBR mediante un análisis regresional.”

Borja (2021): “En su investigación Correlación entre el CBR, DCP, las propiedades índice y mecánicas en los suelos granulares de la parroquia san José de Poaló del cantón Píllaro, provincia de Tungurahua concluyó que existe una correlación entre el CBR de laboratorio y DCP in situ, el valor de similaridad de 51.72% indica que es posible determinar un valor de CBR estimado; sin embargo se debe tener en cuenta que dicha correlación no reemplaza el ensayo CBR. Metodológicamente realizó una investigación

correlacional, ya que de los datos obtenidos en campo y en laboratorio se consigue correlaciones que permitan obtener valores de CBR confiables.”

3.3 Estructura teórica y científica que sustenta el estudio

3.3.1 Pavimentos

Un pavimento es una estructura que descansa sobre un terreno de fundación (sub-rasante), constituida por capas de materiales de diferente calidad y de espesor variable según el diseño del proyecto y construida con el propósito de soportar cargas y cargas estáticas y peso en movimiento en la calzada. Básicamente, el pavimento se clasifica en dos tipos: Pavimento asfáltico y pavimento hidráulico, diferenciándose en la forma de la superficie de rodadura y en la manera de distribuir la carga suplementaria sobre ellos (Huamán Guerrero, 2013).

3.3.2 Clasificación del pavimento

Pavimento Asfáltico: Es el cual está formado por elementos flexibles en su carpeta de rodadura, tales como mezclas bituminosas o ligantes asfálticos, como ejemplo la figura 1. (Robles, 2015)

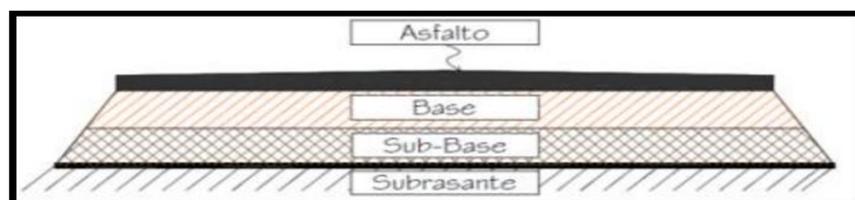


Figura 1 - Sección del Pavimento Asfáltico. Fuente: Bermúdez y Vásquez. (2016). Validación del método de DCP aplicado en campo en relación al ensayo CBR en laboratorio.

Pavimento Hidráulico: Es el cual está formado por elementos rígidos en su carpeta de rodadura, tales como concreto armado o simple, como ejemplo la figura 2.

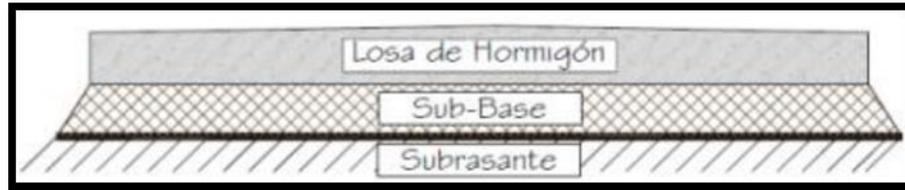


Figura 2 – Sección del Pavimento Asfáltico. Fuente: Bermúdez y Vásquez. (2016). Validación del método de DCP aplicado en campo en relación al ensayo CBR en laboratorio.

3.3.3 Estructura del pavimento

- a) Sub-Rasante: Capa en la que se apoya las otras capas pertenecientes a la estructura del pavimento.
- b) Sub-Base: Capa generalmente conformada por suelo estabilizado o natural. De mayor espesor y menor calidad de suelo que la base.
- c) “Base: Capa generalmente conformada por suelo procesado, mezcla asfáltica en caliente, suelo estabilizado, mezcla asfáltica en frío, o suelo natural.” (Huamán Guerrero, 2013)
- d) Superficie de Rodadura: capa final que sirve de cobertura a la base, puede ser rígida o flexible.
- e) Rasante: Superficie que recibe directamente el roce de los vehículos.

3.3.4 Diseño de pavimento rígido

En Villa el Salvador predominan los pavimentos rígidos, por lo que se mencionará el diseño para estos para su relación con el valor de CBR. (Manotoa, 2016). La ecuación fundamental según AASHTO para diseño de pavimentos rígidos es:

$$\text{Log } W_{18} = Z_R S_0 + 7.35 \log(D + 1) - 0.06 + \frac{\log\left(\frac{\Delta \text{PSI}}{4.5 - 1.5}\right)}{\frac{1.624 \times 10^7}{(D + 1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32 P_t) \log \left[\frac{S'_c C_d (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 J \left[D^{0.75} - \frac{18.42}{\left[\frac{E_c}{k}\right]^{0.25}} \right]} \right]$$

Z_R = Es el valor de Z (área bajo la curva de distribución) correspondiente a la curva estandarizada, para una confiabilidad R.

W_{18} = Número de cargas de 18 kips (80 kN) previstas.

D = Espesor de la losa del pavimento en pulg.

S_0 = Desvío estándar de todas las variables.

Δ PSI = Pérdida de la serviciabilidad prevista en el diseño.

S_c' = Módulo de rotura del concreto en psi

P_t = Serviciabilidad final.

J = Coeficiente de transferencia de carga.

E_c = Módulo de elasticidad del concreto, en psi.

C_d = Coeficiente de drenaje.

k = Módulo de reacción de la sub-rasante (coeficiente de balastro), en PCI (psi/pulg).

3.3.5 Módulo de reacción de la subrasante (k)

Este factor nos describe cuánto se asienta la subrasante en el momento en el que un esfuerzo de compresión es aplicado. Debido a que la prueba de carga sobre placa, es costoso y demanda mucho tiempo, generalmente el valor de k es hallado por correlación con otros ensayos simples, tales como la razón de soporte california (CBR). El resultado hallado mediante las correlaciones es válido ya que no es necesario saber exactamente el valor k debido a que no afecta considerablemente el diseño.

3.3.6 Propiedades físicas – mecánicas de la subrasante

Las propiedades físicas pueden ser: básicas, aquellas que no se derivan de otras propiedades y que están en este grupo: color, textura, estructura, densidad y temperatura.

Así las derivadas, como su propio nombre indica, son todas herramientas que surgen de la interacción de factores básicos. (Ramírez, 2017, pág. 14)

Densidad aparente: es la relación entre la masa y el volumen del suelo en el que ese volumen es todo el espacio poroso disponible. Es una propiedad que muestra las condiciones del suelo en términos de presión, porosidad, disponibilidad de agua, oxígeno, etc. La densidad del suelo Janus oscila entre 1,2 y 1,95 g/cm³. (Ramírez, 2017, pág. 14)

Densidad real. Es la relación entre el volumen de partículas del suelo y su volumen sin tener en cuenta el área de los poros. La densidad real cuando no hay grandes cantidades de materia orgánica oscila entre 2,5 y 2,6 g/cc. Alcanza su valor más alto (2,65 g/cm³) en suelos arcillosos o arenosos

con muy poca materia orgánica. En suelos con abundante contenido en hierro, puede alcanzar valores superiores a 2,7 g/cc (suelos monstruosos) (según las propiedades físicas del suelo. IGAC).

Textura: Es la distribución de las partículas del suelo expresada en porcentaje. Estas partículas son: arena (2 - 0,02 mm), limo (0,02 - 0,002 mm) y arcilla (0,002). Esta propiedad afecta la velocidad de permeación del agua. El suelo es fácil de arar o labrar.” (Ramírez, 2017, Trang 15).

Estructura: Cómo se aglomeran las partículas del suelo. Es el responsable de las relaciones aéreas. La infiltración de humedad y temperatura del suelo se caracteriza por la estabilidad estructural, es decir, la resistencia que ejerce el agregado del suelo contra la destrucción. (Ramírez, 2017)

Color: Es una característica que está directamente relacionada con la temperatura, la dinámica de los elementos, el movimiento del agua en el suelo y el contenido de materia orgánica. El número de organismos, la evolución del suelo, etc. A simple vista es posible inferir diversos procesos y fenómenos que han ocurrido en el suelo a través del tiempo y en la actualidad. (Ramírez, 2017, pág. dieciséis)

3.3.7 Métodos para estudio de las características del material de la subrasante.

Método módulo resiliente. Ensayo triaxial: Caracteriza y describe el comportamiento de los suelos frente a una deformación elástica. Un ensayo triaxial de carga repetida a presión de confinamiento constante, es la relación entre el esfuerzo desviador y la deformación elástica unitaria axial.

Método CBR; “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.” (GeotechTips, 2018)

Métodos PCD: “Probablemente, para muchos profesionales del área técnica resulta un tanto desconocido este sencillo equipo, y lo más probable es que, si lo han visto no relacionan sus aplicaciones. Uno de los métodos utilizados para el estudio de diseños de pavimentos es el PDC, originalmente

desarrollado en 1959. La determinación de la capacidad de soporte del suelo se realiza a partir del ensayo CBR, también puede evaluarse a través de las medidas in situ por el deflectómetro de impacto FWD, el cual mide deflexiones que se producen a distintas profundidades en los pavimentos debido a una carga estática, medidas que son correlacionadas con el módulo resiliente del suelo. Su alto costo limita su uso masivo para caminos de bajo volumen de tránsito.” (Montejo, 2012). “El PDC es una herramienta sencilla y económica, que consiste en una varilla de acero con una punta cónica hecha de acero endurecido la cual se introduce en las capas del pavimento mediante golpes de un martillo de masa conocida el que se deja caer libremente desde una altura conocida. La penetración medida es una función de la resistencia al corte in situ de los materiales y el perfil de resistencias en profundidad da una indicación de las propiedades de los materiales de las diferentes capas de la estructura hasta la profundidad de auscultación determinada, por lo general se penetra hasta 0.80 m. dado que la acción solicitante del tránsito y el clima afectan a la estructura del pavimento hasta esta profundidad, si se desea penetrar hasta mayores profundidades(0,20 m) se usa una barra de extensión.” (Montejo, 2012)

Método Carga Directa: “Es uno de los ensayos in situ llevados a cabo para realizar un reconocimiento geotécnico. La ejecución de la prueba resulta imprescindible para la comprobación de la capacidad portante de un suelo, en función de su estado natural o como consecuencia de una determinada compactación.” (Yepes, 2014) “Consiste en aplicar una carga sobre una placa (generalmente rígida), colocada sobre la superficie del terreno, y medir los asientos producidos. Se utilizan con gran profusión para comprobar el módulo de deformación de capas de terraplenes y de firmes.” (Yepes, 2014) “El método habitualmente utilizado es el estático, con carga aplicada sobre una placa circular mediante un gato hidráulico, utilizando un camión cargado o una máquina pesada como reacción para el gato. La norma NLT-357/98 describe la realización de este ensayo.” (Yepes, 2014)

3.3.8 CBR según MTC

“El CBR es un ensayo que permite determinar la capacidad soportante del suelo para evaluar la calidad de la sub rasante, base y sub base de los pavimentos. El CBR se puede obtener a través de ensayos en laboratorio y en campo. Las ventajas de obtener un CBR en campo es que se generan resultados más rápidos con menores costos y tiempos; en cambio el CBR en laboratorio presenta un procedimiento más elaborado que prolonga el tiempo de entrega de resultados a pesar que el valor obtenido es muy confiable.” (Bermudez y Vasquez, 2016)

“Este ensayo está destinado a estimar la capacidad de carga de un suelo bajo las ruedas, es decir, su aptitud para soportar en una determinada estructura de la carretera las cargas móviles que deberán recorrerla” (Arquie, 1978, pág. 50). El ensayo puede aplicarse al suelo de la subrasante, sub-base y base bajo condiciones de humedad y densidad controladas.”

“La respuesta del ensayo es el Índice CBR, está definido como la relación entre la carga unitaria en el pistón requerida para penetrar 0.1 pulgadas (2.54 mm) y 0.2 pulgadas (5.08 mm) en el suelo ensayado, y la carga unitaria requerida para penetrar la misma cantidad en un material estándar, comúnmente grava triturada de buena gradación; expresando esta relación en porcentaje.” (Rico y del Castillo, 1999)

“El Ensayo CBR tiene como objetivo principal obtener la resistencia al cortante del suelo en laboratorio simulando su comportamiento bajo condiciones encontradas en campo.” (Fuente: Viceministerio de Transportes (2016). Manual de Ensayo de Materiales)

Los cálculos son los siguientes:

- “Humedad de compactación: El tanto por ciento de agua que hay que añadir al suelo con su humedad natural para que alcance la humedad prefijada, se calcula como sigue” (Fuente: Viceministerio de Transportes (2016). Manual de Ensayo de Materiales)

$$\% \text{ de agua a añadir} = \frac{H - h}{100 + h} \times 100$$

Donde:

H = Humedad prefijada
h = Humedad natural

Figura 3 – Formula % de agua a añadir

Fuente: Viceministerio de Transportes (2016). Manual de Ensayo de Materiales

- a) “Peso unitario o densidad: La densidad se calcula a partir del peso del suelo antes de sumergirlo y de su humedad, de la misma forma que en los métodos de ensayo citados. Proctor normal o modificado, para obtener la densidad máxima y la humedad óptima.” (Fuente: Viceministerio de Transportes (2016). Manual de Ensayo de Materiales)
- b) “Agua absorbida: El cálculo para el agua absorbida puede efectuarse de dos maneras. Una, a partir de los datos de las humedades antes de la inmersión y después de ésta; la diferencia entre ambas se toma normalmente como tanto por ciento de agua absorbida. Otra, utilizando la humedad de la muestra total contenida en el molde. Se calcula a partir del peso seco de la muestra (calculado) y el peso húmedo antes y después de la inmersión.” (Fuente: Viceministerio de Transportes (2016). Manual de Ensayo de Materiales)
- c) “Presión de penetración: Se calcula la presión aplicada por el penetrómetro y se dibuja la curva para obtener las presiones reales de penetración a partir de los datos de prueba; el punto cero de la curva se ajusta para corregir las irregularidades de la superficie, que afectan la forma inicial de la curva.” (Fuente: Viceministerio de Transportes (2016). Manual de Ensayo de Materiales)
- d) “Expansión: La expansión se calcula por la diferencia entre las lecturas del deformímetro antes y después de la inmersión, numeral 6.3. Este valor se refiere en tanto por ciento con respecto a la altura de la muestra en el molde, que es de 127 mm (5 pulgadas).” (Fuente: Viceministerio de Transportes (2016). Manual de Ensayo de Materiales)

$$\% \text{ Expansi3n} = \frac{L_2 - L_1}{127} \times 100$$

Donde

L_1 = Lectura inicial en mm.
 L_2 = Lectura final en mm.

Figura 4 – Formula % de expansi3n

Fuente: Viceministerio de Transportes (2016). Manual de Ensayo de Materiales

- e) “Valor de la relaci3n de soporte (3ndice resistente CBR). Se llama valor de la relaci3n de soporte (3ndice CBR), al tanto por ciento de la presi3n ejercida por el pist3n sobre el suelo, para una penetraci3n determinada, en relaci3n con la presi3n correspondiente a la misma penetraci3n en una muestra patr3n. Las caracter3sticas de la muestra patr3n son las siguientes” (Fuente: Viceministerio de Transportes (2016). Manual de Ensayo de Materiales):

Penetraci3n		Presi3n		
Mm	Pulgadas	MN/m ²	kgf/cm ²	lb/plg ²
2,54	0,1	6,90	70,31	1,000
5,08	0,2	10,35	105,46	1,500

Figura 5 – Presi3n ejercida en relaci3n con la penetraci3n

Fuente: Viceministerio de Transportes (2016). Manual de Ensayo de Materiales

- f) “C3lculo de 3ndice CBR: Se dibuja una curva que relacione las presiones (ordenadas) y las penetraciones (abscisas), y se observa si esta curva presenta un punto de inflexi3n. Si no presenta punto de inflexi3n se toman los valores correspondientes a 2,54 y 5,08 mm (0,1 pulgada y 0,2 pulgada) de penetraci3n. Si la curva presenta un punto de inflexi3n, la tangente en ese punto cortar3 el eje de abscisas en otro punto (o corregido), que se toma como nuevo origen para la determinaci3n de las presiones correspondientes a 2,54 y 5,08 mm, de la curva corregida t3mense los valores de esfuerzo-penetraci3n para los valores de 2,54 mm y 5,08 mm y calc3lense los valores de relaci3n de soporte correspondientes, dividiendo los esfuerzos corregidos por los esfuerzos de referencia 6,9 MPa (10001b/plg²) y 10,3 MPa (1500

lb/plg 2) respectivamente, y multiplíquese por 100. La relación de soporte reportada para el suelo es normalmente la de 2,54 mm (0,1") de penetración. Cuando la relación a 5,08 mm (0,2") de penetración resulta ser mayor, se repite el ensayo. Si el ensayo de comprobación da un resultado similar, úsese la relación de soporte para 5,08 mm (0,2") de penetración.” (Fuente: Viceministerio de Transportes (2016). Manual de Ensayo de Materiales)

3.3.9 PCD según ASTM D

“El PCD (Cono Dinámico de Penetración) fue desarrollado en 1956 por Scala; estudios realizados en campo por Livneh y Ishali (1987) y Kleyn (1975) han sido básicos para la evaluación de pavimentos. Posteriormente se ha difundido su uso en Inglaterra, Australia, Canadá, Nueva Zelanda y Estados Unidos. Este instrumento es utilizado esencialmente para evaluar la resistencia de suelos tanto no disturbados como compactados y estimar un valor de CBR en campo. A diferencia de este último, el DCP presenta ventajas como su simplicidad y economía de uso. Implícitamente, el DCP estima la capacidad estructural de las diferentes capas que conforman a un pavimento, detecta simultáneamente el grado de heterogeneidad que puede encontrarse en una sección y la uniformidad de compactación del material, de una manera rápida, continua y bastante precisa.” (Viscarra, 2006).

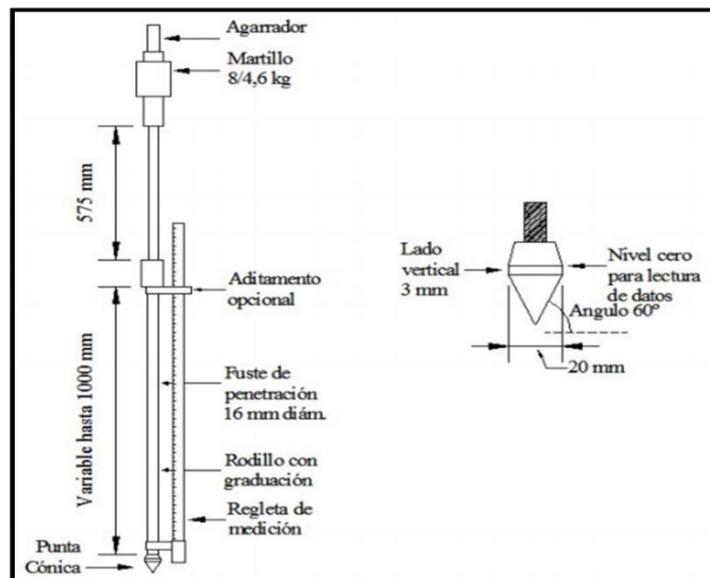


Figura 6 - Esquema del Equipo DCP

Fuente: Viceministerio de Transportes (2016). Manual de Ensayo de Materiales.

“Curva DCP: Gráfica que representa la penetración acumulada en función del número de golpes acumulados para los respectivos datos. En este tipo de curvas, como se muestra en la Fig. 7 se puede visibilizar el número de capas existentes representadas por rectas de diferentes pendientes, también se puede determinar el espesor de dichas capas.” (Viscarra, 2006)

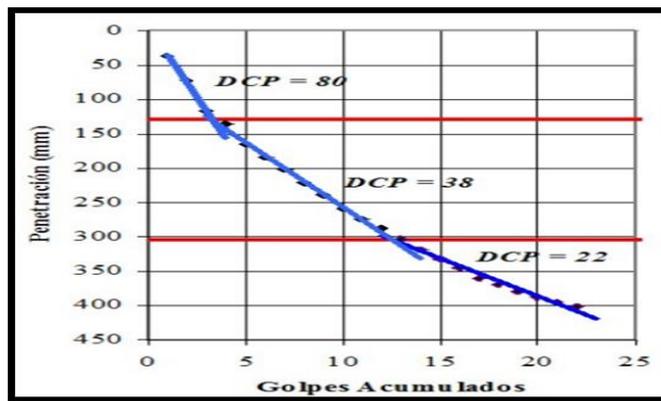


Figura 7 – Ejemplo de Curva DCP

Fuente: Viscarra (2006). El cono dinámico de penetración y su aplicación en la evaluación de suelos.

Número DCP: Este número se expresa en mm/golpe y representa la penetración obtenida por golpe; este es el valor de la pendiente de la curva DCP para la capa del estrato en estudio, mientras menos vertical sea la gradiente, mayor será la resistencia del suelo. También, esta medida de penetración define la resistencia promedio de un suelo por medio de la profundidad alcanzada, la cual se describe como el trabajo realizado por el suelo para detener el cono de penetración, dividido entre la distancia de penetración. Se calcula a través de la fórmula de la Tabla 1.

Tabla 1
Resumen de la expresión brindada por el ASTM D-6951

Valor de Soporte California (CBR %)	$\text{Log}(CBR) = 2,465 - 1,12 \text{Log}(DCP)$ <p>o expresada también:</p> $CBR = \frac{292}{DCP^{1,12}}$
-------------------------------------	---

Fuente: Viscarra (2006). El cono dinámico de penetración y su aplicación en la evaluación de suelos.

“Su utilización de manera técnica nace a partir del desarrollo del equipo, en Nueva Zelanda, por el ingeniero A.J. Scala que presentó su primer artículo (Scala, 1956) en la Segunda Conferencia de Mecánica de Suelos de Australia y Nueva Zelanda. Tuvo amplia reproducción sobre todo en Oceanía, Sudáfrica y los Departamentos de Transporte de Estados Unidos. El equipo es utilizado para evaluar la resistencia in situ de los suelos no alterados o materiales compactados, y estimar un valor de CBR en campo. Implícitamente, el DCP que ofrece el equipo, en milímetros por golpe, realiza una buena aproximación de la capacidad estructural de las diferentes capas que conforman la estructura del pavimento.” (Sitecal.com, 2021)

“El DCP (Dynamic Cone Penetrometer) consiste en una barra de acero de 15.8 mm (5/8 pulgada) de diámetro con una punta cónica recambiable o desechable, un mazo de 8 Kg. (17,6 lb) el cual es soltado de una altura de 575 mm (22,6 pulgadas), un ensamblaje de acople, una empuñadura y una regla de medición. La punta cónica tiene un ángulo de 60° y un diámetro en la base de 20 mm (0,79 pulgada).” (León Calderón, 2017)

3.3.10 Correlación de Variables

“Las investigaciones sobre la aplicación del PDC en el mundo no ha parado a pesar de haber sido normalizado ya por una institución seria como ASTM tomando las bases dejadas por la investigación realizada por el Cuerpo de Ingenieros de USA, se mantiene la idea de que el tipo de suelo, los factores locales del mismo, el clima y la manera de encarar la investigación influyen mucho en los resultados que permiten obtener las ecuaciones de correlación entre el CBR y el PDC, tal vez sea por eso que de todas partes del mundo se reporta investigación sobre este equipo y se observa las diversas correlaciones obtenidas en cada investigación, la tabla siguiente anota algunas ecuaciones conocidas”. (Injante, 2012):

$$CBR = 292/DCP^{1.12} \text{ for DCP in mm/blow}$$
$$CBR = 292/(DCP \times 25.4)^{1.12} \text{ for DCP in in./blow}$$

Figura 8 - Formula de correlación de DCP con CBR.

Fuente: ASTM-D 6951 (2015)

Tabla 2

Muestra resumen de ecuaciones en diversas investigaciones

Relación de variable DCP, N (mm/GOLPE) con CBR	Ecuación	Autor/Autores	Observaciones
Valor de Soporte California (CBR %)	$CBR = \frac{249}{DCP^{1.1284}}$	Tupia Córdova Carlos 2001 Peru Jorge Alva Hurtado 2001 Peru	Apta para todo tipo de suelos (granulares y cohesivos).
Valor de Soporte California (CBR %)	$CBR = \frac{438}{DCP^{1.284}}$	Van Vuren (1968), Kley (1975),	Apta para todo tipo de suelos (granulares y cohesivos).
Valor de Soporte California (CBR %)	$CBR = \frac{292}{DCP^{1.12}}$	Livneh e Ishai (1992) y Siekmeier (1999).	Apta para todo tipo de suelos (granulares y cohesivos).
Valor de Soporte California (%)	$\text{Log (CBR)} = 2,317-0,858 \text{ Log(DCP)}$	Transport Road Research TRRL (1986).	Apta para todo tipo de suelos.
Valor de Soporte California (CBR %)	$CBR = \frac{292}{DCP^{1.12}}$	Cuerpo de Ingenieros USA Webster S.L. et al.(1994).	Apta para todo tipo de suelos (granulares y cohesivos).
Valor de Soporte California (%)	$CBR = \frac{1}{0.002871 * DCP}$	Cuerpo de Ingenieros USA Webster S.L. et al.(1994).	Para suelos CH.
Valor de Soporte California (%)	$CBR = \frac{1}{0.017019 * DCP}$	Cuerpo de Ingenieros USA Webster S.L. et al. (1994).	Para suelos CL con CBR < 10 %.
Valor de Soporte California (%)	$\text{Log (CBR)} = 2,2-0,71 \text{ Log(DCP)}^{1.5}$	Liben 1987	Todo suelo
Valor de Soporte California (%)	$\text{Log (CBR)} = 2,56-1,16 \text{ Log(DCP)}$	Harrison 1980	Suelos arcillosos
Valor de Soporte California (%)	$CBR = 0,24PDC^3-3,22PDC^2 + 13,20PDC - 3,15$ $CBR = 0,10PDC^2 - 1,60PDC + 18,82$	Lucia Paucar Naranjo Ecuador 2011	Suelo arenoso limoso SM Suelo limo inorgánico ML
Valor de Soporte California (%)	$CBR = \frac{398.11}{DCP^{1.26}}$	Jorge Yela Ortiz Guatemala 1999	Todo suelo
Valor de Soporte California (%)	$(PDC) = -30,042 \text{Ln(CBR)} + 87,034$ $(PDC) = -11,615 \text{Ln(CBR)} + 56,523$	- Martínez Becerra, Nikolai Espartaco. - Arista Severino, Melissa Evelyn. - Anglas Schmidt, Jessica U Federico Villareal Perú	Suelo fino Suelo granular
Valor de Soporte California (%)	$CBR = \frac{242}{DCP^{0.975}}$	Fabiana Viscarra Agreda Bolivia 2006	Suelo granular

Fuente: (Injante, 2012)

CAPÍTULO IV: HIPÓTESIS

4.1 Hipótesis General

Al aplicar el método de campo del DCP (ASTMD-6951) y el método de laboratorio del California Bearing Ratio, se obtiene un promedio de diferencia de valores de CBR para diseño de pavimento, menores a 30%, según los suelos de la subrasante del Sector 3 Grupo 25A de Villa el Salvador.

4.2 Hipótesis Específicas

- a) Conocer el estado del arte de la norma ASTM D-6951 del método de campo del CBR aplicando el Penetrómetro de Cono Dinámico (DCP) para diseño de pavimentos.
- b) El CBR con el método de campo del DCP nos proporciona un valor CBR para el diseño de pavimentos en los suelos del sector 3 Grupo 25A de Villa el Salvador.
- c) El CBR aplicando el método de laboratorio según la norma peruana del MTC nos proporciona un valor similar al método del DCP para el diseño de pavimentos en los suelos del sector 3 Grupo 25A de Villa el Salvador.

CAPÍTULO V: METODOLOGÍA DEL ESTUDIO

5.1 Tipo y método de investigación

5.1.1 Tipo de investigación

Investigación de tipo experimental, centrado en la comparación de ensayos. Estos ensayos vendrían a ser:

- a) Ensayo CBR en Laboratorio
- b) Ensayo DCP in-situ.

Los resultados obtenidos de estos ensayos, se compararán y se analizará, para obtener las conclusiones de esta investigación.

Podemos sostener que esta tesis es un estudio cuantitativo debido a que produce data numérica, la cual tiene la posibilidad de ser contabilizada en números.

Según el nivel de complejidad se encuentra dentro investigaciones de alcance correlacional. Este tipo de tesis tiene como objetivo conocer la relación o grado de asociación que existe entre dos o más conceptos, categorías o variables en una muestra o contexto en particular. Generalmente, se analiza la relación entre dos variables, pero también incluye el estudio de asociación entre tres, cuatro o más variables.

De acuerdo al diseño, podemos decir que esta tesis se encuentra en la categoría cuasi experimental, debido a controla deliberadamente, como mínimo, una variable independiente con el fin de analizar su efecto sobre una o más variables dependientes.

Entonces, se define este diseño con una metodología o plan que pretende estudiar proceso de cambio o el impacto del tratamiento. (Correlación del ensayo PDC según la norma ASTM D-6951 comparando los valores con el Ensayo CBR de laboratorio), en situaciones donde los sujetos o unidades de observación no han sido asignados de acuerdo con un criterio, es decir, no se escogen al azar ni se emparejan, sino que dichos grupos ya están conformados antes del experimento, este caso suelos a nivel de sub-rasante del Sector 3 grupo 25A del distrito de Villa el Salvador, en la Provincia de Lima, Departamento de Lima, Perú, los cuales son grupos intactos (la razón por la

que surgen y la manera como se integraron es independiente o aparte del experimento).

