

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA

CARRERA DE INGENIERIA CIVIL



DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFÍA VÍAS DE COMUNICACIÓN

**“ANÁLISIS DE SUBRASANTES DE ROCAS METEORIZADAS Y SU EFECTO EN
EL DISEÑO DEL PAQUETE ESTRUCTURAL”**

REALIZADO POR:

JOSUÉ MIGUEL GUTIÉRREZ CALDERÓN

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

GESTIÓN - 2014

TARIJA-BOLIVIA

DEDICATORIA

A DIOS

Por haberme tomado de la mano y no fallarme nunca, por haber hecho realidad mi sueño de salir profesional.

A MIS PADRES

Jaime Jesús Gutiérrez Cornejo y Sonia Calderón Archondo, quienes han sido mis primeros maestros y mis amigos, que han inculcado en mí los buenos valores, por recibir su apoyo incondicional, por estar siempre a mi lado.

Contenido

Página

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN	1
1.1 JUSTIFICACIÓN	3
1.2. DISEÑO TEORICO	4
1.2.1. SITUACIÓN PROBLÉMICA	4
1.2.1.1 DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA.....	6
1.2.2 OBJETIVOS	6
1.2.2.1. OBJETIVO GENERAL.....	6
1.2.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	6
1.2.3. HIPÓTESIS	7
1.2.4. DEFINICIÓN DE VARIABLES CONCEPTUALES Y OPERACIONALES.....	7
1.3. DISEÑO METODOLOGICO.....	8
1.3.1. UNIDADES DE ESTUDIO.....	8
1.3.1.1 UNIDAD DE ESTUDIO	8
1.3.1.2 POBLACIÓN.....	8
1.3.1.3 MUESTRA	8
1.3.1.4 MUESTREO	8
1.3.2. MÉTODOS TÉCNICAS MEDIOS Y PROCEDIMIENTOS.....	8
1.3.2.1. MÉTODOS	8
1.3.2.2. TÉCNICAS	10
1.3.2.3. MEDIOS	10
1.3.3.-PREPARACION PARA LA APLICACIÓN DE INSTRUMENTOS DE LABORATORIO	10
1.3.3.1. DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS.....	10
1.3.3.2. FORMA DE OPERAR	11
1.3.3.3. CONSIGNAS O LIMITACIONES	15
1.3.4. ALCANCE Y LIMITACIONES DEL TRABAJO	15
1.4. CRONOGRAMA	18

CAPÍTULO II

ESTADO DE CONOCIMIENTO SOBRE SUBRASANTES Y PAVIMENTOS

	Pagina.
2.1. ASPECTOS GENERALES DE LAS SUBRASANTES	20
2.1.1. PROPIEDADES DE LAS SUBRASANTES	21
2.1.2. CARACTERISTICAS DE LAS SUBRASANTES	21
2.1.3. FACTORES QUE INFLUYEN EN EL COMPORTAMIENTO DE LA SUBRASANTE	22
2.1.4. MUESTREO Y ENSAYOS DE CAMPO Y LABORATORIO DE LOS SUELOS DE SUBRASANTE.	23
2.1.5. ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTES	23
2.2. GENERALIDADES DE LAS ROCAS	26
2.2.1 MECANICA DE ROCAS	26
2.2.2. LAS ROCAS.....	26
2.2.3. PROPIEDADES GENERALES DE LAS ROCAS.....	27
2.2.4. CLASIFICACION DE LAS ROCAS.....	28
2.2.5. ROCAS IGNEAS.....	28
2.2.6. ROCAS SEDIMENTAREAS	28
2.2.7. METAMORFISMO Y ROCAS METAMÓRFICAS.....	29
2.3. METEORIZACIÓN	30
2.3.1. METEORIZACIÓN DE LOS MATERIALES ROCOSOS	31
2.3.1.1 METEORIZACIÓN FÍSICA	31
2.3.1.2 METEORIZACIÓN QUÍMICA.....	34
2.3.1.3. METEORIZACIÓN BIOLÓGICA	36
2.3.1.4. Clasificación de Rocas Meteorizadas. (Modificado de Waltham,1994).....	37
2.3.1.5. Grado de Meteorización ISRM (1981) para descripción de sondajes.	38
2.4. CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE LAS ROCAS METEORIZADAS	39
2.4.1 DEFINICIÓN DE ROCA METEORIZADA.....	40
2.4.2 EFECTOS DEL AGUA SUBTERRANEA SOBRE LAS PROPIEDADES DE LAS SUBRASANTES DE ROCA LUTITA.....	41

