



**FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA
Y URBANISMO**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE
INGENIERÍA CIVIL**

TESIS

**ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS ENSAYOS
CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR) DE
LABORATORIO Y PENETRACIÓN DINÁMICA DE
CONO (PDC) EN LA LOCALIDAD DE PICSI**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

Autores

Bach. LLANOS SANCHEZ, Andres Homero.

Bach. REYES PÉREZ, Shirley Katerine.

Pimentel, Octubre del 2017

**ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS ENSAYOS CALIFORNIA
BEARING RATIO (CBR) DE LABORATORIO Y PENETRACIÓN DINÁMICA
DE CONO (PDC) EN LA LOCALIDAD DE PICSI"**

Aprobación de la tesis

MSc. Zuloaga Cachay José Fortunato.
Asesor metodólogo

Ing. Ruiz Saavedra Nepton David.
Asesor especialista

Ing° MSc. Coronado Zuloeta Omar
Presidente del jurado de tesis

Ing° MSc. Ballena del Río Pedro Manuel.
Secretario del jurado de tesis

Ing. Ruiz Saavedra Nepton David.
Vocal del jurado de tesis

DEDICATORIA

Dedico este informe de investigación a DIOS por todo lo maravilloso e infinito amor que me tiene y tiene a todos los demás seres queridos, demostrándome que siempre está conmigo en todo momento y guiándome para seguir por el camino del bien. También dedico este informe de investigación a mi madre que es todo para mí, que en todo momento está conmigo apoyándome en todo, a mi padre que se encuentra en el cielo, del cual me siento orgulloso, a mi hermano por su apoyo incondicional, a mi padrastro una gran persona, a mi novia que siempre está conmigo en todo momento ayudándome para mi superación, a mis demás familiares que tienen un espacio ganado en mi corazón.

Llanos Sánchez Andrés Homero.

Dedico esta investigación de tesis con expresión de gratitud a Dios, por permitirme emprender este camino hacia el éxito, a mis padres por brindarme todo su esfuerzo incondicional durante toda esta etapa de mi vida profesional, a mi querida universidad Señor de Sipán en la cual está representada la Facultad de ingeniería Civil por instruirme en todos estos años de formación profesional y demás personas que me apoyaron.

Reyes Pérez Shirley Katerine.

AGRADECIMIENTO

Eternamente agradecidos con DIOS, por darnos la vida, salud y guiarnos por el camino del bien y del éxito, estando siempre con nosotros.

A nuestros padres, familiares y seres queridos por apoyarnos desinteresadamente siempre.

A nuestro director de escuela Msc. Coronado Zulueta Omar que gracias a sus gestiones elaboradas contamos con laboratorios bien implementados en cada área de la carrera.

A nuestro asesor Ing. Ruiz Saavedra Nepton David, por brindarnos su tiempo y aportes basados en experiencia durante la elaboración de este informe de investigación.

Al ing. Ballena del Río Pedro Manuel, por brindarnos sus aportes en este informe de tesis.

A nuestros metodólogos de investigación científica José Zuloaga Y Ana María Guerrero, por ayudarnos a estructurar y desarrollar este informe de tesis.

INDICE

I. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	1
1.1. Situación problemática	1
1.1.1. A nivel internacional.....	1
1.1.2. A nivel nacional.	4
1.1.3. A nivel local	6
1.2. Formulación del problema	11
1.2.1. Objeto de estudio y campo de acción	11
1.3. Delimitación de la investigación	12
1.4. Justificación e importancia de la investigación	12
1.4.1. Justificación tecnológica.	12
1.4.2. Justificación socio – económica.....	13
1.4.3. Justificación ambiental.....	13
1.5. Limitaciones de la investigación	13
1.6. Objetivos de la Investigación	14
1.6.1. Objetivo general.	14
1.6.2. Objetivos específicos.....	14
II. MARCO TEÓRICO	15
2.1. Antecedentes de Estudios:	15
2.1.1 Internacional.....	15
2.1.2 Nacional	19
2.1.3 Local.....	23
2.2. Estado del arte	23
2.3. Bases teóricas científicas	25
2.3.1. California Bearing Ratio (CBR) de laboratorio.....	25
2.3.1 Penetración Dinámica de Cono in situ.	38
2.3.1 Suelos:	51
2.3.2 Normas técnicas.....	60

2.3.4.1. Norma técnica del ensayo CBR de laboratorio.	60
2.3.4.2. Norma técnica del ensayo PDC.	60
2.3.4.3. Norma técnica de las propiedades de los suelos.	60
2.3.4.4. Normas Ambientales.	60
2.3.4.5. Normas de Gestión de Riesgos.	61
2.3.4.6. Evaluación Económica.	62
2.4. Definición de términos básicos	63
III. MARCO METODOLÓGICO	65
3.1. Tipo y diseño de la investigación	65
3.1.1. Tipo de Investigación:	65
3.1.2. Diseño de la Investigación:	65
3.2. Población y muestra:	66
3.3. Hipótesis:	66
3.4. Variables:	66
3.5. Operacionalización	68
3.6. Abordaje, técnicas e instrumentos de recolección de datos	70
3.6.1. Abordaje metodológico.	70
3.6.2. Técnicas de recolección de datos:	70
3.6.3. Instrumentos de recolección de datos	70
3.7. Procedimiento para la recolección de datos	71
3.7.1. Diagrama de Flujo de Procesos	71
3.7.2. Descripción de los procesos	71
3.7.3. Recursos humanos	92
3.7.4. Diseño:	94
3.1.1. Normatividad:	94
3.7.5. Gestión de Riesgos:	96
3.7.6. Gestión Ambiental:	96
3.8. Análisis estadístico e interpretación de datos	97
3.8.1. Enfoque cualitativo	97

3.8.2. Enfoque cuantitativo	97
3.9. Principios éticos	97
3.9.1. Ética de la recolección de datos:	97
3.9.2. Ética de la publicación	98
3.9.3. Ética de la aplicación	98
3.10. Criterios de rigor científico	98
IV. ANALISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS	100
4.1. Resultados en tablas y gráficos	100
4.1.1 Determinación de las propiedades físicas y mecánicas de los suelos estudiados y su clasificación	100
4.1.2 Determinación de la curva del Penetrómetro dinámico de cono (PDC) in situ, diagrama estructural y el balance estructural de la sub rasante de los suelos estudiados.	110
4.1.3 Determinación del CBR de laboratorio de la sub rasante de los suelos estudiados.	119
4.1.4 Determinación de la correlación de los resultados del Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC) in situ con respecto al California Bearing Ratio (CBR) de laboratorio.....	128
4.2 Discusión de resultados.	132
IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	133
5.1 Conclusiones.....	133
5.2 Recomendaciones.....	134
Referencias	136
ANEXOS	140
ANEXOS N° 1	141
ANEXOS N° 2	142
MAPA DE UBICACIÓN DE CALICATAS.	142
PANEL FOTOGRAFICO	143

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Calzada de la Av. Suba de Bogotá	2
Ilustración 2: Estado Actual de las Vías Estudiadas y su Ejecución del Ensayo	3
Ilustración 3: Santa Cruz (Bolivia) - Tramo 25 km	4
Ilustración 4: Ubicación de un EMS en la Universidad Nacional del Cusco	5
Ilustración 5: Suelo en la Región Piura	6
Ilustración 6: Vista de la Falta de Obras Viales en Pícsi	7
Ilustración 7: Vista en Planta Calle Real, Santa Rosa y Congreso, Distrito de Pícsi.....	8
Ilustración 8: Vista de la Calle Real, Distrito de Pícsi con 1161.25 ml.....	8
Ilustración 9: Vista In Situ Calle Real	9
Ilustración 10: Vista de la Calle Santa Rosa, Distrito de Pícsi con 512.78 ml ..	9
Ilustración 11: Vista In Situ Calle Santa Rosa	10
Ilustración 12: Vista de la Calle Congreso, Distrito de Pícsi con 535.92 ml....	10
Ilustración 13: Vista In Situ Calle Congreso	11
Ilustración 14: Definición en Grafica del CBR de Laboratorio	25
Ilustración 15: Aparatos para Determinas CBR Laboratorio.....	31
Ilustración 16: Equipo de Penetración Dinámica de Cono	40
Ilustración 17: Penetrómetro Mecánico de Punta Cónica.....	45
Ilustración 18: Ejemplos de Penetrómetros Estáticos y Dinámicos	45
Ilustración 19: Penetrómetro de Cono CN-973.....	46
Ilustración 20: Curva PDC.....	49
Ilustración 21: Diagrama Estructural	50
Ilustración 22: Balance Estructural	51
Ilustración 23: Detalle Representativa de la Resistencia al Corte de un Suelo	57
Ilustración 24: Normatividad.....	94

INDICE DE TABLA

Tabla 1: Lectura de la Carga para las Sigüientes Penetraciones _____	37
Tabla 2: Mallas y Aberturas _____	53
Tabla 3: Estructura del Suelo _____	59
Tabla 4: Normas AASHTO, ASTM, MTC aplicables para los Suelos _____	60
Tabla 5: Proceso de Gestión de Riesgos _____	61
Tabla 6: Cuadro de Diseño de Investigación _____	65
Tabla 7: Operacionalización de Variable Independiente _____	68
Tabla 8: Operacionalización de la Variable Dependiente _____	69
Tabla 9: Diagrama de Flujos _____	71
Tabla 10: Equipos, Materiales e Instrumentos _____	91
Tabla 11: Formulas _____	92

RESUMEN

Se presenta el estudio comparativo de los ensayos California Bearing Ratio (CBR) de laboratorio y Penetración Dinámica de Cono (PDC) in situ; mejorando la exploración y caracterización de los suelos estudiados en las distintas calles de la localidad de Picsi-Chiclayo: Calle Real, calle Santa Rosa y calle Congreso. Con esta investigación pretendemos demostrar la confiabilidad en la aplicación del PDC in situ, con el fin de obtener resultados de CBR laboratorio de diseño, de manera fácil, rápida y económica; a través de una ecuación obtenida de la correlación entre los ensayos antes mencionados.

Las muestras utilizadas para realizar los diversos ensayos fueron extraídas mediante la ejecución de calicatas a nivel de sub rasante; después de haber realizado el ensayo del PDC in situ, las muestras extraídas fueron llevadas al laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad Señor de Sipán, para ser estudiadas y así obtener sus propiedades necesarias para la identificación y clasificación de los diferentes tipos de suelos que por naturaleza se muestra en los lugares propuestos en la investigación, tales como el contenido de humedad, la granulometría y límites de consistencia; así como también el valor del CBR laboratorio de diseño. Una vez determinado todos los resultados del ensayo de PDC in situ y el CBR laboratorio de diseño, se realizó una gráfica en MS Excel; realizado el gráfico, mediante una regresión polinómica se obtuvo la ecuación de correlación que accedió a la evaluación del valor CBR laboratorio de diseño para los diferentes tipos de suelos estudiados.

Se constató, la resistencia de los suelos a nivel de sub rasante, que es uno de los estudios prioritarios e importantes para el desarrollo de las futuras construcciones viales; y damos a conocer que se puede obtener datos de CBR laboratorio de manera rápida y sencilla, mediante el ensayo PDC in situ, estableciendo parámetros de resistencia del suelo estudiado con un grado de confiabilidad aceptable y aplicable para el futuro diseño del pavimento.

PALABRAS CLAVE: California Bearing Ratio (CBR), Penetración Dinámica de cono (PDC), Suelos, Correlación.

ABSTRACT

the study of comparative trials California Bearing Ratio (CBR) Laboratory and Dynamic Cone Penetration (PDC) in situ is presented; improving exploration and characterization of the soils studied in different streets of the town of Pícsi-Chiclayo: Calle Real, Santa Rosa Street and Congress Street. With this research we want to demonstrate the reliability in the application of PDC in situ, in order to get results from laboratory CBR design, easily, quickly and cheaply; through an equation obtained from the correlation between the aforementioned assays.

The samples used for the various tests were extracted by running calicatas sub grade level; after performing the test of PDC in situ, the samples taken were taken to the laboratory of soil mechanics of the Lord University of Sipan, for study and obtain their necessary for the identification and classification of different types of soil properties by nature shown in the places proposed in the research, such as moisture content, particle size and consistency limits; as well as the value of CBR design laboratory. Once determined all test results PDC in situ and laboratory design CBR, a graph was made in MS Excel; Figure performed by a polynomial regression equation correlation accessed CBR laboratory evaluation design for different types of soils studied value was obtained.

It was found, the resistance of soil sub grade level, which is one of the priority and important for the development of future road construction studies; and we announced that you can get data from laboratory CBR quickly and easily, using the PDC in situ testing, setting parameters studied soil resistance with a degree of acceptable and applicable for the future pavement design reliability.

KEYWORDS: California Bearing Ratio (CBR), Dynamic Cone Penetration (PDC), Soil Correlation

INTRODUCCIÓN

La presente tesis de investigación consistió en un estudio tanto in situ como en laboratorio , haciendo uso de distintos equipos, uno más sofisticado que otro; ya que los trabajos de campo y de gabinete sobre rehabilitación y mantenimiento de los pavimentos en las carreteras inciden mucho en la economía de nuestro país, tanto en el estudio para la conformación del expediente técnico como para los trabajos de ejecución de obras; la tendencia tecnológica nos conduce a la actualización de conocimientos y al reemplazo de nuevos equipos en la cual sean más prácticos y económicos, permitiendo con más frecuencia su aplicación por ser un instrumento liviano y de fácil transporte en lugares inaccesibles, y por la posibilidad de que la mayoría de los ingenieros en actividad profesional puedan examinar, si los resultados que se adquirieron son válidos o no en otras situaciones similares. En base a estas nociones novedosas y tradicionales se afrontó este tema de investigación con el que se pretendió valorar y estimar el uso del Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC) in situ, permitiendo evaluar los suelos con el PDC in situ y obtener una correlación con el CBR de laboratorio; ya que hoy en día es obligatorio en la construcción de sub rasantes, sub bases y bases en pavimentos según el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) en la norma CE 10.

I. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Situación problemática

1.1.1. A nivel internacional.

Instituto de Desarrollo Urbano (2004), "en la Av. Suba, entre la Av. Córdoba y la Av. 127 se encontraron agrietamientos longitudinales en ambas calzadas, localizados preferencialmente en los carriles que dan contra el separador central, que tiene un ancho de 7 – 8m" (Instituto de Desarrollo Urbano, 2004).

Su origen radica en un mal comportamiento geotécnico del sector, razón por el cual se recorrió a la asesoría de un Ing. especialista en mecánica de suelos y geotecnia; donde se excavaron 4 apiques de profundidades hasta de 3.6m, y en todos ellos se encontró que encima de la capa de material in situ, una arcilla gris amarillenta, relleno heterogéneo, compuesto por limos orgánicos de color carmelita oscuro a negro, desechos de construcción y plásticos de basura . (Instituto de Desarrollo Urbano, 2004)

En los cuales se determinó el perfil estratigráfico, ejecutándose ensayos de Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC), donde obtuvieron muestras alteradas para efectuar ensayos de clasificación y muestras inalteradas para realizar el ensayo de CBR in situ; determinándose una correlación aplicable a los suelos de sub rasante de los 80 cm de profundidad donde se tomaron las muestras de CBR . (Instituto de Desarrollo Urbano, 2004)

"Para la correlación correcta solo consideraron un solo tipo de suelo, las arcillas (CH), que tiene la mayor cantidad de datos". (Instituto de Desarrollo Urbano, 2004)

Ilustración 1: Calzada de la Av. Suba de Bogotá



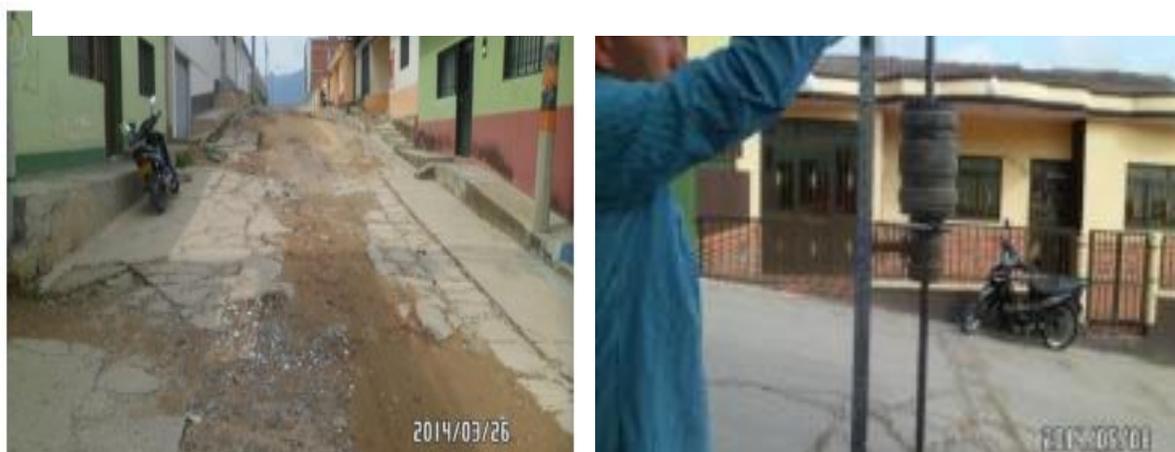
Fuente: (Instituto de Desarrollo Urbano, 2004).

Alvarez y Páez (2014). "El diagnóstico y las posibles alternativas de solución que determinen las causas y deterioros en la estructura del pavimento (baches, grietas tipo piel de cocodrilo, levantamiento de losas, asentamiento de losas, grietas longitudinales de esquina, entre otras)" (Alvarez & Páez, 2014, p.16); "de algunas vías del barrio dos de octubre, santa clara y villa paraíso de la comuna 6 del municipio de Ocaña, norte de Santander" (Alvarez & Páez, 2014, p.16). "La metodología empleada consistió en la ejecución de ensayos in situ de PDC, inspección visual, conteo vehicular (TPDs), extracción de núcleos de concreto y de laboratorios, clasificación de suelo, humedades, límites de consistencia y resistencia a la estructura del pavimento" (Alvarez & Páez, 2014, p.16). "Los ensayos de campo y de laboratorio, fueron realizados cumpliendo con las Normativas Colombianas (NTC) y las especificaciones estipuladas por el Instituto Nacional de Vías (INVIAS)" (Alvarez & Páez, 2014, p.16).

"Mostrando la baja resistencia de los pavimentos estudiados, en la cual se debe a la utilización de agregados gruesos, producto de una mala dosificación, la no distribución uniforme de partículas, debido a la inadecuada ejecución del control de calidad en la construcción del pavimento". (Alvarez & Páez, 2014, p.91).

“Los sondeos realizados en estas vías, arrojan que están sobre suelos arcillosos, con índice de plasticidad mayor al 10%, comprendidos en su mayoría por un solo estrato, con CBR que oscilan entre 7 y 14,4%, indicando una sub rasante regular, en algunos casos comprometidos por zonas húmedas; determinando el mal estado en el que se encuentran cada una de las vías estudiadas”. (Alvarez & Páez, 2014, p.91).

Ilustración 2: Estado Actual de las Vías Estudiadas y su Ejecución del Ensayo



Fuente: (Alvarez & Páez, 2014).

Trece (2010). “En Santa Cruz (Bolivia) se utilizó el DCP para la verificación de las capas del terraplén de un tramo de 25 Km antes de la construcción de un pavimento rígido, compuesto por una sub rasante mejorada (espesor variable mayor a 30 cm), una capa de suelo-arena de 25 cm de espesor y un suelo cemento de 13 cm de espesor sobre el que se construyó el pavimento rígido”. “Para que aseguren de la homogeneidad de los tramos en cada capa se hicieron ensayos con un DCP de doble masa hasta 1 m de profundidad cada 50 m” (Trece, 2010). “El CBR de cada capa fue estimado indirectamente utilizando la ecuación propuesta por el MEPDG” (Trece, 2010). “Aunque existen variaciones en la estimación del

CBR con otros modelos estas desviaciones no son tan importantes porque de todas formas el ensayo se realiza con la humedad real del suelo" (Trece, 2010). "En el suelo cemento no se hicieron ensayos porque el equipo puede dañarse, además de que en general da valores con CBR mayores a 100" (Trece, 2010). "Sobre los resultados obtenidos los valores de CBR tienen una dispersión importante, ya que se obtienen valores con las humedades in situ, además que es un equipo sensible a la presencia de material granular al momento del ensayo" (Trece, 2010). "En mediciones que se repitieron durante la época de lluvias se obtuvieron valores más bajos que las mediciones hechas durante el invierno" (Trece, 2010).

Ilustración 3: Santa Cruz (Bolivia) - Tramo 25 km



Fuente: (Trece, 2010).

1.1.2. A nivel nacional.

Geomec (2014). "Estudios de evaluación de pavimentos existentes o en proyecto, usan el ensayo PDC (Penetración Dinámica de Cono), para evaluar el CBR alcanzado en pavimentaciones en las capas de Sub-rasante y Sub- Base, sobre materiales finos o gravas finas compactadas" (Geomec, 2014).

Permite evaluar las condiciones reales del valor CBR. Por otro lado, los Estudios de Mecánica de Suelos (EMS) para cimentación de diversas estructuras (edificaciones, muros de retención, reservorios, puentes, permite alcanzar profundidades de más de 8.00m, apoyados con calicatas y/o posteadoras para muestreo y correlación". (Geomec, 2014).

"Ello permite el diseño de cimentaciones adecuadas, considerando el perfil geotécnico activado por la estructura" (Geomec, 2014).

Ilustración 4: Ubicación de un EMS en la Universidad Nacional del Cusco



Fuente: (Geomec, 2014).

Araujo (2014). La calidad de suelo en la región Piura difiere mucho en cada una de las provincias. Pero, ¿el tipo de suelo que tiene la ciudad de Piura es ideal para proyectos de construcción o de otro tipo? William Araujo Navarro, egresado de Ingeniería Civil, analizó el método para la obtención del valor del CBR. Aunque los nuevos métodos de diseño de pavimentos incluyen parámetros más representativos de la resistencia del suelo, el CBR sigue siendo usado por su sencillez y simplicidad en su ejecución.

Se correlacionaron datos del CBR de laboratorio en condición remoldeada y saturada con nueve parámetros del suelo: contenido

de grava, de arena, de limo, de arcilla, límite líquido, límite plástico, índice de plasticidad, máxima densidad seca y contenido óptimo de humedad". (Araujo, 2014, p.8).

Los resultados muestran que "los parámetros que más se relacionan con el CBR son el contenido de grava y la máxima densidad seca (a más contenido de grava y mayor densidad seca, el CBR es mayor)" (Araujo, 2014, p.8); "mientras que el contenido de arcillas y limos, los límites de consistencia y el contenido máximo de humedad influyen menos en el CBR y lo disminuyen" (Araujo, 2014, p.8). En la actualidad, estimar el CBR puede resultar costoso y el tiempo para la obtención de resultados suele demorar aproximadamente cuatro días.

Ilustración 5: Suelo en la Región Piura



Fuente: (Google Maps, 2013).

1.1.3. A nivel local

Picsi está ubicado a 8.5 Km. de la ciudad de Chiclayo. La integración distrital es un problema serio, actualmente no todas sus calles se encuentran pavimentadas y si las hay están en mal estado, y eso dificulta la transitabilidad vial y peatonal ya que solo está asfaltada la vía Chiclayo

– Pisci – Ferreñafe. En las calles de Real, Santa Rosa y Congreso del distrito de Pisci solo existen terreno natural en condiciones inadecuadas, de geometría irregular, poniendo en riesgo la vida de los transeúntes y pobladores en general que hacen uso de estas vías para llegar a sus viviendas.

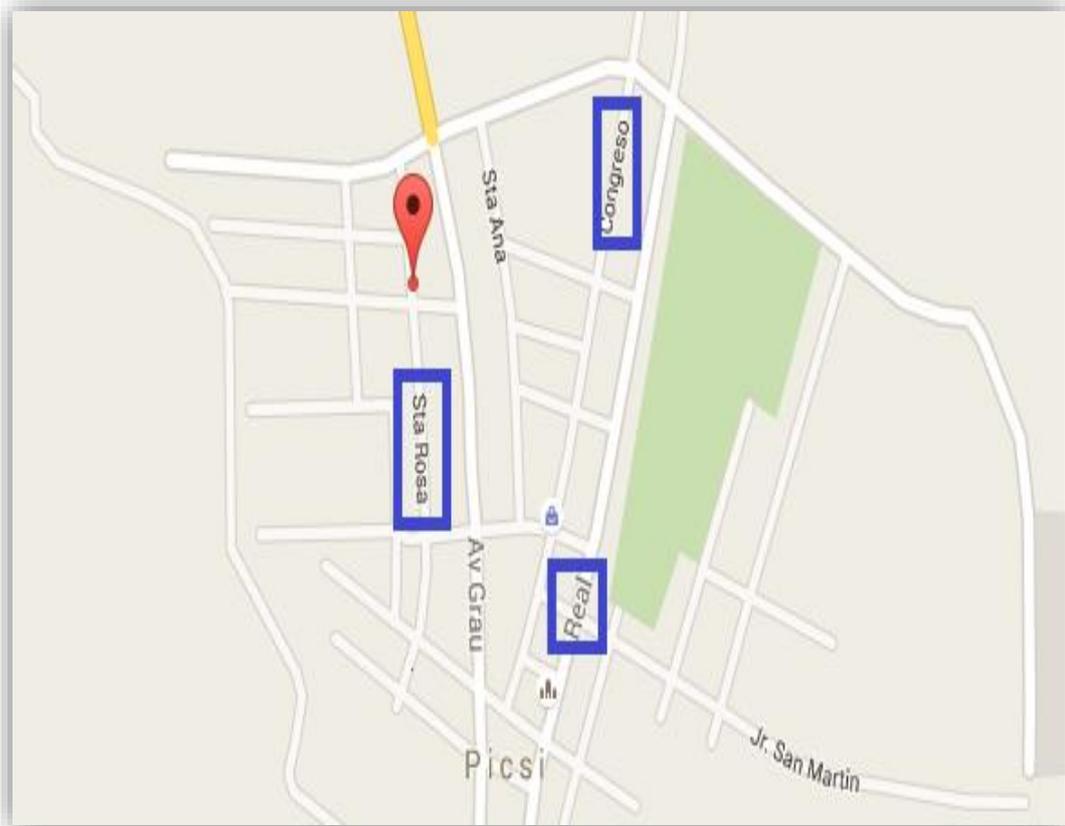
El estado que se observa es desastroso, interpretándose como si fuera una ciudad abandonada; así como también hay calles donde sus vías están deterioradas ya que no se les otorga el mantenimiento necesario para la mejor comunicación vial, cosa que no se puede tolerar, habiendo ingentes recursos financieros para ser gestionado por el gobierno regional

Ilustración 6: Vista de la Falta de Obras Viales en Pisci



Fuente: Toma propia.

Ilustración 7: Vista en Planta Calle Real, Santa Rosa y Congreso, Distrito de Pisci



Fuente: (google maps, 2016).

Ilustración 8: Vista de la Calle Real, Distrito de Pisci con 1161.25 ml



Fuente: (google maps, 2016)

La calle Real se encuentra a nivel de terreno natural perfilado, constituido por Arenas limosas a nivel de sub rasante.

Ilustración 9: Vista In Situ Calle Real



Fuente: Toma propia.

Ilustración 10: Vista de la Calle Santa Rosa, Distrito de Pisci con 512.78 ml



Fuente: (google maps, 2016).

La calle Santa Rosa se encuentra a nivel de terreno natural, y la sub rasante está constituido por Arcillas limo arenosas de baja plasticidad.

Ilustración 11: Vista In Situ Calle Santa Rosa



Fuente: Toma propia.

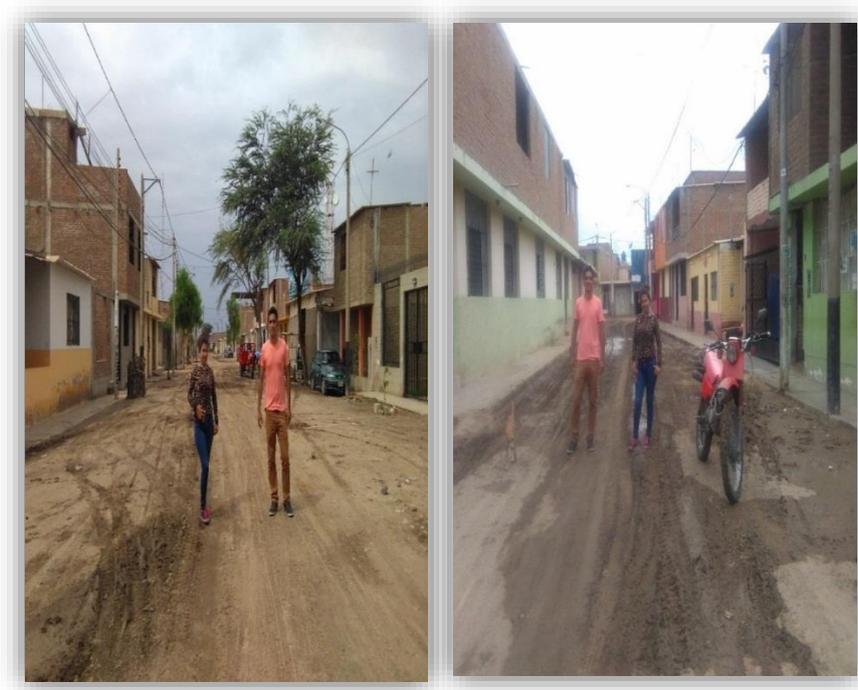
Ilustración 12: Vista de la Calle Congreso, Distrito de Pisci con 535.92 ml



Fuente: (google maps, 2016).

La calle Congreso se encuentra a nivel de terreno natural, la subrasante está constituido por Arcillas limo arenosas de baja plasticidad.

Ilustración 13: Vista In Situ Calle Congreso



Fuente: Toma propia

1.2. Formulación del problema

¿De qué manera el CBR laboratorio de diseño permitió analizar la confiabilidad de los valores del Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC) in situ de la subrasante en la localidad de Pícsi?

1.2.1. Objeto de estudio y campo de acción

El objeto de estudio es la confiabilidad de los resultados del PDC in situ sobre el ensayo CBR laboratorio de diseño, que se desarrolló en la localidad de Pícsi. El campo de acción es en Ingeniería vial - laboratorio de la Universidad Señor de Sipán.

1.3. Delimitación de la investigación

La investigación y la recaudación de datos se ejecutaron en las diferentes calles de Picsi, que se encuentra ubicada en la provincia de Chiclayo - región de Lambayeque, en donde se realizó los ensayos del PDC in situ y CBR laboratorio.

Las calles de estudio fueron:

- La calle Real : 1161.25 ml.
- La calle Santa Rosa : 512.78 ml.
- La calle Congreso : 536.92 ml.

1.4. Justificación e importancia de la investigación

1.4.1. Justificación tecnológica.

En la región de Lambayeque no existen registros del ensayo de (PDC) o simplemente no han sido reportados. Hoy en día es evidente que los ensayos de campo como (PDC) son utilizados en ciertos lugares, tanto en el ámbito internacional (normalizado) y nacional (aún no normalizado) como es el caso de Lima, para obtener datos inmediatos de las propiedades mecánicas del suelo.

Debido a que en la región Lambayeque no se ha desarrollado este tipo de ensayo (PDC) in situ, se logró obtener la correlación con respecto al (CBR) de laboratorio para los suelos estudiados de la localidad de Picsi.

El REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES (RNE) CE.010 PAVIMENTOS URBANOS especifica el ensayo del CBR de laboratorio (recomendando NTP. 339.145-1999, ASTM D 1883-2009, MTC E 132-2000, AASHTO T 193-2003); mientras que el ensayo del (PDC) actualmente no está normalizado en el Perú, pero es una necesidad su normalización para su aplicación formal, en la cual se ampara con la Norma ASTM D 6951 (03) en Estados Unidos de Norteamérica (mencionado y recomendado por RNE CE 010 en capítulo 3.00, ítem 3.2.1: tabla 1), cuando sea necesario su aplicación, pero puede

ser observable y hasta desestimado por no estar amparado por las Normas Técnicas Peruanas (NTP) como un ensayo confiable para obtener algunos valores de resistencia del suelo in situ.

1.4.2. Justificación socio – económica.

La investigación permitió que el (PDC) establezca beneficios y utilidades al emplear el equipo, debido a su bajo costo de uso operacional. Constituyendo base esencial y punto de partida para realizar proyectos de mejoramiento social y económico, principalmente en el campo como ha sido experimentado en la ciudad de Picsi.

1.4.3. Justificación ambiental.

El ensayo Penetración Dinámica de Cono (PDC) minimiza el impacto ambiental, por ser un ensayo no destructivo, confiable y sostenible, en comparación del ensayo California Bearing Ratio (CBR) de laboratorio.

1.5. Limitaciones de la investigación

La presente investigación se limitó a estudiar las 3 calles antes mencionadas de la localidad de Picsi, contando con un total de 9 calicatas la cual se practicaron los ensayos del Penetrómetro Dinámico de Cono in situ y el ensayo de California Bearing Ratio de laboratorio.

Picsi es una ciudad urbana, por lo tanto, se utilizó la Norma CE.010 PAVIMENTOS URBANOS.

1.6. Objetivos de la Investigación

1.6.1. Objetivo general.

Determinar la confiabilidad de los resultados estudiados de los ensayos del Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC) in situ de la sub rasante en las calles de estudio de la localidad de Pícsi con respecto al California Bearing Ratio (CBR) laboratorio de diseño, considerando los estándares de la normatividad vigente.

1.6.2. Objetivos específicos.

1. Determinar las propiedades físicas y mecánicas de los suelos en estudio y clasificarlos.
2. Determinar la curva del Penetrómetro dinámico de cono (PDC) in situ, Diagrama estructural y el balance estructural de la sub rasante de los suelos en estudio.
3. Determinar el CBR laboratorio de diseño para la sub rasante de los suelos en estudio.
4. Correlacionar los resultados del Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC) in situ con respecto al California Bearing Ratio (CBR) laboratorio de diseño.
5. Demostrar mediante una evaluación económica que el ensayo de Penetración Dinámica de Cono (PDC) in situ es económico y rápido con respecto al California Bearing Ratio (CBR) laboratorio de diseño.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de Estudios:

2.1.1 Internacional

Paucar (2012). "La capacidad portante o resistencia de la sub rasante se obtendrá mediante la correlación del ensayo PDC in situ con el CBR de laboratorio de la vía Riobamba – Alausí, además de los ensayos de CBR sobre muestras inalteradas" (Paucar, 2012, p.13). "La capacidad portante o resistencia de la sub rasante podrá obtenerse mediante la correlación del ensayo PDC sobre muestras inalteradas con el CBR en muestras alteradas" (Paucar, 2012, p.13). "La sub rasante se encuentra sometida a un estado de esfuerzos variables y por ende a un estado de deformaciones en el momento que los vehículos aplican las cargas sobre la estructura del pavimento" (Paucar, 2012, p.13). "En una exploración de campo existe la posibilidad de encontrar suelos con humedad elevada, suelos saturados o suelos secos" (Paucar, 2012, p.13).

La presente investigación busca determinar las ecuaciones de correlación aplicables para obtener el valor del CBR, por medio del Penetrómetro dinámico de cono PDC, esta correlación entre los ensayos CBR de laboratorio y PDC in situ podrán ser aplicables a los suelos de fundación de la provincia Chimborazo enfocándonos principalmente en los distintos tipos de suelos de la sub rasante de la vía Riobamba – Alausí y así establecer parámetros de resistencia del suelo con un grado de confiabilidad aceptable y aplicable para el diseño de pavimentos . (Paucar, 2012, p.13)

Angamarca (2013). "El presente trabajo de investigación se basa fundamentalmente en el desarrollo y obtención de correlaciones entre algunas propiedades de los suelos finos del Distrito Metropolitano de Quito" (Angamarca, 2013, p.19), "y su consecuente aplicación al diseño de pavimentos flexibles en las vías vehiculares de gran importancia para la

ciudad de Quito" (Angamarca, 2013, p.19), "con el fin de comparar datos referenciales DCP de la NORMA D 6951-03 con datos obtenidos en campo y laboratorio realizados en la misma ciudad" (Angamarca, 2013, p.17). "Dando como resultado comparaciones similares e iguales entre lo obtenido y lo expuesto por la norma, ratificando que la norma D 6951-03 es confiable para trabajos en la ciudad de Quito" (Angamarca, 2013, p.17).

"Siendo la resistencia del suelo de sub rasante, uno de los estudios prioritarios para el diseño vial, se ha creído conveniente estudiar la correlación entre el CBR de laboratorio y natural en suelos finos y el ensayo de Penetración Dinámica de Cono (DCP), con el fin de obtener una fuente confiable que permita ser adaptada para el diseño de pavimentos flexibles de manera técnico y además que garantice las condiciones de comodidad, economía y seguridad".
(Angamarca, 2013, p.19)

"Los métodos más sencillos y utilizados en nuestro país para el diseño de pavimentos requieren de valores CBR y de la carga (tráfico), de ahí la importancia de obtener un valor real" (Angamarca, 2013, p.19). "En la Capacidad Portante de los suelos CBR se tiene: CBR al 95% a nivel de sub rasante valores que varían de 14 a 18%, CBR in-situ (DCP) 3 a 50%, CBR en muestras inalteradas (Anillo Cortante) 3 a 47%"(Angamarca, 2013, p.208).

