

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



**GUIA DE DISEÑO ESTRUCTURAL, CONSTRUCCION Y  
MANTENIMIENTO EN CAMINOS DE BAJA INTENSIDAD  
DE TRANSITO USANDO TRATAMIENTOS  
SUPERFICIALES ASFALTICOS.**

PRESENTADO POR:

**DAVID SALVADOR CEA CARRANZA  
KARLA YESENIA GUINEA LOPEZ  
EDUARDO ALEXANDER ROSA GARCIA**

PARA OPTAR AL TITULO DE:

**INGENIERO CIVIL**

CIUDAD UNIVERSITARIA, SEPTIEMBRE 2009.

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

RECTOR :

**MSc. RUFINO ANTONIO QUEZADA SÁNCHEZ**

SECRETARIO GENERAL :

**LIC. DOUGLAS VLADIMIR ALFARO CHÁVEZ**

**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**

DECANO :

**ING. MARIO ROBERTO NIETO LOVO**

SECRETARIO :

**ING. OSCAR EDUARDO MARROQUÍN HERNÁNDEZ**

**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**

DIRECTOR :

**MSc. FREDY FABRICIO ORELLANA CALDERÓN**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

**INGENIERO CIVIL**

Título :

**GUIA DE DISEÑO ESTRUCTURAL, CONSTRUCCION Y  
MANTENIMIENTO EN CAMINOS DE BAJA INTENSIDAD  
DE TRANSITO USANDO TRATAMIENTOS  
SUPERFICIALES ASFALTICOS.**

Presentado por :

**DAVID SALVADOR CEA CARRANZA  
KARLA YESENIA GUINEA LOPEZ  
EDUARDO ALEXANDER ROSA GARCIA**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Directores :

**ING. MAURICIO ERNESTO VALENCIA  
ING. DILBER ANTONIO SANCHEZ VIDES  
ING. CARLOS MATA TRIGUEROS**

San Salvador, Septiembre 2009.

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Directores :

**ING. MAURICIO ERNESTO VALENCIA**

**ING. DILBER ANTONIO SANCHEZ VIDES**

**ING. CARLOS MATA TRIGUEROS**

## **AGRADECIMIENTOS**

### **ING. MAURICIO VALENCIA**

Por compartir sus conocimientos y por su disponibilidad para solventar las inquietudes durante el desarrollo de este trabajo, por ser un excelente guía, darnos ánimos y ayudarnos agilizar el proceso, gracias por su comprensión ante las diferentes dificultades surgidas y sabios consejos otorgados.

### **ING. DILBER SANCHEZ**

Por el tiempo dedicado a la instrucción para el desarrollo de este trabajo. Y por el enorme interés en generar cambios para mejorar las técnicas de construcción de las vías en nuestro país, por compartir nuestros objetivos con el desarrollo de este estudio.

### **ING. CARLOS MATA**

Gracias por compartir sus conocimientos, por el apoyo y consejos brindados. Le agradecemos también el habernos facilitado siempre los medios suficientes para llevar a cabo todas las actividades propuestas durante el desarrollo de esta tesis.

### **DOÑA DOROTHY CARRANZA**

Por abrir las puertas de su casa, atendernos, y brindarnos un inigualable apoyo, animándonos e inspirando confianza durante el desarrollo de este trabajo. Muchas gracias por la bondad de ser la madre de este grupo,

**MARIO CEA**

Por ayudarnos en cada una de las etapas de este trabajo y convertirse en el integrante de protocolo, gracias por hacer gratos los momentos de estudio, por tu colaboración muchas gracias.

**CHAMBA, KARLA Y GUAYO.**

**A DIOS** por regalarme la oportunidad de vivir y llevar acabo mis metas trazadas, ser mi ayuda en los momentos más difíciles de esta etapa.

**A MI PADRES** por el amor, la paciencia, consejos y regaños, que me han ayudado en mi camino, por la comprensión y ayuda incondicional en todo momento y en todas mis decisiones, por ser mi amigos y regalarme la posibilidad de compartir todo con ustedes, derribando las clásicas barreras entre padres e hijo, por creer siempre en mí sin importar que todo estuviera en mi contra y lograr darme la confianza necesaria para conseguirlo. Gracias por todo.

