

Capítulo I

DISEÑO TEORICO

1.1. DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA

1.1.1. Situación Problémica

En el momento de realizar el presupuesto de un proyecto donde se necesita conocer las cantidades de material que se necesita para la construcción de obras viales, del cual no se conoce con exactitud los factores de esponjamiento y encogimiento que permitan determinar los volúmenes de material suelto y compactado de suelos granulares, es donde se pueden generar problemas con el avance de actividades, planificación de la obra y costo al completar ciertas actividades como ser el acarreo de suelos granulares empleados en la construcción vial, todo esto debido al cambio de volúmenes y una mala conversión de los mismos.

Pensando en este problema y en la necesidad de contar con una tabulación confiable para conocer los factores de esponjamiento y encogimiento de suelos granulares empleados en la construcción vial, y de esta manera lograr un presupuesto más confiable referente al movimiento de tierras y cantidad de material que se necesita para la construcción vial, se pretende determinar experimentalmente los factores de esponjamiento y encogimiento, en base a los resultados realizar un tratamiento estadístico y probabilístico y presentar finalmente una tabulación con valores confiables de dichos factores, de la cual se pueda hacer uso en posteriores proyectos donde sea necesario emplear los factores de esponjamiento y encogimiento.

1.1.2 Problema

¿Se puede proponer una tabulación confiable de los factores de esponjamiento y encogimiento de suelos granulares de la Prov. Cercado utilizados en la construcción vial?

1.2 JUSTIFICACIÓN

Al no existir una tabulación con factores de esponjamiento y encogimiento de suelos granulares de la Provincia, se genera un problema y desajuste de presupuesto al momento de realizar una construcción vial, existen valores de estos factores en libros de autores internacionales, pero pueden variar los mismos debido a las características de los suelos de la región.

Por ello es de mucha importancia la necesidad de una investigación que nos permita conocer los valores de los factores de esponjamiento y encogimiento y poder hacer uso de los mismos en posteriores proyectos.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo General

Proponer una tabulación de factores de esponjamiento y encogimiento de suelos granulares obtenidos de cuadrículas de extracción de la Provincia Cercado, con la finalidad de optimizar recursos en la construcción vial.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Estudiar la bibliografía referente a los factores de conversión de los volúmenes de material granular suelto y compactado y densidad de estos suelos que se emplean en la construcción de obras viales.
- Identificar Yacimientos y Bancos de Préstamo para extraer muestras de suelos granulares para realizar los respectivos ensayos de laboratorio.
- Realizar los ensayos de caracterización y específicos con las muestras extraídas de los distintos Yacimientos y Banco de Préstamo.
- Evaluar los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio y realizar un tratamiento estadístico de los mismos.

1.4. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS

1.4.1. Hipótesis

Si se determina experimentalmente los factores de esponjamiento y encogimiento de suelos granulares utilizados en la construcción vial, basándose en un tratamiento estadístico, se obtendrá una base de datos, que tabulados según la Clasificación AASHTO, se podrán usar de manera confiable y segura.

1.4.2. Variables

Independiente

V1 = Esponjamiento y encogimiento de suelos granulares.

Dependiente

V2 = Tabulación de Factores Volumétricos.

1.5 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Este trabajo de investigación pertenece al tipo de investigación EXPERIMENTAL.

La investigación experimental es un tipo de investigación que utiliza experimentos o ensayos para lograr el objetivo planteado. Estos ensayos pueden ser desarrollados en laboratorio o fuera de él.

1.9 ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

Al realizar una construcción vial es inevitable la necesidad de la adquisición de materiales granulares para la conformación de las distintas capas de la vía, por lo tanto es indispensable conocer los factores de conversión volumétrica, para conocer la cantidad aproximada que se necesita.

Los factores de esponjamiento y encogimiento son valores que se utilizan para la conversión de volúmenes y conocer de una manera más exacta los volúmenes reales de suelos sueltos o compactados aplicados en la construcción vial.

Pensando en esta necesidad es que se realiza la investigación para conocer los valores de los factores de esponjamiento y encogimiento de suelos granulares de distintos Yacimientos de la Provincia Cercado (Rio Guadalquivir, Rio Santa Ana, Rio Tolomosa, Rio Pinos, Rio San Pero de Sola) y Banco de Préstamo (Turumayo) de donde se extraen este material, que puedan ser útiles para la construcción vial.

Para lograr este objetivo es necesario la revisión de la bibliografía (Raúl Valle Rodas, Carreteras, Calles y Aeropistas; Ing. Aquiles Pimentel Castro, Folleto de Parámetros Viales; entre otros) para conocer conceptos fundamentales que ayuden a un mejor desarrollo del presente trabajo. Posteriormente realizar un reconocimiento de los bancos para realizar la extracción de muestras para realizar los respectivos ensayos de laboratorio y obtener los mencionados factores.

Sin embargo para poder obtener valores confiables se realizara un tratamiento estadístico y de esta manera presentar una tabulación de los factores de esponjamiento y encogimiento validados estadísticamente.

De esta investigación se podrá obtener conclusiones y recomendaciones que se vean necesarias y puedan ser útiles en la construcción vial.

Capítulo II

2. ESTADO DE CONOCIMIENTO

2.1 MARCO SITUACIONAL

Para llevar a cabo el presente trabajo se extraerá muestra de suelos granulares de bancos de préstamo de la Provincia Cercado, para así posteriormente realizar los ensayos de caracterización y ensayos específicos, para obtener una base de datos y realizar un tratamiento estadístico y probabilístico de los mismos y proponer una Tabulación de Factores Volumétricos.

2.2 MARCO HISTÓRICO

Existen tabulaciones de estos factores de distintos autores conocidos como ser: **Raúl Valle Rodas (Carreteras, Calles y Aeropistas)**, **Ing. Aquiles Pimentel Castro (Folleto de Parámetros Viales)**, el concepto que manejan estos autores a cerca de los factores volumétricos puede ser útil para la realización del presente trabajo, como así también las tabulaciones que presentan los mismos autores pueden ser de utilidad para tener una idea de los valores que se deben obtener, si bien pueden variar debido a las características de los suelos empleados, esta variación no debería ser demasiado grande.

No se pudo evidenciar ningún trabajo similar que haya sido realizado con suelos de la Provincia Cercado.

2.3 MARCO TEÓRICO

2.3.1 Análisis Mecánico de Suelo

2.3.1.1 Análisis por cribado

Según Braja M. Das:

“El análisis por cribado consiste en sacudir la muestra de suelo a través de un conjunto de mallas que tienen aberturas progresivamente más pequeñas. Los números de las mallas estándar con sus tamaños de aberturas (usadas en Estados Unidos)”

Tabla 2.1 Tamaño nominal de abertura de tamices (ASTM)

Tamaños nominales de abertura	
mm	ASTM
75	3"
63	2 1/2"
50	2"
37.5	1 1/2"
25	1"
19	3/4"
9.5	3/8"
4.75	N°4
2	N°10
0.425	N°40
0.075	N°200

Fuente (Braja M. Das, Fundamentos de Ingeniería Geotécnica)

2.3.1.2 Curva de Distribución Granulométrica

Según Braja M. Das:

“Los resultados del análisis mecánico (análisis por cribado) se presentan generalmente en graficas semilogarítmicas como *curvas de distribución granulométrica* (o de tamaño de grano). Los diámetros de las partículas se grafican en escalas logarítmicas y el porcentaje correspondiente de finos en escala aritmética.”

2.3.1.3 Tamaño efectivo, coeficiente de uniformidad y coeficiente de curvatura

Según Braja M. Das:

“Las curvas granulométricas se usan para comparar diferentes suelos. Además, tres parámetros básicos del suelo se determinan con esas curvas que se usan para clasificar los suelos granulares. Los tres parámetros del suelo son:

1. Diámetro efectivo
2. Coeficiente de uniformidad
3. Coeficiente de curvatura

El diámetro en la curva de distribución del tamaño de las partículas correspondiente al 10% de finos se define como *diámetro efectivo*, o D_{10} . El *coeficiente de uniformidad* está dado por la relación:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Donde C_u = Coeficiente de uniformidad

D_{60} = Diámetro correspondiente al 60% de finos en la curva de distribución granulométrica

El coeficiente de curvatura se expresa como:

$$C_z = \frac{D_{30}^2}{D_{60} * D_{10}}$$

Donde C_z = coeficiente de curvatura

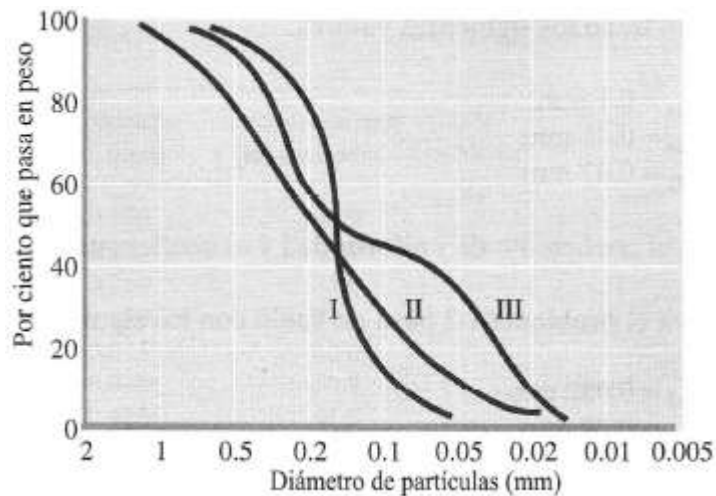
D_{30} = Diámetro correspondiente al 30% de finos

La curva de distribución granulométrica muestra no sólo el rango de los tamaños de partículas presentes en un suelo, sino también la distribución de varios tamaños de partículas.

La curva **I** representa un tipo de suelo en el que la mayoría de los granos son del mismo tamaño, y se le llama *suelo mal graduado*. La curva **II** representa un suelo en el que los tamaños de las partículas están distribuidos sobre un amplio rango y se le llama

bien graduado. Un suelo bien graduado tiene un coeficiente de uniformidad mayor de aproximadamente 4 para gravas y 6 para arenas, y un coeficiente de curvatura entre 1 y 3 (para gravas y arenas). Un suelo puede tener una combinación de dos o más fracciones uniformemente graduadas. La curva **III** representa tal suelo y se le llama de *granulometría discontinua*.”

Tabla 2.2 Tipos diferentes de curvas granulometricas



Fuente (Braja M. Das, Fundamentos de Ingeniería Geotécnica)

2.3.2 Clasificación de suelos

Según Braja M. Das:

“Los suelos con propiedades similares se clasifican en grupos y subgrupos basados en su comportamiento ingenieril. Los sistemas de clasificación proporcionan un lenguaje común para expresar en forma concisa las características generales de los suelos, que son infinitamente variadas sin una descripción detallada. Actualmente, dos sistemas de clasificación que usan la distribución por tamaño de grano y plasticidad de los suelos son usados comúnmente por los ingenieros de suelos. Éstos son el Sistema de Clasificación AASHTO y el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos. El Sistema AASHTO lo usan principalmente los departamentos de caminos estatales y de condados, mientras que los ingenieros geotécnicos usualmente prefieren el Sistema Unificado.”

2.3.2.1 Sistema de clasificación AASHTO

Según Braja M. Das:

“De acuerdo con éste Sistema, el suelo se clasifica en siete grupos mayores: A-1 al A-7. Los suelos clasificados en los grupos A-1, A-2 y A-3 son materiales granulares, donde 35% o menos de las partículas pasan por la criba No. 200. Los suelos de los que más del 35% pasan por la criba No. 200 son clasificados en los grupos A4, A-5, A-6 Y A-7. La mayoría están formados por materiales tipo limo y arcilla. El sistema de clasificación se basa en los siguientes criterios”:

1. Tamaño del grano

Grava: fracción que pasa la malla de 75 mm y es retenida en la malla No. 10 (2 mm) de Estados Unidos

Arena: fracción que pasa la malla No. 10 (2 mm) US. y es retenida en la malla No. 200 (0.075 mm) US.

Limo y arcilla: fracción que pasa la malla No. 200 US.

2. Plasticidad: El término limoso se aplica cuando las fracciones de finos del suelo tienen un índice de plasticidad de 10 o menor. El término arcilloso se aplica cuando las fracciones de finos tienen un índice de plasticidad de 11 o mayor.

3. Si cantos rodados y boleas (tamaños mayores que 75 mm) están presentes, éstos se excluyen de la porción de la muestra de suelo que se está clasificando. Sin embargo, el porcentaje de tal material se registra.