Portilla y Pillajo (2001). "En el presente trabajo se realiza un estudio teórico – práctico de los suelos, partiendo de la realización de ensayos de campo y laboratorio, hasta la aplicación de resultados en el diseño vial" (Portilla & Pillajo, 2001). "La obtención de correlaciones sencillas entre estas propiedades, utilizando métodos estadísticos conocidos, es también la base de la presente y el diseño de pavimentos de caminos vecinales, será la aplicación que se hará a los resultados obtenidos" (Portilla & Pillajo, 2001). "Además, se propone la utilización de un ensayo simple de evaluación del suelo, como es la Penetración Dinámica de Cono, detallando sus principales conceptos y aplicaciones" (Portilla & Pillajo, 2001). "De esta

manera se tratará de contrastar una serie de conceptos novedosos y tradicionales en el estudio de los suelos y aportar con una base empírica en el desarrollo de las construcciones viales" (Portilla & Pillajo, 2001). "La correlación directa entre el CBR de laboratorio y DCP in-situ fue baja, obteniéndose un coeficiente de correlación con un promedio de aprox. 12%" (Portilla & Pillajo, 2001). "Los valores obtenidos con la aplicación de las correlaciones, en general, se acercan notablemente a los valores obtenidos en los ensayos" (Portilla & Pillajo, 2001). "Un método óptimo para obtener correlaciones entre estos dos parámetros sería realizando los ensayos para condiciones idénticas, ya sea con moldeo de muestras gemelas y/o ensayos in-situ" (Portilla & Pillajo, 2001).

Beskid y Martínez (2004). "Se presenta un estudio comparativo de los resultados obtenidos en ensayos de CBR en laboratorio, y ensayos de Penetración Dinámica" (Beskid & Martínez, 2004, p.9). "Para la realización de la investigación se construyó un Penetrómetro Dinámico con un cono de 33mm de diámetro, y una masa de golpeo de 8Kg que cae desde una altura de 400mm" (Beskid & Martínez, 2004, p.9). "Se realizaron 20 ensayos de cuatro obras de la ciudad de Maracaibo. A cada muestra de le realizo el ensayo de penetración, y de cada sitio se extrajo una muestra imperturbada con la que se determinó el valor CBR en laboratorio" (Beskid & Martínez, 2004, p.9). "Luego se correlaciono cada curva de penetración con el valor CBR con los datos obtenidos del PCD una ecuación" (Beskid & Martínez, 2004, p.9). "El método resulto ser adecuado para tomar muchos datos de capacidad portante en terrenos con valores CBR no muy elevados, en cortos periodos de tiempo" (Beskid & Martínez, 2004, p.9). "El método PCD puede generar un gran aporte a la evaluación de suelos, ya que permite realizar en terreno evaluaciones simples, confiables y no destructivas, transformándose en una herramienta útil para determinar valores más reales de las propiedades de los materiales" (Beskid & Martínez, 2004, p.53); en donde "la correlación entre los datos de CBR en laboratorio y el PCD resulta satisfactoria para valores CBR bajos (para los cuales se ideó

el aparato), pero es necesario realizar más ensayos para así conseguir una curva con un error menor" (Beskid & Martínez, 2004, p.53).

Viscarra (2006). "La presente investigación incursiona en la aplicación de una herramienta, cuyo estudio y aplicación se viene desarrollando desde 1959" (Viscarra, 2006, p.3). "Las variables del estudio son los valores de CBR, DCP, contenido de humedad y peso específico seco; estos dos últimos presentaron gran influencia durante el desarrollo de pruebas DCP" (Viscarra, 2006, p.3). "Finalmente se ratifica la gran variabilidad que presenta el ensayo de CBR y la dificultad en el momento de interpretar sus resultados" (Viscarra, 2006, p.3). "Estas patologías desembocan en una serie de dudas, hasta llegar a cuestionarse acerca del grado de confiabilidad de este tipo de ensayo, cuyo valor recae directamente en el dimensionamiento de espesores en pavimentos" (Viscarra, 2006, p.3). "Se ha demostrado a través de los estudios, la gran sensibilidad que este instrumento presenta y la confiabilidad de sus resultados" (Viscarra, 2006, p.17). "Haciendo del DCP, un instrumento ideal para evaluar el grado de compactación y la homogeneidad del material en estudio" (Viscarra, 2006, p.17); "localizando con gran facilidad puntos débiles en el paquete estructural y por ende la justificación a posibles fallas de un pavimento o un mal relleno compactado en zanjas, terraplenes, etc." (Viscarra, 2006, p.17). "El trabajo presentado no pretende reemplazar el estudio tradicional en campo o los ensayos CBR" (Viscarra, 2006, p.17). "No obstante, es una contribución que afirma la consideración del DCP como un ensayo complementario para verificar las condiciones reales de un suelo" (Viscarra, 2006, p.17).

"Por ello, durante la obtención del CBR de diseño para una sub-rasante natural, valor primordial en el que recae la determinación de espesores de un pavimento flexible, la utilización del instrumento DCP puede servir de guía en la interpretación de curvas de CBR". (Viscarra, 2006, p.17)

Lacera (2006). "El proyecto tiene como fin investigar el desarrollo de correlaciones útiles entre la relación de soporte CBR y los valores de penetración Cónica (DCP), humedad y densidad seca" (Lacera, 2006); "para la evaluación preliminar de sub rasantes y determinar las características y propiedades propias de los suelos existentes en el área de Valledupar por medio de las correlaciones propuestas" (Lacera, 2006). "Sobre la base de los resultados obtenidos se aplicó un método estadístico de regresión obteniéndose una ecuación de correlación entre CBR, el DCP, la humedad y la densidad seca, garantizando la aplicabilidad de los resultados" (Lacera, 2006). "El aporte social consistió en ampliar el uso del DCP en la evaluación in situ de suelos en Valledupar como alternativa económica, aportando a la empresa ALTANCGIVIL de Valledupar las ecuaciones de correlación desarrolladas" (Lacera, 2006).

*"La investigación encontró una relación fuerte y una mayor bondad de ajuste entre el índice de penetración cónica (DCP) y el CBR in situ para 15 muestras de suelo tipo SM, de un total 20 muestras de suelo tipo SM, SW-SM y GM, a través de las siguientes ecuaciones: $\text{Log (CBR)} = 2,1940 - 0,0363 * (\%H) - 0,8310 * \text{Log (DCPI)}$, $r^2 = 0,9068$ y $\text{Log (CBR)} = 2,328 - 1,314 * \text{Log (DCPI)}$, $r^2 = 0,8436$ ".*
(Lacera, 2006)

"El estudio de los ensayos es implementar el uso del DCP como una herramienta indispensable en el control de calidad compactaciones de suelos usados en la construcción de carreteras" (Lacera, 2006).

2.1.2 Nacional

Injante (2012). "En la presente investigación en primer lugar se construye el Penetrómetro Dinámico de Cono con las características señalados de equipos usados por Kleyn que es el mismo que normaliza ASTM en el año 2003" (Injante, 2012, p.12).

“Se ensaya suelos en estado natural de 12 Distritos de la Provincia de Ica con el Penetrómetro Dinámico de Cono obteniendo N (mm/golpe), se ensaya también en laboratorio en maquina CBR los mismos suelos (muestra inalterada y también compactado de acuerdo a norma), los que permiten su correlación, obteniéndose una ecuación por Distrito, además de una ecuación general con la totalidad de datos estudiados; estas ecuaciones permiten calcular el valor de CBR in situ, este cálculo aplicado en los valores ensayados en campo se obtiene valores de CBR in situ de gran acercamiento al valor original, mucho más acercamiento que la ecuación de Kleyn, del Cuerpo de Ingenieros de USA o el de Carlos Tupia Córdova en una investigación peruana”. (Injante, 2012, p.12)

“Los valores de CBR in situ calculados con las formulas obtenidas difieren en $\pm 10\%$ del valor base ensayado en equipo formal en un 90% del total de mediciones” (Injante, 2012, p.92). “La investigación presentada no pretende reemplazar el estudio tradicional en campo o los ensayos CBR normalizados conocidos, sin embargo, el PDC es una contribución que se afirma como un ensayo complementario para diagnosticar las condiciones reales de un suelo” (Injante, 2012, p.92).

Tupia y Alva (2001). “Para determinar las características del terreno de un proyecto vial se programa la ejecución de sondeos exploratorios a una distancia variable entre 250m y 3 km” (Tupia & Alva, 2001, p.1). “Los resultados obtenidos con el PDC fueron correlacionados con parámetros de resistencia, tales como la Capacidad de Soporte de California y la Compresión Simple” (Tupia & Alva, 2001, p.1).

“La investigación que se reporta se ha realizado en el Laboratorio Geotécnico del CISMID de la UNI sobre suelos de diferentes carreteras del territorio nacional, en los pavimentos de la Provincias de Huacho, Barranca y Huancavelica lo cual certificaron la utilidad de la correlación obtenida en el presente trabajo”. (Tupia & Alva, 2001, p.1)

“Siguiendo los modelos matemáticos existentes y proporcionando relaciones aplicables al Perú para determinar valores de CBR en base a los ensayos de PDC” (Tupia & Alva, 2001, p.1). “Mediante un equipo de bajo costo que ofrece al proyectista la alternativa de complementación de ensayos in-situ y la comparación de las condiciones del terreno con las de laboratorio” (Tupia & Alva, 2001, p.2).

Los resultados de CBR de laboratorio obedecen más que a un valor exacto a un valor estadístico dentro de una serie de ensayos del suelo en análisis, por eso el utilizar el equipo de Penetración Dinámica de Cono no significa dejar de realizar los ensayos de CBR en laboratorio; sino que permiten obtener mayor información de la capacidad de soporte del suelo . (Tupia & Alva, 2001, p.6)

“La determinación de una correlación entre PDC y CBR para los suelos de la ciudad de Lima ofrece mayor confianza que las correlaciones obtenidas en otros países y establece información para futuros proyectos” (Tupia & Alva, 2001, p.6).

Quispe (2012). “En muchos países, el Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC) ya es usado de manera continua, por lo que existen diferentes estudios al respecto” (Quispe, 2012).

“La presente tesis sobre la evaluación de la capacidad de soporte del terreno por medio del Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) en suelos puzolánicos fue realizada en el distrito de Cerro Colorado, tratándose de contribuir a la mejora de los ensayos que se requieren para la formulación y estudio de los proyectos viales; por ello es que, siendo el CBR un ensayo fundamental para todo proyecto, se apreció la importancia de realizar el estudio de un ensayo alternativo que sea veraz, de fácil utilización y que suponga un empleo de menor tiempo que el ensayo del CBR de laboratorio, ventajas estas que justifican el estudio del (DCP), estableciendo una relación entre la penetración dinámica y la capacidad de soporte de los suelos puzolánicos de

Arequipa y la correlación entre los ensayos de CBR en laboratorio y Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP)". (Quispe, 2012)

"El DCP, como instrumento de medida del CBR, aporta una gran ventaja en la facilidad de ejecución del ensayo y el tiempo que se requiere para poder obtener resultados; la correlación obtenida en la presente tesis está dada para estudios de suelos puzolánicos del distrito de Cerro Colorado, por lo que, si se desea realizar un estudio con esta ecuación en otro tipo de suelo, se deberá realizar un ensayo de verificación". (Quispe, 2012)

"En el total de la investigación se concluye que, los resultados obtenidos en el estudio son veraces y se verifico con el ensayo de CBR en campo, dio como resultado un valor aproximado al obtenido con la Ecuación de Correlación" (Quispe, 2012).

Cabello y Mendez (2006). "La presente tesis centra su atención al tratar de determinar el valor estructural del pavimento utilizando un instrumento manual de bajo costo en comparación de otros métodos en el que se usan instrumentos y equipos bastante caros" (Cabello & Mendez, 2006); "que no están al alcance de los ingenieros y empresas pequeñas por lo que la mayoría de veces este tipo de trabajos se les encarga a empresas de gran capacidad económica por contar con instrumental y equipo necesario" (Cabello & Mendez, 2006).

En el presente trabajo mostramos la construcción del equipo la forma como lo usamos , luego realizamos ensayos en los pavimentos flexibles de los diferentes distritos de la provincia de Ica para luego correlacionar datos del uso del Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC) con el Numero Estructural del pavimento obtenido de una evaluación estructural realizado en cada punto de ensayo con la finalidad de obtener una nueva cantidad de datos que sirva como base para generar una formula o ecuación de tendencia por el método de regresión que finalmente con ella y el PDC se pueda obtener el

Numero Estructural de un pavimento flexible". (Cabello & Mendez, 2006)

2.1.3 Local

No se encontraron investigaciones con el ensayo del (PDC) en la localidad de Picsi- Chiclayo-Lambayeque, debido a que en estos últimos años recientemente se están aplicando el uso de este equipo a nivel mundial y recientemente en los departamentos del Perú como son: Arequipa, Ica y Lima.

2.2. Estado del arte

Según lo investigado, el nivel que han logrado las investigaciones sobre el uso del Penetrómetro Dinámico de Cono se ha estandarizado y normalizado en lo que refiere al ámbito internacional. A nivel nacional se busca normalizarlo, en el caso local no se registró u encontró el uso de este instrumento. El California Bearing Ratio (CBR) de laboratorio esta estandarizado y normalizado a nivel internacional, nacional y de uso local.

Osorio y Casas (2011). "Este método fue propuesto en 1929 por los ingenieros T. E. Stanton y O. J. Porter del departamento de carreteras de California" (p.23). "Desde esa fecha tanto en Europa como en América, el método CBR se ha generalizado y es una forma de clasificación de un suelo para ser utilizado como sub rasante o material de base en la construcción de carreteras" (Osorio & Casas, 2011, p.23).

Esta investigación tiene el fin de determinar "el desarrollo de correlaciones útiles entre la relación de soporte CBR y los valores de penetración cónica (DCP), humedad y densidad seca" (Lacera, 2006); "para la evaluación preliminar de sub rasantes y determinar las características y propiedades de los suelos existentes en el área local de Valledupar por medio de correlaciones propuestas" (Lacera, 2006).

“Sobre la base de los resultados obtenidos se aplicó un método estadístico de regresión obteniéndose una ecuación de correlación entre el CBR y DPC, la humedad y la densidad seca, garantizando la aplicabilidad de los resultados” (Lacera, 2006). “El aporte social consistió en ampliar el uso del DCP en la evolución in situ de los suelos en Valledupar como alternativa económica, aportando a la empresa ALTAINGCIVIL de Valledupar las ecuaciones de correlaciones desarrolladas” (Lacera, 2006).

En la presente investigación en primer lugar se construye el Penetrómetro Dinámico de Cono con las características señalados de equipos usados por Kleyn que es el mismo que normaliza ASTM en el año 2003 (mostrando una alternativa económica de contar con el equipo PDC que resulta a un tercio del costo de comprarlo en el extranjero) . (Injante, 2012, p.12)

Se ensaya suelos en estado natural de 12 Distritos de la Provincia de Ica con el Penetrómetro Dinámico de Cono obteniendo N (mm/golpe), se ensaya también en laboratorio en maquina CBR los mismos suelos (muestra inalterada y también compactado de acuerdo a norma), los que permiten su correlación, obteniéndose una ecuación por Distrito, además de una ecuación general con la totalidad de datos estudiados; estas ecuaciones permiten calcular el valor de CBR in situ, este cálculo aplicado en los valores ensayados en campo se obtiene valores de CBR in situ de gran acercamiento al valor original, mucho más acercamiento que la ecuación de Kleyn, del Cuerpo de Ingenieros de USA o el de Carlos Tupia Córdova en una investigación peruana”. (Injante, 2012, p.12)

2.3. Bases teóricas científicas

2.3.1. California Bearing Ratio (CBR) de laboratorio.

Origen:

"Este método fue propuesto en 1929 por los ingenieros T. E. Stanton y O. J. Porter del departamento de carreteras de California" (Osorio & Casas, 2011, p.23). "Desde esa fecha tanto en Europa como en América, el método CBR se ha generalizado y es una forma de clasificación de un suelo para ser utilizado como sub rasante o material de base en la construcción de carreteras" (Osorio & Casas, 2011, p.23). "Durante la segunda guerra mundial, el cuerpo de ingenieros de los Estados Unidos adoptó este ensayo para utilizarlo en la construcción de aeropuertos" (Osorio & Casas, 2011, p.23).

Definición:

Sánchez (2012). "El CBR es un ensayo para evaluar la calidad de un material de suelo con base en su resistencia, medida a través de un ensayo de placa a escala" (Sánchez, 2012). "CBR significa en español relación de soporte California, por las siglas en inglés de California Bearing Ratio, aunque en países como México se conoce también este ensayo por las siglas VRS, de Valor Relativo del Soporte" (Sánchez, 2012).

Ilustración 14: Definición en Grafica del CBR de Laboratorio



Fuente: (Sánchez, 2012).

Chang (2014), "El CBR de un suelo es la carga unitaria correspondiente a 0.1 ó 0.2 de penetración, expresada en por ciento en su respectivo valor estándar" (Chang, 2014). "También se dice que mide la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controlada" (Chang, 2014). "El ensayo permite obtener un número de la relación de soporte, que no es constante para un suelo dado sino que se aplica solo al estado en el cual se encontraba el suelo durante el ensayo" (Chang, 2014).

Núñez (2014). "Es una medida de la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo bajo condiciones de densidad y humedad" (Núñez, 2014, p.76). "La metodología utilizada en la ejecución de los ensayos es la normada por ASTM-D 1883 para los ensayos de CBR de laboratorio, ASTM-D 4429-93 para los ensayos de CBR in situ" (Núñez, 2014, p.76).

Definición de número CBR:

El número CBR (o simplemente CBR), se obtiene de la relación de la carga unitaria (lbs/pulg², psi) necesaria para lograr una cierta profundidad de penetración del pistón de penetración (19.4 cm²) dentro de la muestra compactada de suelo a un contenido de humedad y densidad dadas con respecto a la carga unitaria patrón (lbs/pulg².) requerida para obtener la misma profundidad de penetración en una muestra estándar de material triturado . (Chang, 2014)

"Los ensayos de CBR se hacen usualmente sobre muestras compactadas al contenido de humedad óptimo para un suelo específico, determinado utilizando el ensayo de compactación estándar o modificada del experimento" (Chang, 2014).

Uso

- "Este método de prueba se emplea para evaluar la resistencia potencial de materiales de sub-rasante, sub-base y base, incluyendo materiales reciclados para empleo en pavimentos de carreteras y pistas de aterrizaje. El valor de CBR obtenido en esta prueba forma parte integral de varios métodos de diseño de pavimentos flexibles". (Amaya, 2013).
- "Para aplicaciones en las cuales el efecto del contenido de agua de compactación sobre el CBR es bajo, tales como materiales de grano grueso sin cohesión, o cuando se permita una tolerancia en relación con el efecto de diferentes contenidos de agua de compactación en el procedimiento del diseño, el CBR se puede determinar al contenido óptimo de agua de un esfuerzo de compactación especificado. La masa unitaria seca especificada corresponde, generalmente, al porcentaje mínimo de compactación permitido al usar las especificaciones para compactación en el campo". (Amaya, 2013)
- "Para aplicaciones en las cuales el efecto del contenido de agua de compactación sobre el CBR se desconoce, o en las cuales se desea tener en cuenta su efecto, el CBR se determina para un rango de contenidos de agua, usualmente el permitido para compactación en el campo empleando las especificaciones existentes para tal fin". (Amaya, 2013)
- "El criterio para la preparación de especímenes de prueba de materiales auto-cementantes (y otros), los cuales ganan resistencia con el tiempo, se debe basar en una evaluación de ingeniería geotécnica. Los materiales de auto-cementantes, deben curarse apropiadamente hasta que se pueda medir relaciones de soporte

representativas de las condiciones de servicio a largo plazo, de acuerdo con el criterio del Ingeniero". (Amaya, 2013)

Equipo Y Materiales

- "Prensa: Similar a las usadas en ensayos de compresión, utilizada para forzar la penetración de un pistón en el espécimen. Debe tener una capacidad suficiente para penetrar el pistón en el espécimen a una velocidad de 1.27 mm/min (0.05/min) y hasta una profundidad de 12.7 mm (0.5). El desplazamiento entre la base y el cabezal se debe poder regular a una velocidad uniforme de 1.27 mm (0.05) por minuto. La capacidad de la prensa y su sistema para la medida de carga deben ser de 44.5 kN (10000lbf) o más y la precisión mínima en la medida debe ser de 44N o menos". (Amaya, 2013)
- "Moldes: De metal, cilíndricos, de 152,4 mm \pm 0.66 mm (6 \pm 0.026) de diámetro interior y de 177,8 \pm 0.46 mm (7 \pm 0.018) de altura, provisto de un collar suplementario de 51 mm (2.0) de altura y una placa de base perforada de 9.53 mm (3/8) de espesor". (Amaya, 2013)
- "Las perforaciones de la base deberán ser por lo menos 20 uniformemente espaciadas dentro de la circunferencia del molde, no excederán de 1,6 mm (1/16) de diámetro. La base se deberá poder ajustar a cualquier extremo del molde". (Amaya, 2013)
- "Disco espaciador: De forma circular, metálico, de 150.8 \pm 0.8mm (5 15/16 \pm 1/32) de diámetro y de 61.37 \pm 0.25 mm (2.416 \pm 0.01) de espesor, para insertarlo como falso fondo en el molde cilíndrico durante la compactación". (Amaya, 2013)

- "Martillos de compactación: Como los descritos en las normas INV E – 141 (equipo normal) e INV E – 142 (equipo modificado)". (Amaya, 2013)

- "Aparato medidor de expansión – compuesto por" (Amaya, 2013):
 - "Una placa de metal perforada, por cada molde, de $149.2 + 1.6$ mm ($5 \frac{7}{8} \pm 1/16$) de diámetro, cuyas perforaciones no excedan de 1,6 mm ($1/16$) de diámetro. Estará provista de un vástago en el centro con un sistema de tornillo que permita regular su altura". (Amaya, 2013)

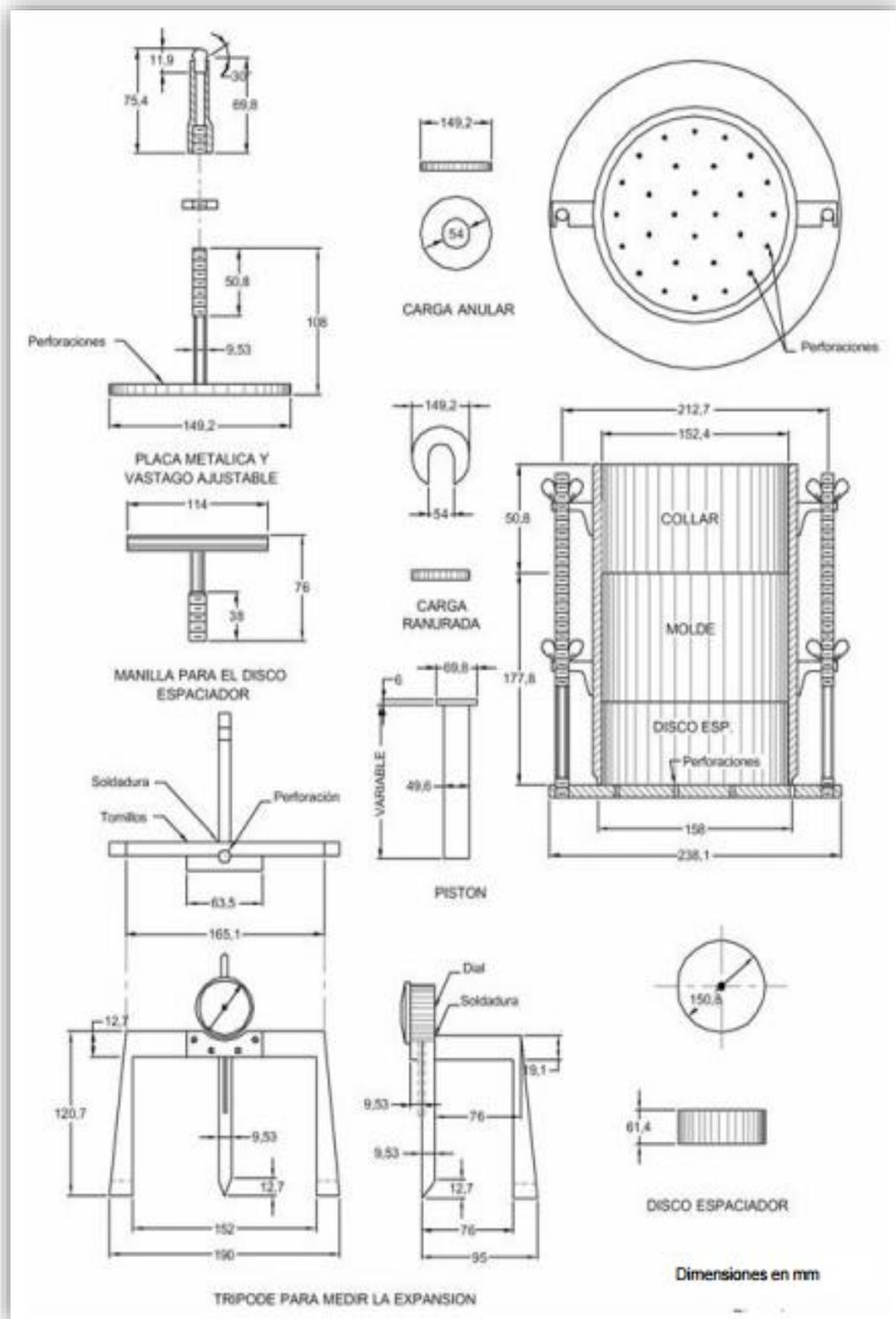
 - "Un trípode cuyas patas puedan apoyarse en el borde del molde, que lleve montado y bien sujeto en el centro un dial (deformímetro), cuyo vástago coincida con el de la placa, de forma que permita controlar la posición de éste y medir la expansión, con aproximación de 0.025 mm (0.001)". (Amaya, 2013)

- "Sobrecargas metálicas: Unas diez por cada molde, una anular y las restantes ranuradas, con una masa de $2,27 \pm 0.04$ Kg (5 ± 0.10 lb) cada una, $149.2 + 1.6$ mm ($5 \frac{7}{8} \pm 1/16$) de diámetro exterior y la anular con 54 mm de diámetro en el orificio central" (Amaya, 2013).

- "Pistón de penetración: Cilíndrico, metálico de 49.63 ± 0.13 mm de diámetro (1.954 ± 0.005), área de 1935 mm² (3 pulg²) y con longitud necesaria para realizar el ensayo de penetración con las sobrecargas precisas, pero nunca menor de 101.6 mm (4)". (Amaya, 2013)

- "Dos diales (deformímetros): Con recorrido mínimo de 25 mm (1) y divisiones en 0.025 mm (0.001), uno de ellos provisto de una pieza que permita su acoplamiento en la prensa para medir la penetración del pistón en la muestra". (Amaya, 2013).
- "Tanque: Con capacidad suficiente para la inmersión de los moldes en agua" (Amaya, 2013).
- "Horno: Termostáticamente controlado, regulable a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($230 \pm 9^{\circ}\text{F}$)" (Amaya, 2013).
- "Balanzas: Una de 20 kg de capacidad, y otra de 1000 g con sensibilidades de 5 g y 0.1 g respectivamente" (Amaya, 2013).
- "Tamices: De 4.75 mm (No.4) y de 19.0 mm (3/4)" (Amaya, 2013).
- "Material diverso de uso general como cuarteador, mezclador, enrasador, cápsulas, probetas, espátulas, discos de papel de filtro del diámetro del molde, etc." (Amaya, 2013).

Ilustración 15: Aparatos para Determinas CBR Laboratorio



Fuente: (Instituto Nacional de Vías, 2007)

Relación humedad-Densidad

- “Relación de soporte a la humedad óptima – Usando una porción del material preparada como se describe en las normas INV E – 141 o INV E – 142, se determina el contenido óptimo de humedad y la densidad seca máxima, de acuerdo con el método de compactación especificado en la norma INV E – 141 o INV E – 142”. (Instituto Nacional de Vías, 2007, p.5).
- “Relación de soporte para un rango de humedades – Usando los especímenes de 6.8 kg (15 lb) preparados como se describe en las pruebas de compactación INV E – 141 o INV E – 142, se determina el contenido óptimo de humedad y la densidad seca máxima de acuerdo con el método de compactación especificado en estas normas, excepto que se deben usar los moldes de CBR y cada espécimen será penetrado para la determinación de su CBR. Además, se deberán establecer curvas de relación humedad-densidad para 25 golpes y 10 golpes por cada y cada espécimen de prueba compactado deberán ser penetrados. Todas las compactaciones se deben realizar en moldes de CBR. En casos en los cuales la masa unitaria especificada está en o cerca del 100% de la masa unitaria seca máxima, puede ser necesario incluir un esfuerzo de compactación mayor de 56 golpes por capa”. (Instituto Nacional de Vías, 2007, p.5)

“Si el espécimen va a ser sometido a inmersión, se toma una muestra representativa del material para la determinación de humedad al comienzo de la compactación de cada espécimen y otra muestra del material restante, después de la compactación” (Instituto Nacional de Vías, 2007, p.5). “Usar la norma INV E – 122 para determinar el contenido de humedad” (Instituto Nacional de Vías, 2007, p.5). “Si el espécimen no va a ser sometido a inmersión, se toma una muestra para el contenido de humedad, de acuerdo con las normas INV E – 141 o INV E – 142 si se desea el contenido promedio de humedad” (Instituto Nacional de Vías, 2007, p.5).

Procedimiento

- “Relación de soporte al contenido óptimo de humedad” (Instituto Nacional de Vías, 2007, p.5):
 - “Normalmente se deben compactar tres especímenes de manera que los límites de sus densidades compactadas sean de 95% (o menos) a 100% (o mayor) de la máxima densidad seca determinada” (Instituto Nacional de Vías, 2007, p.6).
 - “Se ajusta el molde a la placa de base, se une el collar de extensión y se pesa con aproximación a 5 g (0.01 lb)” (Instituto Nacional de Vías, 2007, p.6). “A continuación se insertar el disco espaciador dentro del molde y se coloca un papel filtro grueso encima del disco” (Instituto Nacional de Vías, 2007, p.6).
 - “Se mezcla cada una de las tres porciones de 6.8 Kg. (15 lb) con suficiente agua para obtener el contenido de humedad óptimo determinado” (Instituto Nacional de Vías, 2007, p.6).
 - “Se compacta la primera de las tres porciones de la mezcla de suelo -agua en el molde, usando tres capas iguales y el martillo apropiado si la densidad máxima fue determinada por la norma INV E – 141 o cinco capas iguales si la densidad máxima fue determinada por la norma INV E – 142 para obtener una profundidad total compactada de más o menos 125 mm, compactando cada capa con el menor número de golpes seleccionados para obtener una densidad compactada del 95%, o menos, de la densidad máxima”. (Instituto Nacional de Vías, 2007, p.6)
 - “Se determina el contenido de humedad del material que está siendo compactado, al comienzo y a la terminación de este procedimiento (dos muestras)” (Instituto Nacional de Vías, 2007, p.6).
 - “Cada muestra de humedad deberá tener una masa de, por lo menos, 100 g para suelos de grano fino, y 500 g para suelos de grano grueso” (Instituto Nacional de Vías, 2007, p.6). “La

determinación del contenido de humedad se debe hacer de acuerdo con la norma INV E – 122” (Instituto Nacional de Vías, 2007, p.6).

- “Terminada la compactación, se quita el collar y se enrasa el espécimen por medio de un enrasador o cuchillo de hoja resistente y bien recta” (Instituto Nacional de Vías, 2007, p.6). “Cualquier hueco superficial producido al eliminar partículas gruesas durante el enrase, se rellenará con material sobrante sin gruesos, comprimiéndolo con la espátula” (Instituto Nacional de Vías, 2007, p.6). “Se desmonta el molde y se vuelve a montar invertido, sin disco espaciador, colocando un papel de filtro entre el molde y la base” (Instituto Nacional de Vías, 2007, p.6). “Se determina la masa del molde con el espécimen compactado, con aproximación a 5 g (0.01 lb)” (Instituto Nacional de Vías, 2007, p.6).
- “Relación de soporte para un rango de contenidos de humedad – Los especímenes se deben preparar de acuerdo con la Sección 4.2” (Instituto Nacional de Vías, 2007, p.6). “Toda la compactación se debe efectuar en los moldes de CBR. Cada espécimen usado para desarrollar las curvas de compactación para 10, 25 y 56 golpes por capa, será penetrado” (Instituto Nacional de Vías, 2007, p.6). “En casos en los cuales la masa unitaria seca especificada está en o cerca del 100% de la máxima, será necesario incluir un esfuerzo de compactación mayor de 56 golpes por capa” (Instituto Nacional de Vías, 2007, p.6-7).
- “Inmersión – Se coloca sobre la superficie de la muestra invertida la placa perforada con vástago, y, sobre ésta, los anillos necesarios para completar una sobrecarga tal, que produzca una presión equivalente a la originada por todas las capas de pavimento que hayan de ir encima del suelo que se ensaya, la aproximación quedará dentro de los 2.27 kg (5.0 lb) correspondientes a una pesa. En ningún caso, la sobrecarga total será menor de 4.54 kg. (10lb)”. (Instituto Nacional de Vías, 2007, p.7)

"Se toma la primera lectura para medir la expansión colocando el trípode de medida con sus patas sobre los bordes del molde, haciendo coincidir el vástago del deformímetro con el de la placa perforada" (Instituto Nacional de Vías, 2007, p.7). Se anota su lectura, el día y la hora.

"A continuación, se sumerge el molde en el tanque con la sobrecarga colocada dejando libre acceso al agua por la parte inferior y superior de la muestra" (Instituto Nacional de Vías, 2007, p.7). "Se mantiene la probeta en estas condiciones durante 96 horas (4 días) con el nivel de agua aproximadamente constante, aproximadamente 25 mm (1) por encima de la superficie del espécimen" (Instituto Nacional de Vías, 2007, p.7). "Se admite también un periodo de inmersión más corto, nunca menor de 24 horas si se trata de suelos granulares que se saturan de agua rápidamente y si los ensayos muestran que esto no afecta los resultados" (Instituto Nacional de Vías, 2007, p.7). "Para algunos suelos arcillosos puede ser necesario un período de inmersión superior a 4 días" (Instituto Nacional de Vías, 2007, p.7).

"Al final del período de inmersión, se vuelve a leer el deformímetro para medir el hinchamiento" (Instituto Nacional de Vías, 2007, p.7). "Si es posible, se deja el trípode en su posición, sin moverlo durante todo el período de inmersión" (Instituto Nacional de Vías, 2007, p.7); "no obstante, si fuera preciso, después de la primera lectura se puede retirar, marcando la posición de las patas en el borde del molde para poderla repetir en lecturas sucesivas" (Instituto Nacional de Vías, 2007, p.7). "La expansión se calcula como un porcentaje de la altura inicial del espécimen" (Instituto Nacional de Vías, 2007, p.7).

"Después del período de inmersión se saca el molde del tanque y se vierte el agua retenida en la parte superior del mismo, sosteniendo firmemente la placa y sobrecarga en su posición"

(Instituto Nacional de Vías, 2007, p.7). "Se deja escurrir el molde durante 15 minutos en su posición normal y, a continuación, se retiran las sobrecargas y la placa perforada. Inmediatamente, se pesa y se procede al ensayo de penetración" (Instituto Nacional de Vías, 2007, p.7).

- "Penetración – Se coloca sobre el espécimen las mismas sobrecargas que tuvo durante el período de inmersión" (Instituto Nacional de Vías, 2007, p.7). "Para evitar el empuje hacia arriba del suelo dentro del agujero de las pesas de sobrecarga, es conveniente asentar el pistón luego de poner la primera sobrecarga sobre la muestra" (Instituto Nacional de Vías, 2007, p.7). "Para ello, previamente se ha llevado el conjunto a la prensa y colocado el pistón de penetración en el orificio central de la sobrecarga anular" (Instituto Nacional de Vías, 2007, p.7-8). "Después de aplicar la carga de asentamiento se coloca el resto de las sobrecargas alrededor del pistón" (Instituto Nacional de Vías, 2007, p.8).

"Se monta el dial medidor de manera que se pueda medir la penetración del pistón y se aplica una carga de 44 N (10 lb) para que el pistón asiente" (Instituto Nacional de Vías, 2007, p.8). "Seguidamente, se sitúan en cero los diales medidores, el del anillo dinamométrico, u otro dispositivo para medir la carga, y el de control de la penetración" (Instituto Nacional de Vías, 2007, p.8). "Para evitar que la lectura de penetración se vea afectada por la lectura del anillo de carga, el control de penetración se deberá apoyar entre el pistón y la muestra o el molde" (Instituto Nacional de Vías, 2007, p.8).

"Se aplica la carga sobre el pistón de penetración mediante el gato o mecanismo correspondiente de la prensa, con una velocidad de penetración uniforme de 1.27 mm (0.05) por minuto" (Instituto Nacional de Vías, 2007, p.8). "Las prensas manuales no pre paradas para trabajar a esta velocidad de forma automática se controlarán mediante el deformímetro de penetración y un cronómetro. Se anotan

las lecturas de la carga para las siguientes penetraciones" (Instituto Nacional de Vías, 2007, p.8):

Tabla 1: Lectura de la Carga para las Sigüientes Penetraciones

PENETRACIÓN	
0.63	0.025
1.27	0.050
1.91	0.075
2.54	0.100
3.18	0.125
3.81	0.150
5.08	0.200
7.62	0.300
10.16	0.400
12.70	0.500

Fuente: (Instituto Nacional de Vías, 2007).

"Estas lecturas se hacen si se desea definir la forma de la curva, pero no son indispensables" (Instituto Nacional de Vías, 2007, p.8).

"Finalmente, se desmonta el molde y se toma de los 25 mm (1") superiores, en la zona próxima a donde se hizo la penetración, una muestra para determinar su humedad" (Instituto Nacional de Vías, 2007, p.8). "Su masa deberá ser de al menos 100 g si el suelo ensayado es de grano fino y de 500 g si es granular" (Instituto Nacional de Vías, 2007, p.8).

2.3.1 Penetración Dinámica de Cono in situ.

Origen

“El DCP fue desarrollado en 1956 por Scala; estudios realizados en campo por Livneh e Ishali (1987) y Kleyn (1975) han sido básicos para la evaluación de pavimentos” (Viscarra, 2006, p.2). “Posteriormente se ha difundido su uso en Inglaterra, Australia, Canadá, Nueva Zelanda y Estados Unidos” (Viscarra, 2006, p.2).