**A MI HERMANO MARIO** por estar siempre a mi lado y dispuesto a ayudarme en cualquier cosa, por tus atenciones durante la realización de este documento, por estar conmigo en todo momento sin importar lo que suceda alrededor de nosotros, por ser mi mejor amigo y aliento incondicional en todos los aspectos.

**A MI FAMILIA** por su compañía y cooperación en todo momento, por hacer más fáciles los días complicados con su excelente sentido del humor. Por ser como son y estar siempre cerca.

**A MIS COMPAÑEROS DE TESIS** por compartir momentos de desesperación, nerviosismo, desvelos, risas, por las bromas en las eternas madrugadas, por depositar su confianza y acompañarme en la realización de este documento.

**A MIS AMIGOS** por su aliento y preocupación durante la elaboración de este documento, por todo el apoyo recibido en todas las formas posibles.

Y a todas las personas que directa o indirectamente colaboraron en la elaboración de este documento.

DAVID SALVADOR CEA CARRANZA.

**A DIOS TODOPODEROSO** Gracias padre que con tu infinito amor me has obsequiado la capacidad de entendimiento, Sabiduría y poder de elección en cada uno de mis días; gracias por poner todo en su justa medida y en el momento indicado para que haya podido alcanzar este logro, gracias por darme la fuerza en los momentos más difíciles.

**A MIS PADRES** Blanca Estela y Carlos Guinea a quienes les estoy eternamente agradecida, por todo el apoyo, confianza, dedicación que siempre me han brindado, por enseñarme el camino y darme los instrumentos necesarios para recorrerlo, gracias por el enorme sacrificio hecho con gran satisfacción para darme la mejor herencia de mi vida, gracias porque ese enorme orgullo que sienten hacia mí es la motivación más grande para seguir siempre adelante.

**A MIS HERMANOS** Por comprender mi difícil carácter y ayudarme siempre que lo necesito, gracias porque me inspiraron para ser un ejemplo y motivación para que alcancen sus futuros proyectos.

**A MI FAMILIA** A todos ustedes que siempre han estado pendientes para brindarme su apoyo y darme la confianza y los ánimos necesarios para poder culminar este trabajo.

**A MI TIO JOSE LUIS GUINEA** Por ser una persona tan bondadosa y reflejar sus ideales en mí, gracias por ese incondicional apoyo y el enorme interés durante mi carrera a que alcanzara la meta. Por demostrar que la distancia no es obstáculo cuando a alguien se le quiere apoyar verdaderamente. Muchas Gracias

**A MIS COMPAÑEROS DE TESIS** Gracias por enseñarme a trabajar de una manera diferente, y por su paciencia ante mi agitación, por su comprensión frente a las dificultades, gracias por compartir este proyecto conmigo y pasar de ser mis compañeros a unos muy buenos amigos.

**A LA FAMILIA MEJIA MORENO** Gracias por abrir las puertas de su casa y darme los cuidados y consejos necesarios. Especialmente a ti David por ser el apoyo más grande durante el desarrollo de este trabajo, por esas palabras tan sabias que siempre me daban seguridad de que todo saldría bien y gracias por tu incondicional compañía

**A MIS AMIGOS** Gracias por el apoyo durante estos años de estudios y por compartir tan buenos momentos, por disculpar mis errores y después hacerlos la comedia inolvidable. Por las eternas jornadas de estudio donde me permitían dormir.

**A Dios todopoderoso** por haberme dado la vida y permitirme llegar hasta donde estoy. Gracias además por todas aquellas experiencias ya sean estas buenas o malas porque ayudaron a definir mi personalidad y carácter. Además por haberme brindado la capacidad de reconocer lo justo y lo correcto.

**A mis padres** por haberme dado todo su amor y tolerancia, por estar siempre conmigo aconsejándome a tomar las decisiones correctas, apoyándome y alentándome a continuar aun en aquellos momentos difíciles, por haber hecho un gran esfuerzo y sacrificios para brindarme educación, diversión y todas aquellas cosas materiales necesarias para vivir además de hacer de mí una persona de bien y por haberme inculcado buenos principios. Les dedico esto en especial a ustedes ya que son los principales responsables además de Dios que sea quien soy hasta el momento.