Tabla 2.3 Clasificación AASHTO

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos de la muestra que pasa la malla No. 200)						
	A-1			A-2			
Clasificación de grupo	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Análisis por cribado (porcentaje que pasa las mallas)							
No. 10	50 máx.						
No. 40	30 máx.	50 máx.	51 mín.				
No. 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.
Características de la fracción que pasa la malla No. 40							
Límite líquido				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	6 máx.		NP	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Tipos usuales de materiales componentes significativos							
	Fragmentos de piedra grava y arena		Arena fina	Grava y arena limosa o arcillosa			
Tasa general de los subrasantes			De excelente a bueno				

Fuente (Braja M. Das, Fundamentos de Ingeniería Geotécnica)

2.3.2.2 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos

La forma original de este sistema fue propuesto por Casagrande en 1942 para usarse en la construcción de aeropuertos emprendida por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército durante la Segunda Guerra Mundial. En cooperación con la Oficina de Restauración de Estados Unidos, el sistema fue revisado en 1952. Hoy en día, es ampliamente usado por los ingenieros (Prueba D-2487 de la ASTM). El Sistema Unificado de Clasificación clasifica los suelos en dos amplias categorías:

1. Suelos de grano grueso que son de naturaleza tipo grava y arenosa con menos del 50% pasando por la malla No. 200. Los símbolos de grupo comienzan con un prefijo GaS. G significa grava o suelo gravoso y S significa arena o suelo arenoso.

2. Los suelos de grano fino con 50% o más pasando por la malla No. 200. Los símbolos de grupo comienzan con un prefijo M, que significa limo inorgánico, C para arcilla inorgánica u O para limos y arcillas orgánicos. El símbolo Pt se usa para turbas, lodos y otros suelos altamente orgánicos.

Otros símbolos son también usados para la clasificación:

W: bien graduado

P: mal graduado

L: baja plasticidad (límite líquido menor que 50)

H: alta plasticidad (límite líquido mayor que 50)

Tabla 2.4 Símbolos de grupo para suelos tipo grava.

Símbolo de grupo	Criterios
GW	Menos de 5% pasa la malla No. 200; $C_u = D_{60}/D_{10}$ mayor que o igual que 4; $C_z = (D_{30})^2 / (D_{10} \times D_{60})$ entre 1 y 3
GP	Menos de 5% pasa la malla No. 200; no cumple ambos criterios para GW
GM	Más de 12% pasa la malla No. 200; los límites de Atterberg se grafican debajo de la línea A (figura 2.12) o el índice de plasticidad menor que 4
GC	Más de 12% pasa la malla No. 200; los límites de Atterberg se grafican debajo de la línea A (figura 2.12); índice de plasticidad mayor que 7
GC-GM	Más de 12% pasa la malla No. 200; los límites de Atterberg caen en el área sombreada marcada CL-ML en la figura 2.12
GW-GM	El porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para GW y GM
GW-GC	El porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para GW y GC
GP-GM	El porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para GP y GM
GP-GC	El porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para GP y GC

Fuente (Braja M. Das, Fundamentos de Ingeniería Geotécnica)

2.3.2.3 Índice De Grupo Suelos Granulares.

El índice de grupo de suelos que pertenecen a los grupos A-1-a, A-1-b, A-2-4, A-2-5, Y A-3 siempre es 0.

2.3.2.4 Material granular con el 35% o menos del total que pasa el tamiz N°200

Grupo A-1: Son mezclas bien graduadas compuestas por piedra, grava, arena y poco o casi nada de material fino (denominado material ligante).

Sub Grupo A-1-a: Es bien graduado, predomina la piedra y grava casi no tiene ligante.

Sub Grupo A-1-b: Es bien graduado predomina las arenas gruesas casi no tiene ligante.

Estos materiales generalmente se encuentran en ríos y quebradas.

Grupo A-2: Contiene menos de 35% del materia fino.

Sub Grupo A-2-4 y A-2-5: El contenido de material fino es menor o igual del 35%, la fracción que pasa el tamiz N°40, se comporta igual a los grupos A-4 y A-5 respectivamente.

Son gravas y arenas (arenas gruesas), que contienen limos y arcillas en cantidades reducidas, cuya plasticidad es baja, pero que excede al grupo A-1, también incluye la arena fina con limos no plásticos que se describirá en el grupo A-3.

Sub Grupo A-2-6 y A-2-7: La única diferencia de los anteriores, es que la relación que pasa el tamiz N°40, se comporta en plasticidad igual a los grupos A-6 y A-7.

Grupo A-3: Son arenas finas conteniendo limos no plásticos, algunas veces pueden contener poca grava y arena gruesa.

2.3.3. Compactación de suelos

Según Braja M. Das:

“En la construcción de terraplenes para carreteras, presas de tierra y muchas otras estructuras de la ingeniería, los suelos sueltos deben ser compactados para incrementar sus pesos específicos. La compactación incrementa las características de resistencia de los suelos, aumentando así la capacidad de carga de las cimentaciones construidas sobre ellos. La compactación disminuye también la cantidad de asentamientos indeseables de las estructuras e incrementa la estabilidad de los taludes de los

terraplenes. Los rodillos de ruedas lisas, los rodillos patas de cabra, los rodillos con neumáticos de hule y los rodillos vibratorios son usados generalmente en el campo para la compactación del suelo. Los rodillos vibratorios se usan principalmente para la densificación de los suelos granulares.”

Según Juárez Badillo:

“Se entiende por compactación de los suelos el mejoramiento artificial de sus propiedades mecánicas por medios mecánicos”.

“La importancia de la compactación de los suelos estriba en el aumento de resistencia y disminución de capacidad de deformación que se obtienen al sujetar el suelo a técnicas convenientes que aumenten su peso específico seco, disminuyendo sus vacíos”.

2.3.3.1. Prueba Proctor modificada

Según Braja M. Das:

“Proctor Estándar fue modificada para representar mejor las condiciones de campo. A ésta se le llama prueba Proctor modificada (Prueba D-1557 de la ASTM y Prueba T-180 de la AASHTO). Para llevar a cabo la prueba Proctor modificada se usa el mismo molde, con un volumen de 943.3 cm³, como en el caso de la prueba Proctor estándar. Sin embargo, el suelo es compactado en cinco capas por un pisón que pesa 44.5 N. La caída del martillo es de 457.2 mm. El número de golpes de martillo por capa es de 25 como en el caso de la prueba Proctor estándar.”

2.3.4. Densidad in situ

2.3.4.1. Método del cono de arena (D-1556 de la ASTM)

El aparato usado en este método consiste en un recipiente de vidrio o plástico con un cono de metal unido a su parte superior. El recipiente se llena con arena Calibrada seca muy uniforme. Se determina el peso del envase, del cono y de la arena que llena el recipiente. En el campo se excava un pequeño agujero.

2.3.5. Variación volumétrica de materiales granulares en la construcción vial

Cuando se realiza el movimiento de tierras o cualquier otro proceso constructivo, los suelos sin importar el tipo sufren un cambio de volumen, debido a que sus partículas se desintegran y existe un porcentaje de vacíos entre las mismas. Esos cambios de volumen deben ser tomados en cuenta al momento de realizar la planificación y presupuesto de la obra, así como también la contratación del equipo para transportar el material. Para cumplir con lo mencionado es importante conocer las características de estos suelos, es decir, su naturaleza y comportamiento bajo la acción de ciertos elementos.

La densidad es una propiedad física básica involucrada en un movimiento de tierras o cualquier otro proceso constructivo, la cual viene determinada por el peso por unidad de volumen, y varía de acuerdo con el mayor o menor acercamiento entre partículas, es decir con la mayor o menor compactación.

Al hablar de cambios volumétricos e indicar que la densidad es la propiedad física básica involucrada, debemos indicar que intervendrán tres tipos de densidad: densidad in situ, densidad suelta y densidad máxima.

2.3.5.1 Densidad in situ

Es la densidad que posee un suelo en banco, en su lugar de origen, o en su estado natural. Esta es una operación bastante necesaria cuando se realiza la compactación en obras civiles, a efecto de comprobar el grado de compactación requerido para una determinada obra.

2.3.5.2 Densidad suelta

Es la densidad del suelo cuando este ha sido excavado y sus partículas están disgregadas y por lo tanto existe un porcentaje de vacíos entre sus partículas. La densidad suelta es un parámetro importante para determinar el factor de esponjamiento.

2.3.5.3 Densidad máxima

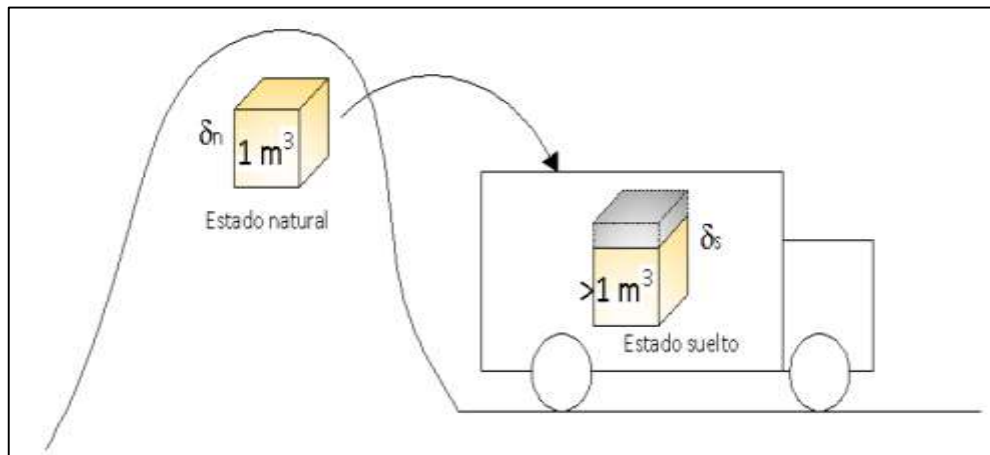
La densidad máxima de un suelo es la que se obtiene cuando existe un mayor acercamiento entre sus partículas, esto depende del grado de compactación del suelo. Este parámetro es fundamental para determinar el factor de encogimiento.

Para poder realizar una conversión de volúmenes, es necesario conocer los factores de esponjamiento y encogimiento.

2.3.5.3 Esponjamiento

Los suelos con el paso de los años al permanecer en su estado natural, o sea in situ sus partículas se encuentran bien adheridas entre sí, pero si estos suelos son removidos o excavados sufren un cambio de volumen y se crea un porcentaje de vacíos entre las partículas de estos suelos, de manera que estos suelos extraídos ocupan un volumen mayor al hueco dejado por la excavación. A este proceso es lo que llamamos esponjamiento.

Figura 2.1 Esponjamiento de material suelto en estado natural



Fuente (Artículo de la Escuela Superior Politécnica del Litoral)

Es importante tener en cuenta este esponjamiento en el cálculo de volúmenes de suelo a transportar de una excavación, en el aporte a un terraplén o en la conformación de sub bases y bases, teniendo en cuenta que parte de este esponjamiento se elimina en el proceso de compactación por apisonado y aportación de humedad a los suelos.

Existe el **factor de esponjamiento**, que permite determinar el volumen de material suelto a partir del volumen extraído de su estado natural (en banco). Este factor varía de acuerdo a las características geológicas del material. Se basa en la siguiente fórmula:

$$f_e = \frac{\rho_b}{\rho_s}$$

Dónde:

F_c = Factor de Esponjamiento

ρ_s = Densidad Suelta

ρ_b =Densidad In Situ

Porcentaje de Esponjamiento

$$\%f_e = \frac{(\rho_b - \rho_s)}{\rho_s} * 100$$

Dónde:

$\%f_e$ =Porcentaje del Factor de Esponjamiento

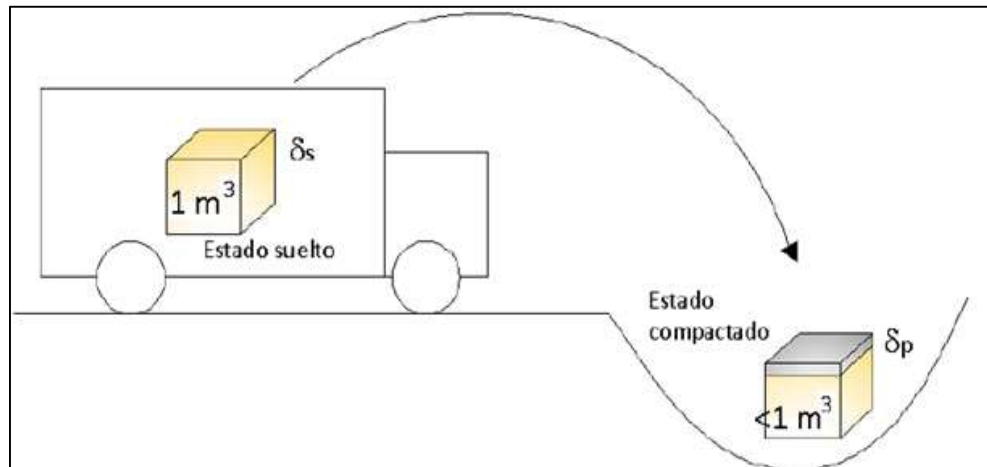
ρ_b =Densidad In Situ

ρ_s = Densidad Suelta

2.3.5.4 Encogimiento

Es un fenómeno inverso al esponjamiento, que ocurre al compactar el material en estado suelto para la construcción vial, lo cual conlleva a una reducción de vacíos, aumenta la cohesión de partículas y hace el material más denso.