5.2 Método de investigación

- a) Según el proceso formal, el método de la investigación es inductivo al analizar un caso en particular extrayendo conclusiones de carácter general.
- b) Según el grado de abstracción, es de tipo aplicado ya que resuelve un problema en específico con un margen de generalización limitado.

5.3 Población de estudio

Esta investigación tiene como población el área vial del Sector 3 Grupo 25A de Villa el Salvador, el cual abarca: Área Vial = 10370 m²

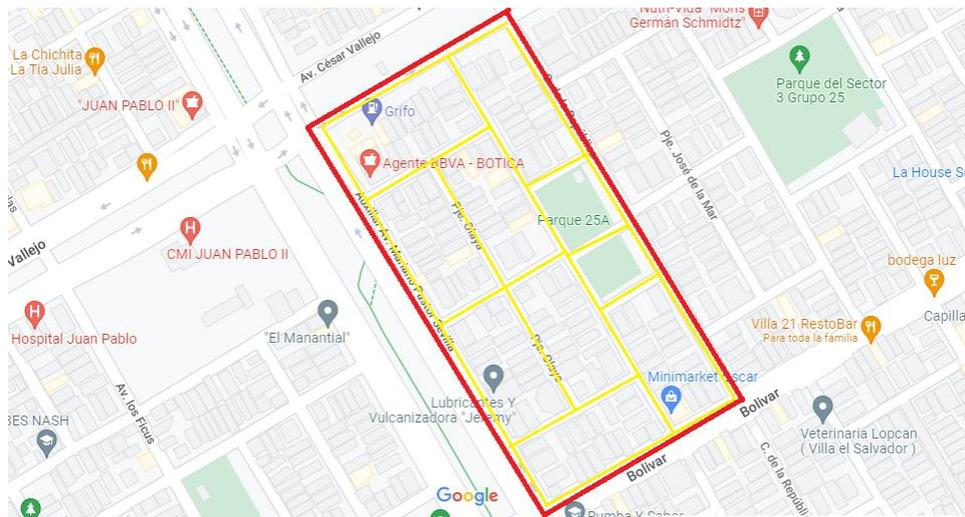


Figura 9 – Área Vial en Líneas Amarillas, Sector 3 Grupo 25A Villa el Salvador (el cual es delimitado por Líneas Rojas)

Fuente: Google Maps

Este suelo solo se limita a los que se encuentren o tengan uso vial (afirmados o futuros pavimentos rígidos).

5.4 Diseño Muestral

El diseño muestral se pudo determinar mediante técnicas de estadística inferencial, las cuales, mediante una curva de confiabilidad, se puede determinar el número de calicatas.

Como ya se mencionó, la población es el área vial del sector 3 grupo 25A de Villa el salvador. La muestra serán las calicatas las cuales servirán como área de estudio in-situ, y parte de esta también será llevada al laboratorio.

Tabla 3

Número de Puntos de Investigación según Tipo de Vía.

TIPO DE VÍA	NÚMERO DE PUNTOS DE INVESTIGACIÓN	ÁREA (m²)
Expresas	1 cada	1000
Arteriales	1 cada	1200
Colectoras	1 cada	1500
Locales	1 cada	1800

Fuente: Tabla 2 de Norma Técnica CE-010 Pavimentos Urbanos

Entonces, para 10370 m² del Sector 3 Grupo 25A al ser una Vía Local, según la división, se debe realizar 6 puntos de investigación.

Debido a limitación económica (señalado en el capítulo 1.3.2 de la presente tesis) solo 3 ensayos en laboratorio fueron realizados (mínimo según el artículo 3.2.2 de la Norma Técnica CE-010 Pavimentos Urbanos), de muestra, las cuales se extrajeron de las calicatas 01, 02 y 03; sin embargo en los ensayos in-situ, sí se consideró todos los puntos de investigación, realizando el ensayo DCP en las calicatas 01, 02, 03, 04, 05 y 06.

Se obtuvo, entonces, 3 CBR de laboratorio (1 ensayo por calicata 01, 02 y 03), 18 CBR in-situ (3 ensayos por calicata: 6 calicatas x 3 ensayos = 18 CBR) y otros 9 CBR según software UK DCP según la data obtenida de los ensayos DCP de las calicatas 04, 05 y 06.

5.5 Relación entre variables

El valor del CBR aplicando la norma ASTM D-6951, se relaciona con las propiedades mecánicas de subrasante del suelo del Sector 3 Grupo 25A de Villa El Salvador, en tanto mayor sea el CBR, el suelo será de mayor calidad para aplicaciones de pavimento.

Es decir, mientras mayor sea el valor CBR, mejor será la calidad de los suelos del Sector 3 Grupo 25A de Villa El Salvador, por lo que se puede deducir que las

variables dependientes y la variable independiente son directamente proporcionales.

Tabla 4

VARIABLES DE TESIS.

Tipo	Variables		Indicadores	Relación
Variable independiente	Calidad de los suelos del Sector 3 Grupo 25A de Villa El Salvador	X1	Estado de la sub-rasante	X1-Y1; X2-Y2; Y1-Y2
Variable Dependiente	Índice CBR	Y1	CBR de campo modelo ASTM-D 6951	
		Y2	CBR de laboratorio	

Fuente: Propia

5.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

5.5.1. Ensayo CBR en laboratorio

Los ensayos serán ejecutados en laboratorios competentes que cuenten con: personal calificado, instalaciones que faciliten la correcta ejecución de los ensayos, procedimientos y métodos para la realización de los ensayos, siguiendo las Normas de Ensayos del MTC o normas internacionales como ASTM o AASHTO, incluyendo técnicas estadísticas para el análisis de los datos de ensayo, equipos debidamente calibrados, que garanticen la validez y exactitud de los resultados obtenidos de los ensayos, control de los resultados de los ensayos, informe de resultados de cada ensayo, presentado en forma de informe de ensayo o certificado de ensayo, que exprese el resultado de manera exacta, clara, sin ambigüedades y objetivamente, de acuerdo con los procedimientos e indicaciones específicas de los métodos de ensayo los cuales estarán visado por un especialista. Son los siguientes:

- a) Proctor modificado ASTM D-1557, MTC – E115
- b) Ensayo de Expansión Libre ASTM D-4546

- c) California Bearing Ratio ASTM D-1883, MTC – E132, o Módulo resiliente de suelos de subrasante AASHTO T 274, MTC – E128
- d) Equivalente de Arena ASTM D-2419, MTC-E114
- e) Consolidación Uniaxial ASTM D-2435

5.5.2. Ensayo DCP in situ

La herramienta utilizada en la investigación para la recolección información de la muestra seleccionada y lograr resolver el problema de investigación fueron los ensayos de suelos. Estos ensayos de suelos, normados por ASTM, AASHTO y MTC son de gran nivel de confianza y validez para sustentar un proyecto de esta envergadura. A continuación, en la Tabla 4 se muestran los ensayos (instrumentos) realizados:

Tabla 5

Ensayos según norma

Nombre del ensayo	Uso	Norma MTC	Norma ASTM	Norma AASHTO	Muestra	Propósito
Análisis Granulométrico por Tamizado	Clasificación	E-107 E-204	D-422	T-27 T-88	5.00kg.	Para determinar la distribución del tamaño de partículas del suelo.
Contenido de humedad	Clasificación	E-108	D-2216	T-86	2.50kg.	Determina el contenido de humedad del suelo.
Límite Líquido	Clasificación	E-110	D-423	T-89	2.50kg.	Hallar el contenido de agua entre los estados líquido y plástico.
Límite Plástico	Clasificación	E-111	D-424	T-90	2.50kg.	Hallar el contenido de agua entre los estados plásticos y semisólido.
Índice de Plasticidad	Clasificación	-	-	-	2.50kg.	Hallar el rango de contenido de agua por encima del cual, el suelo está en un estado plástico.
Compactación Proctor Modificado	Diseño de espesores de pavimento	E-115	D-1557	T-180	45kg.	Determina la relación entre el contenido de agua y peso unitario de los suelos (Curva de compactación)
CBR	Diseño de espesores de pavimento	E-132	D-1883	T-193	45kg.	Determinar la capacidad de carga. Permite inferir el módulo resiliente a través de correlaciones con el Índice CBR.

Fuente: (Llanos y Reyes, 2017)

5.6 Procedimientos para recolección de datos

Se procederá a recopilar información referente a experiencias explicadas/realizadas en bibliografía citada y de las normas de ensayos nacionales e internacionales en la comprobación de dicha fórmula en diversos países y condiciones de determinación del CBR según los 2 modelos mencionados.

Se consultará a especialistas que se desarrollan en el ámbito de pavimentos y suelos.

Se consultará a la municipalidad y entidades encargadas del uso de áreas viales, para tener acceso a las zonas de estudio en cuestión y recopilar datos de los suelos típicos del sector. Uso de software tales como:

a) AutoCAD: Planos de ubicación del Sector, áreas viales y referencias de lotización para determinar el diseño muestra con el modelo estadístico de capítulo 5.3, plano curvas de nivel para hallar área óptima de realización de ensayos.

b) MS Excel: Cálculo y Almacenamiento de Datos

También, trabajo en campo (sector o zona a estudiar) para determinar medidas y realizar ensayos. Los ensayos DCP in-situ se realizarán en 1 día (las 3 calicatas). Se anexa permisos de la municipalidad de Villa el Salvador para ensayos.

5.7 Descripción de los procesos

5.7.1 Selección de herramientas y equipos a utilizar

Se seleccionaron conforme a los ensayos que se realizaron tanto in-situ como en laboratorio, todo esto en base a normas vigentes.

5.7.2. Obtención de muestras en la zona de estudio

Se realizó la obtención de muestras de los suelos de la subrasante de diversas calles del Sector 03 Grupo 25A del distrito de Villa el Salvador, las cuales se encuentra con un terreno apenas perfilado y aparentemente arenoso. Este muestreo se desarrolló en 3 puntos (en base a un diseño muestral reducido por limitación económica) aleatorios para la realización de calicatas.

5.7.3. Aplicación de ensayo DCP in-situ

La realización del ensayo DCP in situ, se basó en la realización en 3 puntos de análisis que comprendieron las calles: Pasaje Olaya (Calicata 01) y Calle Independencia (Calicata 02 y Calicata 03) pertenecientes al Sector 03 Grupo 25A. El ensayo de PDC comprendió los siguientes procedimientos:

- a) Se definieron los puntos de que serán analizados.
- b) Se limpió el terreno, debido a que existía relleno de sólidos.



Figura 10 – Limpieza de terreno

Fuente: Propia

c) Una vez ubicado los puntos para la aplicación del ensayo, se procedió con las excavaciones de las 3 calicatas a nivel de subrasante.



Figura 11 – Realización de calicatas

Fuente: Propia

d) El instrumento del PDC es posicionado en los lugares cercanos donde se realizó la calicata (previamente se excavó relleno en estos puntos cercanos), para el ensayo in-situ, teniendo en cuenta, siempre, que la penetración del punzón del instrumento sea de manera perpendicular al terreno.



Figura 12 – Realización de ensayo DCP

Fuente: Propia

e) Para el ensayo de PDC fue necesario realizarlo de dos personas, una se encargó del soporte del instrumento y mantener la verticalidad, la segunda se encargó de alzar el peso del martillo para el golpe, observó y apuntó las medidas en el formato para campo.



Figura 13 – Medición en ensayo DCP

Fuente: Propia

f) El procedimiento consistió en alzar el martillo hasta el tope del eje, sin impulsar con alguna fuerza externa al martillo hacia abajo.



Figura 14 – Realización de ensayo DCP

Fuente: Propia

g) Se registraron los valores de penetración con flexómetro.

5.7.4. Aplicación de ensayo CBR en laboratorio

La prueba de laboratorio de California Bearing Ratio (CBR) consistió en 3 pruebas sobre muestras tomadas del campo al laboratorio, en las que el contenido de humedad, tamaño de grano y límites de consistencia, también fueron obtenidos. En laboratorio se realizó lo siguiente:

a) La prueba de humedad se realizó en tres muestras tomadas de diferentes calictas según MTC E 108



Figura 15 – Realización de ensayo contenido de humedad

Fuente: Propia

b) La prueba granulométrica prescrita por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) se realizó mediante el análisis granulométrico de suelos con tamiz de prueba MTC E 107



Figura 16 – Realización de análisis granulométrico

Fuente: Propia

c) El límite de elasticidad del suelo MTC E 110, el índice de plasticidad y límite de plasticidad se determinaron en la especificación MTC E 111 para ayudar a clasificar los suelos de acuerdo con SUSC y AASHTO. Se hizo para corroborar si es que existía algún limo o arcilla, durante el proceso se comprobó que no ameritaba.



Figura 17 – Verificación de límites

Fuente: Propia

d) Respecto a las muestras de las calicatas, se expuso al aire libre por 24 horas para secarlo.

e) Al día siguiente, la muestra seca comenzó a desintegrarse, encogiéndose a un tamaño mínimo. A continuación, las muestras se tamizaron utilizando mallas: N°4, N°3/4", N°2".



Figura 18 – Cuarteo de muestra

Fuente: Propia

f) Se pesó el material restante en la pantalla. Se extrajo una porción mayor de cada muestra de aproximadamente 550 g. Se guardó dentro de la bolsa junto con su respectivo DNI y ficha de inscripción. (5 dosis de 5,5 kg de Proctor Modificado y 3 dosis de 5,5 kg de CBR.

g) Luego se procedió a determinar la relación de densidad del agua (Proctor Modificado) encontrada en MTC E 115.

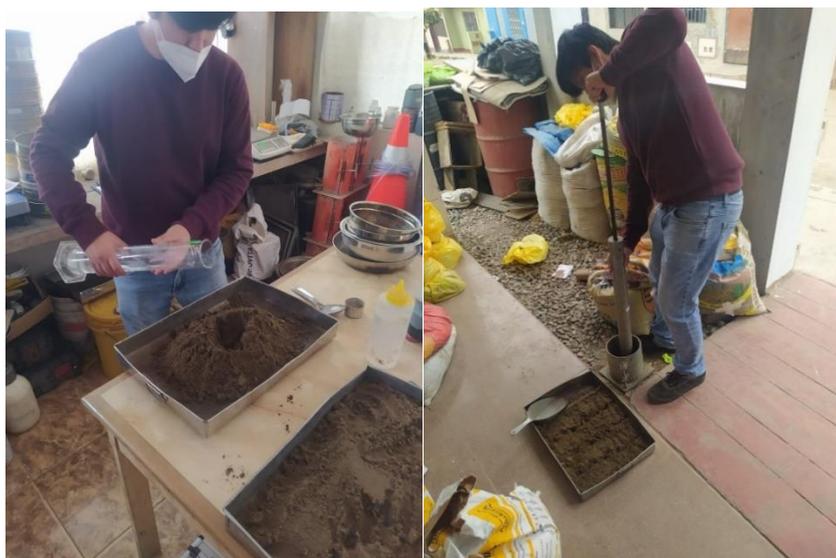


Figura 19 – Realización de ensayo proctor

Fuente: Propia

h) A cada una de las muestras se agregó agua hasta lograr la máxima densidad seca. Después se empezó a mezclar, posterior a esto, se colocó en sacos para mantener la densidad obtenida.

i) Al día siguiente, se procedió por cada capa a realizar los 56 golpes.

j) A continuación, se procedió a enrazar. Una parte del material se taró, pesó y colocó en el horno.

k) Primero, calibramos el diámetro y la altura del molde utilizado para el CBR experimental.

l) Al día siguiente, tres muestras de cada pozo de prueba se enriquecieron con un contenido óptimo de humedad y se dejaron cubiertas con bolsas durante 2 horas. A continuación, el material se distribuyó sobre el platón), finalizando el armado del molde, se procedió con colocación de papel molde y compactación según procedimiento del ensayo.

m) Se completó el procedimiento en el molde agregando el papel filtro y sobrecargas.

n) Se calibró el dial con el trípode. Después se registro los valores del dial, comenzando con las 0 horas de inicio, con los moldes en el agua se debe realizar lecturas en el transcurso de 4 días.

- ñ) Se extrajeron los moldes del recipiente con agua, y se dejó reposar por 15 minutos, para luego ser pesado antes de realizar la penetración
- o) Luego cada una de las muestras se coloca en el equipo del realizar las respectivas mediciones.
- p) Se tomó muestra para realizar el cálculo la humedad de cada espécimen finalizado la penetración del CBR
- q) Finalmente se obtuvo el valor CBR de los suelos ensayados.

5.8 Técnicas de procesamiento y análisis de datos

- a) Selección del material a usar: Ubicación de zona de estudio dentro del distrito de Villa el Salvador.
- b) Realización de ensayos: CBR en laboratorio y DCP in-situ.
- c) Cálculo de valores: Con la información obtenida de los ensayos de calculará los valores que permitan hallar el valor de CBR con el software MS Excel.
- d) Uso de software UK DCP: Se ingresa la data obtenida de los ensayos DCP de las calicatas 04, 05 y 06 para obtener el CBR según el software.
- e) Análisis de resultados: Finalmente, se llevará a cabo un análisis de los resultados obtenidos y se los comparará mediante la fórmula empírica brindada por ASTM D 6951. (Referencia: Ver Tabla 1).

CAPÍTULO VI: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

6.1 Resultados en gráficos y tablas.

6.1.1 Contenido de Humedad

La Tabla 6 muestra los valores obtenidos en laboratorio para obtener el contenido de humedad de las muestras de cada calicata.

Tabla 6

Valores de Cálculo ensayo de Contenido de Humedad

CALICATA N°	C-01	C-02	C-03
MUESTRA N°	M-1	M-1	M-1
PESO TARRO + SUELO HUMEDO (g)	128.49	125.74	93.14
PESO TARRO + SUELO SECO (g)	126.39	123.02	91.45
PESO DE AGUA (g)	2.10	2.72	1.69
PESO DEL TARRO (g)	21.69	20.65	22.04
PESO DEL SUELO SECO (g)	104.70	102.37	69.41
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	2.0	2.7	2.4

Fuente: Propia

Entonces:

La humedad de la muestra M-1 de Calicata 01 = 2.0%

La humedad de la muestra M-1 de Calicata 02 = 2.7%

La humedad de la muestra M-1 de Calicata 03 = 2.4%

6.1.2 Granulometría

a) El suelo de la Calicata 02:

En la Tabla 7 y Figura 20 se puede apreciar la granulometría de la muestra de la Calicata 01 la cual fue llevada a laboratorio.

Tabla 7

Datos de Tamices para Muestra 1 de Calicata 01 en ensayo de Granulometría

MUESTRA:	C1/M-1		
MALLAS	GRANULOMETRÍA		
SERIE AMERICANA	ABERTURA(mm)	RET (%)	PASA (%)
3"	76.200	0	100
2 1/2"	63.500	0	100
2"	50.800	0	100
1 1/2"	38.100	0	100
1"	25.400	0	100
3/4"	19.050	0	100
1/2"	12.700	0	100
3/8"	9.525	0	100
1/4"	6.350	0.4	99.6
N°4	4.760	0.3	99.3
N°6	3.360	0.5	98.8
N°8	2.380	0.4	98.4
N°10	2.000	0.2	98.2
N°16	1.190	0.8	97.4
N°20	0.840	0.6	96.8
N°30	0.590	2	94.8
N°40	0.426	14.2	80.6
N°50	0.297	39.5	41.1
N°60	0.177	28.4	12.7
N°100	0.149	1.6	11.1
N°200	0.074	5.4	5.7
-200		5.7	0

Fuente: Propia

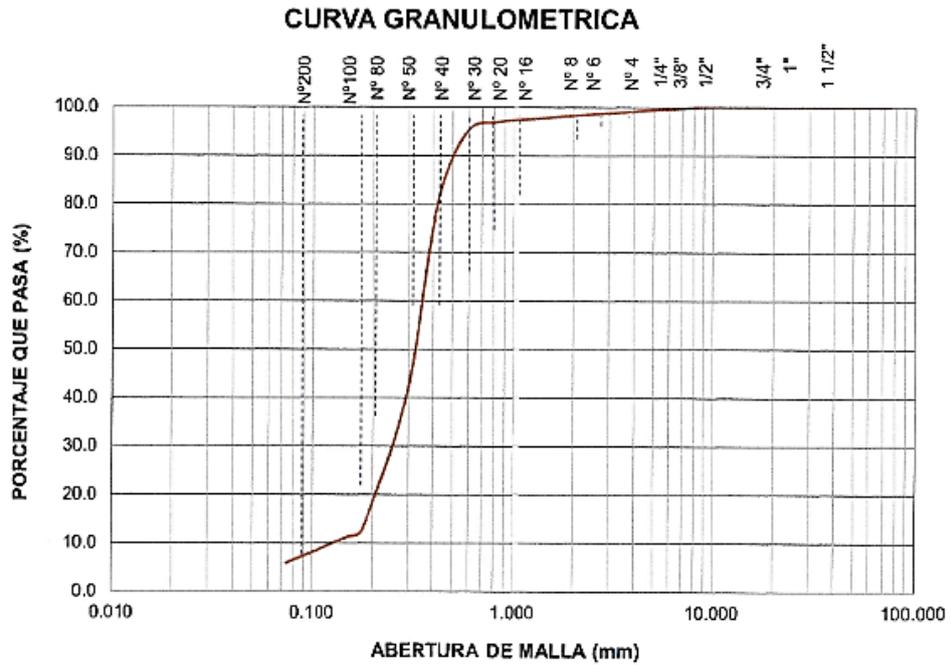


Figura 20 – Granulometría Calicata 01

Fuente: Propia

Entonces según la granulometría el suelo de la Calicata 01:

- Según AASHTO: A-3(0)
- Según SUCS: SP-SM

Por lo que podemos decir que:

Según AASHTO el suelo típico de este grupo es arena fina de playa o arena fina soplada en el desierto sin finos limosos o arcillosos o con una pequeña cantidad de limo no plástico. Y según SUCS el suelo de la Calicata 1 es una arena mal gradada con limo.

b) El suelo de la Calicata 02:

En la Tabla 8 y Figura 21 se puede apreciar la granulometría de la muestra de la Calicata 02 la cual fue llevada a laboratorio.

Tabla 8

Datos de Tamices para Muestra 1 de Calicata 02 en ensayo de Granulometría

MUESTRA:	C-2/M-1		
MALLAS SERIE AMERICANA	GRANULOMETRÍA		
	ABERTURA(mm)	RET (%)	PASA (%)
3"	76.200	0	100
2 1/2"	63.500	0	100
2"	50.800	0	100
1 1/2"	38.100	0	100
1"	25.400	0	100
3/4"	19.050	0	100
1/2"	12.700	0	100
3/8"	9.525	0	100
1/4"	6.350	0	100
N°4	4.760	1.3	98.7
N°6	3.360	0.3	98.4
N°8	2.380	0.2	98.2
N°10	2.000	0.1	98.1
N°16	1.190	0.4	97.7
N°20	0.840	0.3	97.4
N°30	0.590	1.1	96.3
N°40	0.426	11	85.3
N°50	0.297	43.3	42
N°60	0.177	33.4	8.6
N°100	0.149	0.9	7.7
N°200	0.074	3.7	4
-200		4	0

Fuente: Propia

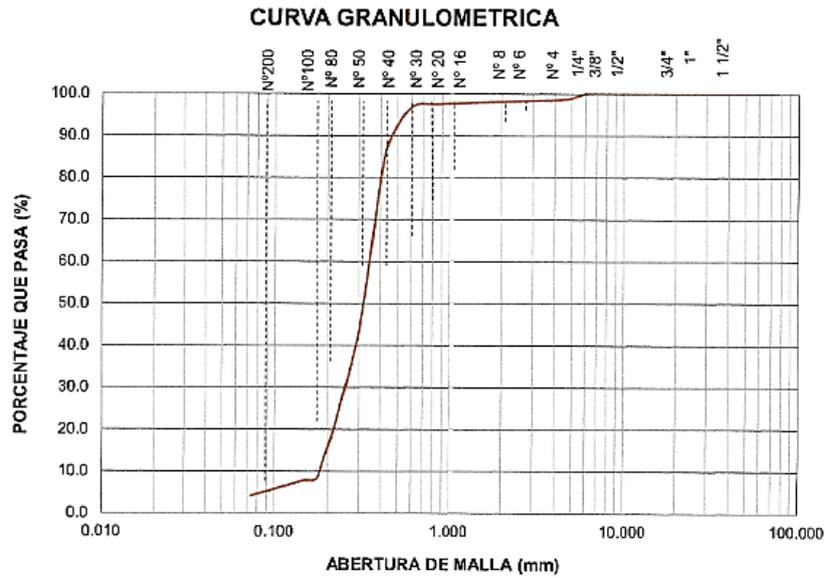


Figura 21 – Granulometría Calicata 02

Fuente: Propia

Entonces según la granulometría el suelo de la Calicata 02:

- Según AASHTO: A-3(0)
- Según SUCS: SP

Por lo que podemos decir que:

Según AASHTO el suelo típico de este grupo es arena fina de playa o arena fina soplada en el desierto sin finos limosos o arcillosos o con una pequeña cantidad de limo no plástico. Y según SUCS el suelo de la Calicata 1 es una arena mal gradada.

c) El suelo de la Calicata 03:

En la Tabla 9 y Figura 22 se puede apreciar la granulometría de la muestra de la Calicata 02 la cual fue llevada a laboratorio.

Tabla 9

Datos de Tamices para Muestra 1 de Calicata 02 en ensayo de Granulometría

MUESTRA:	C-3/M-1		
MALLAS	GRANULOMETRÍA		
SERIE		RET	PASA
AMERICA	ABERTURA(mm)	(%)	(%)
NA			
3"	76.200	0	100
2 1/2"	63.500	0	100
2"	50.800	0	100
1 1/2"	38.100	0	100
1"	25.400	0	100
3/4"	19.050	0	100
1/2"	12.700	0	100
3/8"	9.525	0	100
1/4"	6.350	0	100
N°4	4.760	0.9	99.1
N°6	3.360	0.5	98.6
N°8	2.380	0.4	98.2
N°10	2.000	0.2	98
N°16	1.190	0.2	97.8
N°20	0.840	0.4	97.4
N°30	0.590	1.3	96.1
N°40	0.426	9.3	86.8
N°50	0.297	41.9	44.9
N°60	0.177	34.4	10.5
N°100	0.149	0.7	9.8
N°200	0.074	5.2	4.6
-200		4.6	0

Fuente: Propia

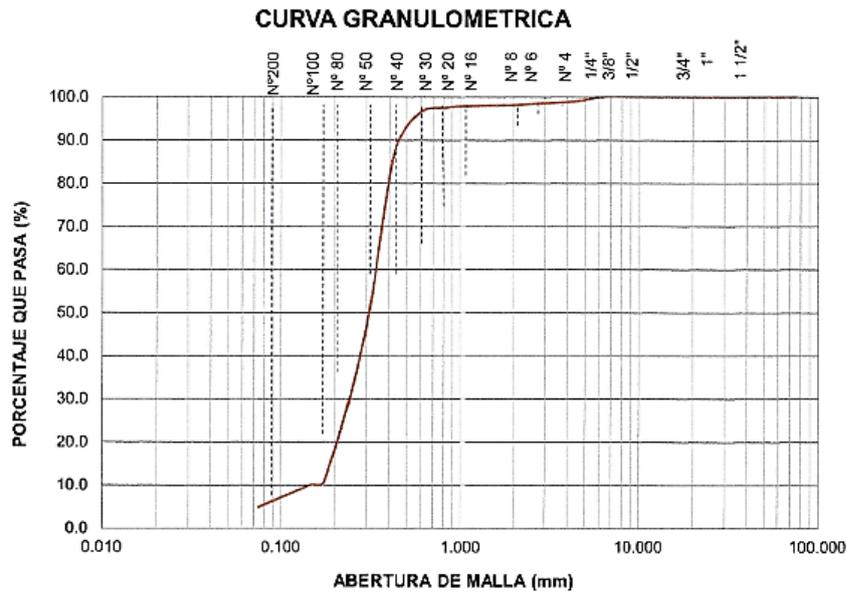


Figura 22 – Granulometría Calicata 03

Fuente: Propia

Entonces según la granulometría el suelo de la Calicata 03:

- Según AASHTO: A-3(0)
- Según SUCS: SP-SM

Por lo que podemos decir que:

Según AASHTO el suelo típico de este grupo es arena fina de playa o arena fina soplada en el desierto sin finos limosos o arcillosos o con una pequeña cantidad de limo no plástico. Y según SUCS el suelo de la Calicata 1 es una arena mal gradada con limo

6.1.3 Proctor Modificado

a) El suelo de la Calicata 01:

En la Tabla 10 se observan los valores obtenidos para determinar la curva de Máxima Densidad y Óptimo Contenido de Humedad de la Calicata 01 la cual se puede apreciar en la Figura 23.

