

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. GENERALIDADES

La finalidad de este ensayo de CBR es determinar la capacidad portante de suelos compactados en el sitio y en el laboratorio con humedades óptimas y niveles de compactación variable, para cada capa de la carretera en estudio (subrasante, subbase y base). La obtención de los valores de CBR in situ y CBR en laboratorio, proporciona a este trabajo un estudio de comparación de los valores obtenidos y cada equipo de CBR seleccionado.

Para la utilización del equipo CBR in situ se tomará en consideración el peso de una volqueta que hace necesario de un amplio enfoque técnico en los estudios de suelos para el diseño de las capas estructurales de una carretera. Enfocando al máximo la investigación, en un estudio de las condiciones más reales en las que se encuentra la subrasante, subbase y base.

En laboratorio se necesitará el equipo de compactación, equipo de hinchamiento y prueba de penetración de la muestra; en el sitio, el equipo CBR in situ.

El ensayo CBR in situ, se realizará en el tramo SAN MATEO – MONTE MÉNDEZ y con muestras del mismo tramo se realizará el ensayo de CBR en Laboratorio, en instalaciones de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, se medirán la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos y se podrá evaluar la calidad de los suelos para las diferentes capas.

Se seguirá el procedimiento, dispuesto en el manual del equipo CBR in situ. Y la guía de ensayos para el laboratorio de suelos de la U.A.J.M.S.

Realizando el uso de ambos equipos se hará un análisis de la relación que tienen los resultados cuando se hace un ensayo de CBR in situ y cuando la muestra se lleva al laboratorio.

El aporte realizado en el presente proyecto es realizar una comparación entre el equipo CBR in situ con el equipo CBR de laboratorio sumergido, permitiendo mostrar con claridad las similitudes y sus diferencias.

1.2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

La mayoría de las empresas actualmente realiza este ensayo de CBR en laboratorios, porque no cuentan con el equipo y la capacitación previa para la realización del ensayo CBR in situ.

No existe una comparación entre los dos equipos y valores que obtienen el CBR, para conocer las ventajas y desventajas que presentan.

Se requiere la evaluación de las propiedades de resistencia in situ del terreno del tramo en estudio, empleando métodos directos, aunque frecuentemente éstos son engorrosos y costosos, como los ensayos CBR in situ. También se puede recurrir a métodos indirectos, tales como el CBR de laboratorio, ensayando la muestra en condiciones desfavorables, lo cual en muchos casos no logra representar con absoluta fidelidad las condiciones reales de trabajo del suelo, a pesar de esto es importante una comparación de ambos métodos.

En la actualidad estimar el CBR en laboratorio puede resultar costoso y el tiempo para la obtención de resultados suele demorar.

La comparación que se realizará hace énfasis a la decisión que se deba tomar para realizar el ensayo CBR, optando por elegir el CBR obtenido en laboratorio o en el sitio, teniendo en cuenta todas las características de ambos equipos.

1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.3.1. Problema

¿Qué relación existe entre los equipos de CBR in situ y CBR en laboratorio, y entre los resultados obtenidos con los mismos?

1.3.2. Situación problemática

Para realizar el ensayo de CBR in situ, necesariamente el equipo debe ser trasladado en movilidad. Es indispensable contar con un medio de transporte y además el montaje y

funcionamiento del equipo es moroso. Por lo que cada ensayo puede tardar aproximadamente una hora.

Los ensayos de CBR in situ casi no se los realiza en nuestro medio, por ser un equipo de un elevado precio tal como lo explica el Ing. Abraham Fernández. *“La evaluación de las propiedades de resistencia in situ del terreno de cimentación empleando métodos directos siempre es deseada, pero casi siempre estos son engorrosos y costosos, como los ensayos CBR in situ”*.

El valor de CBR es un parámetro del suelo necesario, obtenido en los estudios geotécnicos previos al diseño y la construcción de carreteras, que cuantifica su capacidad resistente como subrasante, subbase y base en el diseño de pavimentos. Es un ensayo empírico que se efectúa bajo condiciones controladas de humedad y densidad. Aunque los nuevos métodos de diseño de pavimentos incluyen parámetros más representativos de la resistencia del suelo.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

Realizar una comparación entre las características del equipo y los valores obtenidos de CBR in situ con el de laboratorio para las capas subrasantes, subbase y base en el tramo San Mateo-Monte Méndez.

1.4.2. Objetivos específicos

- Ubicar el tramo de una carretera en construcción de pavimento flexible que contenga las tres capas subrasante, subbase y base para realizar los ensayos CBR in situ y densidad in situ.
- Realizar el ensayo CBR in situ en tres capas de la carretera: subrasante, subbase y base en el tramo San Mateo-Monte Méndez para realizar una comparación técnica con el ensayo de CBR en laboratorio.
- Realizar el ensayo de densidad in situ en tres capas de la carretera: subrasante, subbase y base en el tramo San Mateo-Monte Méndez para poder conocer las características del suelo en estudio.

- Extraer muestras de las tres capas Subrasante, subbase y base del tramo San Mateo-Monte Méndez en base al método para extraer y preparar muestras (ASTM C 75 AASHTO T2).
- Realizar la caracterización de los suelos mediante los ensayos de granulometría, límites, clasificación, compactación; para poder realizar el ensayo de CBR en laboratorio.
- Realizar el ensayo CBR en laboratorio para la capa subrasante, subbase y base del tramo San Mateo-Monte Méndez para realizar una comparación técnica con el ensayo de CBR in situ.
- Establecer una correlación entre el CBR determinado en laboratorio y el CBR in situ para las capas subrasante, subbase y base, mediante una regresión lineal de Pearson, para poder hacer un análisis de la relación entre ambos resultados.
- Plantear ventajas y desventajas del uso del CBR in situ y CBR en laboratorio en base al uso de campo, facilidad del equipo, costo del ensayo, duración del ensayo, capacidad de carga y disponibilidad del equipo.

1.5. HIPÓTESIS

La comparación del equipo y los valores de CBR in situ y CBR de laboratorio, proporciona mayor confiabilidad al ensayo realizado en el sitio porque los ensayos de campo determinarán la capacidad soporte de CBR de los suelos de base, subbase y subrasante en la condición óptima deseada.

1.6. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

El proyecto consiste en realizar una comparación técnica del ensayo CBR in situ con el ensayo que se realiza en laboratorio en el tramo San Mateo – Monte Méndez en las capas subrasante, subbase y base. Para esto se ira hasta el tramo de 6,4 km. con el equipo CBR in situ y se realizara el ensayo de CBR in situ en las capas base y subbase cada 300 metros, salvo algunas excepciones y en la capa subrasante cada 100 metros, se recogerá material del banco donde saca el material la empresa para según las dosificaciones dadas se pueda realizar el ensayo CBR en laboratorio.

Se tiene 3,3 km. de tramo de capa base, 2,7 km. de tramo de capa subbase y 400 m. de tramo de subrasante.

Las dosificaciones para las capas estructurales base, subbase y subrasante proporcionada por la empresa ejecutora son las siguientes:

DOSIFICACIÓN BASE. – 30% río, 30% banco, 25% material chancado y 15% quebrada.

DOSIFICACIÓN SUBBASE. – 30% río, 30% quebrada, 40% banco.

DOSIFICACIÓN SUBRASANTE. – 70% banco, 30% río.

En laboratorio se realizará todos los ensayos previos que son indispensables para poder realizar el ensayo de CBR para las diferentes capas de estudio. Los ensayos son: granulometrías, límites, clasificación, compactaciones.

Se realizará el ensayo de CBR en laboratorio con la muestra sumergida y sin sumergir.

El molde con la muestra sumergida se lo deja en el agua 96 horas, pero por ser un suelo granular no hay mucha expansión y se la puede dejar de 48 a 72 horas antes de romper la muestra en la prensa. Esta muestra sumergida para cada capa (CBR obtenido para las peores condiciones). Se muestra las condiciones que presenta el CBR cuando este es obtenido en laboratorio.

Este ensayo sumergido es el CBR (al 95%) convencional relevante para esta comparación con el CBR in situ.

Por otra parte, la muestra sin sumergir que se dejará por tan solo 24 horas. Este CBR servirá para encontrar un grado de variación que existe con el CBR convencional sumergido.

Una vez realizado estos ensayos se procederá a realizar el análisis y comparación obteniendo sus ventajas y desventajas de ambos ensayos de CBR in situ y laboratorio.

1.7. VARIABLES

1.7.1. Variables dependientes

Las variables dependientes en este proyecto serán: El valor CBR, la densidad del suelo, la humedad del suelo, compactación, temperatura del suelo.

1.7.2. Variable independiente

La variable independiente en este proyecto será el Suelo donde se realice el ensayo, el mismo que se llevará al laboratorio para ser estudiado.

Tabla 1 – Definición de variables

Definición de Variables			
Variable Dependiente	Dimensión	Indicador	Valor
Densidad del suelo	Característica del suelo.	Porosidad Grado de aireación Capacidad de drenaje	Densidad g/cm ³
Humedad del suelo	Característica del suelo.	Cantidad de agua por volumen de tierra que hay en un terreno.	Valor porcentual
Compactación	Proceso mecánico Mejora: Resistencia, comprensibilidad.	Aumento de la densidad del material que compone un terreno	No menor a 90%
Valor CBR	Capacidad portante del suelo.	Resistencia máxima Grado de compacidad	Índice de CBR
Variable Independiente	Dimensión	Indicador	Valor
Suelo	Diferentes tipos de suelos	De suelos malos, a excelentes	Clasificación según AASHTO.

Fuente: Elaboración propia

1.8. UNIDADES DE ESTUDIO Y DECISIÓN MUESTRAL

1.8.1. Unidades de estudio

La unidad de estudio del presente trabajo de investigación es única, y es el suelo utilizado para la construcción de la carretera, Tramo San Mateo-Monte Méndez. La unidad o el área de estudio es realizar la comparación del equipo CBR in situ con el de laboratorio.

1.8.2. Población

La población escogida para este estudio corresponde al tramo San Mateo – Monte Méndez, ubicada en el Municipio de San Lorenzo del Departamento de Tarija, comprende 6,4 kilómetros.

1.8.3. Muestra

La muestra seleccionada para esta investigación se extraerá del tramo San Mateo – Monte Méndez. Se realizará el ensayo de CBR in situ en las progresivas señaladas más adelante, en las capas base y subbase se obtendrá el CBR in situ cada 300 metros, salvo algunas excepciones y en la capa subrasante cada 100 metros.

Para realizar los ensayos en el laboratorio, se extraerá material del banco de donde la empresa almacena el material que es utilizado en la construcción del tramo.

1.8.4. Muestreo

El muestreo probabilístico, es estadístico y una técnica para la selección de una muestra a partir de una población.

El muestreo que se pretende obtener es suelo, y se dará bajo la autorización de la empresa que se encuentra encargada de la construcción del tramo San Mateo-Méndez.

La cantidad del suelo necesario para poder realizar el estudio en laboratorio será extraída de los bancos de suelo que acopia la empresa.

Para el muestreo se extrae muestras de los bancos ubicados en el campamento de la empresa. Con una dosificación adecuada de suelo del río, material de piedra chancado, suelo de quebrada y banco, se extrae la cantidad suficiente para conformar cada capa.

1.8.4.1. Dosificación de capa: base, subbase y subrasante.

DOSIFICACIÓN BASE. – 30% río, 30% banco, 25% material chancado y 15% quebrada.

DOSIFICACIÓN SUBBASE. – 30% río, 30% quebrada, 40% banco.

DOSIFICACIÓN SUBRASANTE. – 70% banco, 30% río.

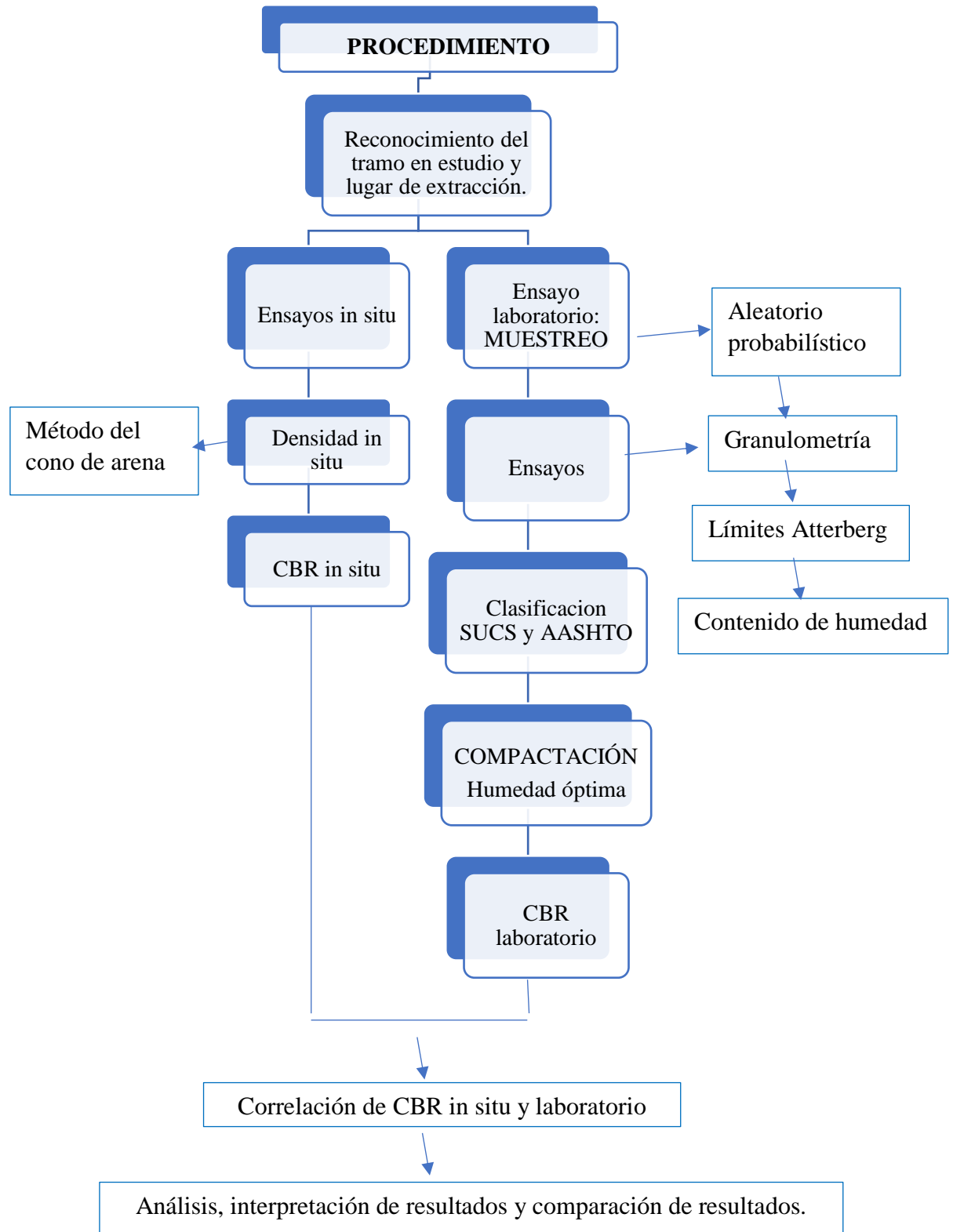
1.8.5. Métodos y técnicas empleadas

Lo que se pretende con el presente proyecto es determinar qué relación existe entre el equipo CBR in situ con el de laboratorio, a base de una comparación realizada para cada capa de carretera que conforma el tramo en estudio y realizar correlaciones para saber el grado de asociación entre ambas.

El uso de los equipos para realizar el CBR y las densidades en el sitio, dotarán a este proyecto datos importantes para realizar la deseada comparación. Y con la muestra extraída de los bancos se hará el estudio con el equipamiento del laboratorio de suelos de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

Además, se buscará información de distintas fuentes que ayuden a entender los datos obtenidos en los ensayos tanto en campo como en laboratorio. Estos datos pueden ser tomados de libros, revistas, páginas en internet, consultas con profesionales guías del área y cualquier otra fuente de información que contribuya con el entendimiento de la investigación.

1.9. ESQUEMA LÓGICO SECUENCIAL



CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. MECÁNICA DE SUELOS

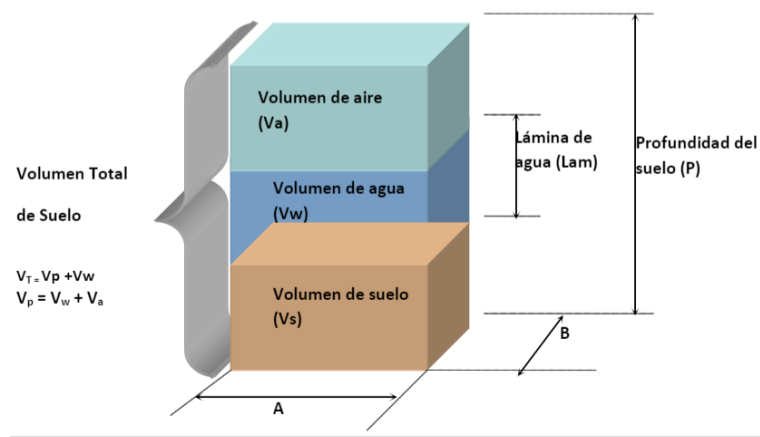
En ingeniería, la mecánica de suelos es la aplicación de las leyes de la física y las ciencias naturales a los problemas que involucran las cargas impuestas a la capa superficial de la corteza terrestre.

Todas las obras de ingeniería civil se apoyan sobre el suelo de una u otra forma, y muchas de ellas, además, utilizan la tierra como elemento de construcción para terraplenes, diques y rellenos en general; por lo que, en consecuencia, su estabilidad y comportamiento funcional y estético estarán determinados, entre otros factores, por el desempeño del material de asiento situado dentro de las profundidades de influencia de los esfuerzos que se generan, o por el del suelo utilizado para conformar los rellenos.

2.2. CONTENIDO DE HUMEDAD EN SUELOS

El contenido de humedad es la relación que existe entre el peso de agua contenida en la muestra en estado natural y el peso de la muestra después de ser secada en el horno a una temperatura entre los 105°-110° C. Se expresa de forma de porcentaje, puede variar desde cero cuando está perfectamente seco hasta un máximo determinado que no necesariamente es el 100%. La importancia del contenido de agua que presenta un suelo representa, una de las características más importantes para explicar el comportamiento de este, por ejemplo, cambios de volumen, cohesión, estabilidad mecánica.

Figura 1 – Diagrama de los componentes del suelo



Fuente: Ing. Carlos Alberto Gonzáles Murillo. Conceptos elementales del movimiento del agua en el suelo

$$w\% = \frac{W_a}{W_{ss}} * 100$$

Donde:

W=Contenido de humedad, en por ciento.

W_a= Peso del agua presente en el suelo.

W_{ss}= Peso del suelo después de secado al horno.

2.3. PESO ESPECÍFICO RELATIVO DE SUELOS

Peso específico de sólidos es la relación del peso de la fase solida entre el volumen de la fase sólida. Expresado como:

$$\gamma = \frac{W_s}{W_{fw} + W_s - W_{fsw}}$$

Donde:

γ =Peso específico relativo de un suelo

W_s= Peso del suelo seco

W_{fw}= Peso del frasco lleno de agua

W_{fsw}= Peso del frasco con suelo y agua

El peso específico de los componentes del suelo es variado, por ejemplo, menor de 2,5 gr/cm³(humus y yeso), 2,5 a 3,0 (arcillas, cuarzo, feldspatos, calcitas, micas), de 3,0 a 4,0(limonitas, piroxenos, olivinos) y mayor de 4,0 (hematitas y magnetitas). No obstante, considerando que la mayor parte de los componentes del suelo (aluminosilicatos, sílice) poseen una densidad oscilante entre 2,6 y 2,7 g/cm³, se toma un valor medio de 2,65 gr/cm³ (valor adoptado al realizar el análisis granulométrico).

2.4. GRANULOMETRÍA DE SUELOS

El análisis granulométrico de un suelo consiste en determinar los diferentes tamaños de las partículas y los porcentajes en que esos tamaños intervienen en su universo que lo componen. Es un indicativo para determinar ciertas propiedades de los diferentes suelos y para proceder a su clasificación. El análisis granulométrico por tamizado se realiza hasta las partículas de suelo retenidas en el tamiz N° 200 (0.075), y consiste en hacer pasar el suelo a través de un juego de tamices de aberturas conocidas. Por lo tanto, el tamaño o diámetro de las partículas está definido por la dimensión lateral o lado de la abertura cuadrada del tamiz.

Existen diferentes tipos de tamices con diferente graduación, pero los más usados son:

Tabla 2 – Número de tamices y aberturas de los orificios

N° de tamiz	Abertura de los orificios (mm).
3"	76.100
2"	50.800
1 ½"	38.100
1"	25.400
¾"	19.100
½"	12.500
3/8"	9.510
N° 4	4.760
N° 10	2.000
N° 20	0.840
N° 30	0.580
N° 40	0.420
N° 60	0.250
N° 200	0.075

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3 – Clasificación de suelos según el tamaño de partículas.

Nombre	Diámetro
Grava	75 a 5 mm
Arena	5 a 0,06
Limo	0,06 a 0,002
Arcilla	Menor a 0,002

Fuente: Elaboración propia.

2.5. CLASIFICACIÓN DE SUELOS

Se clasifican según diferentes criterios: su evolución, composición, capacidad de uso en agricultura y textura, entre otros. Las partículas minerales que forman el suelo tienen diferentes tamaños y se llaman arena, limo y arcilla, de mayor a menor.

2.5.1. Clasificación por el método AASHTO

El requerimiento de parámetros de diseño correspondientes a las características del suelo, determina que la clasificación de suelos se realice por el método AASHTO (M 145), principalmente con el fin de obtener el índice de grupo.

Este método clasifica a los suelos, de acuerdo con su composición granulométrica, su límite líquido y su índice de plasticidad, en siete grupos de A-1 a A-7. Los suelos cuyas partículas pasan el tamiz N° 200 (0,075 mm) en un porcentaje menor al 35 %, forman los grupos A1, A2, A3 y los subgrupos que corresponden. En cambio, los suelos finos limo-arcillosos que contienen más del 35 % de material fino que pasa el tamiz N° 200, constituyen los grupos A-4, A-5, A-6, A-7 y los correspondientes subgrupos.

La ventaja de este método radica en la posibilidad de evaluar la calidad del suelo a través del “índice de grupo”. Los suelos que tienen similar comportamiento se encuentran en el mismo grupo y están representados por un determinado índice.

Los índices de grupo de los materiales granulares están comprendidos entre 0 y 4, los correspondientes a suelos limosos entre 8 y 12, y los correspondientes a suelos arcillosos entre 11 y 20 o un número mayor.

El índice de grupo debe ser escrito entre paréntesis, su valor puede ser determinado mediante la fórmula siguiente:

$$IG = (F - 35)[0.2 + 0.005(LL - 40)] + 0.01(F - 15)(LP - 10)$$

Donde:

F = Porcentaje que pasa el tamiz N° 200

LL= Límite líquido

IP = Índice de plasticidad

2.5.2. Clasificación por el método SUCS

El sistema cubre los suelos gruesos y los finos, distinguiendo ambos por el cribado a través de la malla N° 200; las partículas gruesas son mayores que dicha malla y las finas menores. Un suelo se considera grueso si más del 50% de sus partículas son gruesas, y fino, si más de la mitad de sus partículas, en peso, son finas.

Si el suelo tiene entre un 5-12% de finos, pasantes del tamiz N° 200 se considera que ambas distribuciones de granos tienen un efecto significativo para las propiedades ingenieriles del material. Estaríamos hablando por ejemplo de gravas bien graduadas, pero con limos. En esos casos se recomienda usar doble notación, por ejemplo: GW-GM correspondiente a "grava bien graduada" y "grava con limo"

Si el suelo tiene más del 15% del peso retenido por el tamiz N° 4 ($R_{N^{\circ}4} > 15\%$), hay una cantidad significativa de grava, y al sufijo "con grava" se le puede añadir el nombre del grupo, pero el símbolo del grupo no cambia. Por ejemplo, SP-SM con grava se refiere a "arena pobremente graduada con limo y grava".

Tabla 4 – Clasificación de suelos según AASHTO

Clasificación general	Materiales granulares							Materiales limo-arcillosos			
	(Igual o menor del 35% pasa por el tamiz N° 200)							(Más del 35% que pasa por el tamiz N° 200)			
Grupos	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Sub grupos	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5
											A-7-6
% que pasa el tamiz N° 10	50 máx.										
N° 40	30 máx.	50 máx.	51 máx.								
N° 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características del material que pasa el tamiz N° 40											
Límite líquido			NO	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 máx.
Índice de plasticidad	6 máx.	6 máx.	PLÁSTICO	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
índice de grupo	0	0	0	0	0	4 máx.	4 máx.	8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Tipos de material	Fragmentos de piedra grava y arena		Arena fina	Grava, arenas limosas y arcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Terreno de fundación	Excelente a bueno					Regular a deficiente					

Fuente: Guía de ensayos. Laboratorio de Suelos, UAJMS.

Tabla 5 – Sistema unificado de clasificación de suelos S.U.C.S.

Símbolo	Características generales		
GW	Gravas	Limpias	Bien graduadas
GP		(Finos < 5%)	Mal graduadas
GM	> 50% en tamiz	Con Finos	Componente limoso
GC	N° 4 ASTM	(Finos > 12%)	Componente arcilloso
SW	Arenas	Limpias	Bien graduadas
SP		(Finos < 5%)	Mal graduadas
SM	< 50% en tamiz	Con Finos	Componente limoso
SC	N° 4 ASTM	(Finos >12%)	Componente arcilloso
ML	Limos	Baja plasticidad (LL < 50)	
MH		Alta plasticidad (LL > 50)	
CL	Arcillas	Baja plasticidad (LL < 50)	
CH		Alta plasticidad (LL > 50)	
OL	Suelos	Baja plasticidad (LL < 50)	
OH	Orgánicos	Alta plasticidad (LL > 50)	
Pt	Turba	Suelos altamente orgánicos	

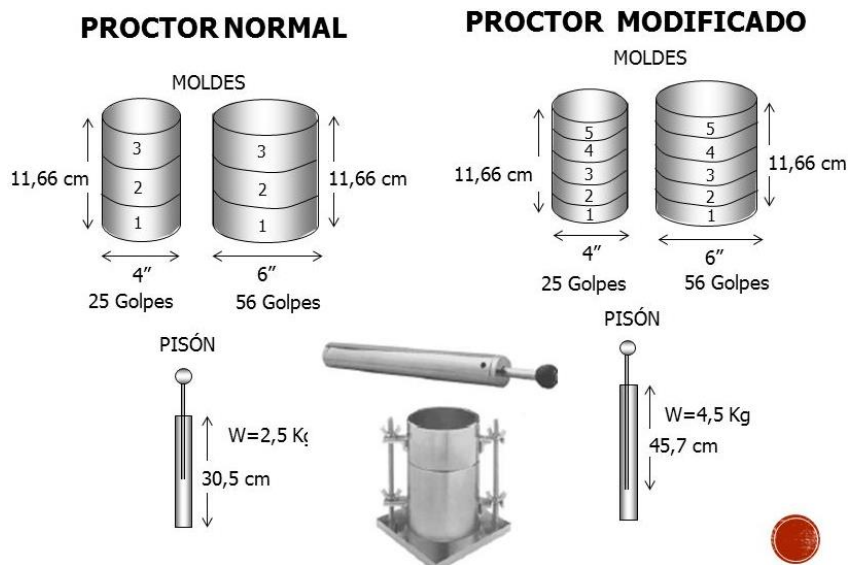
Fuente: Elaborado por: Ing. Iván Matus Lazo y Ing. Marvin Blanco Rodríguez. Carta de plasticidad SUCS ASTM D2487.

2.6. COMPACTACIÓN

El término compactación se utiliza en la descripción del proceso de densificación de un material mediante medios mecánicos. El incremento de la densidad se obtiene por medio de la disminución de la cantidad de aire que se encuentra en los espacios vacíos que se encuentra en el material, manteniendo el contenido de humedad relativamente constante.

En la vida real, la compactación se realiza sobre materiales que serán utilizados para relleno en la construcción de terraplenes, pero también puede ser empleado el material in situ en proyectos de mejoramiento del terreno.

Figura 2 – Métodos de compactación



Fuente: *Humedad óptima y densidad seca máxima* de José Ocas de la Cruz.

El principal objetivo de la compactación es mejorar las propiedades ingenieriles del material en algunos aspectos:

- Aumentar la resistencia al corte, y, por consiguiente, mejorar la estabilidad, de terraplenes y la capacidad de carga de cimentaciones y pavimentos.
- Disminuir la compresibilidad y, por consiguiente, reducir los asentamientos.
- Disminuir la relación de vacíos y, por consiguiente, reducir la permeabilidad.
- Reducir el potencial de expansión, contracción o expansión por congelamiento.

Para medir el grado de compactación de material de un suelo o un relleno se debe establecer la densidad seca del material. En la obtención de la densidad seca se debe tener en cuenta los parámetros de la energía utilizada durante la compactación y también depende del contenido de humedad durante el mismo.