Figura 2.2 Encogimiento de material suelto



Fuente (Artículo de la Escuela Superior Politécnica del Litoral)

El **factor de encogimiento** permite determinar volúmenes compactados a partir de volúmenes sueltos y se basa en la siguiente fórmula:

$$f_c = \frac{\rho_b}{\rho_c}$$

Dónde:

F_c = Factor de Encogimiento

ρ_b = Densidad In Situ

ρ_c = Densidad Compactada

Porcentaje de Encogimiento

$$\%f_c = \frac{(\rho_c - \rho_b)}{\rho_b} * 100$$

Dónde:

$\%F_c$ = Porcentaje del Factor de Encogimiento

ρ_c = Densidad Compactada

ρ_b = Densidad In Situ

El material compactado debe cumplir con un grado de compactación mínimo necesario.

Tabla 2.5 Grado de Compactación

Compactación Relativa (%)	Superficies o Capas
90	Terreno natural en zonas de relleno
95	Terreno natural en zonas de corte
95	Terraplenes o Relleno
95	Subrasantes formadas por suelos seleccionados

Fuente (Ecuador, Normas MOP-001-F-2002)

Tabla 2.6 Porcentaje de Esponjamiento

Material	% Esponjamiento
Rocas Dinamitadas	30 a 80
Rocas no Dinamitadas	10 a 30
Suelos Arcillosos	20 a 60
Suelos Limosos	10 a 40
Suelos Granulares	10 a 30
Granzones y arenas de grano redondeado	5 a 15

Fuente (Raúl Valle Rodas, Carreteras, Calles y Aeropistas)

Tabla 2.7 Factores de Esponjamiento y densidad aproximada de algunos suelos

Material	Kg/m³N	% Esponjamiento	Kg/m³S
Caliche	2255	82	1245
Tierra Vegetal	1365	43	950
Piedra Triturada	2670	67	1600
Piedra Caliza	2520	67	1515
Arena y Arcilla	2020	27	1600
Grava	2165	12	1930

Fuente (Caterpillar, Manual de Movimientos de Tierra)

Tabla 2.8 Coeficientes de Esponjamiento y Contracción de diferentes materiales

Material	Esponjamiento	Contracción
Arena y grava limpia	1,07 a 1,15	0,93 a 0,87
Tierra y grava limpia	1,09 a 1,18	0,92 a 0,85
Capa vegetal	1,11 a 1,20	0,90 a 0,84
Tierra común	1,20	0,84
Marga arenosa	1,18	0,83
Marga arcillosa	1,25	0,80
Tierra margosa	1,20	0,84
Lodo	1,24 a 1,35	0,81 a 0,74
Arcilla con arena y grava	1,30 a 1,45	0,77 a 0,69
Arcilla blanda y friable densa	1,35 a 1,55	0,74 a 0,75
Arcilla dura tenaz	1,42 a 1,50	0,70 a 0,67
Arcilla dura con piedras y raíces	1,62	0,62
Roca friable blanda	1,50 a 0,75	0,67 a 0,68
Roca dura muy partida	1,58	0,65
Roca dura partida en grades trozos	1,98	0,50
Caliche	1,20	0,924

Fuente (Ing. Aquiles Pimentel Castro, Folleto de Parámetros Viales)

2.3.5.5 Incidencia del factor de Esponjamiento y Encogimiento en la construcción de obras viales

El factor de esponjamiento incide en la construcción de obras viales desde el momento que se realiza el movimiento de tierras, el transporte del material del banco a la obra o ya sea el traslado del material que se desecha. Incide de gran manera en el costo del transporte dependiendo de la distancia a la cual se traslade.

El factor de encogimiento de los suelos granulares depende de la relación de vacíos que hay entre las partículas, del tamaño de los mismos y de la cantidad de suelos finos que contengan estos.

2.3.5.5.1 Relación de vacíos entre las partículas

Esto depende del acomodo de las partículas el tamaño de los agregados, esto influye al momento de compactar capas, como ser terraplenes, bases y sub bases.

2.3.5.5.2 Influencia del tamaño de los agregados

Para suelos **no cohesivos** la granulometría es significativa y tiene gran importancia, para medir la calidad potencial de suelos granulares, para constituir materia prima en ciertas condiciones especiales, en el caso de terraplenes, bases o sub-bases de obras viales.

De una manera general: lo que el tamaño de los granos nos proporciona es una cierta idea de alguna de las propiedades potenciales del suelo.

Sin embargo, la primera gran clasificación de los suelos, se hace en función del tamaño de las partículas.

En el cuadro que se adjunta se destaca la división adoptada para los distintos sistemas de clasificación que actualmente se utilizan en proyectos ingenieriles de construcción vial.

Tabla 2.9 Tamaño de los Granos

Nombre de la Organización	Tamaño de los granos (mm)			
	Grava	arena	limo	arcilla
Massachusetts Institute of Tec.	> 2	2 a 0,06	0,06 a 0,002	<0,002
U.S. Dep. of Agriculture	> 2	2 a 0,05	0,05 a 0,002	<0,002
AASHTO	76,2 a 2	2 a 0,075	0,075 a 0,002	<0,002
Sistema Unificado de Clasif. US Army Corp. Of Engineering US Bureau of Reclamation ASTM	76,2 a 4,75	4,75 a 0,075	<0,075	

Nota: El tamaño correspondiente a 76,2 mm corresponde al tamiz US de 3".

El tamaño correspondiente a 4,75 mm corresponde al tamiz US N° 4.

El tamaño correspondiente a 2 mm corresponde al tamiz US N° 10.

El tamaño correspondiente a 0,075 mm corresponde al tamiz US N° 200.

Fuente (Artículo de la Universidad de La Plata, Introducción a algunas propiedades fundamentales de los Suelos)

2.3.5.5.3 Incidencia de la humedad en suelos compactados

La variación de humedad de los suelos de capas de carreteras como ser terraplenes, bases o sub bases, tiende a ser un fenómeno complejo, controlado por muchos factores. Los materiales son muy diversos y es difícil generalizar y recurrir a normas sencillas de proyecto. Un principio acertado de proyecto en todos los casos sería, eliminar o minimizar la variación de humedad a partir del momento de construcción de la obra. De esta forma se evitarían los cambios volumétricos de los mismos posteriormente.

Las medidas de humedad “in situ” a lo largo del tiempo cambian temporal y espacialmente como respuesta a factores ambientales.

2.3.6 Recomendaciones generales para suelos y sus aplicaciones como materiales de construcción según la Administradora Boliviana de Caminos (ABC)

2.3.6.1 Requerimientos generales

Los áridos gruesos, retenidos sobre tamiz 4,75mm (N°4), deben ser partículas resistentes, durables, constituidas de fragmentos de roca, grava o escorias. Materiales que se quiebran con los ciclos alternados de hielo -deshielo y humedad – sequedad, no deben ser usados.

Los áridos finos, que pasan por tamiz 4,75mm (N°4), deben estar constituidos por arenas naturales o trituradas y por partículas minerales que pasan por tamiz 0,075mm (N°200).

Las fracciones que pasan por tamiz 0,075mm (N° 200) no deberán ser mayores que los dos tercios de la fracción que pasa por tamiz 0,475mm (N° 40). Los límites de consistencia de la fracción que pasa por tamiz 0,475mm estarán conformes a lo indicado en la Tabla 2.10.

Todo el material deberá estar libre de materias orgánicas y terrones de arcillas. La graduación de los materiales deberá estar conforme con los requerimientos de la Tabla 2.11.

Tabla 2.10 Límites de Atterberg

	Límite Líquido	Índice de Plasticidad
Subbase	Máx. 35	Máx. 8
Base Estabilizada	Máx. 35	Máx. 6
Carpeta de Rodadura	Máx. 35	5 – 10

Fuente (ABC, Manual de Ensayos Suelos y Materiales*Suelos Volumen 4)

2.3.6.2 Materiales para Subbase

Los materiales para Subbase deberán cumplir con los requerimientos estipulados en “Requerimientos generales” y en “Materiales para Subbase” y con la graduación TM-50^a de la Tabla 2

En cuanto a las propiedades mecánicas, el material deberá tener un soporte CBR mayor o igual a 40% y la fracción gruesa deberá tener una resistencia al desgaste, medida por el ensaye de Los Ángeles de no más de 40%.

2.3.6.3 Materiales para base granular

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 2; el porcentaje de chancado, no deberá ser menor que 50%. Cuando el material se use como base para tratamiento superficial doble el contenido mínimo de chancado será de 70%, su tamaño máximo absoluto será de 40 mm. y su Índice de Plasticidad máximo será de 4%, salvo que el proyecto estipule otro valor, debidamente justificado, el que en ningún caso podrá exceder el 6 %.

En cuanto a las propiedades mecánicas, el material deberá tener un soporte CBR \geq 80%; la fracción gruesa deberá tener una resistencia al desgaste, medida por el ensaye de Los Ángeles, de no más de 35%.

2.3.6.4 Materiales para carpeta de rodadura

Cuando se prevea que la carpeta de rodadura va a quedar expuesta por varios años, sin una protección asfáltica, el material deberá cumplir con los requerimientos de “Requerimientos generales” y de “Materiales para carpeta de rodadura”, con un contenido mínimo de chancado de 50% y con la banda TM-40c.

En cuanto a propiedades mecánicas, el material deberá tener un soporte CBR $\geq 60\%$. En zonas donde se permite efectuar el ensaye sin inmersión, este valor deberá ser del 80%. La fracción gruesa deberá tener una resistencia al desgaste, medida por el ensaye de Los Ángeles, de no más de 30%.

Tabla 2.11 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 ½"	-	70 - 100	-	100	100	100	
25	1"	55 - 100	55 - 85	70 - 100	70 - 100	80 - 100	80 - 100	100
19	¾"	-	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 (ABC, Manual de Ensayos Suelos y Materiales*Suelos Volumen 4)

2.3.7 Costo de las terracerías

La posición que debe guardar la subrasante para obtener la economía máxima en la construcción de las terracerías, depende de los conceptos:

A) Costos unitarios:

Excavación en corte.

Excavación en préstamo.

Compactación en el terraplén del material de corte.

Compactación en el terraplén del material de préstamo.

Acarreo del material de corte a terraplén.

Acarreo del material de corte a desperdicio.

Acarreo del material de préstamo a terraplén.

B) Coeficiente de variación volumétrica:

Del material de corte.

Del material de préstamo.

C) Relaciones:

- ✓ Entre la variación de los volúmenes de corte y terraplén, al mover la subrasante de su posición original.
- ✓ Entre los costos unitarios de terraplén formado con material producto de corte y con material obtenido de préstamo.
- ✓ Entre los costos que significa el acarreo del material de corte para formar el terraplén y su compactación en este y el que significa la extracción del material de corte y el acarreo para desperdiciarlo.

D) Distancia económica de acarreo:

El empleo del material producto de corte en la formación de terraplén, está condicionado tanto a la calidad del material como a la distancia hasta la que es económicamente posible su transporte.

2.4 MARCO CONCEPTUAL

Fundamentalmente se tomara en cuenta dos conceptos principales, esponjamiento y encogimiento, se entiende de la siguiente manera:

Esponjamiento, se entiende por esponjamiento a la capacidad que tienen los suelos (en este caso granulares) para desintegrarse entre sus partículas y se presente un porcentaje de vacíos en las mismas, estos suelos permanecen en su estado natural durante años, o sea in situ.

Encogimiento, se presenta cuando el suelo en estado suelto pasa a ser compactado. Las partículas de este suelo se acomodan de manera tal que es casi imposible que se genere un porcentaje de vacíos entre sus partículas.

Terraplenes, los terraplenes son estructuras que se construyen con material producto de corte o préstamos de bancos.

Bases, conformadas exclusivamente por una mezcla de suelos, que habitualmente debe cumplir con ciertos requisitos en cuanto a Granulometría, Límites de Atterberg, Capacidad de Soporte y otros ensayos que se consideren necesarios.

Subbase granular, capa constituida por un material de calidad y espesor determinados y que se coloca entre la subrasante y la base

Subrasante, plano superior del movimiento de tierras, que se ajusta a requerimientos específicos de geometría y que ha sido conformada para resistir los efectos del medio ambiente y las sollicitaciones que genera el tránsito

Compactación de un suelo, operación mecanizada para reducir el índice de huecos de un suelo y alcanzar con ello la densidad deseada.

Suelo Bien Graduado, suelo conformado por partículas de diferentes tamaños y cuya curva granulométrica es continua y suave.

Caliche, el caliche es un depósito endurecido de carbonato de calcio. Este se sedimenta con otros materiales, como arena, arcilla, grava y limo.

Marga, roca sedimentaria compuesta de arcilla y caliza que se utiliza para abonar terrenos pobres en calcio y para la fabricación de cementos.

Roca, materia de minerales asociados de manera natural que en cantidades considerables forma parte de la masa terrestre.

Caliza, roca sedimentaria formada principalmente por carbonato de calcio y que se caracteriza por presentar efervescencia por acción de los ácidos diluidos en frío.

Suelo aluvial, un suelo aluvial es aquel que se ha formado a partir de materiales arrastrados y depositados por corrientes de agua. Los suelos de ríos o quebradas son denominados aluviales.

