

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



**“ANÁLISIS DE RELACIÓN PDC Y CBR INALTERADO
PARA SUELOS ARCILLOSOS”**

POR:

ALVARO RYDER ZUAZO MAMANI

FEBRERO DEL 2012

TARIJA – BOLIVIA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



**“ANÁLISIS DE RELACIÓN PDC Y CBR INALTERADO
PARA SUELOS ARCILLOSOS”**

POR:

ALVARO RYDER ZUAZO MAMANI

PROYECTO DE GRADO ELABORADO EN LA ASIGNATURA CIV 502

PROYECTO DE INGENIERIA CIVIL II

FEBRERO DEL 2012

TARIJA – BOLIVIA

HOJA DE ÉTICA DE AUTORÍA DEL PROYECTO

El presente Proyecto ha sido elaborado con la finalidad de solucionar el problema que se refiere al costo y tiempo para la evaluación de las propiedades de resistencia del terreno, lo que nos lleva a desarrollar el siguiente trabajo, ya que el CBR inalterado se utiliza tanto para evaluar la sub-rasante, como para el diseño, y será una herramienta de gran utilidad en el trabajo de campo

Tras varios meses de ensayos y análisis se ha obtenido una ecuación, la cuál fue el mejor ajuste a diferentes modelos matemáticos de regresión, que permita una evaluación de la resistencia del terreno, con el cuál se pueda reducir el tiempo y el costo para obtener el CBR inalterado de un suelo, mediante el N° de golpes del PDC, y solamente a este tipo de información se aplica esta ecuación

Los criterios, resultados y análisis encontrados en este trabajo, son de exclusiva responsabilidad de mi persona en calidad de autor.

Espero que usted gentil lector, encuentre de mucha utilidad el fruto de mi esfuerzo y le pido que siempre que haga uso de la información de este trabajo, sepa usted referir la fuente original de la cual fue extraída.

El tribunal calificador del presente proyecto, no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en el presente trabajo, siendo las mismas únicamente responsabilidad del autor

DEDICADO A:

MI FAMILIA, QUE CREYERON EN MÍ Y ME APOYARON EN TODO MOMENTO

MI NOVIA, QUE ESTUVO Y ESTÁ CONMIGO EN LOS BUENOS Y MALOS MOMENTOS

AGRADECIMIENTOS

A LOS DOCENTES DE LA MENCION DE TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE COMUNICACIÓN, POR HABERME ASESORADO EN LA REALIZACIÓN DE ESTE PROYECTO

A MI MADRE Y HERMANA, QUE ME APOYARON INCONDICIONALMENTE

A MI NOVIA, POR EL REGALO MAS PRECIOSO QUE ES EL AMOR

V° B°

Ing. Msc. Luis Alberto Yurquina F.

DECANO
Facultad de Ciencias y Tecnología

Lic. Msc. Gustavo C. Succi Aguirre

VICEDECANO
Facultad de Ciencias y Tecnología

Aprobado por:

Tribunal

Ing. Msc. Luis Alberto Yurquina F

Ing. Moisés Díaz Ayarde

Ing. Ada López Rueda

TEMARIO

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ÍNDICE DE TABLAS

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1.-Introducción.....	1
1.2.-Antecedentes.....	2
1.3.-Establecimiento del problema.....	2
1.3.1.-Objeto de estudio.....	3
1.3.2.-Campo de acción.....	3
1.4.- Justificación.....	3
1.5.- Objetivos.....	4
1.5.1.-Objetivo General.....	4
1.5.2.-Objetivos Específicos.....	4
1.6.- Hipótesis.....	4
1.7.- Alcance.....	5
1.8.- Medios.....	6
1.9.- Diseño Teórico-Metodológico.....	7

CAPÍTULO II. DIAGNÓSTICO O CONOCIMIENTO PREVIO

2.1.-Análisis estadístico.....	8
2.1.1.-Población.....	9
2.1.2.-Muestra.....	9
2.1.3.-Muestreo.....	10
2.1.3.1.-Tipos de muestreo.....	10
2.1.4.-Variables y atributos.....	11
2.1.5.-Formas de observar a la población.....	11
2.1.6.-Datos estadísticos.....	13
2.1.6.1.-Clasificación de los datos estadísticos.....	13
2.1.7.- Medidas de tendencia central.....	13
2.1.7.1.- Media aritmética.....	14
2.1.7.1.1.-Media aritmética ponderada.....	14
2.1.7.2.-La mediana.....	15
2.1.7.2.1.-La mediana cuando los datos no están agrupados en intervalos.....	15
2.1.7.2.2.-La mediana cuando la información se encuentra agrupada en intervalos.....	16
2.1.7.3.-La moda.....	16
2.1.7.3.1.-La moda cuando los datos no están agrupados en	

