



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

**“Trabajo de grado previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil”**

**TRABAJO DE GRADUACION**

**Título del proyecto**

**“DETERMINACIÓN DE LA ECUACIÓN DE CORRELACIÓN ENTRE LOS  
ENSAYOS CBR DE LABORATORIO Y PDC IN SITU PARA LOS TIPOS DE  
SUELOS DE LA SUBRASANTE DE LA VIA RIOBAMBA – ALAUSI”**

**Autor:**

**LUCIA ELIZABETH PAUCAR NARANJO**

**Director:**

**ING. JORGE NÚÑEZ**

**AÑO**

**2011 – 2012**

**Riobamba – Ecuador**

Los miembros del Tribunal de Graduación del proyecto de investigación de título: DETERMINACIÓN DE LA ECUACIÓN DE CORRELACIÓN ENTRE LOS ENSAYOS CBR DE LABORATORIO Y PDC IN SITU PARA LOS TIPOS DE SUELOS DE LA SUBRASANTE DE LA VIA RIOBAMBA – ALAUSI presentado por: LUCÍA ELIZABETH PAUCAR NARANJO y dirigida por: ING. JORGE NÚÑEZ

Una vez escuchada la defensa oral y revisado el informe final del proyecto de investigación con fines de graduación escrito en la cual se ha constatado el cumplimiento de las observaciones realizadas, remite la presente para uso y custodia en la biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la UNACH.

Para constancia de lo expuesto firman:

---

**Ing. Ángel Paredes**  
**Presidente del Tribunal**

---

**Firma**

---

**Ing. Jorge Núñez**  
**Miembro del Tribunal**

---

**Firma**

---

**Ing. Alexis Martínez**  
**Miembro del Tribunal**

---

**Firma**

**DETERMINACIÓN DE LA ECUACIÓN DE CORRELACIÓN ENTRE LOS  
ENSAYOS CBR DE LABORATORIO Y PDC IN SITU PARA LOS TIPOS DE  
SUELOS DE LA SUBRASANTE DE LA VIA RIOBAMBA – ALAUSI**

**AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

*“La responsabilidad del contenido de este Proyecto de Graduación, nos corresponde exclusivamente a: Lucía Elizabeth Paucar Naranjo y del Director del Proyecto Ing. Jorge Núñez; y el patrimonio intelectual de la misma a la Universidad Nacional de Chimborazo”.*

## **AGRADECIMIENTO**

*Quisiera agradecer a todas aquellas personas que han estado a mi lado apoyándome, en especial a mis padres por siempre acompañarme y guiarme, al Ingeniero Jorge Núñez por su apoyo inmensurable para el desarrollo de este trabajo de investigación y en nombre de él al Ministerio de Transporte y Obras Públicas. Mi agradecimiento para mis profesores que supieron impartir sus conocimientos y enseñarme que en la vida hay que luchar por alcanzar una meta.*

## **DEDICATORIA**

*Para encontrarme en este punto de mi vida es porque Dios me ha dado las fuerzas necesarias para vencer los diferentes obstáculos que se han presentado durante mi vida estudiantil. Dentro de este contexto quisiera dedicar esta investigación a mis padres y hermana quienes han sido los gestores de mi formación y han sido ellos los que han estado incondicionalmente a mi lado, a mi novio por todo su apoyo y va dedicada a todas aquellas personas que por algún momento fueron un obstáculo más en mi vida pero a las cuales también he logrado superar.*

## ÍNDICE GENERAL

INDICE GENERAL.....	I
INDICE DE TABLAS.....	II
INDICE DE GRAFICOS E ILUSTRACIONES.....	III
GLOSARIO Y ABREVIATURAS.....	IV
RESUMEN.....	VI
SUMARY.....	VII
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. FUNDAMENTACIÓN TEORICA.....	2
3. METODOLOGÍA.....	10
3.1 TIPO DE ESTUDIO.....	10
3.2 POBLACIÓN MUESTRA.....	10
3.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	11
3.4 PROCEDIMIENTOS.....	12
3.5 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS.....	13
4. RESULTADOS.....	16
5. DISCUSIÓN.....	23
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	24
7. PROPUESTA.....	26
7.1. Título de la propuesta.....	26
7.2. Introducción.....	26
7.3. Objetivos.....	27
7.3.1. General.....	27
7.3.2. Específicos.....	27
7.4. Fundamentación Científico – Técnica.....	27
7.5. Descripción de la propuesta.....	34
8. BIBLIOGRAFÍA.....	35
9. APÉNDICES O ANEXOS.....	36

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: ECUACIONES DE CORRELACIÓN.....	7
Tabla N° 2: COEFICIENTE DE PEARSON.....	9
Tabla N° 3: VARIABLE DEPENDIENTE.....	11
Tabla N° 4: VARIABLE INDEPENDIENTE.....	11
Tabla N° 5: RESULTADO ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO.....	17
Tabla N° 6: RESULTADO ENSAYO DE RESISTENCIA CBR.....	18
Tabla N° 7: RESULTADO ENSAYO DE RESISTENCIA PDC.....	19
Tabla N° 8: RESULTADO ECUACIONES DE CORRELACIÓN.....	22
Tabla N° 9: CLASIFICACIÓN SUCS Y AASHTO.....	29

## ÍNDICE DE GRÁFICOS E ILUSTRACIONES

Gráfico N° 1: EQUIPO PARA ENSAYO PDC.....	4
Gráfico N° 2: EQUIPO PARA ENSAYO CBR.....	5
Gráfico N° 3: PROCEDIMIENTOS.....	13
Gráfico N° 4: CURVA PDC – CBR SUELO SM.....	20
Gráfico N° 5: CURVA PDC – CBR SUELO ML.....	21
Gráfico N° 6: CURVA CARACTERÍSTICA ENSAYO PDC.....	30
Gráfico N° 7: CURVA ESFUERZO – PENETRACIÓN.....	31
Gráfico N° 8: DENSIDAD SECA – CBR.....	31
Gráfico N° 9: CURVA CARACTERÍSTICA DE COMPACTACIÓN.....	32

## GLOSARIO Y ABREVIATURAS

- **Análisis Granulométrico.-** Es una prueba para determinar cuantitativamente la distribución de los diferentes tamaños de partículas del suelo.
- **AASHTO.-** Asociación Americana de Vías Estatales y Oficiales de Transporte
- **CBR (California Bearing Ratio).-** Norma AASHTO T193 – 63, es una medida de la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo, bajo condiciones de densidad y humedad cuidadosamente controladas. Se usa en el diseño de pavimentos flexibles. El CBR, expresa en porcentaje como, la razón de la carga unitaria que se requiere para introducir un pistón dentro del suelo, a la carga unitaria requerida para introducir el mismo pistón a la misma profundidad en una muestra tipo de piedra partida.
- **Correlación.-** en probabilidad y estadística, la correlación indica la fuerza y la dirección lineal entre dos variables aleatorias. Se considera que dos variables cuantitativas están correlacionadas cuando los valores de una de ellas varían sistemáticamente con respecto a los valores homónimos de la otra.
- **Densidad máxima.-** Es el máximo peso seco, obtenido cuando el material se mezcla con diferentes porcentajes de agua y se compacta de una manera normal preestablecida.
- **Ensayos de compactación.-** Se entiende por compactación todo proceso que aumenta el peso volumétrico de un suelo. En general, es conveniente compactar un suelo para incrementar su resistencia al esfuerzo cortante, reducir su compresibilidad y hacerlo más impermeable.
- **Humedad óptima.-** Es el porcentaje de agua con el cual se obtiene la máxima densidad para el esfuerzo de compactación especificado.
- **Índice de plasticidad.-** Es la diferencia numérica entre el límite líquido y el límite plástico e indica el grado de contenido de humedad en el cual un suelo permanece en estado plástico antes de cambiar al estado líquido.
- **Límite líquido.-** El límite líquido es el mayor contenido de humedad que puede tener un suelo sin pasar del estado plástico al líquido. El estado líquido se define como la condición en la que la resistencia al corte del suelo es tan baja que un ligero esfuerzo lo hace fluir.
- **Límite plástico.-** Límite plástico se define como la mínima cantidad de humedad con la cual el suelo se vuelve a la condición de plasticidad. En este

estado, el suelo puede ser deformado rápidamente o moldeado sin recuperación elástica, cambio de volumen, agrietamiento o desmoronamiento.

- **Pavimento.-** es la capa constituida por uno o más materiales que se colocan sobre el terreno natural o nivelado, para aumentar su resistencia y servir para la circulación de personas o vehículos.
- **PDC (Penetrómetro Dinámico de Cono).-** El Penetrómetro Dinámico de Cono PDC mide la penetración dinámica por golpes, a través del terreno natural o suelo de fundación, levemente cementados. Es un método no destructivo capaz de medir la capacidad estructural in situ del suelo de fundación.
- **Peso específico.-** Se define como peso específico de un suelo a la relación entre el peso de los sólidos y el peso del volumen de agua que desalojan. El valor del peso específico, que queda expresado por un número abstracto, además de servir para fines de clasificación, determinación de la densidad de equilibrio de un suelo y corrección de la densidad en el terreno por la presencia de partículas de agregado grueso, interviene en la mayor parte de los cálculos de Mecánica de Suelos.
- **Resistencia.-** la resistencia se refiere a la capacidad de los sólidos deformables para soportar tensiones sin alterar su estructura interna o romperse.
- **Subrasante.-** es la superficie superior de la obra básica, preparada como fundación de la estructura del pavimento y de los espaldones.
- **SUCS.-** Sistema Unificado de Clasificación de Suelos
- **Suelos granulares.-** Son aquellos que tienen el 35% o menos del material fino que pasa por el tamiz N° 200.