**A mis hermanos** por apoyarme y haber estado pendientes de mí en todas mis vicisitudes y necesidades además de compartir muchos momentos importantes en mi vida tal como mi educación y todos aquellos logros que he alcanzado hasta el momento, también por todas aquellas buenas y malas experiencias que pasamos que al final me han ayudado a ser quien soy.

**A toda mi familia** que confió en mí en todo momento impulsándome a seguir y aconsejándome a tomar las decisiones correctas para mi vida y mi educación, además de ser una inspiración para todo el desempeño de mi vida. Gracias a mis abuelos, tíos y primos.

**A mis compañeros de tesis** por haber sido unas excelentes personas conmigo pues durante el desarrollo de este trabajo nos convertimos en amigos, también por compartir todos sus conocimientos y enseñarme a trabajar en equipo.

**A mis amigos y conocidos** por estar siempre al pendiente de mi salud, estado de ánimo y mi situación académica de una forma desinteresada y además de pasar buenos y malos momentos.

Y a todas las personas que de forma directa e indirecta me ayudaron en el desarrollo y formación de este trabajo. Muchas gracias.

Eduardo Alexander Rosa García.

# INDICE

INTRODUCCION .....	xxiv
--------------------	------

## CAPITULO 1 “GENERALIDADES”

1.1 ANTECEDENTES.....	2
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	12
1.3 OBJETIVOS GENERALES Y ESPECIFICOS .....	13
1.3.1. OBJETIVO GENERAL .....	13
1.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	13
1.4 ALCANCES Y LIMITACIONES.....	14
1.4.1 ALCANCES .....	14
1.4.2 LIMITACIONES .....	14
1.5 JUSTIFICACION .....	15

## CAPITULO 2 “SUELOS”

2.1 GENERALIDADES .....	17
2.1.1 ORIGEN, COMPOSICION Y PROPIEDADES INGENIERILES DE LOS SUELOS.....	17
2.1.2 PROPIEDADES FISICAS DE LOS SUELOS Y ROCAS .....	18
2.1.3 PROPIEDADES GEOTECNICAS DE ROCAS Y SUELOS .....	19
2.1.4 CLASIFICACION GEOTECNICA DE LAS ROCAS Y SUELOS SEGÚN SU ORIGEN GEOLOGICO .....	19
2.1.5 INVESTIGACION DEL SUBSUELO Y MUESTREO.....	31
2.1.5.1 LOCALIZACION Y DISTRIBUCION DEL MUESTREO .....	34
2.1.5.2 GEOTECNIA LOCALIZADA.....	36

2.1.5.3	BANCOS DE MATERIALES PETREOS .....	39
2.1.6	GENERALIDADES DE LOS METODOS DE EXPLORACION INDIRECTA .....	40
2.1.7	ANALISIS DE ESTABILIDAD DE CORTES Y TERRAPLEN .....	42
2.2	PROPIEDADES DE LOS SUELOS .....	43
2.2.1	ANALISIS POR TAMIZADO DE AGREGADOS	
	GRUESO Y FINO (AASHTO T-27).....	43
2.2.1.1	MATERIAL .....	43
2.2.1.2	EQUIPO.....	46
2.2.1.3	PROCEDIMIENTO .....	49
2.2.2	MATERIALES MAS FINOS QUE PASAN EL TAMIZ DE 75 $\mu$ m (N° 200)	
	EN AGREGADO MINERAL POR LAVADO (AASHTO T-11) .....	54
2.2.2.1	MATERIALES Y EQUIPO .....	55
2.2.2.2	PROCEDIMIENTO .....	58
2.2.3	LIMITES DE ATTERBERG .....	62
2.2.3.1	ESTADOS DE CONSISTENCIA .....	62
2.2.3.2	DETERMINACION DE LOS LIMITES (AASHTO T-89 Y T-90) .....	64
2.2.4	EQUIVALENTE DE ARENA (AASHTO T-176).....	67
2.2.4.1	MATERIAL Y EQUIPO .....	68
2.2.4.2	PROCEDIMIENTO .....	69
2.3	CLASIFICACION DE SUELOS.....	70
2.3.1	SISTEMA DE CLASIFICACION DE SUELOS AASHTO .....	71
2.3.2	METODO VISUAL MANUAL PARA LA IDENTIFICACION DE SUELOS.....	81
2.3.2.1	APLICACIÓN E IMPORTANCIA DEL METODO.....	82
2.3.2.2	MATERIAL Y EQUIPO .....	83
2.3.2.3	PROCEDIMIENTO .....	84