Tabla 10

Valores y Cálculos de ensayo Proctor Modificado para Calicata 01

MUESTRA:	CALICATA C-1, MUESTRA M-1					
METODO DE COMPACTACIÓN:	C					
NÚMERO DE GOLPES:	56					
NÚMERO DE CAPAS:	5					
DENSIDAD HUMEDA						
N°	DESCRIPCIÓN	UND	M1	M2	M3	M4
1	Peso suelo humedo + molde	g	10.439	10.542	10.668	10.62
2	Peso del molde	g	6.443	6.443	6.443	6.443
3	Volumen del molde	cc	2.121	2.121	2.121	2.121
4	Peso suelo humedo [1]-[2]	g	3.996	4.099	4.225	4.177
5	Densidad suelo humedo [4]/[3]	g/cc	1.88	1.93	1.99	1.97
HUMEDAD						
6	Id. Capsula		12	11	7	18
7	Peso del suelo hum. + capsula	g	96.25	86.36	104.54	107.89
8	Peso del suelo seco + capsula	g	91.64	81.3	95.97	97.97
9	Peso del agua [7]-[8]	g	4.61	5.06	8.57	9.92
10	Peso de la capsula	g	21.7	20.65	22.08	21.92
11	Peso del suelo seco [8]-[10]	g	69.94	60.65	73.89	76.05
12	Contenido de humedad [9]*100/[11]	%	6.59	8.34	11.60	13.04
DENSIDAD SECA						
Densidad Seca [5]/(1+[12]/100)		g/cc	1.768	1.784	1.785	1.742

Fuente: Propia

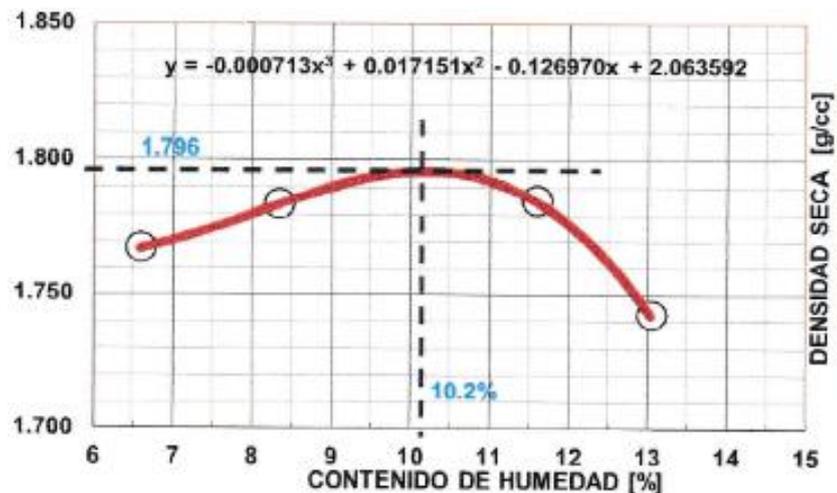


Figura 23 – Máxima Densidad y Óptimo Contenido de Humedad Calicata 01

Fuente: Propia

Según la figura 23 la humedad Óptima es al 10.2% obteniendo una densidad máxima: 1.796 gr/cm³

b) El suelo de la Calicata 02:

En la Tabla 11 se observan los valores obtenidos para determinar la curva de Máxima Densidad y Óptimo Contenido de Humedad de la Calicata 02 la cual se puede apreciar en la Figura 24.

Tabla 11

Valores y Cálculos de ensayo Proctor Modificado para Calicata 02

MUESTRA:	CALICATA C-2, MUESTRA M-1					
METODO DE COMPACTACIÓN:	C					
NÚMERO DE GOLPES:	56					
NÚMERO DE CAPAS:	5					
DENSIDAD HUMEDA						
N°	DESCRIPCIÓN	UND	M1	M2	M3	M4
1	Peso suelo humedo + molde	g	10.492	10.733	10.794	10.73
2	Peso del molde	g	6.443	6.443	6.443	6.443
3	Volumen del molde	cc	2.121	2.121	2.121	2.121
4	Peso suelo humedo [1]-[2]	g	4.049	4.29	4.351	4.287
5	Densidad suelo humedo [4]/[3]	g/cc	1.91	2.02	2.05	2.02
HUMEDAD						
6	Id. Capsula		29	6	13	24
7	Peso del suelo hum. + capsula	g	103.71	116.11	103.33	130.04
8	Peso del suelo seco + capsula	g	97.29	107.09	94.14	116.31
9	Peso del agua [7]-[8]	g	6.42	9.02	9.19	13.73
10	Peso de la capsula	g	20.46	22.68	21.23	22.31
11	Peso del suelo seco [8]-[10]	g	76.83	84.41	72.91	94
12	Contenido de humedad [9]*100/[11]	%	8.36	10.69	12.60	14.61
DENSIDAD SECA						
Densidad Seca [5]/(1+[12]/100)		g/cc	1.762	1.827	1.822	1.764

Fuente: Propia

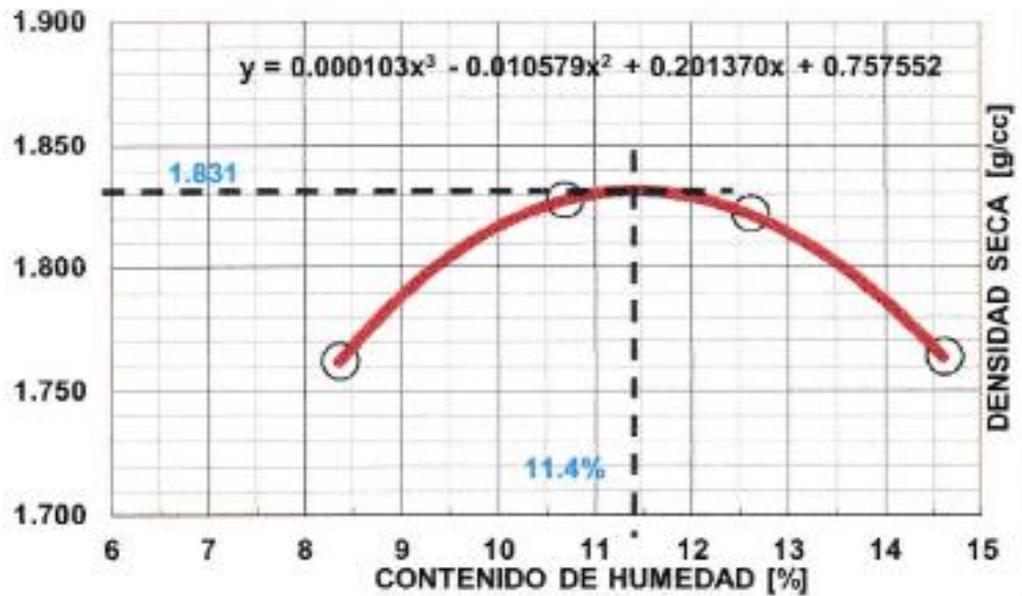


Figura 24 – Máxima Densidad y Óptimo Contenido de Humedad Calicata 02

Fuente: Propia

Según la figura 24 la humedad Óptima es al 11.4% obteniendo una densidad máxima: 1.831 gr/cm³

c) El suelo de la Calicata 03:

En la Tabla 12 se observan los valores obtenidos para determinar la curva de Máxima Densidad y Óptimo Contenido de Humedad de la Calicata 03 la cual se puede apreciar en la Figura 25.

Tabla 12

Valores y Cálculos de ensayo Proctor Modificado para Calicata 03

MUESTRA:	CALICATA C-3, MUESTRA M-1					
METODO DE COMPACTACIÓN:	C					
NÚMERO DE GOLPES:	56					
NÚMERO DE CAPAS:	5					
DENSIDAD HUMEDA						
Nº	DESCRIPCIÓN	UND	M1	M2	M3	M4
1	Peso suelo humedo + molde	g	10.539	10.736	10.824	10.752
2	Peso del molde	g	6.443	6.443	6.443	6.443
3	Volumen del molde	cc	2.121	2.121	2.121	2.121
4	Peso suelo humedo [1]-[2]	g	4.096	4.293	4.381	4.309
5	Densidad suelo humedo [4]/[3]	g/cc	1.93	2.02	2.07	2.03
HUMEDAD						
6	Id. Capsula		15	21	4	19
7	Peso del suelo hum. + capsula	g	113.83	103.6	127.24	116.63
8	Peso del suelo seco + capsula	g	106.38	95.81	115.19	104.21
9	Peso del agua [7]-[8]	g	7.45	7.79	12.05	12.42
10	Peso de la capsula	g	20.89	22.19	21.45	21.94
11	Peso del suelo seco [8]-[10]	g	85.49	73.62	93.74	82.27
12	Contenido de humedad [9]*100/[11]	%	8.71	10.58	12.85	15.10
DENSIDAD SECA						
Densidad Seca [5]/(1+[12]/100)		g/cc	1.776	1.830	1.830	1.765

Fuente: Propia

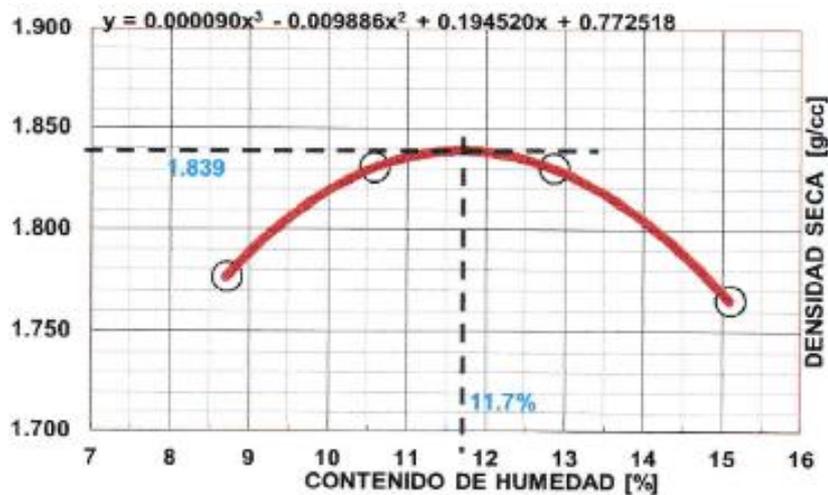


Figura 25 – Máxima Densidad y Óptimo Contenido de Humedad Calicata 03

Fuente: Propia

Según la figura 25 la humedad Óptima es al 11.7% obteniendo una densidad máxima: 1.839 gr/cm³

6.1.4 Relación de Soporte – CBR (en laboratorio)

En la Tabla 13 se observan los valores y cálculos obtenidos para determinar CBR a 0.1” de penetración Calicata 01 a la máxima densidad seca de laboratorio la cual se puede apreciar en la Figura 26.

Tabla 13

Valores y Cálculos de ensayo CBR para Calicata 01

CALICATA		M1-C1					
MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm3)		1.796					
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD		10.30%					
CBR AL 100% DE LA MDS (%)		15.70%					
CBR AL 95% DE LA MDS (%)		11.40%					
RET. ACUM. 3/4": 0.0%	3/8": 0.0%	N°4: 0.7%	N°200: 94.3%				
SUCS: SP-SM	LL: N.P.	IP.: ***	GS: **				
AASHTO: A-3 (0)	EMB: 3 días		EXP.: S/E				
RELACION HUMEDAD - DENSIDAD							
N° DE MOLDE	1	2	3				
N° GOLPES	56	25	12				
VOLUMEN DEL MOLDE (cm3)	2105	2096	2111				
P. MOLDE + S. HUMEDO (gr)	11632	11294	11256				
PESO MOLDE (gr)	7379	7238	7290				
PESO SUELO HUMEDO (gr)	4253	4056	3966				
N° TARRO	5	10	23				
P. TARRO + S. HUMEDO (gr)	122.99	107.18	114.02				
P. TARRO + S. SECO (gr)	112.44	98.73	104.56				
PESO DE AGUA	10.55	8.45	9.46				
PESO DE TARRO	21.76	20.95	20.84				
PESO SUELO SECO	90.68	77.78	83.72				
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	11.6	10.9	11.3				
DENSIDAD HUMEDA (gr/cm3)	2.020	1.935	1.879				
DENSIDAD SECA (gr/cm3)	1.810	1.745	1.688				
N° DE MOLDE							
		1 (56 GOLPES)		2 (25 GOLPES)		3 (12 GOLPES)	
PENETRACIÓN (pulg)	(mm)	LEC. DIAL	CARGA (kg)	LEC. DIAL	CARGA (kg)	LEC. DIAL	CARGA (kg)
0.000	0	0	0	0	0	0	0
0.025	0.64	3	29	2	25	0	17
0.050	1.27	12	67	6	42	4	33
0.075	1.91	23	113	16	83	10	58
0.100	2.54	37	171	23	113	17	88
0.125	3.18	53	238	35	163	26	125
0.150	3.81	66	292	47	213	34	159
0.175	4.45	82	359	55	246	42	192
0.200	5.08	93	405	65	288	49	221
0.225	5.72	104	451	71	313	54	242
0.250	6.35	115	496	79	346	58	259
0.275	6.99	124	534	85	371	62	275
0.300	7.62	132	567	89	388	65	288
ABSORCION							
		1	2	3			
PESO SUELO HUM.+PLATO+MOLDE (gr)		13944	12384	12159			
PESO DEL PLATO+MOLDE (gr)		8127	8231	7946			
PESO SUELO HUMEDO EMBEBIDO (gr)		5896	4189	4262			
PESO SUELO HUMEDO S/EMBEBER (gr)		5817	4153	4213			
PESO DEL AGUA ABOSRBIDA (gr)		79	36	49			
PESO SUELO SECO (gr)		5696	4072	4137			
ABSORCION DEL AGUA (%)		1.4	0.9	1.2			

Fuente: Propia

El suelo de la Calicata 01 (con 0.1" de penetración):

- CBR al 100% de la M.D.S.: 15.7%
- CBR al 95% de la M.D.S.: 11.4%

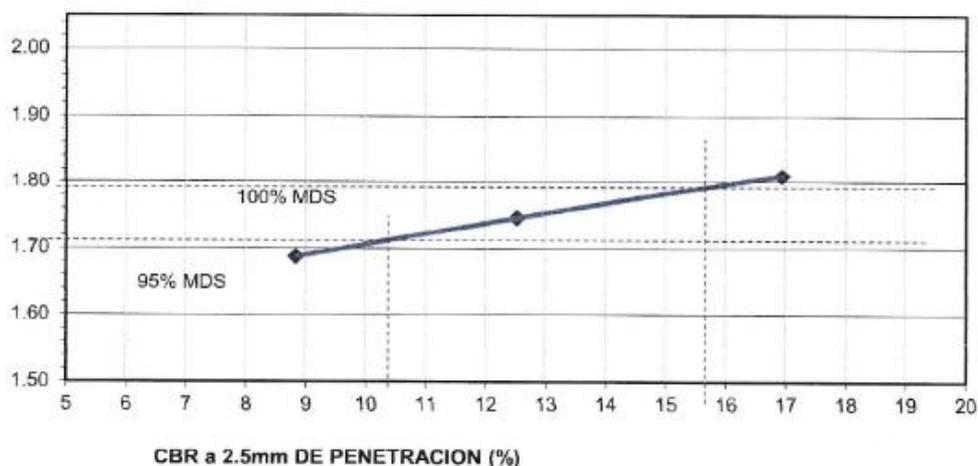


Figura 26 – CBR a 0.1" de penetración Calicata 01

Fuente: Propia

Podemos decir que el CBR de la subrasante al ser mayor a 6% (15.7%) no requiere la estabilización, mejora o refuerzo de los suelos por lo que es un suelo apto para ser subrasante según el Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos Sección: Suelos y Pavimentos del MTC. Sin embargo, también según el Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos Sección: Suelos y Pavimentos del MTC, este tipo de material no puede usarse para sub-base ya que el CBR debe ser mayor al 40%. En la Tabla 14 se observan los valores y cálculos obtenidos para determinar CBR a 0.1" de penetración Calicata 02 a la máxima densidad seca de laboratorio la cual se puede apreciar en la Figura 27.

Tabla 14

Valores y Cálculos de ensayo CBR para Calicata 02

CALICATA		M1-C2					
MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm ³)		1.831					
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD		11.40%					
CBR AL 100% DE LA MDS (%)		16.10%					
CBR AL 95% DE LA MDS (%)		11.60%					
RET. ACUM. 3/4": 0.0%	3/8": 0.0%	N°4: 1.3%	N°200: 96.0%				
SUCS: SP	LL: N.P.	IP.: ***	GS: **				
AASHTO: A-3 (0)	EMB: 3 días	EXP.: S/E					
RELACION HUMEDAD - DENSIDAD							
N° DE MOLDE	1	2	3				
N° GOLPES	56	25	12				
VOLUMEN DEL MOLDE (cm ³)	2105	2096	2111				
P. MOLDE + S. HUMEDO (gr)	11754	11496	11261				
PESO MOLDE (gr)	7379	7238	7290				
PESO SUELO HUMEDO (gr)	4375	4258	3971				
N° TARRO	33	14	40				
P. TARRO + S. HUMEDO (gr)	118.92	101.84	106.65				
P. TARRO + S. SECO (gr)	109.24	93.34	97.41				
PESO DE AGUA	9.68	8.50	9.24				
PESO DE TARRO	21.97	21.05	21.74				
PESO SUELO SECO	87.27	72.29	75.67				
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	11.1	11.8	12.2				
DENSIDAD HUMEDA (gr/cm ³)	2.078	2.031	1.881				
DENSIDAD SECA (gr/cm ³)	1.871	1.818	1.676				
N° DE MOLDE		1 (56 GOLPES)		2 (25 GOLPES)		3 (12 GOLPES)	
PENETRACIÓN (pulg)	(mm)	LEC. DIAL	CARGA (kg)	LEC. DIAL	CARGA (kg)	LEC. DIAL	CARGA (kg)
0.000	0	0	0	0	0	0	0
0.025	0.64	6	42	3	29	1	21
0.050	1.27	12	67	10	58	5	38
0.075	1.91	27	129	21	104	11	63
0.100	2.54	43	196	32	150	20	100
0.125	3.18	59	263	47	213	29	139
0.150	3.81	72	317	61	271	38	175
0.175	4.45	91	396	73	321	46	202
0.200	5.08	102	442	85	371	53	238
0.225	5.72	115	496	97	421	58	259
0.250	6.35	126	542	108	467	62	275
0.275	6.99	146	584	116	501	66	292
0.300	7.62	144	617	124	534	69	305
ABSORCION							
	1	2	3				
PESO SUELO HUM.+PLATO+MOLDE (gr)	13928	13664	13806				
PESO DEL PLATO+MOLDE (gr)	8127	8231	7946				
PESO SUELO HUMEDO EMBEBIDO (gr)	5884	5485	5926				
PESO SUELO HUMEDO S/EMBEBER (gr)	5801	5433	5860				
PESO DEL AGUA ABOSRBIDA (gr)	83	52	66				
PESO SUELO SECO (gr)	5665	5314	5747				
ABSORCION DEL AGUA (%)	1.5	1.0	1.1				

Fuente: Propia

El suelo de la Calicata 02 (con 0.1" de penetración):

- CBR al 100% de la M.D.S.: 16.1%
- CBR al 95% de la M.D.S.: 11.6%

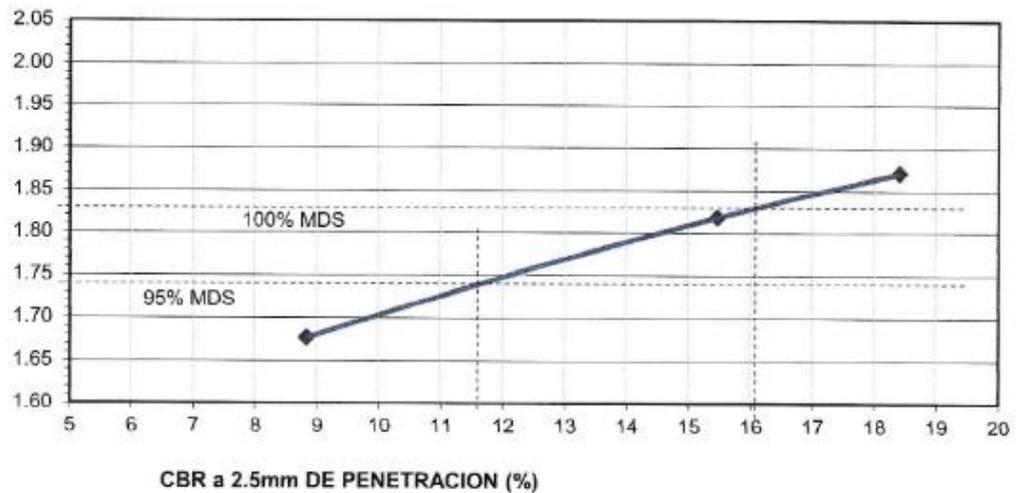


Figura 27 – CBR a 0.1” de penetración Calicata 02

Fuente: Propia

Podemos decir que el CBR de la subrasante al ser mayor a 6% (16.1%) no requiere la estabilización, mejora o refuerzo de los suelos por lo que es un suelo apto para ser subrasante según el Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos Sección: Suelos y Pavimentos del MTC. Sin embargo, también según el Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos Sección: Suelos y Pavimentos del MTC, este tipo de material no puede usarse para sub-base ya que el CBR debe ser mayor al 40%. En la Tabla 15 se observan los valores y cálculos obtenidos para determinar CBR a 0.1” de penetración Calicata 01 a la máxima densidad seca de laboratorio la cual se puede apreciar en la Figura 28.

Tabla 15

Valores y Cálculos de ensayo CBR para Calicata 03

CALICATA		M1-C3					
MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm3)		1.839					
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD		11.70%					
CBR AL 100% DE LA MDS (%)		14.70%					
CBR AL 95% DE LA MDS (%)		10.50%					
RET. ACUM. 3/4": 0.0%	3/8": 0.0%	N°4: 0.9%	N°200: 95.3%				
SUCS: SP	LL: N.P.	IP.: ***	GS: **				
AASHTO: A-3 (0)	EMB: 3 días		EXP.: S/E				
RELACION HUMEDAD - DENSIDAD							
N° DE MOLDE	1	2	3				
N° GOLPES	56	25	12				
VOLUMEN DEL MOLDE (cm3)	2105	2096	2111				
P. MOLDE + S. HUMEDO (gr)	11824	11483	11257				
PESO MOLDE (gr)	7379	7238	7290				
PESO SUELO HUMEDO (gr)	4445	4255	3967				
N° TARRO	33	14	40				
P. TARRO + S. HUMEDO (gr)	118.87	123.86	128.54				
P. TARRO + S. SECO (gr)	109.21	113.42	117.86				
PESO DE AGUA	9.66	10.44	10.68				
PESO DE TARRO	22.49	20.97	22.16				
PESO SUELO SECO	86.72	92.45	95.7				
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	11.1	11.3	11.2				
DENSIDAD HUMEDA (gr/cm3)	2.112	2.030	1.879				
DENSIDAD SECA (gr/cm3)	1.900	1.824	1.691				
N° DE MOLDE		1 (56 GOLPES)		2 (25 GOLPES)		3 (12 GOLPES)	
PENETRACIÓN (pulg)	(mm)	LEC. DIAL	CARGA (kg)	LEC. DIAL	CARGA (kg)	LEC. DIAL	CARGA (kg)
0.000	0	0	0	0	0	0	0
0.025	0.64	4	33	2	25	1	21
0.050	1.27	10	58	9	54	4	33
0.075	1.91	25	121	21	104	10	58
0.100	2.54	41	188	28	134	18	92
0.125	3.18	57	254	39	179	27	129
0.150	3.81	68	300	49	221	34	159
0.175	4.45	87	380	60	267	39	179
0.200	5.08	98	425	71	313	45	204
0.225	5.72	110	476	78	342	49	221
0.250	6.35	121	521	86	375	53	238
0.275	6.99	128	551	92	400	57	254
0.300	7.62	133	571	95	425	60	267
ABSORCION							
		1	2	3			
PESO SUELO HUM.+PLATO+MOLDE (gr)		13157	14182	12922			
PESO DEL PLATO+MOLDE (gr)		8127	8231	7946			
PESO SUELO HUMEDO EMBEBIDO (gr)		5122	6072	5084			
PESO SUELO HUMEDO S/EMBEBER (gr)		5030	5951	4976			
PESO DEL AGUA ABOSRBIDA (gr)		92	121	108			
PESO SUELO SECO (gr)		4890	5835	4879			
ABSORCION DEL AGUA (%)		1.9	2.1	2.2			

Fuente: Propia

El suelo de la Calicata 03 (con 0.1" de penetración):

- CBR al 100% de la M.D.S.: 14.7%

- CBR al 95% de la M.D.S.: 10.5%

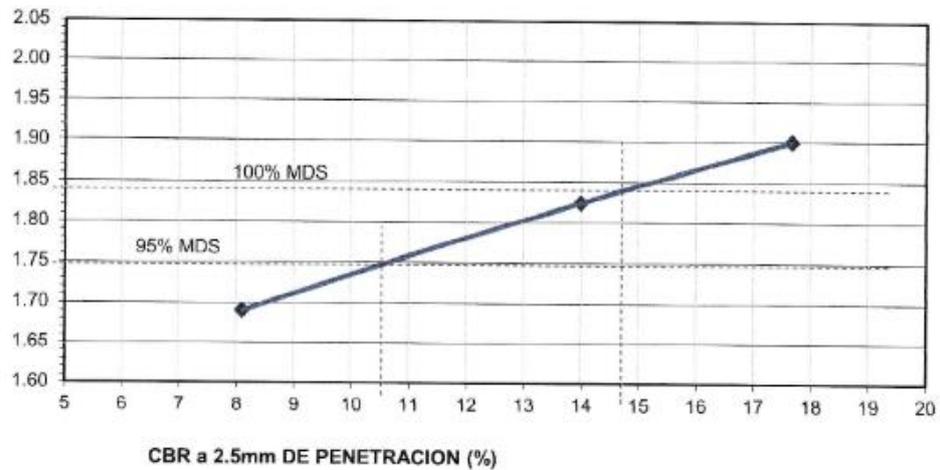


Figura 28 – CBR a 0.1” de penetración Calicata 03

Fuente: Propia

Podemos decir que el CBR de la subrasante al ser mayor a 6% (14.7%) no requiere la estabilización, mejora o refuerzo de los suelos por lo que es un suelo apto para ser subrasante según el Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos Sección: Suelos y Pavimentos del MTC. Sin embargo, también según el Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos Sección: Suelos y Pavimentos del MTC, este tipo de material no puede usarse para sub-base ya que el CBR debe ser mayor al 40%.

