

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**  
**DEPARTAMENTO DE TOP. Y VÍAS DE COMUNICACIÓN**



**“ANÁLISIS COMPARATIVO Y CORRELACIÓN DE DENSIDADES  
POR LOS MÉTODOS DE CONO DE ARENA Y DENSÍMETRO  
NUCLEAR”**

**Por:**

**AMÍLCAR REINALDO SÁNCHEZ NIEVES**

Proyecto presentado a consideración de la **UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”**, como requisito para optar el Grado Académico de Licenciatura en Ingeniería Civil.

Febrero de 2012

**TARIJA - BOLIVIA**

**V°B°**

---

Ing. Luis A. Yurquina.  
**DECANO**  
**FACULTAD DE**  
**CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

---

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

**APROBADO POR:**

**TRIBUNAL:**

---

Ing. Moisés Díaz Ayarde.

---

Ing. Marcelo Segovia Cortez.

---

Ing. Laura K. Soto Salgado.

El Tribunal Calificador del presente Trabajo, no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en el mismo, siendo esta responsabilidad del autor.

**DEDICATORIAS:**

Dedico el presente trabajo a mis padres, Águeda y Juvenal por la confianza y el respaldo que me brindaron en cada momento de mi vida.

**AGRADECIMIENTOS:**

Agradezco a Dios por darme las fuerzas y la fe para realizar el presente trabajo.

**PENSAMIENTO:**

“Si anhelamos con seguridad y pasión la seguridad, el bienestar y el libre desarrollo del talento de todos los hombres no hemos de carecer de los medios necesarios para conquistarlos.”

*ALBERT EINSTEIN*

## ÍNDICE

### CAPÍTULO I “INTRODUCCIÓN”

	<b>Pág.</b>
1.1. Generalidades.....	1
1.2. Justificación.....	2
1.3. Objetivos.....	3
1.3.1. Objetivo General.....	3
1.3.2. Objetivos Específicos.....	3
1.4. Alcance.....	3
1.5. Medios y Metodología.....	4
1.5.1. Medios.....	4
1.5.2. Metodología.....	5

### CAPÍTULO II

#### “MECÁNICA DE SUELOS.”

2.1. Introducción.....	6
2.1.1. Formación de los suelos.....	6
2.1.2. Definición de Suelo.....	7
2.1.3. Naturaleza de los Suelos Granulares.....	8
2.1.4. Naturaleza de los Suelos Arcillosos.....	9
2.2. Propiedades de los Suelos.....	10
2.2.1. Cohesión.....	10
2.2.2. Plasticidad.....	10
2.2.3. Resistencia.....	11
2.2.4. Permeabilidad.....	11

2.3. Densidad: Definición.....	12
2.4. Compactación en Suelos.....	13
2.4.1. Introducción.....	13
2.4.2. Dependencia de los factores que influyen en la Compactación.....	16
2.4.3. Características de la compactación de suelos.....	17
2.4.4. Objetivos de la compactación.....	18
2.4.5. Proceso de compactación en campo.....	18
2.5. Propósitos y métodos para la compactación de suelos.....	19
2.6. Compactación de suelos no cohesivos.....	20
2.7. Curva de compactación.....	22
2.8. Compactación en suelos arcillosos.....	26
2.9. Control de compactación.....	26

### **CAPÍTULO III**

#### **“DETERMINACIÓN DE DENSIDAD IN SITU”**

3.1. Introducción.....	28
3.2. Influencia de la humedad en la densidad del suelo.....	29
3.3. Métodos de Determinación.....	30
3.4. Método del Cono de Arena.....	32
3.4.1. Introducción.....	32
3.4.2. Equipos que se utilizan.....	32
3.4.3. Herramientas y accesorios.....	35
3.4.4. Procedimiento.....	36

3.4.5. Ventajas y Desventajas del Ensayo.....	41
3.5. Método del Densímetro Nuclear.....	42
3.5.1. Introducción.....	42
3.5.2. Características.....	43
3.5.3. Partes y Accesorios.....	48
3.5.4. Procedimiento.....	49
3.5.5. Tipos de Mediciones.....	50
3.5.5.1. Transmisión Directa.....	50
3.5.5.2. Retro-transmisión.....	51
3.5.5.3. Colchón de Aire.....	51
3.5.5.4. Humedad.....	51
3.5.5.5. Capa Delgada.....	52
3.5.6. Tipos de Fuente Radioactivas.....	52
3.5.7. Calibración del Equipo.....	53
3.5.8. Almacenamiento y Transporte.....	58
3.5.9. Procedimiento de Emergencia.....	60
3.5.10. Causas Básicas de Accidentes con Densímetro.....	61
3.6. Ventajas y Desventajas del Ensayo.....	63

## **CAPÍTULO IV**

### **“APLICACIÓN PRÁCTICA”**

4.1. Ubicación.....	65
4.2. Características del área de estudio según el tipo de suelo.....	67
4.3. Compactación mediante Proctor Modificado T-180.....	68