Suelo coluvial, son suelos transportados por gravedad, su origen es local producto de la alteración in situ de las rocas y posterior transporte, como derrumbes de ladera.

Yacimiento, se denomina yacimiento a suelos aluviales que se encuentran en ríos o quebradas.

2.5. MARCO NORMATIVO

Para realizar el presente trabajo de investigación se tomara en cuenta la norma AASHTO y ASTM para la clasificación de los suelos granulares, como también para los ensayos específicos.

2.6. MARCO LEGAL

No se conoce ninguna normativa legal a cerca del tema investigado, que debería ser tomada en cuenta.

2.7 TRATAMIENTO ESTADÍSTICO

- **Recuento** – el tamaño n de la muestra, el número de estradas no faltantes en la columna.
- **Promedio o media** aritmética (medida de tendencia central) - el centro de masa de los datos.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

- **Mediana** (medida de tendencia central) - el valor de en medio cuando los datos se ordenan de menor a mayor. Si n es impar, la mediana muestral es igual a $x_{(0.5+n/2)}$, donde $x_{(i)}$ representa la i ésima observación más pequeña. Si n es par, la mediana muestral es igual al promedio de los dos valores de en medio.

$$\frac{x_{(\frac{n}{2})} + x_{(1+\frac{n}{2})}}{2}$$

- **Moda** (medida de tendencia central) – el valor del dato que se presenta con mayor frecuencia (si lo hubiera). Si ningún valor se presenta con mayor frecuencia que cualquier otro, esta estadística no se calcula.
- **Varianza** (medida de dispersión) – una medida de la desviación cuadrada promedio alrededor de la media muestral.

$$S^2 = \frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}$$

- **Desviación Estándar** (medida de dispersión) – la raíz cuadrada de la varianza muestral.

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

- **Coefficiente de Variación** o desviación estándar relativa (medida de dispersión) – mide la magnitud de la desviación estándar como un porcentaje de la media muestral.

$$CV = \frac{S}{x} \cdot 100$$

- **Error Estándar** (medida de dispersión) – el error estándar de la media.

$$S_x = \frac{S}{\sqrt{n}}$$

- **Mínimo** - el valor del dato más pequeño $x_{(1)}$.
- **Máximo** - el valor del dato más grande $x_{(n)}$.
- **Rango** (medida de dispersión) - el máximo menos el mínimo.

$$R = x_{(n)} - x_{(1)}$$

Gráfico de Caja y Bigotes

Este gráfico se construye de la siguiente forma:

- Se dibuja una caja que se extienda desde el *cuartil inferior* de la muestra hasta el *cuartil superior*. Este es el intervalo cubierto por el 50% central de los valores de los datos cuando se ordenan de menor a mayor.
- Se dibuja una línea vertical en la *mediana* (el valor de en medio).
- Si se solicita, un signo de más se coloca en el lugar de la media muestral.
- Los bigotes se dibujan desde los extremos de la caja hasta los valores mínimo y máximo de los datos, a menos que haya valores inusualmente muy alejados de la caja (a los cuales Tukey llama puntos extremos). Si hay presentes puntos aberrantes (extremos o extremos lejanos), los bigotes se dibujan a los valores máximo y mínimo que no sean puntos aberrantes.

Tabla de Frecuencias

Esta tabla está vinculada con el *Histograma de Frecuencias* y presenta la siguiente información para cada intervalo o “clase”:

- **Límite Inferior** – el límite inferior de la clase.
- **Límite Superior** - el límite superior de la clase
- **Punto Medio** – el punto medio de la clase (a la mitad del recorrido entre los límites superior e inferior).
- **Frecuencia** – el número de observaciones f_j que son mayores que el límite inferior de la clase y menores o iguales al límite superior.
- **Frecuencia Relativa** - la proporción de observaciones que caen en cada clase, dada por f_j/n .
- **Frecuencia Acumulada** - el número de observaciones que caen en la clase actual o en las previas.
- **Frecuencia Relativa Acumulada** – la proporción de observaciones que caen en la clase actual o en las previas.

Histograma de Frecuencias

La ventana *Histograma de Frecuencias* presenta el resultado de la tabla de frecuencias en la forma de un diagrama de barras o un gráfico de líneas.

Gráfico de Probabilidad Normal

El Gráfico de Probabilidad Normal muestra los datos de menor a mayor. Sin embargo, lo hace de manera que es posible juzgar si los datos provienen o no de una distribución normal.

Intervalos de Confianza

La ventana *Intervalos de Confianza* muestra intervalos de confianza para la media y la desviación estándar.

Límites de Tolerancia

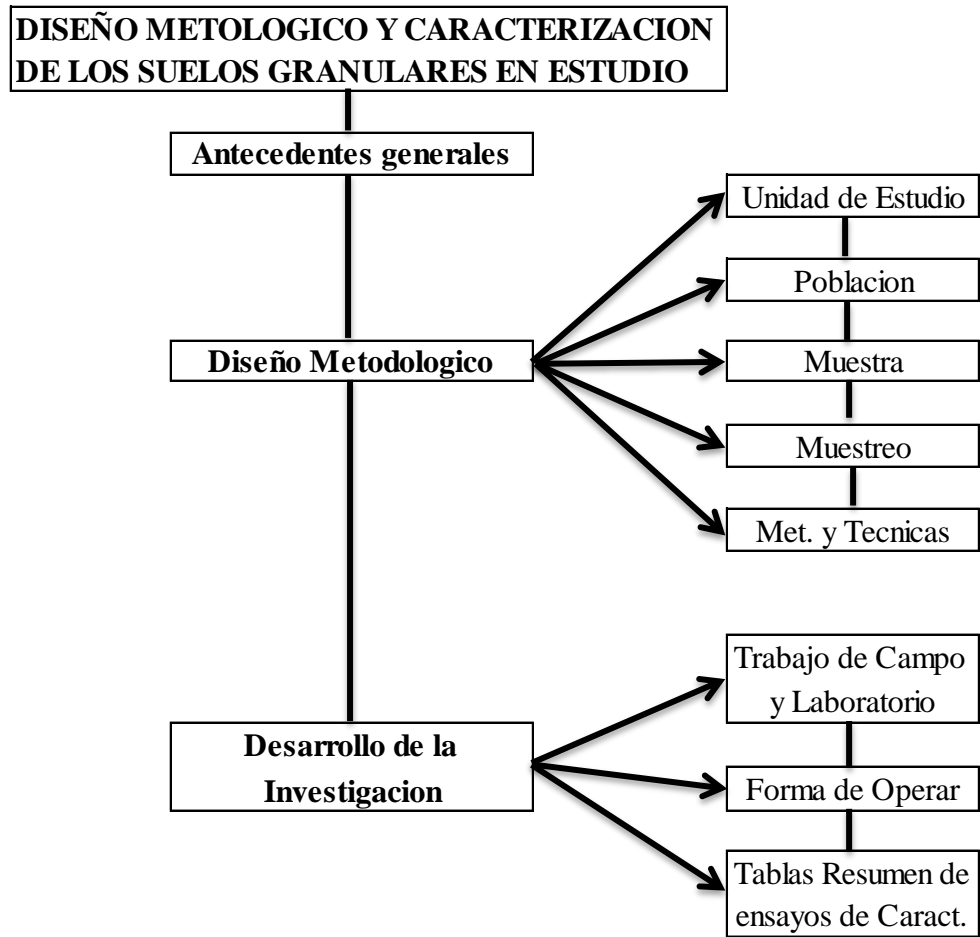
Los límites de tolerancia proporcionan un rango de valores para X tal que se puede tener $100(1-\alpha)$ % de confianza que P por ciento de la población, de la cual provienen los datos, se encuentra o cae dentro de ese rango. STATGRAPHICS calcula dos tipos de límites de tolerancia:

1. Límites normales de tolerancia: estos límites asumen que los datos son una muestra aleatoria de una distribución normal.
2. Límites no paramétricos: estos límites no asumen normalidad. Sin embargo, no son tan precisos ni flexibles como aquellos basados en el supuesto de normalidad.

2.8. POSICIÓN ASUMIDA SOBRE EL TEMA

Con este trabajo de investigación se planteará valores de los factores de esponjamiento y encogimiento de suelos granulares extraídos de Yacimientos y Banco de Préstamo de la Provincia Cercado, en base a ensayos respectivos de laboratorio y respaldados mediante un tratamiento estadístico y probabilístico. De acuerdo con estos valores se podrá realizar una mejor planificación, un presupuesto más exacto y una adecuada elección del equipo para transportar el material y de esta manera optimizar recursos en la construcción vial.

Capítulo III



3. DISEÑO METODOLÓGICO Y CARACTERIZACIÓN DE LOS SUELOS GRANULARES EN ESTUDIO

3.1 ANTECEDENTES GENERALES

El presente trabajo de investigación se centra en la Provincia Cercado del Departamento de Tarija del Estado Plurinacional de Bolivia, la Provincia Cercado cuenta con cuencas menores: Guadalquivir, Santa Ana, Tolomosa, Tarija, Cajas, Papachacra y Nogal; el de mayor área está el Santa Ana con 581 km², llegando al 22% y el de menor porcentaje está el Papachacra con el 7% y su área de 196 km².

Ubicación Estratégica



Fuente (Google Earth)

En la actualidad no se conoce ninguna investigación similar que haya sido realizada en la universidad ni por particulares.

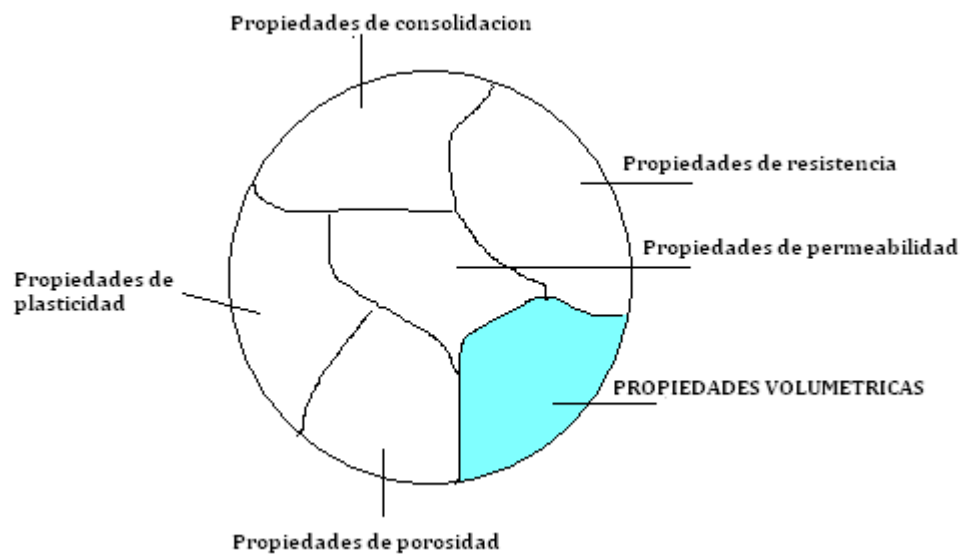
3.2 DISEÑO METODOLÓGICO

3.2.1 Unidad de Estudio

UE = Propiedades Volumétricas de suelos granulares empleados en la construcción vial.

3.2.2 Población

Propiedades de los suelos granulares extraídos de los Yacimientos (Rio Guadalquivir, Rio Santa Ana, Rio Tolomosa, Rio Pinos, Rio San Pero de Sola) y Banco de Préstamo (Turumayo).



3.2.3 Muestra

Propiedades Volumétricas de suelos granulares.

3.2.4 Muestreo

Se aplicó el Muestreo Sistemático Probabilístico debido a que solo se seleccionó los Yacimientos y Banco de Préstamo que poseen suelo granular, es así que todos los elementos de la población tienen igual probabilidad de selección para el estudio. El muestreo también se realizó en base al Manual de la ABC (Manual de Ensayos de Suelos y Materiales Suelos).

3.2.5 Métodos y Técnicas

Para lograr el objetivo propuesto de la presente investigación, se seguirá la siguiente secuencia:

Para el reconocimiento, extracción, traslado y cuarteo de muestras al momento de realizar la granulometría se tomaran en cuenta las siguientes guías del manual de la ABC (Administradora Boliviana de Caminos; Volumen 4: Manual de Ensayos de Suelos y Materiales Suelos):

- Investigación de suelos y rocas para propósitos de ingeniería (ASTM D420 AASHTO T86).
- Conservación y transporte de muestras de suelos (ASTM D4220).
- Procedimientos para la preparación de muestras de suelos por cuarteo (AASHTO T248).

Se realizara ensayos de caracterización de suelos (Granulometría, Límites de Atterberg, Capacidad Soporte), después de realizar los respectivos cálculos se podrá clasificar el suelo según la Norma AASHTO y conocer el nombre del suelo.

Después de haber clasificado el suelo se realizara los ensayos de Densidad Suelta y Compactación, es importante indicar que el ensayo de Densidad In Situ será realizado en el lugar de extracción de cada muestra, inmediatamente se termine de realizar los ensayos de laboratorio se procederá a realizar los respectivos cálculos para determinar los factores de esponjamiento y encogimiento empleando fórmulas de **Raúl Valle Rodas (Carreteras, Calles y Aeropistas)**. Posteriormente se realizara un tratamiento estadístico para garantizar una tabulación confiable.