Definición

“Los Penetrómetros son dispositivos que pueden ser introducidos en el suelo o en una muestra de éste y medir la resistencia que ofrece a la penetración” (Denoia & Giubileo, 2008, p.193). “Existe una gran variedad de este tipo de instrumentos, cada uno con características particulares, y adaptados para fines específicos” (Denoia & Giubileo, 2008, p.193-194).

De esta manera el Penetrómetro se constituye en una herramienta que permite detectar entre otras cosas cambios en la densidad aparente del suelo, debidos a la compactación y obtener así una evaluación indirecta de la degradación física, contribuyendo a definir requerimientos de manejo de los suelos . (Denoia & Giubileo, 2008, p.194)

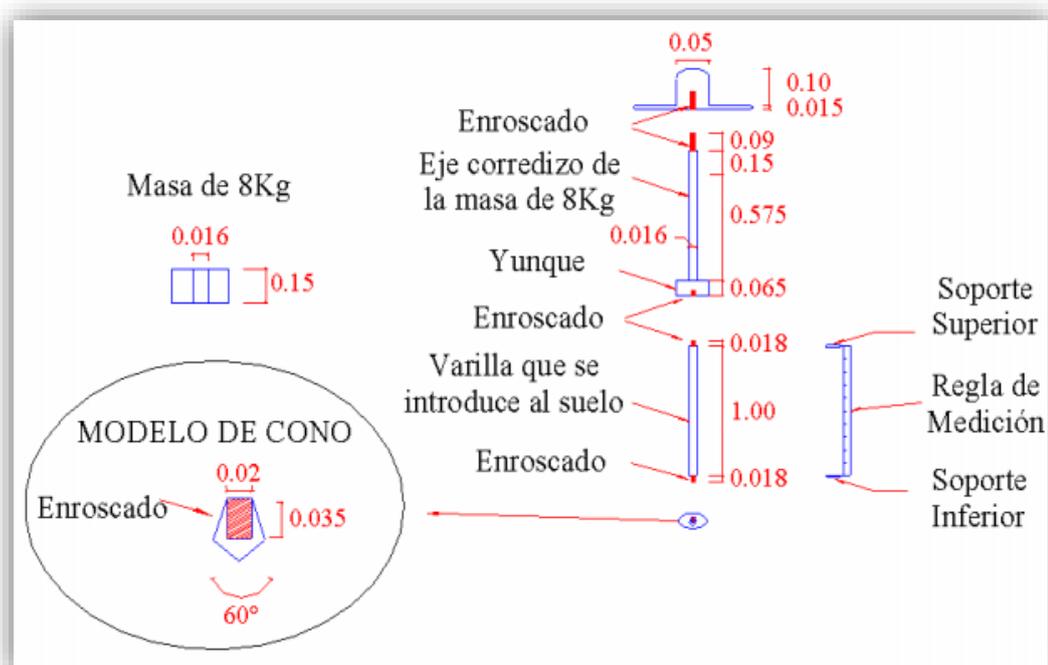
- “El Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC) mide la penetración dinámica por golpes, a través del terreno natural o suelo fundación, levemente cementados” (Núñez, 2014, p.76).
- “Es un método no destructivo capaz de medir la capacidad estructural in situ del suelo de fundación” (Núñez, 2014, p.76).

- “El equipo puede ser utilizado en: Identificación de tramos homogéneos, control de la construcción de las distintas capas de pavimento y determinación de la eficiencia de equipos de compactación, evaluación de un suelo colapsable, estabilidad de taludes etc.” (Núñez, 2014, p.76).

Descripción del Equipo PDC

- “El modelo consta de una varilla de acero de penetración de 16mm. De diámetro” (Núñez, 2014, p.76).
- “En su extremo inferior un cono de acero temperado de 60 grados y 20mm de diámetro” (Núñez, 2014, p.76).
- “El PDC es introducido en el suelo por un martillo deslizante de 8Kg que cae desde una altura de 575mm” (Núñez, 2014, p.76).
- “Para realizar las lecturas posee una regla de medición sujeta al instrumento por dos soportes, un soporte superior unido al yunque que sirve de referencia para las lecturas y un soporte inferior fijo a la regla y unido a la barra de penetración”. (Núñez, 2014, p.76).

Ilustración 16: Equipo de Penetración Dinámica de Cono



Fuente: (Núñez, 2014).

- “El DCP de 8 Kg. consiste de los siguientes componentes: una barra de acero de 15.8 mm (5/8) de diámetro, con una punta-cono recambiable o desechable, un mazo de 8 Kg. (17,6 lbs) el cual es soltado de una altura de 575 mm (22,6), un ensamblaje de acople y una empuñadura. La punta-cono tiene un ángulo de 60° y un diámetro en la base de 20mm (0,79)”. (Barquero & Fernández, 2000).
- “Por norma general, el aparato se construye a base de acero inoxidable, con excepción de la punta-cono recambiable, la cual puede ser construida a base de acero de herramienta endurecido o un material similar que soporte el uso”. (Barquero & Fernández, 2000).
- “Se recomiendan las siguientes tolerancias” (Barquero & Fernández, 2000):

- "Dimensión del peso del mazo de 8 Kg. (17,6 lbs); tolerancia = 0,01 Kg. (0,022 lbs)" (Barquero & Fernandez, 2000).
 - "Dimensión del peso del mazo de 4,6 Kg. (10,1 lbs); tolerancia = 0,01 Kg. (0,022 lbs)" (Barquero & Fernandez, 2000).
 - "Dimensión de la caída del mazo de 575 mm (22,6); tolerancia = 1,0 mm (0,039)" (Barquero & Fernandez, 2000).
 - "Medida de la punta-cono de 60°; tolerancia = 1°" (Barquero & Fernandez, 2000).
 - "Dimensión del diámetro base de la punta-cono de 20mm (0,79); tolerancia = 0,25 mm (0,01)" (Barquero & Fernandez, 2000).
- Adicionalmente al DCP, se requiere contar también con el siguiente equipo:
 - "Herramientas para el ensamblaje del DCP" (Barquero & Fernandez, 2000).
 - "Aceite lubricante" (Barquero & Fernandez, 2000).
 - "Herramienta para socar roscas" (Barquero & Fernandez, 2000).
 - "Un formulario para la toma de datos" (Barquero & Fernandez, 2000).

Dependiendo de las circunstancias, puede ser que se requiera contar también con el siguiente equipo, por lo que se recomienda considerarlo:

- Una escala graduada con distancias de 1,0 mm (0,04"), o una barra de medición graduada, más larga que la barra guía más larga, en caso que las barras guía no sean graduadas.

- Un accesorio opcional deslizante para usarlo con una escala separada o una barra graduada de medición.
- Un taladro de percusión o aparato saca núcleos, capaz de taladrar un hueco con un diámetro mínimo de 25 mm (1-in.). Puede requerirse el taladrar un hueco de mayor tamaño, dependiendo del material del subsuelo o de la necesidad de realizar muestreos o pruebas adicionales.
- Una bomba de vacío o succionador de vía húmeda o seca, o alguna otra alternativa viable para remover material suelto y fluidos, en caso que se deba perforar un hueco de acceso antes de realizar el prueba.
- Una fuente de poder de campo para suplir energía a los accesorios mencionados en los puntos anteriores.
- Punta-conos desechables o recambiables.
- Un mazo de masa dual.
- Una gata de extracción, recomendada si no se utilizan punta-cono desechable.

Usos

- "Este método de ensayo se usa para evaluar la resistencia en el sitio de suelos inalterados y/o compactados. La razón de penetración del DCP de 8 kg puede ser usada para estimar el CBR de laboratorio (Razón de Soporte de California), para identificar espesores de capas, la resistencia al corte de estratos de suelo y otras características de los materiales". (Barquero & Fernandez, 2000).
- "Existen otros métodos para DCP con pesos de mazos diferentes y con diferentes tamaños de punta-conos, los cuales tienen correlaciones que son únicas para esos instrumentos". (Barquero & Fernandez, 2000).
- "El DCP de 8 kg se posiciona verticalmente y por esa razón es usado comúnmente en estructuras constructivas horizontales,

tales como pavimentos y losas de piso". (Barquero & Fernandez, 2000).

- "Este instrumento se usa comúnmente para evaluar las propiedades de materiales ubicados hasta 1000 mm (39) por debajo de la superficie. La profundidad de penetración puede ser aumentada usando extensiones de barras. Sin embargo, en caso que se usen extensiones de barras, debe tenerse cuidado a la hora de utilizar los cuadros de correlación para estimar otros parámetros, ya que estas correlaciones sólo son aptas para configuraciones específicas de DCP. La masa y la inercia del dispositivo cambiarán y se producirá fricción por contacto superficial de las extensiones de las barras". (Barquero & Fernandez, 2000).
- "El DCP de 8 kg puede ser usado para estimar los parámetros de soporte de suelos finos y gruesos, materiales granulares de construcción y estabilizaciones pobres. El DCP de 8kg no puede ser utilizado en materiales altamente estabilizados o cementados o para materiales granulares que contengan un alto porcentaje de agregados mayores que 50 mm (2)". (Barquero & Fernandez, 2000).
- "En el caso de materiales ubicados por debajo de capas de materiales altamente estabilizados, el DCP de 8 Kg. puede ser utilizado luego de perforar o cortar un orificio de acceso, en la losa o carpeta". (Barquero & Fernandez, 2000).
- "La medición del DCP en el campo, conduce a una estimación del CBR in situ y normalmente los resultados no establecen una correlación directa con el dato de CBR del laboratorio, en condición saturada. Este ensayo es por lo tanto indicado para

evaluar la resistencia de los materiales en el sitio, bajo las condiciones existentes". (Barquero & Fernandez, 2000).

Tipos

a) Penetrómetro Dinámico.

"La forma más económica y sencilla de ensayar un terreno en profundidad consiste en la hincada de un varillaje con una punta metálica de forma conveniente" (Denoia & Giubileo, 2008). "Los resultados obtenidos se deben de tratar con mucho cuidado debido a que el suelo puede refluir por encima de la punta" (Denoia & Giubileo, 2008). "El varillaje debe de ser de diámetro inferior a la base para así evitar todo lo posible el rozamiento lateral del tren de varillas" (Denoia & Giubileo, 2008).

"El golpeteo es producido por la caída guiada de una masa de peso variable según el Penetrómetro que golpea la cabeza de impacto y transmite el golpe a la punta que va atravesando el terreno según su dureza" (Denoia & Giubileo, 2008).

b) Penetrómetros Estáticos.

"Los Penetrómetros estáticos o pruebas o ensayos de penetración estática son un tipo de ensayos de penetración, empleados en la determinación de las características geotécnicas de un terreno, como parte de las técnicas de reconocimiento de un reconocimiento geotécnico" (Denoia & Giubileo, 2008). "Consisten en hincar una varilla terminada en una punta cónica, materializándose la energía de hincado, mediante gatos generalmente hidráulicos, que proporcionan la fuerza necesaria para profundizar en el terreno" (Denoia & Giubileo, 2008). "La aplicación de esta fuerza requiere una reacción lo suficientemente elevada, que puede venir dada desde el peso propio de la maquinaria hincadora (Penetrómetro en camión),

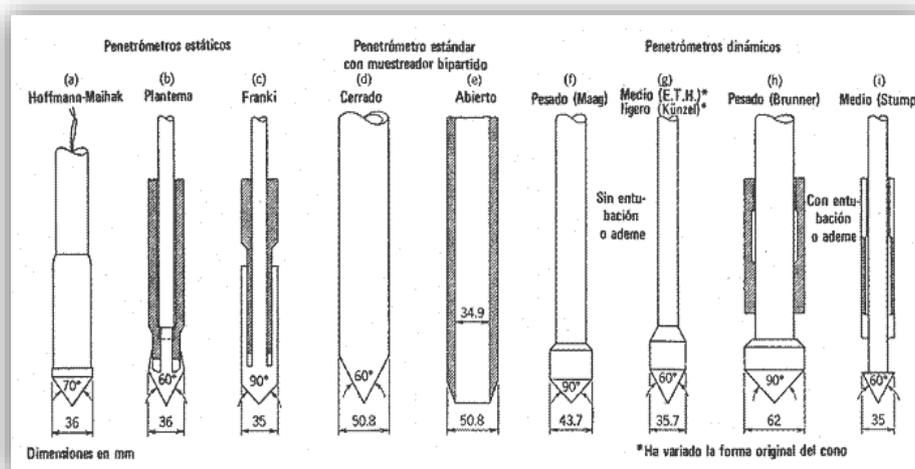
hasta el peso propio de una persona en un terreno con características particulares" (Denoia & Giubileo, 2008).

Ilustración 17: Penetrómetro Mecánico de Punta Cónica.



Fuente: (Denoia & Giubileo, 2008).

Ilustración 18: Ejemplos de Penetrómetros Estáticos y Dinámicos

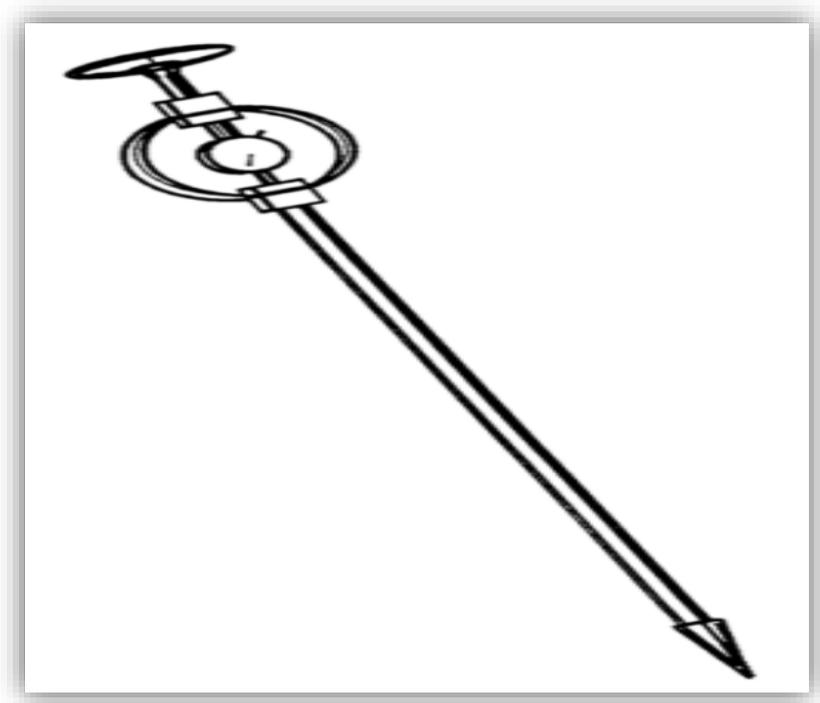


Fuente: (Denoia & Giubileo, 2008)

Penetrómetro de cono CN-973

El Penetrómetro de cono CN-973 es el principal instrumento usado para evaluar la calidad del suelo. Este aparato consiste de un cono de 30 grados, con $\frac{1}{2}$ pulg² (3.22 cm²) de base, 18 pulg (45.72 cm) de extensión de vara, un anillo de prueba y un manipulador.

Ilustración 19: Penetrómetro de Cono CN-973



Fuente: (Denoia & Giubileo, 2008)

Operación

- A. "Inspeccionar el instrumento antes de usarlo, para asegurarse que todas las tuercas, tornillos y uniones estén ajustadas y que la base del contacto del indicador del marcador calibrador, este en contacto con el anillo de prueba". (Denoia & Giubileo, 2008).

- B. "Permita que el Penetrómetro se mantenga vertical a partir de su maniobrador y gire la cara del reloj indicador hasta que el 0 este bajo la aguja. Note que cuando el instrumento se mantiene vertical y se permite descansar en su cono, el marcador registrara cerca de 2.5 libras (1.13 kg) lo cual es el peso total del instrumento cuando la vara de 18 pulg (45.72 cm) es usada". (Denoia & Giubileo, 2008).

- C. "Si las varas de extensión son añadidas, o removidas, reinicia el instrumento de nuevo, tal y como se describe en el paso anterior". (Denoia & Giubileo, 2008).
- D. "Coloca las manos sobre el maniobrador, palmas abajo y aproximadamente a ángulos rectos, para minimizar cargas excéntricas del anillo de prueba y para ayudar a mantener la vara vertical". (Denoia & Giubileo, 2008).
- E. "Aplique fuerza al oprimir el pecho contra las manos hasta que un movimiento hacia abajo, lento y estable ocurra". (Denoia & Giubileo, 2008).
- F. "Tome una lectura del reloj indicador justo cuando la base del cono este en contacto con la superficie del suelo. Continúe con el movimiento lento hacia abajo y tome sucesivas lecturas en intervalos de 3 pulg (7.62 cm) hasta una profundidad de 18 pulg (45.72 cm)". (Denoia & Giubileo, 2008).

NOTA: Un asistente será necesario para registrar las lecturas tomadas por el operador. El operador aprenderá a cambiar su vista de la vara en el suelo al reloj indicador en el momento apropiado, mientras mantiene un grado de penetración constante.

"Una vez ubicado el lugar de ensayo, se ubica el equipo PDC verticalmente sobre un nivel de terreno donde no se encuentre directamente con piedras que obstaculicen el ensayo" (Tupia & Alva, 2001).

"El ensayo de PDC necesita de tres operarios, uno se encarga de mantener la verticalidad y el soporte del equipo, un segundo se encarga del golpe con el martillo y el tercero observa y apunta las medidas" (Tupia & Alva, 2001).

"Al iniciar el ensayo con el penetrómetro se introduce el cono asentándolo 2 en el fondo para garantizar que se encuentre completamente confinado" (Tupia & Alva, 2001).

"El proceso de golpe con el martillo es levantarlo hasta la parte superior del eje de recorrido y dejarlo caer, no debe golpearse la parte superior, tampoco impulsar el martillo hacia abajo" (Tupia & Alva, 2001). "En los formatos de apuntes de las medidas de penetración se indica la profundidad de rechazo del equipo" (Tupia & Alva, 2001).

Precauciones:

- "Mantenga vertical el instrumento" (Denoia & Giubileo, 2008).
- "No intente hacer lecturas mayores que la capacidad del reloj indicador puesto que esto podría sobrecargar el anillo de prueba" (Denoia & Giubileo, 2008).
- "Si la capacidad del reloj indicador es excedida en menos de 18 pulg (45.72 cm) de penetración, haga otra penetración cerca para asegurarse que el cono no está golpeando un fragmento de roca" (Denoia & Giubileo, 2008).
- "Nunca jale al instrumento del anillo, siempre hágalo por la vara" (Denoia & Giubileo, 2008).

Número DCP

"Este número 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" (Viscarra, 2006, p.4).

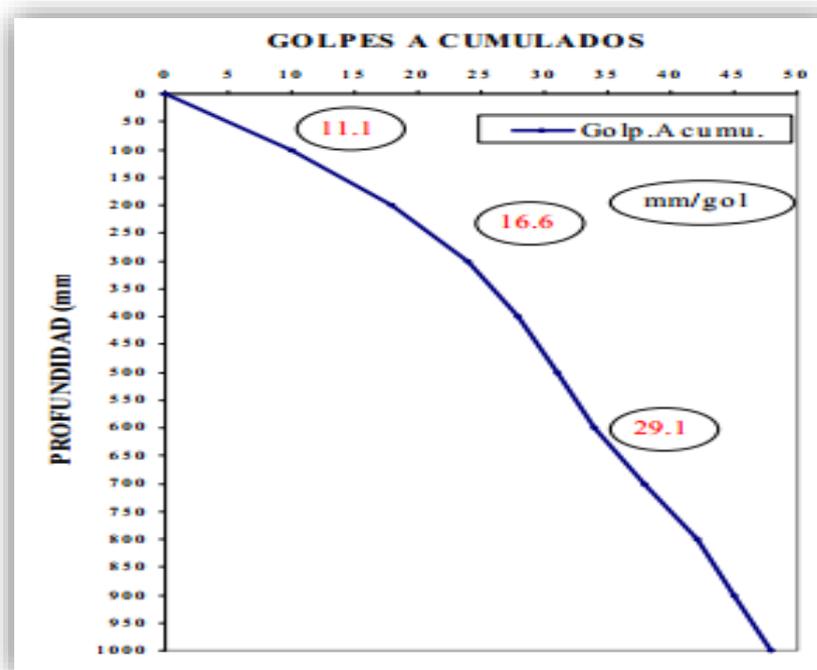
"Asimismo, esta medida de penetración describe la resistencia promedio de un suelo a través de cierta profundidad alcanzada, la cual se determina como el trabajo realizado por el suelo para detener el

cono de penetración, dividido entre la distancia de penetración” (Viscarra, 2006, p.4).

Numero de Golpes VS Profundidad O Curva PDC

“Cada capa homogénea de suelo da lugar a una recta cuya pendiente recibe el nombre de índice de penetración o número PDC, indicando una medida de su resistencia” (Tupia & Alva, 2001).

Ilustración 20: Curva PDC



Fuente: (Núñez, 2014)

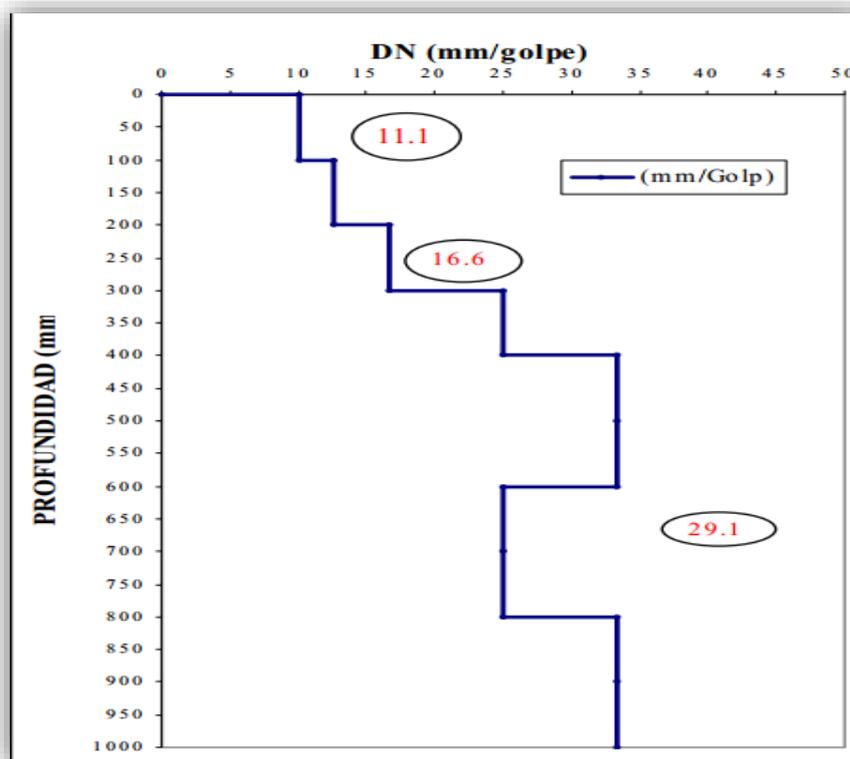
Diagrama Estructural

- “Relaciona el número de PDC con la profundidad. La constancia en dicho número implica uniformidad en el material” (Tupia & Alva, 2001).
- “Y su variación indica modificaciones en las características de humedad, densidad o bien un cambio de estrato de suelo” (Tupia & Alva, 2001). “Este tipo de evaluación nos puede mostrar el cambio que puede adoptar un suelo

cuando se estabiliza o la sectorización del tramo en estudio” (Tupia & Alva, 2001).

- “Si se presentara el caso de variaciones continuas se traza una recta vertical, de tal manera se mantenga el promedio en el espesor de una capa” (Tupia & Alva, 2001).

Ilustración 21: Diagrama Estructural



Fuente: (Núñez, 2014)

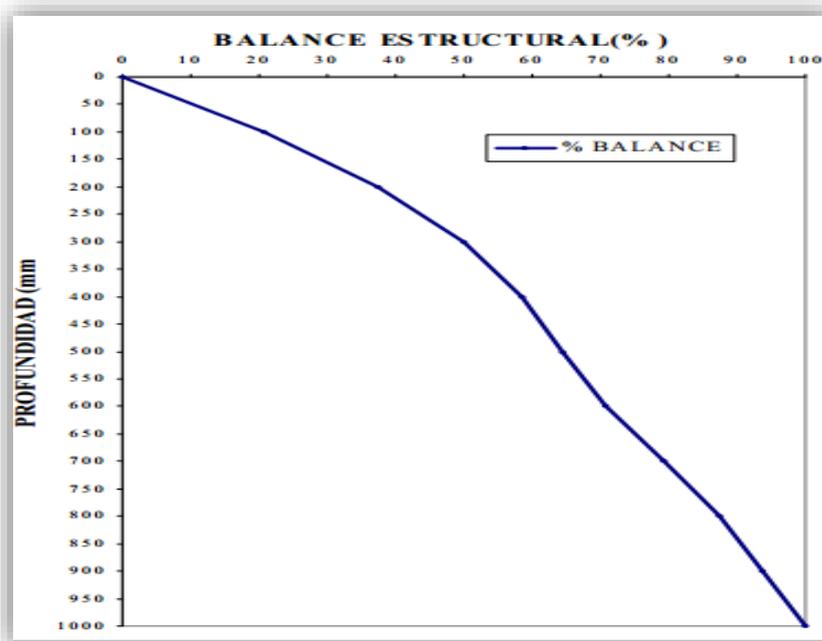
Curva de Balance Estructural

“Relaciona el porcentaje de golpes requeridos para penetrar cierta profundidad, respecto del número total de golpes necesario para penetrar la profundidad evaluada” (Tupia & Alva, 2001).

“Normalmente la capacidad de soporte de un pavimento decrece con la profundidad y si dicha disminución es uniforme se considera

que el pavimento se encuentra estructuralmente equilibrado" (Tupia & Alva, 2001).

Ilustración 22: Balance Estructural



Fuente: (Núñez, 2014)

2.3.1 Suelos:

Definición:

“Se conoce como suelo la parte superficial de la corteza terrestre, conformada por minerales y partículas orgánicas producidas por la acción combinada del viento el agua y procesos de desintegración orgánica” (Universidad de Chile, 2006). “Los suelos no siempre son iguales cambian de un lugar a otro por razones climáticas y ambientales, de igual forma los suelos cambian su estructura, estas variaciones son lentas y graduales excepto las originadas por desastres naturales” (Universidad de Chile, 2006).

Ensayos que se realizan

- Contenido de humedad del suelo.

Razón entre peso del agua y peso del suelo seco de una muestra.

Se expresa en porcentaje:

$$W = \frac{W_w}{W_s} \cdot 100$$

Dónde:

W_w : peso agua.

W_s : peso suelo seco.

- Método de secado al horno

“Este es el método más preciso para obtener el grado de humedad en porcentaje, y consiste en introducir en el horno eléctrico una muestra representativa del suelo en un recipiente de aluminio previamente pesado, al igual que el conjunto (recipiente +suelo)” (Beskid & Martínez, 2004). “El tiempo mínimo de exposición en el horno es de 16 horas, luego del cual se retira el conjunto y se pesa nuevamente para realizar los cálculos correspondientes” (Beskid & Martínez, 2004).

- Análisis Granulométrico.

“El análisis granulométrico de una muestra de suelo consiste en determinar la proporción relativa en peso de los diferentes tamaños de granos, definidos por las aberturas de las mallas utilizadas” (Universidad de Chile, 2006).

Tabla 2: Mallas y Aberturas

Malla	Abertura (mm)	Malla	Abertura (mm)
3"	75.0	#4	4,750
2 ½ "	63.0	#8	2,360
2"	50.0	#10	2,000
1 ½ "	37.5	#30	0,600
1"	25.0	#40	0,425
¾ "	19.0	#50	0,300
1/2"	12.5	#100	0,150
3/8"	9.5	#200	0,074

Fuente: (Universidad de Chile, 2006)

- **Límites de Atterberg.**

“Los límites de Atterberg son ensayos de laboratorio normalizados que permiten obtener los límites del rango de humedad dentro del cual el suelo se mantiene en estado plástico” (Universidad de Chile, 2006). “Con ellos, es posible clasificar el suelo en la Clasificación Unificada de Suelos (Unified Soil Classification System, SUCS)” (Universidad de Chile, 2006). “Fueron originalmente ideados por un sueco de nombre Atterberg especialista en agronomía y posteriormente redefinidos por Casagrande para fines de mecánica de suelos de la manera que hoy se conocen” (Universidad de Chile, 2006). “Para obtener estos límites se requiere remoldear (manipular) la muestra de suelo destruyendo su estructura original y por ello es que una descripción del suelo en sus condiciones naturales es absolutamente necesaria y complementaria” (Universidad de Chile, 2006).

Para realizar los límites de Atterberg se trabaja con todo el material menor la malla #40 (0,42 mm). Esto quiere decir que no solo se trabaja con la parte fina del suelo (< malla #200), sino que se incluye igualmente la fracción de arena fina . (Universidad de Chile, 2006).

- **Límite Líquido.**

“Contenido de humedad del suelo en el límite entre el estado semi-líquido y plástico” (Beskid & Martínez, 2004).

- **Límite plástico**

“Es el contenido de humedad del suelo en el límite entre los estados semi-sólido y plástico” (Beskid & Martínez, 2004).

- **Índice de plasticidad.**

“Es la diferencia entre los límites líquido y plástico, es decir, el rango de humedad dentro del cual el suelo se mantiene plástico: $IP = LL - L$ ” (Beskid & Martínez, 2004).

Clasificación de los suelos

“La clasificación de los suelos suele basarse en la morfología y la composición del suelo, con énfasis en las propiedades que se pueden ver, sentir o medir. A continuación se presentan algunas clasificaciones” (Beskid & Martínez, 2004).

- **Sistema Unificado de Clasificación de Los Suelos (S.U.C.S.)**

“Este sistema fue presentado por Arthur Casagrande como una modificación y adaptación más general a su sistema de clasificación propuesto en 1942 para aeropuertos” (Ixcot, 2008). “Los suelos de partículas gruesas y los suelos de partículas finas se distinguen mediante el cernido del material por el tamiz # 200” (Ixcot, 2008).

Los suelos gruesos corresponden a los retenidos en esa malla y los finos a los que la pasan, y así un suelo se considera grueso si más

del 50 % de las partículas del mismo son retenidas en el tamiz # 200 y fino si más del 50 % son menores que dicho tamiz . (Ixcot, 2008).

“Los suelos se designan por símbolos de grupo. El símbolo de cada grupo consta de un prefijo y de un sufijo” (Ixcot, 2008). “Los prefijos son las iniciales de los nombres ingleses de los seis principales tipos de suelos (grava, arena, limo, arcilla, suelos orgánicos de grano fino y turba), mientras que los sufijos representan subdivisiones en dichos grupos” (Ixcot, 2008).

- **Sistema de Clasificación de la AASHTO.**

“El sistema de clasificación de la AASHTO utiliza un índice de grupo para comparar diferentes suelos en un mismo grupo. El índice de grupo se calcula de acuerdo a la ecuación # 1” (Ixcot, 2008). “El índice encontrado de esa forma se redondea al entero siguiente y se reemplaza entre paréntesis después del número de clasificación correspondiente” (Ixcot, 2008).

“Ecuación para establecer el índice de grupo: **IG= 0.2 * a * 0.005ac + 0.01bd**” (Ixcot, 2008).

Donde:

- a= Porcentaje de material más fino que el tamiz # 200, mayor que el 35% pero menor que el 75%, expresado como un número entero positivo ($1 < a < 40$).
- b= Porcentaje que pasa el tamiz # 200, mayor que el 15% pero menor que el 55%, expresado como un número entero positivo ($1 < b < 40$).
- c= Porción de límite líquido mayor que 40, pero menor que 60, expresado como un número positivo entero ($1 < c < 20$).

d= Porción del índice de plasticidad mayor que 10, pero menor a 30, expresado como un número positivo entero ($1 < d < 20$)

Compactación

La compactación de suelos es el proceso artificial por el cual las partículas de suelo son obligadas a estar más en contacto las unas con las otras, mediante una reducción del índice de vacíos, empleando medios mecánicos, lo cual se traduce en un mejoramiento de sus propiedades ingenieriles . (Lopez, 2009).

- Importancia de la compactación

“La importancia de la compactación de suelos estriba en el aumento de la resistencia y disminución de la capacidad de deformación que se obtiene al someter el suelo a técnicas convenientes, que aumentan el peso específico seco, disminuyendo sus vacíos” (Lopez, 2009).

Resistencia al corte de un suelo

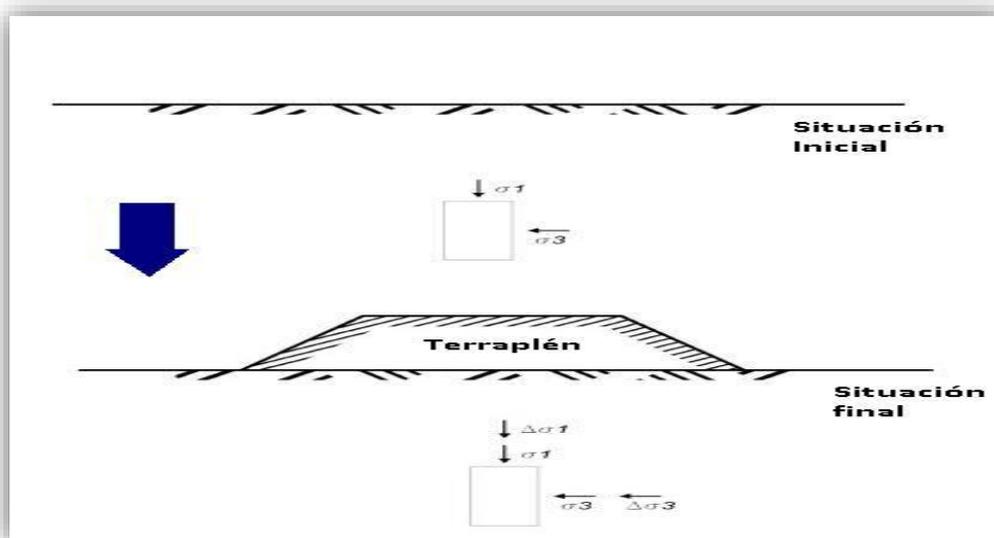
“La propiedad de los suelos soportar cargas y conservar su estabilidad, depende de la resistencia al corte de los suelos. Cualquier masa de suelo se rompe cuando esta resistencia es superada” (González, 2012).

“Siendo tensión de corte sobre el plano de ruptura, en el momento de la ruptura; entre las tres propiedades principales de un suelo la compresibilidad, la permeabilidad y la resistencia al corte; la más importante y más difícil de determinar experimentalmente es esta última las dos primeras propiedades son independientes de la tercera la resistencia de corte depende no solamente de la permeabilidad, sino también de la compresibilidad del suelo”. (González, 2012)

“Se puede afirmar que la resistencia al corte de un suelo se compone básicamente de dos componentes: la cohesión y el ángulo de rozamiento entre las partículas” (González, 2012).

“Se considera ángulo de rozamiento interno de un suelo, al ángulo que las partículas hacen entre sí debido a las fuerzas de rozamiento. La cohesión resulta de la presión capilar del agua contenida en los suelos” (González, 2012). “Puede también deberse a las fuerzas electroquímicas de atracción de las partículas de arcilla. Los parámetros de cohesión y ángulo de rozamiento de un suelo no son constantes de material” (González, 2012). “En la determinación experimental de la resistencia al corte de los suelos hay que reproducir en la práctica tantas veces cuando sea posible, las condiciones a que será sujeto en la realidad por la obra a implantar” (González, 2012).

Ilustración 23: Detalle Representativa de la Resistencia al Corte de un Suelo



Fuente: (González, 2012)

Textura de los Suelos

"La proporción (en porcentaje de peso) de las partículas menores a 2 mm de diámetro (arena, arcilla y limo) existentes en los horizontes del suelo" (Gisbert, Ibáñez, & Moreno, 2006, p.3).

"En edafología las partículas de un suelo se clasifican en elementos gruesos (tamaño de diámetro superior a 2 mm) y elementos finos (tamaño inferior a 2 mm)" (Gisbert et al., 2006, p.3).