4.3.1. Contenido de humedad.....	72
4.4. Clasificación del suelo objeto de estudio.....	77
4.5. Ensayos por el Método Cono de Arena.....	77
4.5.1. Obtención de Datos.....	77
4.5.2. Procesamiento de los Datos.....	78
4.5.3. Resultados.....	79
4.6. Pruebas empleando el Densímetro Nuclear.....	82
4.6.1. Resultados de las mediciones.....	82
4.7. Análisis Comparativo.....	85
4.7.1. Correlación de los resultados.....	85
4.7.2. Contrastación de resultados.....	96
4.7.3. Valoración de resultados.....	102

## **CAPÍTULO V**

### **“CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES”**

5.1. Conclusiones.....	103
5.2. Recomendaciones.....	105
Bibliografía.....	108
Anexos.	

## INDICE DE ILUSTRACIONES FIGURAS

1. Curva Densidad máxima vs. Densidad máxima.....	30
2. Realización del método de la arena.....	31
3. Densímetro nuclear modelo troxler serie 3440.....	32
4. Aparato de densidad en campo.....	33
5. Arena calibrada de la localidad del Saire.....	33
6. Tamiz metálico.....	34
7. Placa base metálica.....	34
8. Aparato de densidad acompañado de placa base.....	34
9. Balanza digital.....	35
10. Horno para la humedad.....	35
11. Herramientas y accesorios utilizados para la realización del método de la arena.....	36
12. Colocación de la placa base.....	36
13. Peso del aparato.....	37
14. Colocación del aparato sobre la placa base.....	37
15. Excavación del agujero.....	38
16. Material que pasa por el tamiz $\frac{3}{4}$ ".....	38
17. Aparato sobre el agujero.....	39
18. Determinación del % de humedad.....	39
19. Densímetro nuclear.....	46
20. Perfil del densímetro nuclear.....	47
21. Partes y accesorios del densímetro nuclear.....	48

22. Mediciones con densímetro nuclear.....	50
23. Tipos de mediciones utilizando densímetro nuclear.....	52
24. Ubicación geográfica del estudio.....	65
25. Fotografía del tramo.....	66
26. Mapas referenciales: croquis de los tramos.....	66
27. Imagen Satelital del tramo de aplicación.....	67
28. Curva de compactación.....	70
29. Molde y accesorios utilizados para la compactación.....	71
30. Martillo utilizado para la compactación.....	71
31. Equipo utilizado para la humedad en la compactación.....	74
32. Curva compactación T-180 de la capa sub-rasante mejorada.....	75
33. Curva compactación T-180 de la capa base.....	76
34. Planilla de cálculo de densidad in situ por el método del cono de arena de capa sub-rasante mejorada.....	80
35. Planilla de cálculo de densidad in situ por el método del cono de arena de capa sub-base.....	81
36. Mediciones de las lecturas del Densímetro nuclear Sub-rasante mejorada.....	83
37. Mediciones de capa sub-base con densímetro.....	84
38. Nube de puntos de una correlación directa.....	85
39. Nube de puntos de una correlación inversa.....	86
40. Nube de puntos de una correlación nula.....	87
41. Nube de puntos de una correlación fuerte.....	87

42.	Nube de puntos de una correlación débil.....	88
43.	Correlación de la densidad en la de Sub-Rasante.....	91
44.	Correlación de la densidad de Sub-base.....	92
45.	Correlación del grado de compactación de la de Sub-Rasante Mejorada.....	93
46.	Correlación del Grado de Compactación de Sub-Base.....	94
47.	Correlación del contenido de humedad de Sub-Rasante Mejorada.....	95
48.	Correlación del contenido de humedad de Sub-base.....	96
49.	Contrastación de resultados de densidades por ambos métodos sub-rasante mejorada.....	97
50.	Contrastación de resultados de densidades por ambos métodos sub-base.....	98
51.	Contrastación de resultados del grado de compactación por ambos métodos sub-rasante mejorada.....	99
52.	Contrastación de resultados del grado de compactación por ambos métodos sub-base.....	100
53.	Contrastación de resultados del contenido de humedad por ambos métodos sub-rasante mejorada.....	101
54.	Contrastación de resultados del contenido de humedad por ambos métodos sub-base.....	102

## INDICE DE TABLAS

1.	Principales minerales de rocas y suelos.....	9
2.	Resistencia del Suelo.....	11
3.	Coefficiente de permeabilidad.....	12
4.	Densidad de algunas sustancias.....	13
5.	Criterios para seleccionar el volumen del agujero.....	41
6.	Ventajas y desventajas método de la arena.....	41
7.	Características Generales y especificaciones del densímetro troxler 3440.....	43
8.	Límites permisibles de radiación.....	62
9.	Ventajas y desventajas utilizando densímetro nuclear.....	63
10.	Clasificación del suelo aplicado en el estudio.....	68
11.	Clasificación del tipo de suelo.....	77