3.3 DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

3.3.1 Trabajo de campo y Laboratorio

Es imprescindible para el desarrollo del presente trabajo de investigación el reconocimiento de los Yacimientos y Banco de Préstamo (Rio Guadalquivir, Rio Santa Ana, Rio Tolomosa, Rio Pinos, Rio San Pedro de Sola y Turumayo), con el fin de

verificar que la existencia de material granular y decidir el lugar donde se realizara los ensayos de Densidad In Situ y extraer la muestra para realizar los distintos ensayos necesarios para determinar los Factores de Esponjamiento y Encogimiento. A continuación se describe el trabajo que se realizó en campo, laboratorio y gabinete.

El procedimiento de los ensayos se realizó en base al manual de prácticas del Laboratorio de Suelos y Hormigones de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, realizado por el M.Sc. Ing. Luis A. Yurquina F.

3.3.1.1 Reconocimiento del sitio de aplicación

En base a estas cuencas mencionadas se realizó una averiguación de las concesiones o cuadrículas de extracción, como así también de las canteras o bancos de préstamo existentes en las cuencas de la Provincia Cercado.

Después de obtener un listado de las concesiones y bancos de préstamo (Rio Guadalquivir, Rio Santa Ana, Rio Tolomosa, Rio Pinos, Rio San Pedro de Sola y Turumayo) se realizó una visita a estos lugares para realizar un reconocimiento de los mismos (Ver fotografías en Anexos).

Se observó que cada uno de estos lugares cuenta con suelo granular, también se identificó un lugar adecuado para la toma de muestras y realizar los Ensayos de Densidad In Situ.

3.3.1.2 Densidad In Situ

Después de haber realizado el reconocimiento del sitio de aplicación se realizó los ensayos de **Densidad In Situ (ASTM D1556)**

El objeto de este ensayo es determinar la densidad y humedad del suelo en su lugar de extracción, a través del uso del equipo calibrado y arena con densidad conocida.

El aparato usado en este método consiste en un recipiente plástico con un cono de metal unido a su parte superior.

Un mazo de 4 lb, cincel, balanza de 0,1 y 0,01 gr. De aproximación y arena tratada y calibrada. El frasco también debe ser calibrado.

Antes de instalar la placa se realizó una limpieza superficial, se excavo una cierta profundidad para instalar la placa y excavar el hoyo con una profundidad de 15 cm.

La profundidad de limpieza antes de instalar la placa puede variar, como también el hoyo para realizar el ensayo puede variar entre 15 a 20 cm. o de acuerdo al requerimiento necesario o del espesor de la capa compactada.

El material extraído del hoyo se lo puso en una bolsa plástica sellado de manera tal que no pierda su humedad como indica el manual de la ABC y se procedió a pesar el mismo, posteriormente se lo traslado al laboratorio para determinar el contenido de humedad de la muestra.

3.3.1.3 Extracción de muestras para los ensayos

Se extrajo muestras significativas y suficientes para realizar los ensayos de caracterización y demás ensayos necesarios.

La extracción de muestras se realizó de acuerdo al Manual de la ABC (Administradora Boliviana de Caminos; Volumen 4: Manual de Ensayos de Suelos y Materiales Suelos), a continuación se indica la secuencia realizada:

- Primero se realizó una limpieza superficial del suelo, con el objetivo de eliminar las impurezas o todo aquello que pueda interferir en los resultados.
- Posteriormente se con la ayuda de una pala se extrajo la cantidad de material necesario para los ensayos.
- El manual de la ABC indica que la muestra extraída se debe poner en bolsas plásticas para evitar que pierda su humedad, esto solo sí es necesario para los ensayos a ser realizados.
- En este caso el material extraído se transportó en una bolsa de yute, debido a que no era necesario mantener su humedad natural.

Figura 3.1 Extracción de muestras Rio San Pedro de Sola



Fuente (Elaboracion Propia)

3.3.1.4 Análisis Granulométrico (ASTM D422 AASHTO T88)

Se realizó para conocer la distribución (en porcentajes) de las partículas de suelo, agrupadas en fracciones granulométricas según su tamaño, este ensayo se realizó por el Método del Lavado).

Para lograr esto se hizo uso de los siguientes materiales:

Agitador mecánico o motorizado.

Balanza eléctrica (0,1 gr. De precisión)

Juego de tamices

Antes de realizar el tamizado se cuarteo el material de acuerdo al manual de la ABC (PROCEDIMIENTOS PARA LA PREPARACIÓN DE MUESTRAS DE SUELOS POR CUARTEO (AASHTO T248)) y se procedió a lavar el material para secarlo en el horno y una vez seco tamizarlo con la ayuda del Rop – Tap.

La cantidad de material que se uso fue aproximadamente 5000 gr.

Con la granulometría se Clasificó el tipo de suelo según la AASHTO y SUCS, pero es importante indicar que para lograr el objetivo propuesto del trabajo de investigación se trabajara según la Clasificación AASHTO.

3.3.1.5 CBR (ASTM D1883 AASTHO T193)

Este ensayo nos permite determinar el número CBR, que corresponde al valor relativo de soporte de un suelo. Este valor es un índice de la resistencia al esfuerzo cortante del suelo bajo condiciones de compactación y humedad controladas.

Los materiales que se emplearon son los siguientes:

Aparato para medir la expansión con (expansímetro) de carátula con presión de 0.01 mm.

Pesos para sobre cargar de 2.27 kg cada una. La carga anular, de diámetro exterior de 149.2mm, debe disponer de una perforación en el centro de aproximadamente de 54mm de diámetro.

Máquina de compresión equipada con pistón de penetración C.B.R. (diámetro de 4.953 cm. con sección transversal de 19.4 cm) y capa de penetración a una tasa de 1.27 mm/min.

Para el CBR se compacto a humedad óptima (dato sacado de las curvas de compactación).

Como se trata de un suelo granular, se compacto solo a 56 golpes e inmediatamente se hizo correr en la máquina de compresión.

Con los datos obtenidos se realizó los cálculos, se obtuvo el porcentaje de CBR y se dibujó la curva Carga – Penetración.

3.3.1.6 Peso Específico

Este ensayo se realizó para conocer el peso específico de los suelos, es importante indicar que no era necesario para ningún cálculo, se lo realizo para contar con este dato.

El material que se uso es el siguiente:

Frasco volumétrico con marca de enrase

Termómetro con aproximación de 0,1°C y pipets

Balanza con aproximación de 0,01 gr.

Accesorios para baño María

El material granular usado es el que paso el tamiz N° 10

3.3.1.7 Compactación (Proctor modificado T-180)

Con este ensayo se determinó la relación entre la densidad seca y la humedad para una energía de compactación y definir la densidad seca máxima y su humedad correspondiente, denominada óptima. Se construyó 5 curvas de compactación por suelo de cada Yacimiento.

El molde de compactación modificado consiste en un molde cilíndrico de acero de 152,4mm. De diámetro y 116,4 de altura con una capacidad de 2,124cm³. Equipo completo con base y collar.

Pisón de compactación modificado - ASTM D-698 - AASHTO T-180

Este martillo de compactación tiene una caída libre de 457mm. y un peso de 4,540kg.

Enrasador: Un enrasador metálico rígido de cualquier longitud conveniente pero no menor de 25cm (10"). La longitud total del enrasador debe ser maquinada recta con una tolerancia de $\pm 0.1\text{mm}$ (0.005"). El borde del enrasador será biselado si es más grueso de 3mm (1/8").

3.3.1.8 Densidad Suelta

Este ensayo se realizó para conocer la densidad suelta del suelo granular.

Para realizar el ensayo de densidad suelta se utilizó un envase volumétrico de 3000cm³.

Enrasador metálico y cuchara

Tamiz N°10

Balanza de 0,1 y 0,01 gr. De aproximación.

El vertido del suelo granular en el envase volumétrico se hizo a una altura de 15 cm aproximadamente entre la capa de suelo y la cuchara con la cual se vertió.

3.3.2 Forma de Operar

Para desarrollar el presente trabajo se realizara la presente secuencia:

- ✓ Se extraerá 3 muestras de suelo granular por cuadrícula de extracción y banco (5 cuadrículas y 1 banco), se caracterizaran las muestras realizando los ensayos elementales como ser: Granulometría (mínimo 3 ensayos para realizar una caracterización confiable), Proctor (5 curvas por banco) y CBR (1 ensayos por banco). Con estos datos se podrá clasificar el tipo de suelo según el método AASHTO.
- ✓ Al momento de extraer las muestras se realizara el ensayo de Densidad In Situ (6 ensayos por cuadrícula de extracción).
- ✓ Después de realizar la caracterización y conocer el tipo de suelo por banco, se realizara los ensayos de Densidad Suelta (10 ensayos por cuadrícula de extracción) y Compactación (Proctor modificado T-180) (10 ensayos por cuadrícula de extracción).

De acuerdo al yacimiento de suelo se realizara:

6 ensayos Densidad In Situ +10 ensayos Densidad Suelta+10 ensayos Compactación

De manera que en total suman 26 ensayos por yacimiento.

Por ultimo uno vez clasificado los suelos granulares según la Norma AASHTO se realizó los cálculos de los Factores de Esponjamiento y Encogimiento en base a los ensayos normalizados de: Densidad In Situ, Densidad Suelta y Compactación (Proctor Modificado T-180).

3.3.4 Tablas Resumen de Ensayos de Caracterización

Tabla 3.1 Caracterización Rio Guadalquivir

Tamices	Tamaño (mm)	% Que Pasa del Total	% Que Pasa del Total	% Que Pasa del Total	Tipo de Suelo		Humedad (%)	C.B.R (%)	Peso Especifico (gr./cm3)
					AASHTO	SUCS			
2 ½"	75	100,00	100,00	100,00	A-1-a(0)	GW	1,01	88,5	2,651
2"	50	100,00	100,00	100,00					
1 1/2"	37,50	96,35	95,80	93,26					
1"	25,00	88,87	67,77	79,19					
¾"	19,00	74,80	43,78	59,63					
½"	12,50	55,32	28,39	40,52					
3/8"	9,50	45,27	22,11	31,63	Grava Bien Graduada				
Nº4	4,75	29,28	15,00	21,11					
Nº10	2,00	20,62	10,91	14,63					
Nº40	0,425	8,49	5,36	6,88					
Nº200	0,075	0,25	0,15	0,28					

Fuente (Elaboración Propia)

Tabla 3.2 Caracterización Rio Santa Ana

Tamices	Tamaño (mm)	% Que Pasa del Total	% Que Pasa del Total	% Que Pasa del Total	Tipo de Suelo		Humedad (%)	C.B.R (%)	Peso Especifico (gr./cm3)
					AASHTO	SUCS			
2 1/2"	75	100,00	100,00	100,00	A-1-a(0)	GW	0,58	86,7	2,651
2"	50	100,00	100,00	100,00					
1 1/2"	37,50	100,00	94,59	95,79					
1"	25,00	87,80	69,99	86,61					
3/4"	19,00	74,43	59,79	66,95					
1/2"	12,50	56,46	43,14	46,62					
3/8"	9,50	46,57	35,12	37,55	Grava Bien Graduada				
Nº4	4,75	26,16	20,71	19,98					
Nº10	2,00	14,05	12,03	10,13					
Nº40	0,425	5,52	4,80	3,42					
Nº200	0,075	0,13	0,07	0,04					

Fuente (Elaboración Propia)

Tabla 3.3 Caracterización Rio Tolomosa

Tamices	Tamaño (mm)	% Que Pasa del Total	% Que Pasa del Total	% Que Pasa del Total	Tipo de Suelo		Humedad (%)	C.B.R (%)	Peso Especifico (gr./cm3)
					AASHTO	SUCS			
2 ½"	75	100,00	100,00	100,00	A-1-a(0)	GW	0,16	88,7	2,65
2"	50	100,00	100,00	100,00					
1 1/2"	37,50	91,15	98,07	98,67					
1"	25,00	82,03	86,62	82,44					
¾"	19,00	73,11	75,90	62,13					
½"	12,50	57,57	57,35	45,86					
3/8"	9,50	50,30	47,28	39,18	Grava Bien Graduada				
Nº4	4,75	33,02	28,56	24,83					
Nº10	2,00	22,05	18,26	16,40					
Nº40	0,425	7,27	5,86	5,54					
Nº200	0,075	0,15	0,11	0,19					

Fuente (Elaboración Propia)

Tabla 3.4 Caracterización Turumayo

Tamices	Tamaño (mm)	% Que Pasa del Total	% Que Pasa del Total	% Que Pasa del Total	Tipo de Suelo		Humedad (%)	C.B.R (%)	Peso Especifico (gr./cm3)
					AASHTO	SUCS			
2 ½"	75	100,00	100,00	100,00	A-1-a(0)	GW	0,32	78,1	2,674
2"	50	100,00	100,00	100,00					
1 1/2"	37,50	98,48	100,00	100,00					
1"	25,00	95,31	95,18	97,47					
¾"	19,00	84,05	84,25	89,44					
½"	12,50	57,15	59,48	67,64					
3/8"	9,50	45,34	48,74	54,07	Grava Bien Graduada				
Nº4	4,75	17,98	22,69	21,49					
Nº10	2,00	4,95	9,86	6,32					
Nº40	0,425	0,86	1,97	1,13					
Nº200	0,075	0,08	0,09	0,03					