## RESUMEN

La capacidad portante o resistencia de la subrasante se obtendrá mediante la correlación del ensayo PDC in situ con el CBR de laboratorio de la vía Riobamba – Alausí, además de los ensayos de CBR sobre muestras inalteradas.

El tramo 1 de estudio corresponde entre las abscisas 0 + 000 a la 12 + 000, 56 + 000 a la 72 + 000 y 88 + 000 a la 90 + 000, encontrando una capa uniforme de arena limosa (mezcla de arena y limo) con una capacidad de carga entre alta a media, una compactabilidad media, de color amarillo. El tramo 2 de estudio corresponde a la abscisa 16 + 000 a la 52 + 000 y 84 + 000 a la 90 + 000 correspondiente a un suelo tipo ML, es decir, limos inorgánicos de baja compresibilidad, con una capacidad de carga de media a baja, mala compactabilidad y de color verde.

Una vez determinado los tipos de suelos encontrados en la vía Riobamba – Alausí con una longitud aproximada de 95km se podrá determinar una ecuación de correlación entre los resultados de los ensayos de resistencia PDC in situ con CBR de laboratorio para cada uno de ellos (SM y ML), ecuaciones que podrá ser utilizados para la determinación del CBR de diseño, trabajando con las condiciones reales del terreno y así obtener una mayor exactitud en el diseño del pavimento.

## SUMMARY

The carrying capacity or resistance of the sub-level will obtain by means of the correlation of the essay PDC in situ with the CBR of laboratory of the road Riobamba – Alausí, in addition to of the essays of CBR on unaltered samples.

The stretch 1 of study reciprocates between the abscissa 0 + 000 to the 12 + 000, 56 + 000 to the 72 + 000 and 88 + 000 to the 90 + 000, finding out an uniform slimy-sand cape ( sand mixture and slime ) with a carrying capacity enter tall to standard, an ordinary compactabilidad, and of yellow color. The stretch 2 of study gives back the abscissa 16 + 000 to the 52 + 000 and 84 + 000 to the 90 + 000 corresponding to a ground guy ML, that's to say, inorganic slimes of low compressibility, with a carrying capacity of half to low, bad compactabilidad and of green color.

Once determined the types of soils found in the road Riobamba – Alausí with an approximate length of 95km will be able to determine an equation of correlation between the results of the essays of resistance PDC right there with CBR of laboratory for each one of them (SM and ML), equations that will be able to be used for the determination of the designing CBR, working with the actual conditions of the ground and that way getting out of the pavement a bigger exactness in the design.

## 1. INTRODUCCIÓN

Para el desarrollo de proyectos viales, es necesario realizar ensayos que permitan determinar la resistencia de los suelos de apoyo, información que permite definir los espesores de la estructura vial. Dichos ensayos, varían de acuerdo a su complejidad y costos, por lo que se requiere utilizar métodos alternativos para obtener los resultados requeridos con los medios y recursos disponibles.

La capacidad portante o resistencia de la subrasante podrá obtenerse mediante la correlación del ensayo PDC sobre muestras inalteradas con el CBR en muestras alteradas. La subrasante se encuentra sometida a un estado de esfuerzos variables y por ende a un estado de deformaciones en el momento que los vehículos aplican las cargas sobre la estructura del pavimento. En una exploración de campo existe la posibilidad de encontrar suelos con humedad elevada, suelos saturados o suelos secos.

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

## 2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

El crecimiento del tráfico y peso de los vehículos que transitan por las vías principales de la Provincia de Chimborazo, hace necesario tener un amplio enfoque técnico en los estudios de suelos para el diseño de pavimentos, acorde con las necesidades creadas por el aumento de las repeticiones de cargas. Todo esto indica que es necesario adoptar estudios completos de las condiciones reales en las que se encuentra la subrasante en el período del proyecto para planificar una programación de trabajos y en el período de construcción que permita obtener una estructura que soporte las condiciones previstas durante su vida útil.

La evaluación de las propiedades de resistencia in situ y laboratorio del terreno de cimentación empleando métodos directos siempre es deseada, pero frecuentemente éstos son engorrosos y costosos, como los ensayos de CBR in situ y de la placa. Debido a esto, se recurre a métodos indirectos, tales como el CBR de laboratorio, ensayando la muestra en condiciones desfavorables, lo cual en muchos casos no logran representar con absoluta fidelidad las condiciones reales de trabajo del suelo.

Despierta entonces el interés en la ingeniería vial la utilización de equipos sencillos y confiables para la evaluación del suelo de fundación, como son los ensayos de penetración in situ. El empleo del Penetrómetro Dinámico de Cono reúne las condiciones indicadas. Este equipo se puede construir con personal y material nacional y realizar estudios para establecer una correlación matemática entre el CBR y PDC, que permita evaluar las condiciones del terreno de fundación de las vías de nuestra provincia y porque no del país.

Para complementar la investigación será necesario realizar los siguientes ensayos de laboratorio de muestras tomadas a lo largo de la vía Riobamba – Alausí:

### **2.1.PROPIEDADES INDICE:**

- Humedad natural
- Granulometría
- Límites de Atterberg
  - Límite líquido
  - Límite plástico
  - Índice de plasticidad

### **2.2.PROPIEDADES DE ESFUERZO – DEFORMACION:**

- Prueba in situ de Penetración por Cono dinámico de acuerdo a la Norma ASTM D 6951-03

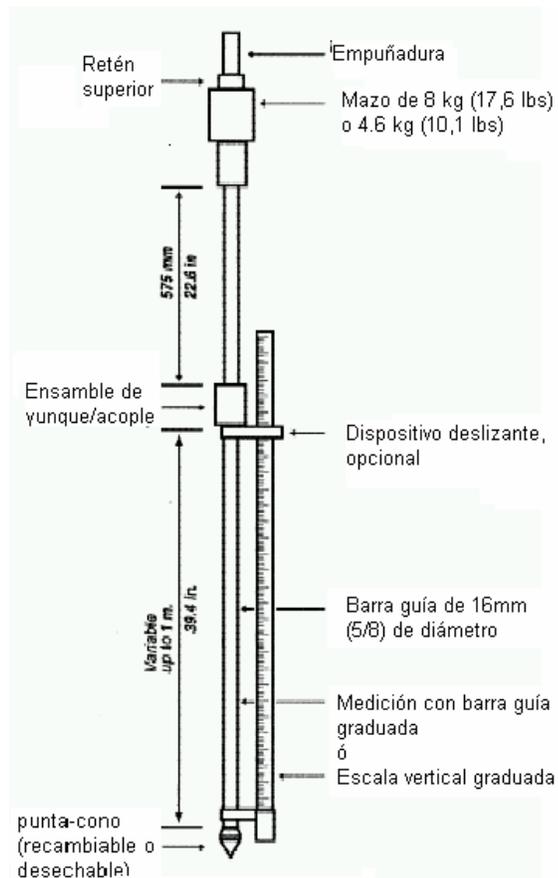
**Penetrómetro Dinámico de Cono PDC.-** este método de ensayo se usa para evaluar la resistencia in situ de suelos inalterados y/o materiales compactados. La rata de penetración del PDC de 8 kg puede ser utilizada para estimar el CBR, puede identificar los espesores de las capas; así como para estimar la resistencia al corte de las capas y otras características de los materiales que las constituyen.

El PDC de 8 kg puede ser utilizado para estimar las características de resistencia de suelos de grano fino y grueso, materiales débiles modificados o estabilizados. El dispositivo no se puede emplear en materiales altamente estabilizados o cementados o en materiales granulares que contengan un gran porcentaje de agregados pétreos cuyas partículas tengan tamaños superiores a 2”.

#### **Equipo.-**

- Varilla de acero de punta cónica
- Martillo de 8 kg
- Yunque de ensamble y una manija

**Gráfico 1.- Equipo para ensayo PDC**



- CBR de acuerdo a la norma AASHTO T193-63y ASTM D 1883

**Relación de Soporte del suelo CBR.-** este método de prueba se emplea para evaluar la resistencia potencial de materiales de subrasante, subbase y base, incluyendo materiales reciclados para empleo de pavimentos de carreteras. El valor de CBR obtenido en esta prueba forma parte integral de varios métodos de diseño de pavimentos flexibles.

Para aplicaciones en las cuales el efecto del contenido de agua de compactación sobre el CBR es bajo, tales como materiales de granulometría gruesa y sin cohesión o cuando se permita una tolerancia en relación con el efecto de diferentes

contenidos de agua de compactación en el procedimiento de diseño, el CBR se puede determinar al contenido óptimo de agua de un esfuerzo de compactación especificado.

Para aplicaciones en las cuales el efecto del contenido de agua de compactación sobre el CBR se desconoce, o en las cuales se desea tener en cuenta su efecto, el CBR se determina para un rango de contenidos de agua, usualmente el permitido para compactación en el campo empleando las especificaciones existentes para tal fin.

