

UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO  
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA  
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL



ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE ASENTAMIENTOS  
DE SUELOS GRANULARES BAJO EL INCREMENTO DE  
CARGAS SIMULADAS

PROYECTO DE GRADO

**NOMBRE:** Torrejón Willam Nelson

Febrero de 2010

Tarija – Bolivia

**VºBº**

---

Ing. Ada López  
**PROFESOR GUÍA**

---

Ing. Luís Alberto Yurquina F.  
**DECANO FACULTAD DE  
CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

---

Lic. Gustavo Succi.  
**VICEDECANO FACULTAD DE  
CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

**APROBADA POR:**

**TRIBUNAL:**

---

Ing. Moisés Díaz Ayarde

---

Ing. Marcelo Segovia

---

Ing. Mabel Zambrana

El tribunal calificador del presente trabajo, no se solidariza con la forma, modos y expresiones vertidas en el mismo; siendo éstas responsabilidad del autor.

**DEDICATORIAS:**

Dedicado a Dios, a mi querida familia, en especial a mi madre y a mi prima Lili, a mis docentes y amigos por el constante apoyo brindado a lo largo de mis estudios.

### **AGRADECIMIENTOS:**

Agradecimientos a todas las personas que me motivaron a realizar este trabajo, en especial a mi familia, a la Ing. Ada López, el Ing. Moisés Díaz y el Ing. Luís Alberto Yurquina, por todos los conocimientos transmitidos.

**PENSAMIENTO:**

“Lo importante es ser capaz, en cualquier momento, de sacrificar lo que somos por aquello en lo que podríamos convertirnos”.

*Charles Dubois*

**CAPÍTULO I**  
**DISEÑO TEÓRICO METODOLÓGICO**

	<b>Página</b>
1.1. Introducción.....	1
1.2. Justificación.....	2
1.3. Situación Problemática.....	2
1.3.1. Definición del problema.....	3
1.3.2. Objeto de estudio.....	3
1.3.3. Campo de acción.....	3
1.4. Objetivos.....	3
1.4.1. Objetivo general.....	3
1.4.2. Objetivos específicos.....	3
1.5. Metodología.....	4
1.6. Técnicas.....	5
1.7. Medios.....	5
1.8. Alcance.....	5

**CAPÍTULO II**  
**FUNDAMENTO TEÓRICO**

2.1. Generalidades.....	8
2.2. Definición de Asentamientos en suelos granulares.....	9
2.3. Factores que inciden en asentamientos en suelos granulares.....	10
2.3.1. Características de los suelos.....	11
2.3.2. Estado de esfuerzos.....	11
2.3.3. Estado de compactación.....	11
2.3.4. Deformaciones.....	12
2.4. Métodos para predecir Asentamientos en Suelos Granulares.....	12
2.4.1. Métodos Empíricos.....	12
2.4.1.1. Predicción de asentamientos mediante ensayos de placa de carga.....	14
2.4.1.2. Métodos empíricos basados en el ensayo normal de penetración (SPT).....	16

	<b>Página</b>
2.4.2. Métodos Edométricos.....	20
2.4.2.1. Método de Beer y Martens.....	21
2.4.2.2. Método de Schultze y Meltzer.....	22
2.4.3. Métodos Elásticos.....	23
2.4.3.1. Método de D’Appolonia a partir del ensayo normal de penetración.....	24
2.4.4. Métodos Semiempíricos.....	25
2.4.4.1. Método de Schmertmann.....	25
2.5. Especificaciones del estudio.....	28
2.5.1. Especificaciones físicas y mecánicas de los suelos granulares.....	28
2.5.1.1. Densidad.....	28
2.5.1.2. Porosidad.....	29
2.5.1.3. Permeabilidad.....	30
2.5.1.4. Plasticidad.....	32
2.5.1.5. Consistencia.....	32
2.5.1.6. Compresibilidad de arenas.....	34
2.5.2. Especificaciones de la capacidad soporte del suelo granular.....	36
2.5.3. Propiedades esfuerzo – deformación.....	39
2.5.4. Resistencia al esfuerzo cortante de los suelos granulares.....	42
2.5.4.1. Influencia de la presión de confinamiento.....	43
2.5.4.2. Influencia de la relación de vacíos.....	43
2.5.4.3. Influencia de las diversas condiciones de carga.....	46
2.5.4.4. Influencia de la composición .....	47
2.5.5. Presión admisible de carga en suelos granulares basada en consideraciones de asentamiento.....	48

**CAPÍTULO III**  
**CARACTERÍSTICAS DEL SUELO GRANULAR Y PLANIFICACIÓN DE LA**  
**METODOLOGÍA**

	<b>Página</b>
3.1. Introducción.....	50
3.2. Análisis de selección de muestras.....	50
3.3. Caracterización descriptiva.....	50
3.3.1. Ensayos de laboratorio.....	51
3.3.1.1. Contenido de humedad.....	51
3.3.1.2. Análisis Granulométrico.....	51
3.3.1.3. Clasificación del suelo.....	53
3.3.1.4. Peso específico relativo .....	60
3.3.1.5. Compactación.....	63
3.3.1.6. Relación de vacíos.....	65
3.4. Identificación de variables en el suelo granular .....	68
3.4.1. Tamaño máximo.....	68
3.4.2. Humedad aconsejable.....	69
3.5. Criterios para establecer el método.....	70
3.6. Análisis de la metodología para plantear.....	70
3.7. Ensayos normalizados que contribuyan al método.....	70
3.8. Ensayos no normalizados que contribuyan al método.....	71