Estos últimos son los utilizados para definir la textura de un suelo. "Siguiendo la terminología establecida por la USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América), tenemos las siguientes clases de partículas inferiores a 2 mm de diámetro (\emptyset)" (Gisbert et al., 2006, p.3):

- "Arena muy gruesa: $2 \text{ mm} > \emptyset > 1 \text{ mm}$ " (Gisbert et al., 2006, p.3)
- "Arena gruesa: $1 \text{ mm} > \emptyset > 0.5 \text{ mm}$ " (Gisbert et al., 2006, p.3)
- "Arena media $0.5 \text{ mm} > \emptyset > 0.25 \text{ mm}$ " (Gisbert et al., 2006, p.3)
- "Arena fina $0.25 \text{ mm} > \emptyset > 0.10 \text{ mm}$ " (Gisbert et al., 2006, p.3)
- "Arena muy fina $0.10 \text{ mm} > \emptyset > 0.05 \text{ mm}$ " (Gisbert et al., 2006, p.3)
- "Limo $0.05 \text{ mm} > \emptyset > 0.002 \text{ mm}$ " (Gisbert et al., 2006, p.3)
- "Arcilla $\emptyset < 0.002 \text{ mm}$ " (Gisbert et al., 2006, p.3)

No obstante, a grandes rasgos se clasifica:

- "Arena $2 \text{ mm} > \emptyset > 0,05 \text{ mm}$ " (Gisbert et al., 2006, p.3)
- "Limo $0,05 \text{ mm} > \emptyset > 0,002 \text{ mm}$ " (Gisbert et al., 2006, p.3)
- "Arcilla $\emptyset < 0.002 \text{ mm}$ " (Gisbert et al., 2006, p.3)

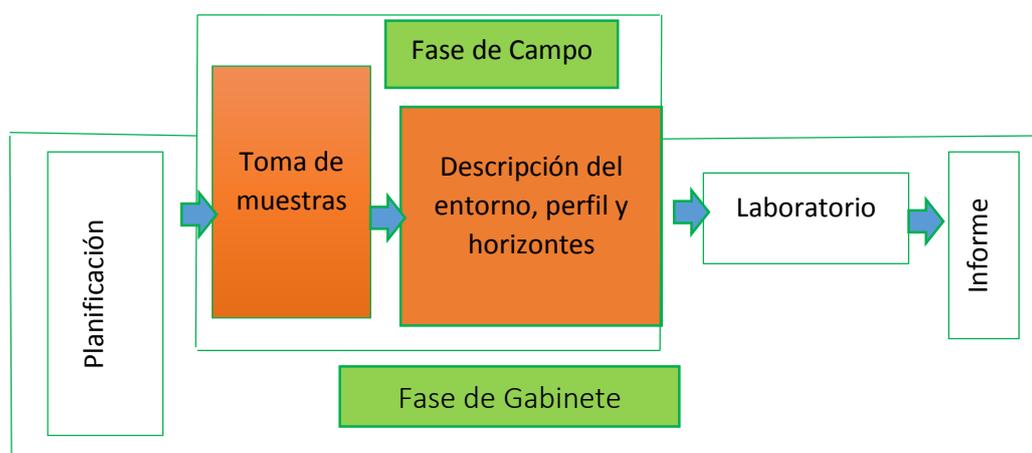
"La textura del suelo, varía de unos horizontes a otros, siendo una característica propia de cada uno de ellos por lo que es tan importante el análisis de los diferentes horizontes del suelo uno a uno" (Gisbert et al., 2006, p.3). "En este sentido, hablar de textura del suelo no es correcto, pues hablamos de la textura de cada uno de los horizontes del suelo" (Gisbert et al., 2006, p.3).

“La determinación de la textura de cada uno de los horizontes del suelo, es un procedimiento que puede realizarse en la fase de descripción de perfil, o bien en la fase de laboratorio” (Gisbert et al., 2006, p.3).

“Para su determinación exacta se usan métodos oficiales de análisis, como es el caso del método del densímetro de Bouyoucos (fase de laboratorio), aunque también se puede realizar de forma indirecta en campo (fase de descripción de perfil)” (Gisbert et al., 2006, p.4). “Este método es menos preciso, pero mediante la formación de una pequeña bola humedecida entre los dedos (con ayuda de una pequeña adición de agua si el suelo está demasiado seco) se pueden determinar las clases texturales” (Gisbert et al., 2006, p.4). “Del comportamiento de esa bolita puede deducirse el contenido en las diversas fracciones. De este modo, cuanto más moldeable sea la bola, mayor proporción de arcilla tendrá” (Gisbert et al., 2006, p.4). “Al mismo tiempo, cuanto menos moldeable sea y mayor fricción se note entre las partículas, la proporción de arena será mayor” (Gisbert et al., 2006, p.4).

“La finalidad de ambos métodos es obtener la clase textural del horizonte, la cual se obtiene mediante los porcentajes de cada una de las clases de partículas, conocidas las cuales, se recurre al diagrama triangular de la USDA” (Gisbert et al., 2006, p.4).

Tabla 3: Estructura del Suelo



Fuente: (Gisbert, Ibáñez, & Moreno, 2006)

2.3.2 Normas técnicas

2.3.4.1. Norma técnica del ensayo CBR de laboratorio.

NTP. 339.145-1999, ASTM D 1883-2009, MTC E 132-2000, AASHTO T 193-2003.

2.3.4.2. Norma técnica del ensayo PDC.

Estados Unidos de Norteamérica con la Norma ASTM D6951-03. Colombia con la Norma INV E172 (2007).

2.3.4.3. Norma técnica de las propiedades de los suelos.

2.3.4.3.1. Normatividad aplicado a los agregados

Tabla 4: Normas AASHTO, ASTM, MTC aplicables para los Suelos

Normatividad			Descripción del ensayo
AASHTO	ASTM	MTC	
	ASTM D420	MTC E 101	Guía para el muestreo de suelos y rocas.
	ASTM D 2216	MTC E 108	Contenido de humedad de los suelos.
AASHTO T 88	ASTM D 422	MTC E 107	Análisis granulométrico de los suelos por tamizado.
	ASTM D 1557	MTC E 115	Relaciones Humedad Densidad
AASHTO T 89	ASTM D 4318	MTC E 110	Limite liquido
AASHTO T 90	ASTM D 4318	MTC E 111	Limite plástico e Índice de plasticidad

Fuente: AASHTO – ASTM - MTC

2.3.4.4. Normas Ambientales.

Las normas ambientales garantizan la prevención de efectos ambientales que se producen por falta de una adecuación ambiental de las personas que elaboran los proyectos de diseño y construcción.

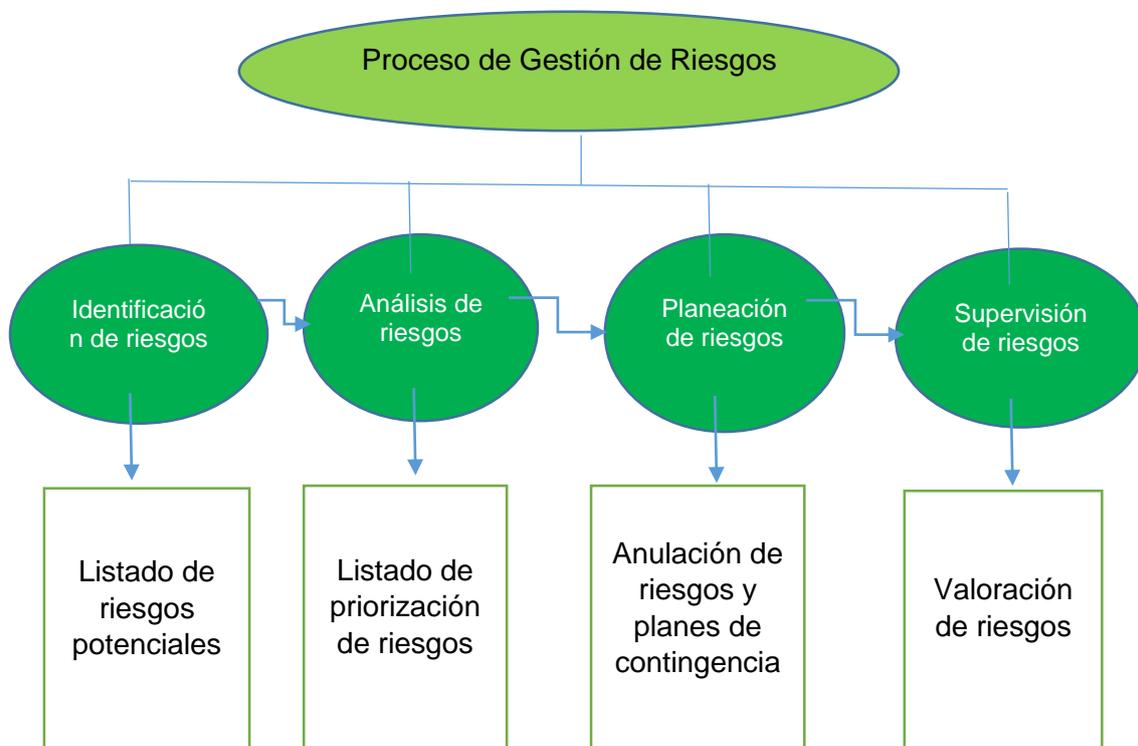
En los estudios de mecánica suelos para el diseño de carreteras, se busca la conservación, defensa, protección y mejora del medio ambiente, mediante una coordinada información multidisciplinar para contrarrestar este problema de pavimentos en mal estado con la investigación planteada; buscando consolidar una visión integral para el manejo de los recursos naturales, gestión y evaluación de los impactos ambientales en este proyecto contemplado en planes de desarrollo, para garantizar decisiones sostenibles y económicamente rentables

2.3.4.5. Normas de Gestión de Riesgos.

Principios básicos para la Gestión del Riesgo – Norma ISO 9001

Esta normativa internacional especifica los requisitos y procesos para un sistema de gestión de riesgos.

Tabla 5: Proceso de Gestión de Riesgos



Fuente: (ICONTEC, 2011)

2.3.4.6. Evaluación Económica.

Análisis costo – efectividad

“El análisis costo efectividad permite definir la factibilidad de las alternativas planteadas del proyecto a ser desarrollado” (INEI, 2011). “Tiene como objetivo fundamental proporcionar una medida de los costos en que incurren en la realización de un proyecto de infraestructura vial, y a su vez comparar dichos costos previstos con los beneficios esperados de la realización de dicho proyecto” (INEI, 2011).

“El análisis Costo-Beneficio, permite definir la factibilidad de las alternativas planteadas o de un proyecto a ser desarrollado” (INEI, 2011).

El análisis Costo/Beneficio involucra los siguientes pasos:

- a. “Recopilar información de fuentes importantes relacionadas con la aplicación del ensayo de Penetración Dinámica de Cono in situ y buscar soluciones adecuadas” (INEI, 2011).
- b. “Cotizar los materiales a utilizar para los diferentes ensayos a realizar” (INEI, 2011).
- c. “Elaborar dos presupuestos de ensayos de CBR laboratorio y PDC in situ, se verificará el beneficio que se obtendrá con el resultado del desarrollo de la investigación” (INEI, 2011).
- d. “Sumar los costos totales para cada ensayo CBR laboratorio y PDC” (INEI, 2011).
- e. “Determinar los beneficios obtenidos con la alternativa optada” (INEI, 2011).
- f. “Poner las cifras de los costos y beneficios totales” (INEI, 2011).

2.4. Definición de términos básicos

California Bearing Ratio (CBR): Mide la resistencia del suelo a la penetración, para lograr una cierta profundidad dentro de una muestra compactada del suelo; comparando la carga vs penetración.

Penetración Dinámica de cono (PDC): Es un método no destructivo que mide la resistencia de los suelos y que consiste en una penetración dinámica por golpes, a través del terreno natural o suelo fundación, levemente cementados. Correlacionado con el CBR en la cual va permitir una estimación rápida del mismo.

Suelos: Es un material terrestre formado por descomposición de un conjunto de rocas de diversas formas y tamaños, así como materia orgánica, bacterias, agua y aire.

Compactación: Consiste en una disminución de los espacios porosos en un suelo; en cual se compacta en capas para aumentar la densidad de sus componentes.

Sub rasante: Es la superficie del camino sobre la cual se apoyará la estructura de un pavimento. Pudiendo estar constituida por el suelo natural del corte o de la parte superior de un relleno debidamente compactado.

Contenido de humedad: Es un ensayo que permite determinar la cantidad de agua en una muestra de suelo al momento de ser extraído, definiéndose como la relación entre el peso del agua y el peso de los sólidos.

Densidad: Es un indicativo de la relación peso por volumen del suelo, y está en relación a la porosidad. A mayor contenido de materia orgánica, más poroso y menos denso será el suelo.

Capacidad de soporte: Sirve para evaluar la calidad relativa del suelo para sub-rasante, sub base y base del pavimento, y soportar las cargas aplicadas sobre él.

Penetración: Evalúa los problemas a través de una determinación de las características geotécnicas de manera sencilla, rápida, y que puede ser hecha directamente sobre el terreno.

Granulometría: Consiste en clasificar la distribución de las partículas de acuerdo a su tamaño, contenidas en una muestra del suelo. También sirve para ver si un suelo puede emplearse en la elaboración de concreto, determinando su tamaño máximo de agregado y dependiendo de sus porcentajes del material retenido por medio del análisis de los tamices a utilizar.

Confiabilidad: La palabra confiabilidad designa la probabilidad de que un sistema cumpla satisfactoriamente con la función para la que fue diseñado, en condiciones establecidas durante un período de tiempo determinado.

Correlación: La correlación determina la relación o dependencia que existe entre las variables que intervienen en un estudio. Se considera que dos variables cuantificables están correlacionadas cuando los valores de una de ellas varían sistemáticamente con respecto a los valores homónimos de la otra

III. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo y diseño de la investigación

3.1.1. Tipo de Investigación:

De acuerdo al fin que se deseó alcanzar, el presente proyecto se clasificó en una Investigación Cuantitativo cuasi – experimental.

3.1.2. Diseño de la Investigación:

El diseño de la investigación utilizada es cuasi - Experimental, porque se realizaron ensayos de los suelos en laboratorio para comparar los resultados de los ensayos del CBR de laboratorio y PDC in situ que cumpla con los parámetros establecidos según la normatividad vigente.

Tabla 6: Cuadro de Diseño de Investigación

PROBLEMA	SOLUCIÓN	LA NUEVA REALIDAD
La confiabilidad de los resultados del Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC) in situ, con respecto al CBR de laboratorio de diseño.	Comparar y correlacionar los resultados del Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC) in situ con respecto al CBR de laboratorio de diseño.	-Reducción de problemas ambientales como: Calicatas. -Explorar las propiedades del suelo. -Inspeccionar los pavimentos existentes.

Fuente: (Elaboración propia)

3.2. Población y muestra:

La población fueron las calles de estudio, que comprendieron:

- Calle Real.
- Calle Santa Rosa.
- Calle Congreso.

La muestra fueron las 9 calicatas, en la cual se realizaron los ensayos de Penetración Dinámica de Cono (PDC) in situ y California Bearing Ratio (CBR) de laboratorio. (**Ver ANEXO N°2**)

3.3. Hipótesis:

Los resultados del ensayo del Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC) in situ son confiables con respecto al California Bearing Ratio (CBR) laboratorio de diseño en la localidad de Pisci.

3.4. Variables:

Variable Independiente: Suelo.

Suelo:

Es un material terrestre formado por descomposición de un conjunto de rocas de diversas formas y tamaños, así como materia orgánica, bacterias, agua y aire

Variable Dependiente: California Bearing Ratio (CBR) De Laboratorio – Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC) in situ.

California Bearing Ratio (CBR) De Laboratorio:

Mide la resistencia del suelo a la penetración, para lograr una cierta profundidad dentro de una muestra compactada del suelo; comparando la carga vs penetración

Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC) in situ:

“Es un método no destructivo que mide la resistencia de los suelos y que consiste en una penetración dinámica por golpes, a través del terreno natural o suelo fundación, levemente cementados”

3.5. Operacionalización

Tabla 7: Operacionalización de Variable Independiente

VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	SUBÍNDICES	ÍNDICE	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	INSTRUMENTO DE MEDICIÓN
INDEPENDIENTE							
Suelo	Propiedades	Contenido de humedad	Agua	%	Observación	Guía de observación.	Balanza.
		Granulometría	Agreg. Fino	mm	Observación	Guía de observación.	Juego de Tamices
			Agreg. Grueso	mm	Observación	Guía de observación.	Juego de Tamices
		Compactación	Densidad - OCH	Kg/cm ³ - %	Observación	Guía de observación.	Juego de Tamices
	Normatividad	MTC (E-107)	Análisis Granulométrico.	mm	Observación	Guía de observación.	Juego de Tamices
		MTC (E-108)	Contenido de humedad.	%	Observación	Guía de observación.	Juego de Tamices
		MTC (E-115)	Relaciones de densidad humedad	Kg/cm ³ - %	Observación	Guía de observación.	Juego de Tamices

Fuente: Modelo del Área de Investigación Universidad Señor de Sipán.

Tabla 8: Operacionalización de la Variable Dependiente

VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	SUBÍNDICES	ÍNDICE	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	INSTRUMENTO DE MEDICIÓN
DEPENDIENTE							
California Bearing Ratio (CBR) de laboratorio.	Propiedades	Capacidad de soporte del suelo bajo condiciones de humedad y densidad.	--	mm/ kg	Observación	Guía de observación.	Método de CBR de laboratorio.
	Normatividad	MTC (E-132)	Relaciones de penetración - carga	mm/ kg	Observación	Guía de observación.	Método de CBR de laboratorio.
Penetración Dinámica de Cono (PDC) in situ.	Propiedades	Resistencia a la penetración del suelo por medio de golpes.	--	mm / #golpes	Observación	Guía de observación.	Penetrómetro Dinámico de Cono
	Normatividad	ASTM D6951-03	Relaciones de penetración – número de golpes.	mm / #golpes	Observación	Guía de observación.	Método PDC in situ.

Fuente: Modelo del Área de Investigación Universidad Señor de Sipán

3.6. Abordaje, técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.6.1. Abordaje metodológico.

Analítica

“Se empleó este método, ya que nos permitió realizar un profundo análisis de las variables (independientes y dependientes), procediendo de lo simple a lo compuesto, de las partes al todo y del principio a las consecuencias” (Hernández, Fernández, & Baptista, 2006).

Cuasi experimental

“Se empleó este método, ya que por medio de este tipo de investigación nos permitió aproximarnos a los resultados de una investigación experimental en situaciones en las que no es posible el control y manipulación absolutos de las variables” (Hernández et al., 2006).

3.6.2. Técnicas de recolección de datos:

Observación:

“Esta técnica permitió obtener datos cuantitativos, características, comportamientos y diversos factores que presenta el objeto de estudio de nuestra investigación”

3.6.3. Instrumentos de recolección de datos

Guía de Observación:

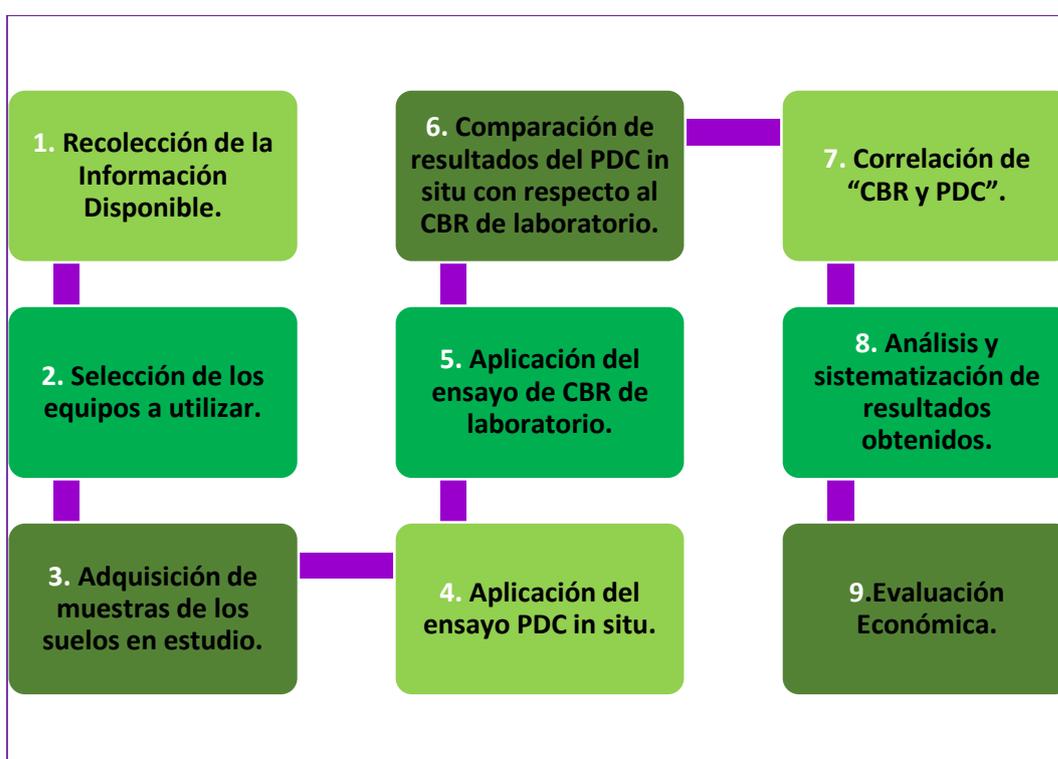
“Se utilizó los formatos requeridos para completar los datos según cada ensayo que se realizó en el laboratorio de mecánica de suelos, en

la cual se observó los fenómenos ocurridos en el laboratorio y en campo, así mismo se procedió a describir las anotaciones correspondientes. (Ver ANEXO N°3).

3.7. Procedimiento para la recolección de datos

3.7.1. Diagrama de Flujo de Procesos

Tabla 9: Diagrama de Flujos



Fuente: Elaboración Propia

3.7.2. Descripción de los procesos

1. Recolección de la Información Disponible.

Consistió en la recolección de información utilizable y adecuada de las distintas investigaciones realizadas a nivel internacional y nacional; basándose en normativas, tesis, artículos científicos, entre otros tipos de fuentes relacionados con el nombre

del presente trabajo que ayudaron a entender los datos y resultados que se obtuvieron durante la elaboración de la investigación.

Dicha investigación comprendió desde las características del terreno de estudio, hasta las situaciones en las cuales se llevó a cabo los ensayos”

2. Selección de los equipos a utilizar.

Se seleccionaron los equipos dependiendo de los ensayos que se utilizaron ya sea in situ o en laboratorio, en la cual contó con los parámetros que permitió determinar las propiedades y comportamientos del suelo de acuerdo a las tipologías requeridas, en la cual se obtuvo resultados óptimos en base a la norma vigente.

3. Adquisición de muestras de los suelos en estudio.

Consistió en la adquisición de muestras de los suelos de las distintas calles de la localidad de Picsi – Chiclayo: Real, Santa Rosa y Congreso, las cuales solo cuenta con la existencia de un terreno perfilado y polvoriento en condiciones inadecuadas. Este muestreo se desarrolló en los puntos de exploración que se seleccionaron y se extrajeron de las calles antes mencionas a nivel de sub rasante.

4. Aplicación del Ensayo PDC in situ.

La aplicación del ensayo Penetrómetro Dinámico Cónico (PDC) in situ, consistió en la realización de 9 calicatas que comprendieron las calles: Real, Santa Rosa y Congreso, donde se extrajeron las muestras para el laboratorio de la Universidad Señor de Sipán.

El ensayo de Penetración Cónica Dinámica comprendió los siguientes pasos:

- Se ubicaron los puntos de Investigación.



Fuente: Toma Propia

- Después de haber ubicado los puntos de Investigación, se realizaron las excavaciones de las 9 calicatas a nivel se sub rasante.



Fuente: Toma Propia

- Se realizó la limpieza de terreno, ya que existió una capa contaminante o relleno de sólidos.



Fuente: Toma Propia



Fuente: Toma Propia

- Se ensambló el instrumento del PDC en el lugar del ensayo, garantizando que la penetración sea de manera perpendicular al terreno.



Fuente: Toma Propia



Fuente: Toma Propia

- El ensayo de PDC in situ se necesitó de tres operarios, el primer operario se encargó de mantener la verticalidad y el soporte del instrumento, el segundo se encargó del golpe

con el martillo y el tercero observó y anotó las medidas en el formato de campo.



Fuente: Toma Propia



Fuente: Toma Propia

- El proceso del ensayo comprendió en levantar el martillo hasta la parte superior del eje de recorrido y dejarlo caer (caída libre), no debiéndose impulsar el martillo hacia abajo.



Fuente: Toma Propia

- Se anotó las medidas de profundidad y penetración del instrumento.



Fuente: Toma Propia

5. Aplicación del Ensayo de laboratorio del CBR.

Ensayo de CBR de laboratorio.

La aplicación del ensayo California Bearing Ratio (CBR) de laboratorio, consistió en la realización de 9 ensayos con las muestras extraídas de campo que se llevaron al laboratorio de la USS, a las cuales también se determinó su contenido de humedad, límites de consistencia y granulometría.

En el laboratorio se llevaron a cabo los siguientes procedimientos:

- Se determinó el ensayo contenido de humedad para las 9 muestras de las diferentes calicatas especificado en el MTC E 108.



Fuente: Toma Propia

- Se realizó el ensayo de granulometría especificado en por el Ministerio de transportes y comunicaciones (MTC) con el

ensayo MTC E 107 Análisis granulométrico de suelos por tamizados.



Fuente: Toma Propia

- Así mismo se determinó el límite líquido de los suelos MTC E 110 y el límite plástico e índice de plasticidad con lo especificado del MTC E 111, que nos sirvió para clasificar los suelos por SUSC y AASHTO.

Limite líquido



Fuente: Toma Propia

Limite Plástico



Fuente: Toma Propia

- Respecto a las muestras de cada calicata se dejó por 24 horas secarlo expuesto al aire libre.



Fuente: Toma Propia

- Al siguiente día empezamos a triturar la muestra secada, quedando en un tamaño mínimo. Luego se tamizaron las muestras, para lo cual se hizo uso de las mallas (Nº4, Nº3/4", Nº2").



Fuente: Toma Propia

- Se procedió a pesar el material retenido en el tamiz. De cada muestra se extrajo una porción de al menos 5.5 kg; en la cual se almacenó las muestras en bolsas con su respectiva identificación y planilla de registro. (4 – 5 porciones de 5.5kg para el Próctor modificado y 3 porciones de 5.5kg para el CBR.)



Fuente: Toma Propia

- Luego se procedió a la determinación de la relación Humedad Densidad (Próctor Modificado) que se especifica en el MTC E 115.
- De cada muestra se le agrega agua mediante una probeta hasta alcanzar el óptimo contenido de humedad. Luego se empieza amasar, luego lo colocamos en bolsas para que mantenga su humedad. (5 muestras de 5.5kg por calicata, siendo 45 muestras en total)



Fuente: Toma Propia



Fuente: Toma Propia

- Al siguiente día de las 5 muestras de cada calicata, en una bandeja se esparció el material, la cual se dividió en 5 partes, y se cubrió con una bolsa las muestras para mantener su humedad durante la realización del ensayo.



Fuente: Toma Propia

- Seguidamente se procedió a realizar los 56 golpes por cada capa.



Fuente: Toma Propia

- Después de haber realizado las 5 capas, se procedió a enrazar para luego ser pesado; en una tara se extrajo una porción de material, que fue pesado y llevado al horno.



Fuente: Toma Propia



Fuente: Toma Propia

- Primero se calibro el diámetro y alturas de los moldes a utilizar para el CBR de laboratorio.



Fuente: Toma Propia

- Al siguiente día de las 3 muestras de cada calicata se le agrego el óptimo contenido de humedad dejándose cubierto por medio de bolsas en un periodo de 24 horas. Luego en una bandeja se esparció el material.



Fuente: Toma Propia

- Una vez armada el molde se colocó un papel filtro encima de las pesas, luego por cada capa (5 capas en total) se va compactando ya sea por medio de 56, 25 o 12 golpes.



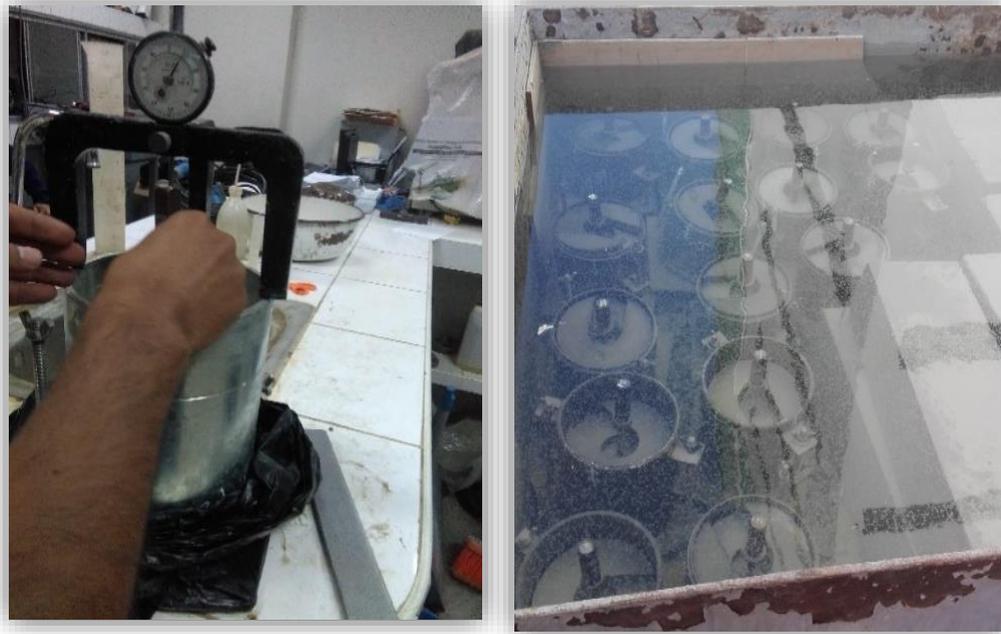
Fuente: Toma Propia

- Una vez compactado se enraso y se pesó el molde más muestra, al final se agregó el papel filtro y después las sobrecargas.



Fuente: Toma Propia

- Luego se hicieron las lecturas por medio del dial, anotando el tiempo 0 horas, previamente se calibro el dial con el trípode, (con los moldes en el agua por 4 días, la cual se debe realizar lecturas en el transcurso de esos días)



Fuente: Toma Propia

- Luego se extrajo los moldes del recipiente con agua, y se dejó por 15 minutos reposar y luego se pesa antes de realizar la penetración.



Fuente: Toma Propia

- Luego cada muestra se va colocando en el equipo del CBR de laboratorio para hacer las mediciones respectivas.



Fuente: Toma Propia

- Una vez realizada las lecturas de penetración del CBR se extrae una porción de muestra, se pesa para llevar al horno y sacar su contenido de humedad por cada espécimen.



Fuente: Toma Propia



Fuente: Toma Propia

- Luego se obtuvieron el valor de resistencia del suelo CBR, para la presente investigación se trabajó con el 95 % de la Máxima Densidad Seca y para el 0.1" y el 0.2" de penetración como especifica la normativa peruana.

6. Comparación de resultados del PDC in situ con respecto al CBR de laboratorio.

De los 9 ensayos realizados en las distintas calles de la localidad de Picsi- Chiclayo, se analizaron haciendo uso de diversos métodos y técnicas. Los ensayos mencionados, se compararon y comprobaron que el ensayo del PDC in situ es más práctico y ligero al momento de aplicarse en campo, obteniéndose datos y resultados inmediatos, procesándose en hoja de cálculo de Excel, en cambio el CBR de laboratorio requiere de un proceso que demanda más tiempo y precauciones al ejecutarse.

En ambos ensayos se obtiene la resistencia a la penetración del suelo ensayado, tanto in situ como en laboratorio, el PDC in situ se obtiene el

Número de PDC y el CBR de laboratorio % de máxima densidad seca al 95%.

7. Correlación de “CBR de laboratorio y PDC in situ”.

Una vez determinado todos los resultados del ensayo de Penetración Dinámica de Cono in situ (variable dependiente), y el CBR laboratorio (variable dependiente), se realizó una gráfica, colocando en el eje de las ordenadas el número de PDC (mm/golpes) obtenidas de la curva de PDC del suelo a estudiar, y en el eje de las abscisas el valor CBR laboratorio de diseño.

Realizado el gráfico, mediante una regresión polinómica se obtuvo una línea de tendencia que accedió a la evaluación del valor CBR de laboratorio mediante el número PCD in situ. De esa manera demostramos una ecuación de correlación entre los resultados de los ensayos de resistencia PDC in situ con CBR de laboratorio, de los diferentes tipos de suelos estudiados, en la cual mediante esta ecuación permitió determinar el CBR de diseño.

8. Análisis y sistematización de resultados obtenidos.

Una vez obtenidos los datos entre ambos ensayos, se analizó y se procesó detalladamente los resultados finales, en la cual se logró una correlación entre las variables dependientes como lo son el (CBR) de diseño de laboratorio y el (PDC) in situ, determinándose de esa manera conclusiones relacionados a los objetivos trazados en la investigación.

9. Evaluación Económica.

Se evaluó los costos tanto del equipo del (PDC) in situ y el equipo del (CBR) de laboratorio, que incurrieron en la realización durante el desarrollo de la investigación, y a su vez se comparó dichos presupuestos previstos con los beneficios esperados, comprobándose la confiabilidad de los

resultados, utilidades, su uso operacional y su bajo costo al emplearse el ensayo Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC) in situ con respecto al ensayo California Bearing Ratio (CBR) de laboratorio.

Equipos, materiales e instrumentos

Tabla 10: Equipos, Materiales e Instrumentos

ENSAYO	INSTRUMENTOS O EQUIPOS
Contenido de Humedad	Horno de secado, Balanzas, Recipiente.
Análisis Granulométrico por Tamizado	Juego de tamices (3', 2 ½', 2', 1 ½', 1', ¾', ½', 3/8', ¼', No 4, No 10, No 20, No 40, No 60, No 140, No200)
Límite Líquido, Límite Plástico e Índice Plástico	La copa de Casagrande, Cápsulas de evaporación, Horno de secado
Próctor Modificado	Balanza, Moldes, Pisón, Horno de secado, Regla, Tamices, Herramientas de mezcla.
California Bearing Ratio (CBR) de laboratorio.	Prensa, Molde, Disco espaciador, Pisón de compactación, Placa de metal perforada, Trípode, Pesas, Pistón de penetración, 2 diales con recorrido mínimo de 2.5 cm, Tanque, Estufa, Balanzas, Tamices, Misceláneos.
Penetración Dinámica de Cono (PDC) in situ.	Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC)

Fuente: Elaboración Propia

MATERIALES

Los materiales necesarios para el desarrollo del presente trabajo fueron: Las muestras de suelo de las calles estudiadas de la localidad de Picsi.

INSTRUMENTOS

Programa MICROSOFT EXCEL 2013.

Programa MICROSOFT WORD 2013.

3.7.3. Recursos humanos

Técnico de Laboratorio	1
Ingeniero especialista en Pavimentos	1
Estudiantes	2

Fórmulas

Tabla 11: Formulas

ENSAYO	FÓRMULAS
Contenido de Humedad.	Dónde: W _w : peso agua. W _s : peso suelo seco. <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; display: inline-block; margin-left: 20px;"> $W = \frac{W_w}{W_s} \cdot 100$ </div>
Análisis Granulométrico por Tamizado	Porcentaje de material que pasa por el tamiz de 0,074 mm (N° 200) <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; margin-top: 5px;"> $\% \text{Pasa } 0.074 = \frac{\text{Peso Total} - \text{Peso Retenido en la tamiz de } 0.074, \text{ mm}}{\text{Peso Total}} \cdot 100$ </div>
Análisis Granulométrico por Tamizado	Porcentaje retenido <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; margin-top: 5px;"> $\% \text{Re tenido} = \frac{\text{Peso retenido en la tamiz}}{\text{Peso Total}} \cdot 100$ </div>
	Porcentaje más fino. <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; margin-top: 5px;"> $\% \text{ Pasa} = 100 - \% \text{ Retenido acumulado}$ </div>
Límite Líquido , Límite Plástico e Índice Plástico	Límite plástico <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; margin-top: 5px;"> $\text{Límite Plástico} = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo secado al horno}} \cdot 100$ </div>
	índice de plasticidad <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; margin-top: 5px;"> $\text{I.P.} = \text{L.L.} - \text{L.P.}$ </div>
	Peso Unitario Seco <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; margin-top: 5px;"> $\rho_m = \frac{(M_t - M_{md})}{1000 * V}$ </div>

Próctor Modificado	Donde: ρ_m = Densidad Húmeda del espécimen compactado (Mg/m^3) M_t = Masa del espécimen húmedo y molde (kg) M_{md} = Masa del molde de compactación (kg) V = Volumen del molde de compactación (m^3)	
	Donde:	$\rho_d = \frac{\rho_d}{1 + \frac{W}{100}}$
	ρ_d = Densidad seca del espécimen compactado (Mg/m^3) w = contenido de agua (%) $\gamma_d = 62,43$ pd en lb/ft^3 $\gamma_d = 9,807$ pd en kN/m^3 γ_d = peso unitario seco del espécimen compactado.	
	Donde:	$W_{sat} = \frac{(\gamma_w)(G_s) - \gamma_d}{(\gamma_d)(G_s)} \times 100$
W_{sat} = Contenido de agua para una saturación completa (%). γ_w = Peso unitario del agua $62,43$ lb/ft^3 ó $(9,807kN/m^3)$. γ_d = Peso unitario seco del suelo. G_s = Gravedad específica del suelo.		
California Bearing Ratio de laboratorio	$\% \text{ de agua a añadir} = \frac{H - h}{100 + h} \times 100$	$\% \text{ de expansión} = \frac{L2 - L1}{127} \times 100$
	Dónde: H = Humedad prefijada h = Humedad natural	Dónde: $L1$ = Lectura inicial en mm. $L2$ = Lectura final en mm.
Penetrómetro Dinámico De Cono.	$NPDC = \frac{P}{G}$	
Donde: $NPDC$ = Número de PDC (mm/golpe) P = Profundidad (mm). G = numero de golpes para alcanzar dicha profundidad. $NPDC$ = Pendiente de la curva PDC.		