### **Equipo y Materiales.-**

- Prensa similar a las usadas en ensayos de compresión
- Moldes de metal
- Disco espaciador
- Martillo de compactación
- Pistón de penetración
- Diales
- Tanque con capacidad suficiente para la inmersión de los moldes en agua
- Horno
- Balanza
- Tamices

*Gráfico 2.- Equipo para ensayo CBR*



Compactación del suelo Proctor estándar (densidad máxima – humedad óptima) según la Norma AASHTO T 99 y ASTM D 698

### **2.3. TRABAJOS REALIZADOS CON LOS ENSAYOS:**

- Clasificación granulométrica por AASHTO , USC o SUCS
- Coeficiente de relación del terreno (mediante correlación )

### **2.4. CONCEPTUALIZACION DE CAPACIDAD DE SOPORTE**

Las características mecánicas del suelo se obtendrán a partir del valor relativo de soporte correlacionado con el índice de penetración del cono dinámico PDC. El ensayo de valor relativo de soporte CBR es una medida de la resistencia del suelo al esfuerzo cortante de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas en forma cuidadosa. Este valor de resistencia frente al régimen de cargas de repetición impuestas por el tránsito de uso.

Este método de ensayo cubre la medida de la rata de penetración del Penetrómetro dinámico de cono PDC con un martillo de 8kg, a través de un suelo inalterado o de materiales compactados. La rata de penetración puede ser relacionada con valores de resistencia in situ o en laboratorio, tal como el CBR (California Bearing Ratio). La masa unitaria del suelo también puede ser estimada si se conoce el tipo de suelo y su contenido de humedad. El PDC descrito en este método de ensayo es típicamente utilizado en aplicaciones relacionadas con pavimentos.

Este método de ensayo se usa para evaluar la resistencia in situ de suelos inalterados y/o compactados. La rata de penetración del PDC de 8kg puede ser utilizada para estimar el CBR, para identificar los espesores de las capas; así como para estimar la resistencia al corte de las capas y otras características de los materiales que las constituyen.

La penetración por golpe se emplea para estimar el CBR o la resistencia al corte utilizando alguna correlación apropiada. Entre las correlaciones entre el PDC y CBR se encuentran:

**TABLA 1: ECUACIONES DE CORRELACIÓN**

ECUACION	AUTOR	AÑO
$\text{LOG (CBR)} = 2.2 - 0.71 \times \log (\text{N})^{1.5}$	Liben	1987
$\text{LOG (CBR)} = 2.56 - 1.16 \times \text{LOG (N)}$	Harrison (suelos arcillosos)	1980
$\text{LOG (CBR)} = 2.62 - 1.27 \times \text{LOG (N)}$	Kleyn	1975
$\text{LOG (CBR)} = 2.48 - 1.057 \times \text{LOG (N)}$	TRL	

*Fuente:* Alex Bracamonte

Mientras la correlación recomendada por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos es la siguiente:

**Para todo tipo de suelos:**

$$CBR = \frac{292}{(PDC)^{1.12}}$$

**Para suelos tipo CL con CBR < 10:**

$$CBR = \frac{1}{(0.017 \times PDC)^2}$$

**Para suelos CH:**

$$CBR = \frac{1}{0.0028 \times PDC}$$

## 2.5.MODELO MATEMÁTICO

La relación entre la resistencia a la penetración por punta y la profundidad de hinca se puede expresar por medio de la ecuación dinámica de Hiley la cual, con alguna simplificación, se reduce a:

$$R = \frac{W_1 \times h \times (W_1 \times e^2 \times W_2)}{D \times (W_1 \times W_2)}$$

Donde:

- R = Resistencia a la penetración
- $W_1$  = Peso de la masa de impacto
- $W_2$  = Peso muerto del aparato, excluida la masa
- h = Altura de caída libre de la masa
- D = Profundidad de penetración
- e = Coeficiente de restitución

Según la expresión, la resistencia es una función inversa de la penetración, es decir:

$$R = \frac{A'}{D}$$

Siendo:

$$A' = \frac{W_1 \times h \times (W_1 \times e^2 \times W_2)}{(W_1 \times W_2)}$$

Si se asume que el CBR es función de R, se puede decir que:

$$CBR = \frac{A}{D}$$

Siendo A una constante. En esta última expresión se supone que el sistema es 100% eficiente y que no hay pérdidas de energía, hecho que no corresponde a la realidad, por cuanto dichas pérdidas se producen a causa de la compresión de la varilla del Penetrómetro, la compresión elástica del suelo y otros factores de más imprecisa determinación. En tal virtud, la expresión teórica debe sufrir una modificación:

$$CBR = \frac{A}{D^B}$$

Donde:

- B = coeficiente mayor que la unidad

- D = penetración media de la varilla dentro del suelo a causa de los impactos de la masa (mm/golpe).

## 2.6. CORRELACION Y COEFICIENTE DE PEARSON

El índice numérico más común usado para medir una correlación es el “Coeficiente de Pearson”. El coeficiente de Pearson también llamado coeficiente de correlación del producto momento, se representa con la letra R y proporciona una medida numérica de la correlación entre dos variables.

El coeficiente de Pearson indica si dos variables parecen estar correlacionadas o no, la fuerza de la aparente relación y si la aparente relación es positiva o negativa. Se puede observar la interpretación en el siguiente cuadro:

**TABLA 2: COEFICIENTE DE PEARSON**

COEFICIENTE DE PEARSON	GRADO DE CORRELACION ENTRE LAS VARIABLES
$R = 0$	Ninguna correlación
$R = 1$	Correlación positiva perfecta
$0 < R < 1$	Correlación positiva
$R = -1$	Correlación negativa perfecta
$-1 < R < 0$	Correlación negativa

*Fuente:* Diana Navarro

### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1. TIPO DE ESTUDIO

Debido a que la presente investigación se la realizará en el campo y laboratorio para la consecución de los datos, será una investigación de campo o experimental y por el tipo de razonamiento se la puede considerar como una investigación empírico – racional. En cuanto al análisis estadístico de la información, se evalúa la colinealidad entre variables y su incidencia en los resultados obtenidos.

#### 3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

La población que se tiene es finita, ya que se tiene conocimiento del número de elementos que la integran. El marco muestral será la longitud de la vía Riobamba - Alausí, es decir, 95 kilómetros

##### 3.2.1. TAMAÑO DE LA MUESTRA

- Para calcular el tamaño de la muestra se aplicará la siguiente fórmula:

$$n = \frac{PQ * N}{(N - 1) * \frac{E^2}{K^2} + PQ}$$

Donde:

**n** = Tamaño de la muestra.

**PQ** = Constante de la varianza = 0.25

**N** = Tamaño de la población

**E** = Error máximo admisible (al 1%, 2%, 3%, 4%, 8%) a mayor error probable, menor tamaño de la muestra).

**K** = Coeficiente de corrección del error (2).

$$n = \frac{0.25 * (101)}{(101 - 1) * \frac{(0.05)^2}{(2)^2} + 0.25}$$

$$n = 80.8$$

### 3.3. OPERACIONALIZACION DE VARIABLES

#### 3.3.1. Variable dependiente: Ecuación de correlación

**TABLA 3: VARIABLE INDEPENDIENTE**

CONCEPTO	CATEGORIA	INDICADOR	INDICE	TECNICA INSTRUMENTAL	FUENTE
En probabilidad y estadística, la correlación se define como aquella que indica la fuerza y la dirección lineal entre dos variables aleatorias.	Correlación	Cuantitativa	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ubicación</li> <li>• Estado Operativo</li> <li>• Dimensión</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Formularios</li> <li>• Ensayos Convencionales</li> </ul>	Tesista

*Elaborado por: Lucía Paucar Naranjo*

#### 3.3.2. Variable independiente: Tipos de suelos

**TABLA 4: VARIABLE DEPENDIENTE**

CONCEPTO	CATEGORIA	INDICADOR	INDICE	TECNICA INSTRUMENTAL	FUENTE
Se denomina suelo a la parte no consolidada y superficial de la corteza terrestre, biológicamente activa que tiende a desarrollarse en la superficie de las rocas emergidas. Puede haber dos clasificaciones para los tipos de suelos por su funcionalidad y por sus características físicas. La clasificación SUCS es la encargada de esta.	Mecánica de Suelos	Tipos de suelos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estratificación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Formularios</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Normas del Ministerio de Transporte y Obras Públicas</li> <li>- Normas ASTM</li> <li>- SUCS</li> <li>- AASHTO</li> </ul>

*Elaborado por: Lucía Paucar Naranjo*

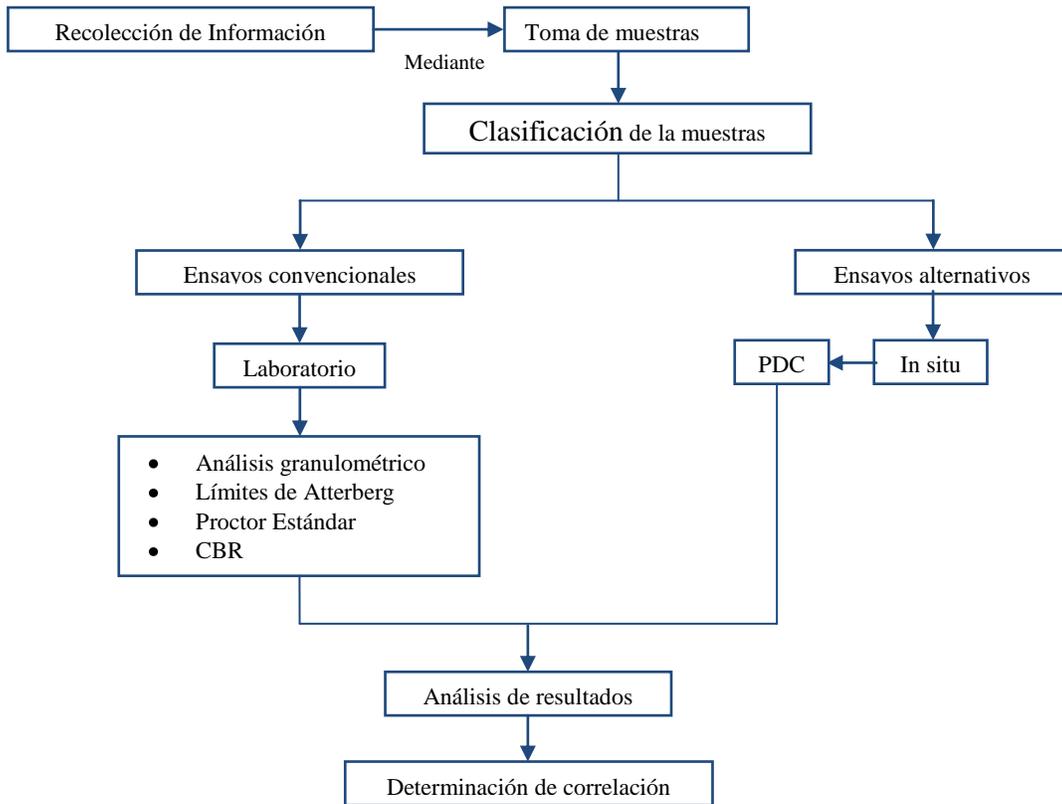
### **3.4. PROCEDIMIENTOS**

Para la elaboración del presente proyecto se llevará a cabo cuatro etapas principales:

- I. Reconocimiento del lugar y tramo de estudio para la realización de la presente investigación.
- II. Recolección de la información de cono dinámico. Para esta etapa se deberá recolectar información de las muestras tomadas a lo largo de la vía tanto para las pruebas de laboratorio como pruebas in situ.
- III. Clasificación de las diferentes muestras recolectadas en el sitio. Con las muestras recolectadas en la primera etapa se realizará las pruebas necesarias para la clasificación: Límites de consistencia o Atterberg y análisis granulométrico.
- IV. La siguiente etapa será la realización de los ensayos convencionales como Proctor estándar y CBR, y con los equipos alternativos Penetrómetro Dinámico de Cono.
- V. La última etapa es el análisis de resultados para determinar y establecer las correlaciones correspondientes entre los resultados.

Como ya se mencionó anteriormente los métodos de pruebas convencionales y alternativas se realizarán de acuerdo a las normas ASTM. Para mayor comprensión de lo antes expuesto se presenta el siguiente cuadro:

**Gráfico 3: Procedimiento**



**Fuente:** Lucía Paucar Naranjo

### 3.5. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS

La presente investigación tiene que seguir los siguientes procesos para la consecución de resultados:

#### 3.5.1. TOMA DE MUESTRAS

Como un aspecto primordial a la hora de tomar una muestra, es tener una idea clara de la cantidad de pruebas que se requiere, para así poder inferir una cierta cantidad de material necesario para satisfacer el ensayo.

#### 3.5.2. CLASIFICACION DE MUESTRAS

Para esta investigación se trabajara bajo el sistema unificado de clasificación de suelos SUCS y AASHTO. El sistema cubre los suelos gruesos y los finos

distinguiendo ambos por el cribado a través del tamiz # 200, las partículas gruesas son mayores que dicho tamiz y las finas menores. Un suelo se considera grueso si más del 50% de sus partículas son gruesas y finos si más de la mitad de sus partículas, en peso son finas.

- **Límite Líquido.-** para la determinación del límite líquido se utiliza el método de Casagrande, el contenido de agua, en porcentaje requerido, para cerrar una distancia de 12.7 mm a lo largo del fondo de la ranura a los 25 golpes se define como el límite líquido.
- **Límite Plástico.-** se define como el contenido de humedad, en términos de porcentaje, con el cual el suelo al ser enrollado en rollitos de 3.2 mm de diámetro se desmorona. El límite plástico es el límite inferior de la etapa plástica del suelo. La prueba se lleva a cabo, enrollando repetitivamente a mano sobre una placa de vidrio una masa de suelo. El índice de plasticidad IP es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico del suelo. Tanto el límite líquido como el plástico se realizan según la norma ASTM D – 4318.

### **3.5.3. PRUEBAS CONVENCIONALES**

Una vez realizadas las pruebas de clasificación de suelos, se procede llevar a cabo las pruebas convencionales con los ensayos Proctor y CBR.

La tabulación de datos se lo realizará mediante una hoja de cálculo Excel donde se obtendrá la curva característica de CBR de las distintas muestras tomadas, la curva será CBR vs DENSIDAD SECA y PENETRACIÓN vs ESFUERZO.

#### **Registro de la información**

Se lo hará en un formato que contenga información referente al número de golpes, penetración acumulada en mm, contenido de humedad (si es conocido).

Normalmente se toman lecturas luego de un número fijo de golpes. Se debe tomar una lectura inmediatamente se detecte un cambio significativo en las propiedades de los materiales o en la rata de penetración de la varilla.

### **Cálculos e interpretación de resultados**

El CBR se calcula utilizando el índice PDC. La penetración por golpe se emplea para estimar el CBR o la resistencia al corte, utilizando alguna correlación apropiada.

- **Curva Número de golpes vs Profundidad.-** cada capa homogénea de suelo da lugar a una recta cuya pendiente recibe el nombre de índice de penetración o número PDC, indicando una medida de su resistencia.
- **Curva PDC in situ vs CBR laboratorio.-** será el diagrama de dispersión para cada uno de los puntos tomados en cada abscisa y determinado para cada uno de los tipos de suelos encontrados.

#### 4. RESULTADOS

La investigación realizada busca la determinación de las ecuaciones de correlación entre los ensayos PDC in situ y CBR de laboratorio de los distintos tipos de suelos encontrados a lo largo de la vía Riobamba – Alausí, considerando al suelo como uno de los materiales más significativos que aparece en todas las construcciones, al menos como material de fundación.

En el caso de los pavimentos además de servir como soporte, es parte integral de su estructura y de la calidad del suelo depende en buena parte el espesor final de los pavimentos.

Con esta correlación se pretende economizar recursos y tiempo en la ejecución de ensayos para determinar la resistencia de la subrasante, ecuaciones que van de la mano con la realidad encontrada en campo.

Una vez ya desarrollado todos los ensayos necesarios para la obtención de las ecuaciones de correlación para los dos tipos de suelos encontrados a lo largo de los 95 km de la vía Riobamba – Alausí perteneciente a la Provincia de Chimborazo, se presenta únicamente dos ecuaciones debido a que son los otros tipos de suelo encontrados como un suelo GM (grava limosa) o A – 1b (AASHTO) y SC (Arena arcilloso) o A – 2 – 4 (AASHTO) no dan los datos necesarios para la realización de la curva, es decir, arroja un solo punto dentro del diagrama de dispersión y si se extrapola datos, estos no estarían acorde a la realidad del suelo encontrado.

A continuación se presenta las características del material encontrado a una profundidad de subrasante que fluctúa entre 0.35 a 1.20 M.

**TABLA 5:** Resultado de Análisis Granulométrico

<b>RESULTADO DE ANALISIS GRANULOMETRICO DE LA VIA RIOBAMBA - ALAUSI 95km</b>							
<b>CLASIFICACION SUCS Y AASHTO</b>							
<b>MUESTRAS: SUBRASANTE A 0.30 - 1.20 DE PROFUNDIDAD</b>							
<b>ABSCISA</b>	<b>PROFUNDIDAD (m)</b>	<b>TIPO DE SUELO</b>		<b>LIMITES DE CONSISTENCIA</b>			<b>HUMEDAD NATURAL (%)</b>
		<b>SUCS</b>	<b>AASHTO</b>	<b>L.L (%)</b>	<b>L.P (%)</b>	<b>I.P</b>	
0 + 000	0.42 - 1.20	SM	A - 2a	0.00	0.00	NP	
4 + 000	0.38 - 1.20	SM	A - 2a	0.00	0.00	NP	10.92
8 + 000	0.40 - 1.20	SM	A - 1b	0.00	0.00	NP	11.50
12 + 000	0.40 - 1.20	SM	A - 4	32.41	26.50	5.91	22.97
16 + 000	0.70 - 1.20	ML	A - 4	23.62	20.70	2.92	20.35
20 + 000	0.50 - 1.20	ML	A - 4	29.43	24.59	4.84	25.42
24 + 000	0.50 - 1.20	ML	A - 4	32.33	28.43	3.90	28.77
28 + 000	0.51 - 1.20	ML	A - 5	42.87	37.29	5.57	35.51
32 + 000	0.70 - 1.20	ML	A - 5	28.59	21.06	7.52	22.93
40 + 000	0.70 - 1.20	ML	A - 5	28.99	23.24	5.76	15.19
44 + 000	0.65 - 1.20	ML	A - 4	24.14	19.42	4.72	17.94
48 + 000	0.70 - 1.20	ML	A - 5	37.57	33.20	4.36	20.32
52 + 000	0.44 - 1.20	ML	A - 4	33.69	30.14	3.55	28.61
56 + 000	0.70 - 1.20	SM	A - 2 - 4	35.91	29.53	6.39	24.78
60 + 000	0.60 - 1.20	SM	A - 4	30.95	27.49	3.46	22.24
64 + 000	0.48 - 1.20	SM	A - 4	46.67	37.41	9.26	35.46
68 + 000	0.45 - 1.20	SM	A - 4	0.00	0.00	NP	30.16
72 + 000	0.45 - 1.20	SM	A - 4	27.90	22.24	5.66	14.77
76 + 000	0.50 - 1.20	GM	A - 1b	0.00	0.00	NP	19.69
80 + 000	0.55 - 1.20	SM	A - 7 - 5	49.26	34.15	15.11	26.42
84 + 000	0.55 - 1.20	ML	A - 4	39.35	29.27	10.08	32.03
88 + 000	0.42 - 1.20	SM	A - 4	35.38	28.23	7.15	23.07
92 + 000	0.51 - 1.20	SM	A - 4	0.00	0.00	NP	23.41
96 + 000	0.51 - 1.20	SC	A - 2 - 4	27.19	19.75	7.44	13.87

*Elaborado por: Lucía Paucar Naranjo*

Como base de estudio de laboratorio, el valor de CBR para las condiciones de campo de cada de subrasante se estima basado en la densidad y humedad del suelo. Con el ensayo de compactación en laboratorio se determina la densidad y húmeda óptima del suelo para efectuar el ensayo de CBR, a efecto de evaluar la posible condición “in situ”, se estimó la ubicación de la curva correspondiente a la humedad óptima

encontrada. En función de esto, el valor de CBR de la subrasante se determina a continuación.

