

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

CORRELACION EMPIRICA ENTRE EL CONTENIDO DE
HUMEDAD ÓPTIMO Y LA PLASTISIDAD DE LOS SUELOS EN
LA CIUDAD DE TARIJA

Por:

ARMIN LLANOS COPA

Tesis de Grado presentada a consideración de la **UNIVERSIDAD AUTÓNOMA**
JUAN MISAEL SARACHO como requisito para optar el grado académico de
Licenciatura en Ingeniería Civil

Noviembre del 2010
TARIJA - BOLIVIA

VºBº

.....
Msc. Ing. Luis Alberto Yurquina Flores

DECANO

FACULTAD DE CIENCIAS

Y TECNOLOGÍA

.....
Msc. Ing. Clovis Gustavo Succu Aguirre

VICEDECANO

FACULTAD DE CIENCIAS

Y TECNOLOGÍA

APROBADA POR:

TRIBUNAL:

.....
Msc. Ing. Mirtha Tórrez Chávez

.....
Msc. Ing. Luís Alberto Yurquina Flores

.....
Msc. Ing. Eusebio Ortega Alvarado

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

DEDICATORIA

A mi familia y especialmente a mi Madre por
todo el apoyo recibido en la formación de mi
profesión y mi vida

Muchas gracias mamita

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por la vida, su amor, sus dones, y porque es la luz y pilar de mis metas; asimismo hago llegar un agradecimiento especial a los señores docentes cuyas enseñanzas, conocimientos y ejemplos impartidos dieron un impulso vital a mi formación académica.

INDICE

Página

Dedicatoria.	
Agradecimiento.	
Resumen.	

INTRODUCCION

1. Antecedentes	1
2. Justificación.....	3
3 Objetivos del Estudio	6
3.1. Objetivo General	6
3.2. Objetivos Específicos.....	6
4. Alcance del Estudio.....	7

CAPITULO I

FUNDAMENTO TEÓRICO

1.1. ORIGEN Y FORMACIÓN DE LOS ESTRATOS DE SUELO EXISTENTE EN LA CIUDAD DE TARIJA

1.1.1. Geomorfología y Geología de la Zona de Estudio	10
1.1.2. Estratigrafía del Suelo	10
1.1.3. Origen de los Suelos de la Zona en Estudio	10
1.1.4. El Suelo	11
1.1.5. Agentes Generadores de Suelos	11
1.1.6. Suelos Residuales y Transportados	12
1.1.7 Suelos Sedimentarios	13
1.1.7.1. La Formación del Sedimento	14
1.1.7.2 El Transporte	14

1.1.7.3. El depósito de los Sedimentos	14
1.1.8. Agentes que Generaron la Formación de los Suelos en la Ciudad de Tarija	15
1.1.9. Alteraciones de los Suelos después de su Formación	16
1.1.9.1. Presiones	16
1.1.9.2. Tiempo	17
1.1.9.3. Agua	17
1.1.9.4. Entorno o Ambiente	18

1.2. CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS

1.2.1.1 Principales Características	19
1.2.1.2. Composición Química	19
1.2.1.3 Tamaño de las Partículas	21
1.2.1.3.1. Textura	23
1.2.1.4. Forma de las Partículas	23
1.2.1.5. Peso Específico	25
1.2.1.6 Humedad	26
1.2.1.7 Estructura	28
1.2.1.7.1 Estructura Simple	30
1.2.1.7.2. Estructura Panaloide.....	31
1.2.1.7.3. Estructura Flocúlenta.	32
1.2.1.7.4 Estructura Compuesta	33
1.2.1.7.5 Estructura de Castillo de Naipes	34
1.2.1.7.6. Estructura Dispersa	34
1.2.2. Propiedades Físico Mecánicas	35
1.2.2.1. Granulometría	35

1.2.2.2. Fricción	36
1.2.2.3. Cohesión.....	36
1.2.2.4. Límites	37
1.2.2.5. Permeabilidad.....	38
1.2.2.6. Capilaridad	39
1.2.2.7. Densidad	39
1.2.2.8 Compactación	40
1.2.3 Otras Propiedades de los Suelos	41
1.2.3.1 Tenacidad	41
1.2.3.2. Color	42
1.2.3.3 Dilatancia	42
1.2.3.4 Elasticidad.	42
1.2.3.5 Compresibilidad	43
1.2.3.6 Reología	43