Fuente: Elaboración Propia

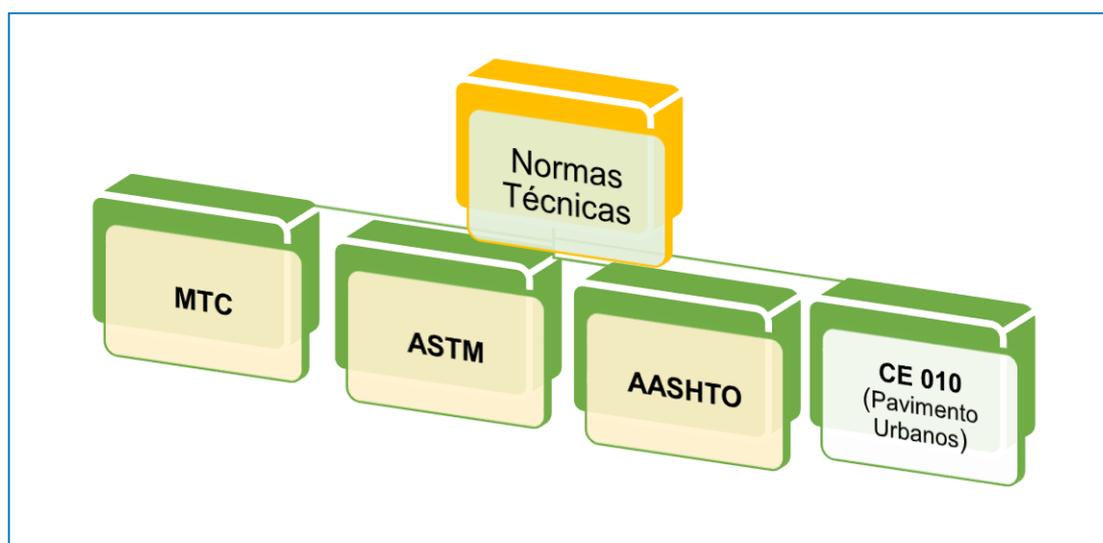
3.7.4. Diseño:

Las propuestas del diseño se obtuvieron después de analizar los resultados obtenidos en los ensayos realizados en laboratorio, teniendo en cuenta que estas propuestas han sido viables económica, social, y ambientalmente

3.1.1. Normatividad:

“La normatividad que rigió todos los ensayos tanto para el (CBR) de laboratorio y (PDC) in situ, se estableció mediante los parámetros en base a las siguientes normas: MTC, ASTM, AASHTO y un análisis breve de CE 010(Pavimentos Urbanos)”.

Ilustración 24: Normatividad



Fuente: Elaboración Propia

MTC (Ministerio de Transportes y Comunicaciones)

Institución encargada de diseñar y aplicar políticas y estrategias para integrar racionalmente al país con vías de transportes y servicios de comunicaciones; teniendo como referencia lo siguiente: MTC (E-107), MTC (E-108), MTC (E-115) para la variable independiente: Suelos. MTC

(E-132) para la variable dependiente: California Bearing Ratio (CBR) de laboratorio

ASTM (American Society for Testing and Materials)

“Las normas de ASTM International se usan en investigaciones y proyectos de desarrollo, sistemas de calidad, comprobación y aceptación de productos y transacciones comerciales por todo el mundo. Son unos de los componentes integrales de las estrategias comerciales competitivas de hoy en día. Teniendo como referencia lo siguiente:”

ASTM (D1883) para la variable dependiente: California Bearing Ratio (CBR) de laboratorio.

ASTM (D6951) para la variable dependiente: Penetración Dinámica de Cono (PDC) in situ.

AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials)

“Es un órgano que establece normas, publica especificaciones y hace pruebas de protocolos y guías usadas en el diseño y construcción de autopistas en todo los Estados Unidos. Teniendo como referencia lo siguiente: AASHTO (T193) para la variable dependiente: California Bearing Ratio (CBR) de laboratorio”

NTE - CE 010 (Pavimento Urbano)

“Esta Norma tiene por objeto establecer los requisitos mínimos para el diseño, construcción, rehabilitación, mantenimientos, rotura y reposición de pavimentos urbanos, desde los puntos de vista de la Mecánica de Suelos y de la Ingeniería de Pavimentos, a fin de asegurar la durabilidad, el uso racional de los recursos y el buen comportamiento

de aceras, pistas y estacionamientos de pavimentos urbanos, a lo largo de su vida de servicio. Teniendo como referencia lo siguiente:"

NTP (339.145) para la variable dependiente: California Bearing Ratio (CBR) de laboratorio.

3.7.5. Gestión de Riesgos:

Para la elaboración de nuestra investigación en base a la realización de los ensayos se tuvo en cuenta los posibles criterios de éxito, lo cual fueron elementos claves en la evaluación de riesgos, siendo indispensable poder contar con una metodología y ciertas herramientas para prevenir los efectos que podrían originarse las cuales mencionaremos a continuación:

- 1.- Se utilizó los equipos (CBR) de laboratorio y (PDC) in situ, mediante el uso de los implementos necesarios (gafas, mascarillas, guantes, casco, botas, ropa de trabajo), lo cual fueron necesarios durante la realización de estos ensayos.
- 2.-Se tuvo un mayor cuidado en el almacenamiento, movilización y manejo tanto de los equipos como de las muestras obtenidas in situ en la cual cumplió con las exigencias normativas.

3.7.6. Gestión Ambiental:

"En nuestra investigación cuasi experimental se basó a través de un conjunto de acciones encaminadas a lograr la máxima racionalidad en el proceso de decisión relativo a la conservación, defensa, protección y mejora del medio ambiente, mediante una coordinada información multidisciplinar; en la cual se buscó consolidar una visión integral para el manejo de los recursos naturales, gestión y evaluación de los impactos ambientales en este proyecto contemplado en planes de desarrollo, para garantizar decisiones sostenibles y económicamente rentables"

3.8. Análisis estadístico e interpretación de datos

3.8.1. Enfoque cualitativo

Se contempló los objetivos en base a los estudios de documentaciones adquiridos de distintas fuentes de información ya sea en la Escuela de Ingeniería Civil, la Norma ASTM y AASHTO, Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC); mediante el cual nos facilitó y permitió conocer cuantificaciones durante la realización de esta investigación.

3.8.2. Enfoque cuantitativo

Mediante la estadística descriptiva se empleó lo siguiente: promedios, valores máximos y mínimos, desviación estándar, coeficiente de correlación de Pearson, análisis de regresión lineal, método de los promedios, intervalo de confianza y de otros métodos estadísticos que permitió la determinación de los ensayos aplicados en esta investigación. También se hizo uso del software de Microsoft office Excel.

3.9. Principios éticos

3.9.1. Ética de la recolección de datos:

Se basó en la búsqueda de fuentes relacionadas con el tema de tesis durante el procesamiento de datos, analizándose sus resultados mediante el rigor ético y metodológico. Los criterios de credibilidad, confiabilidad, adecuación, verificabilidad y aprobación fueron considerados en la investigación, permitiendo la validez del estudio, en la cual esta fuente informativa pueda favorecer como pautas para los futuros investigadores ayudando a evitar equívocos, tanto en el diseño como en el análisis, así como en la presentación de los datos y en el informe de la indagación cuasi experimental.

3.9.2. Ética de la publicación

La vigente investigación cuasi experimental se basó en la contribución de nuevos e interesantes informaciones y resultados confiables, referenciada de estudios aprobados, y sobre todo basándose de Normas NTP, MTC, ASTM Y AASHTO con relación a temas similares de infraestructura vial, por lo cual será debidamente expuesto en la biblioteca de nuestra universidad Señor de Sipán; con la finalidad de no hacer copia y pega de otros autores sino darle valor a nuestra fuente informativa propia y adecuada, y así pueda combatir con la mala estabilidad del pavimento ante esfuerzos causados por los vehículos.

3.9.3. Ética de la aplicación

Este estudio realizado, permitirá contribuir en la realización de futuras investigaciones relacionadas con este tema, forjando beneficios vinculadas con responsabilidades técnicas de lealtad y honestidad que hacen fundamental de la ética profesional, promoviendo y defendiendo la integridad, el honor y la dignidad de su profesión, considerando como guía el código ético del ingeniero civil a cargo del Colegio de Ingenieros del Perú (CIP) en el cual se establece como compatibilizar las referencias que existen en el Código de Ética y los otros Reglamentos o Normas del (CIP).

3.10. Criterios de rigor científico

- Validez

Corresponde a la interpretación correcta de los resultados obtenidos, convirtiéndose en un soporte fundamental y cuidado exhaustivo del proceso metodológico, de modo que la investigación realizada se hace creíble; instituyendo estudios concretos y sistemáticos de cómo se han recolectado y tratado los datos, accediendo a que otros investigadores puedan examinar si los resultados adquiridos son válidos o no en otras situaciones similares.

- Generalidades

Por medio de la observación a las distintas calles de estudio de la localidad de Pícsi, se permitió obtener datos cuantitativos, características, comportamientos y diversos factores que permitieron la realización de esta investigación, ya que se trató de un estudio comparativo de los ensayos tanto en laboratorio como in situ teniendo en cuenta que nuestros muestreos fueron adecuadamente seleccionados para dicho procesamiento durante la verificación de los resultados.

- Fiabilidad

La validez del estudio realizado da como resultado el grado de confiabilidad con que se detalla el fenómeno investigado, que se realizó mediante los ensayos in situ (PDC) y (CBR) de laboratorio; la manera como se obtuvieron los datos, la captación de los sucesos y las experiencias desde diferentes puntos de vista, la comparación e interpretación de la realidad a partir de los criterios de rigor y éticos, el cuidado durante la exploración permanentemente de los hallazgos y la manera de cómo se contó con todos los instrumentos necesarios durante la realización de dichos ensayos; ofrecerá al futuro investigador credibilidad, certificación y seguridad en sus resultados.

- Replicabilidad

Con este criterio científico nuestro estudio fue sometido a distintos elementos que permitieron contribuir con el proceso y verificación de los datos adquiridos; en la cual se refiere a la posibilidad de reproducir en forma clara y consistente los resultados de la investigación cuasi experimental siempre en cuando sostengan las mismas observaciones hechas al mismo tiempo y se pueda obtener de nuevo en un momento posterior, si todas las demás condiciones realizadas son las mismas, teniendo en cuenta los objetivos trazados y sobre todo la evaluación económica de nuestro proyecto.

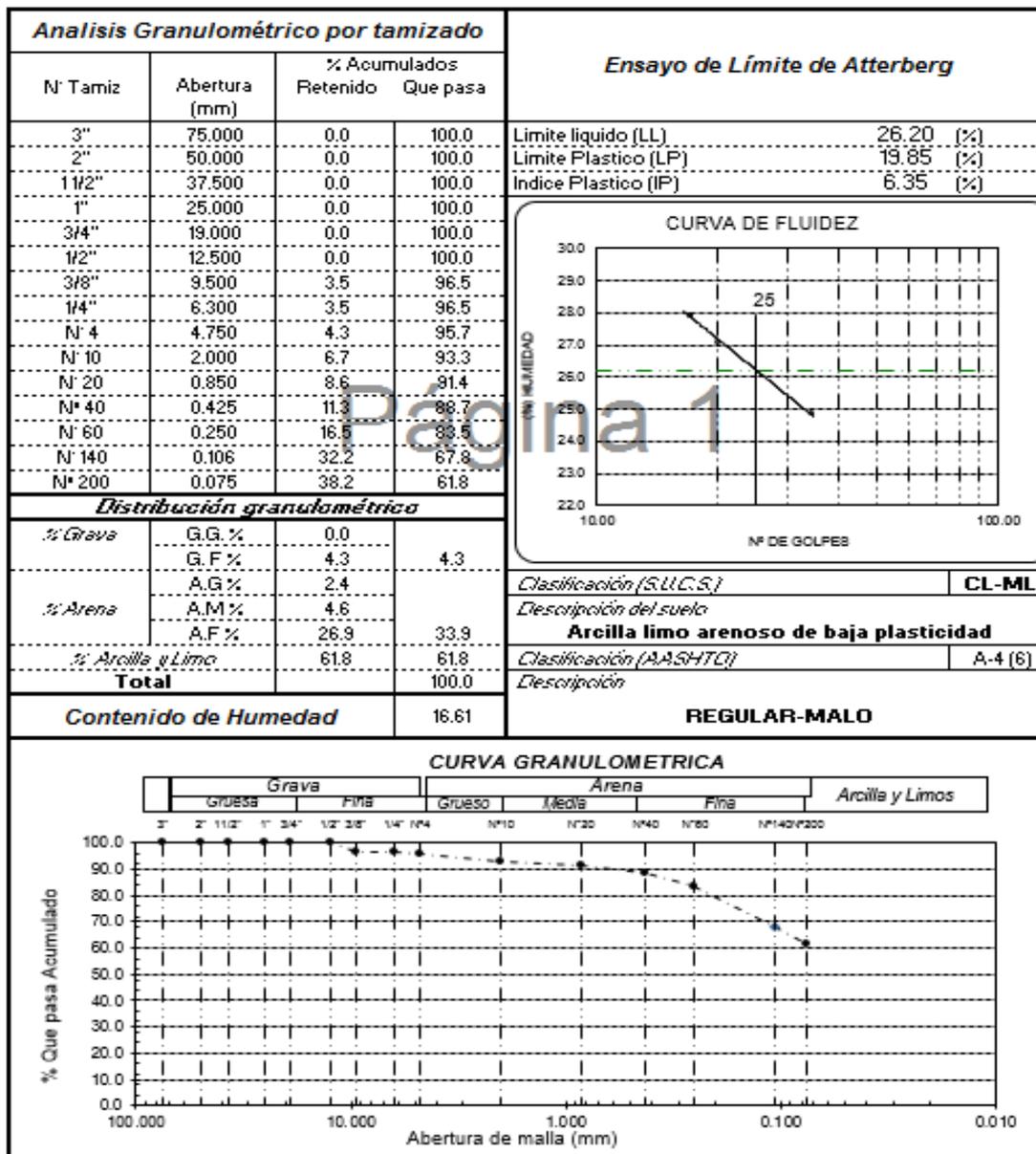
IV. ANALISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

4.1. Resultados en tablas y gráficos

4.1.1 Determinación de las propiedades físicas y mecánicas de los suelos estudiados y su clasificación.

Calicata: Muestra: N°1

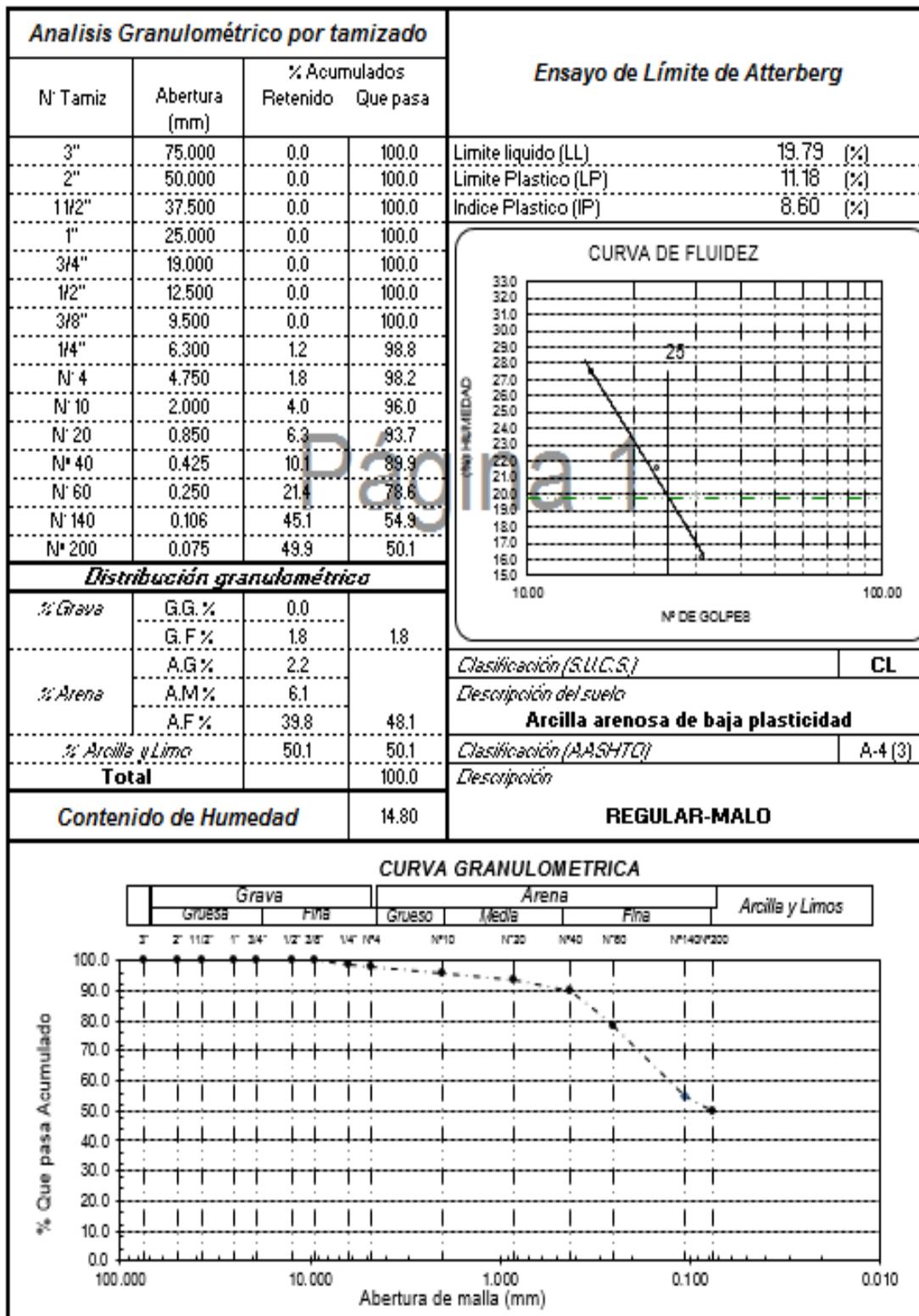
Profundidad: 75 cm



Los suelos de la calicata N° 01 se clasifico por SUCS en CL – ML (Arcilla limo arenoso de baja plasticidad), por AASHTO en A – 4 (6) (Regular – Malo).

Calicata: Muestra: N°2

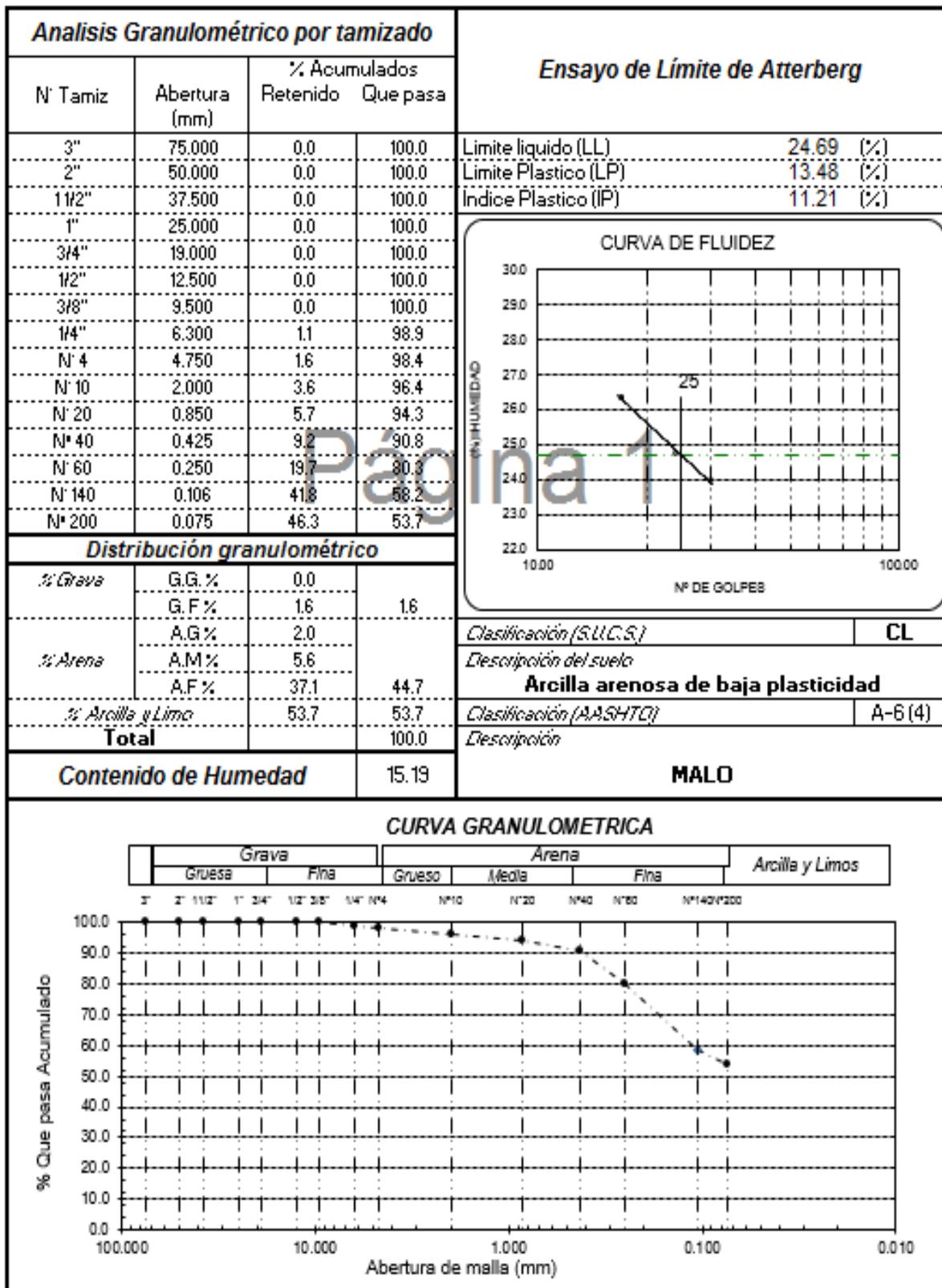
Profundidad: 60cm



Los suelos de la calicata N° 02 se clasifico por SUCS en CL (Arcilla arenosa de baja plasticidad), por AASHTO en A – 4 (3) (Regular – Malo).

Calicata: Muestra: N°3

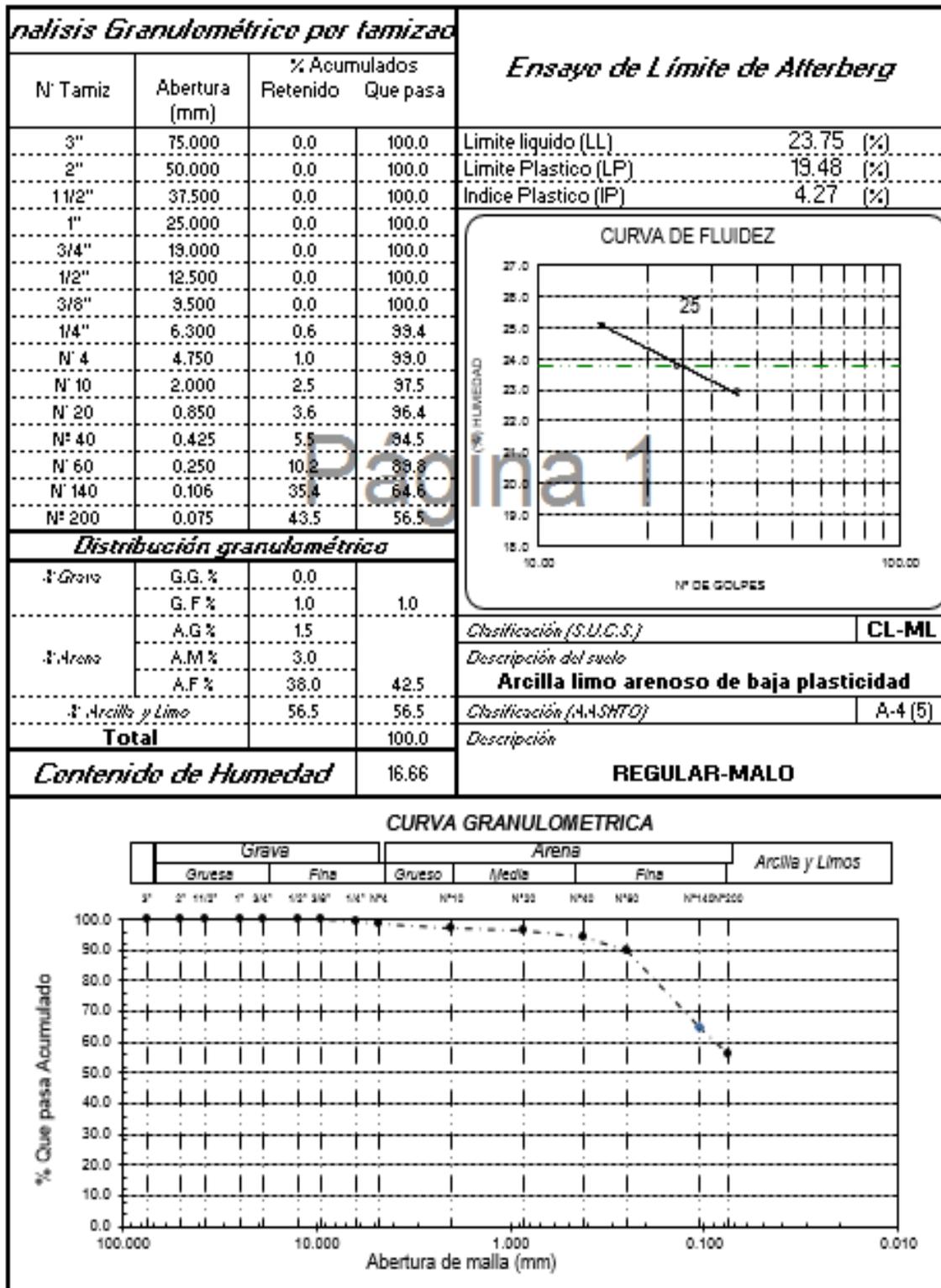
Profundidad: 60 cm



Los suelos de la calicata N° 03 se clasifico por SUCS en CL (Arcilla arenosa de baja plasticidad), por AASHTO en A – 6 (4) (Malo).

Calicata: Muestra: N°4

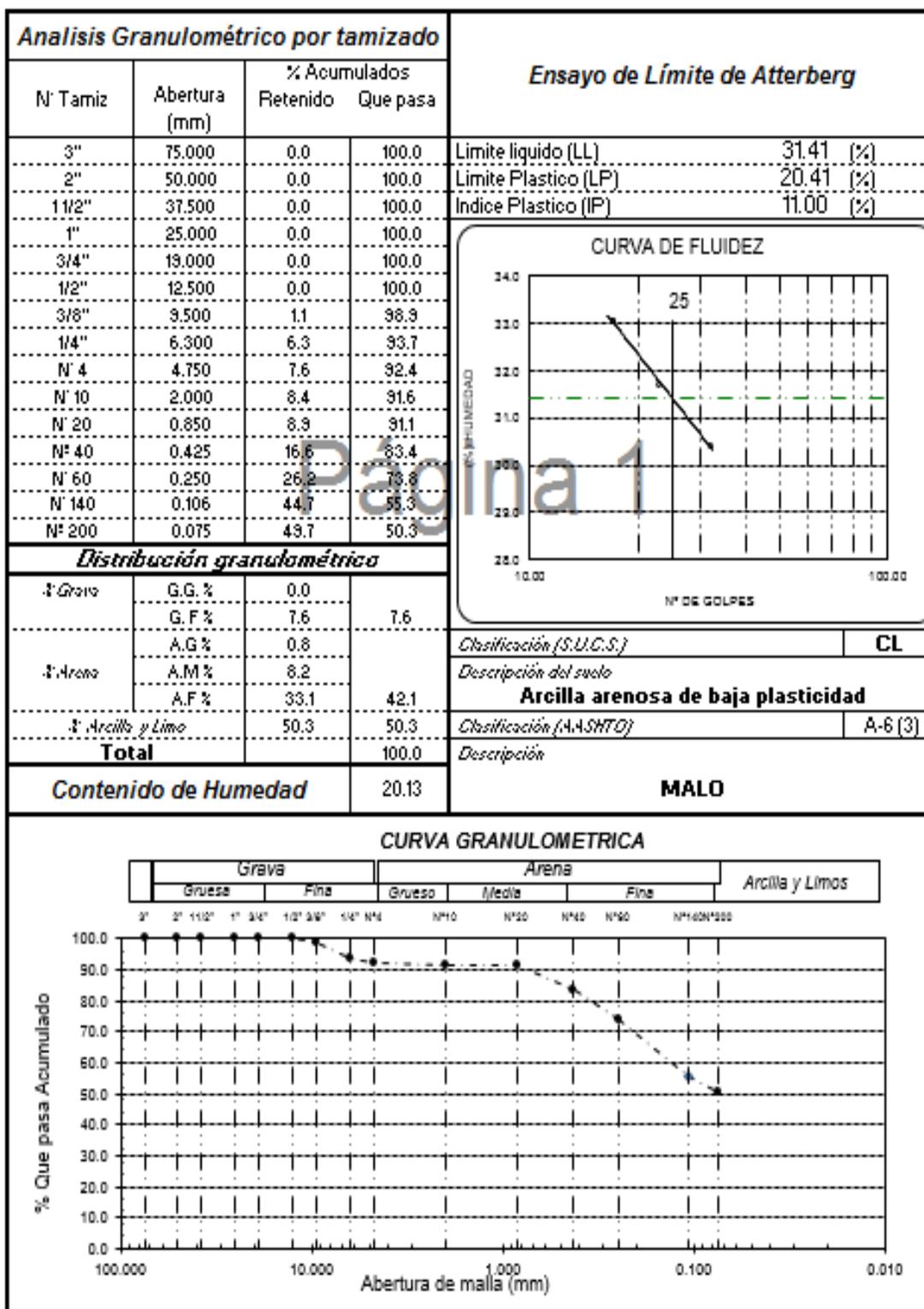
Profundidad: 50cm



Los suelos de la calicata N° 04 se clasifico por SUCS en CL – ML (Arcilla limo arenoso de baja plasticidad), por AASHTO en A – 4 (5) (Regular – Malo).

Calicata: Muestra: N°5

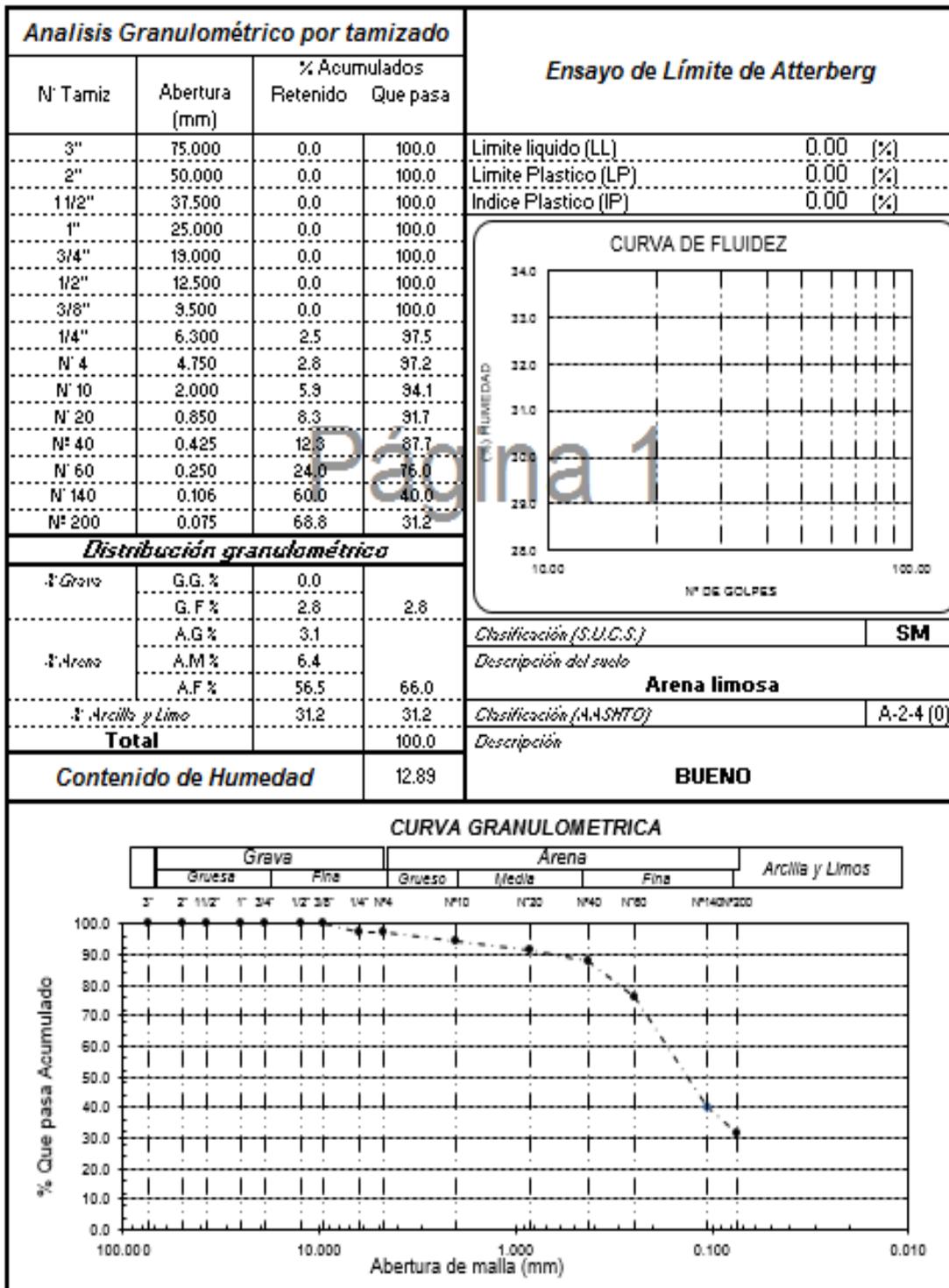
Profundidad: 55cm



Los suelos de la calicata N° 05 se clasificó por SUCS en CL (Arcilla arenosa de baja plasticidad), por AASHTO en A – 6 (3) (Malo).

Calicata : Muestra: N°6

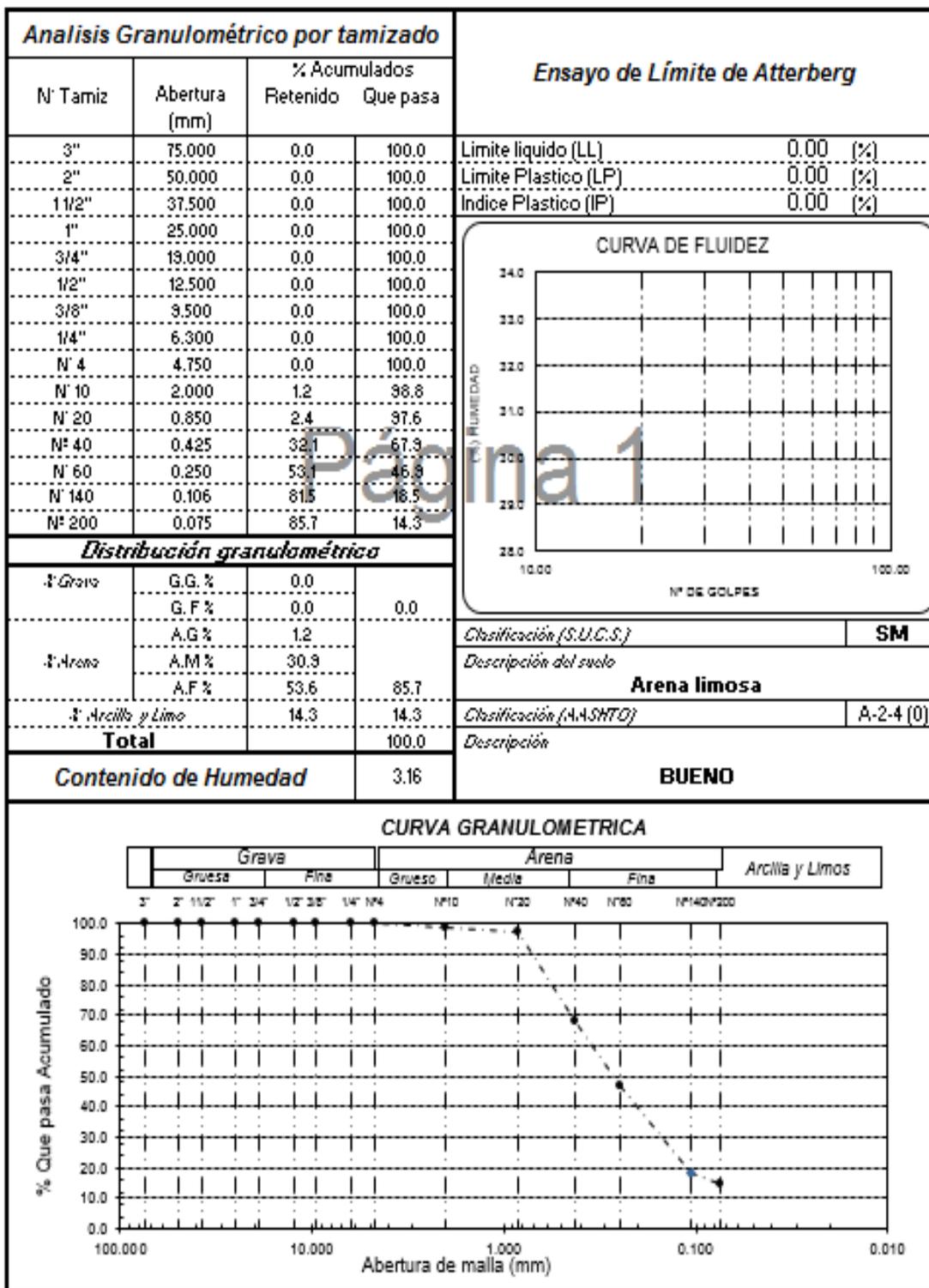
Profundidad: 60cm



Los suelos de la calicata N° 06 se clasifico por SUCS en SM (Arena limosa), por AASHTO en A -2- 4 (0) (Bueno).