intervalos.....	17
2.1.7.3.2.-Cálculo de la moda cuando la información está agrupada en intervalos.....	17
2.1.8.-Medidas de dispersión.....	17
2.1.8.1.- Rango o recorrido.....	18
2.1.8.2.-Desviación estándar.....	18
2.1.8.3.-Varianza.....	19
2.1.8.4.-Coeficiente de variabilidad.....	20
2.1.8.5.- Covarianza.....	20
2.1.9.- Coeficiente de correlación.....	21
2.1.10.-Depuración de datos.....	23
2.1.11.-Gráficas de dispersión.....	23
2.1.12.-Ajuste parabólico (método mínimos cuadrados).....	24
2.1.12.1.-Tipos de curvas.....	25
2.2.-Suelos Arcillosos.....	25
2.2.1.-Composición química.....	27
2.2.2.-Clasificación.....	29
2.2.3.-Propiedades físico-químicas.....	30
2.2.3.1.-Superficie específica.....	30
2.2.3.2.-Capacidad de intercambio catiónico.....	31
2.2.3.3.-Capacidad de absorción.....	32
2.2.3.4.-Hidratación e hinchamiento.....	33
2.2.3.5.-Plasticidad.....	33
2.2.3.6.-Tixotropía.....	35
2.3.-Porcentaje de Humedad.....	35
2.3.1.-Método del horno.....	35
2.4.- Análisis Granulométrico de los suelos.....	36
2.4.1.-Límites de tamaño para suelos.....	38
2.4.2.-Método del lavado.....	38
2.5.-Límites de Atterberg.....	40
2.5.1.-Límite Líquido.....	41
2.5.1.1.-Procedimiento.....	41
2.5.2.-Límite Plástico.....	44
2.5.2.1.-Prodedimiento.....	44
2.5.3.-Índice Plástico.....	46
2.6.-Clasificación de suelos.....	47
2.6.1.-Sistema de Clasificación de suelos AASHTO.....	47
2.6.2.-Sistema de Clasificación de suelos SUCS.....	53
2.7.-CBR-inalterado.....	59
2.7.1.-Método para muestras inalteradas.....	59
2.7.2.-Determinación de la Expansión del material.....	60

2.7.3.-Determinación del CBR.....	60
2.7.4.-Valores referenciales de CBR, usos y suelos.....	63
2.7.5.-Hinchamiento vs CBR.....	64
2.8.-Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC).....	64
2.8.1.-Uso y significado.....	65
2.8.2.-Características del equipo PDC.....	65
2.8.3.-Tolerancias a cumplirse.....	67
2.8.4.-Verificación del equipo y operación básica.....	67
2.9.-Densidad in Situ-Método del cono de arena.....	68
2.9.1.-Calibración del frasco.....	69
2.9.2.-Calibración de la arena.....	69
2.9.3.-Metodología en el campo.....	69

CAPÍTULO III-INVESTIGACIÓN PDC-CBR INALTERADO

3.1.-Principios de la investigación.....	71
3.2.-Hipótesis.....	73
3.3.- Identificación de las zonas de muestreo.....	73
3.4.- Tipos de muestras.....	77
3.5.-Materiales a utilizar en la investigación.....	79
3.5.1.-Ensayos de caracterización.....	80
3.5.1.1.- Porcentaje de Humedad.....	80
3.5.1.1.1.-Procedimiento.....	80
3.5.1.1.2.-Resultados.....	82
3.5.1.2.- Granulometría.....	83
3.5.1.2.1.-Procedimiento.....	83
3.5.1.2.2.-Resultados.....	86
3.5.1.3.- Límites de Atterberg.....	87
3.5.1.3.1.-Procedimiento.....	87
3.5.1.3.2.-Resultados.....	94
3.5.1.4.- Clasificación método AASHTO y SUCS.....	95
3.5.1.4.1.-Procedimiento.....	95
3.5.1.4.2.-Resultados.....	95
3.5.1.5.-Porcentaje de Expansión.....	96
3.5.1.5.1.-Procedimiento.....	96
3.5.1.5.2.-Resultados.....	97
3.5.2.-Ensayos de resistencia.....	98
3.5.2.1.- CBR (inalterado).....	98
3.5.2.1.1.-Procedimiento.....	98
3.5.2.1.2.-Resultados.....	99
3.5.2.2.- Densidad in Situ.....	100
3.5.2.2.1.-Procedimiento.....	100