**TABLA 6:** Resultado Ensayo de Resistencia CBR de Laboratorio

<b>RESULTADO DE ENSAYOS DE RESISTENCIA CBR DE LABORATORIO DE LA VÍA RIOBAMBA - ALAUSI 95km ENSAYO CBR MUESTRAS: SUBRASANTE A 0.30 - 1.20 DE PROFUNDIDAD</b>				
ABSCISA	PROFUNDIDAD (m)	TIPO DE SUELO		CBR LABORATORIO
		SUCS	AASTHO	
0 + 000	0.42 - 1.20	SM	A - 2a	13.00
4 + 000	0.38 - 1.20	SM	A - 2a	14.70
8 + 000	0.40 - 1.20	SM	A - 1b	13.30
12 + 000	0.40 - 1.20	SM	A - 4	15.30
16 + 000	0.70 - 1.20	ML	A - 4	8.20
20 + 000	0.50 - 1.20	ML	A - 4	11.00
24 + 000	0.50 - 1.20	ML	A - 4	10.30
28 + 000	0.51 - 1.20	ML	A - 5	19.35
32 + 000	0.70 - 1.20	ML	A - 5	14.30
40 + 000	0.70 - 1.20	ML	A - 5	19.54
44 + 000	0.65 - 1.20	ML	A - 4	17.50
48 + 000	0.70 - 1.20	ML	A - 5	18.56
52 + 000	0.44 - 1.20	ML	A - 4	15.80
56 + 000	0.70 - 1.20	SM	A - 2 - 4	14.30
60 + 000	0.60 - 1.20	SM	A - 4	13.70
64 + 000	0.48 - 1.20	SM	A - 4	11.00
68 + 000	0.45 - 1.20	SM	A - 4	7.10
72 + 000	0.45 - 1.20	SM	A - 4	12.30
76 + 000	0.50 - 1.20	GM	A - 1b	24.10
80 + 000	0.55 - 1.20	SM	A - 7 - 5	8.75
84 + 000	0.55 - 1.20	ML	A - 4	7.40
88 + 000	0.42 - 1.20	SM	A - 4	9.50
92 + 000	0.51 - 1.20	SM	A - 4	9.65
96 + 000	0.51 - 1.20	SC	A - 2 - 4	9.70

*Elaborado por: Lucía Paucar Naranjo*

Los resultados obtenidos con el ensayo PDC in situ son los siguientes:

**TABLA 6:** Resultado Ensayo de Resistencia PDC in situ

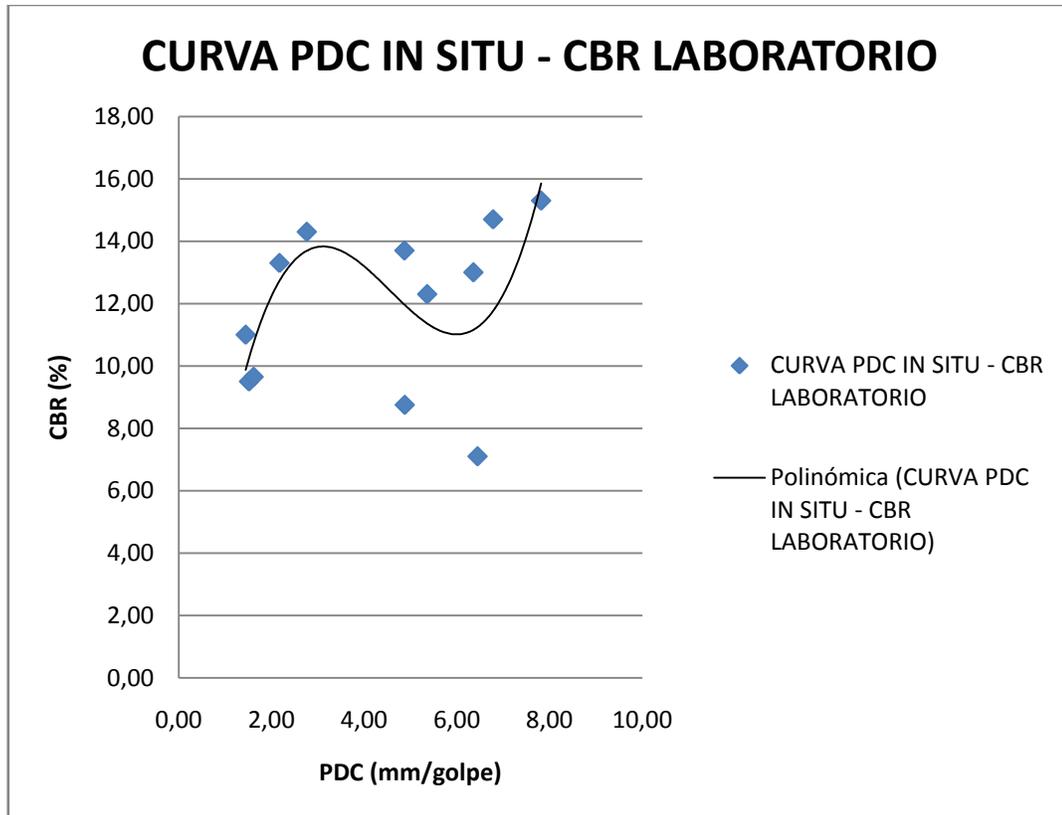
<b>RESULTADO DE ENSAYOS DE RESISTENCIA PDC IN SITU DE LA VIA RIOBAMBA - ALAUSI 95km ENSAYO PDC</b>				
<b>MUESTRAS: SUBRASANTE A 0.30 - 1.20 DE PROFUNDIDAD</b>				
<b>ABSCISA</b>	<b>PROFUNDIDAD (m)</b>	<b>TIPO DE SUELO</b>		<b>PDC IN SITU</b>
		<b>SUCS</b>	<b>AASTHO</b>	
0 + 000	0.42 - 1.20	SM	A - 2a	6.35
4 + 000	0.38 - 1.20	SM	A - 2a	6.78
8 + 000	0.40 - 1.20	SM	A - 1b	2.17
12 + 000	0.40 - 1.20	SM	A - 4	7.82
16 + 000	0.70 - 1.20	ML	A - 4	10.33
20 + 000	0.50 - 1.20	ML	A - 4	5.36
24 + 000	0.50 - 1.20	ML	A - 4	4.81
28 + 000	0.51 - 1.20	ML	A - 5	8.97
32 + 000	0.70 - 1.20	ML	A - 5	2.41
40 + 000	0.70 - 1.20	ML	A - 5	15.82
44 + 000	0.65 - 1.20	ML	A - 4	4.30
48 + 000	0.70 - 1.20	ML	A - 5	3.59
52 + 000	0.44 - 1.20	ML	A - 4	6.46
56 + 000	0.70 - 1.20	SM	A - 2 - 4	2.76
60 + 000	0.60 - 1.20	SM	A - 4	4.87
64 + 000	0.48 - 1.20	SM	A - 4	1.44
68 + 000	0.45 - 1.20	SM	A - 4	6.44
72 + 000	0.45 - 1.20	SM	A - 4	5.36
76 + 000	0.50 - 1.20	GM	A - 1b	5.77
80 + 000	0.55 - 1.20	SM	A - 7 - 5	4.87
84 + 000	0.55 - 1.20	ML	A - 4	5.21
88 + 000	0.42 - 1.20	SM	A - 4	0.00
92 + 000	0.51 - 1.20	SM	A - 4	1.61
96 + 000	0.51 - 1.20	SC	A - 2 - 4	3.25

*Elaborado por: Lucía Paucar Naranjo*

Con todos estos datos se determinó las gráficas de dispersión y ecuaciones para cada uno de los tipos de suelos encontrados:

**TIPO DE SUELO: SM**

*Gráfico 4.- Curva PDC – CBR suelo SM*



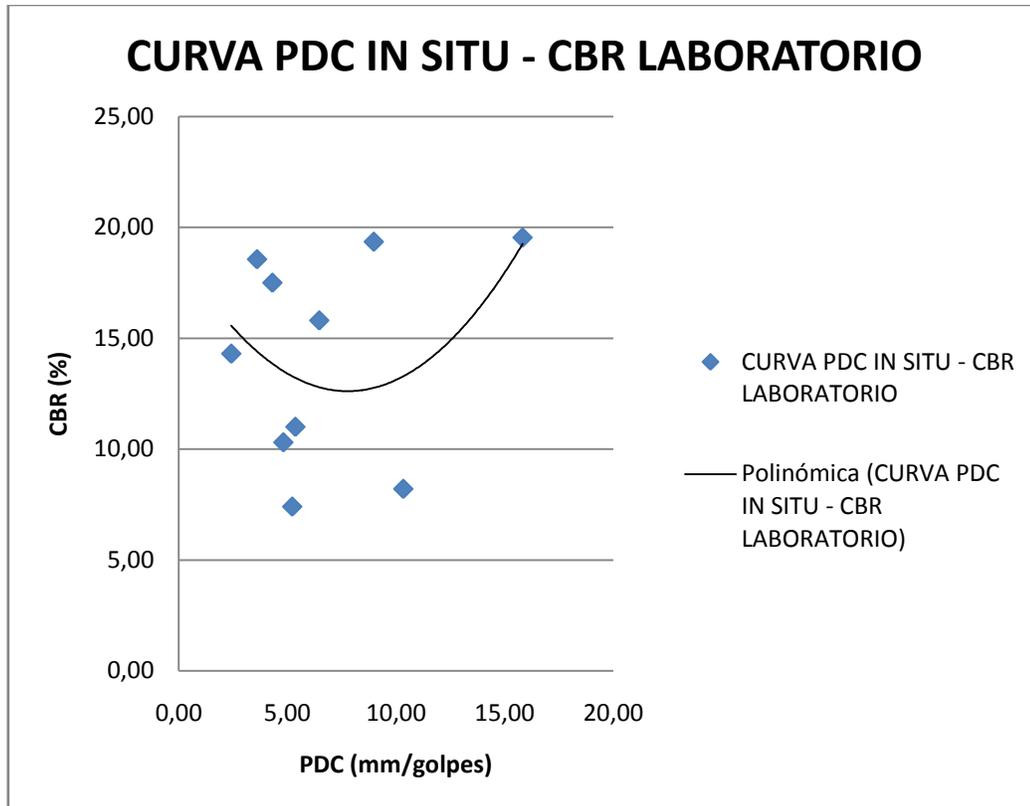
*Elaborado por: Lucía Paucar Naranjo*

$$CBR = 0.24PDC^3 - 3.22PDC^2 + 13.20PDC - 3.15$$

**COEFICIENTE DE CORRELACIÓN = 0.28**

TIPO DE SUELO: *ML*

Gráfico 5.- Curva PDC – CBR suelo *ML*



Elaborado por: *Lucía Paucar Naranjo*

$$CBR = 0.10PDC^2 - 1.60PDC + 18.82$$

**COEFICIENTE DE CORRELACIÓN = 0.23**

**TABLA 8:** Resultado de CBR a partir de las Ecuaciones de Correlación

<b>CBR OBTENIDO PARA CADA ABCISIA A PARTIR DE LAS ECUACIONES DETERMINADAS</b>						
<b>ABCISIA</b>	<b>PROFUNDIDAD (m)</b>	<b>TIPO DE SUELO</b>		<b>CBR LABORATORIO</b>	<b>PDC IN SITU</b>	<b>CBR TESIS</b>
		<b>SUCS</b>	<b>AASTHO</b>			
0 + 000	0.42 - 1.20	SM	A - 2a	13.00	6.35	<b>12.29</b>
4 + 000	0.38 - 1.20	SM	A - 2a	14.70	6.78	<b>13.13</b>
8 + 000	0.40 - 1.20	SM	A - 1b	13.30	2.17	<b>12.78</b>
12 + 000	0.40 - 1.20	SM	A - 4	15.30	7.82	<b>17.91</b>
16 + 000	0.70 - 1.20	ML	A - 4	8.20	10.33	<b>13.22</b>
20 + 000	0.50 - 1.20	ML	A - 4	11.00	5.36	<b>13.19</b>
24 + 000	0.50 - 1.20	ML	A - 4	10.30	4.81	<b>13.50</b>
28 + 000	0.51 - 1.20	ML	A - 5	19.35	8.97	<b>12.71</b>
32 + 000	0.70 - 1.20	ML	A - 5	14.30	2.41	<b>15.56</b>
40 + 000	0.70 - 1.20	ML	A - 5	19.54	15.82	<b>19.10</b>
44 + 000	0.65 - 1.20	ML	A - 4	17.50	4.30	<b>13.84</b>
48 + 000	0.70 - 1.20	ML	A - 5	18.56	3.59	<b>14.39</b>
52 + 000	0.44 - 1.20	ML	A - 4	15.80	6.46	<b>12.76</b>
56 + 000	0.70 - 1.20	SM	A - 2 - 4	14.30	2.76	<b>13.80</b>
60 + 000	0.60 - 1.20	SM	A - 4	13.70	4.87	<b>12.49</b>
64 + 000	0.48 - 1.20	SM	A - 4	11.00	1.44	<b>9.89</b>
68 + 000	0.45 - 1.20	SM	A - 4	7.10	6.44	<b>12.42</b>
72 + 000	0.45 - 1.20	SM	A - 4	12.30	5.36	<b>12.05</b>
76 + 000	0.50 - 1.20	GM	A - 1b	24.10	5.77	-
80 + 000	0.55 - 1.20	SM	A - 7 - 5	8.75	4.87	<b>12.48</b>
84 + 000	0.55 - 1.20	ML	A - 4	7.40	5.21	<b>13.27</b>
88 + 000	0.42 - 1.20	SM	A - 4	9.50	1.51	<b>10.27</b>
92 + 000	0.51 - 1.20	SM	A - 4	9.65	1.61	<b>10.76</b>
96 + 000	0.51 - 1.20	SC	A - 2 - 4	9.70	3.25	-

*Elaborado por: Lucía Paucar Naranjo*

## 5. DISCUSIÓN

De acuerdo a los resultados obtenidos en los ensayos citados se debería tomar para la caracterización de la subrasante los datos de CBR a muestra inalterada, debido a que estos reflejan las condiciones más representativas del suelo en la zona de estudio.

En tal motivo para tener datos reales se ha propuesto las ecuaciones ya presentadas apegándose a la realidad de los suelos de la provincia, asegurando de esta manera la calidad de pavimento a diseñar. Como se trabaja con datos reales y con muestras inalteradas, es decir condiciones reales de humedad debido a la gran importancia de esta al momento del diseño, se podrá tomar como un valor aceptable de CBR optimizando tiempo y recursos para su obtención.

Se descartará las correlaciones ya encontradas en otros países ya que no se apegan a la realidad de los suelos existentes en la zona de estudio (vía Riobamba – Alausí). Para la aplicación de las ecuaciones de correlación es de vital importancia el análisis de suelos (granulometría, límites de Atterberg, densidad y humedad de cada muestra tomada), es decir, posea las mismas característica y clasificación de suelos.

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1. Conclusiones

- La utilización de herramientas evaluativas como el Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC), permite acceder en forma fácil y rápida a una apreciación de las propiedades constructivas de los suelos de subrasante y de las capas del pavimento como humedad y CBR de diseño.
- Los resultados obtenidos se asemejan a los resultados de campo mediante el uso del Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC), teniendo variaciones por la presencia de humedad; ya que no es lo mismo trabajar con muestras alteradas (CBR) que con condiciones reales del terreno (PDC).
- Las ecuaciones que se presentan se pueden adaptar a la realidad de los distintos tipos de suelo de la vía Riobamba – Alausí, dando de esta manera una alternativa para el cálculo del CBR de diseño evitándose realizar el ensayo en laboratorio del mismo.
- La poca variación de los valores de laboratorio y los valores encontrados a partir de las ecuaciones de correlación de cada tipo de suelo por medio el ensayo de penetración in situ indican un ligero cambio del comportamiento del suelo de arena limosa y limos ante la variación del contenido de humedad.
- Con la aplicación del método de penetración in situ y las ecuaciones de correlación presentadas para suelos SM (arenas limosas) y ML (limos inorgánicos), se optimiza tiempo y recursos en la determinación de la capacidad portante del suelo.

## 6.2. Recomendaciones

- En procesos constructivos, el control de calidad por medio del PDC permite una mayor agilidad en la aprobación de las capas del pavimento, siendo un medio eficaz para ser utilizado tanto por el contratista en el control de calidad como por el supervisor en el aseguramiento de la misma.
- Para poder utilizar en forma unificada las ecuaciones correspondientes, de acuerdo al tipo de suelo, se deberá efectuar estudios más exhaustivos que posibiliten una mejor apreciación de las propiedades de los mismos, basados en resultados estadísticos. La implementación del uso del PDC permitirá ajustes que mejorarán las correlaciones correspondientes.
- La utilización de métodos de penetración para la evaluación de suelos es utilizado constantemente a nivel internacional. Con la implementación de este método en nuestra provincia se podrá minimizar los tiempos de evaluación de los distintos procesos de diseño, control de calidad propiedades de resistencia del suelo.
- Las ecuaciones de correlación presentadas en esta tesis no deben ser utilizadas indiscriminadamente, servirán únicamente para los tipos de suelos según la clasificación SUCS Areno limoso (SM) y para limos inorgánicos de baja compresibilidad (ML).

## 7. PROPUESTA

### 6.3. Título de la propuesta

“DETERMINACIÓN DE LA ECUACIÓN DE CORRELACIÓN ENTRE LOS ENSAYOS CBR DE LABORATORIO Y PDC IN SITU PARA LOS TIPOS DE SUELOS DE LA SUBRASANTE DE LA VIA RIOBAMBA – ALAUSI”

### 6.4. Introducción

Debido a la variada estratificación que se tiene en la provincia es necesario considerar la resistencia o capacidad portante del suelo como de vital importancia para el desarrollo de distintos proyectos de ingeniería, para esto es necesario realizar ensayos que determinen la resistencia del suelo de apoyo, información que permite definir las características generales y específicas de cada tipo de suelo. Dichos ensayos varían de acuerdo a su complejidad y costos, por lo que, se requiere utilizar métodos alternativos para obtener los resultados requeridos con los medios y recursos disponibles.