Las relaciones entre la humedad seca, el contenido de humedad y la energía de compactación se obtiene a partir de ensayos de compactación en laboratorio.

La compactación en laboratorio consiste en compactar una muestra que corresponda a la masa de suelo que se desea compactar, con la humedad calculada y en un molde cilíndrico de volumen conocido y con una energía de compactación especificada. En la actualidad se presentan diferentes tipos de ensayos los cuales determinan el grado de compactación del material, entre otros se pueden encontrar los ensayos de: Método del martillo de 2.5 Kg, método del martillo de 4.5 Kg, proctor (estándar), proctor modificado y el método del martillo vibratorio. Los primeros cuatro están basados en la compactación dinámica creada por el impacto de un martillo metálico de una masa específica que se deja caer libremente desde una altura determinada, el suelo se compacta en un número de capas iguales y cada capa recibe el mismo número de golpes. La compactación en el quinto ensayo está basada en la combinación de presión estática y la vibración. El suelo se compacta en tres capas iguales presionado fuertemente hacia abajo el compactador vibratorio durante 60 segundos en cada capa.

Los resultados obtenidos a partir del ensayo proporcionan una curva, en la cual el pico más alto dicta el contenido de humedad óptima a la cual el suelo llega a la densidad seca máxima. Por medio de los ensayos se ha podido determinar que por lo general la

compactación es más eficaz en los materiales bien gradados que contienen una cantidad de finos que en los materiales de gradación uniforme que carecen de finos.

Figura 3 – Compactación en laboratorio



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6 – Especificación para la prueba proctor estándar (basados en las 689-91 de la ASTM)

Concepto	Método A	Método B	Método C
Diámetro del molde	101,6 mm.	101,6 mm.	152,4 mm.
Volumen del molde	943,3 cm ³ .	943,3 cm ³ .	2124 cm ³ .
Peso del Pistón	24,4 N.	24,4 N.	24,4 N.
Altura de caída del Pistón	304,8 mm.	304,8 mm.	304,8 mm.
Número de golpes del pistón capa de suelo	25	25	56
Número de capas	3	3	3
Energía de compactación	591,3 KN-m/m ³	591,3 KN-m/m ³	591,3 KN-m/m ³
Suelo por usarse	Porción que pasa la malla N° 4 (4,75 mm). Se usa si 20% o menos por peso de material es retenido en la malla N° 4.	Porción que pasa la malla de 9,5 mm. Se usa si el suelo retenido en la malla N° 4 es más del 20% y 20% o menos por peso es retenido en la malla de 9.5 mm.	Porción que pasa la malla de 19 mm. Se usa si más de 20% por peso de material es retenido en la malla de 9.5 mm., y menos de 30% por peso es retenido en la malla de 19 mm.

Fuente: Guía de ensayos. Laboratorio de suelos, UAJMS.

Tabla 7 – Especificación para la prueba proctor modificado (basados en las 689-91 de la ASTM)

Concepto	Método A	Método B	Método C
Diámetro del molde	101,6 mm.	101,6 mm.	152,4 mm.
Volumen del molde	943,3 cm ³ .	943,3 cm ³ .	2124 cm ³ .
Peso del Pistón	44,5 N.	44,5 N.	44,5 N.
Altura de caída del Pistón	457,2 mm.	457,2 mm.	457,2 mm.
Número de golpes del pistón capa de suelo	25	25	56
Número de capas	5	5	5
Energía de compactación	2696 KN-m/m ³	2696 KN-m/m ³	2696 KN-m/m ³
Suelo por usarse	Porción que pasa la malla N° 4 (4,75 mm). Se usa si 20% o menos por peso de material es retenido en la malla N° 4.	Porción que pasa la malla de 9,5 mm. Se usa si el suelo retenido en la malla N° 4 es más del 20% y 20% o menos por peso es retenido en la malla de 9.5 mm.	Porción que pasa la malla de 19 mm. Se usa si más de 20% por peso de material es retenido en la malla de 9.5 mm., y menos de 30% por peso es retenido en la malla de 19 mm.

Fuente: Guía de ensayos. Laboratorio de suelos, UAJMS.

2.7. DENSIDAD IN SITU

2.7.1. Método del cono de arena

Figura 4 – Densidad in situ, método cono de arena.



Fuente: Elaboración propia

En muchos trabajos de pavimentos es necesario realizar ensayos para controlar la densidad seca de cada capa que se va compactando y en este caso se utiliza el método del cono de arena para obtener la densidad in situ y compararla con la máxima densidad seca obtenida en el laboratorio.

El procedimiento que debe realizarse antes del ensayo del método de cono de arena de arena es el siguiente:

Con la arena calibrada pase #20 y retenida #30 se verterá en el contenedor.

Luego pesar el contenedor con la arena calibrada.

Después de obtenido el peso total debemos obtener el peso obtenido en el cono de arena, para esto hay que verter la arena que tiene el contenedor sobre la placa base de 6" de diámetro.

Después de vaciar la arena en el cono como se muestra arriba, se debe proceder a pesar de nuevo el contenedor para saber la arena que se quedó en el cono.

El procedimiento del ensayo in situ es el siguiente:

Colocar la placa base de 6" de diámetro en el suelo.

Luego se debe iniciar la excavación con el cincel dentro del círculo de la plantilla de la

placa base hasta alcanzar un aproximado de 15 cm de profundidad sobre el círculo de la plantilla.

Luego colocar todo el material extraído en una bolsa.

El material extraído debe pesarse en una balanza.

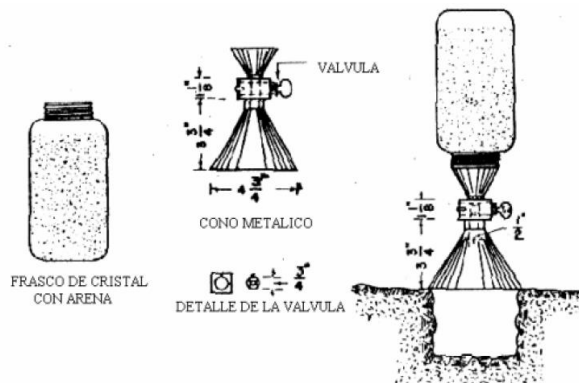
Una vez que se ha sacado la muestra de suelo, debe colocarse la arena calibrada que llevamos en el contenedor sobre el agujero realizado.

Cuando se ha vertido la arena, debemos de volver a pesar el contenedor para poder saber el peso de la arena en el orificio, para así poder determinar el volumen retirado del material en el suelo.

Después recoger la arena calibrados ensayos futuros, sin recoger la contaminada por el suelo.

Pasar el material que hemos extraído por la malla de $\frac{3}{4}$ y quitar todo el material retenido para poder obtener una muestra donde sacaremos su contenido de humedad y su peso seco respectivo.

Figura 5 – Obtención de datos de densidad, método cono de arena



Fuente: Federación internacional de carreteras.

2.8 CAPACIDAD SOPORTE C.B.R.

El ensayo CBR (California Bearing Ratio: Ensayo de relación de soporte de California) mide la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo y para poder evaluar la calidad del terreno para subrasante, subbase y base de pavimentos.

Se efectúa bajo condiciones controladas de humedad y densidad.

Este es uno de los parámetros necesarios obtenidos en los estudios geotécnicos previos a la construcción, como también lo son el Ensayo Proctor y los análisis granulométricos del terreno.

Diferenciamos distintos tipos de CBR en función de la calidad de suelos, a saber:

CBR suelos inalterados.

CBR suelos re-moldeados.

CBR suelos gravosos y arenosos.

CBR suelos cohesivos poco o nada plásticos.

CBR suelos cohesivos plásticos.

Este procedimiento puede efectuarse en terreno compactado.

Este procedimiento mide la carga necesaria para penetrar un pistón de dimensiones determinadas a una velocidad previamente fijada en una muestra compactada de suelo después de haberla sumergido en agua durante cuatro días a la saturación más desfavorable y luego de haber medido su hinchamiento.

La muestra se sumerge para prever la hipotética situación de acumulación de humedad en el suelo después de la construcción.

Figura 6 – Valores referenciales de CBR, usos y suelos.

CBR	Clasificación General	Usos	Sistema de Clasificación	
			Unificado	AASHTO
0 - 3	Muy pobre	Subrasante	OH, CH, MH, OL	A5, A6, A7
3 . 7	Muy pobre a regular	Subrasante	OH, CH, MH, OL	A4, A5, A6, A7
7 . 20	Regular	Subbase	OL, CL, ML, SC, SM, SP	A2, A4, A6, A7
20 - 50	Bueno	Subbase y base	GM, GC, SW, SM, SP, GP	A-1b, A2-5, A-3, A2-6
>50	Excelente	Base	GW, GM	A-1a, A2-4, A-3

Fuente: Manual del instituto de asfaltos.

2.8.1 Ensayo CBR en laboratorio

Carreteras de California en 1929 como una forma de clasificación de la capacidad de un suelo para ser utilizado como subrasante o material de base en construcción de carreteras. Durante la segunda guerra mundial, el cuerpo de ingenieros de los estados unidos adopto este ensayo para utilizarlo en las construcciones de aeropuertos.

Para diferentes valores de CBR y cargas por rueda o por eje, se han determinado los respectivos espesores de pavimentos, en base a datos experimentales. Los diferentes organismos viales y técnicos han elaborado curvas para la determinación de espesores de pavimentos flexibles, en función CBR.

El ensayo de CBR (la ASTM denominada el ensayo simplemente un ensayo de relación de soporte) mide la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas. El ensayo permite obtener un numero de la relación de soporte, pero de la aseveración anterior es evidente que este número no es constante para un suelo dado, sino que se aplica solo al estado en el cual se encontraba el suelo durante el ensayo.

La relación C.B.R. generalmente se determina para 0.1” y 0.2” de penetración o sea para un esfuerzo de 1000 y 1500 libras por pulgada cuadradas en el patrón, respectivamente. De estos dos valores se usa el que sea mayor.

Con el fin de duplicar en el laboratorio la condición más critica que se presenta en el terreno, las muestras para el ensayo del C.B.R. se sumerge en agua hasta obtener su saturación.

Los ensayos de C.B.R. se pueden efectuar sobre muestras compactadas en el laboratorio, sobre muestras inalterables obtenidas en el terreno y sobre suelo en sitio.

El numero C.B.R. usualmente se basa en la relación de carga para una penetración de 2.5mm. Sin embargo, si el valor de C.B.R. a una penetración de 5.0 mm es mayor, el ensayo debería repetirse (ordinariamente). Si un segundo ensayo produce nuevamente un valor de C.B.R. mayor de 5.0mm de penetración, dicho valor debe aceptarse como valor final del ensayo.

Los ensayos del C.B.R. se hacen usualmente sobre muestras compactadas al contenido de humedad óptimo para el suelo específico, determinado utilizando el ensayo de

compactación estándar (o modificación). Continuación utilizando los métodos 2 o 4 de las normas ASTM D698-70 o D1557-70 (para el molde de 15.2 cm de diámetro) se debe compactar las muestras utilizando las siguientes energías de compactación:

A menudo se compactan dos moldes de suelo, uno para penetración inmediata y otro para penetración después de dejarlo saturado por un periodo de 96 horas. El segundo espécimen es saturado durante 96 horas con una sobre carga aproximadamente igual al peso del pavimento que se utilizará en el campo, pero en ningún caso el peso de la sobre carga será menor de 4.5 kg. Es necesario durante este periodo tomar registros de expansión para instantes escogidos arbitrariamente y al final del periodo de saturación se hace la penetración para obtener el valor de C.B.R. para el suelo en condiciones de saturación completa.

En ambos ensayos de penetración para determinar los valores de C.B.R. se coloca una sobre carga sobre la muestra de la misma magnitud del que se utilizó durante el ensayo de expansión. El ensayo sobre la muestra saturada cumple dos propósitos.

- Dar importación sobre la expansión esperada en el suelo bajo la estructura de pavimentos cuando el suelo se satura.
- Dar indicaciones de perdida de resistencia debido a la saturación en el campo.

2.8.1.1. Metodología. Preparación de muestras

Las muestras se tomaron en una cantidad de 6000 a 7000 gramos, para su preparación se siguieron los siguientes pasos:

- a) Compensación del material: Se realizó una compensación en forma similar a la que se realizó en el ensayo de compactación. Hacer pasar el material por el tamiz $\frac{3}{4}$ " y N°4, se descarta lo retenido en $\frac{3}{4}$ ", y se compensa por peso con el material intermedio de $\frac{3}{4}$ " y N°4.
- b) Humedad del suelo: Una vez compensado el material, se debe calcular el contenido de humedad actual del suelo. A esto se agregar agua al material hasta que este obtenga el valor de la humedad óptima, caso contrario hacer secar el material. Se supone que al tener el suelo su humedad óptima, este compactado obtendrá su densidad máxima.

- c) Homogenización: Una vez realizado los anteriores pasos, mezclar el material para su respectiva homogenización.

2.8.1.2. Procedimiento general

2.8.1.2.1 Compactación

- a) Se ensambla el molde a la base perforada, para luego introducir el disco espaciador y ajustar el collarín al equipo.
- b) Se coloca sobre el collarín un papel filtro, para que no se pegue el material al disco y no existan pérdidas de material fino.
- c) Introducir el material en cinco capas, en cada capa se aplicó una carga dinámica de 56 golpes, utilizando para tal operación el martillo de 10 libras y 18" de caída.
- d) Luego se quitó el collarín para el respectivo enrasado, de tal manera que quedó nivelada la cara del molde.
- e) Se afloja el molde metálico de sus soportes, se separó la base para quitar el disco espaciador, para luego voltear el mismo y volver a ajustar a su base con la cara enrasada hacia abajo, antes de esto se puso el disco en la base perforada.
- f) Se pesó el molde con la muestra más la base, para así determinar su densidad y humedad ensayadas.

2.8.1.2.2. Expansión del material

- a) Una vez pesado el material se colocó sobre este otro papel filtro, para colocar sobre este el plato perforado y vástago regulable.
- b) Sobre el plato se puso pesas de plomo igual a 10 libras.
- c) Antes de someter el molde a la saturación, se debe haber medido la altura real del espécimen.
- d) Se introdujo todo el molde dentro de un tanque o depósito con agua cuyo nivel se encuentre 1 cm por debajo del nivel superior del molde.
- e) Se montó el trípode con un extensómetro, cuyo vértice inferior se conectó con la cabeza del vástago, en ese punto se tomó la lectura inicial.
- f) Cada 24 horas por un periodo de 96 horas (4 días), se tomaron y registraron las lecturas del extensómetro.

- g) La diferencia entre la lectura final y la inicial en valor absoluto en centímetros multiplicada por 100, nos proporcionaron el valor de la expansión que sufrió el material.

Figura 7 – Montaje de molde dentro de un depósito lleno de agua



Fuente: Elaboración propia

2.8.1.2.3 Resistencia a la penetración

- a) Luego de 4 días de saturación, se drenó de manera inclinada durante 15 minutos aproximadamente, para instalar el molde en la prensa y asentar el pistón de penetración sobre el espécimen.
- b) Se hincó el pistón manteniendo una velocidad de 0,05 pulgadas por minuto y se leen las cargas totales necesarias en 0,025", 0,05", 0,075", 0,1", 0,2", 0,3", 0,4" y 0,5".
- c) Una vez que se hincó el 0,5" del pistón, se suelta la carga, se retira el molde de la prensa y se quitan las pesas, para pesar el mismo y registrar el dato.
- d) Seguidamente se extraen tres muestras para determinar el contenido de humedad, la muestra del fondo, de la superficie y a 2" de profundidad de la superficie.

2.8.1.3. Equipo

El equipo necesario para la realización de la Práctica de CBR en laboratorio es el siguiente:

2.8.1.3.1. Equipo de compactación

Molde cilíndrico diámetro interior 6", y altura 7" a 8".

Collarín de 2" de altura.

Base perforada.

Disco espaciador de acero de 2,5" de altura.

Pisón o martillo de 10 lb y una altura de caída de 18".

2.8.1.3.2. Equipo para el hinchamiento

Plato y vástago con altura regulable.

Trípode y extensómetro.

Pesas anulares o en forma de herradura de 5 libras.

2.8.1.3.3. Prueba de penetración

Pistón cilíndrico de 3" cuadradas de sección.

Aparato para aplicar la carga.

Anillo dinamométrico con extensómetro calibrado.

Equipo misceláneo; balanzas, hornos, tamices, papel filtro, etc.

2.8.1.4. Cálculos

El peso unitario de la muestra húmeda es:

$$\gamma_{uh} = \frac{P_{mh}}{\text{Vol. molde}} \Rightarrow \begin{cases} \gamma_{uh} = \text{Peso unitario de la muestra húmeda} \\ P_{mh} = \text{Peso muestra húmeda} \end{cases}$$

El peso unitario de la muestra seca es:

$$\gamma_{ms} = \frac{\gamma_{uh}}{100 + w\%} * 100 \Rightarrow \begin{cases} \gamma_{ms} = \text{Peso unitario de la muestra seca} \\ w\% = \text{Porcentaje de humedad} \end{cases}$$

La expansión:

$$\%exp = \frac{|L_f - L_i|}{h} * 100 \Rightarrow \begin{cases} L_f = \text{Lectura final del extensómetro (cm)} \\ L_i = \text{Lectura inicial del extensómetro (cm)} \\ h = \text{Altura total del espécimen.} \end{cases}$$

La determinación del CBR, se realizará para las penetraciones de 0,1” y 0,2”, en sus correspondientes cargas calculadas:

Para 0,1”, tenemos:

$$CBR = \frac{\text{Carga} \left[\frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \right]}{70,31 \left[\frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \right]}$$

Para 0,2”, tenemos:

$$CBR = \frac{\text{Carga} \left[\frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \right]}{105,4 \left[\frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \right]}$$

Es necesario considerar lo siguiente:

“Si los CBR para 0,1” y 0,2” tienen la similitud, se recomienda usar el valor del 0,2”.

“Si el CBR de 0,2” es muy superior al 0,1”, deberá repetirse el ensayo.”

2.8.1.5. Curvas requeridas

2.8.1.5.1. Curva: Carga – Penetración

- a) Se realizará una escala correspondiente considerando los valores máximos y mínimos de la carga por centímetro cuadrado.
- b) Se pintarán los puntos, haciendo que las abscisas sean los valores de penetración y las ordenadas las cargas aplicadas. Luego estos puntos se deben unir con líneas respetando su nacimiento (no siempre del origen).
- c) Si es que la curva nace desde el eje de penetraciones, se medirá la distancia hacia el origen, luego esta distancia se mide desde los valores de 0,1” y 0,2”, hacia la derecha, levantando perpendiculares de las abscisas hasta la curva, entonces nos dará un nuevo valor de la carga aplicada y por lo tanto un CBR, corregido.
- d) Si es que una curva presenta concavidad hacia arriba, entonces se debe trazar una tangente por el punto de inflexión de esta y cortar a las abscisas, entonces este punto será el nuevo origen de la curva procediendo a los pasos del inciso c).

2.8.1.5.2. Curva: CBR – Peso unitario

- a) Se dibuja considerando escalas adecuadas, entonces como abscisas se representan los CBR, y como ordenadas los pesos unitarios secos.
- b) En este gráfico se debe identificar la densidad máxima, con una línea horizontal cortar la curva e inmediatamente con una perpendicular encontrar el valor del CBR al 100% de la densidad máxima.
- c) Se puede calcular otros CBR, bastando sacar el porcentaje requerido (95%, 90%, etc.) a la densidad máxima e ir nuevamente a la gráfica.

2.8.1.5.3. Curva: Expansión – Peso unitario

- a) En el eje de las abscisas se grafican las expansiones y las ordenadas de los pesos unitarios de la muestra seca.
- b) De nuevo se considera la densidad máxima para sacar la expansión al 100% de la densidad máxima, cortando con una horizontal este valor a la curva y perpendicular al valor de la expansión.

2.8.2 Ensayo CBR in situ

Se determina la relación de soporte (comúnmente llamada CBR = California Bearing Ratio), de un suelo ensayado "in situ", mediante la comparación entre la carga de penetración del suelo y la de un material estándar de referencia.

Los ensayos de CBR "in situ" son usados para evaluación y diseño en cualquiera de las condiciones siguientes:

- a) Cuando el grado de saturación (porcentaje de "vacíos" llenos con agua) es 80% o mayor.
- b) Cuando el material es de grano grueso y no cohesivo, así que no es afectado de manera significativa por cambios en la humedad.
- c) Cuando el suelo no ha sido modificado por actividades de construcción durante los dos últimos años anteriores al ensayo.

2.8.2.1. Equipo

Gato mecánico de tornillo, operado manualmente, equipado con un dispositivo giratorio especial de manivela para aplicar la carga al pistón de penetración y diseñado con las siguientes especificaciones:

Capacidad máxima de 2700 kg (5950 lb).

Mínima altura de elevación: 50 mm (2").

Relación de velocidad alta, aproximadamente 2.4 revoluciones para 1 mm (0.04") de penetración.

Relación de velocidad media, aproximadamente 5 revoluciones para 1 mm (0.04") de penetración.

Relación de velocidad baja, aproximadamente 14 revoluciones para 1 mm (0.04") de penetración.

Pueden usarse otras relaciones de velocidad, cuando esto sea más conveniente. También se pueden usar otros gatos mecánicos, con la misma carga máxima y altura de elevación, siempre y cuando se obtenga con ellos una rata uniforme de penetración-carga de 1.3 mm (0.05") por minuto.

Anillos de carga, dos en total, debidamente calibrados, uno de ellos con amplitud de carga de 0 a 8.8 kN (1984 lbf) y el otro de 0 a 22.6 kN (5070 lbf) aproximadamente.

Pistón de penetración, Debe constar de un adaptador de pistón y de extensiones de tubo de rosca interna con conectores.

Tabla 8 – Longitud de penetración.

Numero requerido	Longitud aproximada
2	38 mm (1,5")
2	102 mm (4")
8	305 mm (12")

Fuente: Ensayos de CBR in situ ASTM D4429.

Diales. - Deben existir dos diales: uno para medir deformaciones del anillo de carga con lecturas de 0.0025 mm (0.0001") y recorrido de aproximadamente 6.4 mm (0.25") y otro para medir penetraciones del pistón con lecturas de 0.025 mm (0.001") y recorrido de

aproximadamente 25 mm (1"), equipado con un soporte o abrazadera de extensión para ajustar la posición del dial.

Vehículo de carga (Reacción). - Un vehículo (o pieza de equipo pesado) de carga suficiente para proveer una reacción de aproximadamente 31 kN (6970 lb). El vehículo debe estar equipado con una viga metálica debidamente acondicionada en la parte posterior del chasis que ofrezca una reacción adecuada para forzar la penetración del pistón en el suelo. El vehículo se debe suspender suficientemente para eliminar la influencia de los resortes traseros y permitir que el ensayo de penetración se efectúe sin movimiento ascendente del chasis del vehículo. Para efectuar el ensayo se requiere disponer de un espacio vertical libre de aproximadamente 0.6 m (2 pies).

Gatos. - Dos gatos tipo camión, de 14 Mg (15 toneladas) de capacidad, de doble acción combinada y descenso automático.

Equipo misceláneo. - Envases de muestras para determinación de humedad y peso unitario, espátula, regla de enrase, cucharones para excavar, etc.

Figura 8 – Montaje para ensayo CBR in situ



Fuente: Elaboración propia.

2.8.2.2. Procedimiento. - Instalación del equipo

- Se ubica el camión en la calicata o en el terraplén, luego se nivela el suelo sobre la cual se va a ensayar tratando en lo mínimo se pierda humedad.
- Se coloca el anillo de carga y utilizando la plomada se ubica el pistón adherido a las aletas para colocar el anillo de deformaciones
- Luego de la colocación del pistón y a una presión de tal manera que se mantenga vertical se va colocando los anillos de sobrecarga.
- Una vez colocado el equipo de CBR, se encuentra listo para iniciar el ensayo.
- Se realiza el ensayo con una persona que realiza el giro de la manivela y controla las lecturas de deformaciones, otra persona apunta las lecturas de carga.

2.8.2.3. Manejo del equipo

- Se prepara la superficie que va a ser ensayada, retirando el material suelto y superficial que no sea representativo del suelo que se va a ensayar. Se debe preparar un área de ensayo tan uniforme y horizontal como sea posible. Cuando se trate de materiales de base no plásticos, se debe tener especial cuidado para no alterar la superficie de ensayo. El espaciamiento de los ensayos de penetración debe ser tal, que la operación en un punto no altere el suelo del siguiente punto que va a ser penetrado. Esta separación debe ser como mínimo 175 mm (7") en suelos plásticos y de 380 mm (15") en suelos granulares gruesos.
- Se sitúa el vehículo en tal forma que el centro del sistema de reacción quede directamente sobre la superficie por ensayar. Se instala el gato mecánico debajo de la viga o dispositivo de reacción, con la manivela hacia afuera. Se colocan los gatos del camión a cada lado del vehículo y se levanta para que no exista peso alguno sobre los resortes posteriores; se debe cerciorar que el vehículo está nivelado en la parte trasera.
- Se ubica el gato mecánico en la posición correcta y se acopla el anillo de carga al extremo del gato. Se debe asegurar el adaptador del pistón al extremo inferior del anillo, se adiciona el número necesario de extensiones hasta alcanzar una altura menor de 125 mm (4.9") sobre la superficie de ensayo y se conecta el pistón de penetración. Se sujeta el gato en su sitio. Se debe comprobar el nivel del montaje

del gato para asegurar la verticalidad del montaje y hacer los ajustes que sean necesarios.

- Se coloca la sobrecarga de 4.5 Kg. (10 lb) debajo del pistón de penetración, de tal forma que cuando baje el pistón, este pase a través del agujero central.
- Se asienta el pistón bajo una carga inicial de aproximadamente 21 Kpa (3 psi). Para una rápida colocación, se debe usar la relación de alta velocidad del gato. Para materiales de base con una superficie irregular, se coloca el pistón sobre una delgadísima capa de polvo de trituración de piedra caliza tamizada (mallas N° 20, N° 40) o de yeso de parís.
- Si es necesario para lograr una superficie uniforme, se levanta la platina de carga mientras todavía está actuando la carga inicial sobre el pistón y se espolvorea uniformemente arena fina, en un espesor de 3 a 6 mm (0.12 a 0.24”), sobre la superficie que va a estar cubierta por la placa. Esto sirve para distribuir uniformemente el peso de la sobrecarga.
- Se adiciona a la platina un número de pesos de sobrecarga tal, que transmita una presión equivalente a la intensidad de carga, producida por las capas de pavimento, que se colocaran sobre la subrasante, o la base o ambos, excepto que la mínima pesa aplicada será la de 4.5 Kg (10lb) más una pesa de sobrecarga de 9 Kg. (20lb)
- Se fija el soporte de los diálos de penetración al pistón y se sujeta el día a dicho soporte.
- Se coloca en cero las lecturas de ambos diales.
- Se aplica la carga al pistón de penetración de tal manera que la velocidad aproximada de penetración sea de 1.3 mm (0,05”) por minuto. Utilizando la relación de baja velocidad del gato durante el ensayo se puede mantener una rata uniforme de penetración por parte del operador. Se deben registrar las lecturas del anillo de carga para cada 0.64 mm. (0,025”) de incremento de penetración hasta una profundidad final de 12.70 mm (0.500”). En suelos homogéneos las profundidades de penetración mayores de 7.62 mm. (0,300”) frecuentemente se puede omitir. Se calculan el esfuerzo para cada incremento en la penetración en porcentaje.