3.5.2.2.2.-Resultados.....	102
3.5.2.3.- PDC.....	103
3.5.2.3.1.-Procedimiento.....	103
3.5.2.3.2.-Resultados	105
3.6.- Medidas de tendencia central.....	106
3.6.1.-Media aritmética.....	106
3.6.2.-Mediana.....	107
3.6.3.-Moda.....	107
3.7.-Medidas de dispersión.....	108
3.7.1.-Rango.....	109
3.7.2.-Desviación media.....	109
3.7.3.-Varianza.....	109
3.7.3.1.-Poblacional.....	109
3.7.3.2.-Muestral.....	110
3.7.4.-Desviación estándar.....	110
3.7.5.-Coeficiente de variación.....	110
3.8.-Depuración de datos.....	111
3.9.-Grafica de dispersión de puntos.....	113
3.10.-Elección del modelo.....	113
3.11.-Ajuste de curva	115
3.12.- Análisis de correlación.....	117
3.12.1.-Coeficiente de correlación.....	117
3.12.2.-coeficiente de determinación.....	117

CAPÍTULO IV-CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1.-Conclusiones.....	118
4.2.-Recomendaciones.....	121

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

A.1.-PORCENAJE DE HUMEDAD

A.2.-GRANULOMETRÍA

A.3.-LÍMITES DE ATTERBERG

A.4.- EXPANSIÓN

A.5.- CBR INALTERADO

A.6.- DENSIDAD IN SITU

A.7.- PDC

A.8.- MEMORIA FOTOGRÁFICA

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla1-Coeficiente de correlación.....	22
Tabla2-Superficies de las arcillas.....	31
Tabla3-Capacidad de intercambio catiónico de las arcillas.....	32
Tabla4- Porcentaje de Humedad.....	36
Tabla5-Granulometría.....	39
Tabla6-Límite Líquido.....	44
Tabla7-Límite Plástico.....	46
Tabla8-Expansión.....	62
Tabla9-CBR.....	62
Tabla10-PDC.....	67
Tabla11-Denidad in Situ.....	70
Tabla12- Porcentajes de Humedad de las muestras.....	82
Tabla13-Granulometría de las muestras.....	86
Tabla14-Límites de Atterberg de las muestras.....	94
Tabla15-Clasificación de las muestras.....	95
Tabla16- Porcentaje de Expansión.....	97
Tabla17-CBR inalterado de los puntos de muestreo.....	99
Tabla18-Densidad in Situ en los puntos de muestreo.....	102
Tabla19-PDC en los puntos de muestreo.....	105
Tabla20- Distribución de frecuencia simple.....	106
Tabla21-Valores para la mediana.....	107
Tabla22- Datos para análisis de dispersión.....	108
Tabla23- Depuración de datos.....	112
Tabla24-Datos para mínimos cuadrados.....	115
Tabla25-Valores de las constantes de la ecuación polinómica.....	116

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura1-Tipos de moda.....	16
Figura2-Tipos de correlación.....	22
Figura3-Dispersion de datos.....	23
Figura4-Curvas monotónicas y no monotónicas.....	25
Figura5-Esquema de unidades estructurales.....	28
Figura6-Clasificación de las arcillas.....	29
Figura7-Relación entre IP y Expansión.....	34
Figura8-Tamaño de abertura de tamices.....	37
Figura9-Métodos de clasificación de suelos.....	38
Figura10-Gráfica en escala semi-logarítmica Granulometría.....	39
Figura11-Gráfica de los estados del suelo.....	40
Figura12-Suelo antes y después de los golpes.....	42
Figura13-Equipo Casagrande.....	43
Figura14-Gráfica en escala semi-logarítmica Límite Líquido.....	43
Figura15-Pasos para Límite Plástico.....	45
Figura16-Altura de las muestras para Límite Plástico.....	45
Figura17-Relación plasticidad con IP.....	46
Figura18-Carta de plasticidad AASHTO.....	51
Figura19-Sistema de Clasificación AASHTO.....	52
Figura20-Sistema de Clasificación SUCS.....	56
Figura21-Carta de plasticidad SUCS.....	57
Figura22-Modelo de Clasificación SUCS.....	58
Figura23-Profundidad de penetración para lecturación de datos.....	61
Figura24-Valores típicos de CBR.....	63
Figura25-Valores referenciales de CBR en función de su clasificación.....	64
Figura26-Características del PDC.....	66
Figura27-Características del cono (PDC).....	66
Figura28-Partes del cono (PDC).....	67
Figura29-Foto Torrecillas.....	73
Figura30-Foto Portillo.....	74
Figura31-Foto San Blas.....	74
Figura32-Foto Nueva Esperanza.....	75
Figura33-Foto Paraíso.....	75
Figura34-Foto Erquis.....	76
Figura35-Forma de muestreo sistemática.....	76
Figura36-Profundidad de los muestreos.....	78
Figura37-Tipos de suelos.....	79
Figura38-Muestra de suelo para Porcentaje de Humedad.....	80
Figura39-Cápsulas.....	80