2.3.2.4	PREPARACION DE LA MUESTRA PARA LA IDENTIFICACION DE LOS SUELOS.....	93
2.3.2.5	IDENTIFICACION DE SUELOS DE GRANO FINO.....	95
2.3.2.6	IDENTIFICACION DE SUELOS DE GRANO FINO INORGANICOS.....	101
2.3.2.7	IDENTIFICACION DE SUELOS DE GRANO FINO ORGANICOS.....	102
2.3.2.8	IDENTIFICACION DE SUELOS DE GRANO GRUESO.....	103
2.3.2.9	IDENTIFICACION DE TURBAS.....	105
2.4	CAPACIDAD DE SOPORTE .....	106
2.4.1	ENSAYO DE PROCTOR (AASHTO T-90 Y T-180).....	106
2.4.1.1	DENSIDAD DEL SUELO.....	106
2.4.1.2	INFLUENCIA DE LA HUMEDAD .....	106
2.4.1.3	INFLUENCIA DE LA ENERGIA DE COMPACTACION.....	107
2.4.1.4	INFLUENCIA DEL TIPO DE SUELO .....	108
2.4.1.5	MATERIAL Y EQUIPO .....	110
2.4.1.6	PROCEDIMIENTO .....	111
2.4.2	DETERMINACION DEL CBR (AASHTO T-193).....	113
2.4.3	MODULO RESILENTE (AASHTO T-274).....	126
2.5	ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS.....	128
2.5.1	CONO DE PENETRACION DINAMICO .....	128
2.5.1.1	DESCRIPCION DEL CONO DE PENETRACION DINAMICO (CPD) .....	128
2.5.1.2	PROCEDIMIENTO .....	129
2.5.2	METODO CBR EN SITU.....	134
2.5.2.1	PROCEDIMIENTO .....	135

### **CAPITULO 3 “TRANSITO”**

3.1	METODOLOGIA PARA EL ESTUDIO DE LA DEMANDA DE TRANSITO.....	138
3.1.1	TRANSITO PROMEDIO DIARIO ANUAL (TPDA).....	138
3.1.2	VOLUMEN Y COMPOSICION .....	140
3.1.3	VARIACIONES HORARIAS DE LA DEMANDA .....	141
3.1.4	VARIACIONES DIARIAS DE LA DEMANDA.....	141
3.1.5	VARIACIONES ESTACIONALES (MENSUALES) .....	141
3.1.6	INFORMACION MINIMA NECESARIA .....	141
3.2	TRANSITO PARA CAMINOS PAVIMENTADAS.....	142
3.3	TRANSITO PARA DISEÑO DE CAMINOS NO PAVIMENTADOS.....	147

### **CAPITULO 4 “DISEÑO ESTRUCTURAL”**

4.1	DISEÑO DE CAMINOS DE BAJA INTENSIDAD DE TRANSITO.....	151
4.2	DISEÑO DE LA ESTRUCTURA PARA CAMINOS DE BAJA INTENSIDAD	
	USANDO EL METODO AASHTO 93 .....	152
4.2.1	PROCEDIMIENTO DE DISEÑO POR NOMOGRAMAS .....	154
4.2.2	CAMINOS CON SUPERFICIES DE MATERIALES GRANULARES.....	157
4.2.3	CATALOGO DE DISEÑO.....	168
4.2.4	CATALAGO PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.....	169
4.3	DISEÑO DE LA ESTRUCTURA PARA CAMINOS NO PAVIMENTADOS	
	USANDO EL METODO AUSTROADS .....	173
4.3.1	SUBRASANTE .....	173
4.3.1.1	IDENTIFICACION DE SECTORES HOMOGENEOS.....	175
4.3.1.2	ENSAYOS CBR .....	176
4.3.2	DRENAJE SUPERFICIAL .....	177