6.1.5 Ensayo DCP - ASTM-D 6951 para comparar con CBR de laboratorio

a) CBR in-situ CALICATA 01 ensayo 01:

Tabla 16

Valores de ensayo 01 DCP para Calicata 01

DCP 01 - ZONA CERCANA A CALICATA 01						
# Golpe	Lectura (m)	Profundidad (m)	Profun. Acum. (m)	Profun. Acum. (mm)	DN(mm/golp)	CBR ASTM-D 6951
0	1.030	0.000	0.000	0	15.960	13.12
5	0.962	0.068	0.068	68	15.960	13.12
10	0.866	0.096	0.164	164	15.960	13.12
15	0.816	0.050	0.214	214	15.960	13.12
20	0.743	0.073	0.287	287	15.960	13.12
25	0.631	0.112	0.399	399	15.960	13.12
25	0.631	0.112	0.399	399	19.067	10.75
30	0.504	0.127	0.526	526	19.067	10.75
35	0.420	0.084	0.610	610	19.067	10.75
40	0.345	0.075	0.685	685	19.067	10.75
40	0.345	0.075	0.685	685	12.200	17.73
45	0.283	0.062	0.747	747	12.200	17.73
50	0.223	0.060	0.807	807	12.200	17.73

Fuente: Propia

- D/N estrato 01(profundidad de muestra para CBR en laboratorio): 15.960 mm/golp
- D/N estrato 02: 19.067 mm/golp
- D/N estrato 03: 12.200 mm/golp
- CBR según ASTM-D 6951 estrato 01(profundidad de muestra para CBR en laboratorio): 13.12%
- CBR según ASTM-D 6951 estrato 02: 10.75%
- CBR según ASTM-D 6951 estrato 03: 17.73%

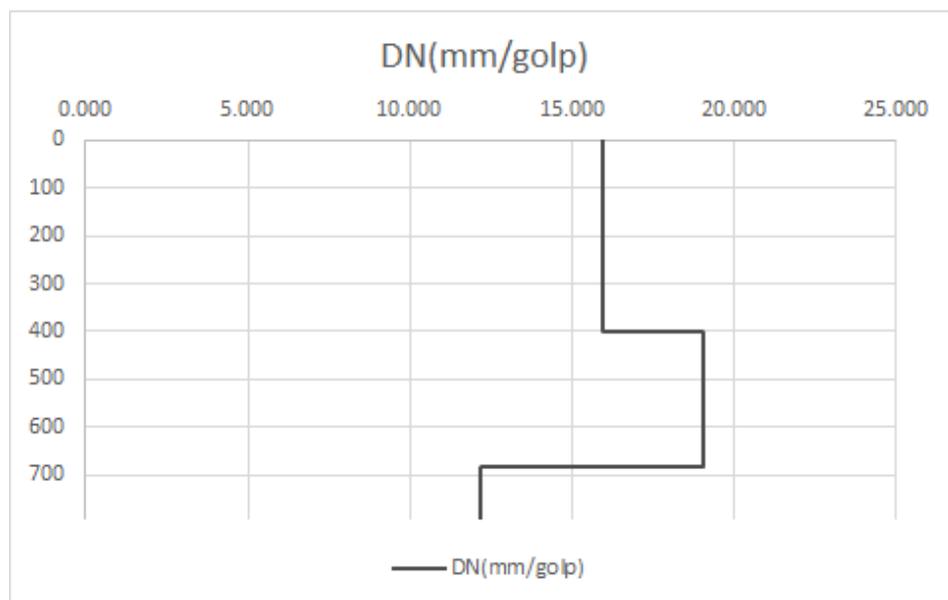


Figura 29 – Diagrama estructural DN vs Profundidad Calicata 01 – Ensayo 01

Fuente: Propia

Se puede observar en la figura 29, que el suelo está subdividido en 3 estratos, siendo el segundo de ellos, que oscila entre 25 y 60cm de profundidad, el de mayor valor DN.

b) CBR in-situ CALICATA 01 ensayo 02:

Tabla 17

Valores de ensayo 02 DCP para Calicata 01

DCP 02 - ZONA CERCANA A CALICATA 01						
# Golpe	Lectura (m)	Profundidad (m)	Profun. Acum. (m)	Profun. Acum. (mm)	DN(mm/golp)	CBR ASTM-D 6951
0	1.030	0.000	0.000	0	14.000	15.20
5	0.923	0.107	0.107	107	14.000	15.20
10	0.831	0.092	0.199	199	14.000	15.20
15	0.777	0.054	0.253	253	14.000	15.20
20	0.741	0.036	0.289	289	14.000	15.20
25	0.680	0.061	0.350	350	14.000	15.20
25	0.680	0.061	0.350	350	16.150	12.95
30	0.612	0.068	0.418	418	16.150	12.95
35	0.509	0.103	0.521	521	16.150	12.95
40	0.451	0.058	0.579	579	16.150	12.95
45	0.357	0.094	0.673	673	16.150	12.95
45	0.357	0.094	0.673	673	11.200	19.51
50	0.282	0.075	0.748	748	11.200	19.51
55	0.245	0.037	0.785	785	11.200	19.51

Fuente: Propia

- D/N estrato 01 (profundidad de muestra para CBR en laboratorio):
14.000 mm/golp
- D/N estrato 02: 16.150 mm/golp
- D/N estrato 03: 11.200 mm/golp
- CBR según ASTM-D 6951 estrato 01 (profundidad de muestra para CBR en laboratorio): 15.20%
- CBR según ASTM-D 6951 estrato 02: 12.95%
- CBR según ASTM-D 6951 estrato 03: 19.51%

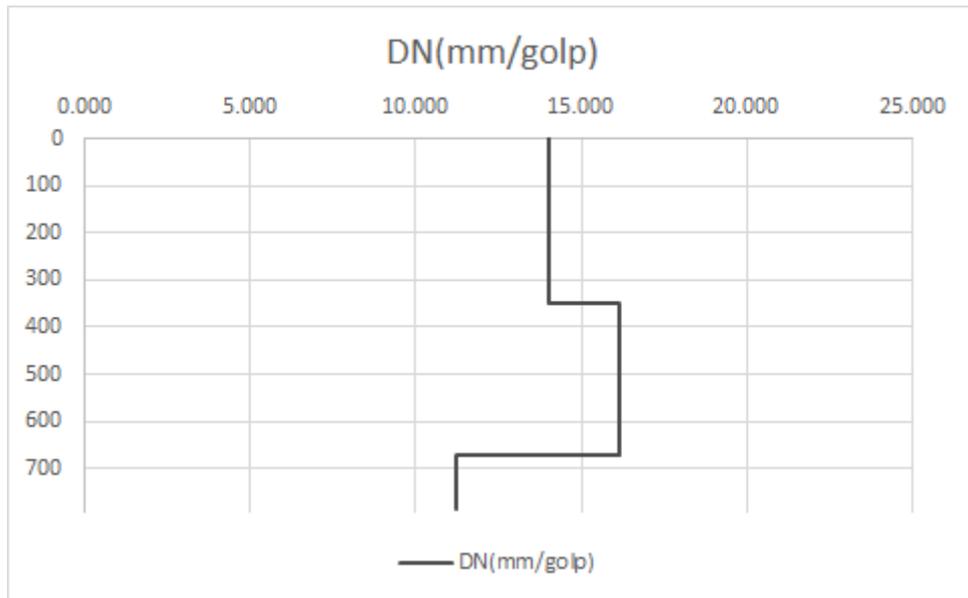


Figura 30 – Diagrama estructural DN vs Profundidad Calicata 01 – Ensayo 02

Fuente: Propia

Se puede observar en la figura 30, que el suelo está subdividido en 3 estratos, siendo el segundo de ellos, que oscila entre 35 y 65cm de profundidad, el de mayor valor DN.

c) CBR in-situ CALICATA 01 ensayo 03:

Tabla 18

Valores de ensayo 03 DCP para Calicata 01

DCP 03 - ZONA CERCANA A CALICATA 01						
# Golpe	Lectura (m)	Profundidad (m)	Profun. Acum. (m)	Profun. Acum. (mm)	DN(mm/golpe)	CBR ASTM-D 6951
0	1.030	0.000	0.000	0	12.667	17.00
5	0.941	0.089	0.089	89	12.667	17.00
10	0.870	0.071	0.160	160	12.667	17.00
15	0.824	0.046	0.206	206	12.667	17.00
20	0.767	0.057	0.263	263	12.667	17.00
25	0.720	0.047	0.310	310	12.667	17.00
30	0.650	0.070	0.380	380	12.667	17.00
30	0.650	0.070	0.380	380	18.450	11.15
35	0.575	0.070	0.450	451	18.450	11.15
40	0.471	0.179	0.559	559	18.450	11.15
45	0.362	0.109	0.668	668	18.450	11.15
50	0.288	0.074	0.742	749	18.450	11.15
50	0.288	0.074	0.742	742	8.800	25.56
55	0.243	0.045	0.787	787	8.800	25.56
60	0.200	0.043	0.830	830	8.800	25.56

Fuente: Propia

- D/N estrato 01(profundidad de muestra para CBR en laboratorio): 12.667 mm/golp
- D/N estrato 02: 18.450 mm/golp
- D/N estrato 03: 8.800 mm/golp
- CBR según ASTM-D 6951 estrato 01 (profundidad de muestra para CBR en laboratorio): 17.00%
- CBR según ASTM-D 6951 estrato 02: 11.15%
- CBR según ASTM-D 6951 estrato 03: 25.56%

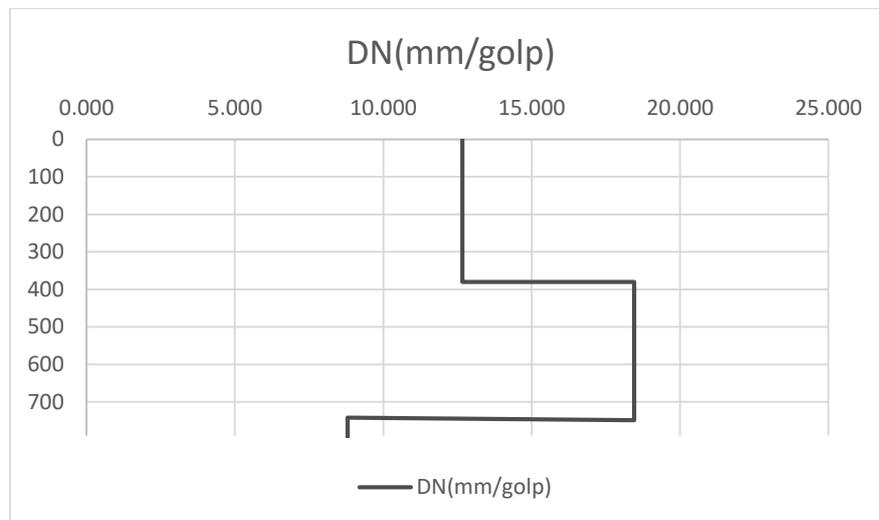


Figura 31 – Diagrama estructural DN vs Profundidad Calicata 01 – Ensayo 03
Fuente: Propia

Se puede observar en la figura 31, que el suelo está subdividido en 3 estratos, siendo el segundo de ellos, que oscila entre 45 y 70cm de profundidad, el de mayor valor DN.

d) CBR in-situ CALICATA 02 ensayo 01:

Tabla 19

Valores de ensayo 01 DCP para Calicata 02

DCP 01 - ZONA CERCANA A CALICATA 02						
# Golpe	Lectura (m)	Profundidad (m)	Profun. Acum. (m)	Profun. Acum. (mm)	DN(mm/golp)	CBR ASTM-D 6951
0	1.030	0.000	0.000	0	14.400	14.72
5	0.952	0.078	0.078	78	14.400	14.72
10	0.865	0.087	0.165	165	14.400	14.72
15	0.814	0.051	0.216	216	14.400	14.72
15	0.814	0.051	0.216	216	18.680	11.00
20	0.756	0.058	0.274	274	18.680	11.00
25	0.634	0.122	0.396	396	18.680	11.00
30	0.502	0.132	0.528	528	18.680	11.00
35	0.413	0.089	0.617	617	18.680	11.00
40	0.347	0.066	0.683	683	18.680	11.00
40	0.347	0.066	0.683	683	10.300	21.43
45	0.297	0.050	0.733	733	10.300	21.43
50	0.244	0.053	0.786	786	10.300	21.43

Fuente: Propia

- D/N estrato 01 (profundidad de muestra para CBR en laboratorio): 14.40 mm/golp
- D/N estrato 02: 18.68 mm/golp
- D/N estrato 03: 10.30 mm/golp
- CBR según ASTM-D 6951 estrato 01 (profundidad de muestra para CBR en laboratorio): 14.72%
- CBR según ASTM-D 6951 estrato 02: 11.00%
- CBR según ASTM-D 6951 estrato 03: 21.43%

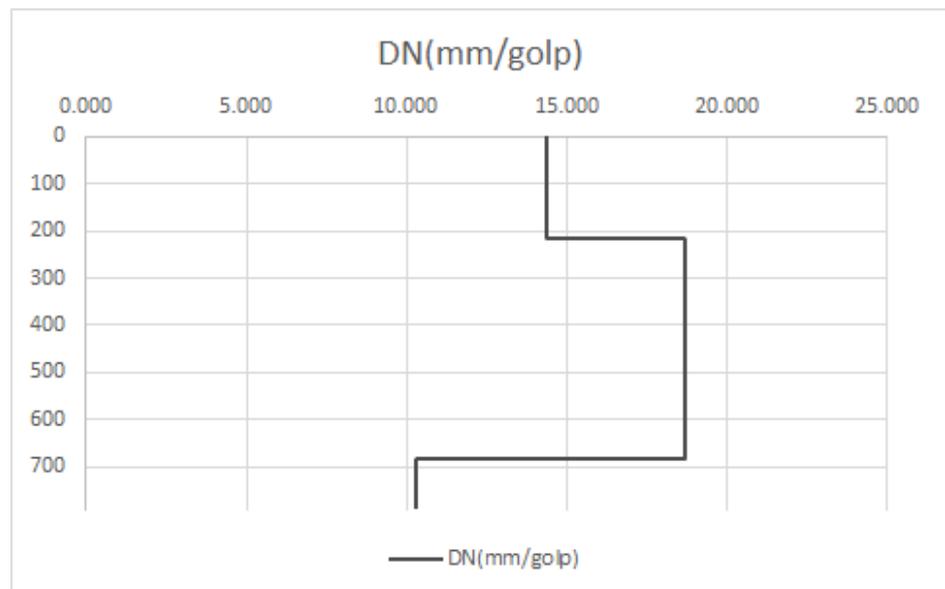


Figura 32 – Diagrama estructural DN vs Profundidad Calicata 02 – Ensayo 01

Fuente: Propia

Se puede observar en la figura 32, que el suelo está subdividido en 3 estratos, siendo el segundo de ellos, que oscila entre 25 y 70cm de profundidad, el de mayor valor DN.

e) CBR in-situ CALICATA 02 ensayo 02:

Tabla 20

Valores de ensayo 02 DCP para Calicata 02

DCP 02 - ZONA CERCANA A CALICATA 02						
# Golpe	Lectura (m)	Profundidad (m)	Profun. Acum. (m)	Profun. Acum. (mm)	DN(mm/golp)	CBR ASTM-D 6951
0	1.030	0.000	0.000	0	14.440	14.68
5	0.920	0.110	0.110	110	14.440	14.68
10	0.842	0.078	0.188	188	14.440	14.68
15	0.776	0.066	0.254	254	14.440	14.68
20	0.723	0.053	0.307	307	14.440	14.68
25	0.669	0.054	0.361	361	14.440	14.68
25	0.669	0.054	0.361	361	15.650	13.41
30	0.638	0.031	0.392	392	15.650	13.41
35	0.538	0.100	0.492	492	15.650	13.41
40	0.448	0.090	0.582	582	15.650	13.41
45	0.356	0.092	0.674	674	15.650	13.41
45	0.356	0.092	0.674	674	11.400	19.13
50	0.289	0.067	0.741	741	11.400	19.13
55	0.242	0.047	0.788	788	11.400	19.13

Fuente: Propia

- D/N estrato 01 (profundidad de muestra para CBR en laboratorio): 14.44 mm/golp
- D/N estrato 02: 15.65 mm/golp
- D/N estrato 03: 11.40 mm/golp
- CBR según ASTM-D 6951 estrato 01 (profundidad de muestra para CBR en laboratorio): 14.68%
- CBR según ASTM-D 6951 estrato 02: 13.41%
- CBR según ASTM-D 6951 estrato 03: 19.13%

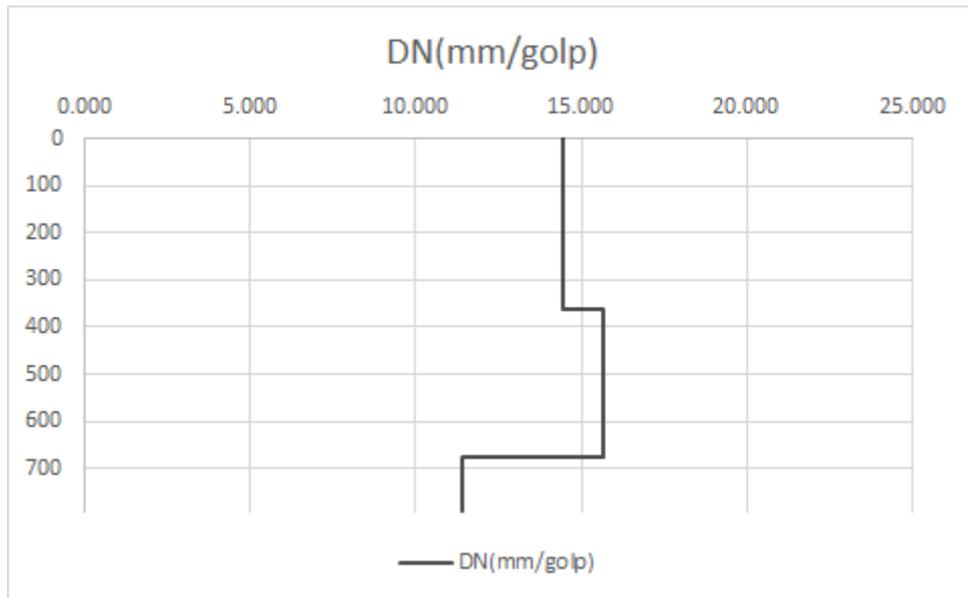


Figura 33 – Diagrama estructural DN vs Profundidad Calicata 02 – Ensayo 02

Fuente: Propia

Se puede observar en la figura 33, que el suelo está subdividido en 3 estratos, siendo el segundo de ellos, que oscila entre 35 y 65cm de profundidad, el de mayor valor DN.

f) CBR in-situ CALICATA 02 ensayo 03:

Tabla 21

Valores de ensayo 03 DCP para Calicata 02

DCP 03 - ZONA CERCANA A CALICATA 02						
# Golpe	Lectura (m)	Profundidad (m)	Profun. Acum. (m)	Profun. Acum. (mm)	DN(mm/golpe)	CBR ASTM-D 6951
0	1.030	0.000	0.000	0	12.833	16.75
5	0.943	0.087	0.087	87	12.833	16.75
10	0.867	0.076	0.163	163	12.833	16.75
15	0.815	0.052	0.215	215	12.833	16.75
20	0.748	0.067	0.282	282	12.833	16.75
25	0.717	0.031	0.313	313	12.833	16.75
30	0.645	0.072	0.385	385	12.833	16.75
30	0.645	0.000	0.385	385	18.200	11.33
35	0.579	0.066	0.451	451	18.200	11.33
40	0.478	0.167	0.552	552	18.200	11.33
45	0.364	0.114	0.666	666	18.200	11.33
50	0.281	0.083	0.749	749	18.200	11.33
50	0.281	0.083	0.749	749	10.400	21.20
55	0.243	0.038	0.787	787	10.400	21.20
60	0.177	0.066	0.853	853	10.400	21.20

Fuente: Propia

- D/N estrato 01 (profundidad de muestra para CBR en laboratorio): 12.833 mm/golp
- D/N estrato 02: 18.20 mm/golp
- D/N estrato 03: 10.40 mm/golp
- CBR según ASTM-D 6951 estrato 01 (profundidad de muestra para CBR en laboratorio): 16.75%
- CBR según ASTM-D 6951 estrato 02: 11.33%
- CBR según ASTM-D 6951 estrato 03: 21.20%

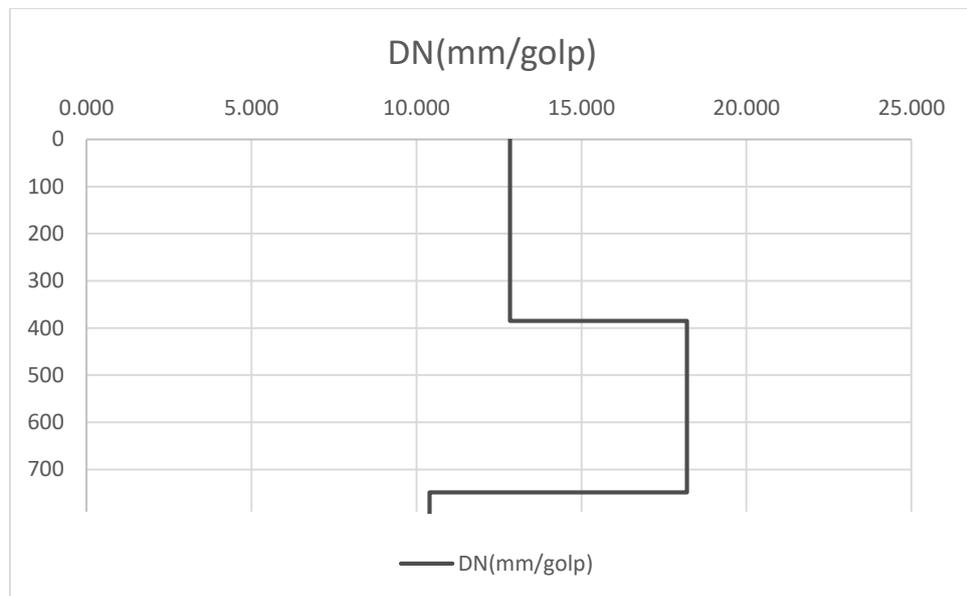


Figura 34 – Diagrama estructural DN vs Profundidad Calicata 02 – Ensayo 03

Fuente: Propia

Se puede observar en la figura 34, que el suelo está subdividido en 3 estratos, siendo el segundo de ellos, que oscila entre 40 y 70cm de profundidad, el de mayor valor DN.

g) CBR in-situ CALICATA 03 ensayo 01:

Tabla 22

Valores de ensayo 01 DCP para Calicata 03

DCP 01 - ZONA CERCANA A CALICATA 03						
# Golpe	Lectura (m)	Profundidad (m)	Profun. Acum. (m)	Profun. Acum. (mm)	DN(mm/golp)	CBR ASTM-D 6951
0	1.030	0.000	0.000	0	14.10	15.08
5	0.936	0.094	0.094	94	14.10	15.08
10	0.879	0.057	0.151	151	14.10	15.08
15	0.821	0.058	0.209	209	14.10	15.08
20	0.748	0.073	0.282	282	14.10	15.08
20	0.748	0.073	0.282	282	20.65	9.83
25	0.608	0.140	0.422	422	20.65	9.83
30	0.490	0.118	0.540	540	20.65	9.83
35	0.402	0.088	0.628	628	20.65	9.83
40	0.335	0.067	0.695	695	20.65	9.83
40	0.335	0.067	0.695	695	8.40	26.93
45	0.291	0.044	0.739	739	8.40	26.93
50	0.251	0.040	0.779	779	8.40	26.93

Fuente: Propia

- D/N estrato 01(profundidad de muestra para CBR en laboratorio): 14.40 mm/golp
- D/N estrato 02: 18.68 mm/golp
- D/N estrato 03: 10.30 mm/golp
- CBR según ASTM-D 6951 estrato 01 (profundidad de muestra para CBR en laboratorio): 14.72%
- CBR según ASTM-D 6951 estrato 02: 11.00%
- CBR según ASTM-D 6951 estrato 03: 21.43%

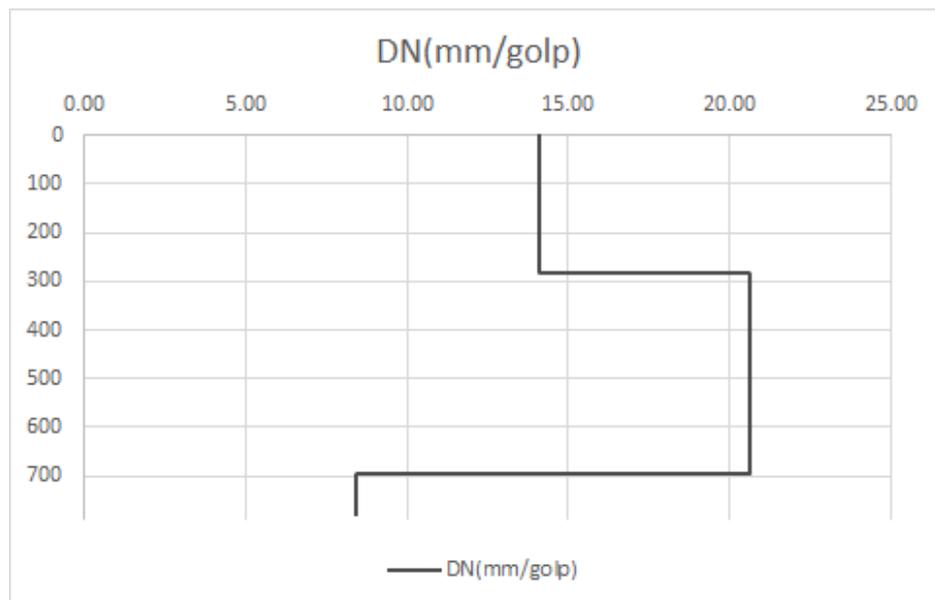


Figura 35 – Diagrama estructural DN vs Profundidad Calicata 03 – Ensayo 01

Fuente: Propia

Se puede observar en la figura 35, que el suelo está subdividido en 3 estratos, siendo el segundo de ellos, que oscila entre 20 y 70cm de profundidad, el de mayor valor DN.

h) CBR in-situ CALICATA 03 ensayo 02:

Tabla 23

Valores de ensayo 02 DCP para Calicata 03

DCP 02 - ZONA CERCANA A CALICATA 03						
# Golpe	Lectura (m)	Profundidad (m)	Profun. Acum. (m)	Profun. Acum. (mm)	DN(mm/golp)	CBR ASTM-D 6951
0	1.030	0.000	0.000	0	15.70	13.37
5	0.919	0.111	0.111	111	15.70	13.37
10	0.835	0.084	0.195	195	15.70	13.37
15	0.780	0.055	0.250	250	15.70	13.37
20	0.716	0.064	0.314	314	15.70	13.37
20	0.716	0.064	0.314	314	13.00	16.51
25	0.629	0.087	0.401	401	13.00	16.51
30	0.577	0.052	0.453	453	13.00	16.51
35	0.532	0.045	0.498	498	13.00	16.51
40	0.466	0.066	0.564	564	13.00	16.51
45	0.391	0.075	0.639	639	13.00	16.51
45	0.391	0.075	0.639	639	7.08	32.61
50	0.359	0.032	0.671	671	7.08	32.61
55	0.326	0.033	0.704	704	7.08	32.61
60	0.301	0.025	0.729	729	7.08	32.61
65	0.244	0.057	0.786	786	7.08	32.61
70	0.214	0.030	0.816	816	7.08	32.61

Fuente: Propia

- D/N estrato 01 (profundidad de muestra para CBR en laboratorio):
15.70 mm/golp
- D/N estrato 02: 13.00 mm/golp
- D/N estrato 03: 7.08 mm/golp
- CBR según ASTM-D 6951 estrato 01 (profundidad de muestra para CBR en laboratorio): 13.37%
- CBR según ASTM-D 6951 estrato 02: 16.51%
- CBR según ASTM-D 6951 estrato 03: 32.61%

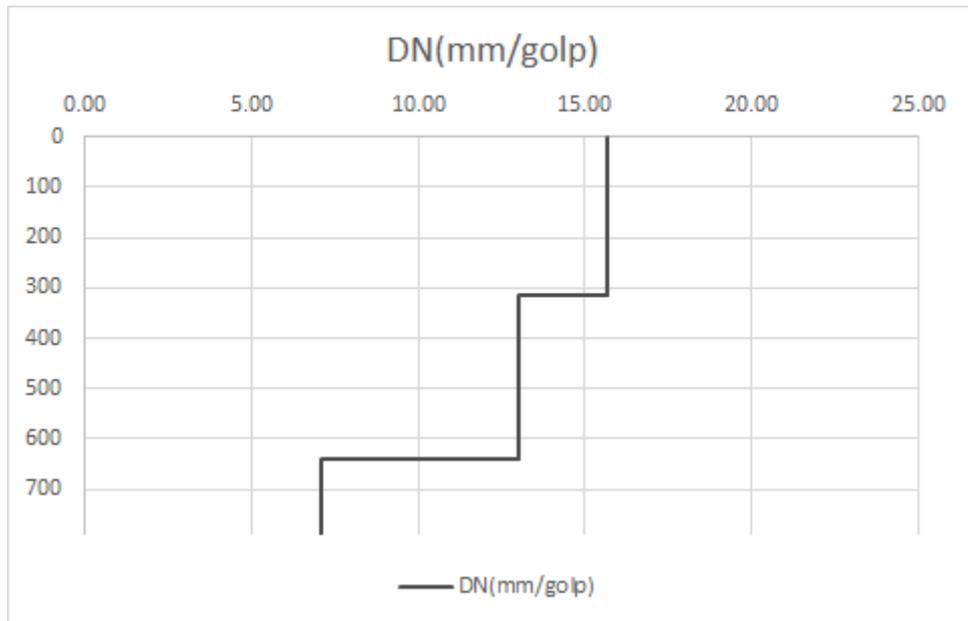


Figura 36 – Diagrama estructural DN vs Profundidad Calicata 03 – Ensayo 02

Fuente: Propia

Se puede observar en la figura 36, que el suelo está subdividido en 3 estratos, siendo el primero de ellos, que oscila entre 0 y 30cm de profundidad, el de mayor valor DN.

i) CBR in-situ CALICATA 03 ensayo 03:

Tabla 24

Valores de ensayo 03 DCP para Calicata 03

DCP 03 - ZONA CERCANA A CALICATA 03						
# Golpe	Lectura (m)	Profundidad (m)	Profun. Acum. (m)	Profun. Acum. (mm)	DN(mm/golpe)	CBR ASTM-D 6951
0	1.030	0.000	0.000	0	13.16	16.29
5	0.934	0.096	0.096	96	13.16	16.29
10	0.862	0.072	0.168	168	13.16	16.29
15	0.810	0.052	0.220	220	13.16	16.29
20	0.754	0.056	0.276	276	13.16	16.29
25	0.701	0.053	0.329	329	13.16	16.29
25	0.701	0.053	0.329	329	16.16	12.94
30	0.642	0.059	0.388	388	16.16	12.94
35	0.543	0.099	0.487	487	16.16	12.94
40	0.446	0.097	0.584	584	16.16	12.94
45	0.358	0.088	0.672	672	16.16	12.94
50	0.297	0.061	0.733	733	16.16	12.94
50	0.297	0.061	0.733	733	7.30	31.51
55	0.261	0.036	0.769	769	7.30	31.51
60	0.224	0.037	0.806	806	7.30	31.51

Fuente: Propia

- D/N estrato 01 (profundidad de muestra para CBR en laboratorio): 13.16 mm/golp
- D/N estrato 02: 16.16 mm/golp
- D/N estrato 03: 7.30 mm/golp
- CBR según ASTM-D 6951 estrato 01 (profundidad de muestra para CBR en laboratorio): 16.29%
- CBR según ASTM-D 6951 estrato 02: 12.94%
- CBR según ASTM-D 6951 estrato: 31.51%

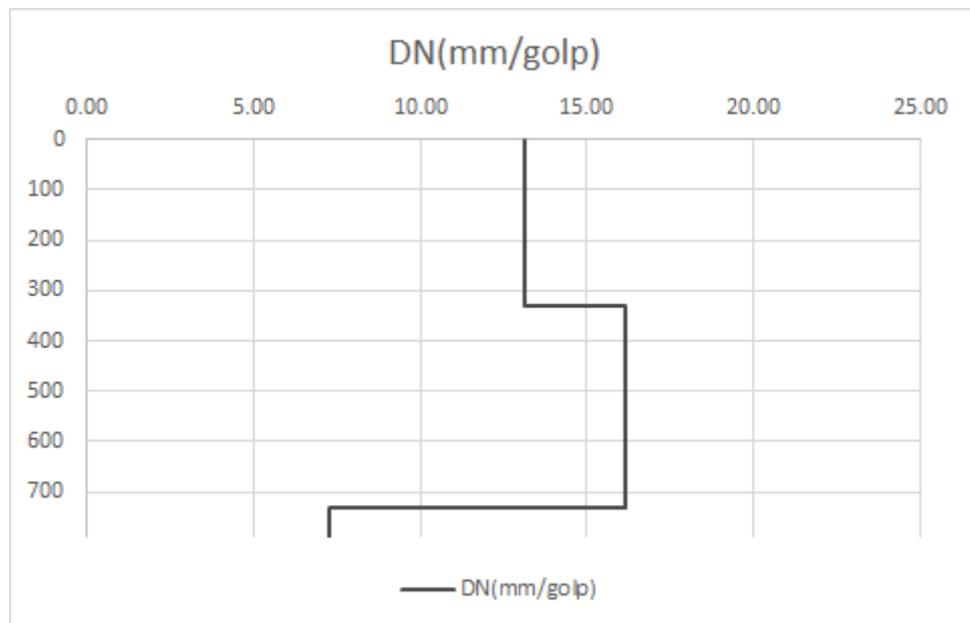


Figura 37 – Diagrama estructural DN vs Profundidad Calicata 03 – Ensayo 03

Fuente: Propia

Se puede observar en la figura 37, que el suelo está subdividido en 3 estratos, siendo el segundo de ellos, que oscila entre 35 y 70cm de profundidad, el de mayor valor DN.