2.5. DISEÑO ESTRUCTURAL	44
2.5.1 PAVIMENTO	45
2.5.2 TIPOS DE PAVIMENTOS	46
2.5.3 FUNCIONES DE LAS CAPAS DE LOS PAVIMENTOS	48
2.5.4 Factores que intervienen en el cálculo de espesores	51
2.5.5 VARIABLES QUE PARTICIPAN EN EL DISEÑO Y COMPORTAMIENTO DE LOS PAVIMENTOS	54
2.5.6 PAVIMENTOS SOBRE SUELOS EXPANSIVOS	56
2.5.7 PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES CON LA NORMA AASHTO-93	59
2.5.7.1 VARIABLES PAEA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES	59
2.5.7.2 DETERMINACIÓN DEL NÚMERO ESTRUCTURAL “SN”	75
2.5.7.3 DETERMINACIÓN DE ESPESORES POR CAPAS	76
2.5.7.4 ESPESORES MÍNIMOS EN FUNCIÓN DEL SN	81
2.6 DRENAJE SUBTERRANEO	83
2.6.1 Drenaje interno o sub-drenaje	83
2.6.2 Estudios previos	84
2.6.3 Características propias	84
2.6.4 Tubería de drenaje	85
2.6.5 Drenes de abatimiento del nivel freático	86
2.6.6 Drenes de intercepción	87

CAPITULO III

APLICACIÓN PRÁCTICA

3.1.- SELECCIÓN DE LA SUBRASANTE PARA EL ESTUDIO	88
3.1.1 Ubicación	88
3.1.2 Características del área de estudio	90
3.1.3 Metodología del estudio	92
3.2. Caracterización de los materiales	94
3.2.1. Muestreo	94
3.2.2. Ensayos de caracterización	98
3.2.2.1. Planilla de resumen de los ensayos de Granulometría	101

	Pagina
3.2.2.2 PLANILLA DE RESUMEN DE LOS ENSAYOS DE LÍMITES DE ATTERBERG	108
3.2.2.3 PLANILLA DE RESUMEN DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS	111
3.2.2.4 PLANILLA DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE PROCTOR T-180	120
3.2.2.5 PLANILLA DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CBR.....	128
3.2.3 Resumen de resultados	131
3.3. Investigación de las muestras tipo lutita	132
3.3.1. Condiciones de la investigación.....	136
3.3.2. Ensayos de laboratorio para muestras saturadas	138
3.3.2.1. LABORATORIO ENSAYO DE SUELOS DE MUESTRAS SATURADAS PROCTOR T-180	142
3.3.2.2 LABORATORIO ENSAYO DE SUELOS DE MUESTRAS SATURADAS CBR.....	156
3.3.3. Resultados.....	228
3.4. Análisis del comportamiento en condiciones extremas	229
3.4.1. Valoración de resultados.....	230
3.4.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS	238
3.5. Efecto en el diseño estructural	244
3.5.1. Dimensionamiento en condiciones extremas	245
3.5.2 DISEÑO DE PAVIMENTO	248
3.5.2.1 RESUMEN DEL DISEÑO DE PAVIMENTOS POR PROGRESIVAS Y POR CONDICIONES DE SATURACIÓN.....	255
3.5.3 Diseño final de pavimento	263
3.6 CRITERIOS DE DISEÑO DE DRENAJE SUBTERRANEO Y CAPA DRENANTE..	267

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES	271
4.2 RECOMENDACIONES	275

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura II-1 Paquete Estructural de Pavimento Flexible.....	20
Figura II-2 Clasificación de las rocas.....	30
Figura II-3 Meteorización Física- Descompresion.....	32
Figura II-4 Meteorización Física –Termoclastia.....	33
Figura II-5 Meteorización Física –Gelifracción.....	33
Figura II-6 Meteorización Física –Haloclastia.....	34
Figura II-7 Meteorización Química –Oxidación.....	34
Figura II-8 Meteorización Química -Disolución.....	35
Figura II-9 Meteorización Química -Carbonatación.....	35
Figura II-10 Meteorización Biológica- Naturaleza.....	36
Figura II-11 Paquete Estructural Pavimento.....	45
Figura II-12 Mecanismo de disipación de tensiones en Pavimentos Flexibles.....	47
Figura II-13 Mecanismo de distribución de esfuerzos en Pavimentos Rígidos.....	48
Figura II-14 Funciones De Las Capas De Los Pavimentos Flexibles.....	48
Figura II-15 Funciones De Las Capas De Los Pavimentos Rígidos.....	50
Figura II-16 Abaco para la determinación del Daño Relativo.....	60
Figura II-17 Modelos De Crecimiento	65
Figura II-18. Ábaco de diseño AASHTO para pavimentos flexibles.	76
Figura II-19 Abaco para estimar el número estructural de la carpeta asfáltica “a1”	78
Figura II-20 Abaco para estimar el número estructural de la carpeta base granular “a2”	78
Figura II-21 Abaco para estimar el número estructural de la carpeta sub base granular “a3”.....	79
Figura II-22 Abaco para estimar el número estructural de la capa estabilizada con cemento.....	80
Figura II-23 Abaco para estimar el número estructural de la capa estabilizada con asfalto.....	81
Figura III-A Esquema De Ubicación Del Proyecto A Nivel Nacional.....	88
Figura III-1 Grafica de Plasticidad SUCS	106