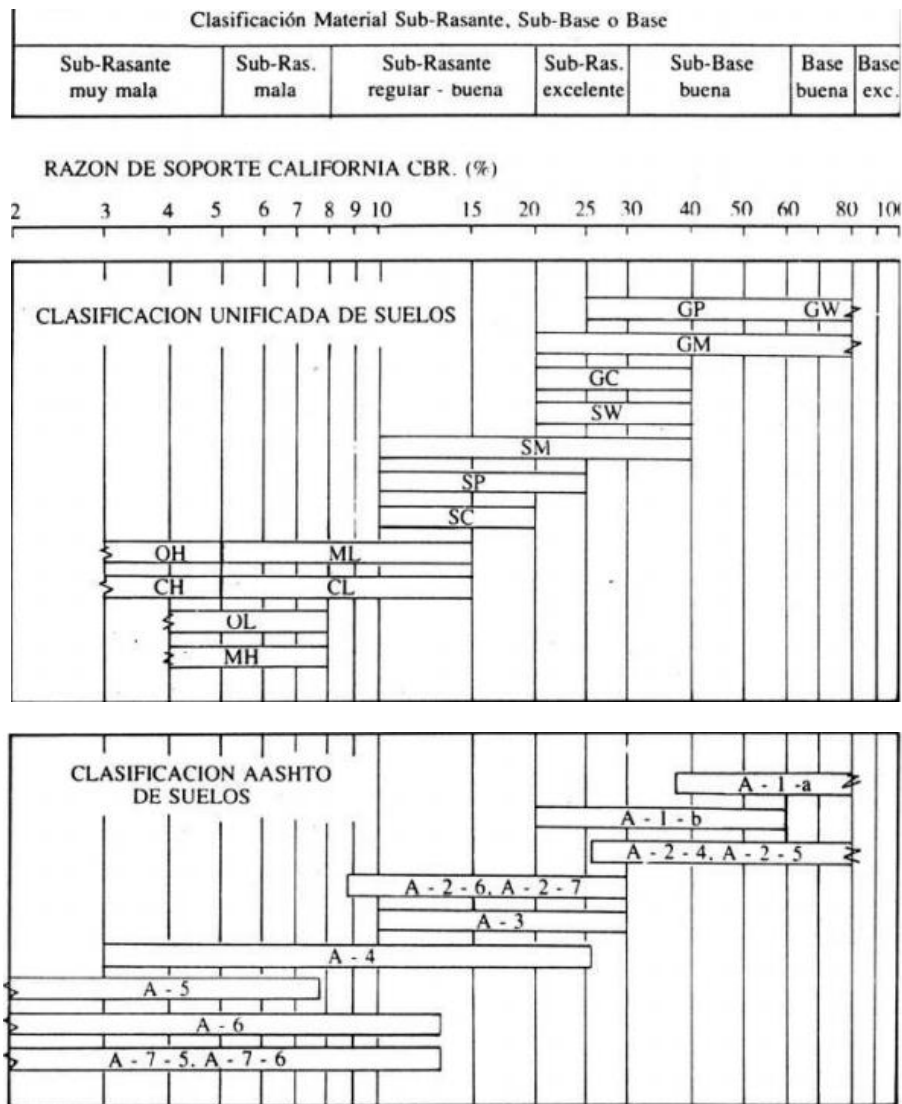
- Al finalizar el ensayo, se debe obtener una muestra en el punto de penetración para determinar la humedad. También se debe determinar la densidad en un sitio alejado de 100 a 150 mm (4" a 6") del punto de penetración. La densidad se debe determinar de acuerdo con las normas INV E_161 (Método del cono de arena), INV E-162 (Método del balón de caucho). La humedad se debe determinar de acuerdo con las normas INV E-122 (Determinación del contenido de agua en suelos, etc.) o INV E-166 (Métodos nucleares).

Figura 9 – Volqueta de 8 cubos



Fuente: Elaboración propia.

Figura 10 – Valores de CBR dependiendo las capas subrasante, subbase y base.



Fuente: Instituto del cemento portland argentino.

Se clasificará para que categoría de subrasante pertenece el sector o subtramo, según lo siguiente:

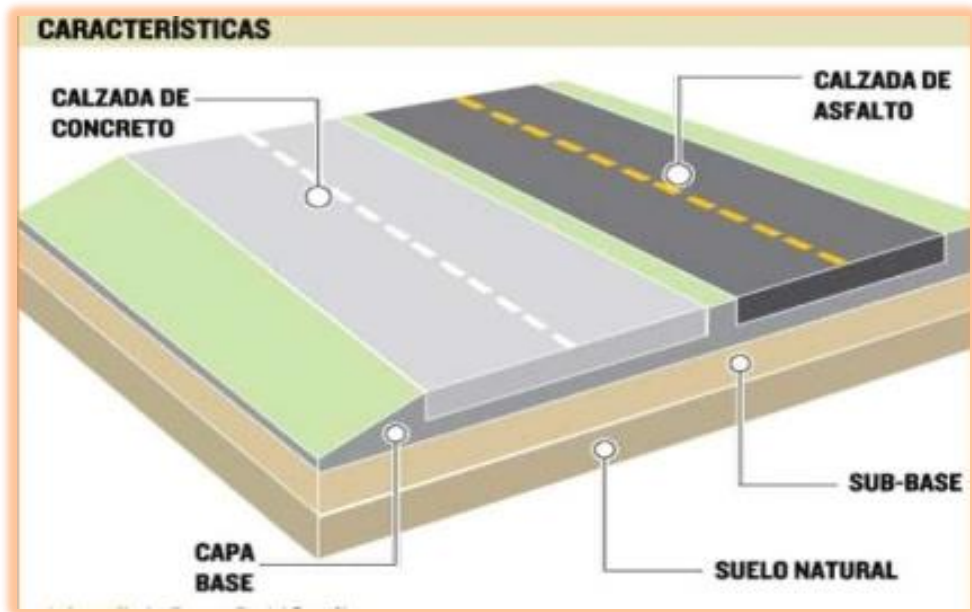
Tabla 9 – Categorías de subrasante

Categorías de subrasante	CBR
So= Subrasante inadecuada	CBR < 3%
S1= Subrasante pobre	De CBR \geq 3%
	a CBR < 6%
S2= Subrasante regular	De CBR \geq 6%
	a CBR < 10%
S3= Subrasante buena	De CBR \geq 10%
	a CBR < 20%
S4= Subrasante muy buena	De CBR \geq 20%
	a CBR < 30%
S5= Subrasante excelente	CBR \geq 30%

Fuente: Elaboración propia.

2.9 CARACTERÍSTICAS DE LAS CAPAS DE UN PAVIMENTO. -

Figura 11 - Capas estructurales de un pavimento



Fuente: Ingeniería de pavimentos para carreteras.

2.9.1 Capa base

Figura 12 - Base de una carretera



Fuente: Elaboración propia.

Constituye la capa intermedia entre la capa de rodamiento y la subbase. Generalmente se la usa en los pavimentos flexibles. Se compone de materiales pétreos con buena distribución granulométrica. Esta capa permite reducir los espesores de carpeta, dada su función estructural importante al reducir los esfuerzos cortantes que se transmiten hacia las capas inferiores. Además, cumple una función drenante del agua atrapada dentro del cuerpo del pavimento.

La base estabilizada será ejecutada con materiales que cumplan los siguientes requisitos:

- Poseer una composición granulométrica encuadrada en una de las columnas de la siguiente tabla, recomendadas por la AASHTO M-147 de 1990.

Tabla 10 - Porcentajes por peso del material que pasa por tamices, capa base

TAMIZ	TIPO DE GRADACIÓN			
	UNIDAD			
	A	B	C	D
2"	100	100		
1"	-	75 - 95	100	100
3/8"	30 - 65	40 - 75	50 - 85	50 - 80
No. 4	25 - 55	30 - 60	35 - 65	35 - 65
No. 10	15 - 40	20 - 45	25 - 50	25 - 30
No. 40	8--20	15 - 30	15 - 30	10 --30
No. 200	2--8	5--15	5--15	0 - 15

Fuente: Manual de especificaciones técnicas generales de construcción

- Los materiales para base granular (estabilización hidráulica) cumplirán con los requerimientos indicados en “Requerimientos generales” y en “Materiales para subbase”. Las granulometrías deberán ajustarse a una de las siguientes bandas: TM-50b, TM-50c o TM-25 de la Tabla S0102_2; el porcentaje de chancado no deberá ser menor que 50%.
- La fracción que pasa el tamiz N° 40 deberá tener un límite líquido inferior o igual a 25% y un índice de plasticidad inferior o igual a 6%. Pasando de este límite, hasta 8 como máximo, el equivalente de arena deberá ser mayor que 30%.
- La fracción fina de la capa base será arena triturada o natural. La fracción que pasa el Tamiz N° 200 de la serie U.S. Standard no debe ser mayor que dos tercios de la fracción que pasa el tamiz N° 40 de la misma serie
- El Índice Soporte de California (CBR) no deberá ser inferior a 90% para pavimentos flexibles y la expansión máxima será de 0,5%, cuando sean determinados con la energía de compactación del ensayo AASHTO T-180D.
- El agregado retenido en el tamiz N°10 estará constituido de partículas duras y durables, exentas de fragmentos blandos, alargados o laminados y exentos de

materia vegetal, terrones de arcilla y otras sustancias perjudiciales. Los agregados gruesos deberán tener un desgaste no superior a 40% a 500 revoluciones según lo determine el ensayo AASHTO T-96.

- El 50% de las partículas retenidas en el tamiz N° 4, de la serie U.S. Standard, para los agregados utilizados para capa base en pavimentos flexibles deben tener al menos una cara fracturada por trituración.

2.9.2 Capa subbase

Figura 13 - Subbase de una carretera



Fuente: Elaboración propia.

Es la capa que está apoyada sobre la subrasante, compuesta por materiales granulares de buena gradación. Deberá ser perfilada y compactada entre el 95% y 100% de su máxima densidad seca mediante el ensayo proctor estándar. El empleo de una subbase implica mejorar la capacidad de soporte de suelo que se traduce en una reducción del espesor de carpeta de rodadura. Sin embargo, el impacto no es significativo.

La subbase estabilizada será ejecutada con materiales que cumplan los siguientes requisitos:

- Los materiales a ser empleados en la sub base deben presentar un índice de soporte de California (CBR) igual o mayor a 40% y una expansión máxima de 2 %, siendo estos índices determinados por el ensayo AASHTO T-193 con la energía de

compactación del ensayo AASHTOT-180-D y para la densidad seca correspondiente al 100 % de la máxima determinada en este ensayo.

- La subbase será efectuada con materiales que cumplan con una de las siguientes granulometrías:

Tabla 11 - Porcentajes por peso del material que pasa por tamices, capa subbase

TAMIZ	TIPO DE GRADACIÓN unidad		
	A	B	C
3"	100		
2"	-	100	
1 1/2"	-	-	100
1"	-	-	-
3/4"	-	-	-
3/8"	-	-	-
No. 4	15-45	20-50	25-55
No. 10	-	-	-
No. 40	-	-	-
No. 200	0-10	0-10	0-10

Fuente: Manual de especificaciones técnicas generales de construcción.

- Los materiales para subbase deberán cumplir con los requerimientos estipulados en “Requerimientos generales” y en “Materiales para subbase” y con la graduación TM-50a de la Tabla S0102_2.

Tabla 12 - Bandas granulométricas para subbase, bases y capas de rodadura

Tamiz		TM-50a	TM-50b	TM-50c	TM-40a	TM-40b	TM-40c	TM-25
(mm)	Alternativo							
50	2"	100	100	100				
37,5	1 1/2"	-	70 - 100	-	100	100	100	
25	1"	55 - 100	55 - 85	70 - 100	70 - 100	80 - 100	80 - 100	100
19	3/4"	-	45 - 75	60 - 90	50 - 80	-	-	70 - 100
9,5	3/8"	30 - 75	35 - 65	40 - 75	25 - 50	50 - 80	50 - 80	50 - 80
4,75	Nº 4	20 - 65	25 - 55	30 - 60	10 - 30	35 - 65	35 - 65	35 - 65
2,36	Nº 8	-	-	-	5 - 15	-	-	-
2	Nº 10	10 - 50	15 - 45	15 - 45	-	25 - 50	25 - 50	25 - 50
0,425	Nº 40	5 - 30	5 - 25	10 - 30	0 - 5	10 - 30	10 - 30	10 - 30
0,075	Nº 200	0 - 20	0 - 10	0 - 15	0 - 3	5 - 15	5 - 15	5 - 15

Fuente: Manual de ensayos de suelos y materiales

- El material de subbase deberá presentar un diámetro máximo igual o menor a 7.5 cm., y un porcentaje máximo del 10%, en peso de las partículas que pasen por el tamiz No. 200.
- Un mínimo de 4% en peso de las partículas, deberá pasar por el tamiz No. 200, cuando el material no presente plasticidad. Si el material presentara plasticidad, este porcentaje, será por lo menos de un 2%.
- El coeficiente de uniformidad del material deberá ser mayor a 10 ($D_{60}/D_{10} > 10$).
- El material para subbase no deberá presentar índice de plasticidad mayor que 6 (IP menor o igual a 6) y el límite líquido mayor que 25 (LL menor o igual a 25). Podrá admitirse un IP menor o igual a 8, siempre que la equivalente arena sea mayor que 20.

2.9.3 Capa subrasante

Es el suelo de cimentación del pavimento, pudiendo ser suelo natural, debidamente perfilado y compactado; o material de préstamo, cuando el suelo natural es deficiente o por requerimiento del diseño geométrico de la vía a proyectar.

Los materiales que pueden ser empleados como subrasante serán de preferencia materiales de tipo granular.

La subbase estabilizada será ejecutada con materiales que cumplan los siguientes requisitos:

La subrasante será ejecutada con materiales que cumplan los siguientes requisitos:

- Expansión máxima de 5%.
- Grado de compactación mínima de 95%.
- Espesor mínimo de 30 cm. para caminos de bajo tránsito y 50 cm. en caminos con un TPDA > de 200 vehículos.
- Valor relativo de soporte 15% mínimo.
- Tamaño máximo de 7,5 cm.

La parte superior de la capa subrasante coincide con la subrasante coincide con la subrasante o línea subrasante del proyecto geométrico la cual debe cumplir con las especificaciones de pendiente longitudinal para la obra. Esta línea marca la altura de las

terracerías y por tanto su espesor, que la mayor de las veces es mayor que el necesario en la estructura. En los procedimientos de construcción, los materiales se deben compactar con el equipo más adecuado, de acuerdo con sus características. Cuando los materiales encontrados en las zonas cercanas a la obra no cumplen con las características marcadas en las normas, se requiere estabilizarlos mecánica y químicamente.

2.9.4 Carpeta de rodadura

Capa superior del pavimento formado por mezclas bituminosas. A su vez, el pavimento es la capa superior del firme que, colocada sobre la base, soporta directamente las solicitaciones del tráfico. Las cualidades superficiales de la calzada dependen de la adecuada selección y ejecución del pavimento y se clasifican en:

Regularidad superficial: falta de desnivelaciones u ondulaciones longitudinales y transversales.

Textura superficial: proporciona la resistencia al deslizamiento.

Impermeabilidad: impide la penetración del agua hacia las capas inferiores del firme y la explanada.

CAPÍTULO III

APLICACIÓN PRÁCTICA

3.1. DESCRIPCIÓN Y UBICACIÓN DEL TRAMO SAN MATEO-MONTE MÉNDEZ

La ruta San Mateo - Monte Méndez, que se perfila como un camino opcional para llegar desde la ciudad de Tarija hasta San Lorenzo, evitando el congestionamiento vehicular que se genera cada día en el Puente de Tomatitas. Los avances de los trabajos en la ejecución del proyecto de construcción del asfaltado de la carretera están en marcha, por lo que se espera que el mismo pueda concluirse para el mes de octubre de la presente gestión. El costo total de todos los componentes es 22 millones de bolivianos, ejecutados por la Gobernación mediante la Subgobernación de San Lorenzo.

Sobre las características técnicas, se trata de un asfaltado con carpeta de espesor de 4 centímetros y una longitud de 6.4 kilómetros, que hacen a la conformación de un paquete estructural con capa subrasante, subbase y base, que beneficiará a gran parte de las comunidades aledañas como: San Mateo, Sella, Carachimayo y las comunidades del municipio de San Lorenzo.

Figura 14 – Mapa político del departamento de Tarija



Fuente: Wikipedia, enciclopedia libre.

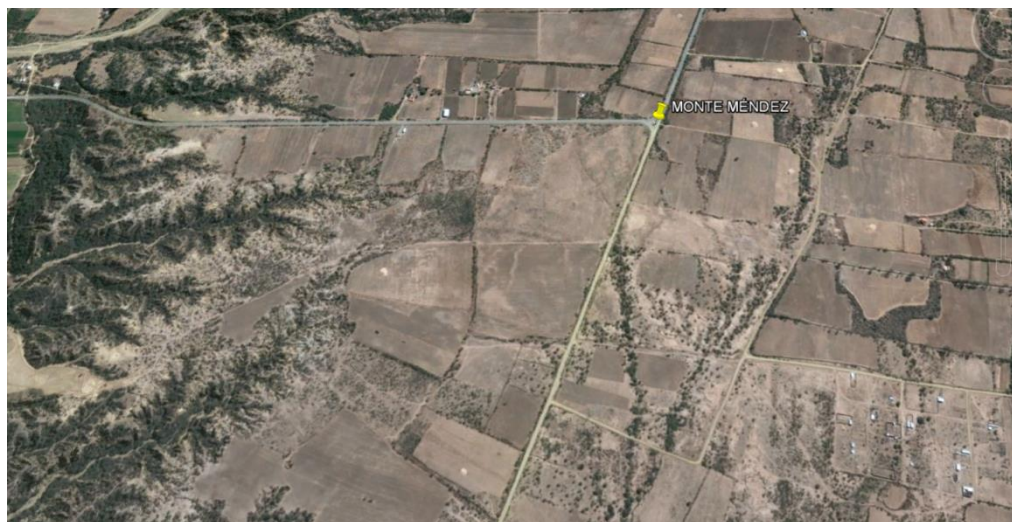
Figura 15 – Inicio del tramo del Proyecto



Fuente: Foto satelital Google Earth.

Coordenadas: 21°28'8.40" S
 64°43'27.58" O

Figura 16 – Fin del tramo del proyecto



Fuente: Foto satelital Google Earth.

Coordenadas: 21°24'25.99" S
 64°43'14.37" O

Figura 17 – Vista Satelital del tramo San Mateo - Monte Méndez



Fuente: Foto satelital Google Earth.

3.2. COORDENADAS DE LOS LUGARES DE ESTUDIO

Tabla 13 – Coordenadas de las progresivas del tramo San Mateo – Monte Méndez.

N°	Capa	Progresiva	Coordenadas	
			Latitud "S"	Longitud "O"
1	Base	0+000	21°28'8.40"	64°44'49.93"
2		0+300	21°28'00.56"	64°44'48.91"
3		0+600	21°27'54.40"	64°44'41.11"
4		0+900	21°27'45.89"	64°44'35.92"
5		1+200	21°27'37.43"	64°44'30.97"
6		1+500	21°27'29.05"	64°44'25.61"
7		1+800	21°27'20.14"	64°44'21.27"
8		1+950	21°27'15.61"	64°44'19.16"
9		2+100	21°27'10.85"	64°44'18.03"
10		2+400	21°27'01.69"	64°44'14.82"
11	Subbase	2+700	21°26'52.22"	64°44'12.30"
12		2+850	21°26'46.29"	64°44'10.25"
13		3+000	21°26'42.51"	64°44'09.47"
14		3+300	21°26'33.16"	64°44'06.31"
15	Base	3+600	21°26'24.27"	64°44'02.80"
16		3+750	21°26'19.69"	64°43'81.17"
17		3+900	21°26'15.20"	64°43'58.98"
18		4+050	21°26'09.13"	64°43'56.85"
19	Subbase	4+200	21°26'06.06"	64°43'55.06"
20		4+500	21°25'56.85"	64°43'51.68"
21		4+800	21°25'47.74"	64°43'48.01"
22		4+950	21°25'43.12"	64°43'45.89"
23		5+100	21°25'38.60"	64°43'44.17"
24		5+400	21°25'29.55"	64°43'40.47"
25		5+700	21°25'20.49"	64°43'36.56"
26		Subrasante	6+000	21°25'11.42"
27	6+100		21°25'08.40"	64°43'31.09"
28	6+200		21°25'05.32"	64°43'30.13"
29	6+300		21°24'79.35"	64°43'29.26"
30	6+400		21°24'58.00"	64°43'27.58"

Fuente: Elaboración propia.

3.3. CRITERIOS DE SELECCIÓN DE SUELOS

Específicamente el estudio del suelo con el que se trabajará, mediante la ejecución de ensayos de laboratorio que permitan determinar sus características y propiedades, se busca alcanzar resultados razonablemente dignos de confiabilidad; es preciso cumplir de forma adecuada una etapa previa e imprescindible. La obtención de las muestras de suelo apropiadas para la realización de los correspondientes ensayos de laboratorio.

Las muestras pueden ser de dos tipos: alteradas o inalteradas. Se dice que una muestra es:

Alterada, cuando no guarda las mismas condiciones que cuando se encontraba en el terreno de donde procede y se recolecta a medida que se va realizando el muestreo.

Inalterada, es aquella muestra que conserva, en la mayor medida posible, la estructura y el contenido de humedad para que se presente las condiciones del campo más naturales posible.

Para este trabajo de proyecto de grado, las muestras con las que se trabajó es lo más próximo a muestra Inalterada, para realizar todos los ensayos en laboratorio.

La humedad y propiedades importantes del suelo se conservan gracias al uso de bolsas de plástico de un grosor considerable para evitar la pérdida de sus características. Además, es importante tener en cuenta, una vez obtenida la muestra, hay que acelerar los ensayos y no dejar pasar mucho período de tiempo.

3.1.1. Toma de muestras de suelo

El objetivo es realizar la extracción o muestreo adecuado y representativo para poder determinar de forma correcta las características y propiedades del suelo y materiales granulares mediante ensayos de laboratorio.

3.1.1.1. Equipo utilizado

El material utilizado para la extracción de muestras es el siguiente:

Pala

Bolsas de polietileno

3.1.1.2. Procedimiento de extracción de muestras de suelos

El procedimiento para la obtención de muestras de suelo se describe a continuación:

- El campamento de la empresa se encuentra situado cerca de la obra en construcción, de ahí fue que se extrae la muestra.
- Son cuatro tipos de suelo que forman las capas estructurales de la carretera, que gracias a una adecuada dosificación las conforman. Los suelos son de origen del río, de quebrada, piedra chancada y de banco.
- Cada tipo de suelo se encontró distribuido en cuatro acopios de suelo.
- De cada acopio se extrajo aproximadamente 60 o más kilos de muestra.
- La pala fue de gran ayuda para extraer la muestra a las bolsas.

Figura 18 – Esquema de la extracción de la muestra



Fuente: Elaboración propia.

Figura 19 – Esquema de la extracción e instalación de la muestra en la UAJMS.



Fuente: Elaboración propia.

3.4. ENSAYO GRANULOMÉTRICO (DOCUMENTO REFERENCIAL ASTM D422 – AASHTO T88)

Introducción

El proceso de separar un agregado de suelo en sus diferentes fracciones cada una consistente en granos de tamaño distintos, dentro de ciertos límites se conoce como análisis mecánico o análisis granulométrico.

Por medio del análisis granulométrico se ha encontrado que la mayoría de los suelos naturales contienen granos de dos o más fracciones.

3.4.1. Objetivo

Este ensayo tiene por objeto determinar la granulometría de los agregados hasta el tamiz N° 200, mediante su división y separación con una serie de tamices en fracciones granulométricas de tamaño decreciente.

Figura 20 – Esquema de la práctica de granulometría



Muestra que sera utilizada para el ensayo



Muestra correctamente dosificada y lista para ser usada



Tamices utilizados en el ensayo

Fuente: Elaboración propia.

3.4.2. Resumen de resultados

Tabla 14 – Resumen granulométrico

Granulometría				
Capa	% que pasa del total N°4	% que pasa del total N°10	% que pasa del total N°40	% que pasa del total N°200
Base	36,51	25,68	17,71	7,55
	33,02	27,13	22,37	7,82
	39,91	28,32	10,91	4,24
Subbase	36,54	25,71	17,74	7,60
	36,71	25,90	17,91	7,79
	33,32	27,43	22,66	8,10
Subrasante	39,84	29,01	21,04	10,85
	40,90	30,07	22,10	11,91
	41,63	30,88	22,92	12,70

Fuente: Elaboración propia.

Ver anexos. -

3.5. ENSAYO DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS (DOCUMENTO REFERENCIAL ASTM D4318 / AASHTO T89)

Introducción

El límite Líquido, es la humedad, expresada como porcentaje de la masa de suelo seco en horno, de un suelo remodelado en el límite entre los estados líquido y plástico. Corresponde a la humedad necesaria para que una muestra de suelo remodelada, depositada en la taza de bronce de la máquina de Casagrande y dividida en dos porciones simétricas separadas 2 mm sí, fluya y entren en contacto en una longitud de 10 mm, aplicando 25 golpes.

3.5.1. Objetivo

Este método establece el procedimiento para determinar el límite líquido de los suelos, mediante la máquina de Casagrande. Estos datos son necesarios para realizar la clasificación “SUCS” y “AASHTO” de los sitios estudiados.

Figura 21 – Esquema del ensayo de límite líquido



Ensayo límite líquido



Ensayo límite líquido

Fuente: Elaboración propia.

3.6. ENSAYO DEL LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD (DOCUMENTO REFERENCIAL ASTM D4318 / AASHTO T90)

Introducción

El límite plástico, es la humedad, expresada como porcentaje de la masa de suelo seco en horno, de un suelo remodelado en el límite entre los estados plástico y semisólido. Corresponde a la humedad más baja con la que pueden formarse cilindros de unos 3 mm de diámetro, rodando la muestra de suelo entre la palma de la mano y una superficie lisa, sin que los cilindros se rompan a pedazos.

3.6.1. Objetivo

Este método establece el procedimiento para determinar el límite plástico y el índice de plasticidad de los suelos. Estos datos son necesarios para realizar la clasificación “SUCS” y “AASHTO” de los sitios estudiados.

Figura 22 – Esquema del ensayo de límite plástico



Pesar 20 g, de la muestra
que pasa el T N° 40



Amasar y formar rollitos



El rollito ideal es de un grosor de 3 mm.

Fuente: Elaboración propia.

3.6.2. Resumen de resultados

Tabla 15 – Resumen de límites e índices de plasticidad.

Capa	Límites		
	LL	LP	IP
Base	12,10	N.P.	0
	13,10	N.P.	0
	11,80	N.P.	0
Subbase	20,10	17,20	2,90
	17,60	15,00	2,60
	17,70	15,00	2,70
Subrasante	21,20	15,40	5,80
	20,80	15,40	5,40
	21,20	15,70	5,50

Fuente: Elaboración propia.

Ver anexo. -

Tabla 16 – Resumen de clasificación y descripción

Clasificación y descripción			
Capa	SUCS	AASHTO	Descripción
Base	GP-GM	A-1a (0)	Grava mal graduada. Considerados suelos con presencia de limo inorgánico con arena.
	GP-GM	A-1a (0)	Grava mal graduada. Considerados suelos con presencia de limo inorgánico con arena.
	GP-GM	A-1a (0)	Grava mal graduada. Considerados suelos con presencia de limo inorgánico con arena.
Subbase	GP-GM	A-1a (0)	Grava mal graduada. Considerados suelos con presencia de limo inorgánico con arena.
	GP-GM	A-1a (0)	Grava mal graduada. Considerados suelos con presencia de limo inorgánico con arena.
	GP-GM	A-1a (0)	Grava mal graduada. Considerados suelos con presencia de limo inorgánico con arena.
Subrasante	GP-GC	A-1a (0)	Grava mal graduada. Considerados suelos con presencia de arcilla y limo con arena.
	GP-GC	A-1a (0)	Grava mal graduada. Considerados suelos con presencia de arcilla y limo con arena.
	GP-GC	A-1a (0)	Grava mal graduada. Considerados suelos con presencia de arcilla y limo con arena.

Fuente: *Elaboración propia.*

Ver anexos. -

3.7. ENSAYO DENSIDAD IN SITU, MÉTODO CONO DE ARENA

Introducción

Este ensayo nos sirve para determinar la densidad del suelo con una forma indirecta de obtener el volumen del agujero en el campo utilizando arena estandarizada compuesta por unas partículas cuarzosas no cementadas con una granulometría redondeada.

3.7.1. Objetivo

Determinar la densidad seca y la humedad de un suelo compactado, a través del uso del equipo calibrado y arena con densidad conocida.

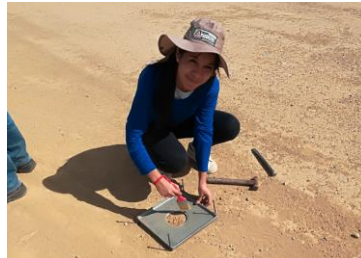
Figura 23 – Esquema del ensayo densidad in situ densímetro no nuclear



Capa base



Capa subbase



Capa subrasante

Fuente: *Elaboración propia.*

3.7.2. Resumen de resultados

Tabla 17 – Resumen de densidades in situ

DENSIDAD IN SITU-MÉTODO CONO DE ARENA			
Nº	CAPA	PROGRESIVA	DENSIDAD
1	BASE	0+000	2,235
2		0+100	2,221
3		0+200	2,224
4		0+300	2,220
5		0+400	2,233
6		0+500	2,231
7		0+600	2,231
8		0+700	2,221
9		0+800	2,221
10		0+900	2,227
11		1+000	2,227
12		1+100	2,229
13		1+200	2,220
14		1+300	2,223
15		1+400	2,222
16		1+500	2,228
17		1+600	2,228
18		1+700	2,233
19		1+800	2,233
20		1+900	2,228
21		2+000	2,224
22		2+100	2,226
23		2+200	2,224
24		2+300	2,227
25		2+400	2,229
26		2+500	2,220
27		2+600	2,212
28	SUBBASE	2+700	2,205
29		2+800	2,200
30		2+900	2,204

31		3+000	2,199
32		3+100	2,211
33		3+200	2,207
34		3+300	2,205
35		3+400	2,198
36		3+500	2,197
37	BASE	3+600	2,221
38		3+700	2,233
39		3+800	2,220
40		3+900	2,231
41		4+000	2,226
42		4+100	2,225
43	SUBBASE	4+200	2,204
44		4+300	2,200
45		4+400	2,213
46		4+500	2,207
47		4+600	2,197
48		4+700	2,197
49		4+800	2,199
50		4+900	2,208
51		5+000	2,209
52		5+100	2,206
53		5+200	2,203
54		5+300	2,208
55		5+400	2,207
56		5+500	2,209
57		5+600	2,201
58		5+700	2,209
59		5+800	2,198
60		5+900	2,199
61	SUBRASANTE	6+000	2,167
62		6+100	2,171
63		6+200	2,143
64		6+300	2,155
65		6+400	2,161

Capa base	
Media \bar{X}	2,225
Desviación estándar (σ)	0,005

Capa subbase	
Media \bar{X}	2,204
Desviación estándar (σ)	0,005

CAPA SUBRASANTE	
Media \bar{X}	2,159
Desviación estándar (σ)	0,011

Fuente: Asociación accidental El Rancho. Datos de densidades in situ.