**CAPÍTULO IV**  
**METODOLOGÍA DESARROLLADA**

4.1. Preparación de los equipos.....	72
4.2. Desarrollo de la metodología práctica.....	74
4.2.1. Aplicación de carga estática.....	74
4.2.2. Aplicación de carga dinámica.....	78
4.3. Medición de asentamientos obtenidos.....	81
4.4. Medición de densidades obtenidas.....	82

	<b>Página</b>
4.5. Establecimiento del comportamiento de los asentamientos	
mediante curvas y gráficos.....	83
4.5.1. Curva: Asentamiento vs. Carga aplicada.....	83
4.5.2. Curva: Asentamiento vs. Densidad.....	83

## **CAPÍTULO V**

### **ANALOGÍAS DE APLICACIÓN**

5.1. Análisis de curvas obtenidas.....	91
5.2. Consideraciones para establecer una analogía de aplicación.....	94
5.2.1. Indicadores presumibles In Situ.....	94
5.2.2. Indicadores de laboratorio.....	94
5.2.3. Analogía de indicadores.....	95
5.3. Aplicación de curvas obtenidas de acuerdo a la analogía realizada.....	99
5.4. Validación de la analogía.....	100
5.5. Consideraciones para la aplicación en la región.....	100

## **CAPÍTULO VI**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

5.1. Conclusiones.....	102
5.2. Recomendaciones.....	105
Bibliografía.....	107

ANEXOS

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Página</b>
Fig. 2.1. Ensayo placa de carga.....	15
Fig. 2.2. Ensayo de Penetración Estándar SPT.....	16
Fig. 2.3. Gráficas esfuerzo – deformación para una arena en estado suelto, compacto y cementado, bajo la misma presión .....	37
Fig. 2.4. Tipos más comunes de pruebas esfuerzo – deformación.....	40
Fig. 2.5. Resultados de pruebas triaxiales drenadas en una arena.....	41
Fig. 2.6. Relación entre el ángulo de fricción y la porosidad inicial en arena fina a media (Según Rowe, 1962).....	43
Fig. 2.7. Curvas esfuerzo- deformación para muestras sueltas y compactadas de arena fina a media .....	45
Fig. 2.8. Resultado de una prueba triaxial a volumen constante en una arena fina y compacta (Según Bjerrum Kringstad 1961).....	46
Fig. 3.1. Detalle de la serie de tamices .....	52
Fig. 3.2. Formato de una curva de distribución granulométrica.....	52
Fig. 3.3. Material utilizado para peso específico.....	60
Fig. 3.4. Preparación de la muestra para peso específico.....	61
Fig. 3.5. Sometimiento del balón de agua con suelo a un baño María.....	61
Fig. 3.6. Sometimiento del balón a un enfriamiento.....	62
Fig. 3.7. Esquema de Molde y Martillo para la Compactación.....	63
Fig. 3.8. Esquema de Cambio de volumen producido por los vacíos.....	64
Fig. 3.9. Gráfica de Presiones Efectivas y las relaciones de Vacíos.....	66
Fig. 4.1. Prensa hidráulica, a la derecha lector de 2000 KN y anillo. Dinamométrico de 5000 kg de capacidad.....	72
Fig. 4.2. Instalación del pistón a la plataforma de la prensa hidráulica.....	73
Fig. 4.3. Instalación del extensómetro para medir el asentamiento del suelo.....	73
Fig. 4.4. Molde estandarizado con el suelo dentro y una placa encima.....	74
Fig. 4.5. Anillo dinamométrico con el que se lectura la capacidad de carga.....	75
Fig. 4.6. Aplicación de fuerza sobre la muestra.....	75

Fig. 4.7. Molde junto al martillo de 10 lb para realizar la compactación.....	76
	<b>Página</b>
Fig. 4.8. Determinación del peso de la muestra con el molde después de haberse aplicado carga en la misma.....	77
Fig. 4.9. Molde estandarizado para la aplicación de carga dinámica.....	78
Fig. 4.10. Aplicación de carga dinámica (método vibratorio).....	78
Fig. 4.11. Medición de la deformación del suelo a través del extensómetro.....	79
Fig. 5.1. Resultados de un procedimiento de ensayo de placa de carga en suelo arenoso, estandarizado por el método ASTM D1194.....	96
Fig. 5.2. Gráfico de Capacidad de soporte admisible para distintas dimensiones de cimientos, para una placa de carga de 30 pulg. de diámetro.....	97