4.3.2.1	DRENAJE DEL AGUA QUE ESCURRE SUPERFICIALMENTE .....	178
4.3.2.2	CUNETAS .....	179
4.3.3	CAPA DE AFIRMADO.....	185
4.3.4	CATALOGO ESTRUCTURAL DE SUPERFICIE DE RODADURA .....	189
4.3.5	TRATAMIENTOS SUPERFICIALES.....	198
4.3.5.1	TRATAMIENTO SUPERFICIAL SIMPLE.....	198
4.3.5.2	TRATAMIENTOS SUPERFIALES MULTIPLES .....	198
4.3.5.3	CAPE SEAL .....	199
4.3.5.4	SELLADO DOBLE (SANWICH SEAL).....	200

## **CAPITULO 5 “CONSTRUCCION”**

5.1	ESPECIFICACIONES TECNICAS PARA LOS PROCESOS CONSTRUCTIVOS .....	202
5.1.1	EXCAVACION Y TERRAPLENADO .....	202
5.1.2	AFIRMADOS .....	219
5.1.3	SUBBASE O BASE GRANULAR.....	232
5.1.4	TRATAMIENTOS SUPERFICIALES ASFALTICOS .....	237
5.1.4.1	TRATAMIENTOS SUPERFICIALES SIMPLES .....	242
5.1.4.2	TRATAMIENTOS SUPERFIALES MULTIPLES .....	244
5.1.4.3	SELLO CON LECHADA ASFALTICO (SLURRY SEAL) .....	247
5.2	PROCESO CONSTRUCTIVO	
5.2.1	LIMPIEZA Y DESMONTE .....	257
5.2.2	LIMPIEZA Y DESMONTE ADICIONAL.....	257
5.2.3	ELIMINACION REUBICACION DE ESTRUCTURAS.....	258
5.2.4	EXCAVACION Y TERRAPLENADO .....	259
5.2.5	EXCAVACION Y RELLENO PARA ESTRUCTURAS MAYORES .....	266
5.2.6	CONFORMACION DE LA SUBRASANTE .....	268

5.2.7	SUBBASE O BASE GRANULAR .....	268
5.3	CONTROL DE CALIDAD DEL CONTRATISTAS.....	270
5.3.1	ALCANCE DEL PLAN DE CONTROL DE CALIDAD .....	270
5.3.2	PLAN DE CONTROL DE CALIDAD DEL CONTRATISTA.....	270
5.3.3	CONTENIDO DEL PLAN DE CONTROL DE CALIDAD .....	272
5.3.4	ARCHIVOS Y REGISTROS DEL PLAN DE CONTROL DE CALIDAD .....	277
5.3.5	INFORME DE CONTROL DE CALIDAD .....	278
5.3.6	UNIDAD DE CONTROL DE CALIDAD .....	279
5.3.7	SISTEMA DE ACEPTACION Y ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD.....	281
5.3.8	ALCANCE.....	282
5.3.9	PROCESO DE ACEPTACION (DETERMINACION DEL NIVEL DE CALIDAD).....	282
5.3.10	PROCEDIMIENTO PARA CONTROL DE PRODUCTO NO CONFORME .....	284
5.3.11	ENSAYOS DE CONTRASTE.....	285
5.3.12	SEGURIDAD E HIGIENE OCUPACIONAL .....	287

## **CAPITULO 6 “MANTENIMIENTO”**

6.1	INDICE DE CONDICION DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS (URCI) .....	290
6.1.1	PROCEDIMIENTO DE EVALUACION DE LA CONDICION DEL PAVIMENTO .....	291
6.1.2	UNIDADES DE MUESTREO .....	292
6.1.3	DETERMINACION DE LAS UNIDADES DE MUESTREO PARA EVALUACION .....	294
6.1.4	SELECCIÓN DE UNIDADES DE MUESTREO PARA INSPECCION .....	295
6.1.5	EVALUACION DE LA CONDICION .....	296