Figura40-Balanza de 0.01 de precisión.....	81
Figura41-Horno + Cápsulas.....	81
Figura42-Horno eléctrico.....	83
Figura43-Muestra en el horno para Granulometría.....	83
Figura44-Lavado del material.....	84
Figura45-Muestra lavada en el horno.....	84
Figura46-Tamices para material fino.....	85
Figura47-Tamizado del material.....	87
Figura48-Platos y espátula.....	87
Figura49-Equipo Casagrande.....	88
Figura50- Muestra en la copa del equipo Casagrande.....	88
Figura51-Equipo Casagrande + Muestra ranurada.....	89
Figura52-Porción de la mezcla que se unió 1 centímetro.....	89
Figura53-Mezcla en cápsula para poner al horno.....	90
Figura54-Cápsula en el horno.....	90
Figura55-Posillo + Espátula.....	91
Figura56-Material amasado con la mano.....	91
Figura57-Base de vidrio.....	91
Figura58-Muestra con altura de 3 milímetros.....	92
Figura59-Muestra + Cápsula para poner al horno.....	92
Figura60-Cápsulas en el horno.....	93
Figura61-Equipo de Expansión.....	96
Figura62-Equipo de CBR eléctrico.....	98
Figura63-Muestra extraída del hueco.....	100
Figura64-Cono de arena con válvula abierta.....	101
Figura65-Arena después de cerrar la válvula.....	101
Figura66-PDC al lado del lugar donde se realizó Densidad in Situ.....	103
Figura67-PDC en punto 0.....	104
Figura68- Distribución de frecuencia simple.....	107
Figura69- Límites de tolerancia.....	111
Figura70- Gráfica de dispersión de puntos.....	113
Figura71-Modelo polinómico.....	114
Figura72- Modelo de regresión ajustado.....	116
Variación de humedad en el corazón de la muestra.....	119

LISTA DE SÍMBOLOS

C.-Arcilla.

Cáp.-Cápsula.

CBR.-Prueba de penetración de California.

CC.-Coeficiente de curvatura.

CU.-Coeficiente de uniformidad.

DCP.-Taza de penetración.

D10.-diámetro efectivo, que es el tamaño correspondiente al 10% en la curva granulométrica.

D30.-Diámetro efectivo, que es el tamaño correspondiente al 30% en la curva granulométrica.

D60.-Diámetro efectivo, que es el tamaño correspondiente al 60% en la curva granulométrica.

G.-Grava.

IG.-Índice de grupo.

IP.-Índice plástico.

LL.-Límite líquido.

LP.-Límite plástico.

NP.-No plástico.

Nº10.-Número 10.

Nº40.-Número 40.

N°100.-Número 100.

N°200.-Número 200.

PDC.-Penetrómetro Dinámico de Cono.

PR.-Taza de penetración.

SH.-Suelo húmedo.

SS.-Suelo seco.

S.-Arena.

Wh.-Peso de la muestra húmeda.

Ws.-Peso de la muestra seca.

Γ húmeda.-Densidad húmeda.

%.-porcentaje.

%w.-Porcentaje de humedad.

GLOSARIO

AASHTO.-Asociación americana de vías estatales y oficiales de transporte.

Arcilla figulina: es aquella que contiene impurezas como la arena, la caliza y los óxidos de hierro.

Arcilla refractaria.-Es rica en óxidos metálicos y tiene la propiedad de ser muy resistente al calor.