3.8. ENSAYO RELACIÓN DE HUMEDAD Y DENSIDAD, PRÓCTOR MODIFICADO

(DOCUMENTO REFERENCIAL ASTM D 1557/AASHTO T 180)

Introducción

A través de este ensayo es posible determinar la densidad seca máxima de un terreno en relación con su grado de humedad, a una energía de compactación determinada.

3.8.1. Objetivo

Realizar la compactación con el proctor modificado, sabiendo disponer las humedades adecuadas, para que el suelo forme una curva de compactación que relacione densidades con humedades y obtener los valores máximos que serán referenciales en el control de calidad para la compactación en estudio.

Figura 24 –Esquema del ensayo de compactación.



Seleccionar la muestra a utilizar



Dividir el suelo en 5 fracciones iguales, a cada uno se le incrementa un % de agua.



Compactar cada 5 capas.

Fuente: Elaboración propia.

3.8.2. Resumen de resultados

Tabla 18 – Resumen de compactación

Compactación T-180		
Capa	Densidad máxima (g/cm³)	Humedad óptima (%)
Base	2,25	4,67
Subbase	2,23	5,11
Subrasante	2,19	5,91

Fuente: Elaboración propia.

Ver anexos. -

3.9. CAPACIDAD SOPORTE CBR LABORATORIO SUMERGIDO Y SIN SUMERGIR

(DOCUMENTO REFERENCIAL ASTM D 1883/AASHTO T 193)

Introducción

El ensayo CBR mide la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo y para poder evaluar la calidad del terreno para subrasante, subbase y base de pavimentos.

Se efectúa bajo condiciones controladas de humedad y densidad.

3.9.1. Objetivo

Es conocer cuál es la relación entre la penetración que se realiza a un suelo y la capacidad de soporte de este, considerando como material de referencia la muestra seleccionada.

3.9.1.1 CBR sumergido o saturado

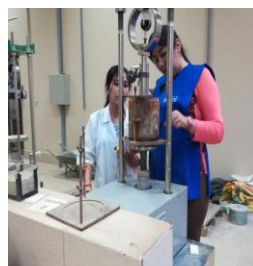
Figura 25 – Esquema del ensayo de CBR sumergido o saturado



Compactación



Saturación de los moldes



Resistencia a la penetración

Fuente: Elaboración propia.

3.9.1.1.1. Resumen de resultados

Tabla 19 – Resumen CBR laboratorio sumergido o saturado

Nº	Capa	CBR laboratorio (%) Sumergido-Saturado
1	Base	86,62
2		86,25
3		88,17
4		86,23
5		88,75
6		84,56
7		86,86
8		86,17
9		83,65
10		85,35
11		89,77
12		89,29
13		84,44
14		88,16
15	Subbase	70,90
16		67,28
17		66,56
18		71,85
19		65,37
20		62,85
21		63,5
22		61,36
23		60,85
24		64,28
25	66,85	
26	Subrasante	40,63
27		40,68
28		40,79
29		39,63
30		40,07

Capa base	
Media \bar{X}	86,73
Desviación estándar (σ)	1,88

Capa subbase	
Media \bar{X}	65,60
Desviación estándar (σ)	3,56

Capa subrasante	
Media \bar{X}	40,36
Desviación estándar (σ)	0,49

Fuente: *Elaboración propia.*

Ver anexos. -

3.9.1.2. CBR sin sumergir o no saturado

Figura 26 – Esquema del ensayo de CBR en laboratorio sin sumergir



Compactación



Expansión del material



Resistencia a la penetración

Fuente: *Elaboración propia.*

3.9.1.2.1. Resumen de resultados

Tabla 20 – Resumen CBR laboratorio sin sumergir o no saturado.

N°	Capa	CBR laboratorio (%) Sin sumergir-No saturado
1	base	90,22
2		89,28
3		90,91
4		94,31
5		95,38
6		95,96
7		94,79
8		92,58
9		96,55
10		96,12
11		94,46
12		93,75
13		94,48
14		96,35
15	Subbase	68,03
16		64,14
17		62,11
18		70,90
19		66,90
20		65,57
21		61,43
22		65,46
23		63,88
24		66,92
25		69,08
26	Subrasante	41,80
27		42,71
28		43,78
29		43,22
30		44,13

Capa base	
Media \bar{X}	93,94
Desviación estándar (σ)	2,35

Capa subbase	
Media \bar{X}	65,86
Desviación estándar (σ)	2,89

Capa subrasante	
Media \bar{X}	43,13
Desviación estándar (σ)	0,92

Fuente: Elaboración propia.

Ver anexos. -

3.10. CAPACIDAD SOPORTE CBR IN SITU

(DOCUMENTO REFERENCIAL BS 1377:7, BS 1942:2, ASTM D4429)

Introducción

Es un método adecuado para determinar la capacidad de soporte de un material en el lugar donde será sometido a las solicitaciones de la estructura que soportará. Debería realizarse cuando se presenten materiales dudosos y en movimientos de tierra importantes.

3.10.1. Objetivo

determinar la relación de soporte (comúnmente llamada CBR California Bearing Ratio), de un suelo ensayado “in situ” mediante la comparación entre la carga de penetración del suelo y la de un material estándar de referencia. Este método de ensayo cubre la evaluación de la calidad relativa de los suelos de la subrasante, pero también es aplicable a materiales de subbase y base.

Figura 27 – Esquema del ensayo de CBR in situ.



Equipo CBR in situ



Instalación típica del ensayo en el terreno



Lectura de los datos

Fuente: Elaboración propia.

El procedimiento y la descripción de la práctica se verán en el Anexo.

3.10.2. Resumen de resultados

Tabla 21 – Resumen CBR in situ

Nº	Capa	Progresiva	CBR in situ (%)
1	Base	0+000	98,21
2		0+300	106,79
3		0+600	99,44
4		0+900	101,89
5		1+200	100,66
6		1+500	96,99
7		1+800	99,44
8		1+950	100,05
9		2+100	103,11
10		2+400	98,82
11	Subbase	2+700	74,31
12		2+850	70,64
13		3+000	72,48
14		3+300	74,93
15	Base	3+600	93,31
16		3+750	92,08
17		3+900	89,63
18		4+050	91,47
19	Subbase	4+200	67,57
20		4+500	71,25
21		4+800	70,02
22		4+950	68,31
23		5+100	77,38
24		5+400	72,48
25		5+700	78,60
26		Subrasante	6+000
27	6+100		52,25
28	6+200		49,19
29	6+300		50,42
30	6+400		52,87

Capa base	
Media \bar{X}	95,81
Desviación estándar (σ)	3,14

Capa subbase	
Media \bar{X}	72,54
Desviación estándar (σ)	3,51

Capa subrasante	
Media \bar{X}	50,54
Desviación estándar (σ)	2,05

Fuente: Elaboración propia.

Ver anexos. -

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS Y COMPARACIÓN

4.1. INTRODUCCIÓN

La presentación de los resultados obtenidos de los ensayos realizados tanto en laboratorio como en el sitio de estudio del tramo San Mateo – Monte Méndez; da lugar para hacer un detallado análisis de interpretación de los resultados, seguido de la comparación requerida del CBR in situ como de laboratorio, para la aprobación de este proyecto de grado.

4.2. CORRELACIONES DE CADA CAPA

Se realizaron las correlaciones en cada capa obtenidos en los ensayos para así saber el grado de asociación que se tiene entre el CBR de laboratorio e in situ y también una correlación entre el CBR determinado en laboratorio y el CBR in situ.

Esto sirve para hacer los respectivos análisis y comparaciones.

Los valores de densidades in situ, fueron proporcionados por el fiscal designado del tramo San Mateo – Monte Méndez.

CORRELACIÓN DE PEARSON

El Coeficiente de Correlación de Pearson es una medida de la correspondencia o relación lineal entre dos variables cuantitativas aleatorias. En palabras más simples se puede definir como un índice utilizado para medir el grado de relación que tienen dos variables, ambas cuantitativas.

Teniendo dos variables, la correlación facilita que se hagan estimaciones del valor de una de ellas, con conocimiento del valor de la otra variable.

Este coeficiente es una medida que indica la situación relativa de los sucesos respecto a las dos variables, es decir, representa la expresión numérica que indica el grado de correspondencia o relación que existe entre las 2 variables. Estos números varían entre límites de +1 y -1.

Su dimensión indica el nivel de asociación entre las variables.

Tabla 22 - Rangos de correlación de Pearson

+0,96	+1,00	Perfecta
+0,85	+0,95	Fuerte
+0,70	+0,84	Significativa
+0,50	+0,69	Moderada
+0,20	+0,49	Débil
+0,10	+0,19	Muy débil
0	0	Nula
- 0,10	- 0,19	Muy débil
- 0,20	- 0,49	Débil
- 0,50	- 0,69	Moderada
- 0,70	- 0,84	Significativa
- 0,85	- 0,95	Fuerte
- 0,96	- 1,00	Perfecta

Fuente: *Coefficientes de correlación de Pearson. Prof. Pedro Beltrán.*

Cuando es menor a cero ($r < 0$) Se dice que hay correlación negativa: Las variables se correlacionan en un sentido inverso.

A valores altos en una de las variables, le suelen corresponder valores bajos en la otra variable y viceversa. Cuánto el valor esté más próximo a -1 dicho coeficiente de correlación más evidente será la covariación extrema.

Si $r = -1$ se habla de correlación negativa perfecta, la cual supone una determinación absoluta entre ambas variables, en sentido directo coexiste una relación lineal perfecta de pendiente negativa.

Cuando es mayor a cero ($r > 0$) Se dice que hay correlación positiva: Ambas variables se correlacionan en un sentido directo.

A valores altos en una de las variables, le corresponden valores altos en la otra variable e igualmente en una situación inversa sucede con los valores bajos. Cuánto más próximo a +1 se encuentre el coeficiente de correlación más evidente será la covariación.

Si $r = 1$ Se habla de correlación positiva perfecta, la cual supone una determinación absoluta entre las variables, en sentido directo coexiste una relación lineal perfecta de pendiente positiva).

Cuando es igual a cero ($r = 0$) Se dice que las variables están incorrectamente relacionadas, no puede es posible establecer algún sentido de covariación.

No existe relación lineal, pero esto no implica necesariamente que las variables sean independientes, pudiendo existir relaciones no lineales entre las variables.

Cuando las dos variables son independientes se dice que están correlacionadas, aunque el resultado de reciprocidad no es necesariamente cierto.

4.2.1 Correlación CBR in situ-densidad in situ

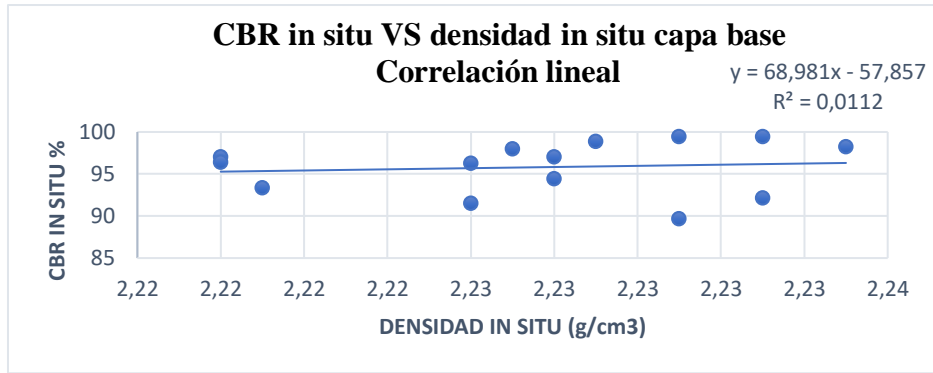
4.2.1.1 Análisis correlacional de capa base

Tabla 23 – Tabla de correlación de capa base

Tabla de correlación CBR in situ-densidad in situ de la capa base			
Nº	Capa	CBR in situ %	Densidad in situ (g/cm ³)
1	Base	98,21	2,24
2		96,99	2,22
3		99,44	2,23
4		97,97	2,23
5		96,37	2,22
6		96,99	2,23
7		99,44	2,23
8		94,41	2,23
9		96,25	2,23
10		98,82	2,23
11		93,31	2,22
12		92,08	2,23
13		89,63	2,23
14		91,47	2,23
Media \bar{X}		95,81	2,23
Desviación estándar (σ)		3,14	0,00

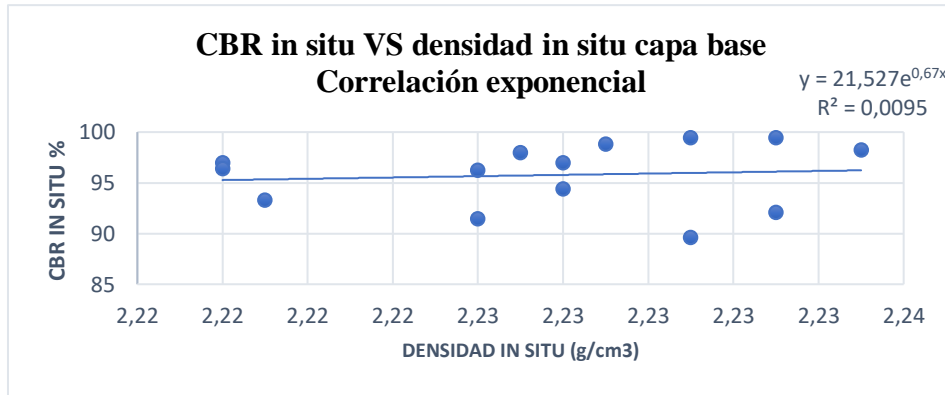
Fuente: Elaboración propia.

Figura 28 – Correlación lineal capa base



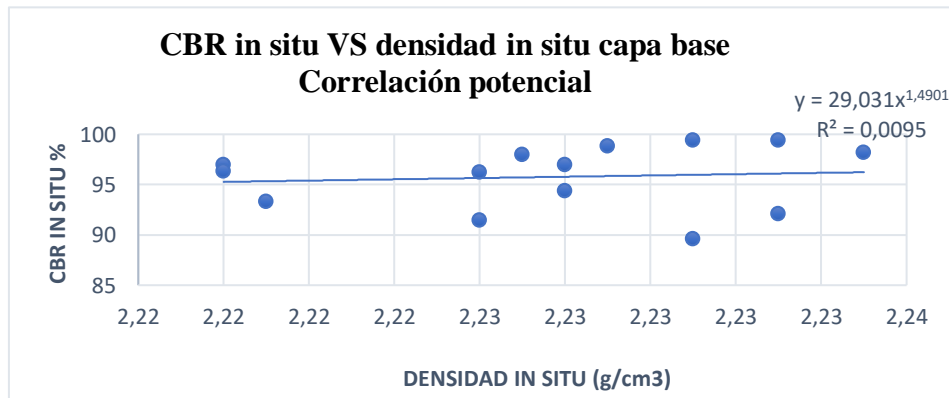
Fuente: Elaboración propia.

Figura 29 – Correlación exponencial capa base



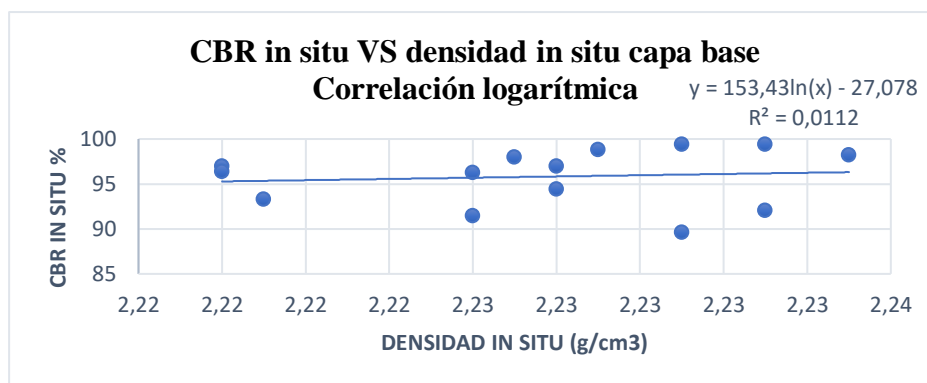
Fuente: Elaboración propia.

Figura 30 – Correlación potencial capa base



Fuente: Elaboración propia.

Figura 31 – Correlación logarítmica capa base



Fuente: Elaboración propia.

4.2.1.1. Resultados del grado de correlación

Tabla 24 – Grados de correlación capa base

Capa base	
Correlación lineal	
R=	0,11
Correlación exponencial	
R=	0,10
Correlación potencial	
R=	0,10
Correlación logarítmica	
R=	0,11

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 25 – Rangos de correlación de Pearson.

+0,96	+1,00	Perfecta
+0,85	+0,95	Fuerte
+0,70	+0,84	Significativa
+0,50	+0,69	Moderada
+0,20	+0,49	Débil
+0,10	+0,19	Muy débil
0	0	Nula
- 0,10	- 0,19	Muy débil
- 0,20	- 0,49	Débil
- 0,50	- 0,69	Moderada
- 0,70	- 0,84	Significativa
- 0,85	- 0,95	Fuerte
- 0,96	- 1,00	Perfecta

Fuente: *Coefficientes de correlación de Pearson. Prof. Pedro Beltrán.*

4.2.1.2. Análisis de correlación CBR in situ-densidad in situ capa base

El grado de correlación del CBR in situ con la densidad in situ actúa como indicativo si existe relación entre las dos variables. En este caso el grado de correlación proporciona un valor de 0,11. Clasificado en la tabla 21, como una correlación positiva muy débil.

También se puede observar que existe una correlación directa donde ambas variables en su mayoría aumentan simultáneamente. Se puede observar en la mayoría de los puntos que a mayor densidad que se tenga mayor será mi valor de CBR en el sitio, porque no tiene presencia de suelo arcilloso, es decir tiene muy poco suelo fino. Predomina la grava con presencia de limo y arena.

La ecuación lineal encontrado de la capa base es:

$$y = 68,981x - 57,857$$

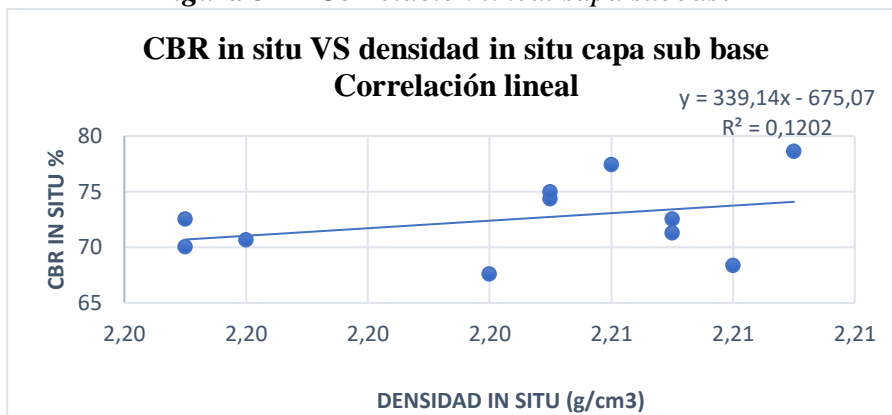
4.2.2. Análisis correlacional de capa subbase

Tabla 26 – Tabla de correlación capa subbase

Tabla de correlación CBR in situ-densidad in situ de la capa subbase			
Nº	Capa	CBR in situ (%)	Densidad in situ (g/cm3)
1	Subbase	74,31	2,21
2		70,64	2,20
3		72,48	2,20
4		74,93	2,21
5		67,57	2,20
6		71,25	2,21
7		70,02	2,20
8		68,31	2,21
9		77,38	2,21
10		72,48	2,21
11		78,60	2,21
Media \bar{X}		72,54	2,20
Desviación estándar (σ)		3,51	0,00

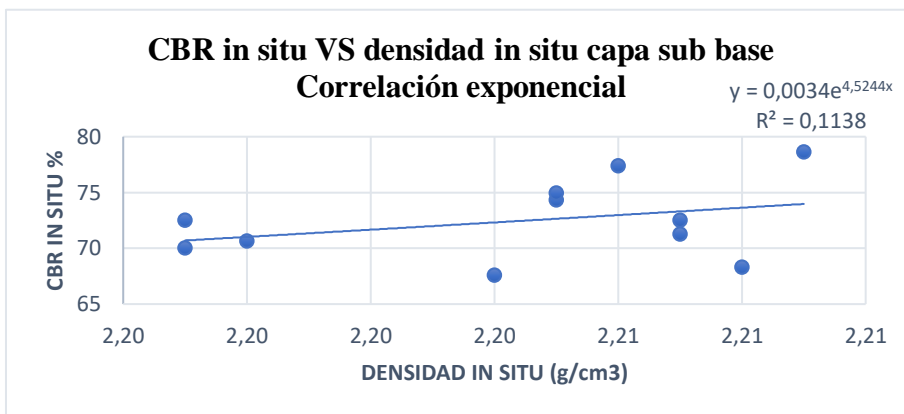
Fuente: Elaboración propia.

Figura 32 – Correlación lineal capa subbase



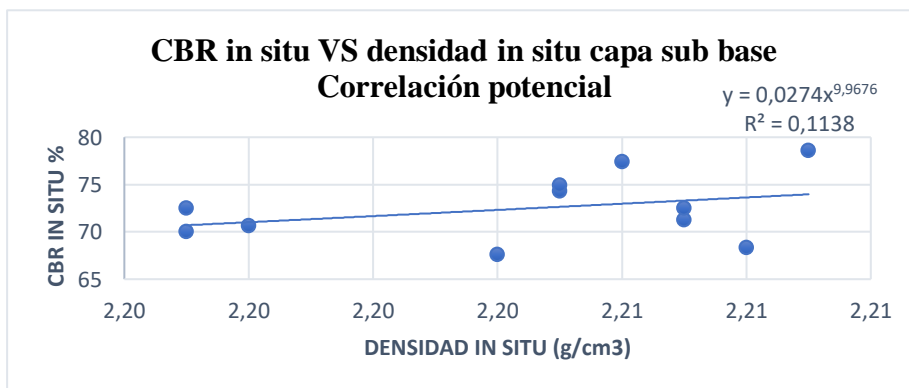
Fuente: Elaboración propia.

Figura 33 – Correlación exponencial capa subbase



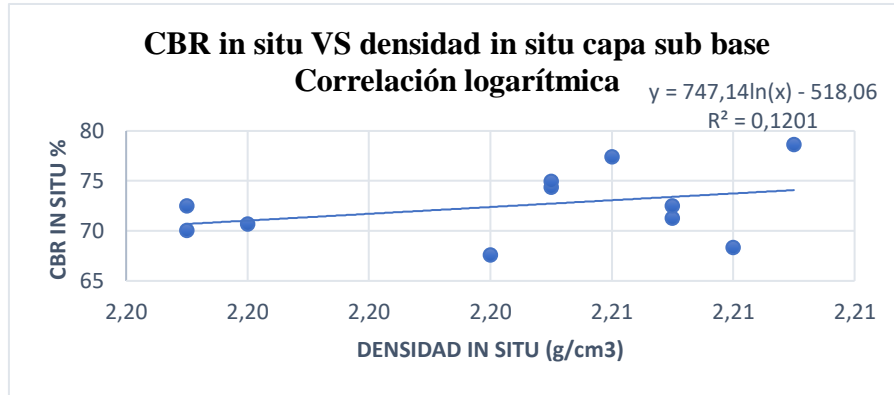
Fuente: Elaboración propia.

Figura 34– Correlación potencial capa subbase



Fuente: Elaboración propia.

Figura 35 – Correlación logarítmica capa subbase



Fuente: *Elaboración propia.*

4.2.2.1 Resultados del grado de correlación

Tabla 27 – Grados de correlación capa subbase

Capa subbase	
Correlación lineal	
R=	0,35
Correlación exponencial	
R=	0,34
Correlación potencial	
R=	0,34
Correlación logarítmica	
R=	0,35

Fuente: *Elaboración propia.*

Tabla 28 – Rangos de correlación de Pearson.

+0,96	+1,00	Perfecta
+0,85	+0,95	Fuerte
+0,70	+0,84	Significativa
+0,50	+0,69	Moderada
+0,20	+0,49	Débil
+0,10	+0,19	Muy débil
0	0	Nula
- 0,10	- 0,19	Muy débil
- 0,20	- 0,49	Débil
- 0,50	- 0,69	Moderada
- 0,70	- 0,84	Significativa
- 0,85	- 0,95	Fuerte
- 0,96	- 1,00	Perfecta

Fuente: Coeficientes de correlación de Pearson. Prof. Pedro Beltrán.

4.2.2.2. Análisis de correlación CBR in situ-densidad in situ capa subbase

El grado de correlación del CBR in situ con la densidad in situ actúa como indicativo si existe relación entre las dos variables. Esto nos facilita entender si estas variables están relacionadas o no. En este caso el grado de correlación proporciona un valor de 0,35 clasificado en la tabla 21, como una correlación positiva débil.

También se puede observar que existe una correlación directa donde ambas variables en su mayoría aumentan simultáneamente. Se puede observar que la densidad en la capa subbase disminuye en comparación a la capa base por lo que los valores de CBR en esta capa son también menores.

La ecuación lineal de la capa subbase es:

$$y = 339,14x - 675,07$$

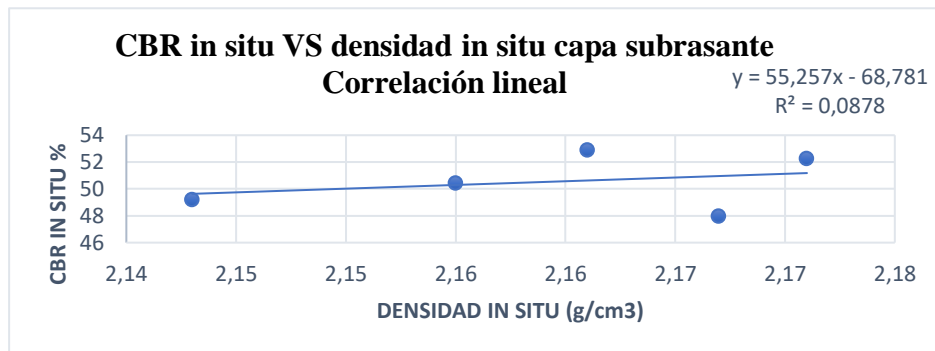
4.2.3. Análisis correlacional de capa subrasante

Tabla 29 – Tabla de correlación de capa subrasante

Tabla de correlación CBR in situ-densidad in situ de la capa subrasante			
Nº	Capa	CBR in situ (%)	Densidad in situ (g/cm3)
1	Subrasante	47,97	2,17
2		52,25	2,17
3		49,19	2,14
4		50,42	2,16
5		52,87	2,16
Media \bar{X}		50,54	2,16
Desviación estándar (σ)		2,05	0,01

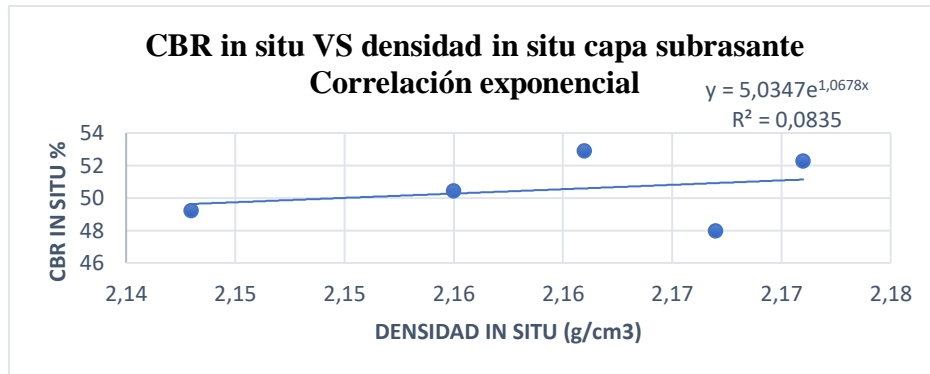
Fuente: Elaboración propia.

Figura 36 – Correlación lineal capa subrasante



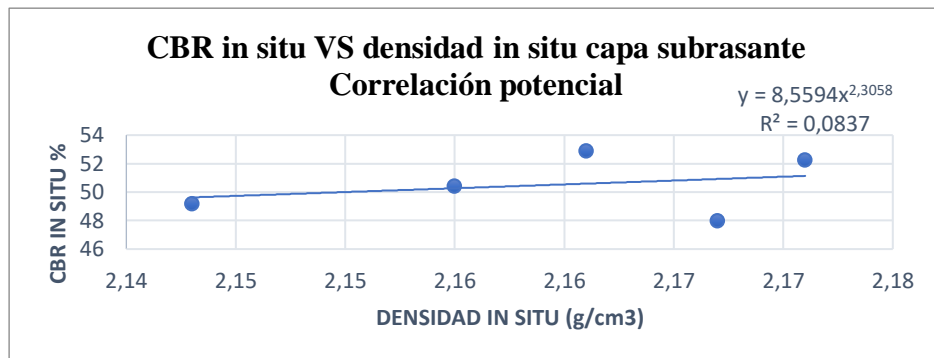
Fuente: Elaboración propia.