6.1.6	CALCULO DEL URCI DE LAS UNIDADES DE MUESTREO .....	297
6.2	MANUAL DE DAÑOS PARA CAMINOS NO PAVIMENTADOS .....	300
6.2.1	SECCION TRANSVERSAL INADECUADA.....	300
6.2.2	CORRUGACIONES .....	302
6.2.3	AHUELLAMIENTO .....	304
6.2.4	PERDIDA DE AGREGADO.....	306
6.2.5	BACHES.....	308
6.2.6	DRENAJE INADECUADO.....	310
6.2.7	POLVO .....	312
6.3	PROGRAMA DE MANTENIMIENTO.....	314
6.3.1	INSPECCION DE LA CARRETERA .....	314
6.3.2	ESTABLECIMIENTO DEL INDICE DE CONDICION DE LA VIA .....	314
6.3.3.	ESTABLECIMIENTO DE LAS PRIORIDADES DE MANTENIMIENTO .....	315
6.3.4	ALTERNATIVAS DE MANTENIMIENTO .....	316
 <b>CAPITULO 7 “CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES”</b> 		
7.1	CONCLUSIONES .....	319
7.2	RECOMENDACIONES.....	321
BIBLIOGRAFIA	.....	323
ANEXOS	.....	326

## INDICE DE TABLAS

### CAPITULO 1 “GENERALIDADES”

TABLA 1.1	NORMAS DE DISEÑO CLASIFICACION TERCIARIA.....	6
TABLA 1.2	NORMAS DE DISEÑO CLASIFICACION TERCIARIA MODIFICADA.....	7
TABLA 1.3	NORMAS DE DISEÑO CLASIFICACION RURAL.....	9

### CAPITULO 2 “SUELOS”

TABLA 2.1	CLASIFICACION DE LAS ROCAS SEGÚN SU ORIGEN GEOLOGICO.....	20
TABLA 2.2	CLASIFICACION DE LOS SUELOS SEGÚN SU ORIGEN GEOLOGICO.....	26
TABLA 2.3	ENSAYOS DE LABORATORIO MINIMOS .....	35
TABLA 2.4	RELACION METODO DE EXPLORACION - TIPO DE MUESTRA A OBTENER.....	38
TABLA 2.5	MASA DE LA MUESTRA .....	45
TABLA 2.6	CANTIADAD MAXIMA ADMISIBLE DE MATERIAL RETENIDO EN UN TAMIZ .....	52
TABLA 2.7	MASA MINIMA DE MUESTRA DE ENSAYO .....	58
TABLA 2.8	VALORES TIPICOS DE CONSISTENCIA DEL SUELO .....	67
TABLA 2.9	INTERPRETACION DE RESULTADOS.....	70
TABLA 2.10	CLASIFICACION DEL SUELO SEGÚN INDICE DE GRUPO .....	78
TABLA 2.11	CLASIFICACION DE SUELOS Y MEZCLAS DE SUELOS Y AGREGADOS.....	79
TABLA 2.12	CARACTERISTICAS Y USOS DE LOS DIFERENTES TIPOS DE SUELOS Y SU CALIDAD .....	80
TABLA 2.13	EQUIVALENCIAS DE CLASIFICACION.....	81