1.3. PLASTICIDAD DE LOS SUELOS

1.3.1 Generalidades y definiciones	45
1.3.2. Estados de Consistencia. Límites de Plasticidad.....	46
1.3.2.1. determinación Actual del Límite Líquido	49
1.3.2.2 determinaciones Actual del Límite Plástico.....	52
1.3.2.3 Consideraciones Sobre los Límites de Plasticidad. Índice de Tenacidad ...	53
1.3.2.4. Índice de Plasticidad	55

1.4. DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA DE LOS SUELOS

1.4.1. Granulometría de los Suelos	57
1.4.1.1. Introducción y Antecedentes	57

1.4.1.2 Sistemas de Calificación de Suelos Basados en Criterios de Granulometría	58
1.4.1.3 Límites del Tamaño de las partículas del Suelos	58
1.4.1.4 Clasificaciones Literales	62
1.4.1.5 Representación de la Distribución Granulométrica	62
1.4.1.5.1 Descripción de la Gradación	66
1.4.1.5.2 Diámetros Efectivos, Coeficientes de Uniformidad Y Curvatura	67
1.4.1.6. Análisis Mecánico de Separación de Suelos	68
1.4.1.7. Procedimiento de Prueba de Análisis Mecánico.	69
1.4.1.7.1. Procedimiento	70
1.4.1.7.2 Método General.....	70
1.4.1.7.3. Método del Lavado.	72
1.4.1.7.4. Procesamiento de Datos.	73

1.5. CLASIFICACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE LOS SUELOS

1.5.1. Clasificación e Identificación de los Suelos.....	74
1.5.2. Sistema de Clasificación de Aeropuertos.....	75
1.5.2.1 Fundamentos	75
1.5.3. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos	78
1.5.3.1 Suelos Gruesos	79
1.5.3.2. Suelos Finos	82
1.5.3.3 Identificación de Suelos en el Campo	86
1.5.3.3.1 Identificación de Campo de Suelos Gruesos.....	87
1.5.3.3.2 Identificación de Campo de Suelos Finos.....	88
1.5.3.4 La Carta de Plasticidad y las Propiedades Físicas del Suelo	92
1.5.4 Clasificación de Suelos Mediante El Sistema de Clasificación Aashto.....	94
1.5.4.1. Alcance.....	94

1.5.4.2. Terminología	95
1.5.4.2.1 descripciones de Términos Propios de esta Norma.....	95
1.5.4.3. Significado y Uso	96
1.5.4.4 Equipo Para Preparación de Muestras	97
1.5.4.5. Muestreo	97
1.5.4.6. Espécimen Para el Ensayo	97
1.5.4.7. Procedimiento de Clasificación.....	98
1.5.4.8. Descripción de los Grupos de Clasificación	99
1.5.4.9. Cálculo del Índice de Grupo	102
1.5.4.10. Discusión del Índice de Grupo.....	103

1.6. COMPACTACIÓN DE LOS SUELOS

1.6.1 Introducción	108
1.6.2. Compactación de los Suelos	111
1.6.2.1. Pruebas de Compactación	113
1.6.2.2. Curva de Saturación	119
1.6.2.3. Otros Factores que Influyen en la Compactación de los Suelos	120
1.6.2.4. Comentarios Adicionales Sobre la Compactación de los Suelos	
"Friccionantes" y "Cohesivos"	123
1.6.3. Pruebas de Compactación Proctor Stándar y Modificado	130
1.6.3.1 Equipo Necesario	130
1.6.3.2 Tamaño de la Muestra.....	131
1.6.3.3. Procedimiento de Prueba.....	131
1.6.3.4. Errores Posibles.....	132
1.6.3.5. Propiedades de Suelo Afectadas por la Compactación	133
1.6.3.6. Consideraciones Sobre el Significado de los Términos “Humedad	
Óptima” y " densidad seca máxima"	134

1.6.3.7. Variación de la Permeabilidad con la Humedad y la Densidad seca	
Para Una Energía de Compactación	138
1.6.3.8. Variación de La Resistencia con la Humedad y el Peso Específico Seco	
Para Una Energía de Compactación.....	139
1.6.3.9. Características del Equipo de Compactación Estandar y Modificado	140