Fuente (Elaboración Propia)

Tabla 3.5 Caracterización Rio Pinos

Tamices	Tamaño (mm)	% Que Pasa del Total	% Que Pasa del Total	% Que Pasa del Total	Tipo de Suelo		Humedad (%)	C.B.R (%)	Peso Especifico (gr./cm3)
					AASHTO	SUCS			
2 ½"	75	100,00	100,00	100,00	A-1-a(0)	GW	4,09	81	2,652
2"	50	100,00	100,00	100,00					
1 1/2"	37,50	100,00	100,00	100,00					
1"	25,00	93,67	91,89	93,39					
¾"	19,00	84,31	83,56	83,93					
½"	12,50	69,00	67,92	68,49					
3/8"	9,50	58,27	56,34	57,77	Grava Bien Graduada	4,09	81	2,652	
Nº4	4,75	36,84	35,95	37,41					
Nº10	2,00	20,70	19,88	20,98					
Nº40	0,425	7,15	7,12	5,54					
Nº200	0,075	0,15	0,16	0,16					

Fuente (Elaboración Propia)

Tabla 3.6 Caracterización Rio San Pedro de Sola

Tamices	Tamaño (mm)	% Que Pasa del Total	% Que Pasa del Total	% Que Pasa del Total	Tipo de Suelo		Humedad (%)	C.B.R (%)	Peso Especifico (gr./cm3)
					AASHTO	SUCS			
2 ½"	75	100,00	100,00	100,00	A-1-a(0)	GW	3	85,6	2,65
2"	50	100,00	100,00	100,00					
1 1/2"	37,50	100,00	100,00	100,00					
1"	25,00	94,29	94,07	93,25					
¾"	19,00	87,86	87,44	85,94					
½"	12,50	69,50	70,15	68,11					
3/8"	9,50	59,21	51,00	48,68	Grava Bien Graduada		3	85,6	2,65
Nº4	4,75	40,88	30,02	27,35					
Nº10	2,00	24,86	13,49	12,34					
Nº40	0,425	6,20	5,90	4,85					
Nº200	0,075	0,19	0,18	0,17					

Fuente (Elaboración Propia)

Capítulo IV

4. DETERMINACIÓN DE LOS FACTORES DE ESPONJAMIENTO Y ENCOGIMIENTO DE SUELOS GRANULARES

4.1 ESTRATEGIA METODOLÓGICA

La estrategia metodológica empleada para la determinación de los factores de esponjamiento y encogimiento es la secuencia de los procedimientos de las guías de Ensayos de Laboratorio de Suelos de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, Guías que fueron realizadas por el M.Sc. Ing. Luis A. Yurquina F y el Manual de la ABC (Administradora Boliviana de Caminos; Volumen 4: Manual de Ensayos de Suelos y Materiales Suelos).

4.2 DATOS DE LA CARACTERIZACIÓN

Tabla 4.1 Datos de Compactación T-180

	D. Max.	H. Opt.
Rio Guadalquivir	2,18	5,41
Rio Santa Ana	2,15	5,85
Rio Tolomosa	2,16	5,75
Turumayo	2,05	5,9
Rio Pinos	2,13	5,73
Rio San Pedro de Sola	2,14	5,88

Fuente (Elaboración Propia)

4.3 DETERMINACIÓN DE LOS FACTORES DE ESPONJAMIENTO Y ENCOGIMIENTO

4.3.1 Determinación Del Factor De Esponjamiento

Tabla 4.2 Factor de Esponjamiento General

FACTOR DE ESPONJAMIENTO GENERAL	
% de Esponjamiento	14,04
Factor de Esponjamiento	1,14

Fuente (Elaboración Propia)

Nota.-Valores determinados en base a Formulas del

Libro de Raúl Valle Rodas (Carreteras, Calles y Aeropistas)

Tabla 4.3 Factor de Esponjamiento por Yacimiento

FACTOR DE ESPONJAMIENTO GENERAL		
Procedencia	% Factor Esponjamiento	Factor de Esponjamiento
Rio Guadalquivir	13,81	1,14
Rio Santa Ana	12,71	1,13
Rio Tolomosa	12,02	1,12
Turumayo	20,37	1,20
Rio Pinos	13,89	1,14
Rio San Pedro de Sola	12,15	1,12

Fuente (Elaboración Propia)

Nota.-Valores determinados en base a Formulas del Libro de Raúl Valle Rodas

(Carreteras, Calles y Aeropistas)

Tabla 4.4 Factor de Esponjamiento Sin Turumayo

FACTOR DE ESPONJAMIENTO SIN TURUMAYO	
% de Esponjamiento	12,71
Factor de Esponjamiento	1,13

Fuente (Elaboración Propia)

Nota.-Valores determinados en base a Formulas del Libro

de Raúl Valle Rodas (Carreteras, Calles y Aeropistas)

4.3.2 Determinación Del Factor De Encogimiento

Tabla 4.5 Factor de Encogimiento General

FACTOR DE ENCOGIMIENTO GENERAL	
% de Encogimiento	5,42
Factor de Encogimiento	0,95

Fuente (Elaboración Propia)

Nota.-Valores determinados en base a Formulas del

Libro de Raúl Valle Rodas (Carreteras, Calles y Aeropistas)

Tabla 4.6 Factor de Encogimiento por Yacimiento

FACTOR DE ENCOGIMIENTO GENERAL		
Procedencia	% de Encogimiento	Factor de Encogimiento
Rio Guadalquivir	5,83	0,94
Rio Santa Ana	5,39	0,95
Rio Tolomosa	5,37	0,95
Turumayo	5,13	0,95
Rio Pinos	5,85	0,94
Rio San Pedro de Sola	5,42	0,95

Fuente (Elaboración Propia)

Nota.-Valores determinados en base a Formulas del Libro de Raúl Valle Rodas

(Carreteras, Calles y Aeropistas)

Tabla 4.7 Factor de Encogimiento Sin Turumayo

FACTOR DE ENCOGIMIENTO SIN TURUMAYO	
% de Encogimiento	5,88
Factor de Encogimiento	0,94

Fuente (Elaboración Propia)

Nota.-Valores determinados en base a Formulas del Libro

de Raúl Valle Rodas (Carreteras, Calles y Aeropistas)

4.4 TRATAMIENTO ESTADÍSTICO

4.4.1 Tratamiento Estadístico Incluido Turumayo

4.4.1.1 Analisis de una Variable Densidad In Situ

Datos/Variable: Densidad In Situ ((gr./cm³))

36 valores con rango desde 1,95 a 2,06

Tabla 4.8 Resumen Estadístico para Densidad In Situ

Recuento	36
Promedio	2,029
Mediana	2,045
Moda	2,05
Varianza	0,001404
Desviación Estándar	0,03748
Coefficiente de Variación	1,847%
Error Estándar	0,006246
Mínimo	1,95
Máximo	2,06
Rango	0,11

4.4.1.2 Rangos de Validez de los valores determinados a través de la Confiabilidad

Intervalos de Confianza para Densidad In Situ

Intervalos de confianza del 99,0% para la media: 2,029 +/- 0,01701 [2,012; 2,046]

Intervalos de confianza del 99,0% para la desviación estándar: [0,02856; 0,05347]

Puede establecerse con 99,0% de confianza, que la media verdadera de Densidad In Situ se encuentra entre 2,012 y 2,046, en tanto que la desviación estándar verdadera está entre 0,02856 y 0,05347.

4.4.1.3 Límites de Tolerancia Estadística - Densidad In Situ

Distribución Normal

Datos/Variable: Densidad In Situ ((gr./cm³))

Media = 2,029

desv. Est. = 0,03748

Intervalos de tolerancia del 99,0% para 99,0% de la población

Xbarra +/- 3,59 sigma

Superior: 2,163

Inferior: 1,894

Asumiendo que Densidad In Situ proviene de una distribución normal, los límites de tolerancia establecen que se puede estar 99,0% confiados en que 99,0% de la distribución cae entre 1,894 y 2,163. Este intervalo se calcula tomando la media de los datos +/-3,59 veces la desviación estándar.

4.4.1.4 Prueba de Normalidad para Densidad In Situ

Tabla 4.9 Prueba de Normalidad

Prueba	Estadístico	Valor-P
Valor-Z para curtosis	1,184	0,2364

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor ó igual a 0,01, se puede indicar que Densidad In Situ proviene de una distribución normal con 99% de confianza.

4.4.1.5 Pruebas de Bondad-de-Ajuste para Densidad In Situ

Tabla 4.10 Prueba de Kolmogorov-Smirnov

	Distribución Normal
DMAS	0,2032
DMENOS	0,2896
DN	0,2896
P-Valor	0,004769

La prueba de Kolmogorov-Smirnov calcula la distancia máxima entre la distribución acumulada de Densidad In Situ y la FDA de la Normal ajustada. En este caso, la distancia máxima es 0,2896.

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es menor a 0,01, no se puede indicar que Densidad In Situ proviene de una Normal con 99% de confianza.

4.4.1.6 Análisis de Una Variable - Densidad Suelta

Datos/Variable: Densidad Suelta ((gr./cm³))

60 valores con rango desde 1,62 a 1,83

Tabla 4.11 Resumen Estadístico para Densidad Suelta

Recuento	60
Promedio	1,78
Mediana	1,81
Moda	1,81
Varianza	0,005288
Desviación Estándar	0,07272
Coefficiente de Variación	4,085%
Error Estándar	0,009388
Mínimo	1,62
Máximo	1,83
Rango	0,21

4.4.1.7 Rangos de Validez de los valores determinados a través de la Confiabilidad

Intervalos de Confianza para Densidad Suelta

Intervalos de confianza del 99,0% para la media: 1,78 +/- 0,02499 [1,755; 1,805]

Intervalos de confianza del 99,0% para la desviación estándar: [0,05865; 0,09473]

Puede establecerse con 99,0% de confianza, que la media verdadera de Densidad Suelta se encuentra entre 1,755 y 1,805, en tanto que la desviación estándar verdadera está entre 0,05865 y 0,09473.

4.4.1.8 Límites de Tolerancia Estadística - Densidad Suelta

Distribución Normal

Datos/Variable: Densidad Suelta ((gr./cm³))

Media = 1,78

Desv. Est. = 0,07272

Intervalos de tolerancia del 99,0% para 99,0% de la población

Xbarra +/- 3,293 sigma

Superior: 2,019

Inferior: 1,541

Asumiendo que Densidad Suelta proviene de una distribución normal, los límites de tolerancia establecen que se puede estar 99,0% confiados en que 99,0% de la distribución cae entre 1,541 y 2,019. Este intervalo se calcula tomando la media de los datos +/-3,293 veces la desviación estándar.

4.4.1.9 Prueba de Normalidad para Densidad Suelta

Tabla 4.12 Prueba de Normalidad

Prueba	Estadístico	Valor-P
Valor-Z para curtosis	1,793	0,07296

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor ó igual a 0,01, se puede indicar que Densidad Suelta proviene de una distribución normal con 99% de confianza.

4.4.1.10 Pruebas de Bondad-de-Ajuste para Densidad Suelta

Tabla 4.13 Prueba de Kolmogorov-Smirnov

	Distribución Normal
--	---------------------

DMAS	0,2459
DMENOS	0,4417
DN	0,4417
P-Valor	0,0

La prueba de Kolmogorov-Smirnov calcula la distancia máxima entre la distribución acumulada de Densidad Suelta y la FDA de la Normal ajustada. En este caso, la distancia máxima es 0,4417.

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es menor a 0,01, no se puede indicar que Densidad Suelta proviene de una Normal con 99% de confianza.

4.4.1.11 Análisis de Una Variable - Densidad Compactada

Datos/Variable: Densidad Compactada ((gr./cm³))

60 valores con rango desde 2,05 a 2,18

Tabla 4.14 Resumen Estadístico para Densidad Compactada

Recuento	60
Promedio	2,142
Mediana	2,155
Moda	
Varianza	0,001879
Desviación Estándar	0,04334
Coefficiente de Variación	2,024%
Error Estándar	0,005595
Mínimo	2,05
Máximo	2,18
Rango	0,13

4.4.1.12 Rangos de Validez de los valores determinados a través de la Confiabilidad

Intervalos de Confianza para Densidad Compactada

Intervalos de confianza del 99,0% para la media: 2,142 +/- 0,01489 [2,127; 2,157]

Intervalos de confianza del 99,0% para la desviación estándar: [0,03495; 0,05646]

Puede establecerse con 99,0% de confianza, que la media verdadera de Densidad Compactada se encuentra entre 2,127 y 2,157, en tanto que la desviación estándar verdadera está entre 0,03495 y 0,05646.