Figura 37 – Correlación exponencial capa subrasante



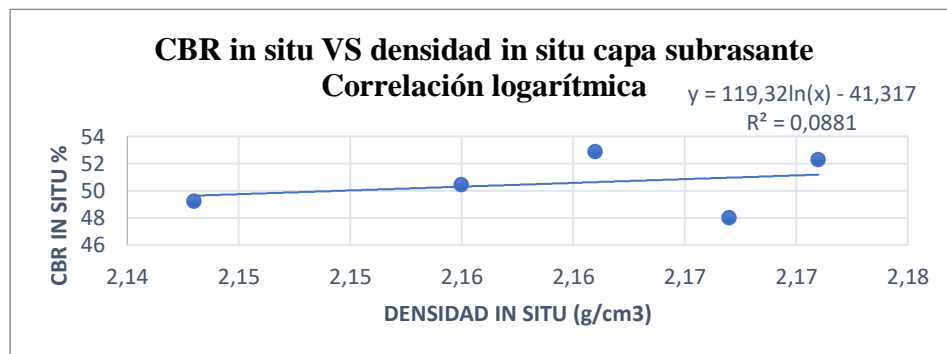
Fuente: Elaboración propia.

Figura 38 – Correlación potencial capa subrasante



Fuente: Elaboración propia.

Figura 39 – Correlación logarítmica capa subrasante



Fuente: Elaboración propia.

4.2.3.1. Resultados del grado de correlación

Tabla 30 – Grados de correlación capa subrasante

Capa subrasante	
Correlación lineal	
R=	0,30
Correlación exponencial	
R=	0,29
Correlación potencial	
R=	0,29
Correlación logarítmica	
R=	0,30

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 31 – Rangos de correlación de Pearson.

+0,96	+1,00	Perfecta
+0,85	+0,95	Fuerte
+0,70	+0,84	Significativa
+0,50	+0,69	Moderada
+0,20	+0,49	Débil
+0,10	+0,19	Muy débil
0	0	Nula
- 0,10	- 0,19	Muy débil
- 0,20	- 0,49	Débil
- 0,50	- 0,69	Moderada
- 0,70	- 0,84	Significativa
- 0,85	- 0,95	Fuerte
- 0,96	- 1,00	Perfecta

Fuente: Coeficientes de correlación de Pearson. Prof. Pedro Beltrán.

4.2.3.2. Análisis de correlación CBR y densidad in situ capa subrasante

El grado de correlación del CBR in situ con la densidad in situ actúa como indicativo si existe relación entre las dos variables. Esto nos facilita entender si estas variables están relacionadas o no. En este caso el grado de correlación proporciona un valor de 0,29. clasificado en la tabla 21, como una correlación positiva débil.

También se puede observar que existe una correlación directa donde ambas variables en su mayoría disminuyen simultáneamente. Se puede observar en este caso que mientras se tenga menor densidad en comparación de las otras capas se tendrá un valor de CBR menor. Debido a cierta cantidad de suelo fino en la capa subrasante, esto da por resultado capas con menores resultados de CBR.

La ecuación lineal encontrada de la capa subrasante es:

$$y = 55,257x - 68,781$$

4.2.2 Correlación CBR in situ-CBR laboratorio

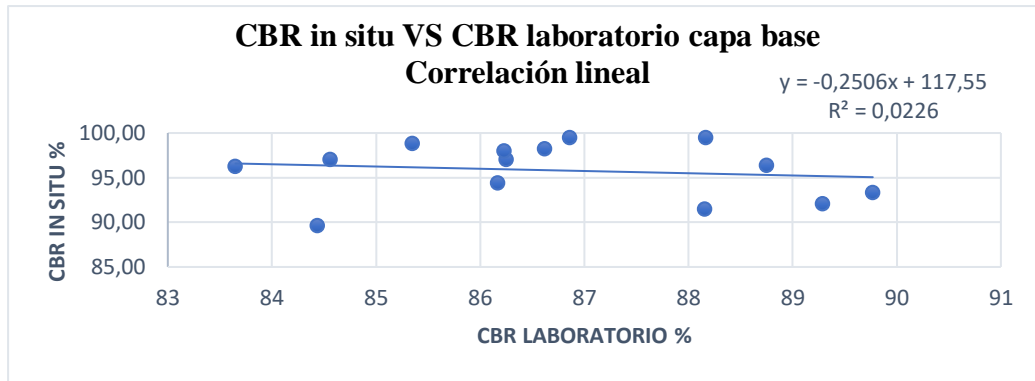
4.2.2.1 Análisis correlacional de capa base

Tabla 32 – Tabla de correlación de capa base

Tabla de correlación CBR in situ - CBR laboratorio de la capa base			
Nº	Capa	CBR in situ %	CBR laboratorio %
1	Base	98,21	86,62
2		96,99	86,25
3		99,44	88,17
4		97,97	86,23
5		96,37	88,75
6		96,99	84,56
7		99,44	86,86
8		94,41	86,17
9		96,25	83,65
10		98,82	85,35
11		93,31	89,77
12		92,08	89,29
13		89,63	84,44
14		91,47	88,16
Media \bar{X}		95,81	86,73
Desviación estándar (σ)		3,14	1,88

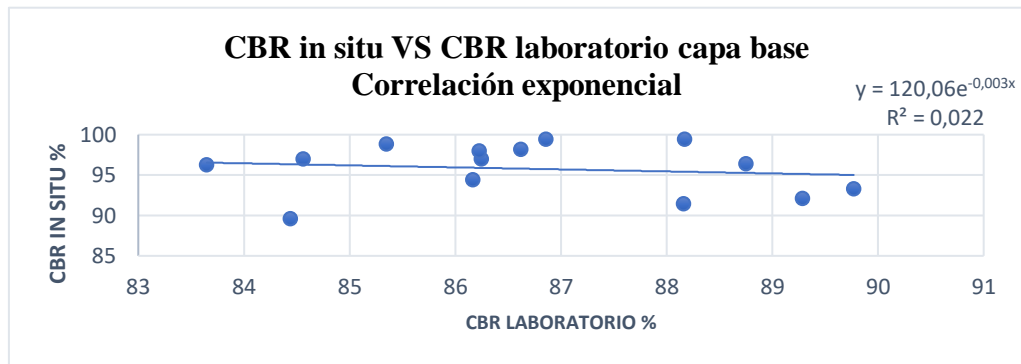
Fuente: Elaboración propia.

Figura 40 – Correlación lineal capa base



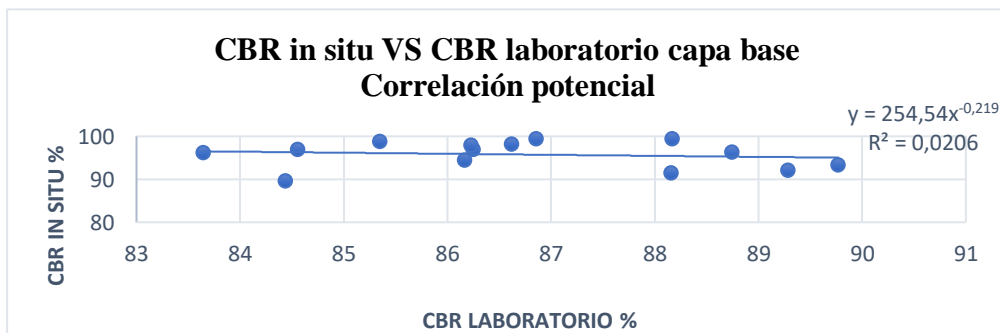
Fuente: Elaboración propia.

Figura 41 – Correlación exponencial capa base



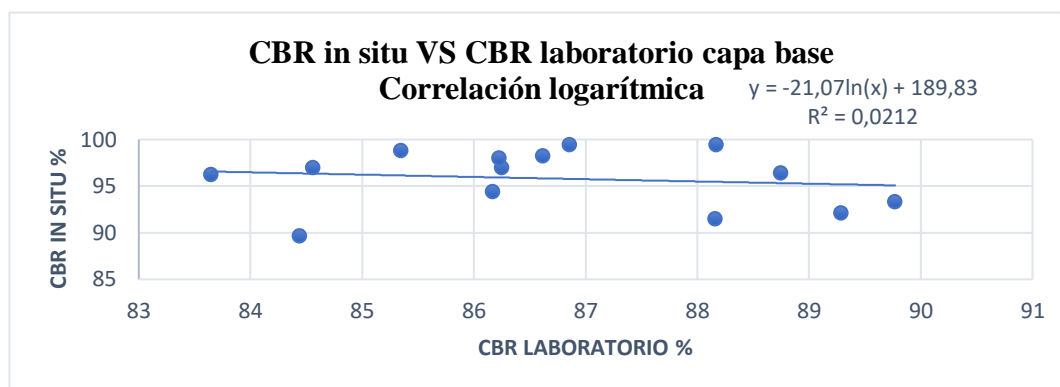
Fuente: Elaboración propia.

Figura 42 – Correlación potencial capa base



Fuente: Elaboración propia.

Figura 43 – Correlación logarítmica capa base



Fuente: Elaboración propia.

4.2.2.1.1 Resultados del grado de correlación

Tabla 33 – Grados de correlación capa base

Capa base	
Correlación lineal	
R=	0,15
Correlación exponencial	
R=	0,15
Correlación potencial	
R=	0,14
Correlación logarítmica	
R=	0,15

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 34 – Rangos de correlación de Pearson.

+0,96	+1,00	Perfecta
+0,85	+0,95	Fuerte
+0,70	+0,84	Significativa
+0,50	+0,69	Moderada
+0,20	+0,49	Débil
+0,10	+0,19	Muy débil
0	0	Nula
- 0,10	- 0,19	Muy débil
- 0,20	- 0,49	Débil
- 0,50	- 0,69	Moderada
- 0,70	- 0,84	Significativa
- 0,85	- 0,95	Fuerte
- 0,96	- 1,00	Perfecta

Fuente: *Coefficientes de correlación de Pearson. Prof. Pedro Beltrán.*

4.2.2.1.2. Análisis de correlación CBR in situ-CBR laboratorio capa base

El grado de correlación del CBR in situ con CBR de laboratorio actúa como indicativo si existe relación entre las dos variables. En este caso el grado de correlación proporciona un valor de 0,15. Clasificado en la tabla 21, como una correlación muy débil.

El signo del coeficiente es positivo e indica que ambas variables tienden a disminuir a la vez, y la línea que representa la correlación forma una pendiente hacia abajo. En esta correlación de Pearson, el valor del grado de correlación es bajo, porque no existe relación lineal entre las variables.

La ecuación lineal encontrada para la capa base es:

$$y = -0,2506x + 117,55$$

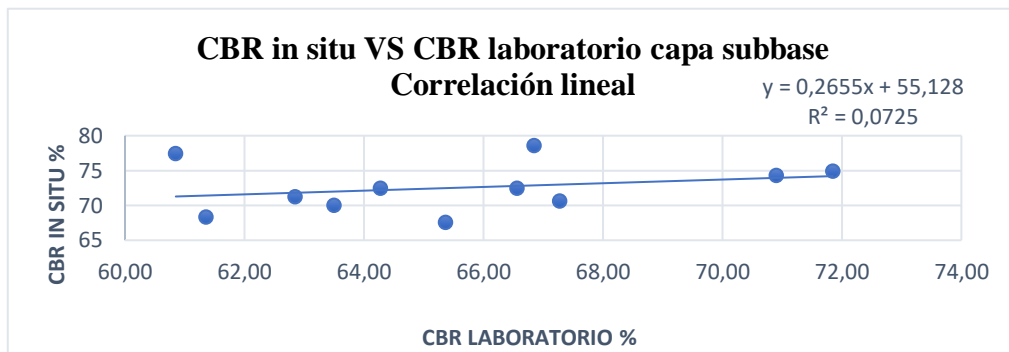
4.2.2.2 Análisis correlacional de capa subbase

Tabla 35 – Tabla de correlación capa subbase

Tabla de correlación CBR in situ- CBR laboratorio de la capa subbase			
Nº	Capa	CBR in situ (%)	CBR laboratorio %
1	Subbase	74,31	70,90
2		70,64	67,28
3		72,48	66,56
4		74,93	71,85
5		67,57	65,37
6		71,25	62,85
7		70,02	63,5
8		68,31	61,36
9		77,38	60,85
10		72,48	64,28
11		78,60	66,85
Media \bar{X}		72,54	65,60
Desviación estándar (σ)		3,51	3,56

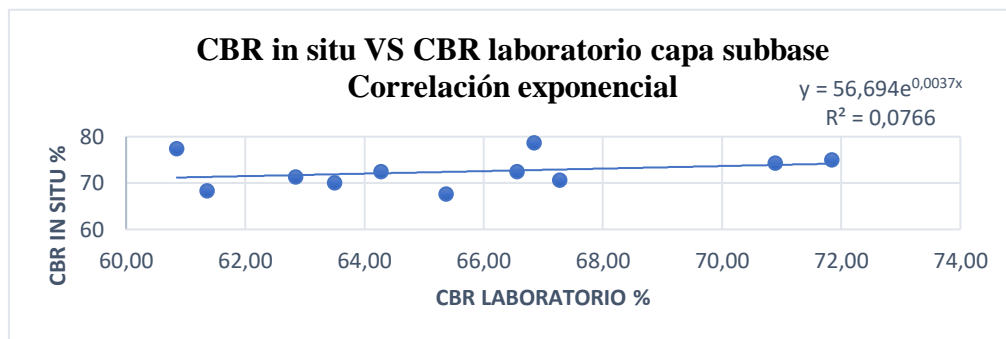
Fuente: Elaboración propia.

Figura 44 – Correlación lineal capa subbase



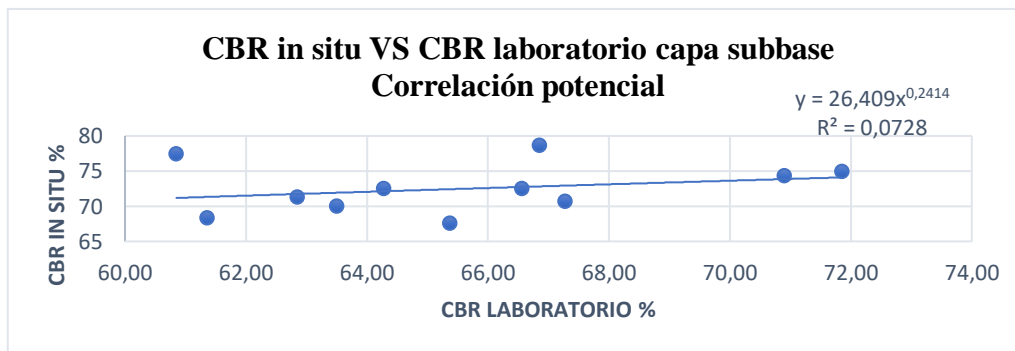
Fuente: Elaboración propia.

Figura 45 – Correlación exponencial capa subbase



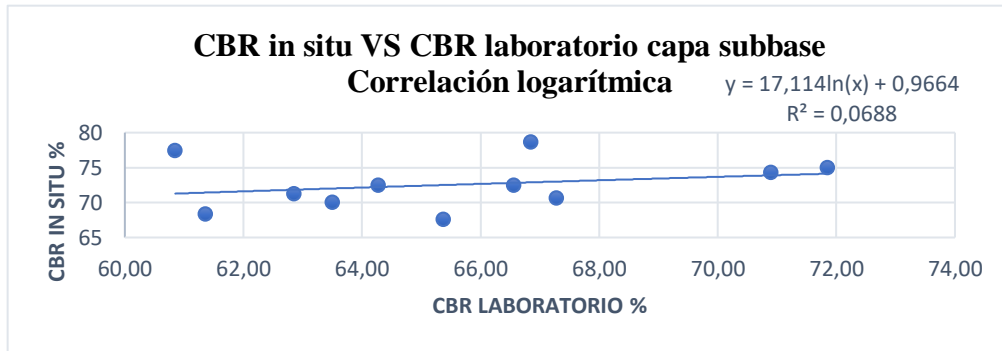
Fuente: Elaboración propia.

Figura 46 – Correlación potencial capa subbase



Fuente: Elaboración propia.

Figura 47 – Correlación logarítmica capa subbase



Fuente: Elaboración propia.

4.2.2.1 Resultados del grado de correlación

Tabla 36 – Grados de correlación capa subbase

Capa subbase	
Correlación lineal	
R=	0,27
Correlación exponencial	
R=	0,28
Correlación potencial	
R=	0,27
Correlación logarítmica	
R=	0,26

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 37 – Rangos de correlación de Pearson.

+0,96	+1,00	Perfecta
+0,85	+0,95	Fuerte
+0,70	+0,84	Significativa
+0,50	+0,69	Moderada
+0,20	+0,49	Débil
+0,10	+0,19	Muy débil
0	0	Nula
- 0,10	- 0,19	Muy débil
- 0,20	- 0,49	Débil
- 0,50	- 0,69	Moderada
- 0,70	- 0,84	Significativa
- 0,85	- 0,95	Fuerte
- 0,96	- 1,00	Perfecta

Fuente: Coeficientes de correlación de Pearson. Prof. Pedro Beltrán.

4.2.2.2. Análisis de correlación CBR in situ-CBR laboratorio capa subbase

El grado de correlación del CBR in situ con el CBR de laboratorio actúa como indicativo si existe relación entre las dos variables. Esto nos facilita entender si estas variables están relacionadas o no. En este caso el grado de correlación proporciona un valor de 0,27. clasificado en la tabla 21, como una correlación positiva débil.

El signo del coeficiente es positivo e indica que ambas variables tienden a aumentar a la vez, y la línea que representa la correlación forma una pendiente hacia arriba. En esta correlación de Pearson, el valor del grado de correlación es bajo, porque no existe relación lineal entre las variables.

La ecuación lineal encontrada para la capa subbase es:

$$y = 0,2655x + 55,128$$

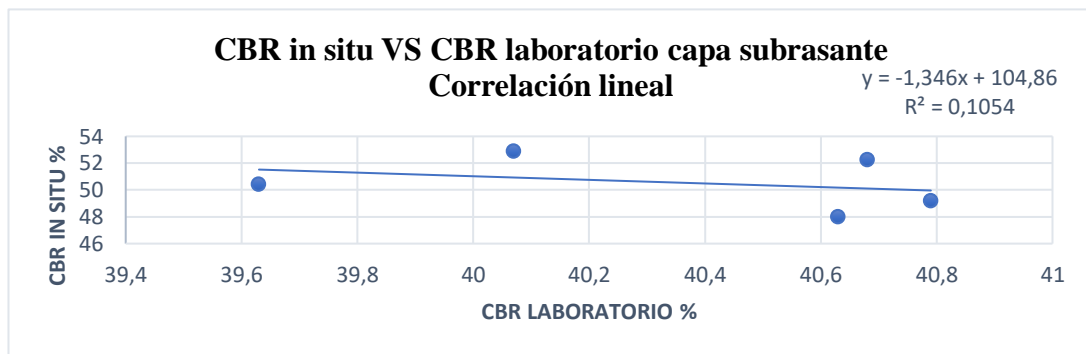
4.2.2.3 Análisis correlacional de capa subrasante

Tabla 38 – Tabla de correlación de capa subrasante

Tabla de correlación CBR in situ-densidad in situ de la capa subrasante			
Nº	Capa	CBR in situ (%)	CBR laboratorio %
1	Subrasante	47,97	40,63
2		52,25	40,68
3		49,19	40,79
4		50,42	39,63
5		52,87	40,07
Media \bar{X}		50,54	40,36
Desviación estándar (σ)		2,05	0,49

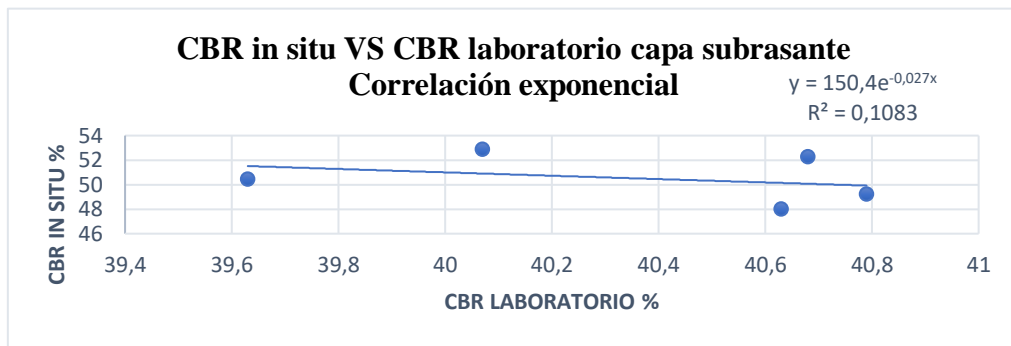
Fuente: Elaboración propia.

Figura 48 – Correlación lineal capa subrasante



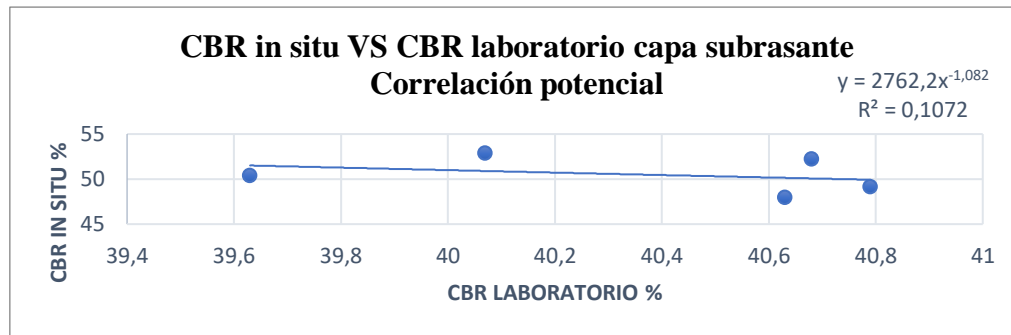
Fuente: Elaboración propia.

Figura 49 – Correlación exponencial capa subrasante



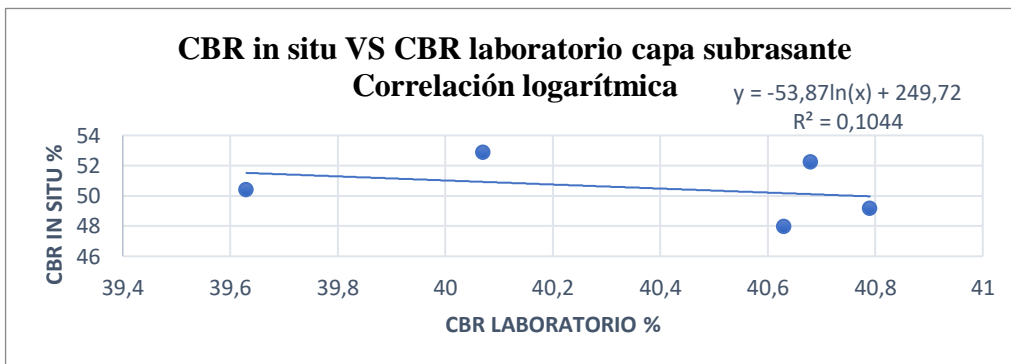
Fuente: Elaboración propia.

Figura 50 – Correlación potencial capa subrasante



Fuente: Elaboración propia.

Figura 51 – Correlación logarítmica capa subrasante



Fuente: Elaboración propia.

4.2.3.1. Resultados del grado de correlación

Tabla 39 – Grados de correlación capa subrasante

Capa subrasante	
Correlación lineal	
R=	0,32
Correlación exponencial	
R=	0,33
Correlación potencial	
R=	0,33
Correlación logarítmica	
R=	0,32

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 40 – Rangos de correlación de Pearson.

+0,96	+1,00	Perfecta
+0,85	+0,95	Fuerte
+0,70	+0,84	Significativa
+0,50	+0,69	Moderada
+0,20	+0,49	Débil
+0,10	+0,19	Muy débil
0	0	Nula
- 0,10	- 0,19	Muy débil
- 0,20	- 0,49	Débil
- 0,50	- 0,69	Moderada
- 0,70	- 0,84	Significativa
- 0,85	- 0,95	Fuerte
- 0,96	- 1,00	Perfecta

Fuente: Coeficientes de correlación de Pearson. Prof. Pedro Beltrán.

4.2.3.2. Análisis de correlación CBR y CBR laboratorio capa subrasante

El grado de correlación del CBR in situ con el CBR laboratorio actúa como indicativo si existe relación entre las dos variables. Esto nos facilita entender si estas variables están relacionadas o no. En este caso el grado de correlación proporciona un valor de 0,32. clasificado en la tabla 21, como una correlación negativa débil.

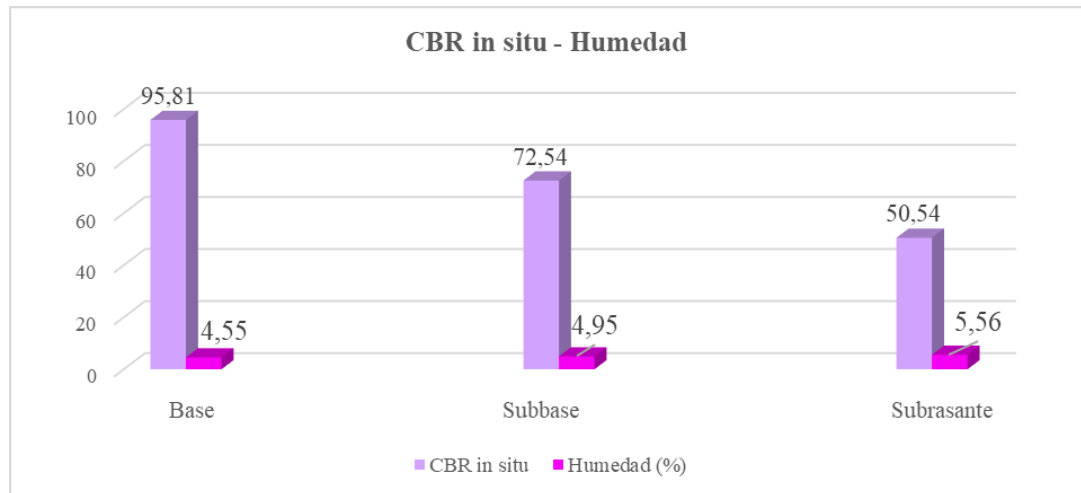
El signo del coeficiente es positivo e indica que ambas variables tienden a disminuir a la vez, y la línea que representa la correlación forma una pendiente hacia abajo. En esta correlación de Pearson, el valor del grado de correlación es bajo, porque no existe relación lineal entre las variables.

La ecuación lineal encontrada para la capa subrasante es:

$$y = -1,346x + 104,86$$

4.3. RELACION DE CBR IN SITU CON HUMEDAD PARA CAPA BASE, SUBBASE Y SUBRASANTE

Figura 52 – CBR in situ vs humedad del sitio



Fuente: Elaboración propia.

4.3.1. Análisis de la figura

Se puede ver que hay buenos valores en porcentaje de CBR. En la capa base se tiene CBR in situ de 95,81 %. Con un valor de humedad de 4,78. La humedad es menor en comparación de las otras capas, porque su clasificación según AASHTO es A-1a. Son suelos muy permeables; su capacidad de retención de agua es baja.

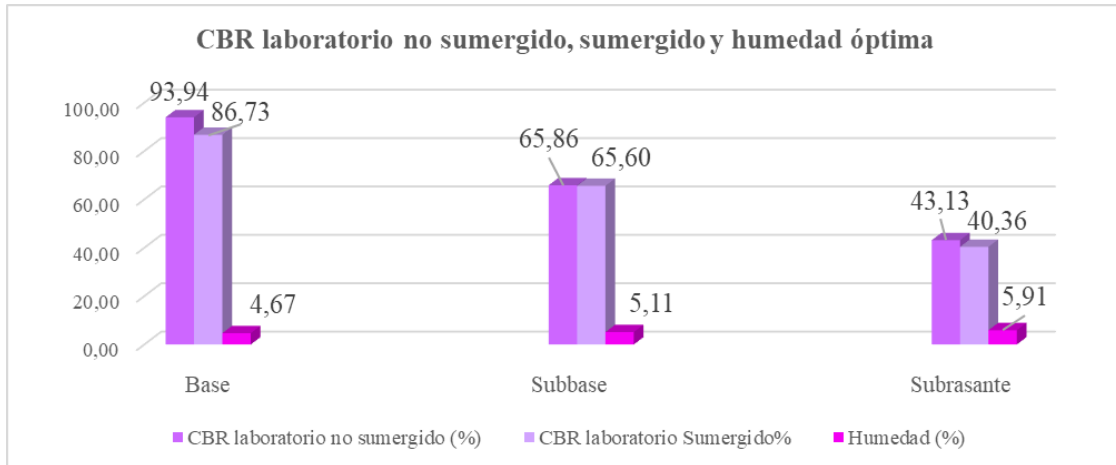
En la capa subbase el valor de CBR disminuye a 72,54% pero su humedad aumenta debido a que el suelo que conforma la capa retiene mucho más el agua. Sin embargo, esta humedad disminuye la resistencia del suelo.