6.1.6 Ensayo DCP - ASTM-D 6951 para comparar con software UK DCP

a) CBR in-situ CALICATA 04 ensayo 01:

Tabla 25

Valores de ensayo 01 DCP para Calicata 04

DCP 01 - ZONA CERCANA A CALICATA 04						
# Golpe	Lectura (m)	Profundidad (m)	Profun. Acum. (m)	Profun. Acum. (mm)	DN(mm/golp)	CBR ASTM-D 6951
0	1.030	0.000	0.000	0	13.95	15.26
5	0.940	0.090	0.090	90	13.95	15.26
10	0.870	0.070	0.160	160	13.95	15.26
15	0.814	0.056	0.216	216	13.95	15.26
20	0.751	0.063	0.279	279	13.95	15.26
20	0.751	0.063	0.279	279	19.10	10.73
25	0.640	0.111	0.390	390	19.10	10.73
30	0.540	0.100	0.490	490	19.10	10.73
35	0.439	0.101	0.591	591	19.10	10.73
40	0.369	0.070	0.661	661	19.10	10.73

Fuente: Propia

- D/N estrato 01 (profundidad de estrato analizado en UK DCP): 13.95 mm/golp
- D/N estrato 02: 19.10 mm/golp
- CBR según ASTM-D 6951 estrato 01 (profundidad de estrato analizado en UK DCP): 15.269%
- CBR según ASTM-D 6951 estrato 02: 10.73%

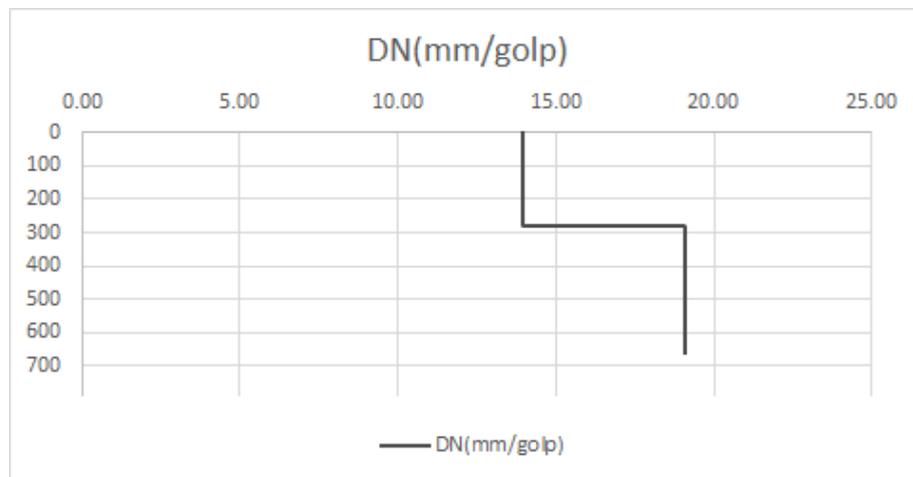


Figura 38 – Diagrama estructural DN vs Profundidad Calicata 04 – Ensayo 01

Fuente: Propia

Se puede observar en la figura 38, que el suelo está subdividido en 2 estratos, siendo el segundo de ellos, que oscila entre 30 y 70cm de profundidad, el de mayor valor DN.

b) CBR in-situ CALICATA 04 ensayo 02:

Tabla 26

Valores de ensayo 02 DCP para Calicata 04

DCP 02 - ZONA CERCANA A CALICATA 04						
# Golpe	Lectura (m)	Profundidad (m)	Profun. Acum. (m)	Profun. Acum. (mm)	DN(mm/golp)	CBR ASTM-D 6951
0	1.030	0.000	0.000	0	13.85	15.38
5	0.947	0.083	0.083	83	13.85	15.38
10	0.866	0.081	0.164	164	13.85	15.38
15	0.810	0.056	0.220	220	13.85	15.38
20	0.753	0.057	0.277	277	13.85	15.38
20	0.753	0.057	0.277	277	16.48	12.66
25	0.656	0.097	0.374	374	16.48	12.66
30	0.578	0.078	0.452	452	16.48	12.66
35	0.499	0.079	0.531	531	16.48	12.66
40	0.426	0.073	0.604	604	16.48	12.66
45	0.341	0.085	0.689	689	16.48	12.66

Fuente: Propia

- D/N estrato 01 (profundidad de estrato analizado en UK DCP): 13.95 mm/golp
- D/N estrato 02: 19.10 mm/golp
- CBR según ASTM-D 6951 estrato 01 (profundidad de estrato analizado en UK DCP): 15.269%
- CBR según ASTM-D 6951 estrato 02: 10.73%

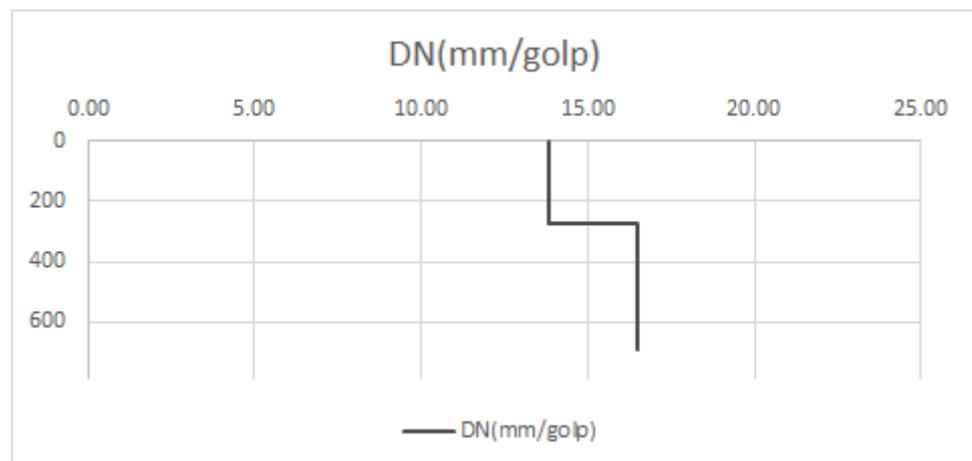


Figura 39 – Diagrama estructural DN vs Profundidad Calicata 04 – Ensayo 02

Fuente: Propia

Se puede observar en la figura 39, que el suelo está subdividido en 2 estratos, siendo el segundo de ellos, que oscila entre 30 y 70cm de profundidad, el de mayor valor DN.

c) CBR in-situ CALICATA 04 ensayo 03:

Tabla 27

Valores de ensayo 03 DCP para Calicata 04

DCP 03 - ZONA CERCANA A CALICATA 04						
# Golpe	Lectura (m)	Profundidad (m)	Profun. Acum. (m)	Profun. Acum. (mm)	DN(mm/golp)	CBR ASTM-D 6951
0	1.030	0.000	0.000	0	13.15	16.30
5	0.953	0.077	0.077	77	13.15	16.30
10	0.877	0.076	0.153	153	13.15	16.30
15	0.819	0.058	0.211	211	13.15	16.30
20	0.767	0.052	0.263	263	13.15	16.30
20	0.767	0.052	0.263	263	16.84	12.36
25	0.654	0.113	0.376	376	16.84	12.36
30	0.560	0.094	0.470	470	16.84	12.36
35	0.497	0.063	0.533	533	16.84	12.36
40	0.415	0.082	0.615	615	16.84	12.36
45	0.346	0.069	0.684	684	16.84	12.36

Fuente: Propia

- D/N estrato 01 (profundidad de estrato analizado en UK DCP): 13.95 mm/golp
- D/N estrato 02: 19.10 mm/golp
- CBR según ASTM-D 6951 estrato 01 (profundidad de estrato analizado en UK DCP): 15.269%
- CBR según ASTM-D 6951 estrato 02: 10.73%

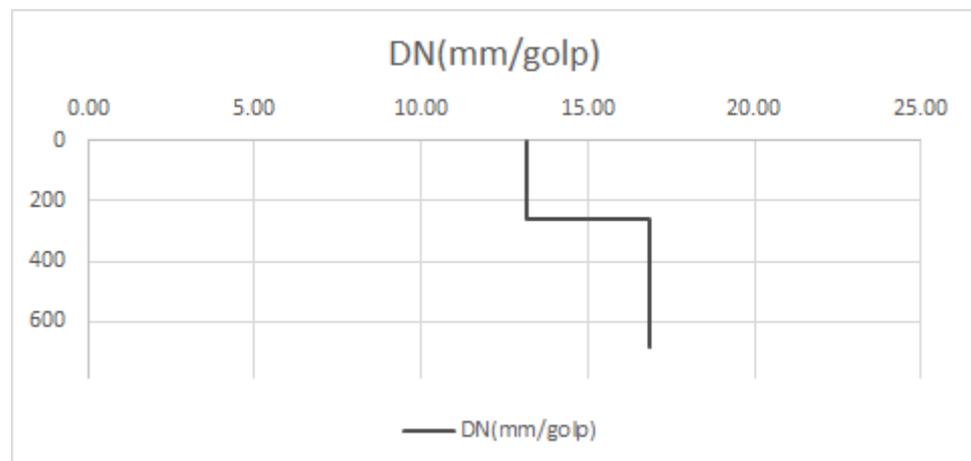


Figura 40 – Diagrama estructural DN vs Profundidad Calicata 04 – Ensayo 03

Fuente: Propia

Se puede observar en la figura 40, que el suelo está subdividido en 2 estratos, siendo el segundo de ellos, que oscila entre 30 y 70cm de profundidad, el de mayor valor DN.

d) CBR in-situ CALICATA 05 ensayo 01:

Tabla 28

Valores de ensayo 01 DCP para Calicata 05

DCP 01 - ZONA CERCANA A CALICATA 05						
# Golpe	Lectura (m)	Profundidad (m)	Profun. Acum. (m)	Profun. Acum. (mm)	DN(mm/golp)	CBR ASTM-D 6951
0	1.030	0.000	0.000	0	14.65	14.44
5	0.955	0.075	0.075	75	14.65	14.44
10	0.898	0.057	0.132	132	14.65	14.44
15	0.824	0.074	0.206	206	14.65	14.44
20	0.737	0.087	0.293	293	14.65	14.44
20	0.737	0.087	0.293	293	21.55	9.37
25	0.650	0.087	0.380	380	21.55	9.37
30	0.539	0.111	0.491	491	21.55	9.37
35	0.445	0.094	0.585	585	21.55	9.37
40	0.306	0.139	0.724	724	21.55	9.37

Fuente: Propia

- D/N estrato 01 (profundidad de estrato analizado en UK DCP): 14.65 mm/golp
- D/N estrato 02: 21.55 mm/golp
- CBR según ASTM-D 6951 estrato 01 (profundidad de estrato analizado en UK DCP): 14.44%
- CBR según ASTM-D 6951 estrato 02: 9.37%

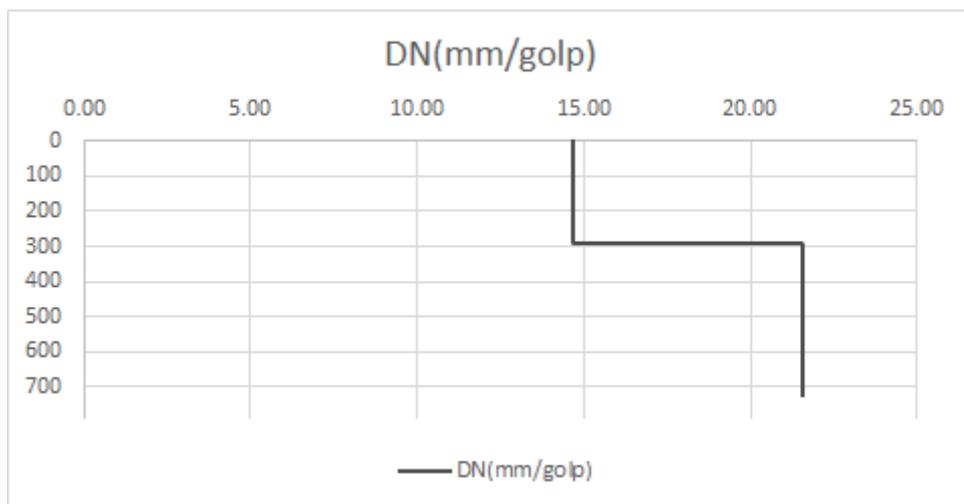


Figura 41 – Diagrama estructural DN vs Profundidad Calicata 05 – Ensayo 01

Fuente: Propia

Se puede observar en la figura 41, que el suelo está subdividido en 2 estratos, siendo el segundo de ellos, que oscila entre 30 y 70cm de profundidad, el de mayor valor DN.

e) CBR in-situ CALICATA 05 ensayo 02:

Tabla 29

Valores de ensayo 02 DCP para Calicata 05

DCP 02 - ZONA CERCANA A CALICATA 05						
# Golpe	Lectura (m)	Profundidad (m)	Profun. Acum. (m)	Profun. Acum. (mm)	DN(mm/golp)	CBR ASTM-D 6951
0	1.030	0.000	0.000	0	14.60	14.50
5	0.955	0.075	0.075	75	14.60	14.50
10	0.875	0.080	0.155	155	14.60	14.50
15	0.800	0.075	0.230	230	14.60	14.50
20	0.738	0.062	0.292	292	14.60	14.50
20	0.738	0.062	0.292	292	16.28	12.83
25	0.643	0.095	0.387	387	16.28	12.83
30	0.565	0.078	0.465	465	16.28	12.83
35	0.501	0.064	0.529	529	16.28	12.83
40	0.416	0.085	0.614	614	16.28	12.83
45	0.331	0.085	0.699	699	16.28	12.83

Fuente: Propia

- D/N estrato 01 (profundidad de estrato analizado en UK DCP): 14.60 mm/golp
- D/N estrato 02: 16.28 mm/golp
- CBR según ASTM-D 6951 estrato 01 (profundidad de estrato analizado en UK DCP): 14.50%

- CBR según ASTM-D 6951 estrato 02: 12.83%

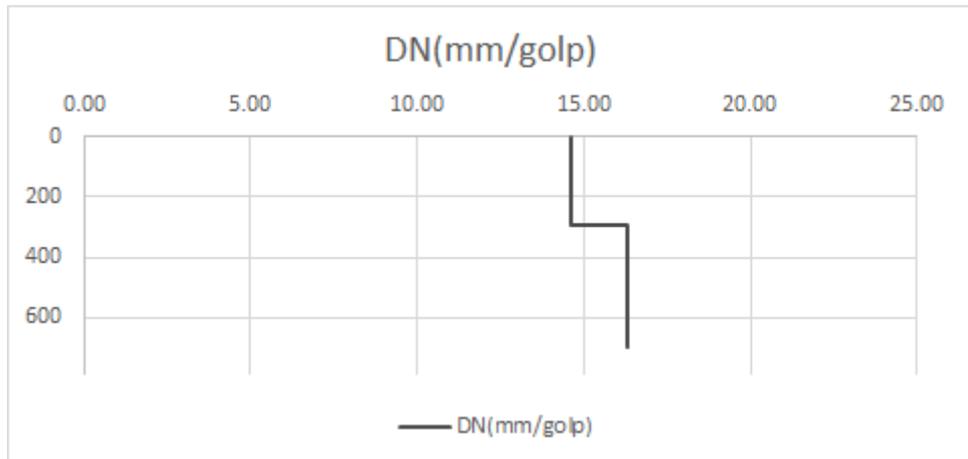


Figura 42 – Diagrama estructural DN vs Profundidad Calicata 05 – Ensayo 02

Fuente: Propia

Se puede observar en la figura 42, que el suelo está subdividido en 2 estratos, siendo el segundo de ellos, que oscila entre 30 y 70cm de profundidad, el de mayor valor DN.

f) CBR in-situ CALICATA 05 ensayo 03:

Tabla 30

Valores de ensayo 03 DCP para Calicata 05

DCP 03 - ZONA CERCANA A CALICATA 05						
# Golpe	Lectura (m)	Profundidad (m)	Profun. Acum. (m)	Profun. Acum. (mm)	DN(mm/golpe)	CBR ASTM-D 6951
0	1.030	0.000	0.000	0	13.90	15.32
5	0.950	0.080	0.080	80	13.90	15.32
10	0.873	0.077	0.157	157	13.90	15.32
15	0.824	0.049	0.206	206	13.90	15.32
20	0.752	0.072	0.278	278	13.90	15.32
20	0.752	0.072	0.278	278	18.04	11.44
25	0.664	0.088	0.366	366	18.04	11.44
30	0.579	0.085	0.451	451	18.04	11.44
35	0.503	0.076	0.527	527	18.04	11.44
40	0.424	0.079	0.606	606	18.04	11.44
45	0.301	0.123	0.729	729	18.04	11.44

Fuente: Propia

- D/N estrato 01 (profundidad de estrato analizado en UK DCP): 13.90 mm/golpe

- D/N estrato 02: 18.04 mm/golpe

- CBR según ASTM-D 6951 estrato 01 (profundidad de estrato analizado en UK DCP): 15.32%
- CBR según ASTM-D 6951 estrato 02: 11.44%

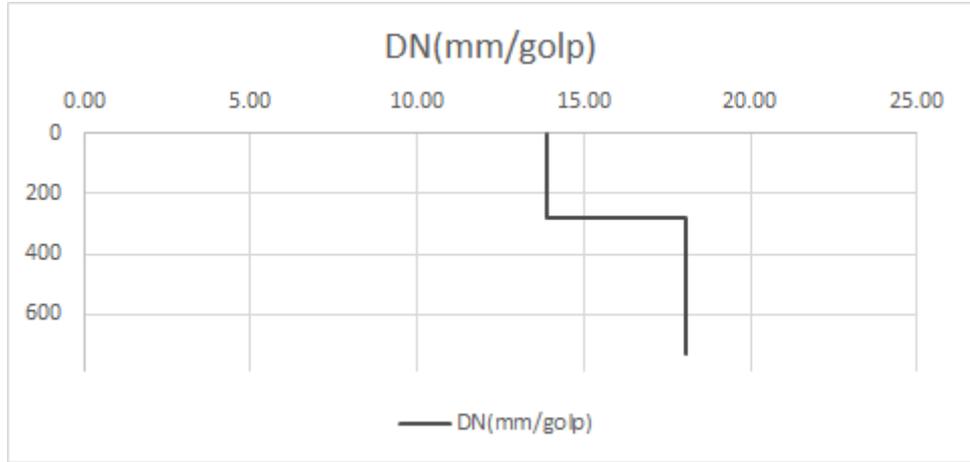


Figura 43 – Diagrama estructural DN vs Profundidad Calicata 05 – Ensayo 03

Fuente: Propia

Se puede observar en la figura 43, que el suelo está subdividido en 2 estratos, siendo el segundo de ellos, que oscila entre 30 y 70cm de profundidad, el de mayor valor DN.

g) CBR in-situ CALICATA 06 ensayo 01:

Tabla 31

Valores de ensayo 01 DCP para Calicata 06

DCP 01 - ZONA CERCANA A CALICATA 06						
# Golpe	Lectura (m)	Profundidad (m)	Profun. Acum. (m)	Profun. Acum. (mm)	DN(mm/golpe)	CBR ASTM-D 6951
0	1.030	0.000	0.000	0	13.00	16.51
5	0.934	0.096	0.096	96	13.00	16.51
10	0.877	0.057	0.153	153	13.00	16.51
15	0.831	0.046	0.199	199	13.00	16.51
20	0.770	0.061	0.260	260	13.00	16.51
20	0.770	0.061	0.260	260	17.25	12.03
25	0.701	0.069	0.329	329	17.25	12.03
30	0.622	0.079	0.408	408	17.25	12.03
35	0.530	0.092	0.500	500	17.25	12.03
40	0.425	0.105	0.605	605	17.25	12.03

Fuente: Propia

- D/N estrato 01 (profundidad de estrato analizado en UK DCP): 13.00 mm/golp
- D/N estrato 02: 17.25 mm/golp
- CBR según ASTM-D 6951 estrato 01 (profundidad de estrato analizado en UK DCP): 16.51%
- CBR según ASTM-D 6951 estrato 02: 12.03%

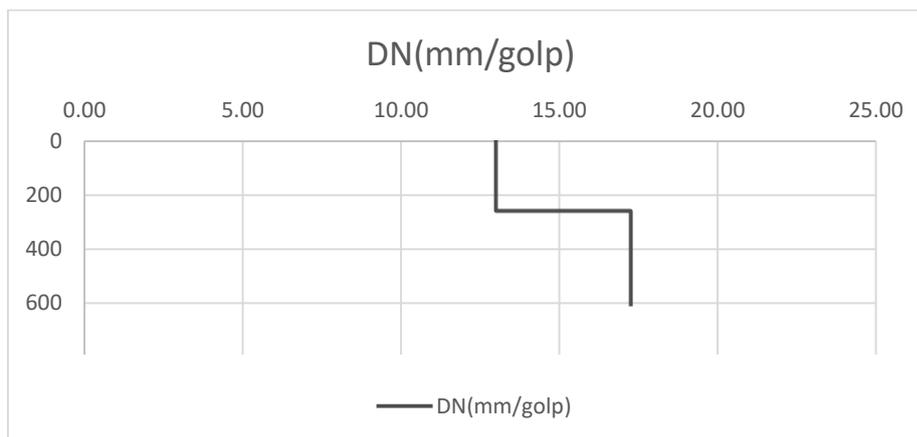


Figura 44 – Diagrama estructural DN vs Profundidad Calicata 06 – Ensayo 01

Fuente: Propia

Se puede observar en la figura 44, que el suelo está subdividido en 2 estratos, siendo el segundo de ellos, que oscila entre 30 y 70cm de profundidad, el de mayor valor DN.

h) CBR in-situ CALICATA 06 ensayo 02:

Tabla 32

Valores de ensayo 02 DCP para Calicata 06

DCP 02 - ZONA CERCANA A CALICATA 06						
# Golpe	Lectura (m)	Profundidad (m)	Profun. Acum. (m)	Profun. Acum. (mm)	DN(mm/golp)	CBR ASTM-D 6951
0	1.030	0.000	0.000	0	14.00	15.20
5	0.931	0.099	0.099	99	14.00	15.20
10	0.857	0.074	0.173	173	14.00	15.20
15	0.795	0.062	0.235	235	14.00	15.20
20	0.750	0.045	0.280	280	14.00	15.20
20	0.750	0.045	0.280	280	16.12	12.98
25	0.656	0.094	0.374	374	16.12	12.98
30	0.578	0.078	0.452	452	16.12	12.98
35	0.508	0.070	0.522	522	16.12	12.98
40	0.437	0.071	0.593	593	16.12	12.98
45	0.347	0.090	0.683	683	16.12	12.98

Fuente: Propia

- D/N estrato 01 (profundidad de estrato analizado en UK DCP): 14.00 mm/golp
- D/N estrato 02: 16.12 mm/golp
- CBR según ASTM-D 6951 estrato 01 (profundidad de estrato analizado en UK DCP): 15.20%
- CBR según ASTM-D 6951 estrato 02: 12.98%

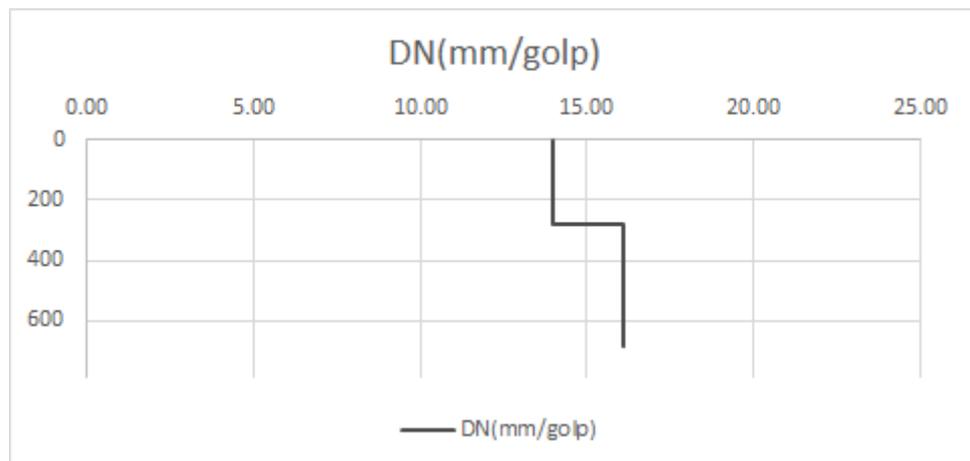


Figura 45 – Diagrama estructural DN vs Profundidad Calicata 06 – Ensayo 02

Fuente: Propia

Se puede observar en la figura 45, que el suelo está subdividido en 2 estratos, siendo el segundo de ellos, que oscila entre 30 y 70cm de profundidad, el de mayor valor DN.

i) CBR in-situ CALICATA 06 ensayo 03:

Tabla 33

Valores de ensayo 03 DCP para Calicata 06

DCP 03 - ZONA CERCANA A CALICATA 06						
# Golpe	Lectura (m)	Profundidad (m)	Profun. Acum. (m)	Profun. Acum. (mm)	DN(mm/golp)	CBR ASTM-D 6951
0	1.030	0.000	0.000	0	12.50	17.25
5	0.949	0.081	0.081	81	12.50	17.25
10	0.880	0.069	0.150	150	12.50	17.25
15	0.825	0.055	0.205	205	12.50	17.25
20	0.780	0.045	0.250	250	12.50	17.25
20	0.780	0.045	0.250	250	14.80	14.28
25	0.727	0.053	0.303	303	14.80	14.28
30	0.679	0.048	0.351	351	14.80	14.28
35	0.602	0.077	0.428	428	14.80	14.28
40	0.509	0.093	0.521	521	14.80	14.28
45	0.410	0.099	0.620	620	14.80	14.28

Fuente: Propia

- D/N estrato 01 (profundidad de estrato analizado en UK DCP): 12.50 mm/golp
- D/N estrato 02: 14.80 mm/golp
- CBR según ASTM-D 6951 estrato 01 (profundidad de estrato analizado en UK DCP): 17.25%
- CBR según ASTM-D 6951 estrato 02: 14.28%

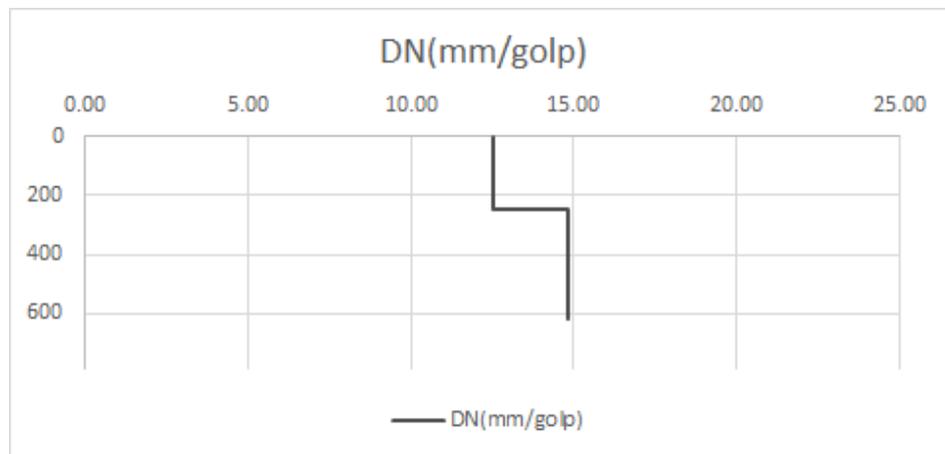


Figura 46 – Diagrama estructural DN vs Profundidad Calicata 05 – Ensayo 03

Fuente: Propia

Se puede observar en la figura 46, que el suelo está subdividido en 2 estratos, siendo el segundo de ellos, que oscila entre 30 y 70cm de profundidad, el de mayor valor DN.

6.1.7 CBR según software UK DCP

Para todos los puntos ingresados la data se considera que la condición estado de Sub-rasante se encuentra en estado seco según lo percibido en campo al momento de los ensayos. Se puede observar en la figura 47 la selección del estado como “dry” (seco).

Test details: Test 1

Site details

Test number: 1 Chainage (km): 0.000

Location: Carriageway Lane number:

Offset (m): 0.00 Direction: Calicata 04

Zero error (mm): 0 Test date: 29/07/2022

Remarks:

Upper layers

Layers removed: None One Two

Layer	Type	Surface Moisture	Thickness (mm)	Condition	Strength coeff.
Surface	Unpaved	Dry			

Help Edit Penetration Data Close

Figura 47 – Estado de capa ingresado en UK DCP

Fuente: Propia

Posterior a ingresar la data se procede a solicitar el cálculo del CBR al software.