Calicata: Muestra: N°7

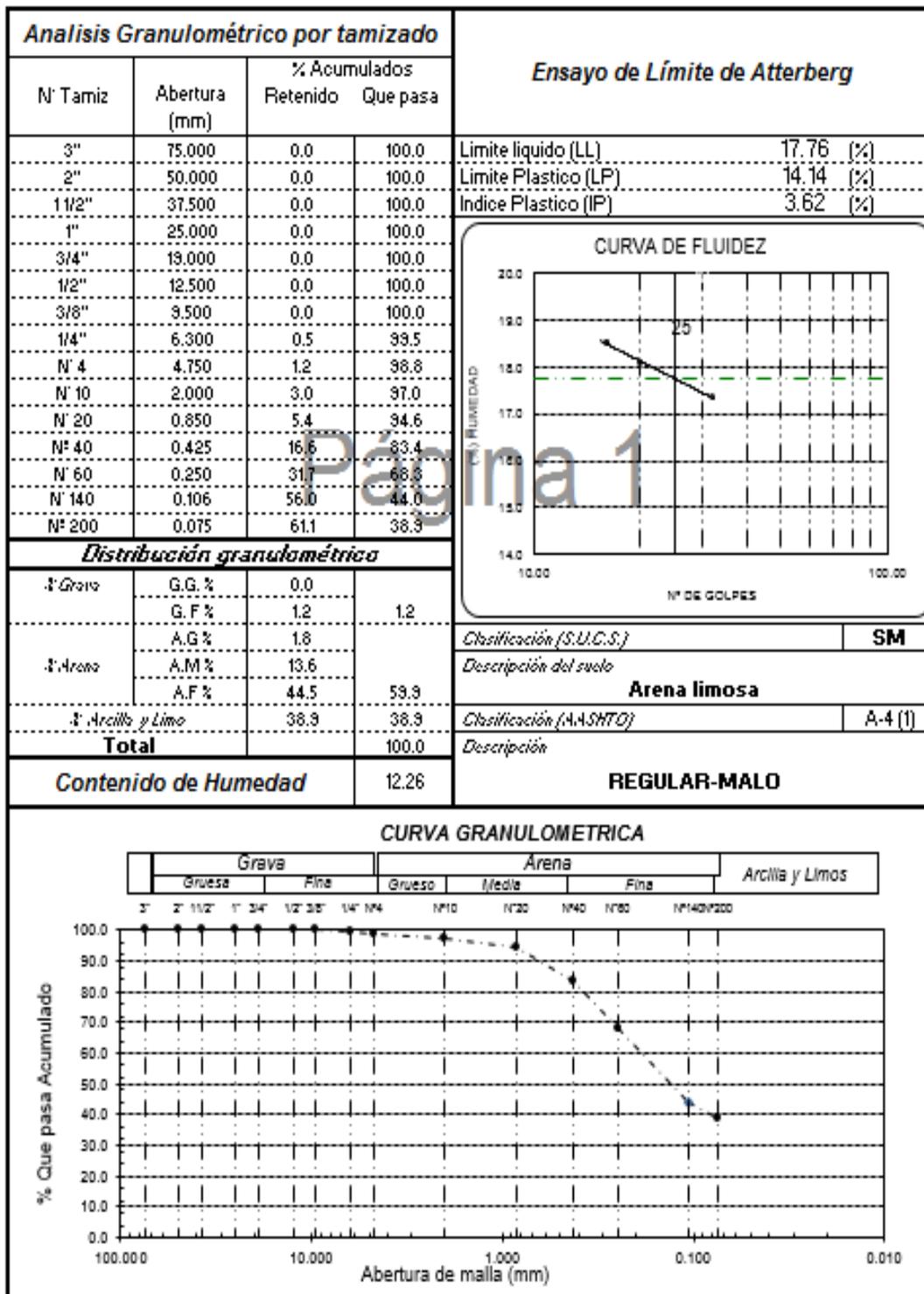
Profundidad: 60cm



Los suelos de la calicata N° 07 se clasifico por SUCS en SM (Arena limosa), por AASHTO en A – 2 - 4 (0) (Bueno).

Calicata: Muestra: N°8

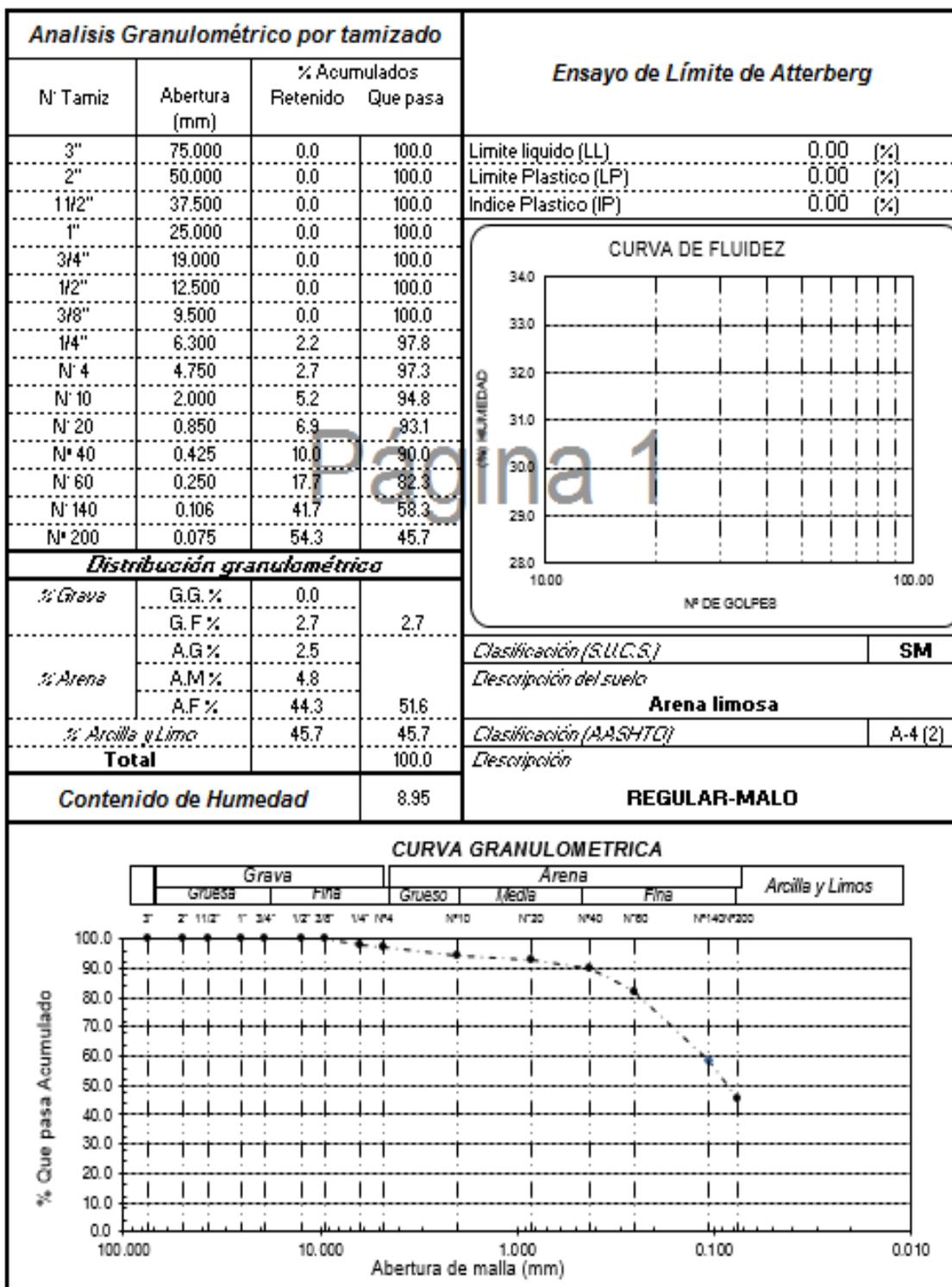
Profundidad: 65cm



Los suelos de la calicata N° 08 se clasifico por SUCS en SM (Arena limosa), por AASHTO en A – 4 (1) (Regular – Malo).

Calicata: Muestra: N°9

Profundidad: 55cm



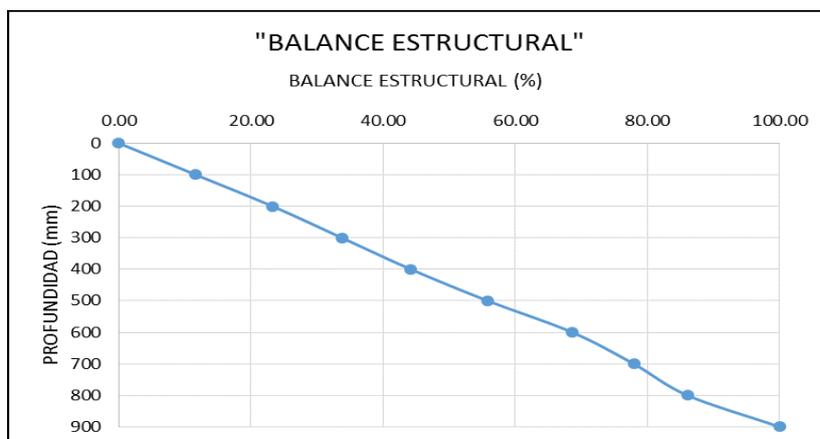
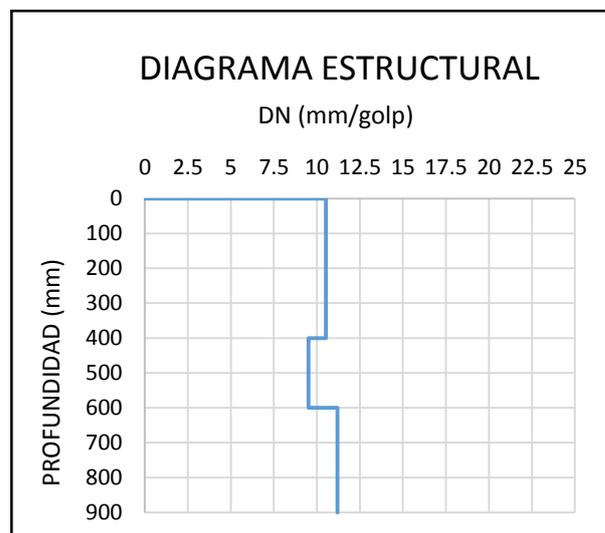
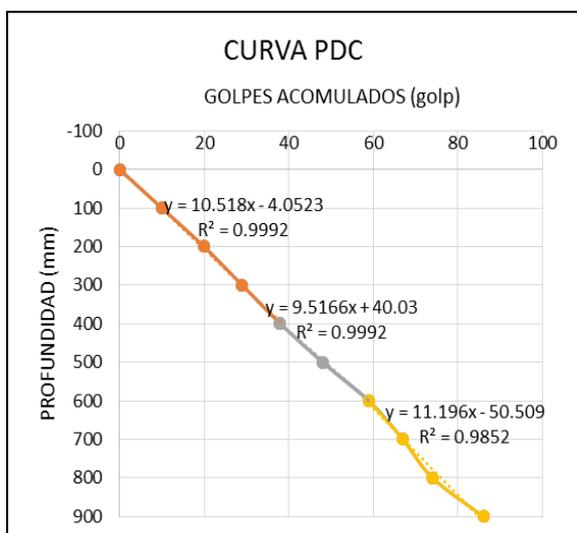
Los suelos de la calicata N° 09 se clasifico por SUCS en SM (Arena limosa), por AASHTO en A – 4 (2) (Regular – Malo).

Se muestra el resumen de las propiedades físicas, mecánicas y su clasificación de las 9 calicatas de la localidad de PICSÍ.

CUADRO RESUMEN						
PICSÍ-LAMBAYEQUE-PERÚ						
UBICACIÓN	CALLE	CALICATA Nº	CLASIFICACIÓN		HUMEDAD NATURAL (%)	DESCRIPCIÓN
			SUCS	AASHTO		
SANTA ROSA		C-Nº01	CL-ML	A-4-(6)	16.61	Arcilla limo arenoso de baja plasticidad
		C-Nº02	CL	A-4-(3)	14.8	Arcilla arenosa de baja plasticidad
		C-Nº03	CL	A-4-(4)	15.19	Arcilla arenosa de baja plasticidad
CONGRESO		C-Nº04	CL-ML	A-4-(5)	16.66	Arcilla limo arenoso de baja plasticidad
		C-Nº05	CL	A-6-(3)	20.13	Arcilla arenosa de baja plasticidad
		C-Nº06	SM	A-2-4-(0)	12.89	Arena limosa
REAL		C-Nº07	SM	A-2-4-(0)	3.16	Arena limosa
		C-Nº08	SM	A-4-(1)	12.26	Arena limosa
		C-Nº09	SM	A-4-(2)	8.95	Arena limosa

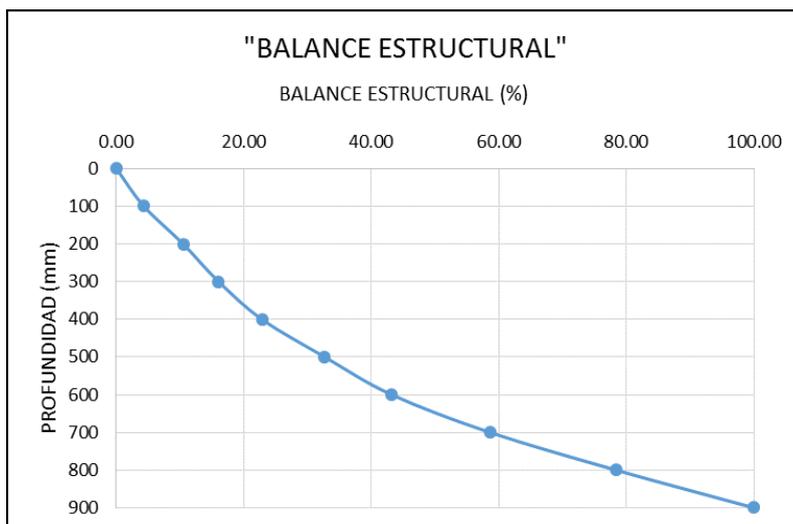
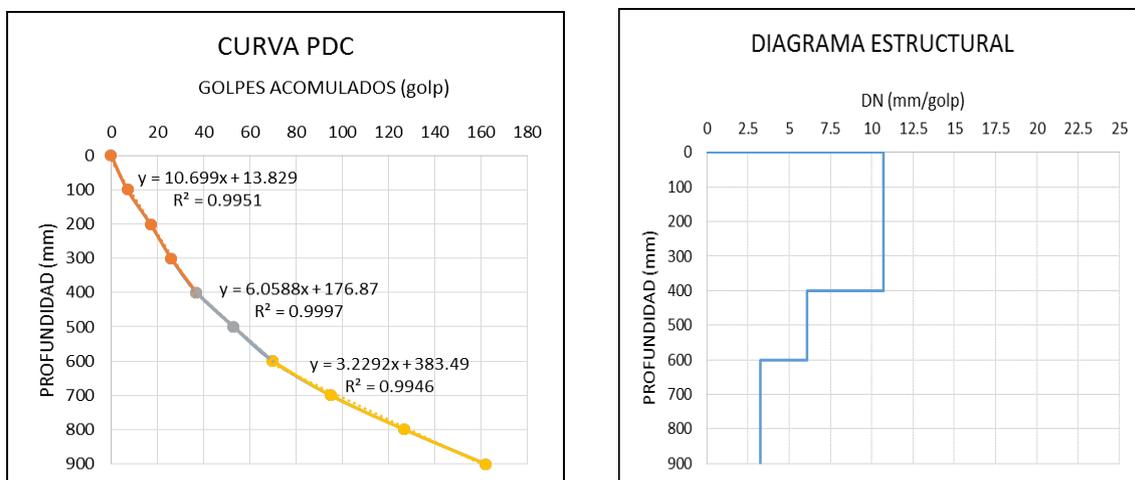
4.1.2 Determinación de la curva del Penetrómetro dinámico de cono (PDC) in situ, diagrama estructural y el balance estructural de la sub rasante de los suelos estudiados.

CALICATA N°01



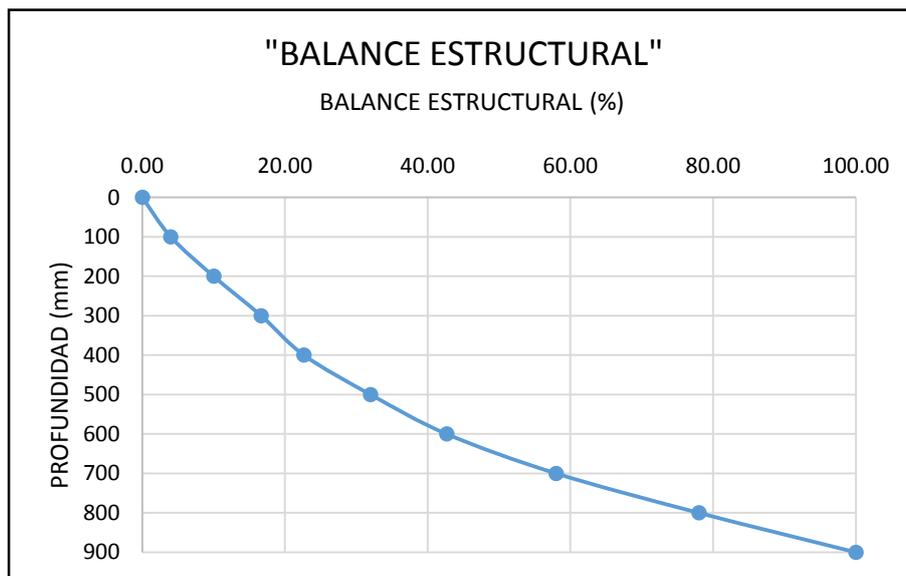
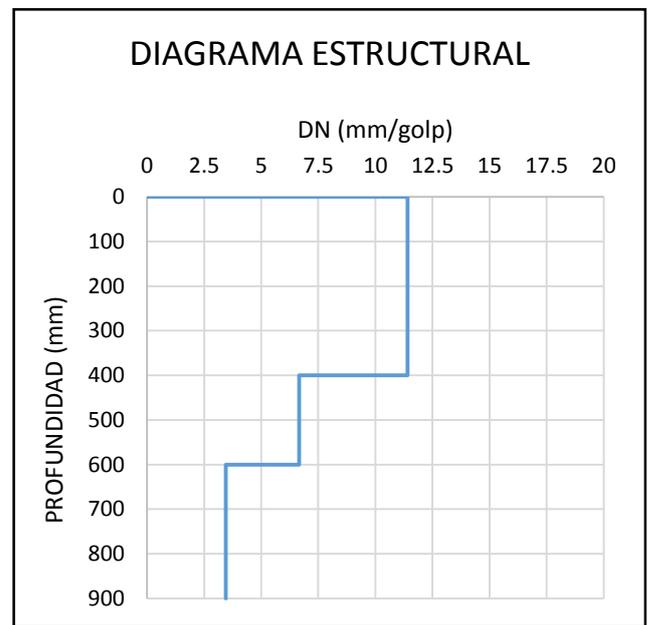
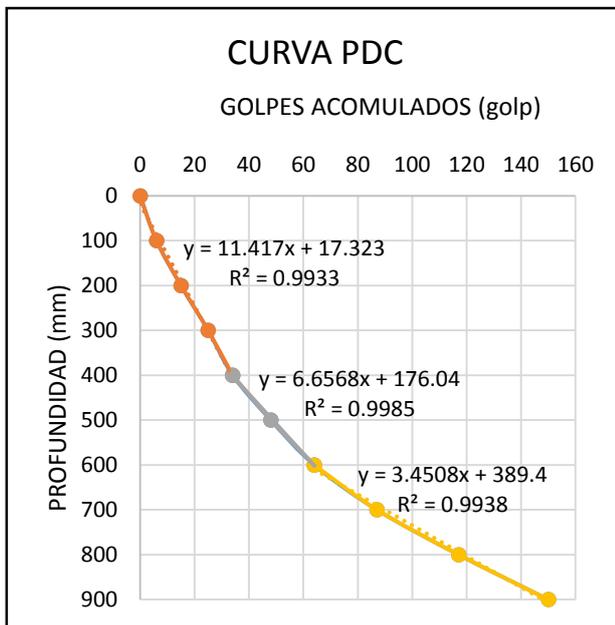
La curva PDC nos indica la homogeneidad que tiene el suelo en cada capa, en este caso se registró 3 capas, que da lugar a una recta por cada capa cuya pendiente es el DN o número de PDC, que se utilizó para graficar el diagrama estructural, cuando mayor es la pendiente menor es la resistencia del suelo; el balance estructural relaciona el número de golpes requeridos en porcentaje para cada profundidad a evaluar.

CALICATA N°02



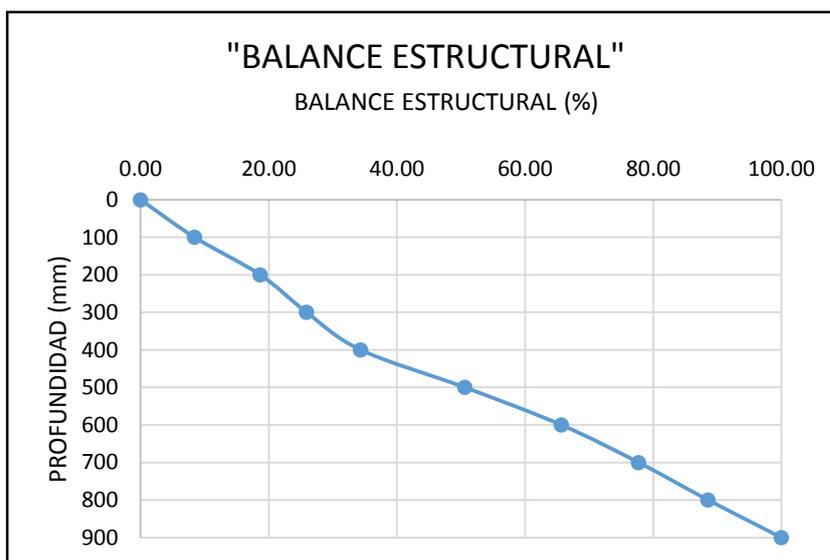
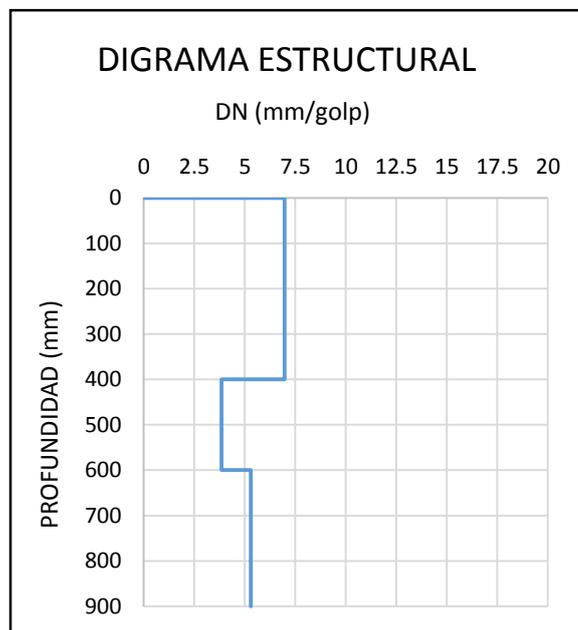
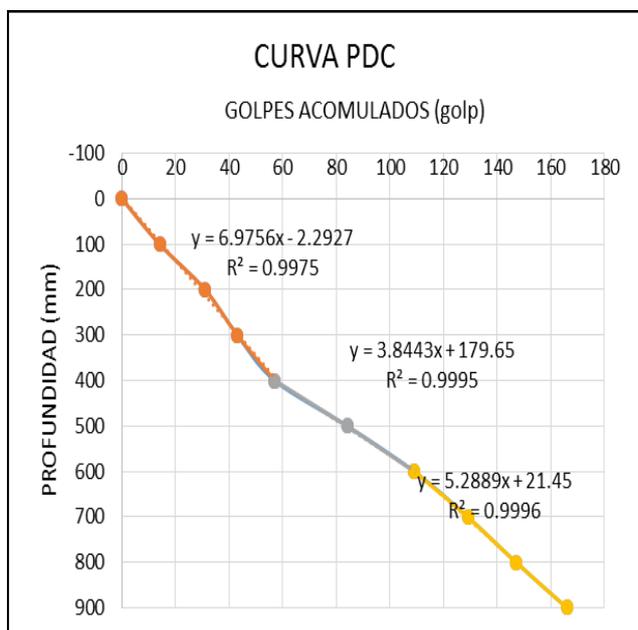
La curva PDC nos indica la homogeneidad que tiene el suelo en cada capa, en este caso se registró 3 capas, que da lugar a una recta por cada capa cuya pendiente es el DN o número de PDC, que se utilizó para graficar el diagrama estructural, cuando mayor es la pendiente menor es la resistencia del suelo; el balance estructural relaciona el número de golpes requeridos en porcentaje para cada profundidad a evaluar.

CALICATA N°03



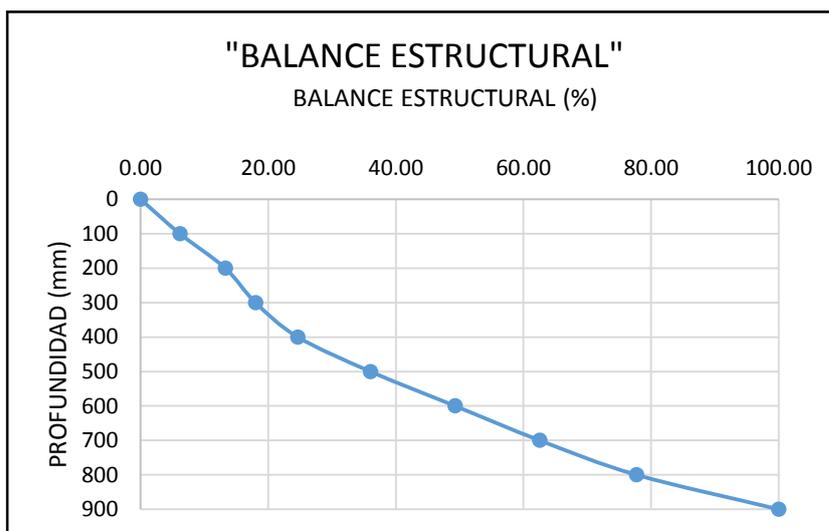
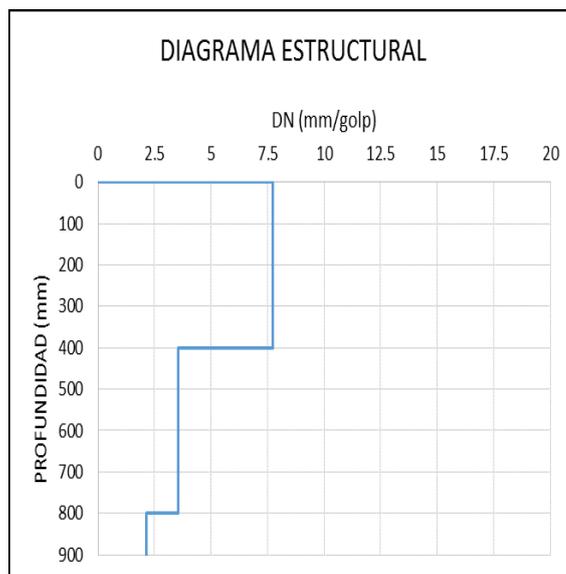
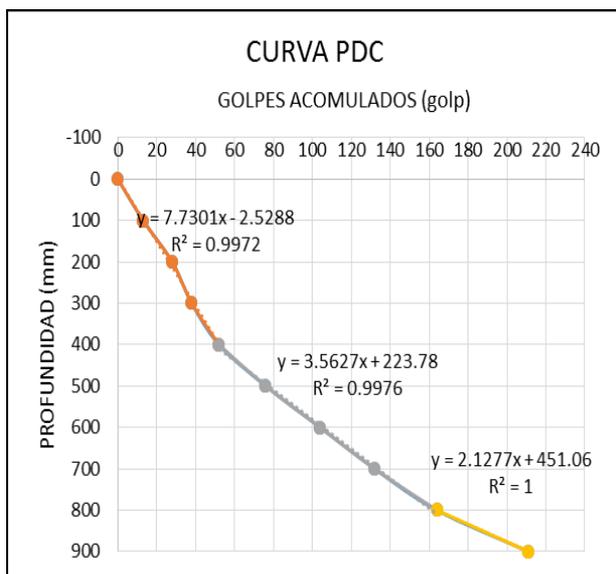
La curva PDC nos indica la homogeneidad que tiene el suelo en cada capa, en este caso se registró 3 capas, que da lugar a una recta por cada capa cuya pendiente es el DN o número de PDC, que se utilizó para graficar el diagrama estructural, cuando mayor es la pendiente menor es la resistencia del suelo; el balance estructural relaciona el número de golpes requeridos en porcentaje para cada profundidad a evaluar.

CALICATA N°04



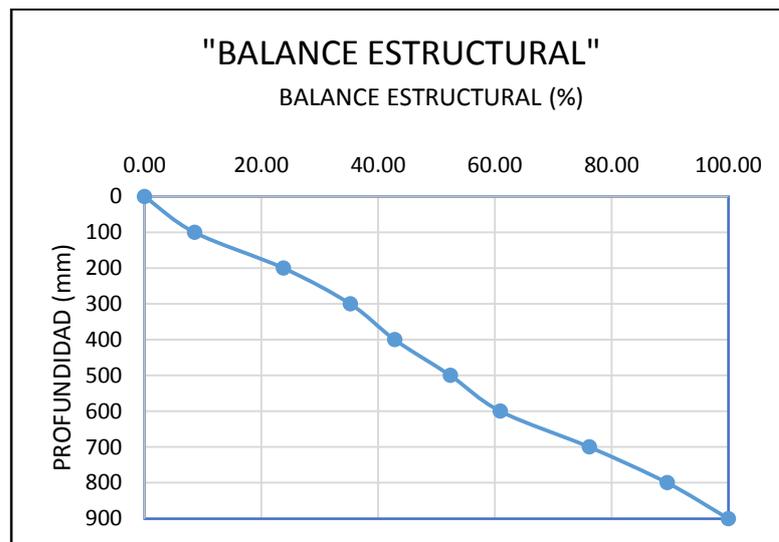
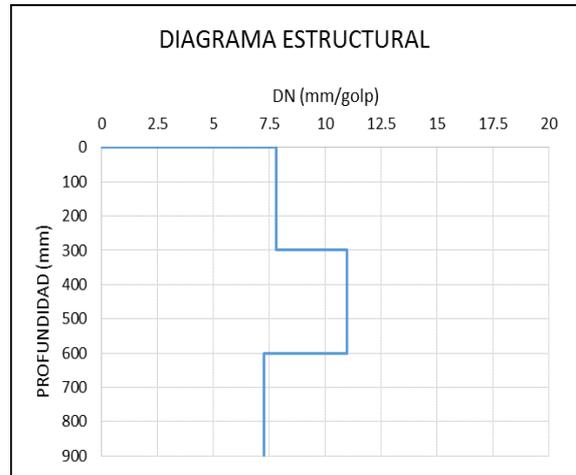
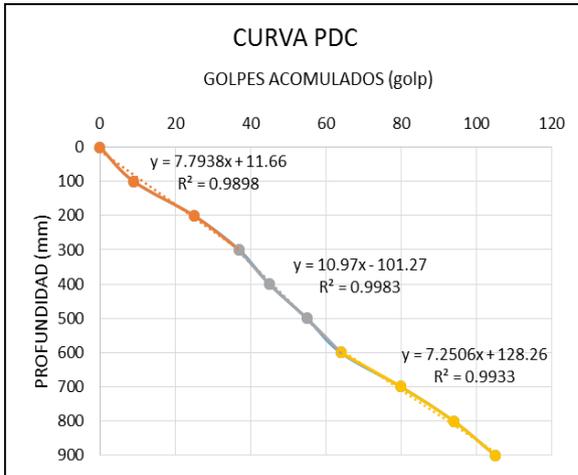
La curva PDC nos indica la homogeneidad que tiene el suelo en cada capa, en este caso se registró 3 capas, que da lugar a una recta por cada capa cuya pendiente es el DN o número de PDC, que se utilizó para graficar el diagrama estructural, cuando mayor es la pendiente menor es la resistencia del suelo; el balance estructural relaciona el número de golpes requeridos en porcentaje para cada profundidad a evaluar.

CALICATA Nº05



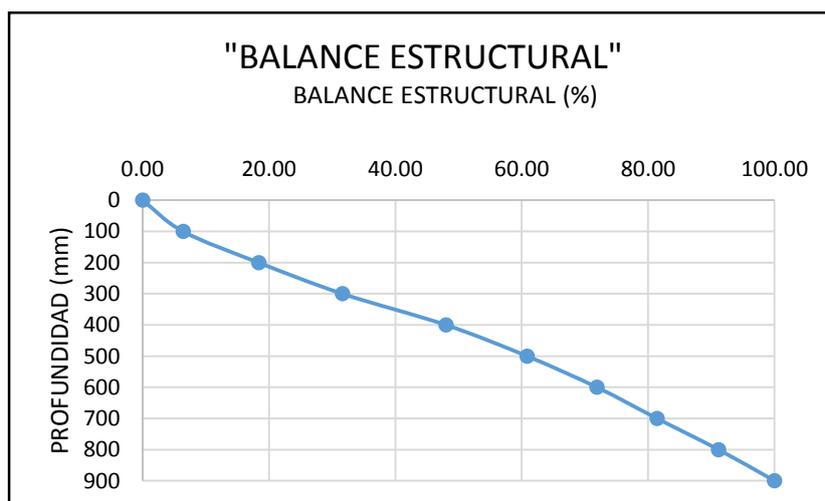
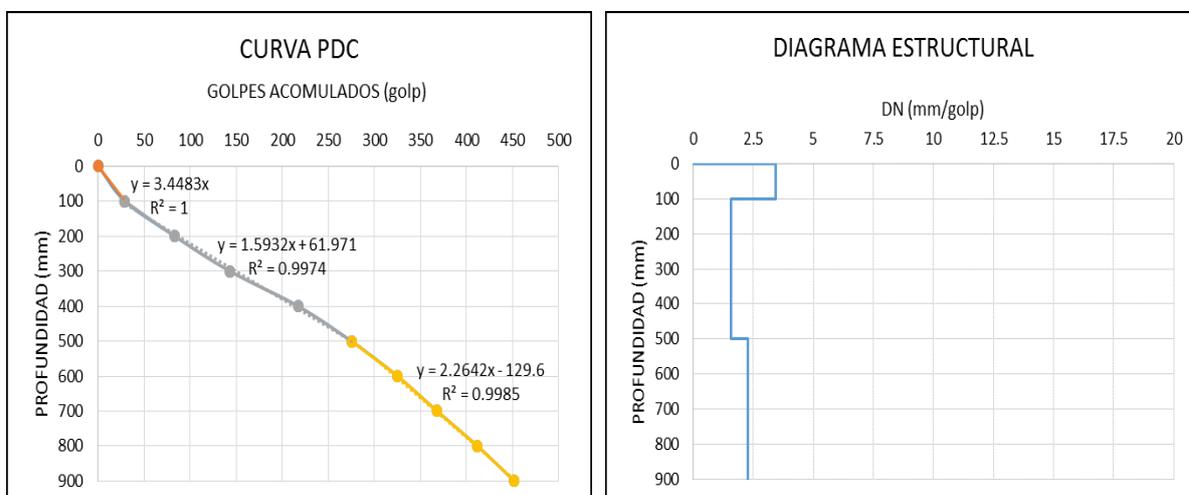
La curva PDC nos indica la homogeneidad que tiene el suelo en cada capa, en este caso se registró 3 capas, que da lugar a una recta por cada capa cuya pendiente es el DN o número de PDC, que se utilizó para graficar el diagrama estructural, cuando mayor es la pendiente menor es la resistencia del suelo; el balance estructural relaciona el número de golpes requeridos en porcentaje para cada profundidad a evaluar.

CALICATA N°06



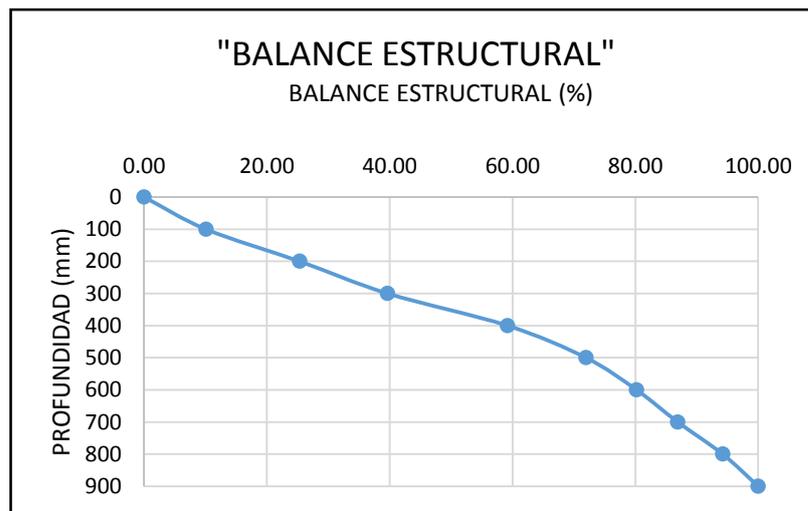
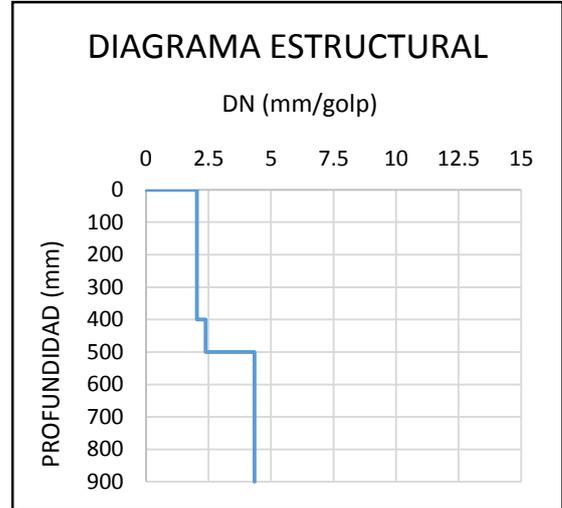
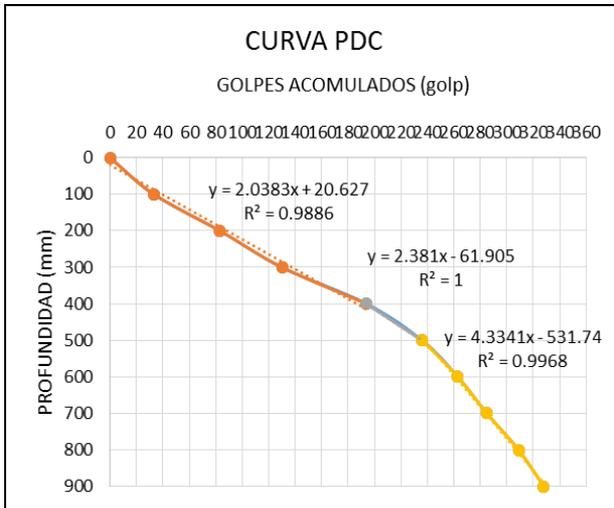
La curva PDC nos indica la homogeneidad que tiene el suelo en cada capa, en este caso se registró 3 capas, que da lugar a una recta por cada capa cuya pendiente es el DN o número de PDC, que se utilizó para graficar el diagrama estructural, cuando mayor es la pendiente menor es la resistencia del suelo; el balance estructural relaciona el número de golpes requeridos en porcentaje para cada profundidad a evaluar.