La capa subrasante presenta el menor valor de CBR con 50,54%. Su humedad es la más alta con 6,03%; la capa presenta un suelo con presencia de arcilla y limo con arena, estos suelos retienen mayor cantidad de agua, pero al mismo tiempo la capacidad de soporte o resistencia del suelo disminuye considerablemente.

Es importante recalcar que los valores de CBR son muy efectivos y entran en los rangos establecidos en la figura 10. Son valores altos por lo que contamos con un diseño estructural de la carretera óptimo, seguro y de buena calidad.

4.4. RELACIÓN DE CBR LABORATORIO Y HUMEDAD ÓPTIMA

Figura 53 – CBR con y sin sumergir y humedad óptima



Fuente: Elaboración propia.

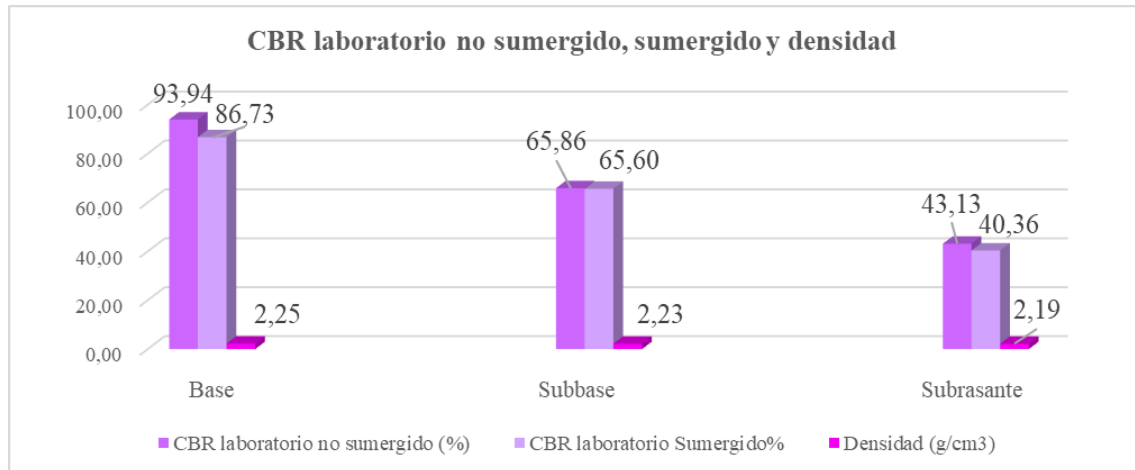
4.4.1. Análisis de la figura

Es importante mencionar que la comparación del trabajo de investigación es sobre el equipo CBR in situ con el CBR de Laboratorio, el cual en laboratorio el CBR convencional es decir el sumergido (peores condiciones) propiciará los datos relevantes de esta comparación, de todas maneras, el CBR obtenido sin sumergir muestra claramente que mantiene valores mayores. Por lo que se obtiene en las mejores condiciones y en lo posible las mismas características que en el sitio. Pero es conveniente usar el CBR sumergido porque en realidad ese es el procedimiento adecuado en laboratorio.

También se debe mencionar lo siguiente, en la figura 38 las humedades en laboratorio son similares a las humedades en el sitio, ver figura 37. De igual manera se obtendrá mayores porcentajes de humedad en la capa subrasante por poseer pequeñas cantidades de suelo fino. En cambio, en las capas superiores hay menores porcentajes de humedad por ser suelos con presencia de limo orgánico con arena.

4.5. RELACIÓN DE CBR LABORATORIO Y DENSIDAD

Figura 54 – CBR con y sin sumergir y densidad



Fuente: Elaboración propia.

4.5.1. Análisis de la figura

La capa base es la capa de rodadura más importante del paquete estructural, no tiene que llevar material ligante, El material tiene que ser adecuado como el material del río, material granular y arenoso no tiene que existir expansión, no debe tener limo ni arcilla tampoco se utiliza el material ligante para la capa base porque no puede penetrar como tal, entonces el material para la capa base tiene que ser granular. De esa manera se obtendrá buena densidad en laboratorio como en el sitio.

En este caso el material que conforma la capa base del tramo San Mateo Monte Méndez cumple las características y alcanza un valor de densidad en laboratorio de 2,25 gr/cm³.

Además, alcanza mayor resistencia obteniendo un valor de CBR aceptable de 78,41%. La buena compactación juega un papel muy importante para alcanzar estos valores.

La subbase en cambio, al poseer un material granular grueso, que se compone de un porcentaje de triturados, arena y una pequeña parte de materiales finos presenta un valor

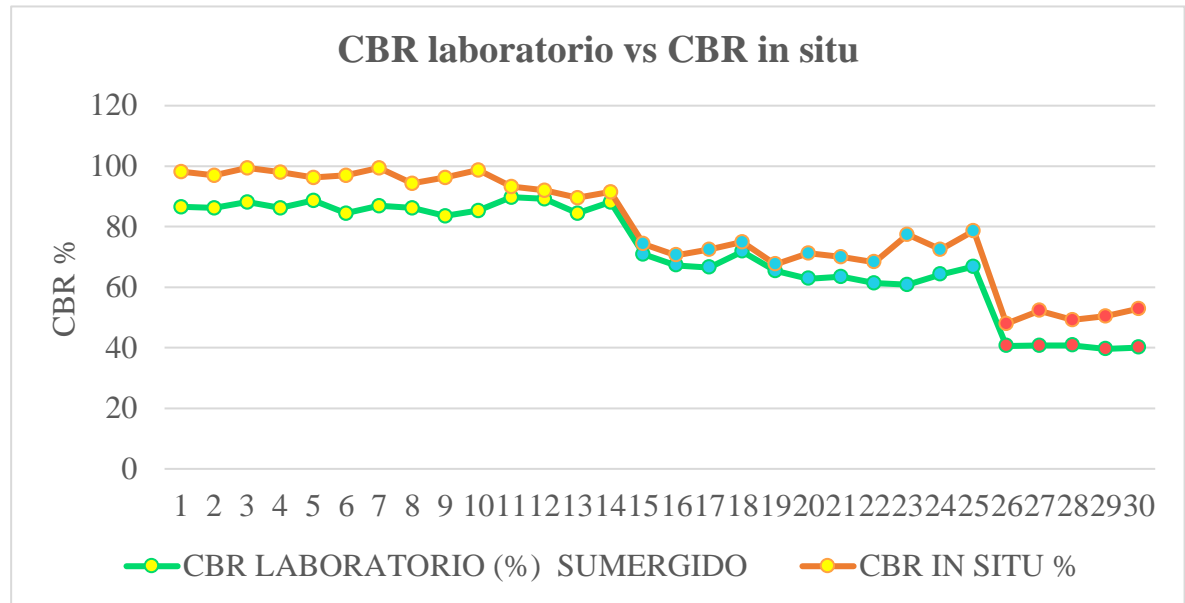
de densidad menor que la capa base, esto es debido porque tiene presencia de más suelo fino y mayor retención de agua.

Su capacidad soporte disminuye a 65, 60%, siendo una capa de menor calidad que la base.

La capa subrasante exige suficiente compactación porque es el suelo de fundación para prevenir posibles asentamientos bajo cargas de tránsito. En este caso la densidad alcanzada en la capa subrasante es de 2,19 gr/cm³, cuenta con muy buena compactación.

4.6. COMPARACIÓN CBR IN SITU-CBR LABORATORIO SUMERGIDO

Figura 55 – Gráfico lineal de ambos CBR, in situ y laboratorio (sumergido).



Fuente: Elaboración propia.

ANÁLISIS DE LA FIGURA

Se observa dos variables en este gráfico, representado por dos líneas, una de color verde que representa el CBR de laboratorio (al 95%) y de color naranja el CBR in situ. Se puede evidenciar que el equipo de CBR in situ proporciona valores mayores en comparación del equipo CBR laboratorio convencional.

Los primeros 14 puntos de cada línea son la capa base, los siguiente 11 son capa subbase y los 5 restantes son subrasantes. Y en todos los puntos el CBR in situ es mayor que el CBR en laboratorio.

Existe mayor variación de CBR en la capa base, en cambio en la capa subbase y subrasante menos.

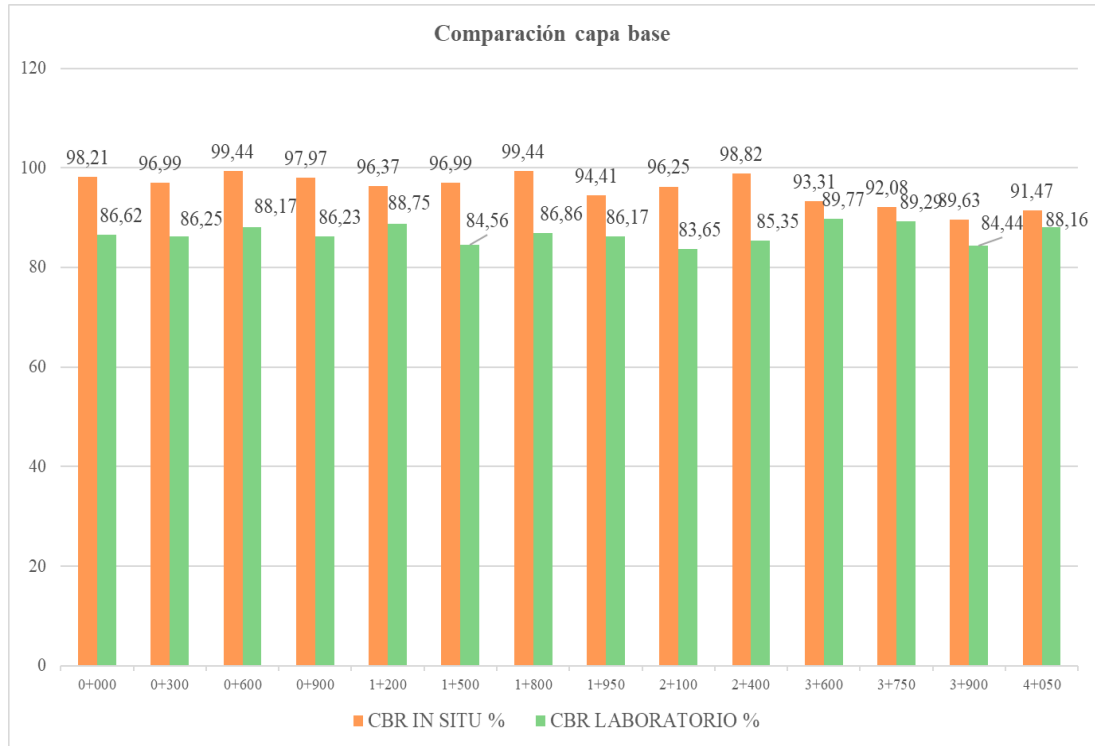
4.6.1. Comparación de CBR in situ y laboratorio capa base

Tabla 41 – CBR in situ y CBR laboratorio capa base

Tabla de comparación de la capa base				
Nº	Capa	CBR in situ %	CBR laboratorio % sumergido	Diferencia ≠
1	Base	98,21	86,62	11,59
2		96,99	86,25	10,74
3		99,44	88,17	11,27
4		97,97	86,23	11,74
5		96,37	88,75	7,62
6		96,99	84,56	12,43
7		99,44	86,86	12,58
8		94,41	86,17	8,24
9		96,25	83,65	12,60
10		98,82	85,35	13,47
11		93,31	89,77	3,54
12		92,08	89,29	2,79
13		89,63	84,44	5,19
14		91,47	88,16	3,31
Media \bar{X}		95,81	86,73	9,08
Desviación estándar (σ)		3,14	1,88	3,90

Fuente: Elaboración propia.

Figura 56 – CBR in situ y CBR laboratorio capa base



Fuente: *Elaboración propia.*

ANÁLISIS DE FIGURA

En la capa base mediante la figura se puede afirmar que todos los valores in situ son mayores que los obtenidos en laboratorio bajo las condiciones indicadas.

Los valores altos de CBR en esta capa muestran que es un suelo bien compactado y de buena calidad. Esto se debe que son suelos que combinan los tamaños de agregado grueso e intermedio con pequeña cantidad de finos plásticos (arenas gruesas y gravas, ambas limosas y arcillosas). Esto aumenta la densificación del suelo que conforma la capa.

Existe una variación de 5,49% de uno del otro. La variación del valor de CBR debe a las condiciones in situ comparado con la humedad del suelo sumergido.

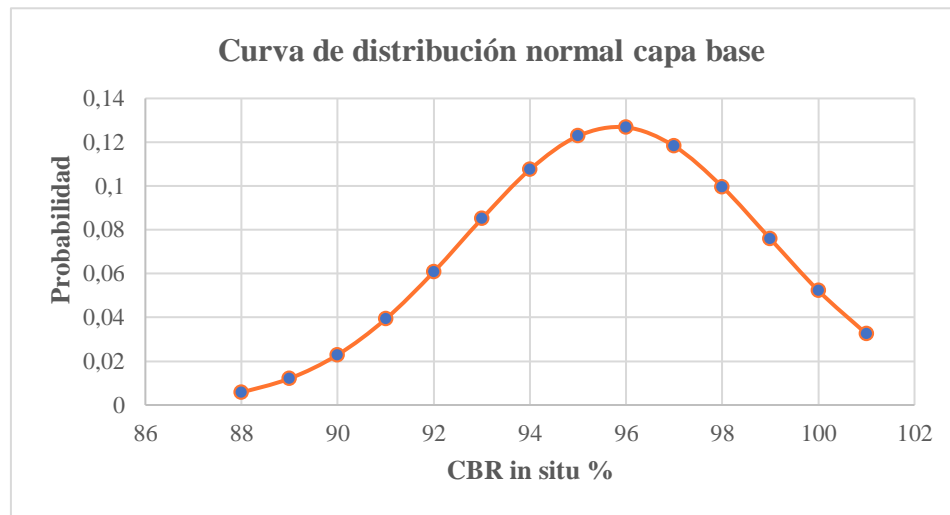
Los resultados de CBR de laboratorio de la capa base obedecen más que a un valor exacto a un valor estadístico dentro de una serie de ensayos del suelo en análisis, por eso, utilizar

el equipo de CBR in situ no significa dejar de realizar los ensayos de CBR en laboratorio; sino que permiten obtener más información de la capacidad de soporte del suelo.

4.6.1.1 Curva de distribución normal in situ y laboratorio

4.6.1.1.1 CBR in situ

Figura 57 – Curva de distribución capa base



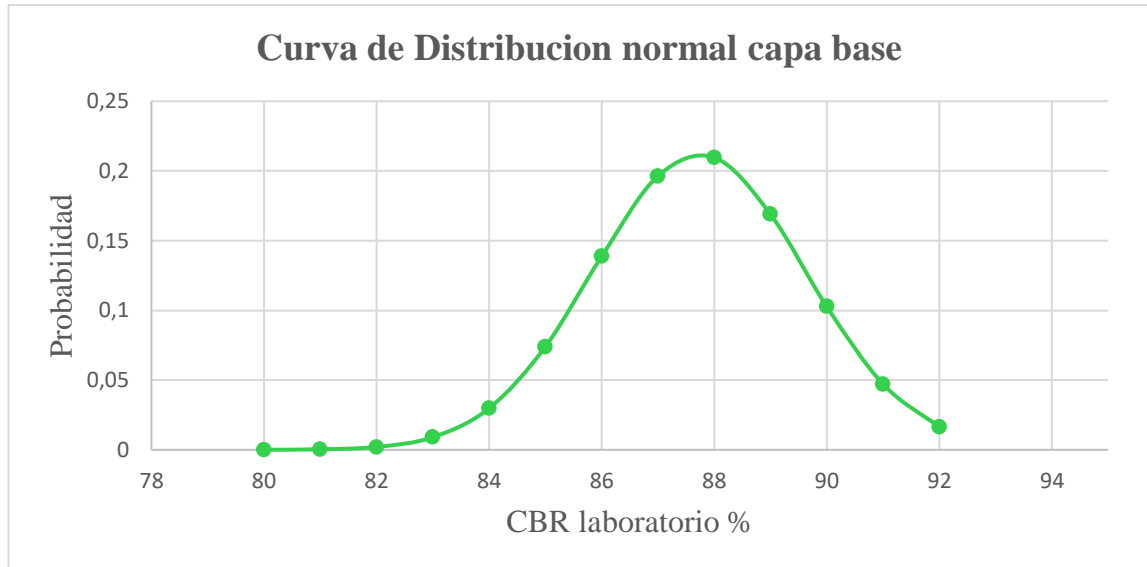
Fuente: Elaboración propia.

ANÁLISIS DE FIGURA

Esta gráfica muestra que el promedio del CBR in situ de la capa base básicamente está en 95%. En este estudio de investigación mayor es la probabilidad de obtener porcentajes de CBR mayores a 90%. Y mientras el porcentaje disminuye del promedio es menor la probabilidad que sea un CBR in situ de capa base. Esta capa presenta un suelo de muy buena calidad por contener suelos granulares con gran cantidad de gravas.

4.6.1.1.2. CBR laboratorio sumergido

Figura 58 – Curva de distribución capa base



Fuente: Elaboración propia.

ANÁLISIS DE FIGURA

Esta gráfica muestra que el promedio del CBR de laboratorio sumergido de la capa base básicamente está en 78%. Se interpreta en este estudio de investigación que mayor es la probabilidad de obtener porcentajes entre 75% y 80%. Y mientras el porcentaje disminuye o aumenta con respecto al promedio, es menor la probabilidad que sea un CBR de laboratorio de capa base. Esta capa presenta un suelo de muy buena calidad por contener suelos granulares con gran cantidad de gravas.

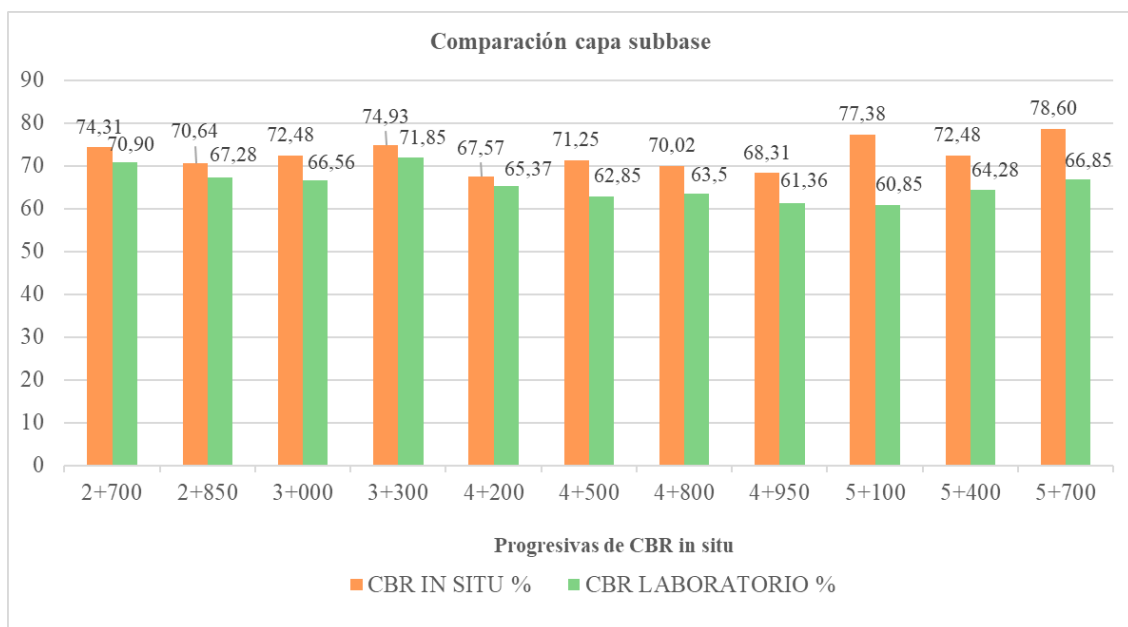
4.6.2. Comparación de CBR in situ y laboratorio capa subbase

Tabla 42 – CBR in situ y CBR laboratorio capa subbase

Tabla de comparación de la capa subbase				
Nº	Capa	CBR in situ (%)	CBR laboratorio (%) sumergido	Diferencia ≠
1	Subbase	74,31	70,90	3,41
2		70,64	67,28	3,36
3		72,48	66,56	5,92
4		74,93	71,85	3,08
5		67,57	65,37	2,20
6		71,25	62,85	8,40
7		70,02	63,50	6,52
8		68,31	61,36	6,95
9		77,38	60,85	16,53
10		72,48	64,28	8,20
11		78,60	66,85	11,75
Media \bar{X}		72,54	65,60	6,94
Desviación estándar (σ)		3,51	3,56	4,27

Fuente: Elaboración propia.

Figura 59 – CBR in situ y CBR laboratorio capa subbase



Fuente: *Elaboración propia.*

ANÁLISIS DE FIGURA

En la capa subbase mediante la figura se puede afirmar que todos los valores in situ son mayores que los obtenidos en laboratorio bajo las condiciones indicadas.

Existe una variación de 4.27% de uno del otro. La variación del valor de CBR debe a las condiciones in situ comparado con la humedad del suelo sumergido.

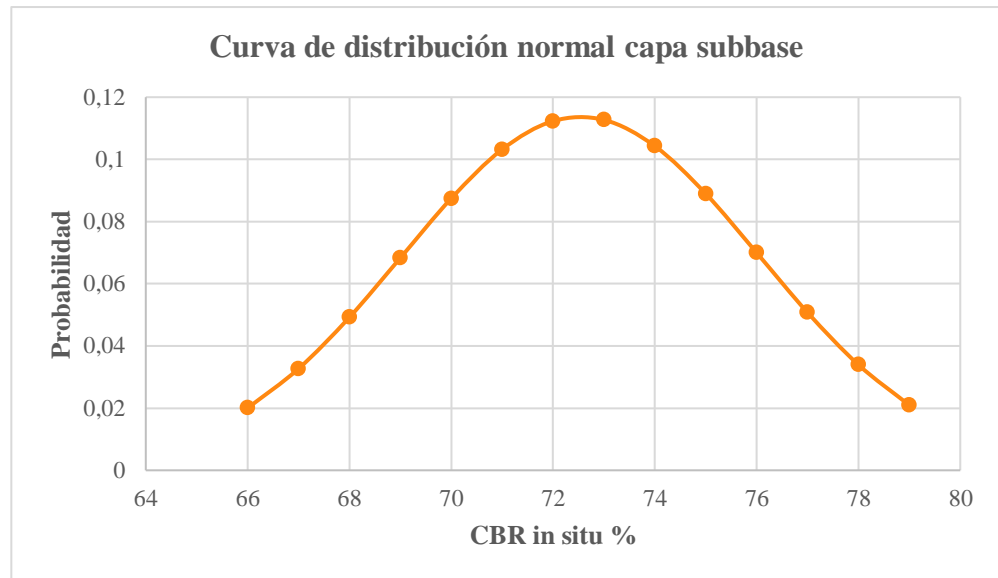
Los valores de CBR en esta capa muestran que es un suelo bien compactado y de buena calidad. Esto se debe que son suelos que combinan los tamaños de agregado grueso e intermedio con cantidad de finos plásticos (arenas gruesas y gravas, ambas limosas y arcillosas). Esto aumenta la densificación del suelo que conforma la capa.

Los resultados de CBR de laboratorio de la capa subbase 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 CBR in situ no significa dejar de realizar los ensayos de CBR en laboratorio; sino que permiten obtener más información de la capacidad de soporte del suelo.

4.6.2.1. Curva de distribución normal in situ y laboratorio

4.6.2.1.1 CBR in situ

Figura 60 – Curva de distribución de capa subbase.



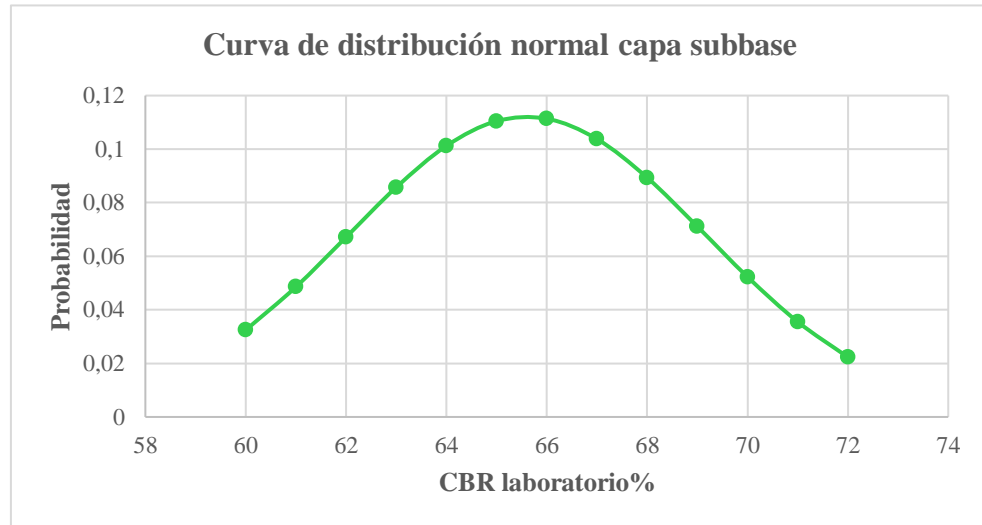
Fuente: Elaboración propia.

ANÁLISIS DE FIGURA

Esta gráfica muestra que el promedio del CBR in situ de la capa subbase básicamente está en 72%. En este estudio de investigación mayor es la probabilidad de obtener porcentajes de CBR que oscilan entre 70 a 74 % Y mientras el porcentaje disminuye o aumenta en gran medida del promedio, es menor la probabilidad que sea un CBR in situ de capa subbase.

4.6.2.1.2. CBR laboratorio

Figura 61 – Curva de distribución de capa subbase.



Fuente: Elaboración propia.

ANÁLISIS DE FIGURA

Esta gráfica muestra que el promedio del CBR de laboratorio sumergido de la capa subbase básicamente está en 65%. En este estudio de investigación mayor es la probabilidad de obtener porcentajes entre 64% y 67%. Y mientras el porcentaje disminuye o aumenta con respecto al promedio, es menor la probabilidad que sea un CBR de laboratorio de capa subbase de buena calidad.

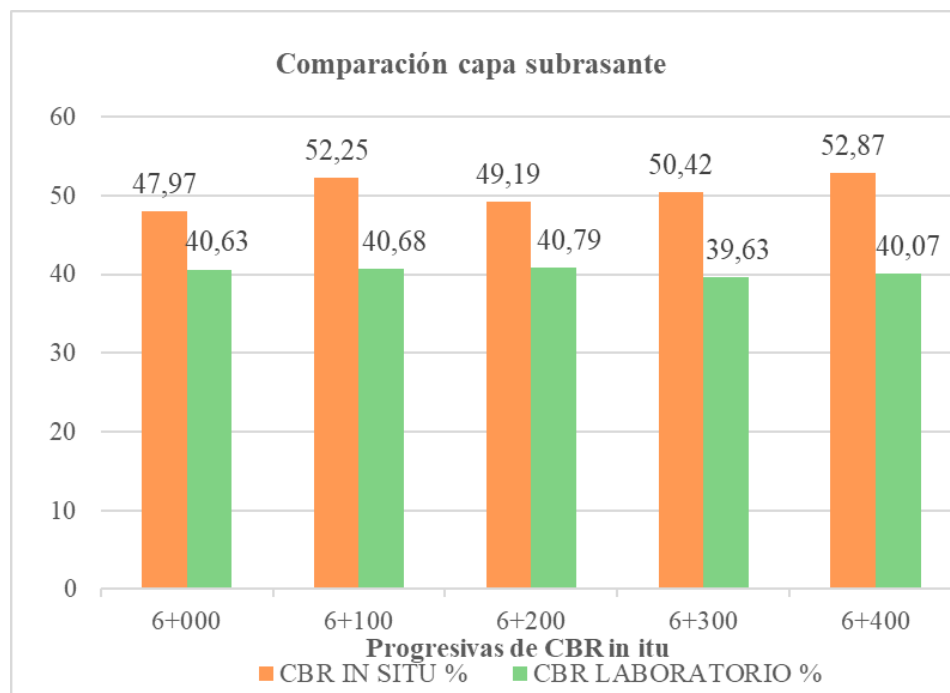
4.6.3. Comparación de CBR in situ y CBR laboratorio capa subrasante

Tabla 43 – CBR in situ y CBR laboratorio capa subrasante

Tabla de comparación de la capa subrasante				
Nº	Capa	CBR in situ (%)	CBR laboratorio (%) sumergido	Diferencia ≠
1	SUBRASANTE	47,97	40,63	7,34
2		52,25	40,68	11,57
3		49,19	40,79	8,40
4		50,42	39,63	10,79
5		52,87	40,07	12,80
Media \bar{X}		50,54	40,36	10,18
Desviación estándar (σ)		2,05	0,49	2,26

Fuente: Elaboración propia.