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla II-1 Clasificación de Rocas Meteorizadas.....	37
Tabla II-2 Grado de Meteorización ISRM.....	38
Tabla II-3 Peso específico de las rocas.....	42
Tabla II-4 Resistencia a la compresión Uniaxial.....	43
Tabla II-5 Relación Suelo – CBR – MR.....	61
Tabla II-6 Periodos de Diseño en Función del Tipo de Carretera.....	62
Tabla II-7. Índice De Serviciabilidad.....	62
Tabla II-8 Factor de Crecimiento.....	67
Tabla II-9 Factor De Distribución Por Carril.	68
Tabla II-10 Valores Del Nivel De Confianza R De Acuerdo Al Tipo De Camino.	72

Tabla II-11 Factores de Desviación Normal.....	73
Tabla II-12 Valores de la Desviación Estándar.....	74
Tabla II-13 Capacidad del Drenaje.....	74
Tabla II-14 Coeficientes de Drenaje para Pavimentos Flexibles.	75
Tabla II-15 Espesores Mínimos, en pulgadas, en Función de los Ejes Equivalentes.....	77
Tabla II-16 Valor del Coeficiente Estructural Capa de Rodadura-Concreto Asfáltico.....	78
Tabla II-17 Valor del Coeficiente Estructural para Base Granular Chancada.....	79
Tabla II-18 Valor del Coeficiente Estructural para Sub-base Granular.....	80
Tabla III-1 Coordenadas de la Ubicación del Proyecto.....	89
Tabla III-2 Valores de carga unitaria.....	125
Tabla III-3 Clasificación de la subrasante.....	126
Tabla III-4 Resumen de resultados.....	131
Tabla III-5 Resumen de resultados.....	131
Tabla III-6 Condiciones de la investigación.....	137
Tabla III-7 Planilla de Resultados.....	228

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía III-1 . Fotografía Satelital-Coordenadas de Ubicación.....	89
Fotografía III-2 Características del Área de Estudio	90
Fotografía III-3 Características del Área de Estudio.....	90
Fotografía III-4 Características del Área de Estudio Topografía.....	91
Fotografía III-5 Fotografía Satelital Puntos de Extracción de Muestras.....	96
Fotografía III-6 . Sondeo de Muestras Progresiva: 13+500.....	97
Fotografía III-7 . Sondeo de Muestras Progresiva: 15+500.....	97
Fotografía III-8 . Sondeo de Muestras Progresiva: 17+500.....	97
Fotografía III-9 . Sondeo de Muestras Progresiva: 14+100.....	97
Fotografía III-10 . Serie de Tamices Estándar.....	100
Fotografía III-11 . Granulometría Método del Lavado Prog:10+760.....	100
Fotografía III-12 . Granulometría Fino Progresiva: 11+500.....	100
Fotografía III-12-A . Granulometría Fino Progresiva: 13+500.....	100
Fotografía III-13 . Muestras Preparadas para limites.....	107
Fotografía III-14 . Limite Liquido Prog: 10+760.....	107
Fotografía III-15 . Limite Liquido Prog: 15+500.....	107
Fotografía III-16 . Limite Plástico Prog:17+500.....	107
Fotografía III-17 . Secado al Horno de Limite Liquido y Limite Plástico.....	108
Fotografía III-18 . Materiales para Ensayo de Proctor T-180	109
Fotografía III-19 . Preparado de MaterialProg:10+760.....	109
Fotografía III-20 . Compactación Prog:10+760 4ta Capa.....	109
Fotografía III-21 . Preparado de material para Compactación.....	109