1.7. AJUSTE DE CURVAS Y MÉTODO DE MÍNIMOS CUADRADOS

1.7.1. Ajuste de Curvas y el Método de Mínimos Cuadrados	141
1.7.1.1 Relaciones Entre Variables	141
1.7.1.2. Ajuste de Curvas	141
1.7.2 Ecuaciones de Curvas Aproximantes.....	142
1.7.2.1 Ajuste de Curvas a Mano	144
1.7.2.2. El Método de Mínimos Cuadrados	144
1.7.2.2.1 La Recta de Mínimos Cuadrados	146
1.7.2.2.2. La Parábola de Mínimos Cuadradosbh	146
1.7.3. Regresión.....	147
1.7.3.1. Problemas en Más de Dos Variables.....	148

1.8. TEORÍA DE LA CORRELACIÓN

1.8.1. Correlación y Regresión.....	150
1.8.2 Correlación Lineal.....	150
1.8.2.1 Medidas de Correlación	152
1.8.2.3. La Recta de Regresión de Mínimos Cuadrados	152
1.8.2.4. Error Típico de Estimación	153
1.8.2.5. Variación Explicada y Variación Inexplicada.....	153
1.8.2.6. Coeficiente de Correlación.....	154

1.8.3 Correlación Múltiple	155
1.8.3.1 Ecuaciones de Regresión y Planos de Regresión.....	156
1.8.3.2. Ecuaciones Normales Para el Plano de Regresión de Mínimos Cuadrados	156
1.8.3.4. Error Típico de Estimación	157
1.8.3.5. Coeficiente de Correlación Múltiple.....	157
1.8.3.6. Generalizaciones a Mas de Tres Variables	158

CAPITULO II

2.1. MATERIALES Y METODOS DE INVESTIGACION

2.1.1. Proyecto de Investigación Sobre La Correlación del Contenido de Humedad Óptima y La Plasticidad de Los Suelos En La Ciudad de Tarija	159
2.1.2. Materiales y Métodos de Investigación para determinar el Grado de Interconexion Entre la Humedad Optima y Plasticidad de los Suelos	161
2.1.2.1. Fase 1: Obtención de Muestras de Suelo Existente en la Zona en Estudio	162
2.1.2.2. Fase 2: determinación de La Propiedades Físicas Y Mecánicas de Los Suelos Las Cuales Nos Coadyuvaran en la Elaboración del Trabajo	163
2.1.2.3. Fase 3: Estudio, Análisis y Clasificación de las Propiedades de Suelos Obtenidas Mediante los Ensayos de Laboratorios	166
2.1.2.4 Fase 4: definición de los Grupos y Clases de Suelos Que Son Tomados en Cuenta en el Trabajo de Tesis.....	172
2.1.2.5. Fase 5: determinación del Grado de Interconexión Entre las Propiedades de Plasticidad y Contenido de Humedad Óptimo del Suelo.....	173
2.1.2.6. Fase 6: Verificación del Modelo Asumido el Cual Establece el Grado de Interconexión Entre Las Variables definidas.....	179

CAPITULO III

3.1. PROCESO ANÁLISIS DE DATOS, DISCUSIÓN DE RESULTADOS Y APLICACIÓN PRÁCTICA

3.1.1. Introducción	182
3.1.2. Resultados de Pruebas Preliminares Realizadas	182
3.1.3. Procedimiento y Análisis de Regresión Múltiple	188
3.1.3.1 Diagrama de Dispersión o Nube de Puntos	188
3.1.3.2. Curva o Superficie de Aproximación	191
3.1.3.3. Modelo de Regresión Múltiple.....	194
3.1.3.3.1 Ecuación de Regresión	195
3.1.3.3.2. Coeficientes no Estandarizados.....	196
3.1.3.3.3. Coeficientes de Regresión Estandarizados.....	197
3.1.3.3.4 Pruebas de Significación.	197
3.1.3.3.5 Bondad de Ajuste	198
3.1.3.3.6. Intervalos de Confianza	200
3.1.3.3.7. Supuestos o Condiciones del Modelo de Regresión	202
3.1.3.3.7. 1 Linealidad:	202
3.1.3.3.7.2. Independencia:	207
3.1.3.3.7. 3. Colinealidad	208
3.1.4. Resultados Obtenidos	210
3.1.4.1 Modelo de Regresión Múltiple Suelo A-4	211
3.1.4.2 Modelo de Regresión Múltiple Suelo A-6	211
3.1.4.3 Modelo de Regresión Múltiple Suelo A-2-4.....	212
3.1.4.4. Modelo de Regresión Múltiple Suelo A-2-6.....	213
3.1.5. Aplicación Práctica	213

CAPITULO IV

4.1. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones y Recomendaciones 216

4.2. Recomendaciones 218

BIBLIOGRAFIA 220

ANEXOS