CALICATA N°07



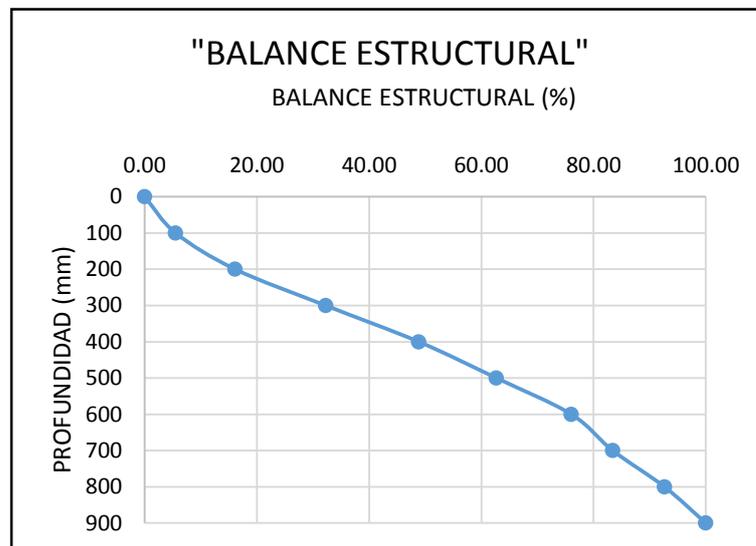
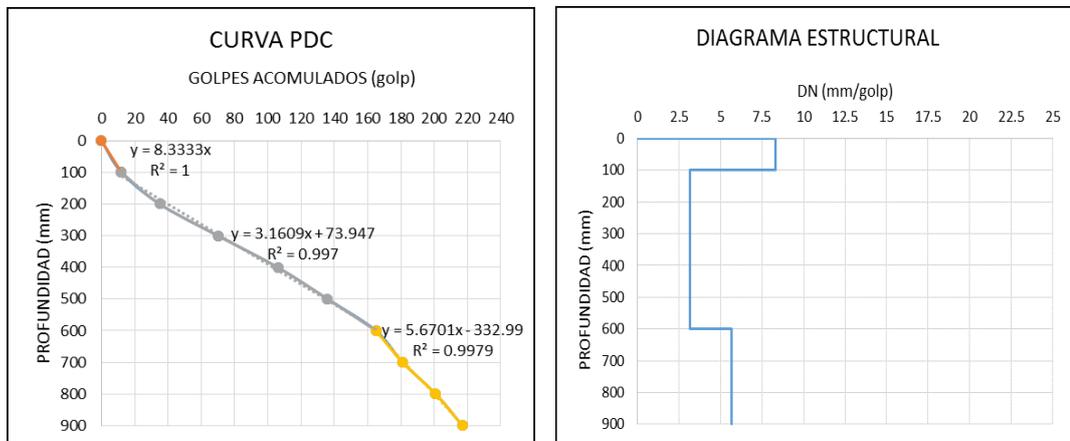
La curva PDC nos indica la homogeneidad que tiene el suelo en cada capa, en este caso se registró 3 capas, que da lugar a una recta por cada capa cuya pendiente es el DN o número de PDC, que se utilizó para graficar el diagrama estructural, cuando mayor es la pendiente menor es la resistencia del suelo; el balance estructural relaciona el número de golpes requeridos en porcentaje para cada profundidad a evaluar.

CALICATA N°08



La curva PDC nos indica la homogeneidad que tiene el suelo en cada capa, en este caso se registró 3 capas, que da lugar a una recta por cada capa cuya pendiente es el DN o número de PDC, que se utilizó para graficar el diagrama estructural, cuando mayor es la pendiente menor es la resistencia del suelo; el balance estructural relaciona el número de golpes requeridos en porcentaje para cada profundidad a evaluar.

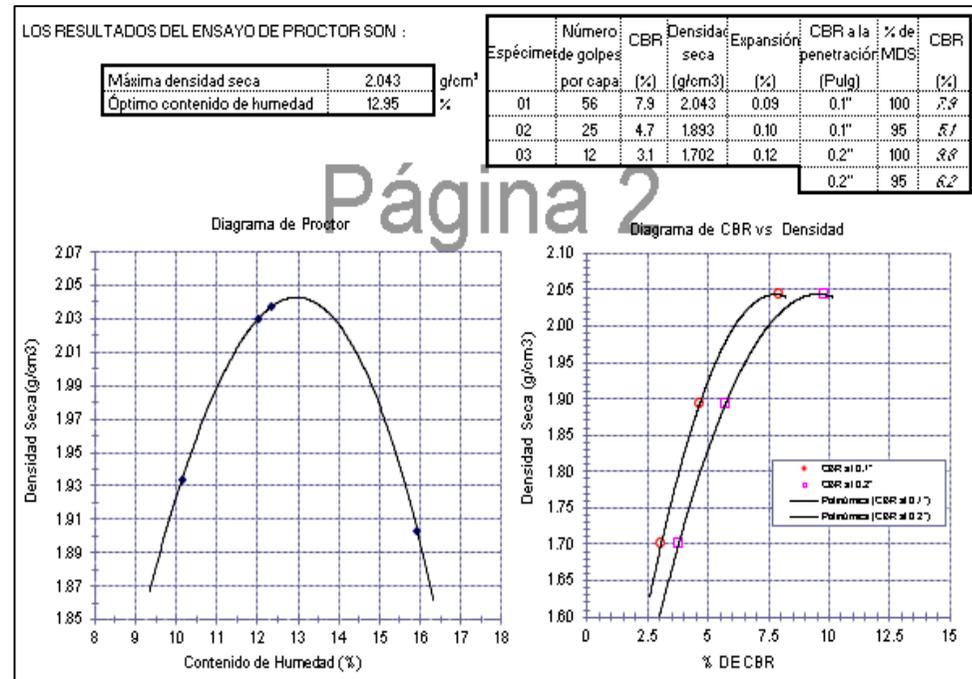
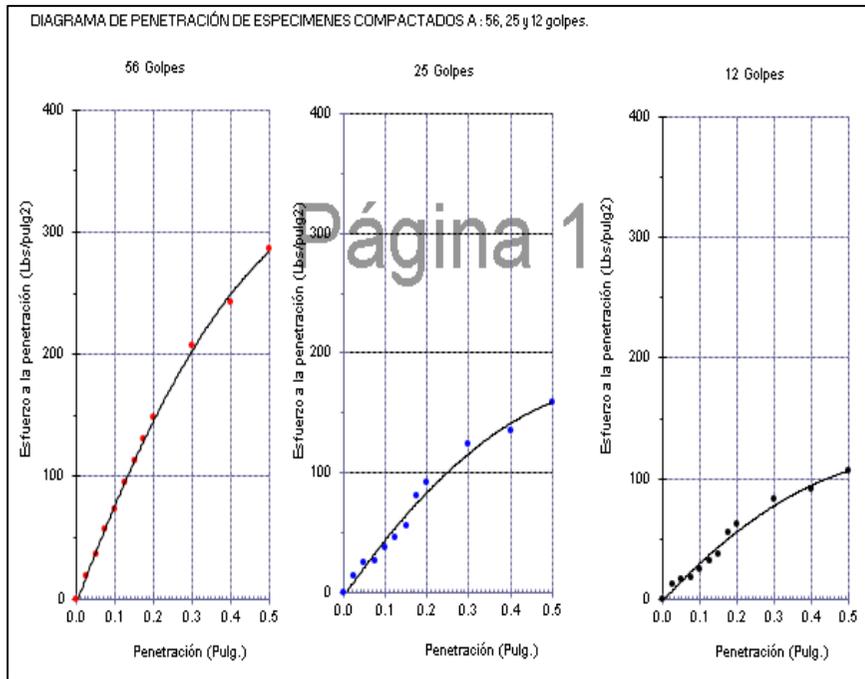
CALICATA N°09



La curva PDC nos indica la homogeneidad que tiene el suelo en cada capa, en este caso se registró 3 capas, que da lugar a una recta por cada capa cuya pendiente es el DN o número de PDC, que se utilizó para graficar el diagrama estructural, cuando mayor es la pendiente menor es la resistencia del suelo; el balance estructural relaciona el número de golpes requeridos en porcentaje para cada profundidad a evaluar.

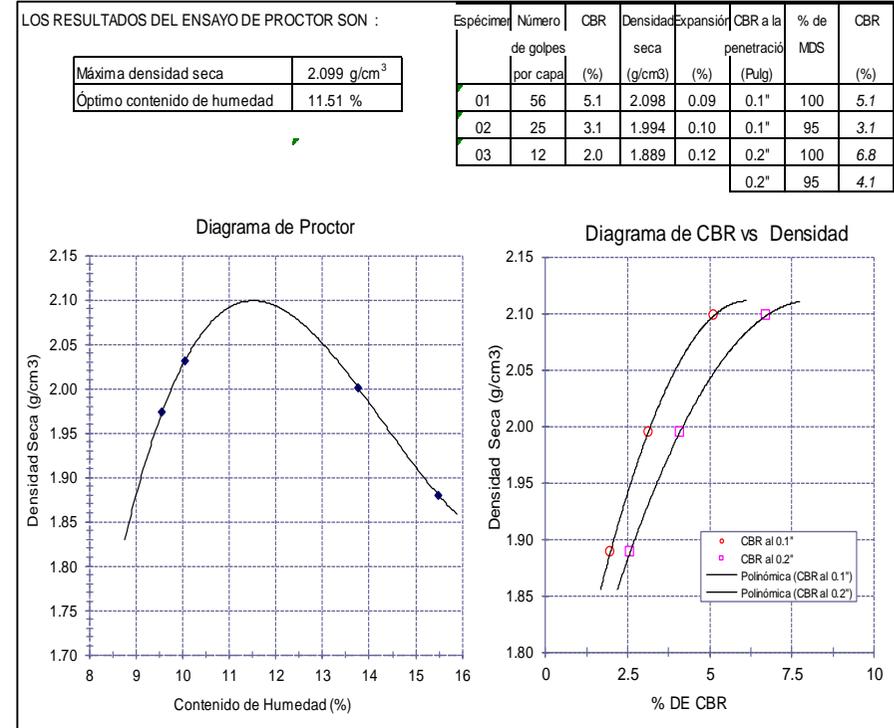
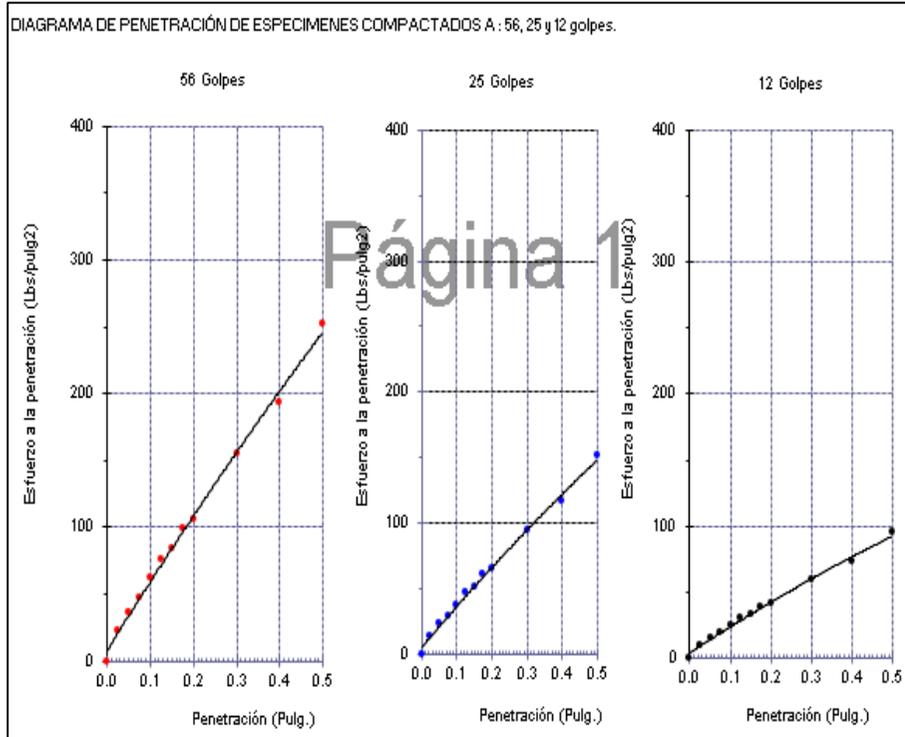
4.1.3 Determinación del CBR de laboratorio de la sub rasante de los suelos estudiados.

CALICATA N°01



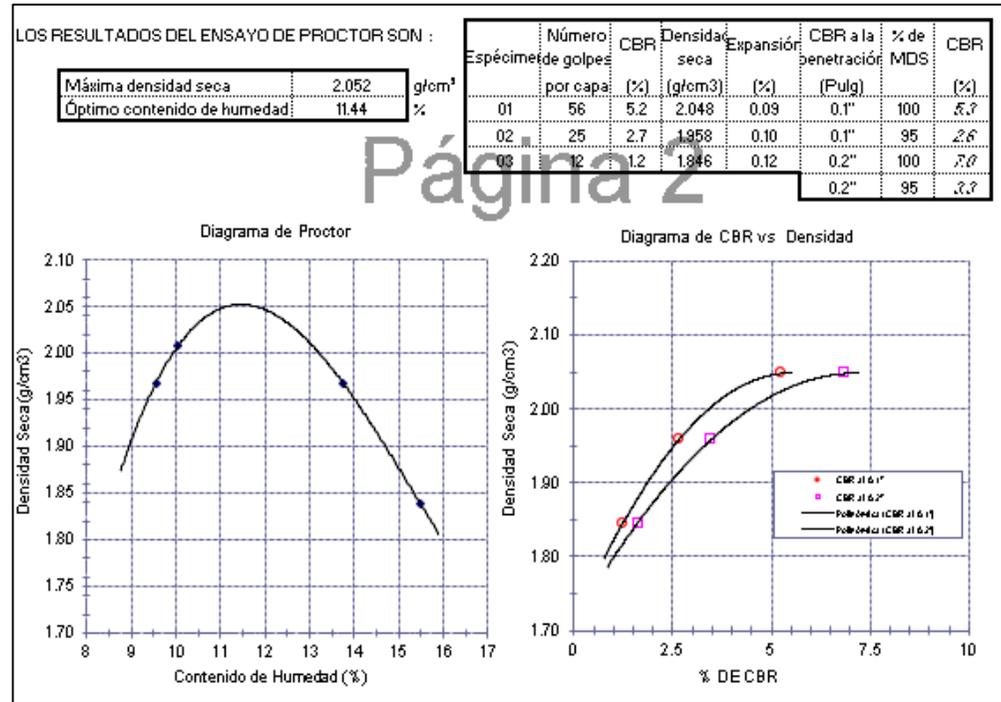
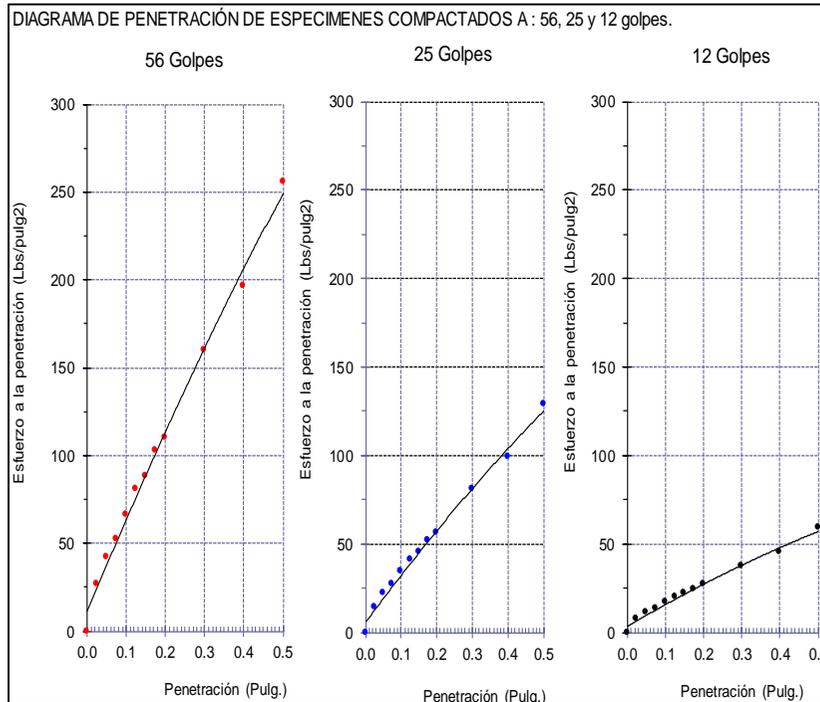
Se obtuvieron las gráficas de penetración para cada espécimen compactados a los 56, 25,12 golpes (5 capas), las gráficas de diagrama de Próctor y el diagrama de CBR vs Densidad de la calicata N°01, sus resultados del CBR al 95% de la máxima densidad seca es 5.1 % en una penetración de 0.1” siendo la más desfavorable, su máxima densidad seca es 2.043 g/cm³ con un óptimo contenido de humedad del 12.95%.

CALICATA N°02



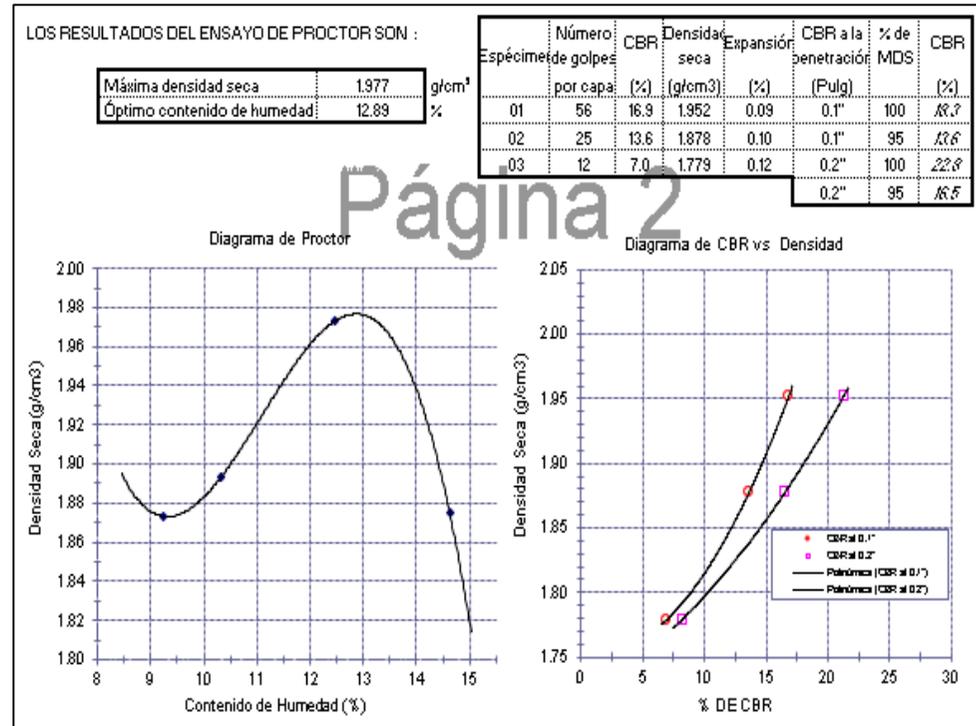
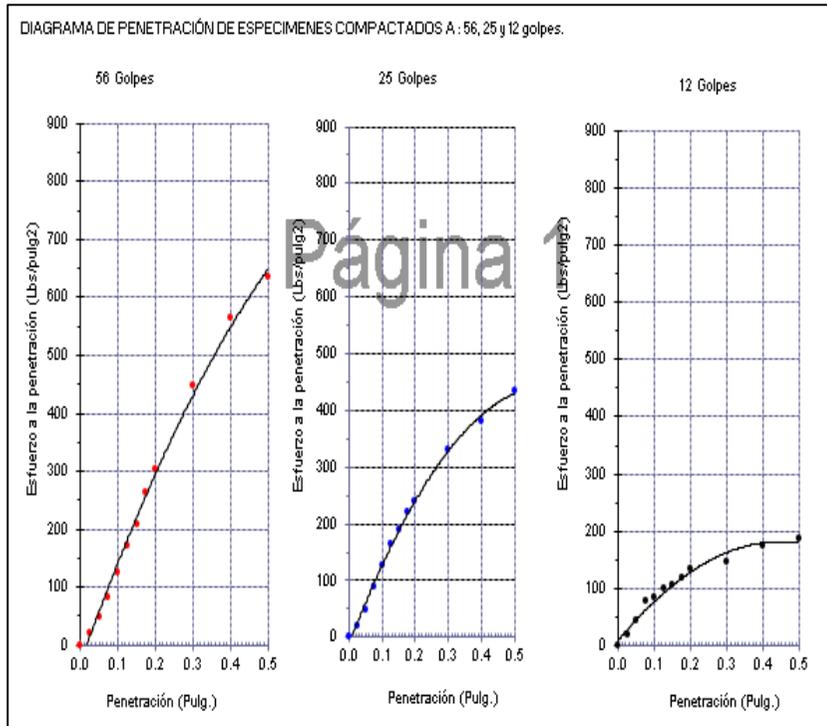
Se obtuvieron las gráficas de penetración para cada espécimen compactados a los 56, 25,12 golpes (5 capas), las gráficas de diagrama de Próctor y el diagrama de CBR vs Densidad de la calicata N°02, sus resultados del CBR al 95% de la máxima densidad seca es 3.1 % en una penetración de 0.1” siendo la más desfavorable, su máxima densidad seca es 2.099 g/cm³ con un óptimo contenido de humedad del 11.51%.

CALICATA N°03



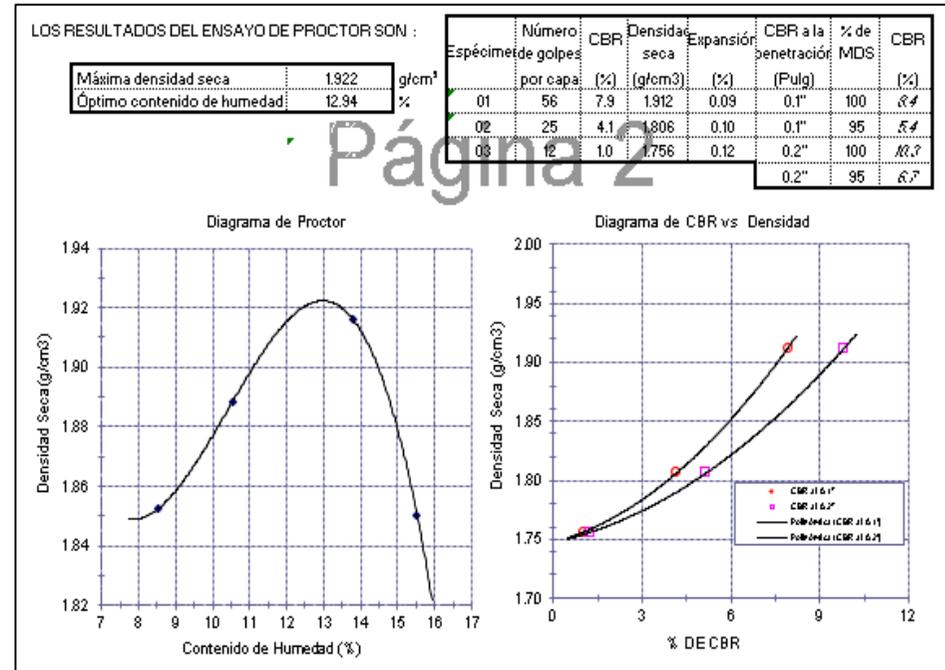
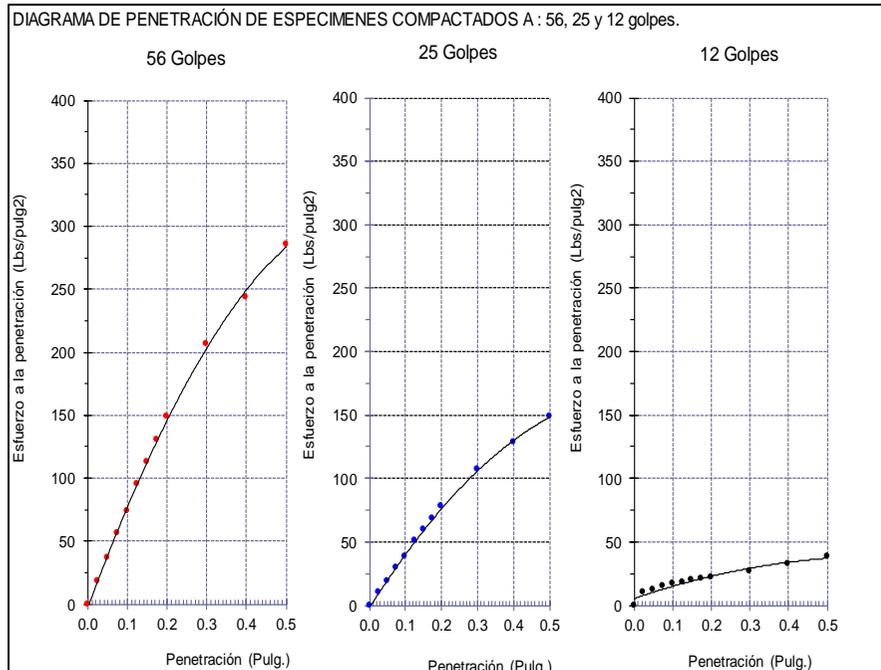
Se obtuvieron las gráficas de penetración para cada espécimen compactados a los 56, 25,12 golpes (5 capas), las gráficas de diagrama de Próctor y el diagrama de CBR vs Densidad de la calicata N°03, sus resultados del CBR al 95% de la máxima densidad seca es 2.55 % en una penetración de 0.1” siendo la más desfavorable, su máxima densidad seca es 2.052 g/cm³ con un óptimo contenido de humedad del 11.44 %.

CALICATA N°04



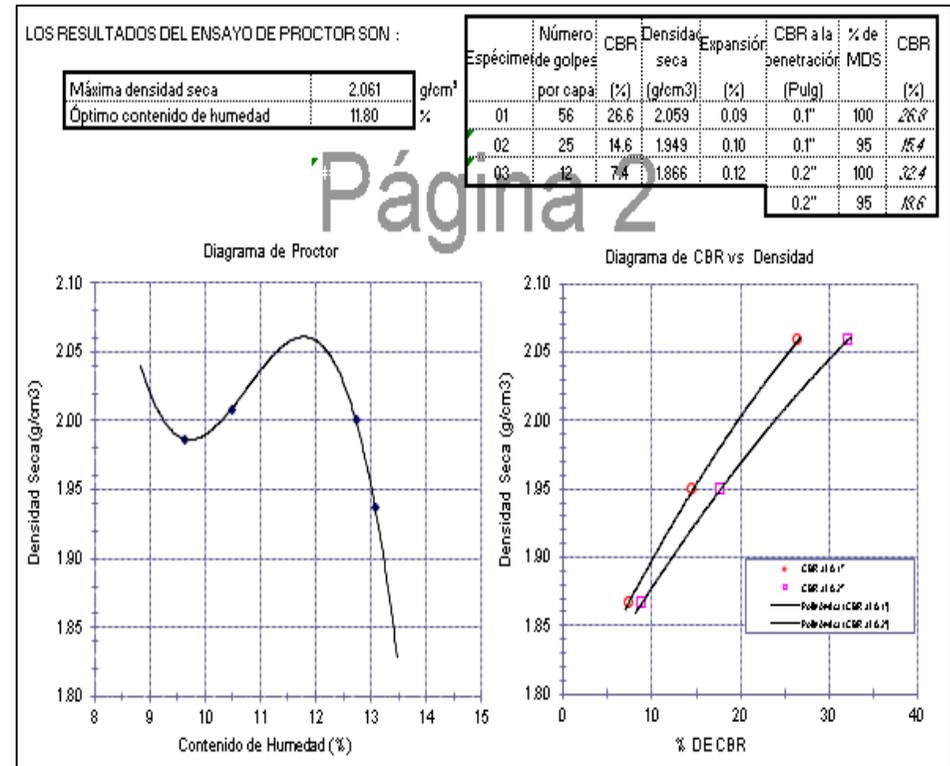
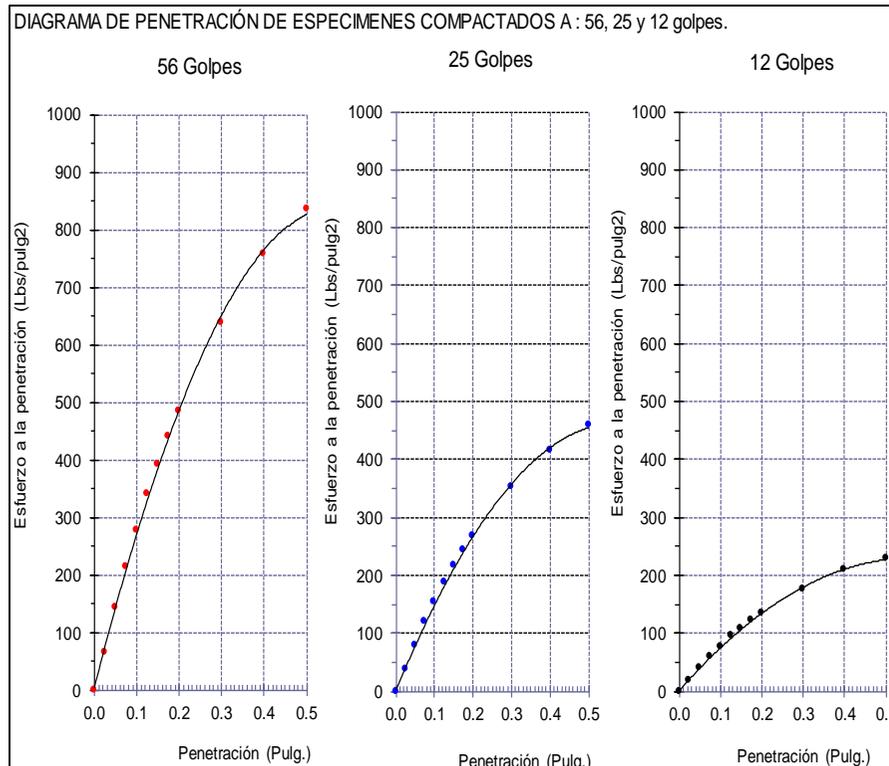
Se obtuvieron las gráficas de penetración para cada espécimen compactados a los 56, 25,12 golpes (5 capas), las gráficas de diagrama de Próctor y el diagrama de CBR vs Densidad de la calicata N°04, sus resultados del CBR al 95% de la máxima densidad seca es 13.6 % en una penetración de 0.1” siendo la más desfavorable, su máxima densidad seca es 1. 977 g/cm³ con un óptimo contenido de humedad del 12.89 %.

CALICATA N°05



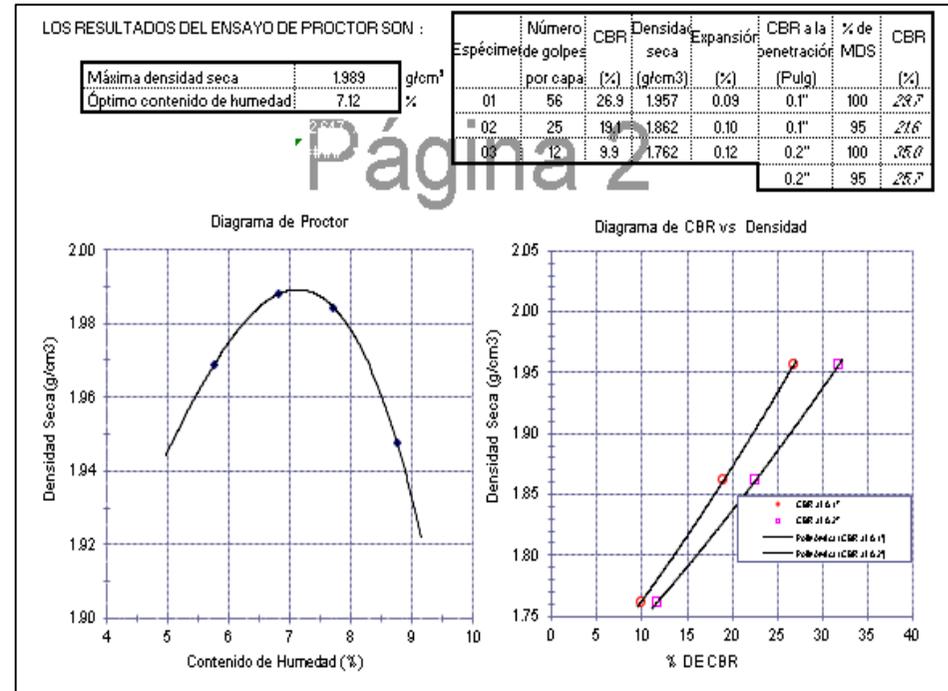
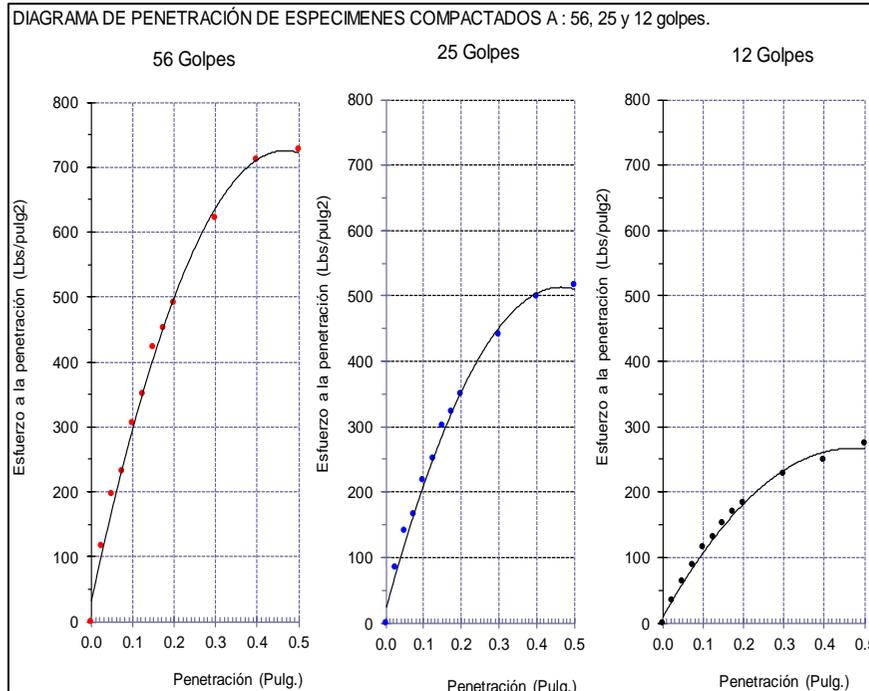
Se obtuvieron las gráficas de penetración para cada espécimen compactados a los 56, 25,12 golpes (5 capas), las gráficas de diagrama de Próctor y el diagrama de CBR vs Densidad de la calicata N°05, sus resultados del CBR al 95% de la máxima densidad seca es 5.4 % en una penetración de 0.1” siendo la más desfavorable, su máxima densidad seca es 1. 922 g/cm³ con un óptimo contenido de humedad del 12.94 %.