Fotografía III-22. Preparado de material para CBR.....	127
Fotografía III-23. Contenido de Humedad.....	127
Fotografía III-24. Moldes de CBR en proceso de saturación.....	127
Fotografía III-25. Rotura de Probetas de CBR.....	127
Fotografía III-26. Contenido de humedad Proctor a 5 días de Saturación.....	141
Fotografía III-27. Muestra preparada Proctor a 10 días de saturación.....	141
Fotografía III-28. Compactación a 5 días de saturación Prog: 17+500	141
Fotografía III-29. Pesaje de Molde más Muestra Proctor Prog:18+500.....	141
Fotografía III-30. Contenido de humedad CBR Prog:17+500.....	155
Fotografía III-31. Pesaje de muestra secada al horno Prog:16+500.....	155
Fotografía III-32. Muestra de 10 días de saturación Prog:15+500.....	155
Fotografía III-33. Compactación 10 días de saturación Prog;15+500.....	155
Fotografía III-34. Muestra saturada a 15 días Prog:18+500.....	155
Fotografía III-35. Compactación CBR 1ra capa Prog:12+500.....	155
Fotografía III-36 Filtración de Agua en la Subrasante.....	247
Fotografía III-37 Agua congelada en talud Prog:12+800.....	247
Fotografía III-38 Deshielo en Talud.....	247
Fotografía III-39 Rocas Meteorizadas al pie del Talud.....	247
Fotografía III-40 Filtración de Agua por el Talud.....	247

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Grafico III-A Resumen Curva Granulométrica Prog: 10+760.....	101
Grafico III-B Resumen Curva Granulométrica Prog: 11+500.....	101
Grafico III-C Resumen Curva Granulométrica Prog: 12+500.....	101
Grafico III-D Resumen Curva Granulométrica Prog: 13+500.....	101
Grafico III-E Resumen Curva Granulométrica Prog: 14+500.....	102
Grafico III-F Resumen Curva Granulométrica Prog: 15+500.....	102
Grafico III-G Resumen Curva Granulométrica Prog: 16+500.....	102
Grafico III-H Resumen Curva Granulométrica Prog: 17+50.	102
Grafico III-I Resumen Curva Granulométrica Prog: 18+500.....	103
Grafico III-A Resumen Curva Limite Liquido Prog:10+760... ..	108
Grafico III-B Resumen Curva Limite Liquido Prog: 11+500.....	108
Grafico III-C Resumen Curva Limite Liquido Prog: 12+500.....	109
Grafico III-D Resumen Curva Limite Liquido Prog: 13+500....	109
Grafico III-E Resumen Curva Limite Liquido Prog: 14+500.....	109
Grafico III-F Resumen Curva Limite Liquido Prog: 15+500.....	109
Grafico III-G Resumen Curva Limite Liquido Prog: 16+500.....	110
Grafico III-H Resumen Curva Limite Liquido Prog: 17+500.....	110
Grafico III-I Resumen Curva Limite Liquido Prog: 18+500.....	110