En el margen derecho inferior de la figura 48 se aprecia los CBR obtenidos por cada grupo de ensayo para la Calicata 01, en este caso son 3 ensayos cada uno representado por una barra naranja.

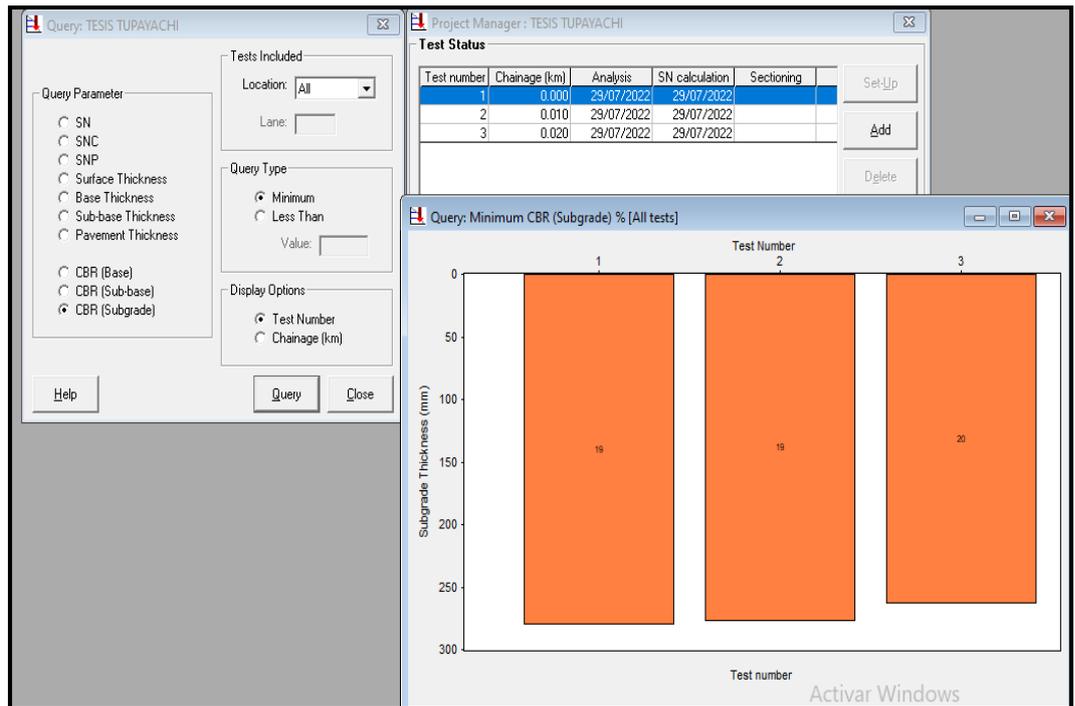


Figura 48 – Valores CBR para Calicata 04 según UK DCP

Fuente: Propia

Según el software los CBR son los siguientes:

- a) Estrato 01 - Ensayo 01 en Calicata 04: 19.0%
- b) Estrato 01 - Ensayo 02 en Calicata 04: 19.0%
- c) Estrato 01 - Ensayo 03 en Calicata 04: 20.0%

En el margen derecho inferior de la figura 49 se aprecia los CBR obtenidos por cada grupo de ensayo para la Calicata 02, en este caso son 3 ensayos cada uno representado por una barra naranja.

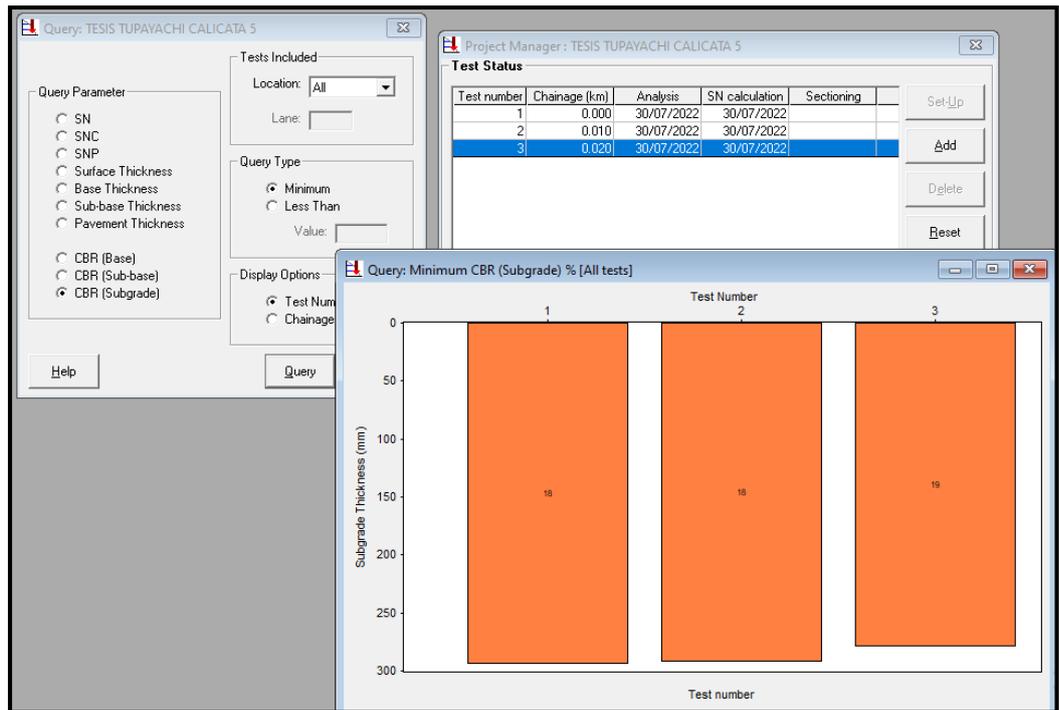


Figura 49 – Valores CBR para Calicata 05 según UK DCP

Fuente: Propia

Según el software los CBR son los siguientes:

- Estrato 01 - Ensayo 01 en Calicata 05: 18.0%
- Estrato 01 - Ensayo 02 en Calicata 05: 18.0%
- Estrato 01 - Ensayo 03 en Calicata 05: 19.0%

En el margen derecho inferior de la figura 50 se aprecia los CBR obtenidos por cada grupo de ensayo para la Calicata 03, en este caso son 3 ensayos cada uno representado por una barra naranja.

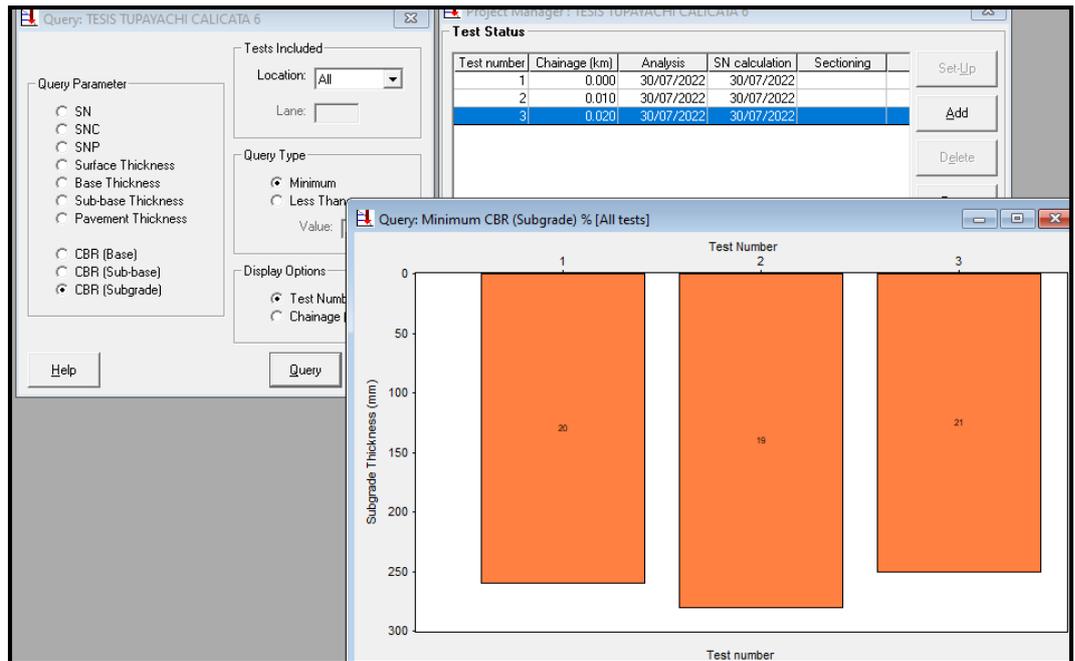


Figura 50 – Valores CBR para Calicata 06 según UK DCP

Fuente: Propia

Según el software los CBR son los siguientes:

- a) Estrato 01 - Ensayo 01 en Calicata 06: 20.0%
- b) Estrato 01 - Ensayo 02 en Calicata 06: 19.0%
- c) Estrato 01 - Ensayo 03 en Calicata 06: 21.0%

6.2 Discusión de resultados

Como se comentó en los antecedentes, para efectos de realización del ensayo CBR en laboratorio se usó el método CBR para humedad óptima, la cual 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, 56 golpes por capa.

Tabla 34

Comparación de resultados de ensayos CBR

CALICATA N°	CLASIFICACIÓN		HUMEDAD NATURAL (%)	CBR LAB (100% MDS)	ENSAYO N°	PDC IN SITU	PDC IN SITU Promedio	CBR	CBR Promedio	% DE DIFER.
	SUCS	AASHTO				(mm/golp)	(mm/golp)	ASTM D 6951	ASTM D 6951	
CALICATA 1	SP-SM	A-3(0)	2.00	15.7	ENSAYO 1	15.96	14.21	13.12	15.11	-16%
					ENSAYO 2	14.00		15.20		-3%
					ENSAYO 3	12.67		17.00		8%
CALICATA 2	SP	A-3(0)	2.70	16.1	ENSAYO 1	14.40	13.89	14.72	15.38	-9%
					ENSAYO 2	14.44		14.68		-9%
					ENSAYO 3	12.83		16.75		4%
CALICATA 3	SP	A-3(0)	2.40	14.7	ENSAYO 1	14.10	14.32	15.08	14.91	3%
					ENSAYO 2	15.70		13.37		-9%
					ENSAYO 3	13.16		16.29		11%

Fuente: Propia

El porcentaje de error según los resultados es inferior al 16 % por lo que la efectividad del ensayo es confiable para el tipo de suelo (SP y SP-SM) que se analizó durante la investigación. Se puede decir que el % de error se debe a factores como el transporte de la muestra y el estado real natural in-situ de las muestra.

La varianza y la desviación estándar entre ensayos cercanos a la misma calicata son de:

Tabla 35

Análisis de Varianza de Resultados del DCP de Campo (Calicatas 01, 02 y 03)

ENSAYOS DE CALICATA N°	VARIANZA	DESV. STAND.
CALICATA 1	3.763	1.940
CALICATA 2	1.402	1.184
CALICATA 3	2.154	1.468

Fuente: Propia

Por lo que se considera que se debe tener un margen de ± 3.76 en los valores que arroja el ensayo.

Según la investigación de Llanos y Reyes (Perú, 2017) obtuvieron resultados con un porcentaje de error de (1% - 26.07%), por lo que podemos decir que la tendencia de la varianza y desviación estándar se mantiene también en la aplicación de suelos limosos y arcillosos (según la clasificación de suelos de sus ensayos)

Además se determina una fórmula de correlación entre DCP y CBR de Laboratorio para ambos tipos de suelos obtenidos.

Para los suelos SP-SM y SP, se obtuvo:

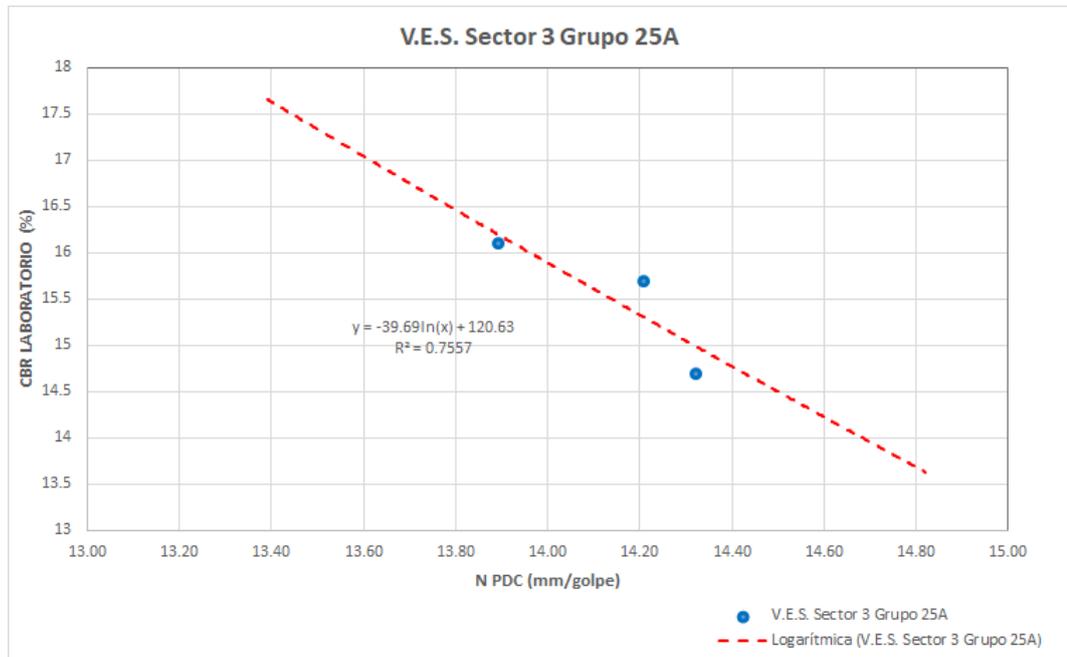


Figura 51 – Diagrama CBR Laboratorio vs N PDC

Fuente: Propia

La ecuación de correlación experimental para el suelo Arena mal gradada con limo (SP-SM) y Arenal mal gradada (SP) de Villa El Salvador Sector 3 Grupo 25A es $CBR LAB = -36.69 \ln(N PDC) + 120.63$, como dato adicional se obtiene $R^2 = 0.7557$ como coeficiente de correlación; esta función logarítmica es aplicable en los suelos de Villa El Salvador Sector 3 Grupo 25A.

Analizando, nuevamente, la investigación de Llanos y Reyes (Perú, 2017) obtuvieron ecuaciones de correlación experimentales que no satisfacen en todas las gráficas la relación inversamente proporcional del N PDC y el valor CBR. Por lo que se limitaron a presentar la ecuación correlacional entre los valores hallados en su investigación.

A continuación se presentan los gráficos de Llanos y Reyes (Perú, 2017):

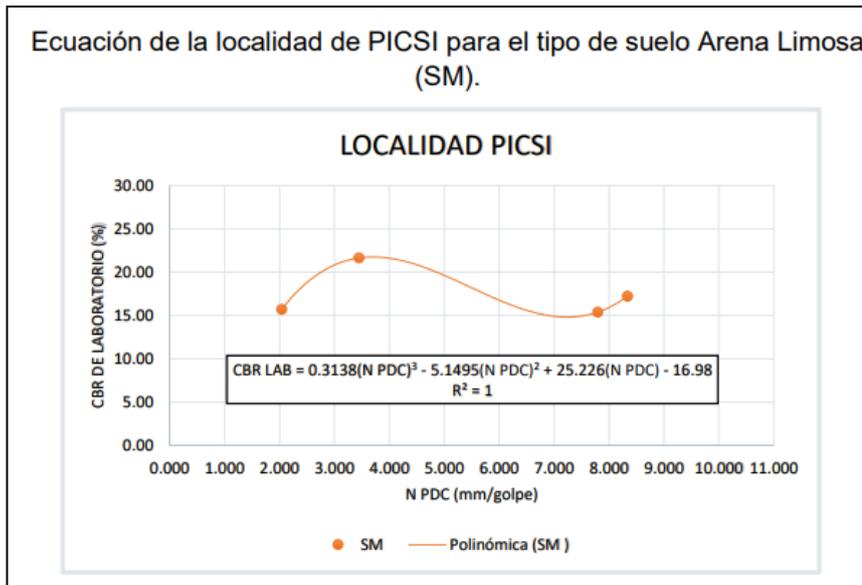


Figura 52 – Diagrama CBR Laboratorio vs N PDC Pícsi para SM
Fuente: Llanos y Reyes (2017)

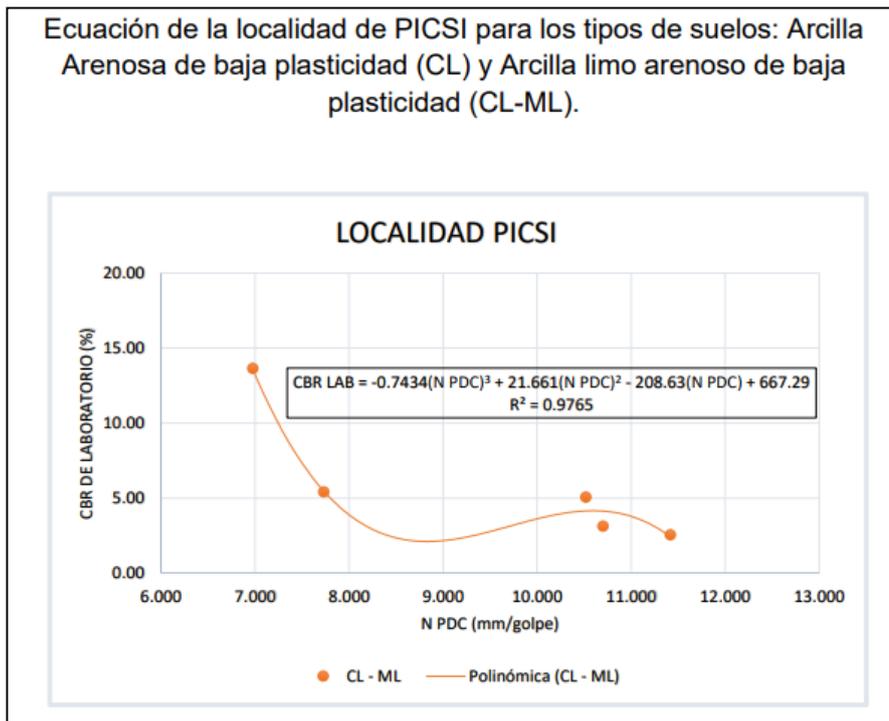


Figura 53 – Diagrama CBR Laboratorio vs N PDC Pícsi para CL y CL-ML
Fuente: Llanos y Reyes (2017)

Por lo que se puede deducir de esta investigación y de investigaciones pasadas, que los valores CBR obtenidos mediante fórmula de correlación planteada en el ASTM-

D 6951 deben ser considerados como una buena referencia, mas no como una formula predictiva de suelos aún no ensayados en laboratorio.

Adicionalmente, del uso del software UK DCP, se realiza un comparativo con los resultados obtenidos por método del DCP:

Tabla 36

Comparación de resultados de ensayos CBR en campo y CBR según software UK DCP

CALICATA N°	CBR UK DCP	ENSAYO N°	PDC IN SITU	CBR	% DE DIFER.
			(mm/golp)	ASTM D 6951	
CALICATA 4	19	ENSAYO 1	13.95	15.26	-20%
	19	ENSAYO 2	13.85	15.38	-19%
	20	ENSAYO 3	13.15	16.30	-19%
CALICATA 5	18	ENSAYO 1	14.65	14.44	-20%
	18	ENSAYO 2	14.60	14.50	-19%
	19	ENSAYO 3	13.90	15.32	-19%
CALICATA 6	20	ENSAYO 1	13.00	16.51	-17%
	19	ENSAYO 2	14.00	15.20	-20%
	21	ENSAYO 3	12.50	17.25	-18%

Fuente: Propia

El porcentaje de error según los resultados es inferior al 20% por lo que la efectividad del ensayo es confiable para el tipo de suelo (SP y SP-SM) que se analizó durante la investigación. Se puede decir que el % de error se debe a fórmulas diversas usadas por el software, las cuales no necesariamente son las del ASTM D-6951

Además se determina una fórmula de correlación entre DCP y CBR según software UK DCP para ambos tipos de suelos obtenidos.

Para los suelos SP-SM y SP, se obtuvo:

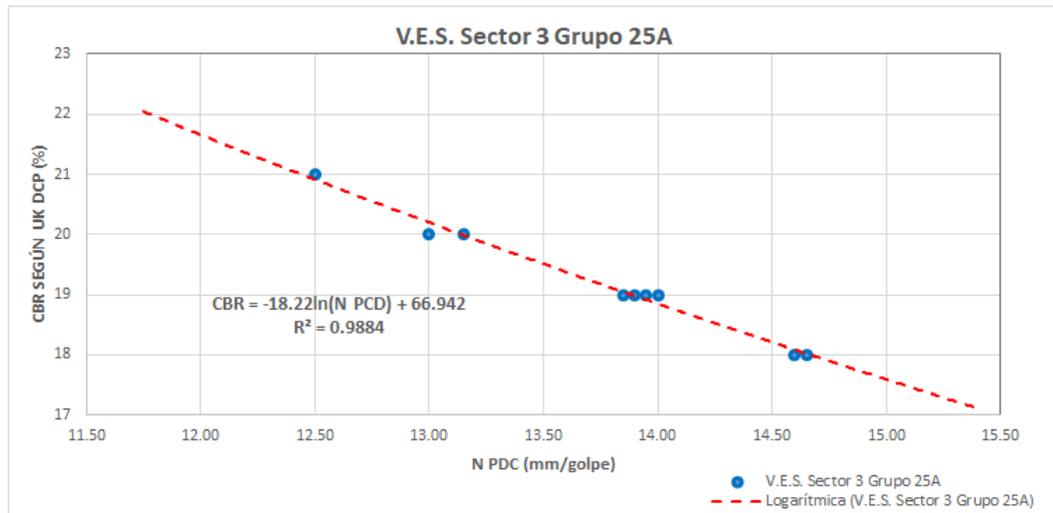


Figura 54 – Diagrama CBR Laboratorio vs N PDC

Fuente: Propia

La ecuación de correlación experimental para el suelo Arena mal gradada con limo (SP-SM) y Arenal mal gradada (SP) de Villa El Salvador Sector 3 Grupo 25A es $CBR_{LAB} = -18.22\ln(N PDC) + 66.942$, con un coeficiente de correlación $R^2 = 0.9884$; esta ecuación logarítmica es aplicable para suelos con las características mencionadas en esta investigación.

Referente a la primera hipótesis planteada podemos decir que conocer el estado del arte de la aplicación de la norma ASTM D-6951 del método de campo del CBR aplicando el penetrómetro de Cono Dinámico (DCP) permite el diseño de pavimentos considerando los valores CBR obtenidos por el ensayo in-situ siempre y cuando se conozcan los alcances, limitaciones y posibles variaciones con los resultados obtenidos por el CBR en laboratorio y poder tomar los factores de seguridad necesarios al momento del diseño. Además, la ventaja del ensayo in-situ según ASTM D-6951 es que el resultado es influenciado por el estado de humedad actual del suelo ensayado, ya que no está sometido a procesos de secado, compactación, entre otros; los cuales se realizan en el laboratorio.

Respecto a la segunda hipótesis planteada, según la figura 51 se puede decir que el CBR obtenido con el método de campo del DCP nos proporciona un valor CBR que permite el diseño de pavimentos en los suelos del sector 3 Grupo 25A de Villa el Salvador, debido a que los resultados in-situ comparados con los valores de laboratorio son directamente proporcionales por lo cual no hay incongruencia con la tendencia de resultados obtenidos.

Finalmente, respecto a la tercera hipótesis, el CBR aplicando el método de laboratorio según la norma peruana del MTC nos proporciona un valor similar al método del DCP para el diseño de pavimentos en los suelos del sector 3 Grupo 25A de Villa el Salvador con un margen de error de 16% según los resultados obtenidos en la Tabla 34.

CONCLUSIONES

1. Finalmente en esta investigación se correlaciona los valores del ensayo DCP para hallar valores de California Bearing Ratio (de laboratorio) mediante la fórmula que brinda el ASTM D 6951. Se deduce que los valores CBR obtenidos mediante fórmula de correlación planteada en el ASTM-D 6951 deben ser considerados como una buena referencia, mas no como una formula predictiva de suelos aún no ensayados, ya que como se aprecia en esta investiga se obtienen resultados aceptables, pero no exactos, que rodean el 20% de error.
2. Con el estado del arte actual, se pudo demostrar que el Penetrómetro Dinámico de Cono es una herramienta versátil, el cual es más versátil y económica que los ensayos en laboratorio.
3. El CBR promedio según ensayos en in-situ de los suelos del Grupo 25A Sector 02 de Villa El Salvador es de 14.95%.
4. El CBR promedio según ensayos en laboratorio de los suelos del Grupo 25A Sector 02 de Villa El Salvador es de 15.50%. (al 100% de la Máxima Densidad Seca)
5. Los suelos estudiados del Grupo 25A Sector 02 de Villa El Salvador y se clasificaron por SUCS y AASTHO, obteniendo los siguientes resultados: la calicata 01 según AASHTO es A-3(0) y según SUCS es SP-SM, la calicata 02 según AASHTO es A-3(0) y según SUCS es SP, La calicata 03 según AASHTO es A-3(0) y según SUCS es SP.
6. La ecuación de correlación experimental, según la presente investigación, para el suelo Arena mal gradada con limo (SP-SM) y Arenal mal gradada (SP) de Villa El Salvador Sector 3 Grupo 25A es $CBR_{LAB} = -36.69 \ln(N_{PDC}) + 120.63$, como dato adicional se obtuvo $R^2 = 0.7557$ de coeficiente de correlación; aplicable a los suelos de Villa El Salvador Sector 3 Grupo 25A.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda utilizar las ecuaciones de correlación del ASTM D 6951 de manera referencial para el cálculo de CBR de los siguientes suelos del Grupo 25A Sector 02 de Villa El Salvador: Arena limosa (SP) y (SP-SM). Con una humedad comprendida entre (1.5 - 3) % y con un rango de N PDC del (10 - 20) mm/golpe.
2. Se recomienda el uso del software UK DCP para facilitar los cálculos del CBR según la data obtenida del ensayo DCP. Cabe resaltar que los resultados del UK DCP siempre fueron mayores que los obtenidos con la fórmula del ASTM D-6951, por lo que es recomendable reducir estos valores con un factor de seguridad a criterio.
3. Se recomienda difundir el uso del ensayo DCP para abaratar estudios de factibilidad de proyectos de inversión y obtener mayor data con un aceptable rango de confiabilidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO T 193-13. (2017). *Standard Method of Test for The California Bearing Ratio*.
- Arquie, G. (1978). *Compactación en carreteras y aeropuertos*. Barcelona: Editores Técnicos Asociados, S.A.
- ASTM D1883-16. (2016). *Standard Test Method for California Bearing Ratio (CBR) of Laboratory-Compacted Soils*. Pensilvania.
- Burgos Sarmiento, T. (2015). *Informe suelos de fundación y subrasante*. Trujillo.
- AST INTERNATIONAL. (4 de Febrero de 2019). *Método de prueba estándar para la resistencia a la degradación de agregado grueso de tamaño pequeño por abrasión e impacto en la máquina de Los Ángeles*. Obtenido de <https://www.astm.org/Standards/C131.htm>
- Bermúdez, J., & Vásquez, O. (2016). *Validación del método de DCP aplicado en campo en relación al ensayo CBR en laboratorio*. San José, Costa Rica.
- Contreras, J., & Garcia, A. (2019). *Correlación del penetrómetro dinámico de cono (P.D.C.-) con ensayo de Relación de Soporte de California (C.B.R.) para suelos en la localidad de Engativá de la ciudad de Bogotá, utilizando la norma del Instituto Nacional de Vías*. Bogotá D.C.: Universidad Católica de Colombia.
- GeotechTips. (15 de Diciembre de 2018). *Estudio Geotécnico. ¿Qué es el CBR?* Obtenido de <https://www.geotechtips.com/post/que-es-el-cbr>
- Injant, H. (2012). *Resistencia insitu de subrasante utilizando penetrómetro dinámico de cono en la ciudad de Ica*. Lima: Tesis de maestría: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Instituto Colombiano De Productores De Cemento. (2015). *Diseño, Construcción y Mantenimiento de Pavimentos de Concreto*. Bogotá.
- León Calderón, J. (2017). *determinación de la correlación entre los índices dcp in situ y CBR de laboratorio*. Cuenca: Universidad de Cuenca.