TABLA 2.14	CANTIDAD MINIMA DEL ESPECIMEN DE ENSAYO SEGÚN EL TAMAÑO DE LA PARTICULA .....	85
TABLA 2.15	CRITERIOS PARA LA DESCRIPCION DE LA ANGULOSIDAD DE LAS PARTICULAS DE GRANO GRUESO .....	86
TABLA 2.16	CRITERIO PARA DESCRIBIR LA FORMA DE LA PARTICULA .....	87
TABLA 2.17	CRITERIO PARA LA DESCRIPCION DE LA CONDICION DE HUMEDAD .....	89
TABLA 2.18	CRITERIO PARA LA DESCRIPCION DE LA REACCION CON HCL .....	89
TABLA 2.19	CRITERIO PARA LA DESCRIPCION DE LA CONSISTENCIA .....	90
TABLA 2.20	CRITERIO PARA LA DESCRIPCION DE LA CEMENTACION .....	90
TABLA 2.21	CRITERIO PARA LA DESCRIPCION DE LA ESTRUCTURA.....	91
TABLA 2.22	CRITERIOS PARA LA DETERMINACION DEL TAMAÑO MAXIMO DE LA PARTICULA .....	92
TABLA 2.23	CRITERIO PARA DESCRIBIR LA RESISTENCIA EN SECO DE UN SUELO .....	97
TABLA 2.24	CRITERIO PARA DESCRIBIR LA DILATANCIA DE UN SUELO .....	98
TABLA 2.25	CRITERIO PARA DESCRIBIR LA TENACIDAD DE UN SUELO .....	99
TABLA 2.26	CRITERIO PARA DESCRIBIR LA PLASTICIDAD DE UN SUELO .....	100
TABLA 2.27	IDENTIFICACION DE SUELOS DE GRANO FINO INORGANICOS POR MEDIO DE ENSAYOS MANUALES.....	101
TABLA 2.28	IDENTIFICACION DEL NOMBRE Y SIMBOLO DE GRUPO DE UN SUELO DE GRANO GRUESO .....	103
TABLA 2.29	RESUMEN DE ENSAYOS DE VALOR DE SOPORTE.....	122
TABLA 2.30	VALORES PARA CURVA PORCENTAJE DE COBERTURA VS CBR ...	124
TABLA 2.31	VALORES TIPICOS DEL $M_R$ SEGÚN SU CLASIFICACION AASHTO.....	127
TABLA 2.32	VALORES TIPICOS DE CBR, SEGÚN CLASIFICACION.....	135

### **CAPITULO 3 “TRANSITO”**

TABLA 3.1	FORMULA SIMPLIFICADA DE AASHTO.....	144
TABLA 3.2	PESOS MAXIMOS SEGÚN TIPO DE VEHICULO .....	145
TABLA 3.3	FACTORES DE CAMION POR EJES Y VEHICULOS POR PESOS SEGÚN SIECA .....	145
TABLA 3.4	CLASIFICACION SEGÚN VOLUMEN DE TRANSITO.....	147

### **CAPITULO 4 “DISEÑO ESTRUCTURAL”**

TABLA 4.1	MODULO RESILENTE DEL SUELO DE FUNDACION.....	156
TABLA 4.2	MODULO RESILENTE DEL SUELO DE FUNDACION QUE SE PUEDEN USAR EN FUNCION DE LA REGION CLIMATICA.....	156
TABLA 4.3	CARTA PARA CALCULAR EL DAÑO TOTAL DEL PAVIMENTO .....	158
TABLA 4.4	CARTA DE CALCULO DEL DAÑO TOTAL DEL PAVIMENTO.....	163
TABLA 4.5	PERDIDA DE SERVICIABILIDAD EN EL PAVIMENTO.....	169
TABLA 4.6	CATALOGO PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES RANGOS RECOMENDADOS DE SN CON R=50% .....	171
TABLA 4.7	CATALOGO PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES RANGOS RECOMENDADOS DE SN CON R=75% .....	172
TABLA 4.8	DISTANCIA MINIMA REQUERIDA HASTA EL NIVEL FREATICO .....	174
TABLA 4.9	COEFICIENTES DE RUGOSIDAD PARA CUNETAS.....	182
TABLA 4.10	VELOCIDADES NO EROSIONANTES DEL AGUA EN CUNETAS RECTAS CON ALGUN USO.....	184
TABLA 4.11	GRANULOMETRIA CORRESPONDIENTE SEGÚN TIPO DE AFIRMADO.....	189