4.4.1.13 Límites de Tolerancia Estadística - Densidad Compactada

Distribución Normal

Datos/Variable: Densidad Compactada ((gr./cm³))

Media = 2,142

desv. Est. = 0,04334

Intervalos de tolerancia del 99,0% para 99,0% de la población

Xbarra +/- 3,293 sigma

Superior: 2,284

Inferior: 1,999

Asumiendo que Densidad Compactada proviene de una distribución normal, los límites de tolerancia establecen que se puede estar 99,0% confiados en que 99,0% de la distribución cae entre 1,999 y 2,284. Este intervalo se calcula tomando la media de los datos +/-3,293 veces la desviación estándar.

4.4.1.14 Prueba de Normalidad para Densidad Compactada

Tabla 4.15 Prueba de Normalidad

Prueba	Estadístico	Valor-P
Valor-Z para curtosis	1,253	0,2102

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor ó igual a 0,01, no se puede rechazar la idea de que Densidad Compactada proviene de una distribución normal con 99% de confianza.

4.4.1.15 Pruebas de Bondad-de-Ajuste para Densidad Compactada

Tabla 4.16 Prueba de Kolmogorov-Smirnov

	Distribución Normal
DMAS	0,1882
DMENOS	0,318
DN	0,318
P-Valor	0,00001074

La prueba de Kolmogorov-Smirnov calcula la distancia máxima entre la distribución acumulada de Densidad Compactada y la FDA de la Normal ajustada. En este caso, la distancia máxima es 0,318.

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es menor a 0,01, se puede rechazar la idea de que Densidad Compactada proviene de una Normal con 99% de confianza.

4.4.2 Tratamiento Estadístico Sin Turumayo

4.4.2.1 Análisis de Una Variable - Densidad In Situ

Datos/Variable: Densidad In Situ ((gr./cm³))

30 valores con rango desde 2,02 a 2,06

Tabla 4.17 Resumen Estadístico para Densidad In Situ

Recuento	30
Promedio	2,045
Mediana	2,05
Moda	2,05
Varianza	0,0001499
Desviación Estándar	0,01224
Coficiente de Variación	0,5988%
Error Estándar	0,002235
Mínimo	2,02
Máximo	2,06
Rango	0,04

4.4.2.2 Rangos de Validez de los valores determinados a través de la Confiabilidad

Intervalos de Confianza para Densidad In Situ

Intervalos de confianza del 99,0% para la media: 2,045 +/- 0,006161 [2,039; 2,051]

Intervalos de confianza del 99,0% para la desviación estándar: [0,009113; 0,0182]

Puede establecerse con 99,0% de confianza, que la media verdadera de Densidad In Situ se encuentra entre 2,039 y 2,051, en tanto que la desviación estándar verdadera está entre 0,009113 y 0,0182.

4.4.2.3 Límites de Tolerancia Estadística - Densidad In Situ

Distribución Normal

Datos/Variable: Densidad In Situ ((gr./cm³))

Media = 2,045

Desv. Est. = 0,01224

Intervalos de tolerancia del 99,0% para 99,0% de la población

Xbarra +/- 3,733 sigma

Superior: 2,09

Inferior: 1,999

Asumiendo que Densidad In Situ proviene de una distribución normal, los límites de tolerancia establecen que se puede estar 99,0% confiados en que 99,0% de la distribución cae entre 1,999 y 2,09. Este intervalo se calcula tomando la media de los datos $\pm 3,733$ veces la desviación estándar.

4.4.2.4 Prueba de Normalidad para Densidad In Situ

Tabla 4.18 Prueba de Normalidad

<i>Prueba</i>	<i>Estadístico</i>	<i>Valor-P</i>
Valor-Z para curtosis	-1,066	0,2865

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor ó igual a 0,01, no se puede rechazar la idea de que Densidad In Situ proviene de una distribución normal con 99% de confianza.

4.4.2.5 Pruebas de Bondad-de-Ajuste para Densidad In Situ

Tabla 4.19 Prueba de Kolmogorov-Smirnov

	<i>Distribución Normal</i>
DMAS	0,1512
DMENOS	0,2684
DN	0,2684
P-Valor	0,0265

La prueba de Kolmogorov-Smirnov calcula la distancia máxima entre la distribución acumulada de Densidad In Situ y la FDA de la Normal ajustada. En este caso, la distancia máxima es 0,2684.

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor ó igual a 0,01, no se puede rechazar la idea de que Densidad In Situ proviene de una Normal con 99% de confianza.

4.4.2.6 Análisis de Una Variable - Densidad Suelta

Datos/Variable: Densidad Suelta ((gr./cm³))

50 valores con rango desde 1,8 a 1,83

Tabla 4.20 Resumen Estadístico para Densidad Suelta

Recuento	50
Promedio	1,812
Mediana	1,81
Moda	1,81
Varianza	0,00009796
Desviación Estándar	0,009897
Coefficiente de Variación	0,5462%
Error Estándar	0,0014
Mínimo	1,8
Máximo	1,83
Rango	0,03

4.4.2.7 Rangos de Validez de los valores determinados a través de la Confiabilidad

Intervalos de Confianza para Densidad Suelta

Intervalos de confianza del 99,0% para la media: 1,812 +/- 0,003751 [1,808; 1,816]

Intervalos de confianza del 99,0% para la desviación estándar: [0,007833; 0,01327]

Puede establecerse con 99,0% de confianza, que la media verdadera de Densidad Suelta se encuentra entre 1,808 y 1,816, en tanto que la desviación estándar verdadera está entre 0,007833 y 0,01327.

4.4.2.8 Límites de Tolerancia Estadística - Densidad Suelta

Distribución Normal

Datos/Variable: Densidad Suelta ((gr./cm³))

Media = 1,812

Desv. Est. = 0,009897

Intervalos de tolerancia del 99,0% para 99,0% de la población

Xbarra +/- 3,385 sigma

Superior: 1,845

Inferior: 1,779

Asumiendo que Densidad Suelta proviene de una distribución normal, los límites de tolerancia establecen que se puede estar 99,0% confiados en que 99,0% de la distribución cae entre 1,779 y 1,845. Este intervalo se calcula tomando la media de los datos +/-3,385 veces la desviación estándar.

4.4.2.9 Prueba de Normalidad para Densidad Suelta

Tabla 4.21 Prueba de Normalidad

<i>Prueba</i>	<i>Estadístico</i>	<i>Valor-P</i>
Valor-Z para curtosis	-0,08027	0,936

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor ó igual a 0,01, no se puede rechazar la idea de que Densidad Suelta proviene de una distribución normal con 99% de confianza.

4.4.2.10 Pruebas de Bondad-de-Ajuste para Densidad Suelta

Tabla 4.22 Prueba de Kolmogorov-Smirnov

	<i>Distribución Normal</i>
DMAS	0,3801
DMENOS	0,2199
DN	0,3801
P-Valor	0,000001065

La prueba de Kolmogorov-Smirnov calcula la distancia máxima entre la distribución acumulada de Densidad Suelta y la FDA de la Normal ajustada. En este caso, la distancia máxima es 0,3801.

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es menor a 0,01, se puede rechazar la idea de que Densidad Suelta proviene de una Normal con 99% de confianza.

4.4.2.11 Análisis de Una Variable - Densidad Compactada

Datos/Variable: Densidad Compactada ((gr./cm³))

50 valores con rango desde 2,14 a 2,18

Tabla 4.23 Resumen Estadístico para Densidad Compactada

Recuento	50
Promedio	2,16
Mediana	2,16
Moda	
Varianza	0,0002041
Desviación Estándar	0,01429
Coefficiente de Variación	0,6614%
Error Estándar	0,00202
Mínimo	2,14
Máximo	2,18
Rango	0,04

4.4.2.12 Rangos de Validez de los valores determinados a través de la Confiabilidad

Intervalos de Confianza para Densidad Compactada

Intervalos de confianza del 99,0% para la media: 2,16 +/- 0,005414 [2,155; 2,165]

Intervalos de confianza del 99,0% para la desviación estándar: [0,01131; 0,01916]

Puede establecerse con 99,0% de confianza, que la media verdadera de Densidad Compactada se encuentra entre 2,155 y 2,165, en tanto que la desviación estándar verdadera está entre 0,01131 y 0,01916.

4.4.2.13 Límites de Tolerancia Estadística - Densidad Compactada

Distribución Normal

Datos/Variable: Densidad Compactada ((gr./cm³))

Media = 2,16

Desv. Est. = 0,01429

Intervalos de tolerancia del 99,0% para 99,0% de la población

Xbarra +/- 3,385 sigma

Superior: 2,208

Inferior: 2,112

Asumiendo que Densidad Compactada proviene de una distribución normal, los límites de tolerancia establecen que se puede estar 99,0% confiados en que 99,0% de la distribución cae entre 2,112 y 2,208. Este intervalo se calcula tomando la media de los datos +/-3,385 veces la desviación estándar.

4.4.2.14 Pruebas de Normalidad para Densidad Compactada

Tabla 4.24 Prueba de Normalidad

<i>Prueba</i>	<i>Estadístico</i>	<i>Valor-P</i>
Valor-Z para asimetría	1,928E-13	1,0

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor ó igual a 0,01, no se puede rechazar la idea de que Densidad Compactada proviene de una distribución normal con 99% de confianza.

4.4.2.15 Pruebas de Bondad-de-Ajuste para Densidad Compactada

Tabla 4.25 Prueba de Kolmogorov-Smirnov

	<i>Distribución Normal</i>
DMAS	0,158
DMENOS	0,158

DN	0,158
P-Valor	0,1646

La prueba de Kolmogorov-Smirnov calcula la distancia máxima entre la distribución acumulada de Densidad Compactada y la FDA de la Normal ajustada. En este caso, la distancia máxima es 0,158.

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor ó igual a 0,01, no se puede rechazar la idea de que Densidad Compactada proviene de una Normal con 99% de confianza.

4.5 TABULACIÓN DE FACTORES DE ESPONJAMIENTO Y ENCOGIMIENTO

4.5.1 Tabulacion del Factor de Esponjamiento

Tabla 4.26 Tabulacion del Factor de Esponjamiento General

TABULACIÓN FACTOR DE ESPONJAMIENTO GENERAL	
% Factor Esponjamiento	7,13 - 22,91
Factor de Esponjamiento	1,07 - 1,23

Fuente(Rangos determinados de acuerdo al tratamiento estadístico)

Tabla 4.27 Tabulacion del Factor de Esponjamiento Sin Turumayo

TABULACION FACTOR DE ESPONJAMIENTO SIN TURUMAYO	
% Factor Esponjamiento	12,37 - 13,28
Factor de Esponjamiento	1,12 - 1,13

Fuente(Rangos determinados de acuerdo al tratamiento estadístico)

4.5.2 Tabulacion del Factor de Encogimiento

Tabla 4.28 Tabulacion del Factor de Encogimiento General

TABULACION FACTOR DE ENCOGIMIENTO GENERAL	
% Factor Encogimiento	5,54 - 5,59
Factor de Encogimiento	0,94 - 0,95

Fuente(Rangos determinados de acuerdo al tratamiento estadístico)

Tabla 4.29 Tabulacion del Factor de Encogimiento Sin Turumayo

TABULACION FACTOR DE ENCOGIMIENTO SIN TURUMAYO	
% Factor Encogimiento	5,65
Factor de Encogimiento	0,94

Fuente(Rangos determinados de acuerdo al tratamiento estadístico)

Capitulo V

5. APLICACION PRÁCTICA

Para la aplicación práctica se realizara el cálculo de volumen de material granular bruto para el ripiado de la Calle El Rodeo en la Comunidad de Tablada Grande.

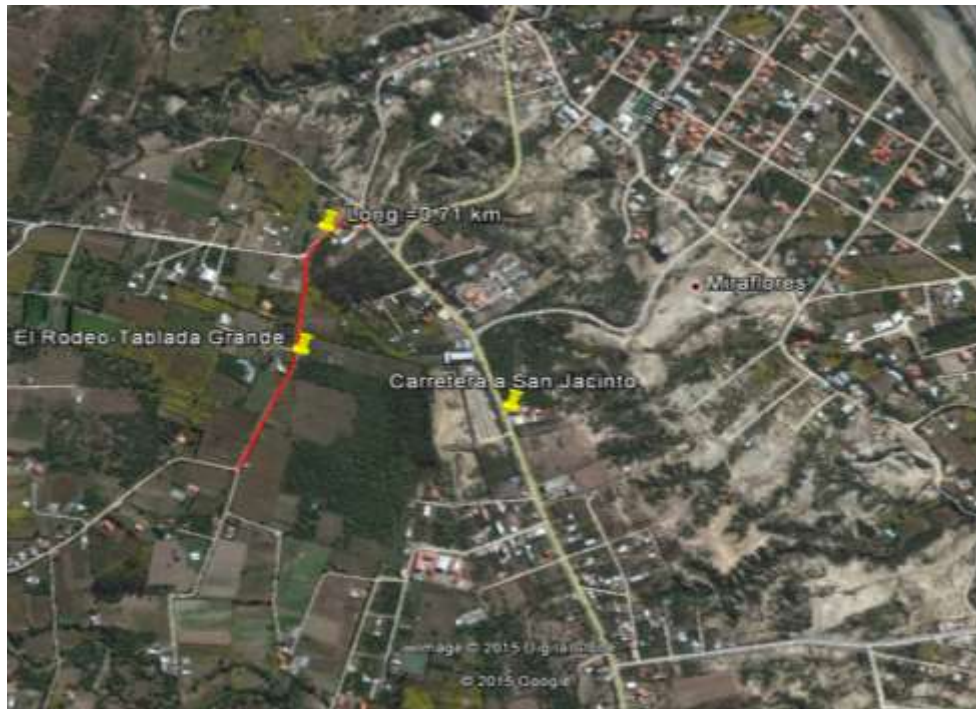
Dicha calle fue elegida para el ejemplo de aplicación debido a que se realizó el ripiado con material granular bruto del Rio Guadalquivir, el material granular de dicho Rio fue parte de la presente investigación.