CALICATA N°06



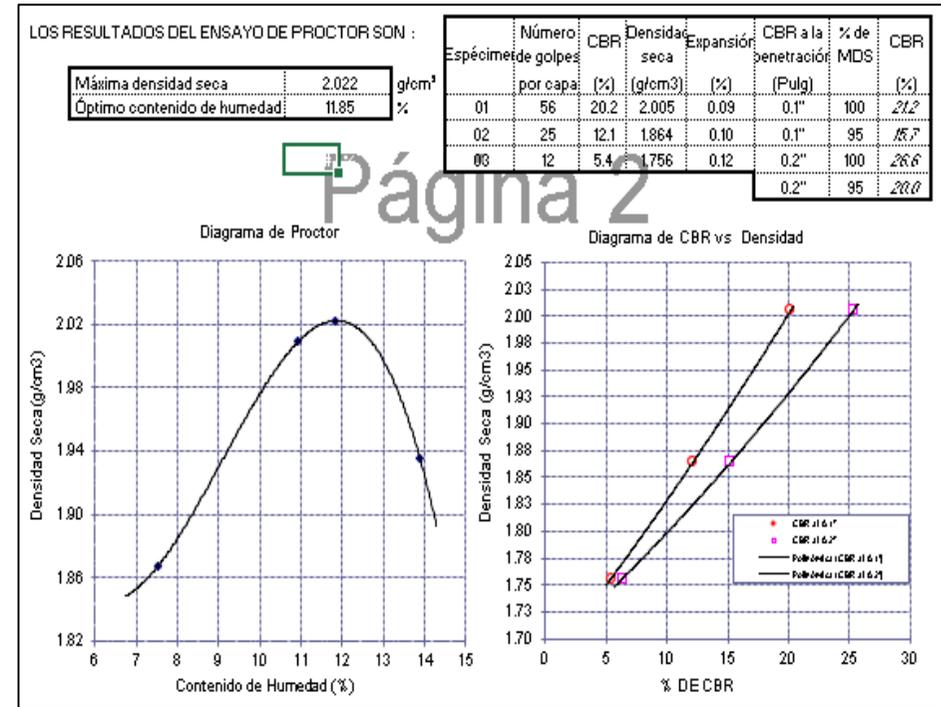
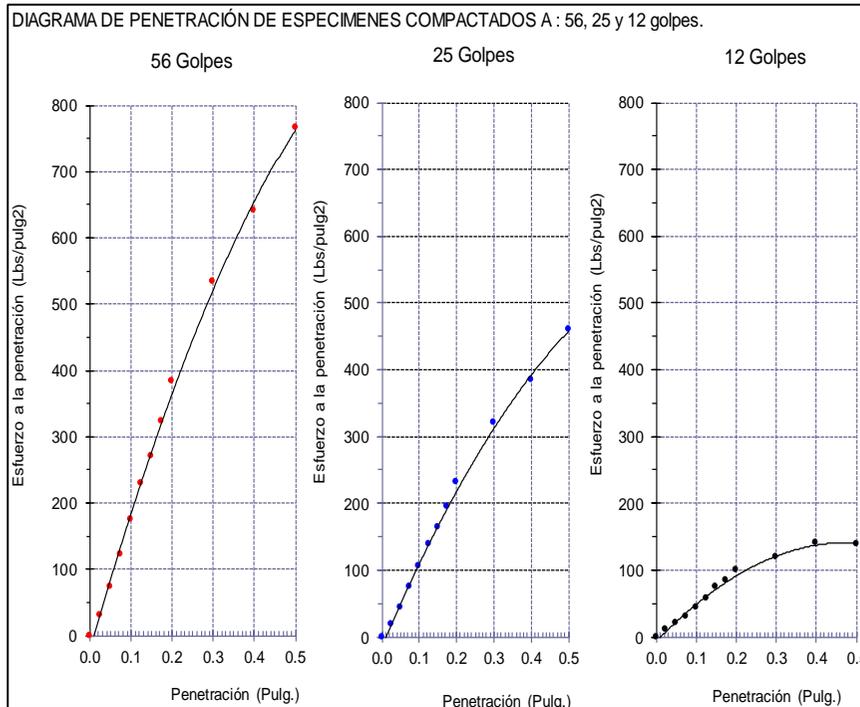
Se obtuvieron las gráficas de penetración para cada espécimen compactados a los 56, 25,12 golpes (5 capas), las gráficas de diagrama de Próctor y el diagrama de CBR vs Densidad de la calicata N°6, sus resultados del CBR al 95% de la máxima densidad seca es 15.4 % en una penetración de 0.1” siendo la más desfavorable, su máxima densidad seca es 2. 061 g/cm³ con un óptimo contenido de humedad del 11.80 %.

CALICATA N°07



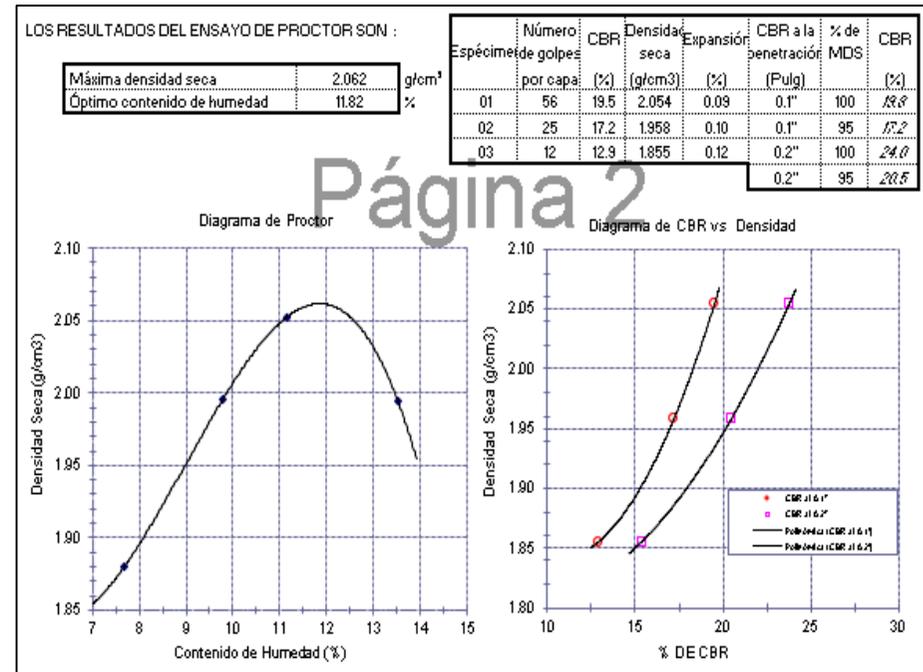
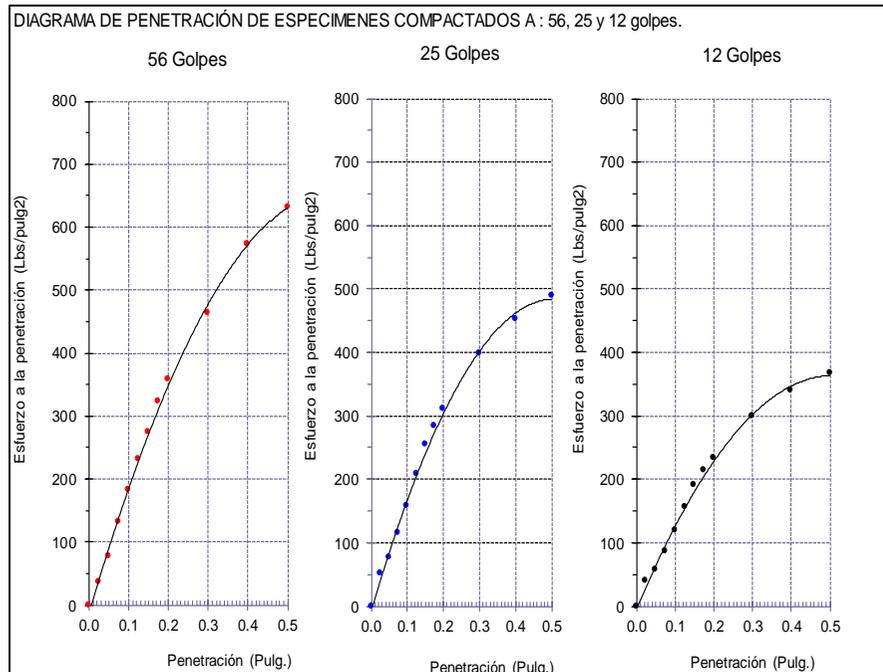
Se obtuvieron las gráficas de penetración para cada espécimen compactados a los 56, 25,12 golpes (5 capas), las gráficas de diagrama de Próctor y el diagrama de CBR vs Densidad de la calicata N°7, sus resultados del CBR al 95% de la máxima densidad seca es 21.6 % en una penetración de 0.1” siendo la más desfavorable, su máxima densidad seca es 1. 989 g/cm³ con un óptimo contenido de humedad del 7.12 %.

CALICATA N°08



Se obtuvieron las gráficas de penetración para cada espécimen compactados a los 56, 25,12 golpes (5 capas), las gráficas de diagrama de Próctor y el diagrama de CBR vs Densidad de la calicata N°8, sus resultados del CBR al 95% de la máxima densidad seca es 15.7 % en una penetración de 0.1” siendo la más desfavorable, su máxima densidad seca es 2.022 g/cm³ con un óptimo contenido de humedad del 11.85 %.

CALICATA N°09



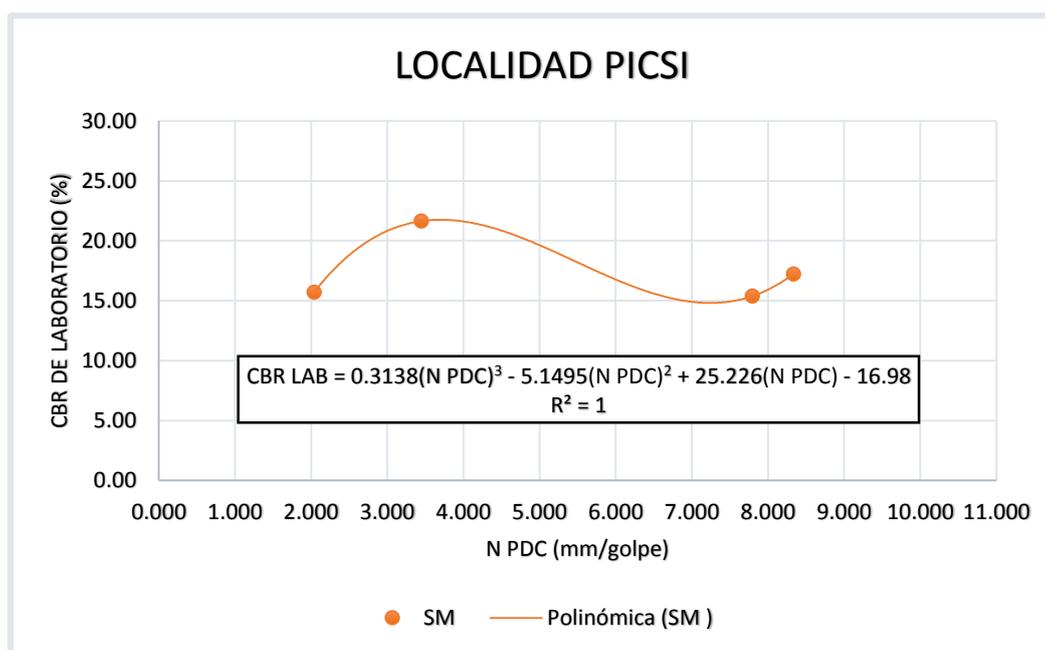
Se obtuvieron las gráficas de penetración para cada espécimen compactados a los 56, 25,12 golpes (5 capas), las gráficas de diagrama de Próctor y el diagrama de CBR vs Densidad de la calicata N°9, sus resultados del CBR al 95% de la máxima densidad seca es 17.2 % en una penetración de 0.1” siendo la más desfavorable, su máxima densidad seca es 2.062 g/cm³ con un óptimo contenido de humedad del 11.82 %.

4.1.4 Determinación de la correlación de los resultados del Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC) in situ con respecto al California Bearing Ratio (CBR) de laboratorio.

Se realizó la correlación del PDC in situ y el CBR laboratorio de diseño para los suelos SM, CL, CL-ML de la localidad de Pícsi, agrupando cada tipo suelo y obteniendo su ecuación de forma independiente.

La ecuación obtenida de la correlación será la que mejor se ajuste a los resultados del PDC in situ y el CBR de laboratorio, teniendo un coeficiente de correlación aproximado a 1.

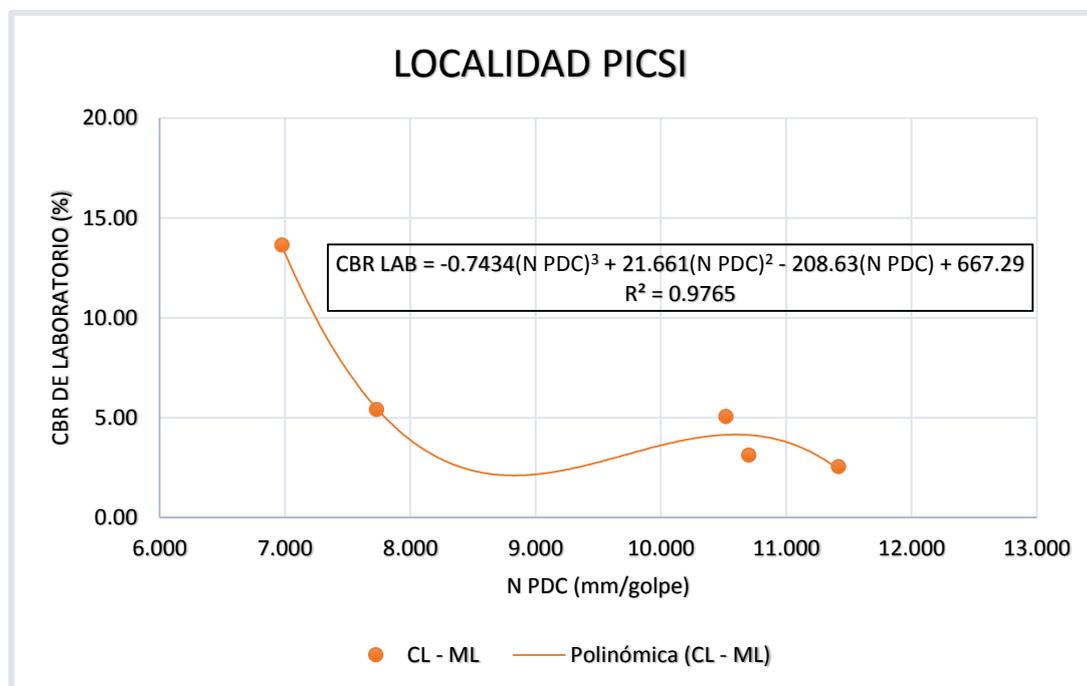
Ecuación de la localidad de PICSÍ para el tipo de suelo Arena Limosa (SM).



La ecuación para el tipo de suelo Arena Limosa (SM) de la localidad de Pícsi es

$CBR LAB = 0.3138(N PDC)^3 - 5.1495(N PDC)^2 + 25.226(N PDC) - 16.98$, con un coeficiente de correlación $R^2 = 0.99$; la ecuación polinómica es aplicable para suelos con las características mencionadas en esta investigación.

Ecuación de la localidad de PICSÍ para los tipos de suelos: Arcilla Arenosa de baja plasticidad (CL) y Arcilla limo arenoso de baja plasticidad (CL-ML).



Ecuación para los tipos de suelos: Arcilla Arenosa de baja plasticidad (CL) y Arcilla limo arenoso de baja plasticidad (CL-ML) de la localidad de Pícsi es **CBR LAB = $-0.7434(N\ PDC)^3 + 21.661(N\ PDC)^2 - 208.63(N\ PDC) + 667.29$** , con un coeficiente de correlación $R^2 = 0,9765$; la ecuación polinómica es aplicable para suelos con las características mencionadas en esta investigación.

Se muestra el resumen de las propiedades físicas, mecánicas, clasificación y los resultados de las correlaciones de los tipos de suelos SM, CL, CL-ML, de las 9 calicatas de la localidad de PICSI.

TABLA DE RESULTADOS								
UBICACIÓN		PICSI-LAMBAYEQUE-PERÚ						
CALLE	CALICATA N°	CLASIFICACIÓN		HUMEDAD NATURAL (%)	PDC IN SITU (mm/golpe)	CBR TESIS	CBR LAB.	Ecuación
		SUCS	AASHTO					
SANTA ROSA	C-N°01	CL-ML	A-4-(6)	16.61	10.52	4.23	5.05	2
	C-N°02	CL	A-4-(3)	14.8	10.70	4.22	3.12	2
	C-N°03	CL	A-4-(4)	15.19	11.42	2.51	2.55	2
CONGRESO	C-N°04	CL-ML	A-4-(5)	16.66	6.98	13.64	13.64	2
	C-N°05	CL	A-6-(3)	20.13	7.73	5.52	5.41	2
	C-N°06	SM	A-2-4-(0)	12.89	7.79	15.39	15.38	1
REAL	C-N°07	SM	A-2-4-(0)	3.16	3.45	21.64	21.64	1
	C-N°08	SM	A-4(1)	12.26	2.04	15.70	15.7	1
	C-N°09	SM	A-4(2)	8.95	8.33	17.23	17.22	1

Observaciones:

- **(1)** Los resultados tienen un porcentaje de error inferior al (0,1) %, se puede aplicar para suelos con las características mencionadas en esta investigación.
- **(2)** Los resultados tienen un porcentaje de error de (1% - 26.07%), se puede aplicar para suelos con las características mencionadas en esta investigación.

NOTA: Los resultados obtenidos de las ecuaciones de Correlación (CBR TESIS), para la ecuación SM denominada (1) en el cuadro de observaciones tiene un grado de confiabilidad de 99%; en cambio la ecuación para los suelos CL y CL-ML tienen un grado de confiabilidad del 97,65%, lo cual existe un 2,35% de error en el total de muestras.

4.1.5 Demostración mediante una evaluación económica que el ensayo de Penetración Dinámica de Cono (PDC) in situ es económico y rápido con respecto al California Bearing Ratio (CBR) de laboratorio.

PDC IN SITU				
	CANTIDAD	Unid/Día	Precios Unitarios (soles)	TOTAL
Alquiler PDC	01	Pza	100	100
Excavación sub rasante	09	Calicatas	30	270
Movilidad	01	Global	100	100
Contenido de humedad	09	Unidades	10	90
Análisis granulométrico por tamizado	09	Unidades	50	450
Limite líquido	09	Unidades	20	180
Limite plástico	09	Unidades	20	180
TOTAL: S/.				1370.00

CBR LABORATORIO DE DISEÑO				
	CANTIDAD	Unid/Día	Precios Unitarios (soles)	TOTAL
Excavación sub rasante	09	Calicatas	30	270
Obtención de muestras	09	Calicatas	75	675
Movilidad	01	Global	100	100
Contenido de humedad	09	unidades	10	90
Análisis granulométrico por tamizado	09	unidades	50	450
Limite líquido	09	unidades	20	180
Limite plástico	09	unidades	20	180
CBR lab (incluye Próctor)	09	unidades	150	1350
TOTAL: S/.				3295.00

Se demostró que el ensayo del PDC in situ es más económico, con un 42% del costo de hacer el CBR de laboratorio.

4.2 Discusión de resultados.

- Se obtuvo las ecuaciones para la localidad de Pícsi:

La ecuación para suelos Arenas Limosas (SM) es **CBR LAB = $0.3138(N\ PDC)^3 - 5.1495(N\ PDC)^2 + 25.226(N\ PDC) - 16.98$** , con un coeficiente de correlación $R^2 = 1$.

La ecuación para suelos Arcillosos Arenosos de baja plasticidad y Arcillas limosas arenosas de baja plasticidad (CL-ML) **CBR LAB = $-0.7434(N\ PDC)^3 + 21.661(N\ PDC)^2 - 208.63(N\ PDC) + 667.29$** , con un coeficiente de correlación $R^2 = 0,9765$.

Donde "N PDC" corresponde al resultado obtenido del ensayo del PDC in situ (Número de PDC (mm/golpe)), siendo confiable nuestros resultados.

La tesis "DETERMINACIÓN DE LA ECUACIÓN DE CORRELACIÓN ENTRE LOS ENSAYOS CBR DE LABORATORIO Y PDC IN SITU PARA LOS TIPOS DE SUELOS DE LA SUBRASANTE DE LA VIA RIOBAMBA – ALAUSI" Autor: LUCIA ELIZABETH PAUCAR NARANJO, con su ecuación para suelos Arenas Limosas (SM) es **CBR = $0.24PDC^3 - 3.22PDC^2 + 13.20PDC - 3.15$** , la cual tiene por coeficiente de correlación $R^2 = 0.28$.

Las ecuaciones para suelos Arenas Limosas (SM) es **CBR LAB = $0.3138(N\ PDC)^3 - 5.1495(N\ PDC)^2 + 25.226(N\ PDC) - 16.98$** , y para los suelos Arcillosos Arenosos de baja plasticidad y Arcillas limosas arenosas de baja plasticidad (CL-ML) es **CBR LAB = $-0.7434(N\ PDC)^3 + 21.661(N\ PDC)^2 - 208.63(N\ PDC) + 667.29$** , se acoplan a la realidad de los suelos (SM, CL, CL-ML) de la localidad de Pícsi- Chiclayo; obteniéndose el (CBR) laboratorio de diseño, bajo sus propiedades y condiciones reales de las muestras estudiadas, de acuerdo a las tipologías requeridas en la norma vigente. Para la aplicación de las correlaciones es importante el análisis de contenido de humedad, granulometría, límites de consistencia para cada una de las muestras en estudio, determinar el NPDC y el CBR de laboratorio.

IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones.

- Se determinó las propiedades físicas y mecánicas de los suelos estudiados y se clasificó por **SUCS** y **AASTHO**, clasificándose como: Calle Santa Rosa está conformado por suelos Arcilla limo arenoso de baja plasticidad (A-4-(6)) y arcilla limo arenosa de baja plasticidad (A-4-(3)), (A-4(4)), la calle Congreso está conformado por Arcilla limo arenosa de baja plasticidad (A-4-(5)), arcilla arenosa de baja plasticidad (A-6-(3)) y arena limosa (A-2-4-(0)), y la calle Real está conformado por Arenas limosas (A-4-(1)), (A-4-(2)) y (A-2-4-(0)) .
- Se determinó la curva del Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC in situ), diagrama estructural, y el balance estructural de la sub rasante de los suelos estudiados.
- Se determinó el CBR de laboratorio de diseño para la sub rasante de los suelos estudiados para cada espécimen compactados a los 56, 25,12 golpes (5 capas), las gráficas de diagrama de Próctor y el diagrama de CBR vs Densidad de cada una de las calicatas.
- Se correlacionó los resultados del Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC in situ) con respecto al California Bearing Ratio (CBR de laboratorio de diseño) y se obtuvo 2 ecuaciones:

La ecuación para el tipo de suelo Arena Limosa (SM) de la localidad de Pícsi es **$CBR_{LAB} = 0.3138(N_{PDC})^3 - 5.1495(N_{PDC})^2 + 25.226(N_{PDC}) - 16.98$** , con un coeficiente de correlación $R^2 = 1$; la ecuación polinómica es aplicable para suelos con las características

mencionadas en esta investigación obteniéndose resultados confiables y aceptables en un 99%.

Ecuación para los tipos de suelos: Arcilla Arenosa de baja plasticidad (CL) y Arcilla limo arenoso de baja plasticidad (CL-ML) de la localidad de Pícsi es **$CBR_{LAB} = -0.7434(N_{PDC})^3 + 21.661(N_{PDC})^2 - 208.63(N_{PDC}) + 667.29$** , con un coeficiente de correlación $R^2 = 0,9765$; la ecuación polinómica es aplicable para suelos con las características mencionadas en esta investigación, siendo confiables y aceptables en un 97.65 %.

- Se demostró que el Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC in situ) es más económico costando un 42% del costo al realizar el ensayo California Bearing Ratio (CBR de laboratorio de diseño), y es más rápido de realizar y obtener resultados.

5.2 Recomendaciones

- Se recomienda utilizar estas ecuaciones a modo de estimación del CBR de diseño, para los suelos: Arena limosa (SM), Arcilla arenosa de baja plasticidad (CL) y Arcilla limo arenoso de baja plasticidad (CL-ML), con una humedad comprendida entre (3 - 20) % y con un rango de N PDC del (2 - 12) mm/golpe.
- Se recomienda normalizar el ensayo PDC en nuestro País, para la auscultación, estimación y evaluación de los suelos, basado en resultados estadísticos.

- El ensayo PDC in situ permitirá obtener resultados de CBR laboratorio de diseño, con un grado de confiabilidad comprendida entre el (97,65 - 99) %.
- El Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC), es un instrumento liviano y de fácil transporte para ser utilizado en lugares inaccesibles, en forma rápida y económica para la auscultación, estimación y evaluación de los suelos.

Referencias

- Alvarez, E., & Páez, J. F. (2014). *Diagnostico de la Red Vial de los barrios Santa Clara, Dos de Octubre y Villa Paraíso del Municipio de Ocaña norte de Santander*. Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, Facultad de Ingenierías. Ocaña, Colombia: Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña. Obtenido de <http://repositorio.ufpso.edu.co:8080/dspaceufpso/handle/123456789/372>
- Amaya, C. A. (2013). *Caracterización de materiales de las Canteras California, David Carvajal del Municipio de Girardot y material aluvial del río Coello de este mismo municipio para producción de subbase y base granular*. Universidad Católica de Colombia. Bogotá, Colombia: Universidad Católica de Colombia. Obtenido de <http://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/465>
- Angamarca, A. A. (2013). *Determinación del CBR de laboratorio y natural en suelos finos y su correlación con el DCP para la determinación de la capacidad portante de la sub-rasante, en el diseño de pavimentos flexibles de la ciudad de Quito*. Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ingeniería, Ciencias Físicas y Matemática. Quito, Ecuador: Universidad Central del Ecuador. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/969>
- Araujo, W. (2014). *Ecuaciones de correlación del CBR con propiedades índice de suelos para la ciudad de Piura*. Universidad de Piura, Departamento de Ingeniería Civil. Piura, Perú: Universidad de Piura. Obtenido de https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2192/ICI_208.pdf?sequence=1
- Barquero, E., & Fernandez, I. (2000). Obtenido de Método de ensayo estándar para el uso del Penetrómetro: <http://srvinternet.mopt.go.cr/centrodeinformacion/CONTROL-VERIFICACION-KfW/NORMA%20DCP-695103.pdf>
- Beskid, J. M., & Martínez, R. (2004). *Estudio comparativo de los resultados del California Bearing Ratio (CBR) obtenidos en laboratorio y con un penetrómetro dinámico*. Universidad Rafael Urdaneta, Facultad de Ingeniería. Maracaibo, Venezuela: Universidad Rafael Urdaneta. Obtenido de <http://200.35.84.131/portal/bases/marc/texto/2301-04-00576.pdf>
- Cabello, T. E., & Mendez, J. S. (2006). *Valor estructural del pavimento con el PDC*. Universidad Nacional "San Luis Gonzaga" de Ica, Facultad de Ingeniería Civil. Ica, Perú: Universidad Nacional "San Luis Gonzaga" de Ica. Obtenido de "VALOR ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO CON EL PDC": <http://studylib.es/doc/403337/valor-estructural-del-pavimento-con-el-pdc>
- Chang, L. (17 de diciembre de 2014). *C.B.R. (California Bearing Ratio)*. Obtenido de Universidad Nacional de Ingeniería: <https://es.slideshare.net/chininx100pre/cbr-ensayos>

- Denoia, J., & Giubileo, G. (noviembre de 2008). Penetrómetro para el estudio de costras de suelo en laboratorio. *Ciencia, docencia y tecnología*, XIX(37), 191 - 204. Obtenido de USOS Y APLICACIONES DEL PENETROMETRO DE CONO: <http://www.scielo.org.ar/pdf/cdyt/n37/n37a09.pdf>
- Eduardo, I. L. (2012). Resistencia insitute subrasante utilizando penetrometro dinamico de cono en la ciudad de Ica. *Resistencia insitute subrasante utilizando penetrometro dinamico de cono en la ciudad de Ica*. Lima, Perú.
- Fernando., L. T. (20 de 02 de 2006). Correlación entre los valores de resistencia a la penetración Cónica D.C.P y el valor de relación de soporte C.B.R de suelos para la región geológica del área local de valledupar. *Correlación entre los valores de resistencia a la penetración Cónica D.C.P y el valor de relación de soporte C.B.R de suelos para la región geológica del área local de valledupar*. Valledupar, Cesar, Colombia.
- Geomec. (19 de mayo de 2014). *ENSAYO DE CBR DE LA SUBRASANTE Y SU CORRELACIÓN CON EL DPC, DE UNA CALICATA UBICADA EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA*. Obtenido de Geomec Ingenieros Consultores y Ejecutores: <https://www.facebook.com/GEOMEC.INGENIEROS/photos/pb.608258799188795.-2207520000.1463432508./859041484110524/?type=3&theater>
- Gisbert, J. M., Ibáñez, S., & Moreno, H. (2006). *La textura de un suelo*. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia. Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/7775/Textura.pdf?sequence=1>
- González, M. (2 de enero de 2012). *Mecánica de suelos – Resistencia al corte de los suelos*. Obtenido de La Guía: <http://fisica.laguia2000.com/dinamica-clasica/mecanica-de-suelos-resistencia-al-corte-de-los-suelos>
- google maps. (2016). Obtenido de <https://www.google.com.pe/maps/place/Real,+Picsi/@-6.7181451,-79.7731812,16.25z/data=!4m2!3m1!1s0x904cea24c3477f21:0x2bb63e3310ebe459>
- Google Maps, 2. (13 de FEBRERO de 2013). Obtenido de https://www.google.com.pe/maps/place/Piura/@-5.2021304,-80.656778,3a,75y,178.56h,67.33t/data=!3m7!1e1!3m5!1sdB2WQoMJXcEW7lJyt8hsog!2e0!6s%2F%2Fgeo0.ggpht.com%2Fcbk%3Fpanoid%3DdB2WQoMJXcEW7lJyt8hsog%26output%3Dthumbnail%26cb_client%3Dmaps_sv.tactile.gps%26
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2006). *Metodología de la Investigación Científica*. México: McGraw-Hill.
- ICONTEC. (mayo de 2011). *ICONTEC*. Obtenido de <http://www.pascualbravo.edu.co/site/pdf/calidad/gestionriesgos.pdf>

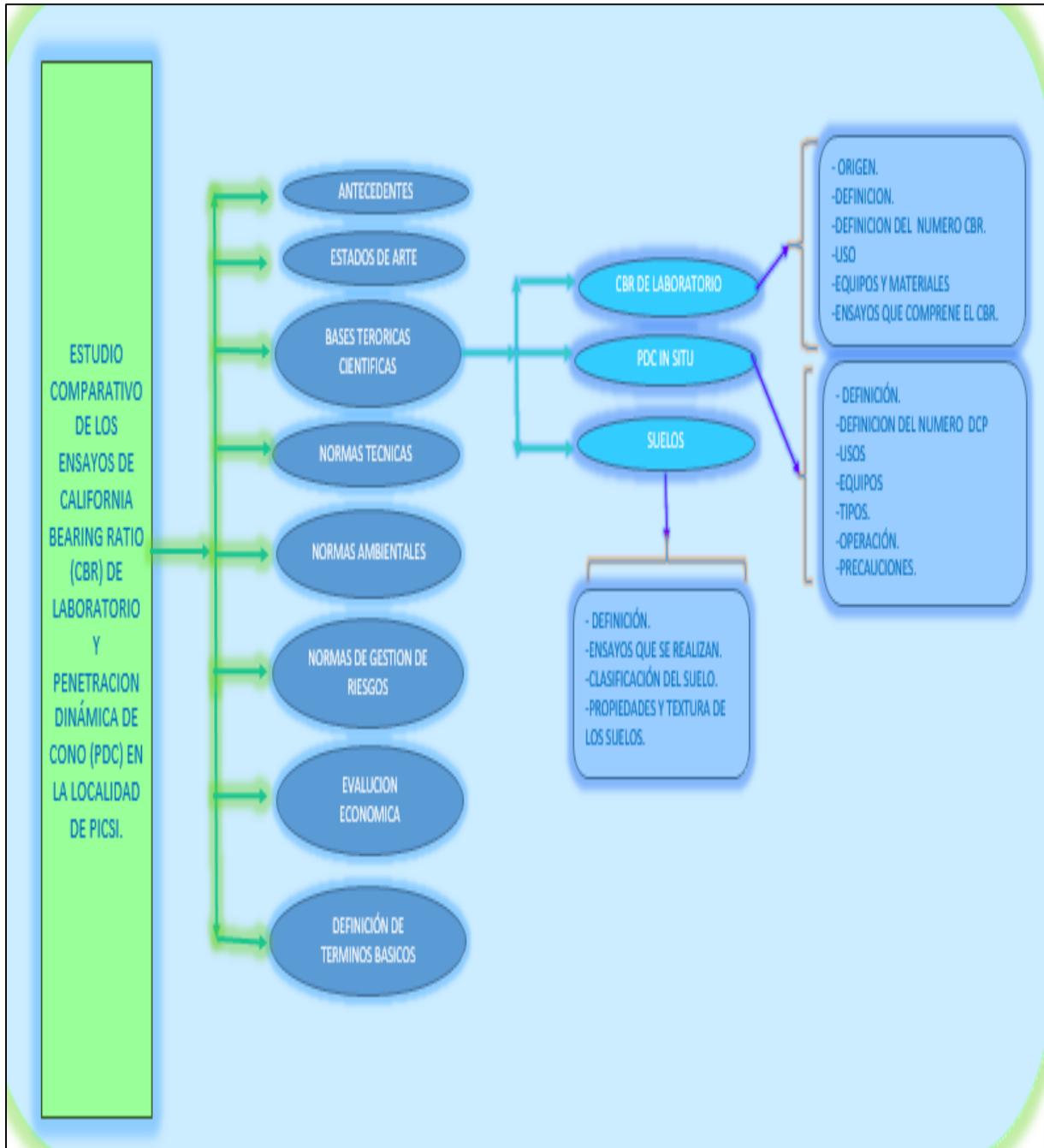
- INEI. (Enero de 2011). *Análisis Costo Beneficio*. Obtenido de <http://www.ongei.gob.pe/publica/metodologias/Lib5006/cap3-6.htm>
- Injante, H. E. (2012). *Resistencia insitute subrasante utilizando penetrometro dinamico de cono en la ciudad de Ica*. Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Civil. Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería. Obtenido de http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/1135/1/injante_lh.pdf
- Instituto de Desarrollo Urbano. (marzo de 2004). *Problemas especiales detectados y estudiados*. Obtenido de Problemas especiales detectados y estudiados: <http://webidu.idu.gov.co:9090/jspui/bitstream/123456789/114638/6/60013596-02.pdf>
- Instituto Nacional de Vías. (2007). *Relación de soporte del suelo en el laboratorio (CBR de laboratorio)*. Obtenido de ftp://ftp.unicauca.edu.co/Facultades/FIC/IngCivil/Especificaciones_Normas_INV-07/Normas/Norma%20INV%20E-148-07.pdf
- Lacera, G. F. (2006). *Correlación entre los valores de resistencia a la penetración conica DCP y el valor de relación de soporte CBR de suelos para la región geológica del área local de Valledupar*. Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ciencias Fisico Mecanicas. Bucaramanga, Colombia: Universidad Industrial de Santander. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/282387791/correlacion-cbr-pdc>
- Lopez, W. (24 de OCTUBRE de 2009). *Compactacion de suelos*. Obtenido de <http://es.slideshare.net/wlopezalmarza/compactacion-de-suelos>
- Núñez, J. (16 de noviembre de 2014). *Fallas presentadas en la construcción de carreteras asfaltadas*. Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería. Lima, Perú: Universidad de Piura. Obtenido de https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2143/MAS_ICIV-L_028.pdf%3bsequence=1
- Osorio, J. F., & Casas, A. N. (2011). *Correlación P.D.C. con C.B.R. para suelos en la localidad de Suba*. Universidad Militar Nueva Granada, Facultad de Ingeniería. Bogotá, Colombia: Universidad Militar Nueva Granada. Obtenido de Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID): <http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/3653/2/OsorioMartinezJoseFernando2011.pdf>
- Paucar, L. E. (2012). *Determinación de la ecuación de correlación entre los ensayos CBR de laboratorio y PDC in situ para los tipos de suelos de la subrasante de la via Riobamba – Alaus*. Universidad Nacional de Chimborazo, Facultad de Ingeniería. Riobamba, Ecuador: Universidad Nacional de Chimborazo. Obtenido de <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/495/1/UNACH-EC-IC-2011-0006.pdf>

- Portilla, F. P., & Pillajo, A. d. (2001). *Determinación del CBR de laboratorio en suelos granulares y su correlación con el DCP para la aplicación en el diseño de pavimentos de caminos vecinales*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Quito, Ecuador: Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Obtenido de <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/2386>
- Quispe, E. A. (2012). *Evaluación de la capacidad de soporte del terreno por medio del penetrómetro dinámico de cono (DCP) para suelos puzolánicos*. Universidad Católica de Santa María, Facultad de Arquitectura e Ingeniería Civil tt del Ambiente. Arequipa, Perú: Universidad Católica de Santa María. Obtenido de <https://prezi.com/rg31bkyfh16/copy-of-tesis-suelos-puzolanicos-dcp/>
- Sánchez, F. J. (10 de agosto de 2012). *BLOG DE CONCEPTOS Y APLICACIONES DE LA TECNOLOGIA RAMCODES EN SUELOS Y MEZCLAS ASFALTICAS*. Obtenido de RAMCODES: <http://blogramcodes.blogspot.pe/2012/08/que-es-el-cbr.html>
- Trece, R. S. (11 de octubre de 2010). *Ecuaciones de correlación para el DCP Penetrómetro Dinámico de Cono*. Obtenido de Ecuaciones de correlación para el DCP Penetrómetro Dinámico de Cono: <http://elmanana.com.mx/noticia/77667/Baches-y-desniveles-no-son-el-unico-problema-de-la-Carretera-Nacional-LaredoMonterrey.html>
- Tupia, C. A., & Alva, J. E. (2001). *Evaluación de la capacidad de soporte del terreno por medio de un equipo de penetración dinámica*. XI Congreso Ibero-Latinoamericano del Asfalto. XI Congreso Ibero-Latinoamericano del Asfalto. Obtenido de http://www.jorgealvahurtado.com/files/labgeo12_a.pdf
- Universidad de Chile. (2006). *ANALISIS GRANULOMETRICO, LIMITES DE ATTERBERG*. Obtenido de <http://docplayer.es/23479454-Guia-de-laboratorio-1.html>
- Viscarra, F. (2006). *El cono dinámico de penetración y su aplicación en la evaluación de suelos*. Universidad Privada Boliviana. Bolivia: Universidad Privada Boliviana. Obtenido de <http://civil.upb.edu/files/2010/11/EL-CONO-DIN%C3%81MICO-DE-PENETRACI%C3%93N-Y-SU-APLICACI%C3%93N-EN-LA-EVALUACI%C3%93N-DE-SUELOS.pdf>

ANEXOS

ANEXOS N° 1

MAPA TEÓRICO DE LAS VARIABLES DE ESTUDIO



ANEXOS N° 2 MAPA DE UBICACIÓN DE CALICATAS.



PANEL FOTOGRÁFICO