- Llanos, R., & Reyes, S. (2017). *Estudio comparativo de los ensayos californiana Bearing Ratio (CBR) de laboratorio y penetración dinámica de cono (PDC) en la localidad de Picsi*. Chiclayo - Pimentel: Universidad Señor de Sipán.
- Manotoa, A. (2016). *Estudio de la correlación entre los ensayos (DCP) penetrómetro dinámico de cono y (CBR) relación de soporte de californiana en los diferentes tipos de suelos*. Ambato - Ecuador: Universidad Técnica de Ambato.
- Montejo, A. (2012). *Ingeniería de Pavimentos para carreteras*. Santafé de Bogotá, D. C: Universidad Católica de Colombia.
- Ramírez, R. (2017). *Propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos*. Santafé de Bogotá: Convenio FENALCE.
- Riofrio, L. (2015). *Caracterización de los materiales de subrasante en zonas no urbanizadas de la ciudad de Loja, aplicadas a obras de infraestructura vial en el polígono denominado "Borja"*. Loja - Ecuador: Tesis de Pregrado). Universidad Técnica Particular de Loja.
- Robles, R. (2015). *Calculo del índice de condición del pavimento (PCI) Barranco - Surco - Lima*. Surco - Lima: Tesis de pregrado: .
- Sanchez-Leal, F. (2012). *¿Qué es el CBR?*. Obtenido de <https://blogramcodes.blogspot.com/2012/08/que-es-el-cbr.html>
- Sitecal.com. (14 de Enero de 2021). *Método para determinar el equivalente de arena (ASTM D-2419 AASHTO T176-00)*. Obtenido de <http://www.sitecal.com.bo/files/6.%20METODO%20PARA%20DETERMINAR%20EL%20EQUIVALENTE%20DE%20ARENA.pdf>
- Tupia, C. (2001). *Determinación de las características de soporte de un terreno de cimentación de un pavimento por medio de un equipo dinámico*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Viscarra, F. (2006). *El cono dinámico de penetración y su aplicación en la evaluación de suelos*. Bolivia.

Yepes, V. (7 de Febrero de 2014). *Ensayo de placa de carga*. Obtenido de <https://victoryepes.blogs.upv.es/2014/02/07/ensayo-de-placa-de-carga/>

ANEXOS

Anexo 1: Ensayo de Contenido de Humedad



CONTENIDO DE HUMEDAD (NORMA ASTM 2216)

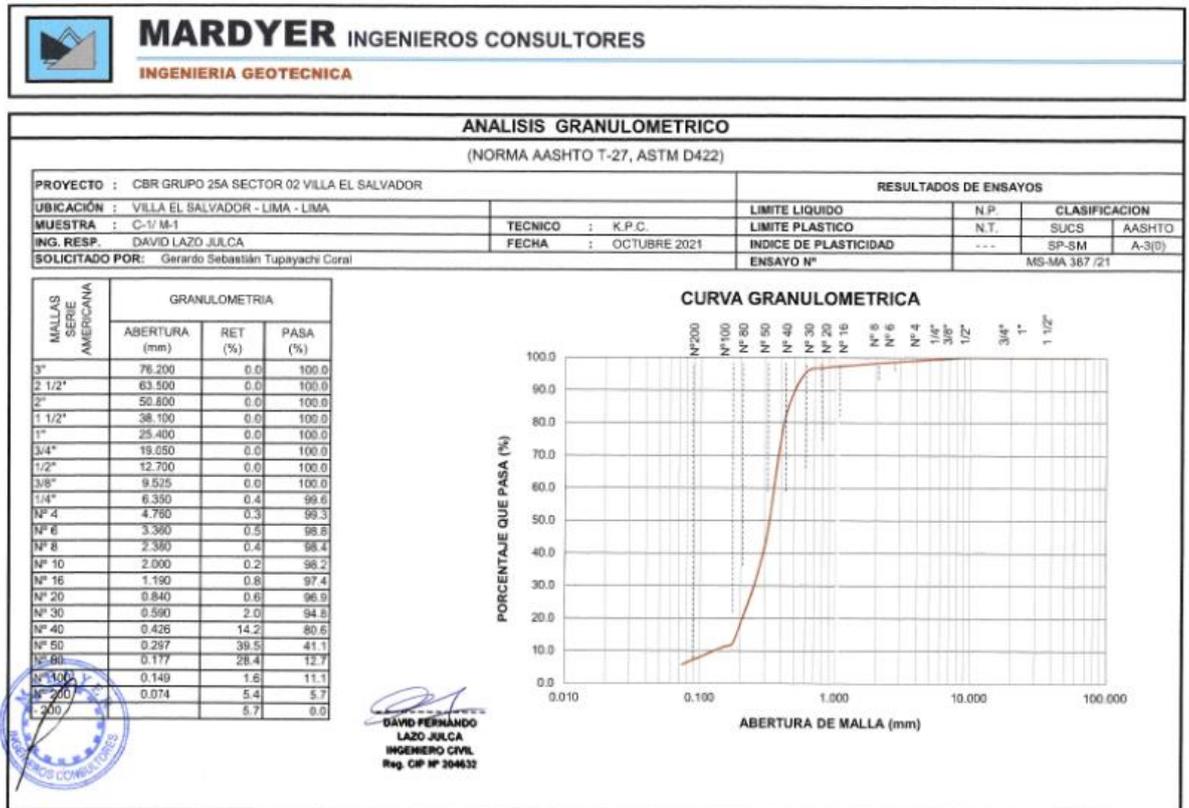
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS			
PROYECTO	: CBR GRUPO 25A SECTOR 02 VILLA EL SALVADOR		
SOLICITADO	: Gerardo Sebastián Tupayachi Cond		
MATERIAL	: SUELO NATURAL	FECHA	: OCTUBRE 2021
UBICACIÓN	: VILLA EL SALVADOR - UMA - LIMA	ING. RESPONSABLE	: David Lazo Julca

MUESTRAS						
CALICATA N°		C-01	C-02	C-03		
MUESTRA N°		M-1	M-1	M-1		
N° TARRO		2	17	26		
PESO TARRO + SUELO HUMEDO (g)		128.49	126.74	83.14		
PESO TARRO + SUELO SECO (g)		126.39	123.02	81.45		
PESO DE AGUA (g)		2.10	2.72	1.69		
PESO DEL TARRO (g)		21.69	20.65	22.04		
PESO DEL SUELO SECO (g)		104.70	102.37	59.41		
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)		2.0	2.7	2.4		




 DAVID FERNANDO
 LAZO JULCA
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP N° 204632

Anexo 2: Análisis Granulométrico





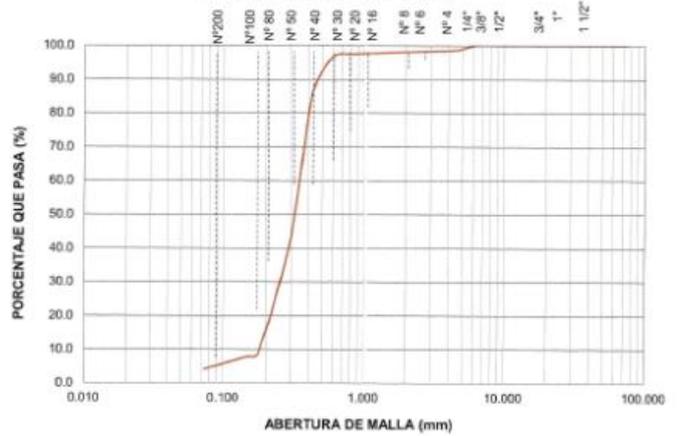
ANALISIS GRANULOMETRICO

(NORMA AASHTO T-27, ASTM D422)

PROYECTO : CBR GRUPO 25A SECTOR 02 VILLA EL SALVADOR		RESULTADOS DE ENSAYOS		
UBICACION : VILLA EL SALVADOR - LIMA - LIMA	TECNICO : K.P.C.	LIMITE LIQUIDO	N.P.	CLASIFICACION
MUESTRA : C-2/ M-1	FECHA : OCTUBRE 2021	LIMITE PLASTICO	N.T.	SUCS AASHTO
ING. RESP.: DAVID LAZO JULCA		INDICE DE PLASTICIDAD	---	SP A-3(0)
SOLICITADO POR: Gerardo Sebastián Tupayachi Coral		ENSAYO N°		MS-MA 388 /21

MALLAS SERIE AMERICANA	GRANULOMETRIA		
	ABERTURA (mm)	RET (%)	PASA (%)
3"	76.200	0.0	100.0
2 1/2"	63.500	0.0	100.0
2"	50.800	0.0	100.0
1 1/2"	38.100	0.0	100.0
1"	25.400	0.0	100.0
3/4"	19.050	0.0	100.0
1/2"	12.700	0.0	100.0
3/8"	9.525	0.0	100.0
1/4"	6.350	0.0	100.0
N° 4	4.750	1.3	98.7
N° 6	3.350	0.3	99.4
N° 8	2.360	0.2	99.1
N° 10	2.000	0.1	99.0
N° 16	1.180	0.3	97.7
N° 20	0.840	0.3	97.4
N° 30	0.590	1.1	96.3
N° 40	0.425	11.0	85.4
N° 50	0.297	43.3	42.1
N° 60	0.177	33.4	8.7
N° 100	0.149	0.9	7.8
N° 200	0.074	3.7	4.0
-200		4.0	0.0

CURVA GRANULOMETRICA



DAVID FERRNANDO
LAZO JULCA
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 204632



ANALISIS GRANULOMETRICO

(NORMA AASHTO T-27, ASTM D422)

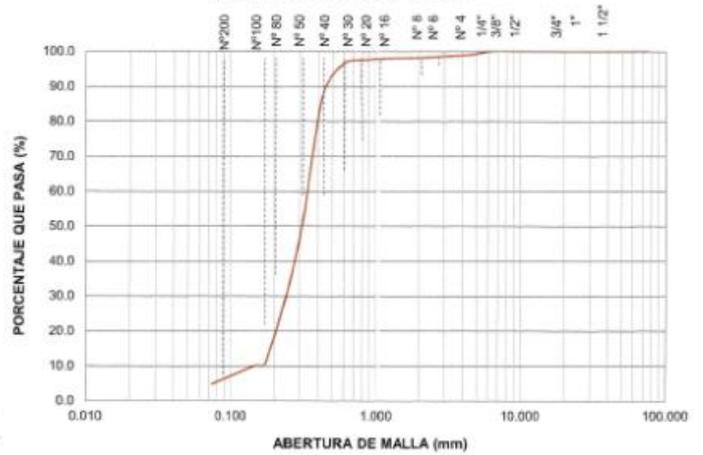
PROYECTO : CBR GRUPO 25A SECTOR 02 VILLA EL SALVADOR		RESULTADOS DE ENSAYOS		
UBICACIÓN : VILLA EL SALVADOR - LIMA - LIMA		LIMITE LIQUIDO	N.P.	CLASIFICACION
MUESTRA : C-3/ M-1	TECNICO : K.P.C.	LIMITE PLASTICO	N.T.	SUCS AASHTO
ING. RESP. DAVID LAZO JULCA	FECHA : OCTUBRE 2021	INDICE DE PLASTICIDAD	- - -	SP A-3(0)
SOLICITADO POR: Gerardo Sebastián Tupayachi Coral		ENSAYO N°	MS-MA 389 /21	

MALLAS SERIE AMERICANA	GRANULOMETRIA		
	ABERTURA (mm)	RET (%)	PASA (%)
3"	76.200	0.0	100.0
2 1/2"	63.500	0.0	100.0
2"	50.800	0.0	100.0
1 1/2"	38.100	0.0	100.0
1"	25.400	0.0	100.0
3/4"	19.050	0.0	100.0
1/2"	12.700	0.0	100.0
3/8"	9.525	0.0	100.0
1/4"	6.350	0.0	100.0
N° 4	4.750	0.9	99.1
N° 6	3.350	0.5	99.6
N° 8	2.380	0.4	99.3
N° 10	2.000	0.2	99.1
N° 16	1.190	0.2	97.9
N° 20	0.840	0.4	97.5
N° 30	0.590	1.3	98.2
N° 40	0.425	9.3	86.9
N° 50	0.297	41.9	45.1
N° 80	0.177	34.4	10.7
N° 100	0.149	0.7	10.0
N° 200	0.074	5.2	4.7
-200		4.7	0.0

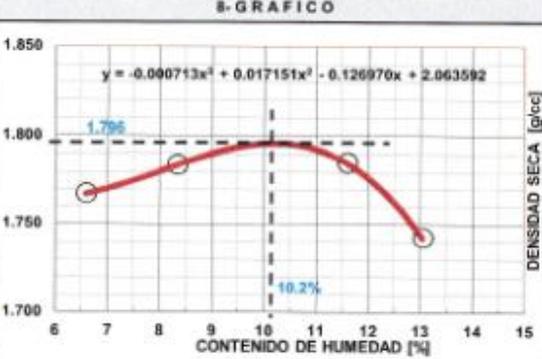


DAVID FERNANDO
LAZO JULCA
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 204632

CURVA GRANULOMETRICA



Anexo 3: Ensayo Próctor Modificado

 MARDYER EIRL INGENIEROS GEOTÉCNICA	FORMATO ENSAYO PRÓCTOR MODIFICADO ASTM D1557	REGISTRO: PRO-88-21 FECHA: OCTUBRE 2021																																																						
	PROYECTO: CBR GRUPO 25A SECTOR 02 VILLA EL SALVADOR UBICACIÓN: VILLA EL SALVADOR - LIMA - LIMA SOLICITADO: Gerardo Sebastián Tupayachi Coral																																																							
1.- MUESTRA UBICACIÓN: CALICATA C-1, MUESTRA M-1 MATERIAL: TERRENO NATURAL		2.- PERSONAL OPERADOR: R.M.C. ASISTENTE: K.P.CH.																																																						
3- DATOS PARA EL ENSAYO Método de compactación : "C" Número de golpes 56 Número de capas : 5																																																								
4- DENSIDAD HUMEDA <table border="1"> <thead> <tr> <th>Nº</th> <th>DESCRIPCIÓN</th> <th>UND</th> <th>M1</th> <th>M2</th> <th>M3</th> <th>M4</th> <th>M5</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Peso suelo húmedo + molde</td> <td>g</td> <td>10,439</td> <td>10,542</td> <td>10,666</td> <td>10,620</td> <td></td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Peso del molde</td> <td>g</td> <td>6,443</td> <td>6,443</td> <td>6,443</td> <td>6,443</td> <td></td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Volumen del molde</td> <td>cc</td> <td>2,121</td> <td>2,121</td> <td>2,121</td> <td>2,121</td> <td></td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Peso suelo húmedo, [(1)-(2)]</td> <td>g</td> <td>3,996</td> <td>4,099</td> <td>4,225</td> <td>4,177</td> <td></td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>Densidad suelo húmedo, [(4)/(3)]</td> <td>g/cc</td> <td>1,88</td> <td>1,93</td> <td>1,99</td> <td>1,97</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			Nº	DESCRIPCIÓN	UND	M1	M2	M3	M4	M5	1	Peso suelo húmedo + molde	g	10,439	10,542	10,666	10,620		2	Peso del molde	g	6,443	6,443	6,443	6,443		3	Volumen del molde	cc	2,121	2,121	2,121	2,121		4	Peso suelo húmedo, [(1)-(2)]	g	3,996	4,099	4,225	4,177		5	Densidad suelo húmedo, [(4)/(3)]	g/cc	1,88	1,93	1,99	1,97							
Nº	DESCRIPCIÓN	UND	M1	M2	M3	M4	M5																																																	
1	Peso suelo húmedo + molde	g	10,439	10,542	10,666	10,620																																																		
2	Peso del molde	g	6,443	6,443	6,443	6,443																																																		
3	Volumen del molde	cc	2,121	2,121	2,121	2,121																																																		
4	Peso suelo húmedo, [(1)-(2)]	g	3,996	4,099	4,225	4,177																																																		
5	Densidad suelo húmedo, [(4)/(3)]	g/cc	1,88	1,93	1,99	1,97																																																		
5- HUMEDAD <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th></th> <th>12</th> <th>11</th> <th>7</th> <th>18</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>6</td> <td>Id. Capsula</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>Peso del suelo hum.+ capsula</td> <td>g</td> <td>96,25</td> <td>86,36</td> <td>104,54</td> <td>107,89</td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>Peso del suelo seco+capsula</td> <td>g</td> <td>91,64</td> <td>81,30</td> <td>95,97</td> <td>97,97</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>Peso del agua, [(7)-(8)]</td> <td>g</td> <td>4,61</td> <td>5,06</td> <td>8,57</td> <td>9,92</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>Peso de la capsula</td> <td>g</td> <td>21,70</td> <td>20,65</td> <td>22,08</td> <td>21,92</td> </tr> <tr> <td>11</td> <td>Peso del suelo seco, [(8)-(9)]</td> <td>g</td> <td>69,94</td> <td>60,65</td> <td>73,89</td> <td>76,05</td> </tr> <tr> <td>12</td> <td>Contenido de humedad, [(9)/(11)*100]</td> <td>%</td> <td>6,59</td> <td>8,34</td> <td>11,60</td> <td>13,04</td> </tr> </tbody> </table>					12	11	7	18	6	Id. Capsula					7	Peso del suelo hum.+ capsula	g	96,25	86,36	104,54	107,89	8	Peso del suelo seco+capsula	g	91,64	81,30	95,97	97,97	9	Peso del agua, [(7)-(8)]	g	4,61	5,06	8,57	9,92	10	Peso de la capsula	g	21,70	20,65	22,08	21,92	11	Peso del suelo seco, [(8)-(9)]	g	69,94	60,65	73,89	76,05	12	Contenido de humedad, [(9)/(11)*100]	%	6,59	8,34	11,60	13,04
		12	11	7	18																																																			
6	Id. Capsula																																																							
7	Peso del suelo hum.+ capsula	g	96,25	86,36	104,54	107,89																																																		
8	Peso del suelo seco+capsula	g	91,64	81,30	95,97	97,97																																																		
9	Peso del agua, [(7)-(8)]	g	4,61	5,06	8,57	9,92																																																		
10	Peso de la capsula	g	21,70	20,65	22,08	21,92																																																		
11	Peso del suelo seco, [(8)-(9)]	g	69,94	60,65	73,89	76,05																																																		
12	Contenido de humedad, [(9)/(11)*100]	%	6,59	8,34	11,60	13,04																																																		
6- DENSIDAD SECA Densidad seca, [(5)/(1+(12)/100)] g/cc 1,768 1,784 1,785 1,742																																																								
7- CALCULOS <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">DENSIDAD SECA*</th> </tr> <tr> <th>X¹</th> <th>Y=DS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>X²</td> <td>-0.000 716</td> </tr> <tr> <td>X²</td> <td>0.017 218</td> </tr> <tr> <td>X¹</td> <td>-0.127 546</td> </tr> <tr> <td>X⁰</td> <td>2.065 205</td> </tr> </tbody> </table> <p>(*) Son los coeficientes que da la línea de tendencia (polinomio)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">RESULTADOS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Humedad óptima :</td> <td>10.2%</td> </tr> <tr> <td>Densidad máxima :</td> <td>1.796</td> </tr> <tr> <td>Peso específico de grava :</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		DENSIDAD SECA*		X ¹	Y=DS	X ²	-0.000 716	X ²	0.017 218	X ¹	-0.127 546	X ⁰	2.065 205	RESULTADOS		Humedad óptima :	10.2%	Densidad máxima :	1.796	Peso específico de grava :		8- GRAFICO 																																		
DENSIDAD SECA*																																																								
X ¹	Y=DS																																																							
X ²	-0.000 716																																																							
X ²	0.017 218																																																							
X ¹	-0.127 546																																																							
X ⁰	2.065 205																																																							
RESULTADOS																																																								
Humedad óptima :	10.2%																																																							
Densidad máxima :	1.796																																																							
Peso específico de grava :																																																								



DAVID FERNANDO LAZO JULCA
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP Nº 204632



MARDYER EIRL
INGENIEROS GEOTÉCNICA

FORMATO

ENSAYO PRÓCTOR MODIFICADO
ASTM D1557

REGISTRO: PRO-89-21
FECHA: OCTUBRE 2021

PROYECTO: GRUPO 25A SECTOR 02 VILLA EL SALVADOR
UBICACIÓN: VILLA EL SALVADOR - LIMA - LIMA
SOLICITADO: Gerardo Sebastián Tupayachi Coral

1.- MUESTRA	2.- PERSONAL
UBICACIÓN: CALICATA C-2, MUESTRA M-1	OPERADOR: R.M.C.
MATERIAL: TERRENO NATURAL	ASISTENTE: K.P.CH.

3- DATOS PARA EL ENSAYO		
Método de compactación : "C"	Número de golpes : 56	Número de capas : 5

4- DENSIDAD HUMEDA							
N°	DESCRIPCIÓN	UND	M1	M2	M3	M4	M5
1	Peso suelo húmedo + molde	g	10,492	10,733	10,794	10,730	
2	Peso del molde	g	6,443	6,443	6,443	6,443	
3	Volumen del molde	cc	2,121	2,121	2,121	2,121	
4	Peso suelo húmedo, [1]-[2]	g	4,049	4,290	4,351	4,287	
5	Densidad suelo húmedo, [4]/[3]	g/cc	1.91	2.02	2.05	2.02	

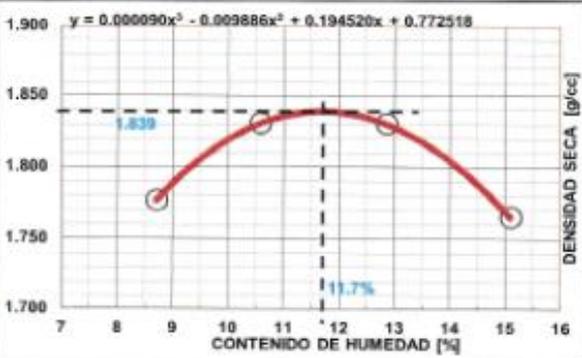
5- HUMEDAD							
6	Id. Capsula		29	6	13	24	
7	Peso del suelo hum.+ capsula	g	103.71	116.11	103.33	130.04	
8	Peso del suelo seco+capsula	g	97.29	107.09	94.14	116.31	
9	Peso del agua, [7]-[8]	g	6.42	9.02	9.19	13.73	
10	Peso de la capsula	g	20.46	22.88	21.23	22.31	
11	Peso del suelo seco, [8]-[9]	g	76.83	84.41	72.91	94.00	
12	Contenido de humedad, [9]*100/[11]	%	8.36	10.69	12.60	14.61	

6- DENSIDAD SECA						
Densidad seca, [5]/(1+[12]/100)	g/cc	1.762	1.827	1.822	1.764	

<p>7- CALCULOS</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <th colspan="2">DENSIDAD SECA*</th> </tr> <tr> <td>X²</td> <td>Y=DS</td> </tr> <tr> <td>X²</td> <td>0.000 163</td> </tr> <tr> <td>X²</td> <td>-0.010 579</td> </tr> <tr> <td>X¹</td> <td>0.201 370</td> </tr> <tr> <td>X⁰</td> <td>0.757 552</td> </tr> </table> <p>(*) Son los coeficientes que da la línea de tendencia (polinomio)</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <th colspan="2">RESULTADOS</th> </tr> <tr> <td>Humedad óptima :</td> <td>11.4%</td> </tr> <tr> <td>Densidad máxima :</td> <td>1.831</td> </tr> <tr> <td>Peso específico de grava :</td> <td></td> </tr> </table>	DENSIDAD SECA*		X ²	Y=DS	X ²	0.000 163	X ²	-0.010 579	X ¹	0.201 370	X ⁰	0.757 552	RESULTADOS		Humedad óptima :	11.4%	Densidad máxima :	1.831	Peso específico de grava :		<p>8- GRAFICO</p> <p style="text-align: center;">$y = 0.000103x^3 - 0.010579x^2 + 0.201370x + 0.757552$</p>
DENSIDAD SECA*																					
X ²	Y=DS																				
X ²	0.000 163																				
X ²	-0.010 579																				
X ¹	0.201 370																				
X ⁰	0.757 552																				
RESULTADOS																					
Humedad óptima :	11.4%																				
Densidad máxima :	1.831																				
Peso específico de grava :																					



DAVID FERNANDO LAZO JULCA
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 204632

 MARDYER EIRL INGENIEROS GEOTÉCNICA	FORMATO ENSAYO PRÓCTOR MODIFICADO ASTM D1557	REGISTRO: PRO-90-21 FECHA: OCTUBRE 2021																									
	PROYECTO: GRUPO 25A SECTOR 82 VILLA EL SALVADOR UBICACIÓN: VILLA EL SALVADOR - LIMA - LIMA SOLICITADO: Gerardo Sebastián Tupayachi Coral																										
1- MUESTRA UBICACIÓN: CALICATA C-3, MUESTRA M-1 MATERIAL: TERRENO NATURAL		2- PERSONAL OPERADOR: R.M.C. ASISTENTE: K.P.CH.																									
3- DATOS PARA EL ENSAYO Método de compactación: "C" Número de golpes: 56 Número de capas: 5																											
4- DENSIDAD HUMEDA																											
N°	DESCRIPCION	UND	M1	M2	M3	M4	M5																				
1	Peso suelo húmedo + molde	g	10,539	10,736	10,824	10,752																					
2	Peso del molde	g	6,443	6,443	6,443	6,443																					
3	Volumen del molde	cc	2,121	2,121	2,121	2,121																					
4	Peso suelo húmedo, [1]-[2]	g	4,096	4,293	4,381	4,309																					
5	Densidad suelo húmedo, [4]/[3]	g/cc	1.93	2.02	2.07	2.03																					
5- HUMEDAD																											
6	Id. Capsula		15	21	4	19																					
7	Peso del suelo hum. + capsula	g	113.83	103.60	127.24	116.63																					
8	Peso del suelo seco+capsula	g	106.38	95.81	115.19	104.21																					
9	Peso del agua, [7]-[8]	g	7.45	7.79	12.05	12.42																					
10	Peso de la capsula	g	20.89	22.19	21.45	21.94																					
11	Peso del suelo seco, [8]-[9]	g	85.49	73.62	93.74	82.27																					
12	Contenido de humedad, [9]*100/[11]	%	8.71	10.58	12.85	15.10																					
6- DENSIDAD SECA																											
Densidad seca, [5]/(1+[12]/100)		g/cc	1.776	1.830	1.830	1.765																					
7- CALCULOS			8- GRAFICO																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">DENSIDAD SECA*</th> </tr> <tr> <th>Xⁿ</th> <th>Y=DS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>X²</td> <td>0.000 090</td> </tr> <tr> <td>X²</td> <td>-0.009 886</td> </tr> <tr> <td>X¹</td> <td>0.194 520</td> </tr> <tr> <td>X⁰</td> <td>0.772 518</td> </tr> </tbody> </table> <p>(*) Son los coeficientes que da la línea de tendencia (polinomio)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">RESULTADOS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Humedad óptima :</td> <td>11.7%</td> </tr> <tr> <td>Densidad máxima :</td> <td>1.830</td> </tr> <tr> <td>Peso específico de grava :</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			DENSIDAD SECA*		X ⁿ	Y=DS	X ²	0.000 090	X ²	-0.009 886	X ¹	0.194 520	X ⁰	0.772 518	RESULTADOS		Humedad óptima :	11.7%	Densidad máxima :	1.830	Peso específico de grava :		 <p>Equation: $y = 0.000090x^2 - 0.009886x + 0.194520x + 0.772518$</p>				
DENSIDAD SECA*																											
X ⁿ	Y=DS																										
X ²	0.000 090																										
X ²	-0.009 886																										
X ¹	0.194 520																										
X ⁰	0.772 518																										
RESULTADOS																											
Humedad óptima :	11.7%																										
Densidad máxima :	1.830																										
Peso específico de grava :																											
			 DAVID FERNANDO LAZO JULCA INGENIERO CIVIL Reg. CIP Nº 204632																								

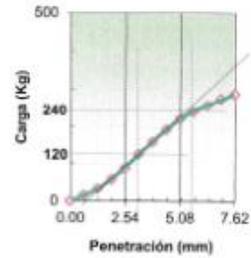
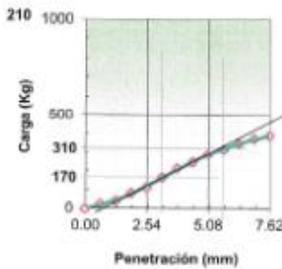
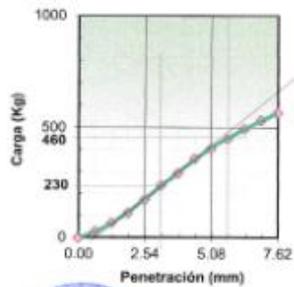
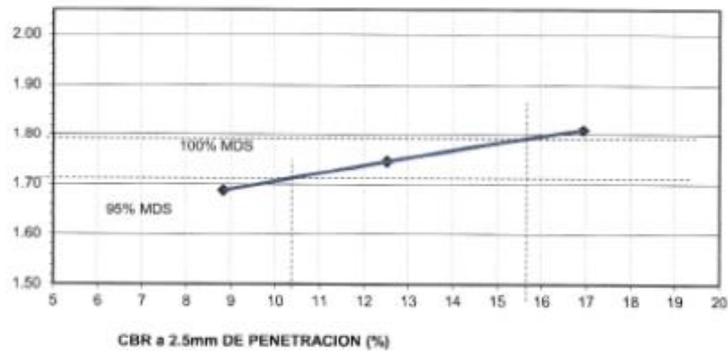
Anexo 4: Relación de Soporte – CBR



MARDYER INGENIEROS CONSULTORES
INGENIERIA GEOTECNICA

RELACION DE SOPORTE - CBR (ASTM D-1883)

<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>OBRA : CBR GRUPO 25A SECTOR 02 VILLA EL SALVADOR</td> </tr> <tr> <td>UBICACIÓN : VILLA EL SALVADOR - LIMA - LIMA</td> </tr> <tr> <td>SOLICITA : Gerardo Sebastián Tupayachi Coral</td> </tr> <tr> <td>MUESTRA : Suelo natural, Arena pobremente graduada ligeramente limosa (SP-SM)</td> </tr> <tr> <td>MUESTRA : Muestra proveída por el solicitante</td> </tr> <tr> <td>ING. RESP: David Lazo Julca</td> </tr> <tr> <td>TÉCNICO : K.P.C.</td> </tr> </table>	OBRA : CBR GRUPO 25A SECTOR 02 VILLA EL SALVADOR	UBICACIÓN : VILLA EL SALVADOR - LIMA - LIMA	SOLICITA : Gerardo Sebastián Tupayachi Coral	MUESTRA : Suelo natural, Arena pobremente graduada ligeramente limosa (SP-SM)	MUESTRA : Muestra proveída por el solicitante	ING. RESP: David Lazo Julca	TÉCNICO : K.P.C.	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>CALICATA</td> <td>M1-C1</td> </tr> <tr> <td>MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm³)</td> <td>1.796</td> </tr> <tr> <td>OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD</td> <td>10.3%</td> </tr> <tr> <td>CBR AL 100% DE LA M.D.S. (%)</td> <td>15.7%</td> </tr> <tr> <td>CBR AL 95% DE LA M.D.S. (%)</td> <td>11.4%</td> </tr> <tr> <td>RET ACUM. 3/4": 0.0%</td> <td>3/8": 0.0%</td> <td>Nº 4: 0.7%</td> <td>Nº200: 94.3%</td> </tr> <tr> <td>SUCS : SP-SM</td> <td>LL: N.P.</td> <td>IP: - - -</td> <td>GS:</td> </tr> <tr> <td>AAHSTO: A-3(0)</td> <td>EMB.: 3 días</td> <td>EXP.: S/E</td> <td></td> </tr> <tr> <td>FECHA ENSAYO:</td> <td colspan="3">27/10/2021</td> </tr> </table>	CALICATA	M1-C1	MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm ³)	1.796	OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	10.3%	CBR AL 100% DE LA M.D.S. (%)	15.7%	CBR AL 95% DE LA M.D.S. (%)	11.4%	RET ACUM. 3/4": 0.0%	3/8": 0.0%	Nº 4: 0.7%	Nº200: 94.3%	SUCS : SP-SM	LL: N.P.	IP: - - -	GS:	AAHSTO: A-3(0)	EMB.: 3 días	EXP.: S/E		FECHA ENSAYO:	27/10/2021		
OBRA : CBR GRUPO 25A SECTOR 02 VILLA EL SALVADOR																																		
UBICACIÓN : VILLA EL SALVADOR - LIMA - LIMA																																		
SOLICITA : Gerardo Sebastián Tupayachi Coral																																		
MUESTRA : Suelo natural, Arena pobremente graduada ligeramente limosa (SP-SM)																																		
MUESTRA : Muestra proveída por el solicitante																																		
ING. RESP: David Lazo Julca																																		
TÉCNICO : K.P.C.																																		
CALICATA	M1-C1																																	
MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm ³)	1.796																																	
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	10.3%																																	
CBR AL 100% DE LA M.D.S. (%)	15.7%																																	
CBR AL 95% DE LA M.D.S. (%)	11.4%																																	
RET ACUM. 3/4": 0.0%	3/8": 0.0%	Nº 4: 0.7%	Nº200: 94.3%																															
SUCS : SP-SM	LL: N.P.	IP: - - -	GS:																															
AAHSTO: A-3(0)	EMB.: 3 días	EXP.: S/E																																
FECHA ENSAYO:	27/10/2021																																	




DAVID FERNANDO LAZO JULCA
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP Nº 204632



MARDYER INGENIEROS CONSULTORES
INGENIERIA GEOTECNICA

RELACION DE SOPORTE - CBR (ASTM D-1883)

PROYECTO : CBR GRUPO 25A SECTOR 02 VILLA EL SALVADOR
CALICATA : M1 - C1
SOLICITADO : Gerardo Sebastian Tupayachi Coral

ING. RESP. : David Lazo Juba
FECHA DE INICIO : 25/10/2021
FECHA DE TERMINO : 27/10/2021
TECNICO : K.P.C.