Figura 62 – CBR in situ y CBR laboratorio capa subrasante



Fuente: Elaboración propia.

ANÁLISIS DE FIGURA

En la capa subrasante mediante la figura se puede afirmar que todos los valores in situ son mayores que los obtenidos en laboratorio bajo las condiciones indicadas.

Existe una variación de 2,26% de uno del otro. La variación del valor de CBR debe a las condiciones in situ comparado con la humedad del suelo sumergido.

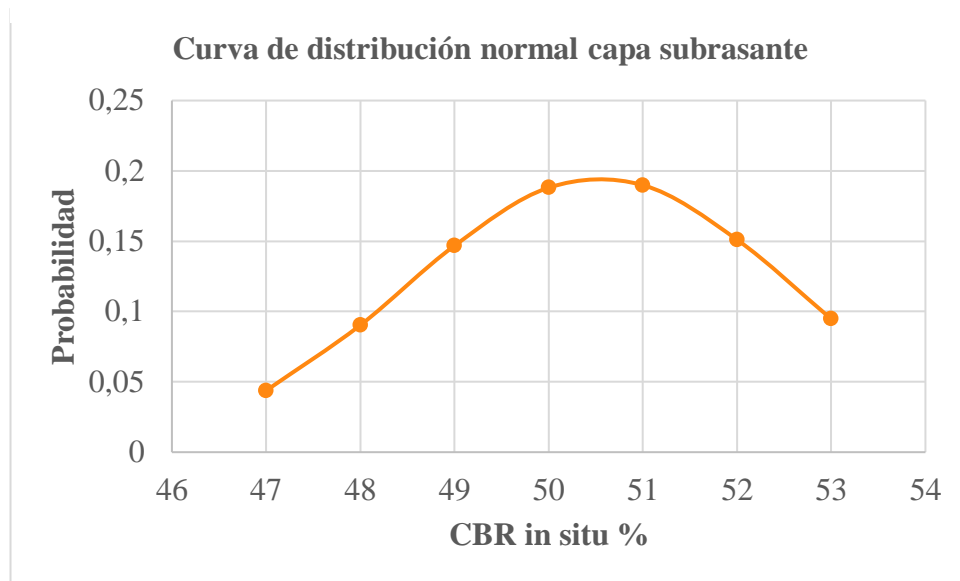
Los valores de CBR en esta capa muestran que es un suelo bien compactado y de buena calidad. Esto se debe que son suelos que combinan los tamaños de agregado grueso con mayor suelo fino de arcilla y limo con arena. Esto provoca que la subrasante presente valores menores de CBR en comparación de la base y subbase. Existe menor densificación en la capa subrasante.

Los resultados de CBR de laboratorio de la capa subrasante 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 CBR in situ no significa dejar de realizar los ensayos de CBR en laboratorio; sino que permiten obtener más información de la capacidad de soporte del suelo.

4.6.3.1. Curva de distribución normal

4.6.3.1.1. CBR in situ

Figura 63 – Curva de distribución normal de capa subrasante



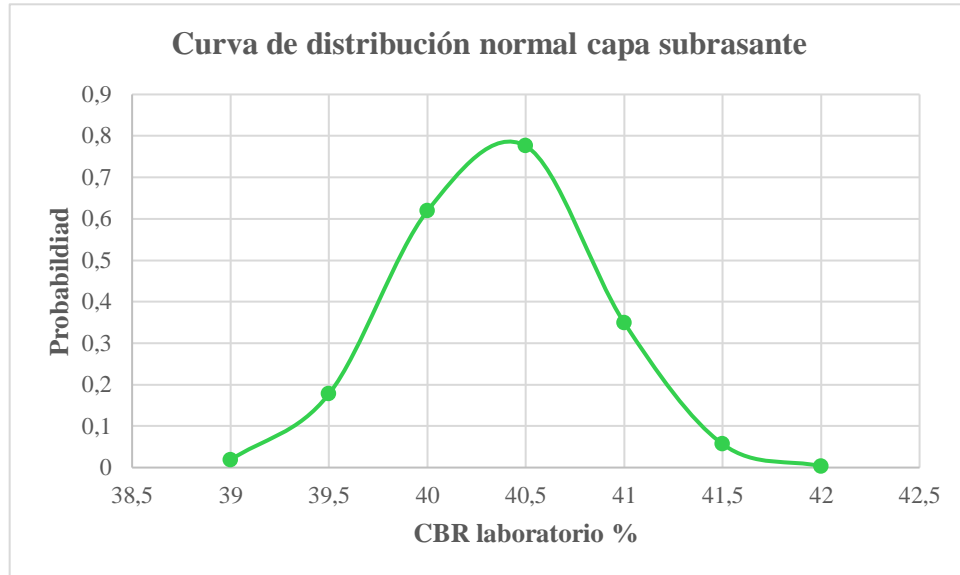
Fuente: Elaboración propia.

ANÁLISIS DE FIGURA

Esta gráfica muestra que el promedio del CBR in situ de la capa subbase básicamente está en 50%. En este estudio de investigación mayor es la probabilidad de obtener porcentajes de CBR que oscilan de 50 a 52 % Y mientras el porcentaje disminuye o aumenta en gran medida del promedio, es menor la probabilidad que sea un CBR in situ de capa subrasante de buena calidad.

4.6.3.1.2. CBR laboratorio

Figura 64 – Curva de distribución normal de capa subrasante



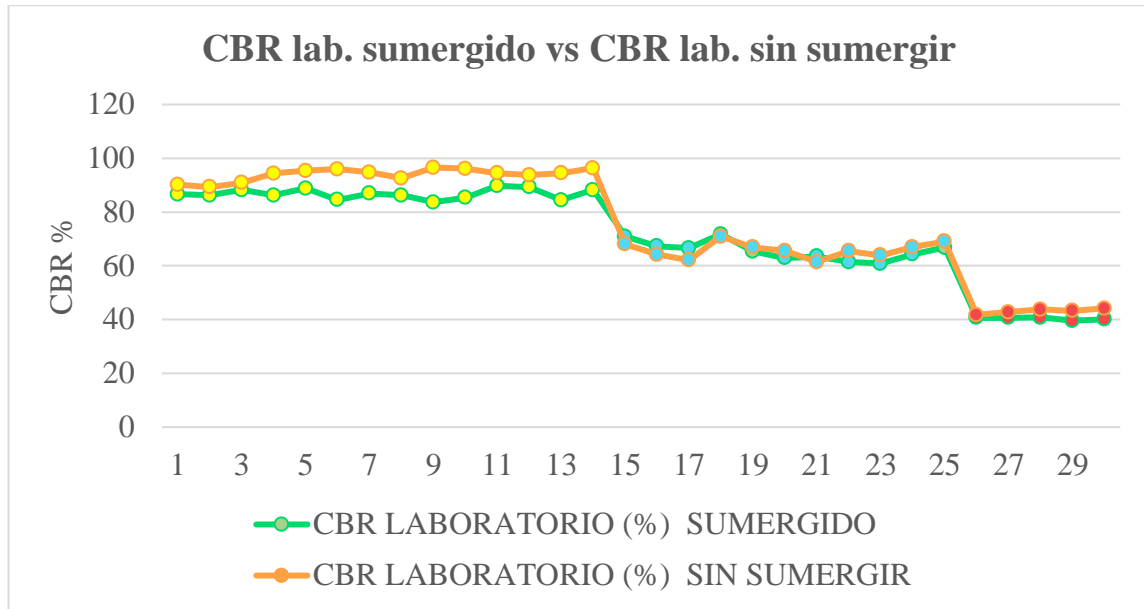
Fuente: Elaboración propia.

ANÁLISIS DE FIGURA

Esta gráfica muestra que el promedio del CBR de laboratorio sumergido de la capa subrasante básicamente está en 40%. En este estudio de investigación mayor es la probabilidad de obtener porcentajes de aproximadamente 40%. Y mientras el porcentaje disminuye o aumenta con respecto al promedio, es menor la probabilidad que sea un CBR de laboratorio de capa subbase de buena calidad.

4.7. RELACIÓN CBR LABORATORIO SUMERGIDO Y SIN SUMERGIR

Figura 65 – Gráfico lineal de ambos CBR laboratorio, sumergido y sin sumergir.



Fuente: Elaboración propia.

ANÁLISIS DE LA FIGURA

Se observa dos variables en este gráfico, representado por dos líneas, una de color verde que representa el CBR de laboratorio sumergido o saturado (al 95%) y de color naranja el CBR de laboratorio sin sumergir o no saturado (al 95%). Se puede evidenciar que el CBR de laboratorio sin sumergir proporciona en la mayoría de los puntos valores mayores en comparación del CBR de laboratorio sumergido.

Los primeros 14 puntos de cada línea son la capa base, los siguientes 11 son capa subbase y los 5 restantes son subrasantes.

Existe mayor variación de CBR en la capa base, en cambio en la capa subbase y subrasante la variación es menor.

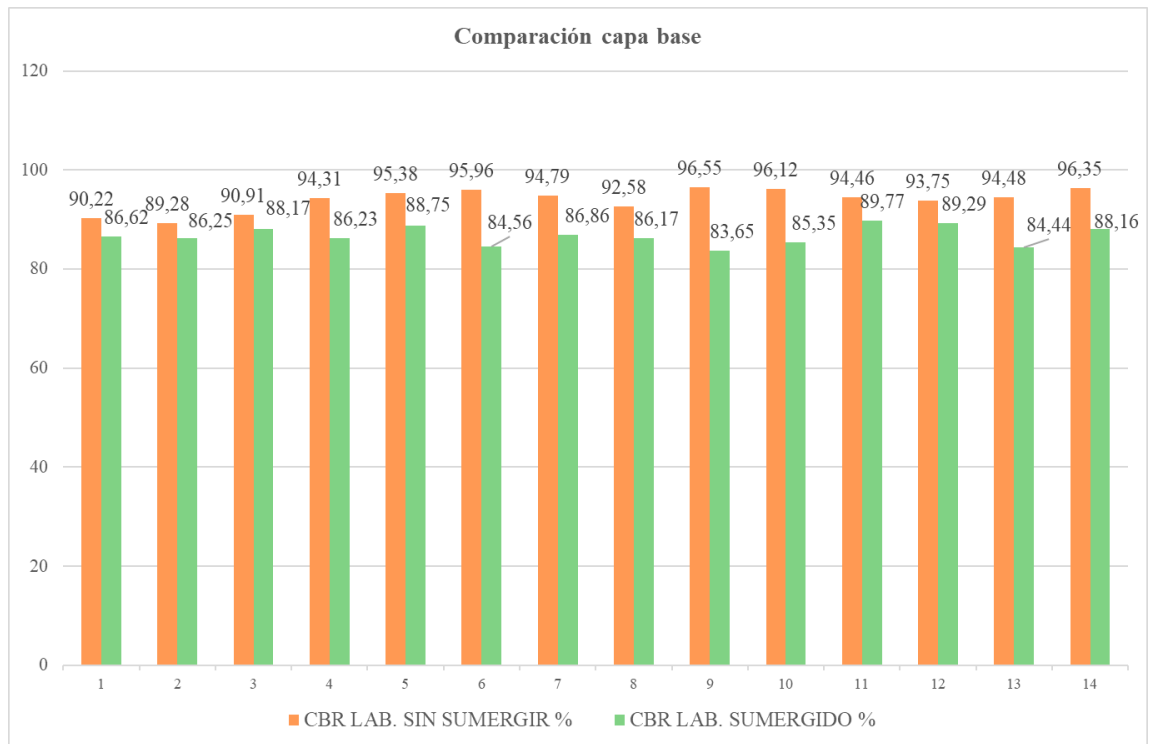
4.7.1. Comparación de CBR de laboratorio con y sin sumergir de capa base

Tabla 44 – CBR laboratorio sumergido-sin sumergir capa base.

Tabla de comparación CBR con y sin sumergir de capa base				
Nº	Capa	CBR laboratorio % sin sumergir	CBR laboratorio % sumergido	Diferencia ≠
1	Base	90,22	86,62	3,60
2		89,28	86,25	3,03
3		90,91	88,17	2,74
4		94,31	86,23	8,08
5		95,38	88,75	6,63
6		95,96	84,56	11,40
7		94,79	86,86	7,93
8		92,58	86,17	6,41
9		96,55	83,65	12,90
10		96,12	85,35	10,77
11		94,46	89,77	4,69
12		93,75	89,29	4,46
13		94,48	84,44	10,04
14		96,35	88,16	8,19
Media \bar{X}		93,94	86,73	7,21
Desviación estándar (σ)		2,35	1,88	3,26

Fuente: Elaboración propia.

Figura 66 – CBR laboratorio sin sumergir – sumergido capa base.



Fuente: *Elaboración propia.*

ANÁLISIS DE FIGURA

En la capa base mediante la figura se puede afirmar que todos los valores de CBR sin sumergir son mayores que los obtenidos de CBR sumergido bajo las condiciones indicadas.

El CBR sin sumergir es generalmente mayor que el CBR sumergido o saturado por 4 días, esto se produce porque son ensayados en la condición en seco y tal como se compactó in situ. Basta su humedad óptima para trabajar en las mejores condiciones.

En cambio, el CBR sumergido por 4 días, es el CBR convencional y se obtiene en las peores condiciones; es la condición más utilizada en todo el mundo; inclusive hay especificaciones que la requieren expresamente (independientemente de que el suelo no vaya a estar en esa condición durante la vida útil del pavimento o estructura civil).

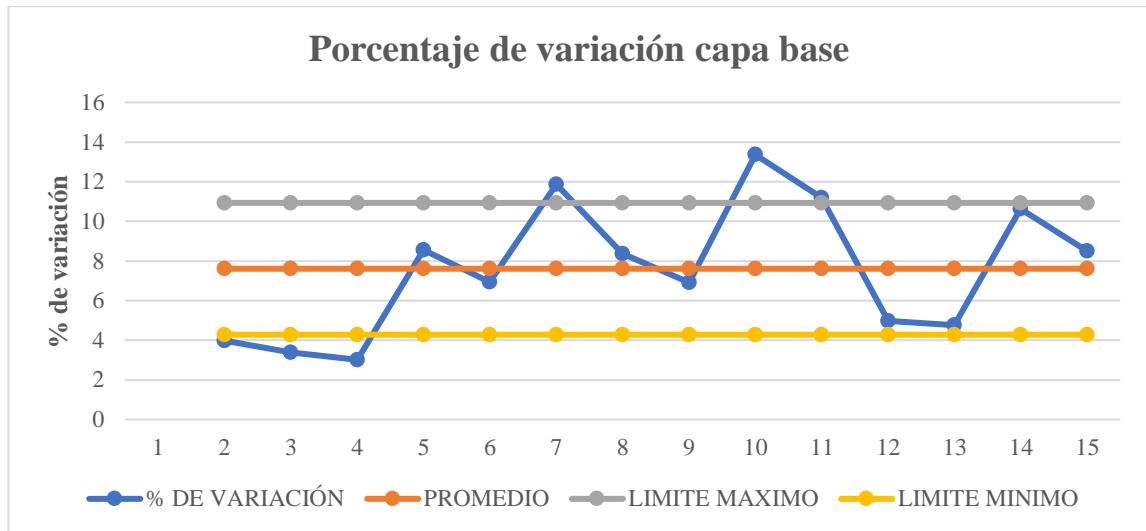
4.7.1.1. Porcentaje de variación capa base

Tabla 45 – Porcentaje de variación de capa base

Nº	Capa	% de variación
1	Base	3,990246065
2		3,393817204
3		3,01396986
4		8,567490192
5		6,951142797
6		11,87994998
7		8,365861378
8		6,923741629
9		13,36095287
10		11,20474407
11		4,965064578
12		4,757333333
13		10,62658764
14		8,500259471
Media \bar{X}		7,61
Desviación estándar (σ)		3,32

Fuente: Elaboración propia.

Figura 67 – Porcentaje de variación de capa base.



Fuente: *Elaboración propia.*

ANÁLISIS DE FIGURA

La variación porcentual se utiliza para describir la relación entre el valor de CBR laboratorio sumergido y sin sumergir. De manera específica, la variación porcentual representa la diferencia de ambos en términos de un porcentaje de los valores de CBR sumergido.

El resultado es un número que representa el cambio total que tuvo la variable CBR en función del valor sin sumergir.

Dicho esto, la gráfica muestra el porcentaje de variación con respecto al promedio o valor central. Se puede observar la variación que existe dentro de los 14 puntos de CBR sin sumergir y sumergido de la capa base.

Hay un rango de límite máximo y límite mínimo de porcentaje de variación aceptable. Los puntos 3, 6, y 9 se muestran fuera del rango y son los valores que están más variados en comparación del resto de los puntos.

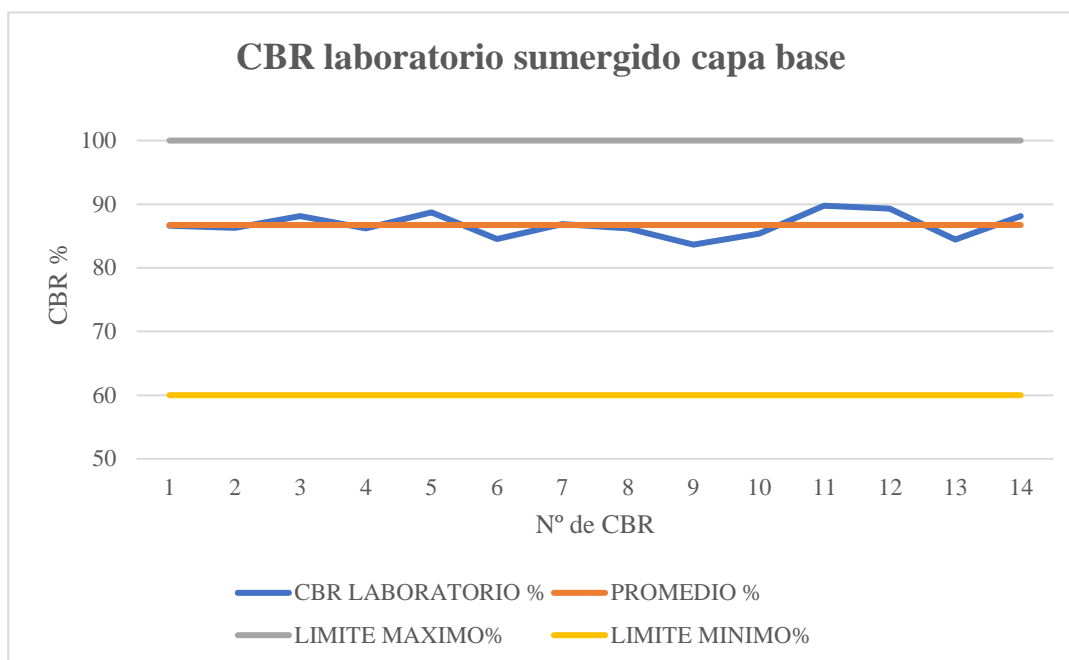
4.7.1.2. Rangos de CBR de laboratorio sumergido para capa base

Tabla 46 – Rangos de CBR para capa base

Nº	Capa	CBR laboratorio % sumergido	Promedio %	Límite máximo%	Límite mínimo%
1	Base	86,62	86,73	100,00	60,00
2		86,25	86,73	100,00	60,00
3		88,17	86,73	100,00	60,00
4		86,23	86,73	100,00	60,00
5		88,75	86,73	100,00	60,00
6		84,56	86,73	100,00	60,00
7		86,86	86,73	100,00	60,00
8		86,17	86,73	100,00	60,00
9		83,65	86,73	100,00	60,00
10		85,35	86,73	100,00	60,00
11		89,77	86,73	100,00	60,00
12		89,29	86,73	100,00	60,00
13		84,44	86,73	100,00	60,00
14		88,16	86,73	100,00	60,00

Fuente: Elaboración propia.

Figura 68 – Rangos de CBR para capa base



Fuente: *Elaboración propia.*

ANÁLISIS DE FIGURA

En la figura 11 del capítulo II de este trabajo de investigación, se encuentra los valores de CBR dependiendo las capas base, subbase y subrasante.

En este caso la capa que se analiza es la capa base, y el rango recomendable de CBR es de 60% a 100%. Con estos dos límites y el promedio de los valores obtenidos de CBR en el laboratorio trazamos tres líneas de referencia. Gracias a esto podemos trazar la línea azul que representa los 14 puntos de CBR en laboratorio.

Se puede apreciar que los valores se encuentran muy próximos al promedio de los valores de CBR en laboratorio. Lo que significa que tenemos valores satisfactorios ni muy altos ni muy bajos. La capa base tiene un suelo excelente que resistirá confiablemente las cargas aplicadas por los vehículos.

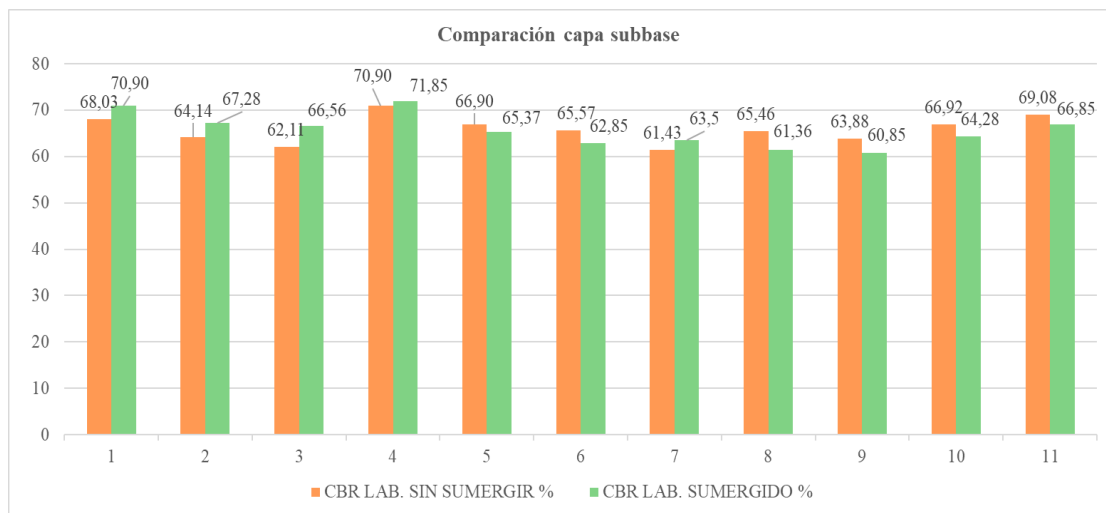
4.7.2. Comparación de CBR de laboratorio con y sin sumergir de capa subbase

Tabla 47 – CBR laboratorio sumergido-sin sumergir capa subbase.

Tabla de comparación de CBR de laboratorio con y sin sumergir de capa subbase				
Nº	Capa	CBR laboratorio (%) sin sumergir	CBR laboratorio (%) sumergido	Diferencia ≠
1	Subbase	68,03	70,90	2,87
2		64,14	67,28	3,14
3		62,11	66,56	4,45
4		70,90	71,85	0,95
5		66,90	65,37	1,53
6		65,57	62,85	2,72
7		61,43	63,50	2,07
8		65,46	61,36	4,10
9		63,88	60,85	3,03
10		66,92	64,28	2,64
11		69,08	66,85	2,23
Media \bar{X}		65,86	65,60	2,70
Desviación estándar (σ)		2,89	3,56	1,02

Fuente: Elaboración propia.

Figura 69 – CBR laboratorio sin sumergir – sumergido capa subbase.



Fuente: *Elaboración propia.*

ANÁLISIS DE FIGURA

En la capa subbase mediante la figura se puede afirmar que más de la mitad de los valores de CBR sin sumergir son mayores que los obtenidos de CBR sumergido bajo las condiciones indicadas.

Un CBR sumergido o saturado debería ser menor que un CBR sin sumergir. Pero en este caso no es así. Esto se pudo haber dado por un mal ajuste y montaje del equipo de la prensa de carga de CBR, por error de paralaje, error en aplicar la humedad óptima, o por una mala calibración del equipo, en fin, pueden ser muchos los factores que propicien estos resultados.

Es importante recalcar que el CBR sin sumergir es generalmente mayor que el CBR sumergido o saturado por 4 días, esto se produce porque son ensayados en la condición en seco y tal como se compactó in situ. Basta su humedad óptima y densidad seca máxima para trabajar en las mejores condiciones.

En cambio, el CBR sumergido por 4 días, es el CBR convencional y se obtiene en las peores condiciones; es la condición más utilizada en todo el mundo; inclusive hay especificaciones que la requieren expresamente (independientemente de que el suelo no vaya a estar en esa condición durante la vida útil del pavimento o estructura civil).

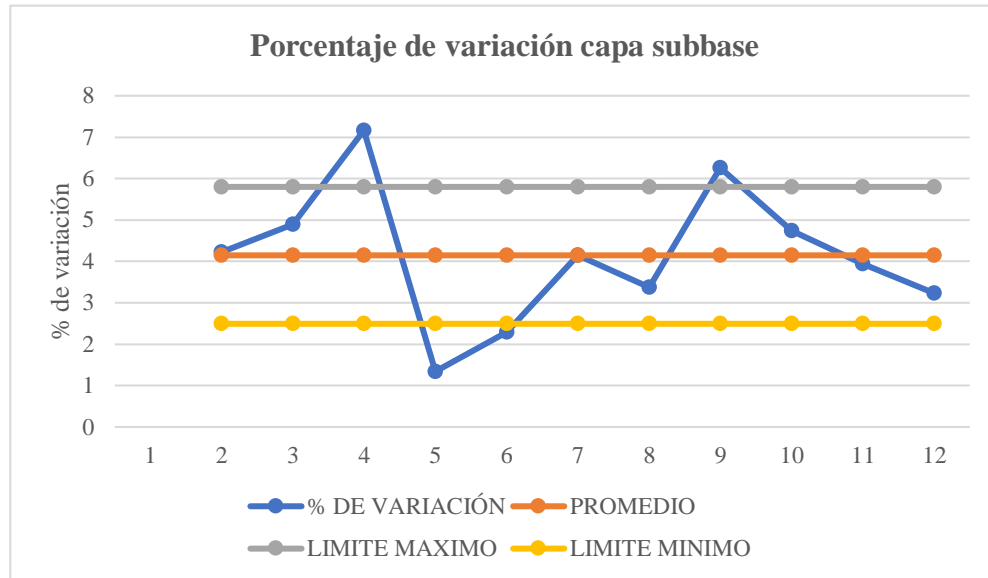
4.7.2.1. Porcentaje de variación capa subbase

Tabla 48 – Porcentaje de variación de capa subbase

Nº	Capa	% de variación
1	Subbase	4,218727032
2		4,895541004
3		7,164707777
4		1,339915374
5		2,286995516
6		4,148238524
7		3,369689077
8		6,263366942
9		4,743268629
10		3,945008966
11		3,228141285
Media \bar{X}		4,15
Desviación estándar (σ)		1,65

Fuente: Elaboración propia.

Figura 70 – Porcentaje de variación de capa subbase



Fuente: *Elaboración propia.*

ANÁLISIS DE FIGURA

La variación porcentual se utiliza para describir la relación entre el valor de CBR laboratorio sumergido y uno sin sumergir. De manera específica, la variación porcentual representa la diferencia de ambos en términos de un porcentaje de los valores de CBR sumergido.

El resultado es un número que representa el cambio total que tuvo la variable CBR en función del valor sin sumergir.

Dicho esto, la gráfica muestra el porcentaje de variación con respecto al promedio o valor central. Se puede observar la variación que existe dentro de los 11 puntos de CBR sin sumergir y sumergido de la capa subbase.

Hay un rango de límite máximo y límite mínimo de porcentaje de variación aceptable. Los puntos 3,4 y 8 se muestran fuera del rango y son los valores que están más variados en comparación del resto de los puntos.

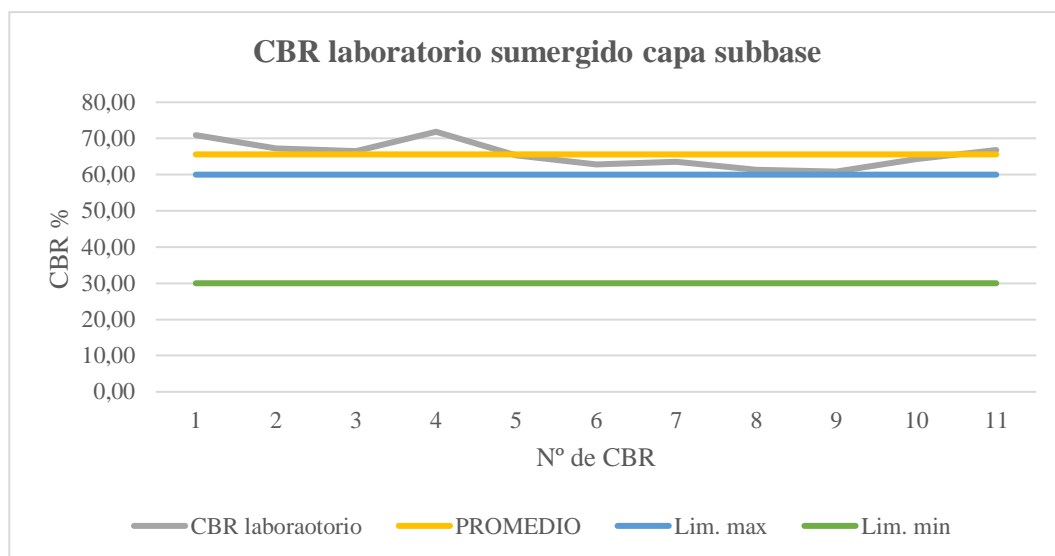
4.7.2.2. Rangos de CBR de laboratorio para capa subbase

Tabla 49 – Rangos de CBR para capa subbase

Nº	Capa	CBR laboratorio % sumergido	Promedio %	Límite máximo%	Límite mínimo %
1	Subbase	70,90	65,60	60,00	30,00
2		67,28	65,60	60,00	30,00
3		66,56	65,60	60,00	30,00
4		71,85	65,60	60,00	30,00
5		65,37	65,60	60,00	30,00
6		62,85	65,60	60,00	30,00
7		63,5	65,60	60,00	30,00
8		61,36	65,60	60,00	30,00
9		60,85	65,60	60,00	30,00
10		64,28	65,60	60,00	30,00
11		66,85	65,60	60,00	30,00

Fuente: Elaboración propia.