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Página</b>
Tabla 2.1. Factores de la ecuación empírica para la presión portante admisibles en suelos granulares.....	17
Tabla 2.2. Factores de la ecuación empírica para el asentamiento de suelos granulares.....	18
Tabla 2.3. Densidades de diferentes tipos de suelo.....	28
Tabla 2.4. Valores de permeabilidad de distintos suelos.....	31
Tabla 2.5. Valores estimados de fuerzas de contacto medias entre partículas de arena.....	35
Tabla 3.1. Tamaños de mallas, norma A.S.T.M.....	52
Tabla 3.2. Clasificación de Materiales para Subrasantes de Carreteras..... Norma A.A.S.H.T.O.....	55 56
Tabla 3.3. Sistema Unificado de Clasificación; Símbolos de grupo para suelos tipo grava.....	58
Tabla 3.4. Sistema Unificado de Clasificación; Símbolos de grupo para suelos arenosos.....	58
Tabla 3.5. Sistema Unificado de Clasificación; Símbolos de grupo para suelos limosos y arcillosos.....	59
Tabla 3.6. Límites de Tamaño de diferentes tipos de Suelos.....	68
Tabla 3.7. Tamaños de los componentes de un suelo granular.....	69
Tabla 4.1. Resultados de asentamientos obtenidos, bajo cargas estática y dinámica.....	81
Tabla 4.2. Resultados de densidades obtenidas, bajo cargas estática y dinámica.....	82

## ANEXOS

### Página

#### ANEXO 1 ENSAYOS PREVIOS DE LABORATORIO

Anexo 1.1. Granulometría.....	109
Anexo 1.2. Límites.....	110
Anexo 1.3. Peso específico.....	111
Anexo 1.4. Ángulo de fricción interna.....	112
Anexo 1.5. Calibración del anillo de la prensa hidráulica.....	113

#### ANEXO 2. APLICACIÓN DE CARGA GRADUAL

Anexo 2.1. Carga vs Asentamiento. Estado seco (suelo suelto).....	114
Anexo 2.2. Carga vs Asentamiento. Humedad 5% (suelo suelto).....	115
Anexo 2.3. Carga vs Asentamiento. Humedad 10% (suelo suelto).....	116
Anexo 2.4. Carga vs Asentamiento. Humedad 15% (suelo suelto).....	117
Anexo 2.5. Carga vs Asentamiento. Humedad 20% (suelo suelto).....	118
Anexo 2.6. Carga vs Asentamiento. Estado saturado (suelo suelto).....	119
Anexo 2.7. Carga vs Asentamiento. Humedad 5% (suelo compactado).....	120
Anexo 2.8. Carga vs Asentamiento. Humedad Optima 7.04% (suelo compactado).....	121
Anexo 2.9. Carga vs Asentamiento. Humedad 10% (suelo compactado).....	122
Anexo 2.10. Carga vs Asentamiento. Humedad 15% (suelo compactado).....	123
Anexo 2.11. Densidad vs Asentamiento. Estado seco (suelo suelto).....	124
Anexo 2.12. Densidad vs Asentamiento. Humedad 10% (suelo suelto).....	125
Anexo 2.13. Densidad vs Asentamiento. Humedad 15% (suelo suelto).....	126
Anexo 2.14. Densidad vs Asentamiento. Estado saturado (suelo suelto).....	127
Anexo 2.15. Densidad vs Asentamiento. Humedad 5% (suelo compactado).....	128
Anexo 2.16. Densidad vs Asentamiento. Humedad Optima 7.04% (suelo compactado)...	129
Anexo 2.17. Densidad vs Asentamiento. Humedad 15% (suelo compactado).....	130

#### ANEXO 3. APLICACIÓN DE CARGA DINAMICA

Anexo 3.1. Densidad vs Asentamiento. Estado seco (suelo suelto).....	131
Anexo 3.2. Densidad vs Asentamiento. Humedad 5% (suelo suelto).....	132

Anexo 3.3. Densidad vs Asentamiento. Humedad 10% (suelo suelto).....	133
Anexo 3.4. Densidad vs Asentamiento. Humedad 15% (suelo suelto).....	134
Anexo 3.5. Densidad vs Asentamiento. Humedad 20% (suelo suelto).....	135
Anexo 3.6. Densidad vs Asentamiento. Estado saturado (suelo suelto).....	136

#### ANEXO 4. RELACIÓN DE VACÍOS (carga gradual)

Anexo 4.1. Relación de vacíos. Estado seco (suelo suelto).....	137
Anexo 4.2. Relación de vacíos. Humedad 5% (suelo suelto).....	138
Anexo 4.3. Relación de vacíos. Humedad 10% (suelo suelto).....	139
Anexo 4.4. Relación de vacíos. Humedad 15% (suelo suelto).....	140
Anexo 4.5. Relación de vacíos. Humedad 20% (suelo suelto).....	141
Anexo 4.6. Relación de vacíos. Humedad 25% (suelo suelto).....	142
Anexo 4.7. Relación de vacíos. Humedad 5% (suelo compactado).....	143
Anexo 4.8. Relación de vacíos. Humedad Optima 7.04% (suelo compactado).....	144
Anexo 4.9. Relación de vacíos. Humedad 10% (suelo compactado).....	145
Anexo 4.10. Relación de vacíos. Humedad 15% (suelo compactado).....	146