Arcilla roja.- Ésta clase la integra generalmente un depósito de tipo marino formado por los restos de materiales calcáreos y ferríferos, polvo volcánico, restos de esponjas silíceas, dientes de tiburón, etc. El color rojizo proviene por lo común de sus componentes férricos. Se ha encontrado que estos depósitos son muy extensos, y cubren hasta el 60% de la superficie marina.

Arcilla ferruginosa.-Contiene en su composición diferentes cantidades y tipos de óxido de hierro y puede ser de color amarillo, ocre e inclusive negra (tierras de Siena) debido al óxido de hierro hidratado, mientras que las arcillas rojas contienen, por lo general, un óxido conocido como hematita. Esta particularidad de las arcillas explica por qué en algunas regiones el barro es negro o rojizo, lo cual incide en los colores de la cerámica que se fabrica a partir de estos materiales. Recordemos en este punto al barro negro de Oaxaca, tan distinto de la cerámica ocre o rojiza de la zona central del valle de México.

Arcilla magra y arcilla grasa.-Estos materiales contienen cierto grado de impurezas, lo que afecta sus propiedades plásticas, es decir, que a mayor contenido de impurezas se obtiene una pasta menos plástica (arcilla magra) al amasarla con agua.

Arcilla de batán.-Llamadas también *tierra de batán*, debido al uso que tuvieron en el "batanado" de las telas y de las fibras vegetales como el algodón. Este proceso consistía en limpiar las fibras formadas en la máquina (batán) eliminando la materia grasa mediante la adición de arcilla, por lo general del tipo esmectita, cuyo nombre proviene del griego *smektikós*: "que limpia."

Arcilla marga.-Es un material impermeable y frágil, con un contenido de caliza de entre 20 y 60%, aproximadamente.

Arcillas de esquisto o pizarra.-Las constituyen formaciones antiguas que se presentan en forma de estratos o de plaquetas paralelas que se han dividido por la presión del suelo.

Arcilla atapulgita.-También conocida como *tierra de Florida* o *floridrín*, aunque algunas veces se la llamó *tierra de Fuller*. El último apelativo se empleó también para denominar a las sepiolitas. Actualmente la atapulgita es llamada paligorskita.

Arcilla bentonita.-Nombre comercial de las arcillas tipo montmorillonita, las que, tratadas con compuestos químicos aminados (p. ej. dodecilamonio) se vuelven repelentes al agua — hidrofóbicas—, aunque mantienen gran afinidad por las especies orgánicas, en particular los aceites, las grasas y los colorantes o pigmentos naturales. El nombre bentonita proviene de Fort Benton, Wyoming, EUA, donde W. C. Knight descubrió un enorme yacimiento de este tipo de arcilla en 1896.

Asistemático.-Que no sigue y no se ajusta a un sistema.

ASTM.-Asociación americana para prueba de materiales.

Calibrar.-Ajustar con la mayor exactitud posible las indicaciones de un instrumento de medida con los valores de la magnitud que ha de medir.

Caolinitas.-La unión de sus partículas son suficientemente firmes para no permitir la penetración de moléculas de agua. Es decir son relativamente estables ante el agua.

Correlación.-Medida de la dependencia existente entre dos variables.

Estándar (Standart).-Que sirve cómo tipo, modelo, norma, patrón o referencia.

Hipótesis.-La que establece provisionalmente como base para una investigación que puede confirmar o negar la validez de aquella.

Illitas.-Su estructura es similar a la montmorilonitas, pero su constitución interna muestra tendencia a formar grumos de materia, reduciendo el área expuesta al agua. Por lo que su potencial de expansión es menor.

Montmorilonitas.-La unión de sus partículas es débil, por lo que son susceptibles a ser afectados por el agua, a causa de las fuerzas eléctricas dipolares. Es decir son muy expansivas.

Sedimento.-Es el proceso general por el que se asienta el material que forma las rocas, materia inorgánica y mineral.

Sistemático.-Que sigue o se ajusta a un sistema.

SUCS.-Sistema unificado de clasificación de suelos.

Suelo inorgánico.-Es el material de la corteza terrestre que proviene de la descomposición de los materiales.

Suelo orgánico.-Es el material de la corteza terrestre que proviene de la descomposición de los vegetales y animales.

Turba.-Material en proceso de descomposición.

Vástago.-Pieza en forma de varilla que sirve para articular o sostener otras piezas.