RELACION HUMEDAD - DENSIDAD (ASTM 1557)

N° DE MOLDE	1		2		3		N° DE MOLDE	PENETRACION (mm)	LEC. SAL	2 (29 GOLPES)		3 (132 GOLPES)	
	36	25	2066	2111	11256	LEC. SAL				CARGA/VE	LEC. SAL	CARGA/VE	
N° GOLPES	2105	2066	2111	0.000	0.00	0	0	0	0	0	0	0	
VOLUMEN DEL MOLDE (cm ³)	11632	11294	11256	0.005	0.84	3	29	2	25	0	17	0	
P. MOLDE + S. HUMEDO (gr)	7379	7238	7260	0.050	1.27	6	42	6	42	4	33	4	
PESO SUELO HUMEDO (gr)	4253	4056	3966	0.075	1.91	23	113	16	83	10	56	8	
N° TARRRO	5	10	23	0.100	2.34	37	171	23	113	17	88	26	
P. TARRRO + S. HUMEDO (gr)	122.99	107.58	114.02	0.125	3.18	53	238	35	163	26	125	34	
P. TARRRO + S. SECO (gr)	112.44	98.73	104.96	0.150	3.81	66	292	47	213	34	159	42	
PESO DE AGUA (gr)	10.55	8.45	9.46	0.175	4.45	82	369	55	246	42	192	58	
PESO DE TARRRO (gr)	21.76	20.86	20.64	0.200	5.08	93	405	65	288	49	221	64	
PESO SUELO SECO (gr)	90.68	77.77	83.72	0.225	5.72	104	451	71	313	54	242	71	
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	11.6	10.9	11.3	0.250	6.35	115	496	79	346	58	259	82	
DENSIDAD HUMEDA (gr/cm ³)	2.020	1.895	1.879	0.275	6.99	124	534	85	371	62	275	88	
DENSIDAD SECA (gr/cm ³)	1.810	1.745	1.688	0.300	7.62	132	567	89	388	65	288	95	

ABSORCION

N°	1		2		3		FECHA	HORA	EXPANSION		RESULTADOS	
	LEC. SAL	LEC. SAL	LEC. SAL	LEC. SAL	LEC. SAL	LEC. SAL			MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm ³)	OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD %		
PESO SUELO HUM. + PLATO + MOLDE (gr)	13944	12384	12156	0.000*	0.000*	26/10/2021	5:20pm	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	18.3%
PESO DEL PLATO + MOLDE (gr)	8127	8231	7946	0.000*	0.000*	28/10/2021		0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	15.7%
PESO SUELO HUMEDO EMBEBIDO (gr)	5906	4188	4262	0.000*	0.000*	27/10/2021	6:56pm	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	11.4%
PESO SUELO HUMEDO SEMEBEBER (gr)	5917	4150	4213									
PESO DEL AGUA ABSORVIDA (gr)	78	36	49									
PESO SUELO SECO (gr)	9098	4672	4137	% DE EXPANSION	SE	SE						
ABSORCION DEL AGUA (%)	1.4%	0.8%	1.2%									

(Firma)
DAVID FERRANDO
LAZO JUBA
INGENIERO CIVIL

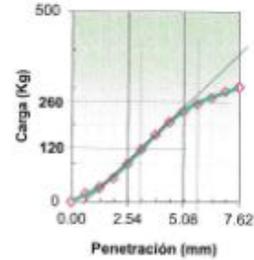
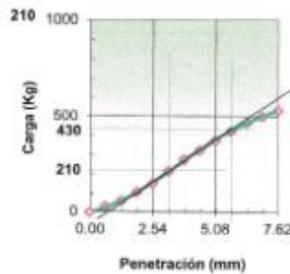
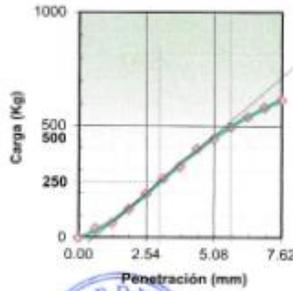




RELACION DE SOPORTE - CBR (ASTM D-1883)

OBRA :	CBR GRUPO 25A SECTOR 02 VILLA EL SALVADOR
UBICACION:	VILLA EL SALVADOR - LIMA - LIMA
SOLICITA :	Gerardo Sebastián Tupayachi Coral
MUESTRA :	Suelo natural, Arena pobremente graduada (SP)
MUESTRA :	Muestra proveida por el solicitante
ING. RESP.	David Lazo Julca
TECNICO :	K.P.C.

CALICATA		M1-C2
MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm ³)		1.831
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD		11.4%
CBR AL 100% DE LA M.D.S. (%)		16.1%
CBR AL 95% DE LA M.D.S. (%)		11.6%
RET. ACUM. 3/4"	0.0%	3/8": 0.0%
Nº 4:	1.3%	Nº200: 96.0%
SUCS :	SP	LL: N.P. IP: N.P. GS:
AAHSTO:	A-3(0)	EMB.: 3 dias EXP.: S/E
FECHA ENSAYO:		30/10/2021



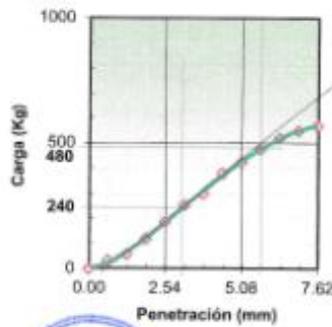
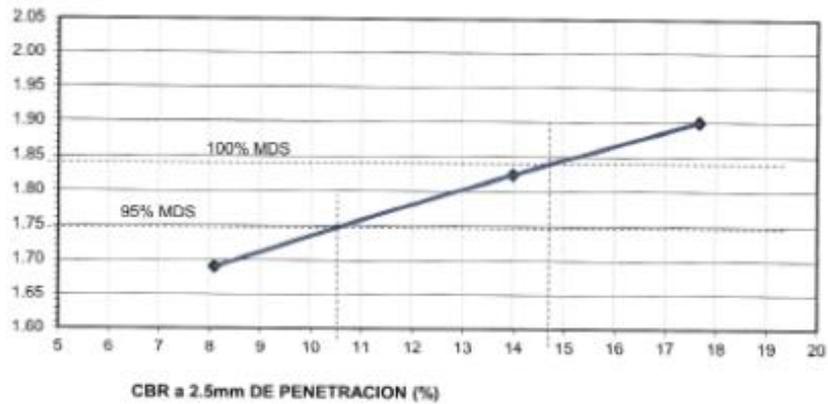
DAVID FERNANDO LAZO JULCA
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP Nº 204632



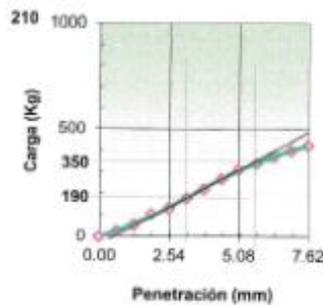
RELACION DE SOPORTE - CBR (ASTM D-1883)

OBRA :	CBR GRUPO 25A SECTOR 02 VILLA EL SALVADOR
UBICACION :	VILLA EL SALVADOR - LIMA - LIMA
SOLICITA :	Gerardo Sebastián Tupayachi Coral
MUESTRA :	Suelo natural, Arena pobremente graduada (SP)
MUESTRA :	Muestra proveída por el solicitante
ING. RESP. :	David Lazo Julca
TECNICO :	K.P.C.

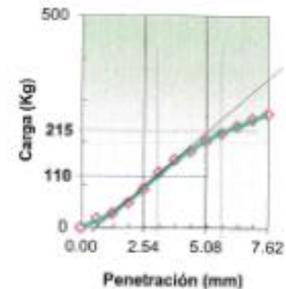
CALICATA	M1-C3			
MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm ³)	1.839			
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	11.7%			
CBR AL 100% DE LA M.D.S. (%)	14.7%			
CBR AL 95% DE LA M.D.S. (%)	10.5%			
RET. ACUM. 3/4": 0.0%	3/8": 0.0%	N° 4: 0.9%	N°200: 95.3%	
SUCS :	SP	LL: N.P.	IP: N.P.	GS:
AAHSTO:	A-3(0)	EMB.: 3 días	EXP.: S/E	
FECHA ENSAYO:				04/11/2021



56 GOLPES



25 GOLPES



12 GOLPES

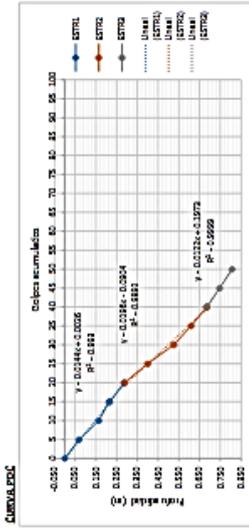
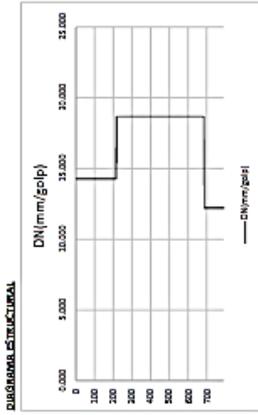


DAVID FERRANDO
LAZO JULCA
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 204632

Anexo 5: Ensayo DCP ASTM-D 6951

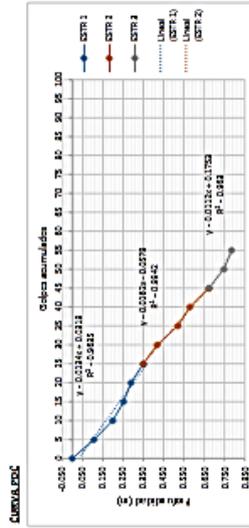
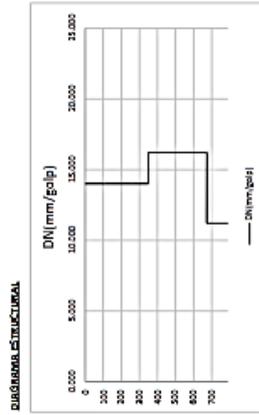
DCP-01 - 20MM CEMENTOS A CALZADA 03

# Golpes	Lanchas (m)	Profundidad (m)	Profund. Acum. (m)	Profund. Acum. (mm)	DN (mm/golpe)	DN ASTM-D 6951
0	1.050	0.000	0.000	0	14.267	14.88
5	0.952	0.068	0.068	68	14.267	14.88
10	0.865	0.096	0.164	164	14.267	14.88
15	0.816	0.150	0.214	214	14.267	14.88
20	0.745	0.191	0.287	287	15.660	11.00
25	0.631	0.212	0.399	399	15.660	11.00
30	0.504	0.137	0.208	208	15.660	11.00
35	0.420	0.084	0.100	100	15.660	11.00
40	0.345	0.055	0.053	53	15.660	11.00
45	0.283	0.052	0.247	247	11.200	17.73
50	0.223	0.050	0.097	97	11.200	17.73



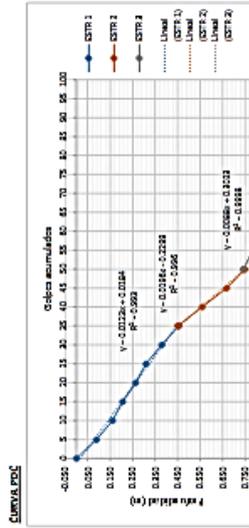
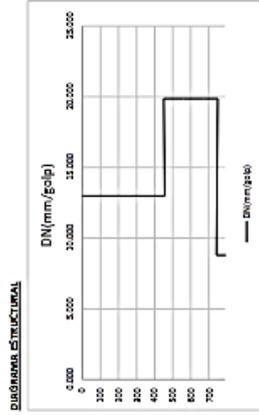
DCP-02 - 20MM CEMENTOS A CALZADA 03

# Golpes	Lanchas (m)	Profundidad (m)	Profund. Acum. (m)	Profund. Acum. (mm)	DN (mm/golpe)	DN ASTM-D 6951
0	1.050	0.000	0.000	0	14.000	13.20
5	0.923	0.107	0.107	107	14.000	13.20
10	0.831	0.092	0.199	199	14.000	13.20
15	0.777	0.054	0.253	253	14.000	13.20
20	0.741	0.056	0.209	209	14.000	13.20
25	0.660	0.061	0.250	250	14.000	13.20
30	0.550	0.044	0.230	230	15.200	12.90
35	0.512	0.058	0.218	218	14.200	12.90
40	0.509	0.039	0.211	211	14.200	12.90
45	0.451	0.038	0.279	279	15.200	12.90
50	0.357	0.024	0.274	274	11.200	19.51
55	0.282	0.075	0.248	248	11.200	19.51
60	0.245	0.027	0.229	229	11.200	19.51



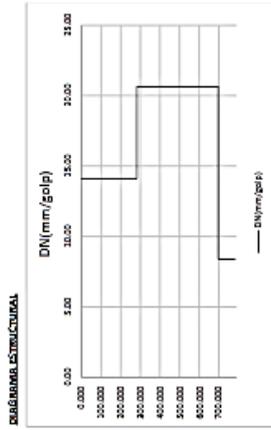
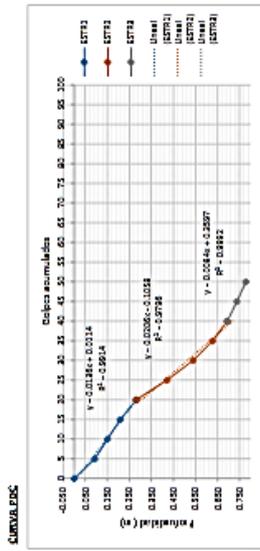
DCP-03 - 20MM CEMENTOS A CALZADA 03

# Golpes	Lanchas (m)	Profundidad (m)	Profund. Acum. (m)	Profund. Acum. (mm)	DN (mm/golpe)	DN ASTM-D 6951
0	0.982	0.000	0.000	0	11.000	16.31
5	0.829	0.069	0.069	69	11.000	16.31
10	0.570	0.072	0.140	140	11.000	16.31
15	0.520	0.047	0.186	186	11.000	16.31
20	0.457	0.047	0.163	163	11.000	16.31
25	0.370	0.047	0.130	130	11.000	16.31
30	0.290	0.070	0.160	160	11.000	16.31
35	0.271	0.075	0.153	153	11.000	16.31
40	0.271	0.065	0.111	111	13.867	10.37
45	0.271	0.064	0.149	149	13.867	10.37
50	0.262	0.069	0.168	168	13.867	10.37
55	0.258	0.063	0.149	149	13.867	10.37
60	0.242	0.074	0.242	242	8.800	23.16
65	0.143	0.045	0.157	157	8.800	23.16
70	0.100	0.043	0.130	130	8.800	23.16



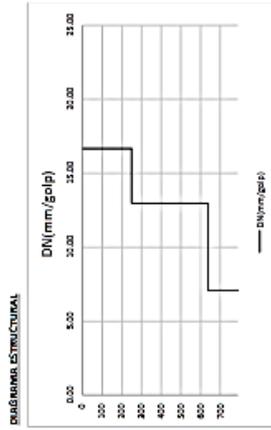
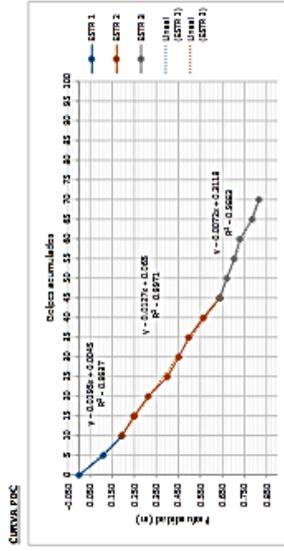
DDP 01 - EDUKASI ORGANO A CAULICRA 02

E Golpes	Lactura (m)	Profundidad (m)	Profun. Acum. (m)	Profun. Acum. (mm)	DN (mm/golpe)	Coe. ASTM D 6951
0	1.030	0.000	0.000	0.000	34.10	11.08
3	0.935	0.094	0.094	94.000	34.10	11.08
10	0.879	0.097	0.111	151.000	34.10	11.08
15	0.821	0.088	0.209	209.000	34.10	11.08
20	0.748	0.073	0.282	282.000	34.10	11.08
25	0.748	0.073	0.282	282.000	34.10	9.83
25	0.608	0.140	0.422	422.000	20.65	9.83
30	0.490	0.118	0.140	540.000	20.65	9.83
35	0.402	0.088	0.238	628.000	20.65	9.83
40	0.335	0.067	0.304	694.000	20.65	9.83
40	0.335	0.067	0.304	694.000	8.40	26.93
45	0.291	0.044	0.139	739.000	8.40	26.93
50	0.231	0.040	0.179	779.000	8.40	26.93



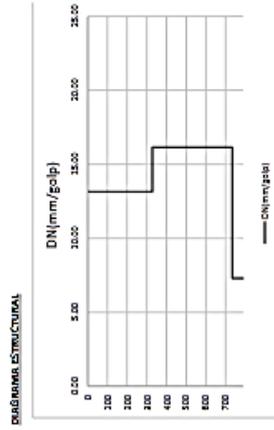
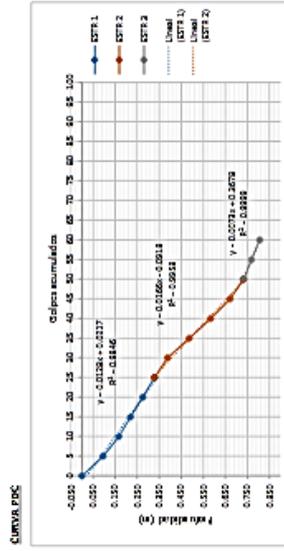
DDP 02 - EDUKASI ORGANO A CAULICRA 02

E Golpes	Lactura (m)	Profundidad (m)	Profun. Acum. (m)	Profun. Acum. (mm)	DN (mm/golpe)	Coe. ASTM D 6951
0	1.030	0.000	0.000	0	16.67	11.50
3	0.919	0.111	0.111	111	16.67	11.50
10	0.835	0.084	0.295	295	16.67	11.50
15	0.780	0.093	0.210	210	16.67	11.50
15	0.780	0.093	0.210	210	16.67	11.50
15	0.716	0.064	0.114	314	12.97	16.56
25	0.629	0.087	0.401	401	12.97	16.56
30	0.577	0.092	0.493	493	12.97	16.56
35	0.432	0.045	0.498	498	12.97	16.56
40	0.466	0.066	0.564	564	12.97	16.56
45	0.391	0.075	0.639	639	12.97	16.56
45	0.391	0.075	0.639	639	7.08	31.61
50	0.359	0.032	0.671	671	7.08	31.61
55	0.326	0.033	0.704	704	7.08	31.61
60	0.301	0.025	0.729	729	7.08	31.61
65	0.244	0.027	0.756	756	7.08	31.61
70	0.214	0.030	0.816	816	7.08	31.61



DDP 03 - EDUKASI ORGANO A CAULICRA 02

E Golpes	Lactura (m)	Profundidad (m)	Profun. Acum. (m)	Profun. Acum. (mm)	DN (mm/golpe)	Coe. ASTM D 6951
0	1.030	0.000	0.000	0	13.16	16.29
3	0.934	0.096	0.096	96	13.16	16.29
10	0.862	0.072	0.168	168	13.16	16.29
15	0.810	0.062	0.200	200	13.16	16.29
20	0.734	0.046	0.176	276	13.16	16.29
25	0.701	0.053	0.329	329	13.16	16.29
25	0.701	0.053	0.329	329	16.16	11.84
30	0.642	0.059	0.388	388	16.16	11.84
35	0.443	0.099	0.487	487	16.16	11.84
40	0.446	0.097	0.584	584	16.16	11.84
45	0.398	0.068	0.672	672	16.16	11.84
50	0.297	0.061	0.733	733	16.16	11.84
50	0.297	0.061	0.733	733	7.30	31.51
55	0.261	0.056	0.769	769	7.30	31.51
60	0.224	0.037	0.806	806	7.30	31.51



DCP 02 - ZONA CERCANA A CALIENTA 03

# Geopie	Lectura (m)	Profundidad (m)	Profund. Acum. (m)	Profund. Acum. (mm)	DN (mm/golp)	Cm ASTM-0.6661
0	1.030	0.000	0.000	0	34.400	34.72
5	0.952	0.078	0.078	78	34.400	34.72
10	0.865	0.167	0.165	165	34.400	34.72
15	0.814	0.216	0.216	216	34.400	34.72
20	0.756	0.274	0.274	274	34.400	34.72
25	0.634	0.422	0.396	396	34.400	34.72
30	0.502	0.532	0.523	523	34.400	34.72
35	0.413	0.609	0.617	617	34.400	34.72
40	0.347	0.666	0.663	663	34.400	34.72
45	0.297	0.709	0.713	713	34.400	34.72
50	0.248	0.763	0.766	766	34.400	34.72

DCP 02 - ZONA CERCANA A CALIENTA 03

# Geopie	Lectura (m)	Profundidad (m)	Profund. Acum. (m)	Profund. Acum. (mm)	DN (mm/golp)	Cm ASTM-0.6661
0	1.030	0.000	0.000	0	34.400	34.68
5	0.920	0.110	0.110	110	34.400	34.68
10	0.842	0.188	0.188	188	34.400	34.68
15	0.776	0.266	0.254	254	34.400	34.68
20	0.723	0.307	0.307	307	34.400	34.68
25	0.669	0.361	0.361	361	34.400	34.68
30	0.638	0.391	0.392	392	34.400	34.68
35	0.538	0.492	0.492	492	34.400	34.68
40	0.448	0.590	0.592	592	34.400	34.68
45	0.356	0.692	0.674	674	34.400	34.68
50	0.289	0.767	0.741	741	34.400	34.68
55	0.242	0.847	0.788	788	34.400	34.68

DCP 03 - ZONA CERCANA A CALIENTA 03

# Geopie	Lectura (m)	Profundidad (m)	Profund. Acum. (m)	Profund. Acum. (mm)	DN (mm/golp)	Cm ASTM-0.6661
0	1.030	0.000	0.000	0	32.086	36.67
5	0.943	0.087	0.090	90	32.086	36.67
10	0.867	0.176	0.183	183	32.086	36.67
15	0.815	0.235	0.235	235	32.086	36.67
20	0.748	0.307	0.282	282	32.086	36.67
25	0.717	0.351	0.313	313	32.086	36.67
30	0.646	0.422	0.385	385	32.086	36.67
35	0.579	0.496	0.451	451	32.086	36.67
40	0.478	0.601	0.552	552	32.086	36.67
45	0.384	0.714	0.666	666	32.086	36.67
50	0.324	0.803	0.749	749	32.086	36.67
55	0.243	0.938	0.787	787	32.086	36.67
60	0.177	1.066	0.853	853	32.086	36.67

CURVA PDC

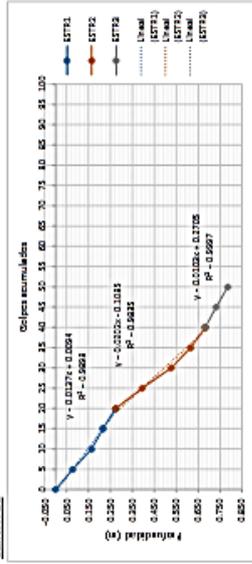
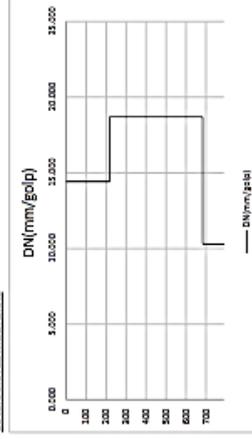


DIAGRAMA ESTRUCTURAL



CURVA PDC

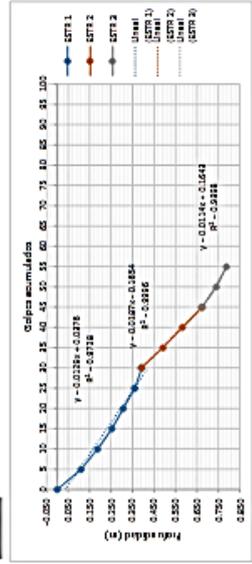
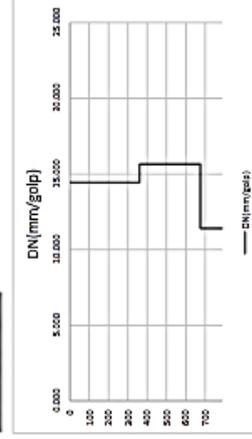


DIAGRAMA ESTRUCTURAL



CURVA PDC

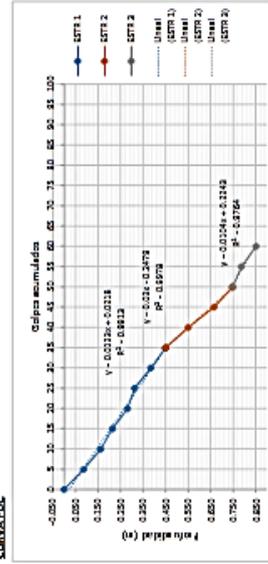
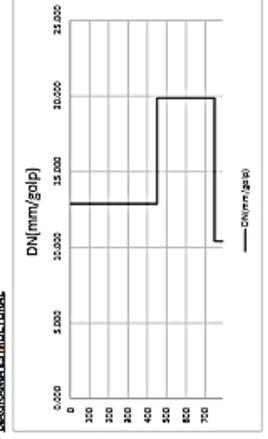


DIAGRAMA ESTRUCTURAL



Anexo 6: Carta de Autorización



MARDYER INGENIEROS CONSULTORES
INGENIERIA GEOTECNICA

CARTA DE AUTORIZACIÓN

Por la presente se autoriza al Señor GERARDO SEBASTIÁN TUPAYACHI CORAL el uso de los ensayos realizados con fines a su investigación de tesis para optar al TITULO PROFESIONAL.

Sin más que agregar,

Atentamente

David Fernando Lazo Julca



DAVID FERNANDO
LAZO JULCA
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP Nº 364632