Para el cálculo del volumen se tomaran en cuenta los factores de esponjamiento y encogimiento determinados, también se realizara un cálculo con factores de la literatura y con factores que generalmente se utilizan en nuestro medio.

5.1 UBICACIÓN

La calle tomada en cuenta para la aplicación práctica se encuentra ubicada en la Comunidad de Tablada Grande, de la Provincia Cercado del Departamento de Tarija.

Ubicación de la calle donde se realizó la aplicación practica



Fuente (Google Earth)

Calle El Rodeo(Inicio del ripiado)



Fuente (Elaboración Propia)

Calle El Rodeo



Fuente (Elaboración Propia)

5.2 DATOS DE LA CALLE

- Longitud de ripiado con material granular bruto (L)=0,71km=710 m
- Ancho de la Calle(a)= 8m
- Espesor de la capa de material granular (e)=15 cm=0,15 m

$$\text{Vol.Comp.}=L*a*e=852 \text{ m}^3$$

1. Para los cálculos de volumen In Situ y Volumen Suelto se utilizara valores de los factores con y sin Turumayo, determinados en el presente trabajo de investigación.

FACTOR DE ESPONJAMIENTO Y ENCOGIMIENTO GENERAL

Factor de Esponjamiento	1,07 - 1,23
Factor de Encogimiento	0,94 - 0,95

FACTOR DE ESPONJ. Y ENCOG. GENERAL SIN TURUMAYO

Factor de Esponjamiento	1,12 - 1,13
Factor de Encogimiento	0,94

Volúmenes calculados con factores incluido Turumayo:

$$\text{Vol. In Situ} = \frac{\text{Vol. Comp.}}{\text{Factor Encog.}} = \frac{852}{0,95}$$

$$\text{Vol. In Situ}=896,84 \text{ m}^3$$

$$\text{Vol. Suelto} = \text{Vol. In Situ} * \text{Factor Esponj.} = 896,84 * 1,23$$

$$\text{Vol. Suelto}=1103,11 \text{ m}^3$$

Si se considera un 5% de pérdidas, el volumen suelto es:

$$\text{Vol. Suelto}=1158,27 \text{ m}^3$$

$$\text{Precio grava común}=120,75 \text{ Bs/m}^3$$

$$\text{Precio total}=120,75*1158,27=139861,10 \text{ Bs}$$

$$\text{Volqueta de } 8 \text{ m}^3$$

$$N^{\circ} \text{ de viajes} = \frac{1158,27}{8} \approx 145$$

Volúmenes calculados con factores sin Turumayo:

$$\text{Vol. In Situ} = \frac{\text{Vol. Comp.}}{\text{Factor Encog.}} = \frac{852}{0,94}$$

$$\text{Vol. In Situ} = 906,38 \text{ m}^3$$

$$\text{Vol. Suelto} = \text{Vol. In Situ} * \text{Factor Esponj.} = 906,38 * 1,13$$

$$\text{Vol. Suelto} = 1024,21 \text{ m}^3$$

Si se considera un 5% de pérdidas, el volumen suelto es:

$$\text{Vol. Suelto} = 1075,42 \text{ m}^3$$

$$\text{Precio grava común} = 120,75 \text{ Bs/m}^3$$

$$\text{Precio total} = 120,75 * 1075,42 = 129857,02 \text{ Bs}$$

$$\text{Volqueta de } 8 \text{ m}^3$$

$$N^{\circ} \text{ de viajes} = \frac{1075,42}{8} \approx 135$$

2. Volúmenes calculados con factores mínimos y máximos según (Ing. Aquiles Pimentel Castro, Folleto de Parámetros Viales)

Tabla Coeficientes de Esponjamiento y Contracción de diferentes materiales

Material	Esponjamiento	Contracción
Arena y grava limpia	1,07 a 1,15	0,93 a 0,87
Tierra y grava limpia	1,09 a 1,18	0,92 a 0,85
Capa vegetal	1,11 a 1,20	0,90 a 0,84
Tierra común	1,20	0,84
Marga arenosa	1,18	0,83
Marga arcillosa	1,25	0,80
Tierra margosa	1,20	0,84
Lodo	1,24 a 1,35	0,81 a 0,74
Arcilla con arena y grava	1,30 a 1,45	0,77 a 0,69
Arcilla blanda y friable densa	1,35 a 1,55	0,74 a 0,75
Arcilla dura tenaz	1,42 a 1,50	0,70 a 0,67
Arcilla dura con piedras y raíces	1,62	0,62
Roca friable blanda	1,50 a 0,75	0,67 a 0,68
Roca dura muy partida	1,58	0,65
Roca dura partida en grades trozos	1,98	0,50
Caliche	1,20	0,924

Fuente (Ing. Aquiles Pimentel Castro, Folleto de Parámetros Viales)

Volúmenes calculados con factores mínimos dados en la tabla:

$$\text{Vol. In Situ} = \frac{\text{Vol. Comp.}}{\text{Factor Encog.}} = \frac{852}{0,87}$$

Vol. In Situ=979,31 m³

$$\text{Vol. Suelto} = \text{Vol. In Situ} * \text{Factor Esponj.} = 979,31 * 1,07$$

Vol. Suelto=1047.86 m³

Si se considera un 5% de pérdidas, el volumen suelto es:

Vol. Suelto=1100,25 m³

Precio grava común=120,75 Bs/m³

Precio total=120,75*1100,25=132855,55 Bs

Volqueta de 8 m³

$$\text{N}^\circ \text{ de viajes} = \frac{1100,25}{8} \approx 137$$

Volúmenes calculados con factores máximos dados en la tabla:

$$\text{Vol. In Situ} = \frac{\text{Vol. Comp.}}{\text{Factor Encog.}} = \frac{852}{0,93}$$

$$\text{Vol. In Situ} = 916,13 \text{ m}^3$$

$$\text{Vol. Suelto} = \text{Vol. In Situ} * \text{Factor Esponj.} = 916,13 * 1,15$$

$$\text{Vol. Suelto} = 1053,55 \text{ m}^3$$

Si se considera un 5% de pérdidas, el volumen suelto es:

$$\text{Vol. Suelto} = 1106,23 \text{ m}^3$$

$$\text{Precio grava común} = 120,75 \text{ Bs/m}^3$$

$$\text{Precio total} = 120,75 * 1069,33 = 133577,27 \text{ Bs}$$

$$\text{Volqueta de } 8 \text{ m}^3$$

$$\text{N}^\circ \text{ de viajes} = \frac{1106,23}{8} \approx 138$$

3. Cálculo de volúmenes con utilizando un factor de esponjamiento y encogimiento que generalmente se usa en nuestro medio para material granular:

$$\text{Factor de esponjamiento} = 1,5$$

$$\text{Factor de encogimiento} = 0,98$$

$$\text{Vol. In Situ} = \frac{\text{Vol. Comp.}}{\text{Factor Encog.}} = \frac{852}{0,90}$$

$$\text{Vol. In Situ} = 946,67 \text{ m}^3$$

$$\text{Vol. Suelto} = \text{Vol. In Situ} * \text{Factor Esponj.} = 946,67 * 1,5$$

$$\text{Vol. Suelto} = 1420 \text{ m}^3$$

Si se considera un 5% de pérdidas, el volumen suelto es:

$$\text{Vol. Suelto} = 1491 \text{ m}^3$$

$$\text{Precio grava común} = 120,75 \text{ Bs/m}^3$$

$$\text{Precio total} = 120,75 * 1069,33 = 180038,25 \text{ Bs}$$

$$\text{Volqueta de } 8 \text{ m}^3$$

$$\text{N}^\circ \text{ de viajes} = \frac{1491}{8} \approx 186$$

Comparando los volúmenes y por lo tanto precios, se puede observar que tanto los volúmenes y precios calculados en base a los factores determinados en el presente

trabajo de investigación son más bajos, que los calculados con factores que usualmente se utilizan en nuestro medio.

Capítulo VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

Después de haber desarrollado el presente trabajo de investigación se llegó a las siguientes conclusiones:

- Se logró Proponer una tabulación de factores de esponjamiento y encogimiento de suelos granulares, obtenidos de cuadrículas de extracción de la Provincia Cercado.

La Tabulacion que se logró obtener es la siguiente:

TABULACIÓN FACTOR DE ESPONJAMIENTO GENERAL		
	CON TURUMAYO	SIN TURUMAYO
% Factor Esponjamiento	7,13 - 22,91	12,37 - 13,28
Factor de Esponjamiento	1,07 - 1,23	1,12 - 1,13

Fuente(Rangos determinados de acuerdo al tratamiento estadístico)

TABULACIÓN FACTOR DE ENCOGIMIENTO GENERAL		
	CON TURUMAYO	SIN TURUMAYO
% Factor Encogimiento	5,54 - 5,59	5,65
Factor de Encogimiento	0,94 - 0,95	0,95

Fuente(Rangos determinados de acuerdo al tratamiento estadístico)

Comparando estos valores obtenidos tanto de esponjamiento y encogimiento con valores de la literatura son similares.

- Los factores obtenidos propuestos en la Tabulacion en base a una muestra considerable de datos de distintas cuadrículas de extracción validados estadísticamente son válidos para granulometrías que se encuentren dentro del rango de una de las dos bandas granulométricas establecidas como condicionante.
- La revisión bibliográfica referente a los factores de conversión de volúmenes de material granular suelto y compactado que se emplean en la construcción de obras viales, sirvió como base para un mejor desarrollo del trabajo de investigación.

- En la Provincia Cercado, se identificó cinco Yacimientos (Rio Guadalquivir, Rio Santa Ana, Rio Tolomosa, Rio Pinos y Rio San Pedro de Sola) y un Banco de Préstamo (Turumayo) las cuales son la más representativas y cuentan con suelos granulares que pueden ser empleados en construcción vial.
- Todos los suelos granulares según la AASHTO son del tipo A-1-a(0) y según la SUCS son suelos GW, se determinó que son suelos bien graduados de acuerdo a los Coeficientes de Uniformidad (C_u) y Coeficiente de Curvatura (C_c) para los cuales los valores deben ser: $C_u > 4$ y $1 < C_c < 3$, lo cual se cumple.
- El tratamiento estadístico (Densidad In Situ, Densidad Suelta y Densidad Compactada) se realizó mediante el programa de análisis estadísticos de datos STATGRAPHICS, desde el punto de vista de la estadística para trabajar con datos muestrales extraídos de una población, el número suficiente para realizar dicho tratamiento es treinta datos.
- De acuerdo al tratamiento estadístico (Límites de tolerancia, Intervalos de Confianza, Pruebas de Normalidad, Pruebas de Bondad de ajuste) sin incluir el banco de préstamo de Turumayo el mismo es 99% confiable.
- Solo es confiable tomar en cuenta los valores de los factores sin incluir al banco de préstamo Turumayo, para esto los materiales granulares empleados deben encontrarse dentro del rango de la banda granulométrica de los suelos aluviales establecida como condicionante en el presente trabajo de grado. Por lo tanto al hacer uso de los factores de esponjamiento y encogimiento determinados se puede optimizar recursos en la construcción vial.

6.2 RECOMENDACIONES

Luego de realizar el trabajo de investigación y obtener las conclusiones se recomienda tomar en cuenta las siguientes sugerencias:

- Al extraer las muestras del suelo granular aluvial se sugiere que el tamaño de los mismos no sea extremadamente grande, esto debido a que influye al realizar los ensayos y posteriormente se ve reflejado en los valores obtenidos.
- Según el tratamiento estadístico se recomienda el uso de los factores sin incluir al Banco de Préstamo Turumayo, ya que las densidades con las cuales fueron calculados dichos factores fueron analizadas al 99 % de confiabilidad, y asumiendo que los rangos de los valores pertenecen a una distribución normal son 99% confiables.
- No es recomendable usar los valores incluyendo a Turumayo, debido a que los valores de los Factores es completamente diferente al de los Yacimientos, esto puede ser debido a que no es un suelo granular de río y sus características son diferentes.
- Finalmente para utilizar los Factores de Esponjamiento y Encogimiento del presente trabajo de grado se recomienda que los materiales granulares con los que se pretende trabajar cumplan con la condicionante establecida.