Grafico III-A Resumen Clasificación de Suelos Prog:10+760.....	111
Grafico III-B Resumen Clasificación de Suelos Prog: 11+500.....	111
Grafico III-C Resumen Clasificación de Suelos Prog: 12+500.....	111
Grafico III-D Resumen Clasificación de Suelos Prog: 13+500.....	111
Grafico III-E Resumen Clasificación de Suelos Prog: 14+500.....	111
Grafico III-F Resumen Clasificación de Suelos Prog: 15+500.....	112
Grafico III-G Resumen Clasificación de Suelos Prog: 16+500.....	112
Grafico III-H Resumen Clasificación de Suelos Prog: 17+500.....	112
Grafico III-I Resumen Clasificación de Suelos Prog: 18+500.....	112
Grafico III-A Resumen Curva Humedad-Densidad Prog: 10+760.....	120
Grafico III-B Resumen Curva Humedad-Densidad Prog: 11+500.....	120
Grafico III-C Resumen Curva Humedad-Densidad Prog: 12+500.....	120
Grafico III-D Resumen Curva Humedad-Densidad Prog: 13+500.....	120
Grafico III-E Resumen Curva Humedad-Densidad Prog: 14+500.....	121
Grafico III-F Resumen Curva Humedad-Densidad Prog: 15+500.....	121
Grafico III-G Resumen Curva Humedad-Densidad Prog: 16+500.....	121
Grafico III-H Resumen Curva Humedad-Densidad Prog: 17+500.....	121
Grafico III-I Resumen Curva Humedad-Densidad Prog: 18+500.....	121
Grafico III-A Resumen Curvas Carga Vs Penetración y Densidad Vs CBR Prog: 10+760..	128
Grafico III-B Resumen Curvas Carga Vs Penetración y Densidad Vs CBR Prog: 11+500..	128
Grafico III-C Resumen Curvas Carga Vs Penetración y Densidad Vs CBR Prog: 12+500..	128
Grafico III-D Resumen Curvas Carga Vs Penetración y Densidad Vs CBR Prog: 13+500..	129
Grafico III-E Resumen Curvas Carga Vs Penetración y Densidad Vs CBR Prog: 14+500..	129
Grafico III-F Resumen Curvas Carga Vs Penetración y Densidad Vs CBR Prog: 15+500...	129
Grafico III-G Resumen Curvas Carga Vs Penetración y Densidad Vs CBR Prog: 16+500..	129
Grafico III-H Resumen Curvas Carga Vs Penetración y Densidad Vs CBR Prog: 17+500..	130
Grafico III-I Resumen Curvas Carga Vs Penetración y Densidad Vs CBR Prog: 18+500..	130
Grafico III-1 Curvas en condiciones extremas Prog:10+760.....	229
Grafico III-2 Curvas Tiempo Vs Humedad Tiempo Vs Densidad Tiempo Vs CBR Prog:10+760.....	231
Grafico III-3 Curvas Tiempo Vs Humedad Tiempo Vs Densidad Tiempo Vs CBR Prog: 12+500.....	232
Grafico III-4 Curvas Tiempo Vs Humedad Tiempo Vs Densidad Tiempo Vs CBR Prog: 13+500.....	233
Grafico III-5 Curvas Tiempo Vs Humedad Tiempo Vs Densidad Tiempo Vs CBR Prog: 15+500.....	234

Grafico III-6 Curvas Tiempo Vs Humedad Tiempo Vs Densidad Tiempo Vs CBR Prog: 16+500.....	235
Grafico III-7 Curvas Tiempo Vs Humedad Tiempo Vs Densidad Tiempo Vs CBR Prog: 17+500.....	236
Grafico III-8 Curvas Tiempo Vs Humedad Tiempo Vs Densidad Tiempo Vs CBR Prog: 18+500.....	237
Grafico III-A RELACION HUMEDAD – TIEMPO.....	238
Grafico III-B FAMILIA DE CURVAS DE MUESTRAS DE LAS PROGRESIVAS Tiempo Vs Densidad.....	241
Grafico III-C FAMILIA DE CURVAS DE MUESTRAS DE LAS PROGRESIVAS Tiempo Vs CBR.....	243

ÍNDICE DE ANEXOS

<i>ANEXO I ENSAYOS DE LABORATORIO MUESTRA NATURAL.....</i>	<i>i</i>
<i>ANEXO II CLASIFICACION DE SUELOS SISTEMA SUCS.....</i>	<i>ii</i>
<i>ANEXO III PROPIEDADES DE LOS GRUPOS DE SUELOS.....</i>	<i>iii</i>
<i>ANEXO IV CLASIFICACION DE SUELOS SISTEMA AASHTO.....</i>	<i>iii</i>
<i>ANEXO V PROPIEDADES DE LOS SUELOS FINOS EN FUNCION AL LIMITE LÍQUID. iv</i>	<i>iv</i>
<i>ANEXO VI CARACTERISTICAS GENERALES DE LOS SUELOS.....</i>	<i>iv</i>
<i>ANEXO VII COMPORTAMIENTO MECANICO DE LOS MATERIALES.....</i>	<i>v</i>
<i>ANEXO VIII CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES.....</i>	<i>vi</i>
<i>ANEXO IX CORRELACIÓN ENTRE EL TIPO DE MATERIAL CBR Y K SISTEMA AASHTO Y SUCS.....</i>	<i>vii</i>
<i>ANEXO X RELACION DE CLASIFICACION DE SUELOS ENTRE LOS SISTEMAS SUCS Y AASHTO.....</i>	<i>viii</i>
<i>ANEXO XI TIPO DE SUELO EN FUNCIÓN AL CBR.....</i>	<i>viii</i>
<i>ANEXO XII TABLAS PARA DISEÑO DE PAVIMENTOS.....</i>	<i>ix</i>
<i>ANEXO XIII FOTOGRAFIAS DEL TRAMO PROG:10+760 A PROG:10+860.....</i>	<i>xiii</i>
<i>ANEXO XIV DISEÑO DEL PAQUETE ESTRUCTURAL METODO AASTHO 1993.....</i>	<i>xv</i>