Figura 71 – Rangos de CBR para capa subbase



Fuente: *Elaboración propia.*

ANÁLISIS DE FIGURA

En la figura 11 del capítulo II de este trabajo de investigación, se encuentran los valores de CBR dependiendo de las capas base, subbase y subrasante.

En este caso la capa que se analiza es la capa subbase, y el rango recomendable de CBR es de 30% a 60%. Con estos dos límites y el promedio de los valores obtenidos de CBR en el laboratorio trazamos tres líneas de referencia. Gracias a esto podemos trazar la línea azul que representa los 11 puntos de CBR en laboratorio.

Se puede apreciar que los valores se encuentran muy próximos al promedio del CBR obtenidos en laboratorio. Pero muy por encima del límite máximo recomendado por la bibliografía. La capa subbase es un suelo que tiene un alto valor de CBR. La calidad del suelo es muy buena y resistirá adecuadamente las cargas aplicadas por los vehículos.

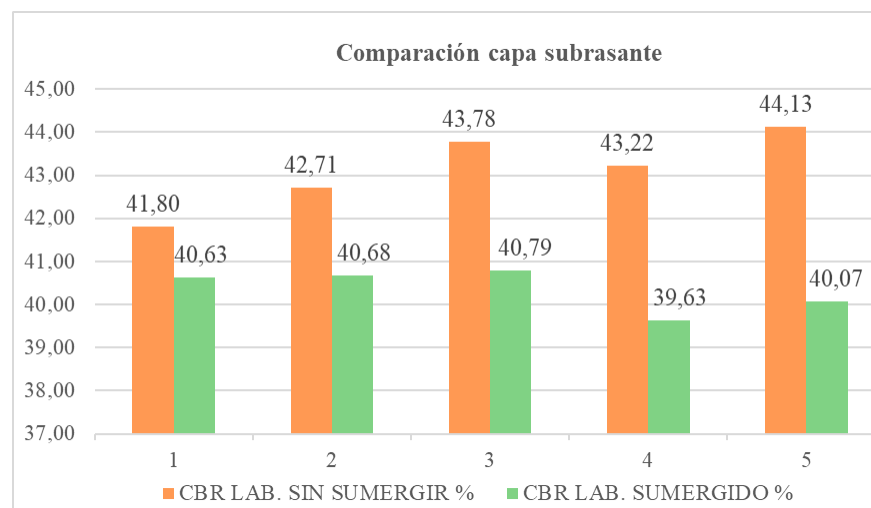
4.7.3. Comparación de CBR de laboratorio con y sin sumergir de capa subrasante

Tabla 50 – CBR laboratorio sumergido-sin sumergir capa subrasante.

Tabla de comparación de CBR de laboratorio con y sin sumergir de capa subrasante				
Nº	Capa	CBR laboratorio (%) sin sumergir	CBR laboratorio (%) sumergido	Diferencia ≠
1	Subrasante	41,80	40,63	1,17
2		42,71	40,68	2,03
3		43,78	40,79	2,99
4		43,22	39,63	3,59
5		44,13	40,07	4,06
Media \bar{X}		43,13	40,36	2,77
Desviación estándar (σ)		0,92	0,49	1,17

Fuente: Elaboración propia.

Figura 72 – CBR laboratorio sin sumergir – sumergido capa subrasante.



Fuente: Elaboración propia.

ANÁLISIS DE FIGURA

En la capa subrasante mediante la figura se puede afirmar que todos los valores de CBR sin sumergir son mayores que los obtenidos de CBR sumergido bajo las condiciones indicadas.

El CBR sin sumergir es generalmente mayor que el CBR sumergido o saturado por 4 días, esto se produce porque son ensayos en la condición en seco y tal como se compactó in situ. Basta su humedad óptima para trabajar en las mejores condiciones.

En cambio, el CBR sumergido por 4 días, es el CBR convencional y se obtiene en las peores condiciones; es la condición más utilizada en todo el mundo; inclusive hay especificaciones que la requieren expresamente (independientemente de que el suelo no vaya a estar en esa condición durante la vida útil del pavimento o estructura civil).

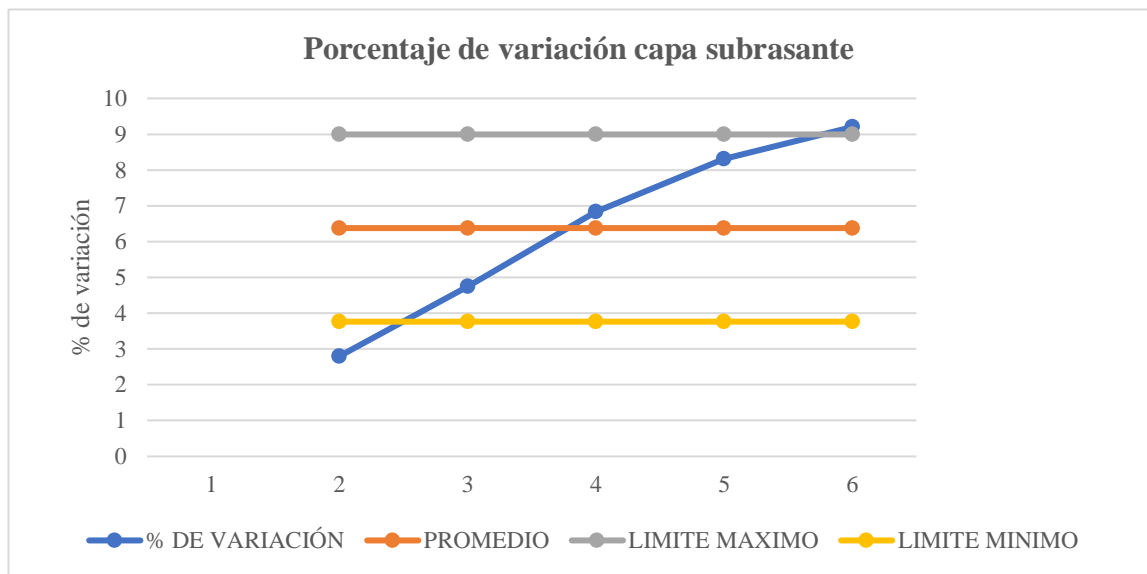
4.7.3.1. Porcentaje de variación capa subrasante

Tabla 51 – Porcentaje de variación de capa base

Nº	Capa	% de variación
1	Subrasante	2,799043062
2		4,752985249
3		6,829602558
4		8,306339658
5		9,200090641
Media \bar{X}		6,38
Desviación estándar (σ)		2,61

Fuente: Elaboración propia.

Figura 73 – Porcentaje de variación de capa subrasante



Fuente: *Elaboración propia.*

ANÁLISIS DE FIGURA

La variación porcentual se utiliza para describir la relación entre el valor de CBR laboratorio sumergido y uno sin sumergir. De manera específica, la variación porcentual representa la diferencia de ambos en términos de un porcentaje de los valores de CBR sumergido.

El resultado es un número que representa el cambio total que tuvo la variable CBR en función del valor sin sumergir.

Dicho esto, la gráfica muestra el porcentaje de variación con respecto al promedio o valor central. Se puede observar la variación que existe dentro de los 5 puntos de CBR sin sumergir y sumergido de la capa subrasante.

Hay un rango de límite máximo y límite mínimo de porcentaje de variación aceptable. Los puntos 1 y 5 se muestran fuera del rango y son los valores que están más variados en comparación del resto de los puntos.

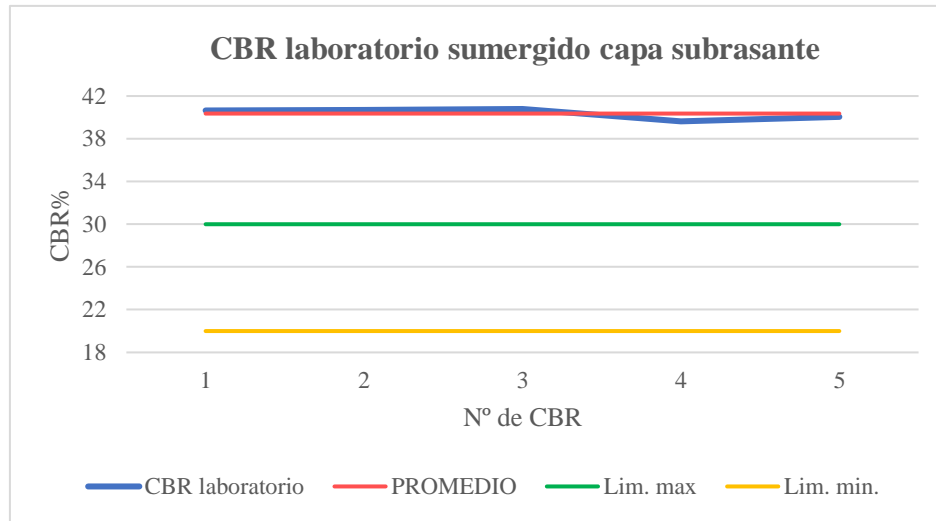
4.7.3.2. Rangos de CBR de laboratorio para capa subrasante

Tabla 52 – Rangos de CBR para capa subrasante

Nº	Capa	CBR laboratorio % sumergido	Promedio %	Límite máximo%	Límite mínimo %
1	Subrasante	40,63	40,36	30,00	20,00
2		40,68	40,36	30,00	20,00
3		40,79	40,36	30,00	20,00
4		39,63	40,36	30,00	20,00
5		40,07	40,36	30,00	20,00

Fuente: Elaboración propia.

Figura 74 – Rangos de CBR para capa subrasante



Fuente: *Elaboración propia.*

ANÁLISIS DE FIGURA

En la figura 11 del capítulo II de este trabajo de investigación, se encuentran los valores de CBR dependiendo de las capas base, subbase y subrasante.

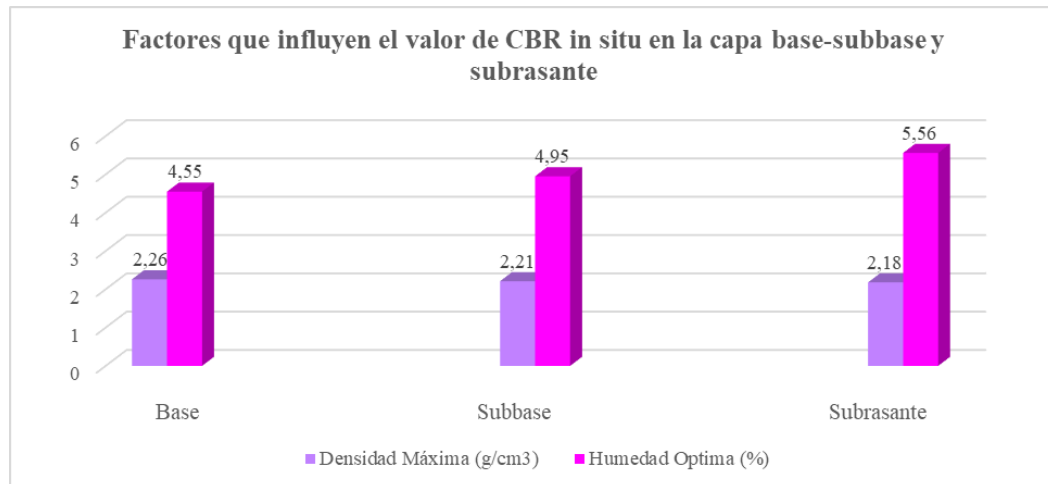
En este caso la capa que se analiza es la capa subrasante, y el rango recomendable de CBR de una capa subrasante excelente, es de 20% a 30%. Con estos dos límites mínimo y máximo y el promedio de los valores obtenidos de CBR en el laboratorio trazamos tres líneas de referencia. Gracias a esto podemos trazar la línea azul que representa los 5 puntos de CBR en laboratorio.

Se puede apreciar que los valores se encuentran muy próximos al promedio del CBR obtenidos en laboratorio. Pero muy por encima del límite máximo recomendado por la bibliografía. La capa subrasante tiene un suelo de fundación que tiene un alto valor de CBR. La calidad del suelo es excelente y resistirá adecuadamente las cargas aplicadas por los vehículos.

4.8. FACTORES QUE INFLUYEN EL VALOR DE CBR IN SITU Y LABORATORIO

4.8.1. CBR in situ

Figura 75 – Factores que influyen el CBR in situ



Fuente: Elaboración propia.

ANÁLISIS DE FIGURA

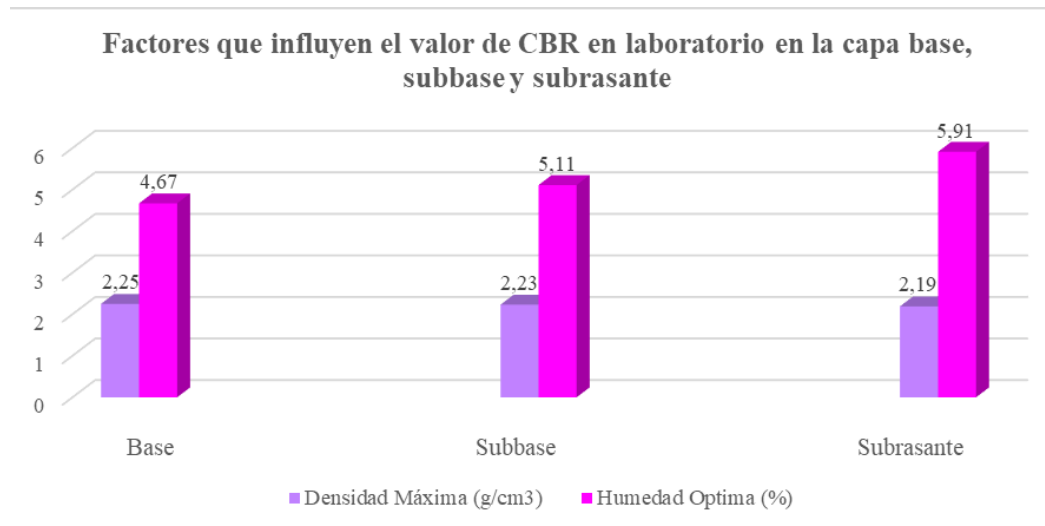
La capa base presenta menor humedad en comparación a la capa subbase y subrasante. Sus valores de densidad al contrario son más altas que las otras capas.

El valor de CBR en cada una de las capas dependen directamente de estos dos factores o variables.

A mayor humedad y menor densidad se tendrá una capa con menor valor porcentual de CBR. Esto se comprueba en la capa subrasante, ya presenta más cantidad suelo fino que las otras capas, por lo que su valor de CBR en comparación a la capa base es mucho menor.

4.8.2. CBR laboratorio

Figura 76 – Factores que influyen el CBR en laboratorio



Fuente: Elaboración propia.

ANÁLISIS DE FIGURA

La capa base presenta menor humedad en comparación a la capa subbase y subrasante. Sus valores de densidad al contrario son más altas que las otras capas.

El valor de CBR en cada una de las capas dependen directamente de estos dos factores o variables.

A mayor humedad y menor densidad se tendrá una capa con menor valor porcentual de CBR. Esto se comprueba en la capa subrasante, ya presenta más cantidad suelo fino que las otras capas, por lo que su valor de CBR en comparación a la capa base es mucho menor.

4.9 TABLA DE RESULTADOS

Tabla 53 – Tabla de resultados finales

Nº	Capa	CBR in situ %	Densidad in situ (g/cm3)	Humedad (%) in situ	CBR laboratorio (%) sumergido	Densidad máxima (g/cm3) laboratorio	Humedad óptima (%) laboratorio
1	Base	98,21	2,24	4,55	86,62	2,25	4,67
2		96,99	2,22	4,55	86,25	2,25	4,67
3		99,44	2,23	4,55	88,17	2,25	4,67
4		97,97	2,23	4,55	86,23	2,25	4,67
5		96,37	2,22	4,55	88,75	2,25	4,67
6		96,99	2,23	4,55	84,56	2,25	4,67
7		99,44	2,23	4,55	86,86	2,25	4,67
8		94,41	2,23	4,55	86,17	2,25	4,67
9		96,25	2,23	4,55	83,65	2,25	4,67
10		98,82	2,23	4,55	85,35	2,25	4,67
11		93,31	2,22	4,55	89,77	2,25	4,67
12		92,08	2,23	4,55	89,29	2,25	4,67
13		89,63	2,23	4,55	84,44	2,25	4,67
14		91,47	2,23	4,55	88,16	2,25	4,67
15	Subbase	74,31	2,21	4,95	70,90	2,23	5,11
16		70,64	2,20	4,95	67,28	2,23	5,11
17		72,48	2,20	4,95	66,56	2,23	5,11
18		74,93	2,21	4,95	71,85	2,23	5,11
19		67,57	2,20	4,95	65,37	2,23	5,11
20		71,25	2,21	4,95	62,85	2,23	5,11

21		70,02	2,20	4,95	63,5	2,23	5,11
22		68,31	2,21	4,95	61,36	2,23	5,11
23		77,38	2,21	4,95	60,85	2,23	5,11
24		72,48	2,21	4,95	64,28	2,23	5,11
25		78,60	2,21	4,95	66,85	2,23	5,11
26	Subrasante	47,97	2,17	5,56	40,63	2,19	5,91
27		52,25	2,17	5,56	40,68	2,19	5,91
28		49,19	2,14	5,56	40,79	2,19	5,91
29		50,42	2,16	5,56	39,63	2,19	5,91
30		52,87	2,16	5,56	40,07	2,19	5,91

Fuente: Elaboración propia.

4.9.1 Comparación CBR in situ con el de laboratorio

El CBR obtenido In Situ y en Laboratorio, de las tres capas de suelo del tramo San Mateo-Monte Méndez, muestra la comparación que existe entre la utilización de ambos equipos y que factores influyen para obtener los respectivos valores presentados.

El equipo CBR in situ proporcionó valores mayores que el equipo CBR de laboratorio. Esto se pudo apreciar en todas las capas que conforman la carretera del tramo San Mateo Monte Méndez.

La humedad de la capa base, subbase y subrasante tuvo porcentajes más altos en el ensayo in situ comparado con el ensayo en laboratorio donde la humedad óptima fue menor y se obtuvo gracias a la compactación.

En el sitio la densidad de la capa base es mayor que la densidad seca máxima de laboratorio. En cambio, en la capa subbase la densidad in situ es menor que la densidad seca máxima de laboratorio. Y en la capa subrasante la densidad in situ es menor que la densidad seca máxima de laboratorio.



Se Puede verificar que usando ambos equipos de obtención de CBR, la capa de suelo con mayor valor de densidad y menor porcentaje de humedad, su porcentaje de CBR es alto y la capa con menor densidad y mayor porcentaje de humedad, su porcentaje de CBR es bajo.

En el ensayo in situ como en laboratorio la capa base presenta mayores valores de CBR. Seguido de la capa Subbase y posteriormente por la capa subrasante como es de esperar.

Se puede comprobar con la ayuda de tablas, figuras, y toda la bibliografía, que todas las suposiciones acerca de las relaciones del CBR in situ y laboratorio tienen validez, por medio de todos los ensayos realizados.

4.10 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL USO DEL CBR IN SITU Y CBR EN LABORATORIO

Tabla 54 - Ventajas y desventajas del uso del CBR in situ y laboratorio

 VENTAJAS - DESVENTAJAS 	
CBR laboratorio	CBR in situ
<ul style="list-style-type: none"> • Bajo costo de su ejecución. • Una persona basta para realizar el ensayo. • Se emplea para materiales de subrasante, subbase y base, incluyendo materiales reciclados para empleo en pavimentos de carreteras y pistas de aterrizaje. • La capacidad máxima de carga de la prensa es 44,5 KN. o 4535 kilos. • La penetración en la muestra del pistón se realiza de manera automática. • Fácil montaje del equipo. • El ensayo de CBR puede ser de una muestra sumergida y también sin sumergir (tal como se compactó en el sitio). • Fácil disponibilidad. • Se realiza el ensayo de CBR para suelo fino y granular. 	<ul style="list-style-type: none"> • Alto costo del equipo y de la ejecución del ensayo. • Es necesario realizar el ensayo con la ayuda de dos o 3 personas. Es difícil y agotador trabajar individualmente. • No se puede realizar el ensayo en el sitio cuando el suelo ha sido modificado por actividades de construcción durante los dos últimos años anteriores al ensayo • Se requiere una volqueta o camión cargado de ocho cubos. • La penetración del pistón en el suelo se realiza a través de una manija manual. • Obligadamente se requiere una movilidad para transportar el equipo. • Requiere de correlaciones empíricas. • Para un tipo de suelo no gravoso, se eleva el costo del ensayo. • Una mala calibración del equipo CBR y los diales darán lugar a resultados dudosos.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 55 - Ventajas y desventajas del uso del CBR in situ y laboratorio

 VENTAJAS - DESVENTAJAS 	
CBR in situ	CBR en laboratorio
<ul style="list-style-type: none"> • La ejecución de cada ensayo tiene una duración de 30 minutos a una hora, siendo más rápido que el ensayo en laboratorio. • No se requiere extraer muestra de suelo porque el equipo de CBR brinda en el mismo sitio los datos necesarios para encontrar el valor de CBR. • No requieren reproducir las condiciones naturales, sino que éstas forman parte del entorno del ensayo. • Trabaja en las condiciones más optimas del suelo (tal como se compactó). • Se realiza varios ensayos por día. • Cuenta con un set de tres pistones de penetración, regulables de acuerdo a la altura del chasis de la volqueta. • Funciona en diferentes tipos de suelo (finos y granulares). 	<ul style="list-style-type: none"> • El tiempo de la realización de cada ensayo son 4 días . • Se requiere una gran cantidad de muestra de suelo extraído de los acopios del campamento del tramo en construcción. • Los resultados y valores no reflejan las condiciones a las que estará sometido el suelo. • Trabaja en las peores condiciones que será aplicado el suelo. • Durante el ensayo bajo condición de 4 días de inmersión no es posible controlar el grado de saturación del suelo. • Una mala calibración del equipo CBR y los diales darán lugar a resultados dudosos.

Fuente: Elaboración propia.

4.11 PRESUPUESTO PARA LA REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS

Se realizó el presupuesto de los ensayos de CBR in situ, densidad in situ y el ensayo de CBR en laboratorio para las capas subrasante, subbase y base del tramo San Mateo - Monte Méndez.

A continuación, se presenta los cómputos métricos:

Nº	REFERENCIA	UNIDAD	TOTAL
M-01	ENSAYOS		
1	CBR in situ CAPA SUBRASANTE	pto	5
2	CBR in situ CAPA SUBBASE	pto	11
3	CBR in situ CAPA BASE	pto	14
4	CBR en laboratorio CAPA SUBRASANTE	pto	5
5	CBR en laboratotio CAPA SUBBASE	pto	11
6	CBR en laboratorio CAPA BASE	pto	14
7	Densidad in situ	pto	64

Las planillas de análisis de precios unitarios se encuentran en el Anexo D.

El presupuesto por ítems y general de los ensayos es el siguiente:

ENSAYOS					
Item	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (Numeral)	Precio Total (Numeral)
1	CBR in situ CAPA SUBRASANTE	pto	5	561,09	2805,45
2	CBR in situ CAPA SUBBASE	pto	11	561,09	6171,99
3	CBR in situ CAPA BASE	pto	14	561,09	7855,26
4	CBR en laboratorio CAPA SUBRASANTE	pto	5	341,42	1707,10
5	CBR en laboratotio CAPA SUBBASE	pto	11	341,42	3755,62
6	CBR en laboratorio CAPA BASE	pto	14	341,42	4779,88
7	Densidad in situ	pto	64	20,22	1294,08
				TOTAL (Bs):	28369,38
				dólares \$	4052,77

ANÁLISIS

El presupuesto de todos los ensayos descritos da como resultado que el ensayo in situ tiene un precio más elevado que el ensayo en laboratorio. El ensayo CBR in situ requiere aproximadamente una total de 16831,65 bs., más el ensayo de densidad in situ que es de 1294 bs. Mientras que el ensayo de CBR en laboratorio requiere de 10262,61 bs.

La suma de los ensayos en laboratorio e in situ para la capa base, subbase y subrasante del tramo San Mateo - Monte Méndez da un total de 28369, 38 bs.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

Luego de analizar y comparar los resultados de los ensayos in situ y laboratorio realizados, las principales conclusiones obtenidas se presentan a continuación.

- Se cumplió el objetivo planteado de comparar el equipo de CBR in situ y laboratorio en las tres capas: base, subbase y subrasante. Mediante un análisis de los ensayos realizados para obtener el CBR.
- Se demuestra que el CBR obtenido in situ es superior al CBR obtenido en laboratorio en todos los ensayos debido a todos los factores que influyen ya explicados anteriormente.
- Se realizó el grado de correlación del CBR in situ con la densidad in situ y dio como indicativo un grado de correlación de moderado a débil. Lo que significa que estos datos no están perfectamente relacionados. De todas maneras, los valores de CBR in situ en todas las capas resultaron muy altos. Presenta un suelo de muy buena calidad.
- En cambio, en laboratorio, la densidad seca máxima es confiable, ya que los valores de CBR tienen buena secuencia y son altos en las tres capas, además el porcentaje de variación de CBR en cada capa no se presenta en gran magnitud. Existe variación, pero no es alta.
- Los ensayos previos de CBR en laboratorio se realizaron con total normalidad en el laboratorio de suelos de la UAJMS. Una vez concluidos se procedió a hacer el ensayo convencional de CBR.

- Los porcentajes de CBR para cada capa fueron obtenidos con una humedad diferente, la humedad óptima para el ensayo de CBR en laboratorio fue obtenida gracias a la curva de compactación y para el ensayo in situ se llevó una muestra de cada capa para obtener el porcentaje de humedad mediante el método del horno.
- En el ensayo in situ todas las capas presentan menores valores porcentajes de humedad que en el ensayo de laboratorio.
- Mediante la comparación también se comprueba que los suelos con presencia de suelo fino tienen más capacidad de retención de agua y por lo tanto suelos con mayor humedad. Esto da por resultado capas de suelo con menores valores de CBR.
- Se incluyó el grado de correlación del CBR in situ con el CBR en laboratorio y dio como indicativo un grado de correlación de moderado a débil. Lo que significa que estos datos no están perfectamente relacionados. Cada capa presenta su ecuación obtenida de las correlaciones realizadas.
- La relación del CBR in situ y laboratorio esta realizado mediante el análisis y comparación en el capítulo cuatro del presente proyecto.
- Con nuestro análisis y comparación se puede llegar a afirmar que en todo proyecto de construcción civil los ensayos más confiables e indispensables son los obtenidos en el laboratorio, porque ofrecen las garantías sobre la fiabilidad de los resultados. No obstante, si la entidad o la empresa constructora cuenta con los equipos in situ, el proyecto se proporcionaría de mayor seguridad y un mayor enfoque de los datos del suelo obtenidos.

5.2. RECOMENDACIONES

- Es necesario que el estudiante o la persona interesada en obtener la capacidad soporte de CBR, sepa cuál es la utilidad que se le dará al valor porcentual obtenido de CBR. Si el CBR es alto nuestro suelo es de muy buena calidad, al contrario, si es bajo presentamos un suelo menos confiable para las carreteras.

- Se recomienda que una persona capacitada con el manejo de los equipos a utilizarse acompañe al estudiante para realizar los ensayos de campo y de laboratorio. Son equipos sumamente beneficiosos para los estudios los suelos. En este caso se llevó al campo a un técnico capacitado para que ofrezca su ayuda con sus conocimientos del montaje y funcionamiento del equipo de CBR.
- Los equipos deberían estar muy bien calibrados por ser sumamente importante para obtener valores confiables. De no ser así estamos frente de ensayos y valores fluctuosos.
- En el proceso de extracción de la muestra es recomendable guardar el suelo en bolsas plásticas de polietileno lo más impermeables. Esto con el fin de no perder humedad y otras propiedades del suelo.
- Se recomienda para la expansión del suelo granular dejarlo solamente por dos o tres días máximos sumergido. Este suelo no presenta mucha expansión por ser un material que absorbe mucha agua.