La mayor dificultad que existe para los consultores o constructores de obras de ingeniería es que no existe una ecuación que relacione los ensayos de CBR y PDC que permita conocer o determinar la resistencia o capacidad portante del suelo de fundación, aplicable a suelos de nuestro medio.

Esta investigación busca determinar las ecuaciones de correlación para los distintos tipos de suelo que se encuentran a lo largo de la vía, se podrá determinar la **Relación de Soporte del Suelo** correlacionando el **CBR de Laboratorio** con el **Penetrómetro Dinámico de Cono PDC**, pudiendo establecer si existen variaciones

significativas con respecto a los resultados obtenidos con las ecuaciones planteadas por diferentes autores, por lo que, se planteará ecuaciones propias para cada uno de los tipos de suelos encontrados.

Esperando que este trabajo aporte al mejoramiento de la calidad de los trabajos que se realizan en el campo vial, el cual tiene como objetivo presentar una metodología de uso común a nivel provincial, pero que es de poco conocimiento y utilización en el medio. Cabe destacar, que el costo de la misma la coloca al alcance de todos los que requieran este tipo de trabajos.

## **6.5. Objetivos**

### **6.5.1. GENERAL**

Determinar la ecuación de correlación entre los ensayos CBR de laboratorio y PDC in situ de la subrasante de la vía Riobamba – Alausí.

### **6.5.2. ESPECÍFICOS**

- Recopilar información de campo necesaria para la obtención de los parámetros necesarios.
- Tabular los resultados obtenidos en los ensayos realizados.
- Establecer mediante la clasificación SUCS el tipo de suelo de las muestras tomadas a lo largo de la vía Riobamba – Alausí.
- Establecer la ecuación de correlación entre los ensayos de CBR y PDC

## **6.6. Fundamentación Científico –Técnica**

La capacidad portante o resistencia de la subrasante se obtendrá mediante la correlación del ensayo PDC con el CBR de laboratorio.

El empleo de un dispositivo simple, de rápido manejo y bajo costo de operación que permita estimar de manera indirecta el CBR del suelo como un índice aceptable de confiabilidad, surge entonces como una alternativa válida para los diseñadores de vías.

El Penetrómetro dinámico de cono brinda una respuesta satisfactoria a esta necesidad, tal como lo confirman los resultados de la investigación realizada. El ensayo que se realiza de manera sencilla, consiste en medir con ayuda de una escala que trae el aparato la cantidad de milímetros que penetra la varilla para un determinado número de golpes, escogido de acuerdo con la resistencia de los estratos que se van presentado en cada penetración.

La curva Número de golpes vs. Profundidad o curva PDC representa el índice del equipo en profundidad. Cada ensayo en suelos da lugar a una recta representativa cuya pendiente que recibe el nombre de índice de penetración o numero PDC da una medida de su resistencia.

La caracterización geotécnica de los materiales que conforman la subrasante está dada por:

- Granulometría

En la actualidad el sistema más popular de clasificación de suelos es el propuesto por Arturo Casagrande y conocido con el nombre de Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

El sistema clasifica a los suelos finos principalmente basándose en sus características de plasticidad, cuya correlación con las propiedades mecánicas básicas es consistente y confiable.

Otro de los sistemas de clasificación de suelos es el de la Asociación Americana de Vías Estatales y Oficiales de Transporte (AASHTO) se basa en el comportamiento observado en campo de suelos de subrasante bajo los pavimentos viales.

**TABLA 9:** Clasificación SUCS y AASHTO

AASHTO	SUCS
A-1-a	GW, GP, GM
A-1-b	SW, SM
A-2-4	GM, SM
A-2-5	GM, SM
A-2-6	GC, SC
A-2-7	GC, SC
A-3	SP
A-4	ML, OL
A-5	MH
A-6	CL
A-7-5	CL, OL
A-7-6	CH, OH

Las características del suelo encontrado en la zona de estudio fue: suelo compuesto por depósitos de arenas limosas y limos de baja compresibilidad, de acuerdo a los ensayos realizados este material se clasifica como SM y ML respectivamente.

- Límites de Atterberg

LL.- denominado como el contenido de agua de un suelo (expresado en porcentaje de peso seco) que posee una consistencia tal que una muestra a la que se le ha practicado una ranura, al sujetarse al impacto de varios golpes, se cierra sin que el suelo resbale sobre su apoyo. Este ensayo es poco significativo en arena y en aquellos suelos que tienen Límite Líquido bajo.

LP.- es el contenido de agua (expresado en porcentaje del peso seco) con el cual se agrieta un cilindro de material de 1/8" de diámetro al rodarse con la palma de la mano sobre una superficie lisa. Un cambio muy importante en la capacidad de soportar cargas tiene lugar en el Límite Plástico. La capacidad de soportar cargas aumenta rápidamente cuando el contenido de humedad disminuye por debajo del LP y disminuye rápidamente cuando el contenido de humedad sobrepasa en LP.

INDICE PLASTICO.- el IP es el más importante de los índices que se derivan de los resultados de los límites de Atterberg, se define como la diferencia numérica entre límite líquido y límite plástico.

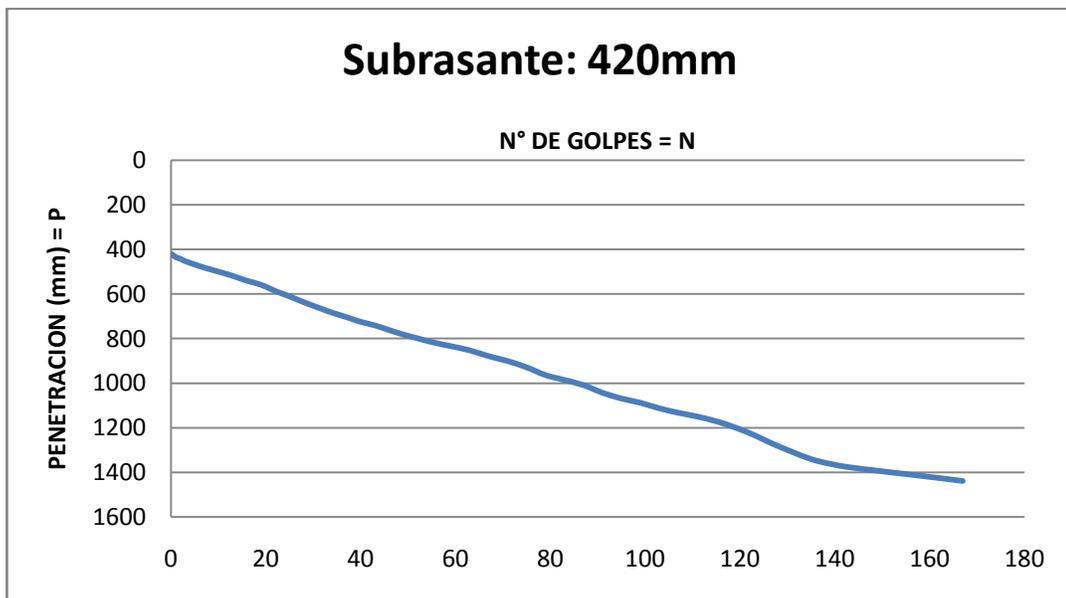
**PROPIEDADES DE ESFUERZO – DEFORMACION:**

- Prueba in situ de Penetración por Cono dinámico de acuerdo a la Norma ASTM D 6951-03

**Penetrómetro Dinámico de Cono PDC.-** Este método de ensayo se usa para evaluar la resistencia in situ de suelos inalterados y/o materiales compactados. La rata de penetración del PDC de 8 kg puede ser utilizada para estimar el CBR, puede identificar los espesores de las capas; así como para estimar la resistencia al corte de las capas y otras características de los materiales que las constituyen.

La curva característica del ensayo relaciona el Número de golpes vs. Penetración, siendo el número PDC la pendiente de dicha curva, a continuación se muestra una curva característica perteneciente a la Abscisa 0 + 000:

*Gráfico 6: Curva característica ensayo PDC*

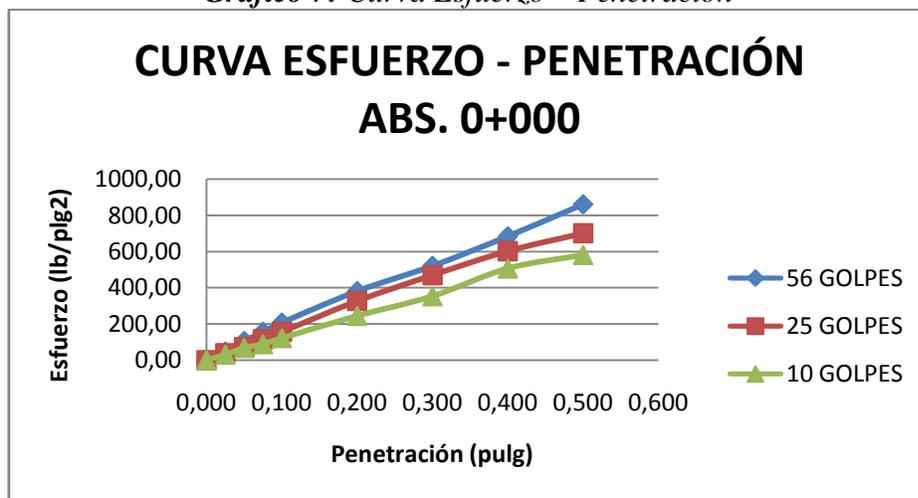


- CBR de acuerdo a la norma AASHTO T193-63y ASTM D 1883

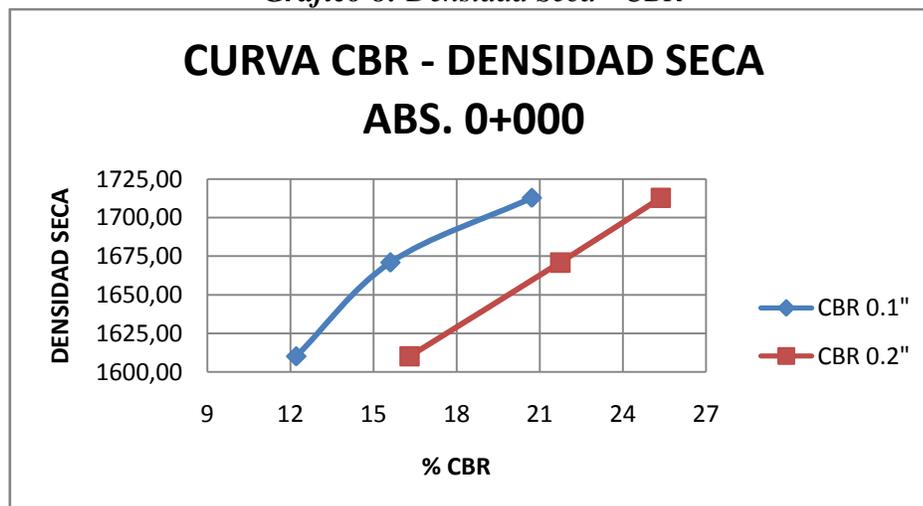
**Relación de Soporte del suelo CBR.-** este método de prueba se emplea para evaluar la resistencia potencial de materiales de subrasante, subbase y base, incluyendo materiales reciclados para empleo de pavimentos de carreteras. El valor de CBR obtenido en esta prueba forma parte integral de varios métodos de diseño de pavimentos flexibles.

Cada tipo de suelo muestra dos curvas características en la obtención del CBR o resistencia del suelo, se presenta a continuación la curva perteneciente a la Abscisa 0 + 000 de la Vía Riobamba – Alausí:

*Gráfico 7: Curva Esfuerzo – Penetración*



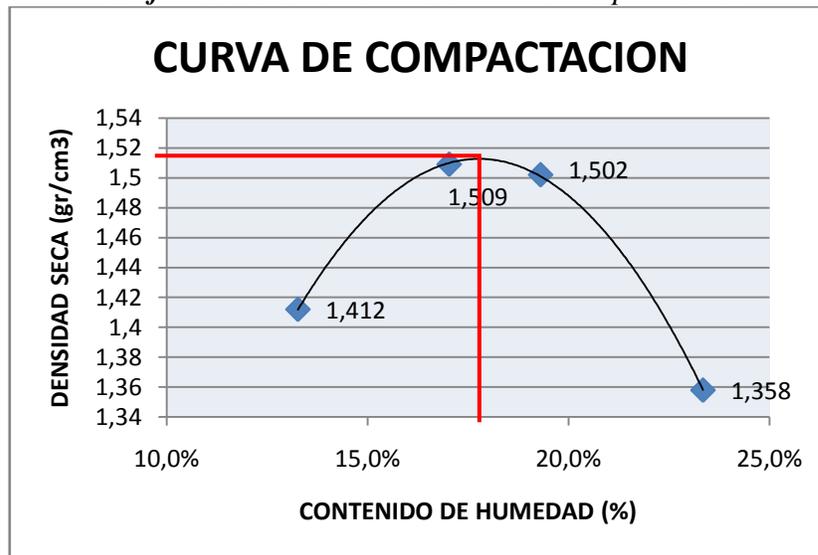
*Gráfico 8: Densidad Seca - CBR*



- Compactación del suelo Proctor estándar (densidad máxima – humedad óptima) según la Norma AASHTO T 99 y ASTM D 698

La compactación se la realiza de acuerdo a las Normas ya antes mencionadas, obteniéndose la siguiente curva característica de humedad óptima – densidad máxima de la Abscisa 0 + 000 de la vía Riobamba – Alausí:

*Gráfico 9: Curva característica de Compactación*



### CONCEPTUALIZACION DE CAPACIDAD DE SOPORTE

Las características mecánicas del suelo se obtendrán a partir del valor relativo de soporte correlacionado con el índice de penetración del cono dinámico PDC. El ensayo de valor relativo de soporte CBR es una medida de la resistencia del suelo al esfuerzo cortante de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas en forma cuidadosa. Este valor de resistencia frente al régimen de cargas de repetición impuestas por el tránsito de uso.

Este método de ensayo cubre la medida de la rata de penetración del Penetrómetro dinámico de cono PDC con un martillo de 8kg, a través de un suelo inalterado o de materiales compactados. La rata de penetración puede ser relacionada con valores de

resistencia in situ o en laboratorio, tal como el CBR (California Bearing Ratio). La masa unitaria del suelo también puede ser estimada si se conoce el tipo de suelo y su contenido de humedad. El PDC descrito en este método de ensayo es típicamente utilizado en aplicaciones relacionadas con pavimentos.

Mientras las correlaciones recomendadas por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos y de los distintos autores serán descartados debido a que no presentan un grado de confiabilidad aceptable ya que no todos los suelo tienen un mismo comportamiento ni mucho menos las mismas características.

### **CORRELACION Y COEFICIENTE DE PEARSON**

El índice numérico más común usado para medir una correlación es el “Coeficiente de Pearson”. El coeficiente de Pearson también llamado coeficiente de correlación del producto momento, proporciona una medida numérica de la correlación entre dos variables.

El coeficiente de Pearson indica si dos variables parecen estar correlacionadas o no, la fuerza de la aparente relación y si la aparente relación es positiva o negativa.

Con los resultados obtenidos se tiene una correlación positiva.

- **Correlación positiva perfecta.-** Una relación entre dos variables perfectamente lineal y directa, de tal manera que un cambio en una variable permite predecir perfectamente el cambio en la otra. Las dos variables se mueven en la misma dirección.
- **Correlación positiva.-** relación entre dos variables que muestran que ambas aumenta o disminuyen simultáneamente.

- **Correlación negativa.-** relación entre dos variables que muestra que una variable disminuye conforme otra aumenta.
- **Correlación negativa perfecta.-** Una relación entre dos variables perfectamente lineal, pero inversa, de tal manera que un cambio en una variable permite predecir perfectamente el cambio en la otra. Sin embargo, las dos variables se mueven en direcciones opuestas.
- **Coefficiente de correlación.-** Medida estadística que analiza el grado de dependencia entre dos variables, es decir, cómo se verá afectada una variable determinada, conociendo la variación de una segunda variable. Este coeficiente toma valores entre -1 y 1, indicando si existe una dependencia directa (coeficiente positivo) o inversa (coeficiente negativo) siendo el 0 la independencia total. Es la raíz cuadrada del coeficiente de determinación.

## **6.7. Descripción de la propuesta**

La investigación pretende determinar las ecuaciones de correlación entre PDC in situ y CBR de laboratorio de los distintos tipos de suelos encontrados a lo largo de la vía Riobamba – Alausí.

Se recopilará información necesaria para la realización de la misma como es: ensayos de granulometría para la clasificación de suelos, límites de Atterberg, ensayo de compactación, CBR de laboratorio y PDC in situ.

El tiempo necesario para la obtención de las ecuaciones será de dos meses hasta recopilar la información necesaria y tabularla. Los recursos dado el apoyo del Ministerio de Transporte y Obras Públicas serán mínimos.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- ALVA Jorge y TUPIA Carlos. “Evaluación de la Capacidad de Soporte del Terreno por Medio de un Equipo de Penetración Dinámica”. XI Congreso Ibero – Latinoamericano del Asfalto. Noviembre 2001.
- BERDITCHEVSKY Gabriel. “Manual de Procedimientos de Ensayos de Laboratorio”. Louis Berger International, INC San Salvador, Agosto de 1995.
- Manuales AASHTO. STANDARD SPECIFICATIONS FOR TRANSPORTATION MATERIALS AND METHODS OF SAMPLING AND TESTING. Parte II 17ta. Edición Test 1995.
- RICO Alfonso y DEL CASTILLO Hermilo. “Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres”. VOL 1. Editorial Limusa, grupo Noriega Editores, 1er. Edición México 1974.
- STANDARD METHOD OF TEST FOR THE CALIFORNIA BEARING RATIO AASHTO DESIGNATION T 193 – 93.

## **9. APÉNDICES Y ANEXOS**

- 9.1. ANEXO 1: ENSAYOS DE GRANULOMETRIA
- 9.2. ANEXO 2: ENSAYOS DE COMPACTACION
- 9.3. ANEXO 3: ENSAYO CBR
- 9.4. ANEXO 4: ENSAYO PDC
- 9.5. ANEXO 5: CUADRO RESUMEN DE TIPOS DE SUELOS Y CARACTERISTICAS
- 9.6. ANEXO 6: CUADRO CLASIFICACION DE SUELOS SUCS
- 9.7. ANEXO 7: CUADRO CLASIFICACION DE SUELOS AASHTO
- 9.8. ANEXO 8: MAPA VIAL DE LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO. VÍA RIOBAMABA – ALAUSI (TIPOS DE SUELOS)



**ANEXO 1:**  
**ENSAYOS DE GRANULOMETRIA**

**ANEXO 2:**  
**ENSAYOS DE COMPACTACION**

**ANEXO 3:**  
**ENSAYO CBR**

**ANEXO 4:**  
**ENSAYO PDC**