## **CAPITULO 5 “CONSTRUCCION”**

TABLA 5.1	SELECCIÓN DEL TIPO DE ESTABILIZADOR .....	230
TABLA 5.2	CANTIDADES DE SUSTANCIAS DELETEREAS O PERJUDICIALES PERMISIBLES EN EL AGREGADO FINO.....	232
TABLA 5.3	CANTIDADES DE SUSTANCIAS DELETEREAS O PERJUDICIALES PERMISIBLES EN EL AGREGADO GRUESO.....	233
TABLA 5.4	CANTIDADES APROXIMADAS DE MATERIAL PARA TRATAMIENTOS SUPERFICIALES SIMPLES.....	243
TABLA 5.5	GRANULOMETRIA DEL AGREGADO .....	244
TABLA 5.6	CANTIDADES APROXIMADAS DE MATERIAL PARA TRATAMIENTOS SUPERFICIALES MULTIPLES USANDO CEMENTO ASFALTICO .....	245
TABLA 5.7	CANTIDADES APROXIMADAS DE MATERIAL PARA TRATAMIENTOS SUPERFICIALES MULTIPLES USANDO EMULSIONES ASFALTICAS .....	246
TABLA 5.8	MUESTREO Y ENSAYO.....	247
TABLA 5.9	MUESTREO Y PRUEBA.....	253
TABLA 5.10	PROCEDIMIENTO PARA CONTROL DE PRODUCTO NO CONFORME .....	285

## **CAPITULO 6 “MANTENIMIENTO”**

TABLA 6.1	RANGOS DE CALIFICACION DEL URCI.....	291
TABLA 6.2	ALTERNATIVAS DE MANTENIMIENTO.....	317

## INTRODUCCIÓN

Los caminos de baja intensidad de tránsito, como pueden ser los de acceso del agricultor al mercado y los que enlazan a las comunidades, son partes necesarias de cualquier sistema de transporte que le dé servicio al público en zonas rurales, para mejorar el flujo de bienes y servicios, para ayudar a promover el desarrollo, la salud pública y la educación, y como una ayuda en la administración del uso del suelo y de los recursos naturales. Al mismo tiempo, los caminos y las zonas afectadas pueden producir cantidades importantes de sedimentos y pueden constituir uno de los más grandes impactos negativos sobre el medio ambiente local, la calidad del agua y la vida acuática.

La inestabilidad de las calzadas naturales limita severamente el tránsito. Como consecuencia, se ven resentidos aspectos sociales y económicos, tales como la educación, salud, recreación y los derivados de la propia actividad productiva. Estas perturbaciones, alcanzan dimensiones insospechadas cuando se les vincula a las migraciones internas, limitaciones en la aplicación de tecnologías, restricciones para el acceso a nuevos o más amplios mercados, entre otros aspectos.

Los caminos son necesarios, pero deben construirse y conservarse de tal manera que se puedan controlar o evitar los impactos ambientales negativos. Un camino bien planeado, ubicado, diseñado y construido producirá impactos adversos mínimos en el medio ambiente y será rentable en cuanto a costos a largo plazo, con costos razonables de mantenimiento y reparación.

Con este documento se pretende proporcionar el proceso que se llevará a cabo para el desarrollo del trabajo de graduación titulado “GUÍA DE DISEÑO ESTRUCTURAL, CONSTRUCCIÓN Y MANTENIMIENTO DE CAMINOS DE BAJA INTENSIDAD DE TRÁNSITO ”, iniciando con los antecedentes del tema en cuestión, luego se plantea el problema, los objetivos que se pretenden alcanzar al desarrollar la guía, los alcances y limitaciones que se tienen, el porqué de nuestra investigación, el contenido temático que abarca la investigación, los recursos a utilizar y el cronograma de actividades para su desarrollo y finalmente las conclusiones y recomendaciones.

# **CAPITULO 1**

---

## **GENERALIDADES**

## 1.1 ANTECEDENTES

Entre 1871 y comienzos de siglo XX, El Salvador se convirtió en una república netamente cafetalera. Los productores se vieron en la necesidad de trasladar sus cosechas hacia los diferentes puntos de comercio existente en esa época, bajo las condiciones en las que se encontraban las carreteras, aumentando los costos que implicaban dichos traslados.

A principios de 1971, se contaba con 8,702 Km de carreteras, de los cuales el 49.5 % era transitable durante todo el año, mientras que el resto era tan solo en la época seca. De los 4,306 Km transitables en todo tiempo, 1,208 Km se hallaban pavimentados, 1,585 Km estaban revestidos de grava, mientras que los 1,513 Km restantes eran de tierra.

En la actualidad los caminos de baja intensidad de tránsito, representan un total de dos mil ciento treinta y tres punto ochenta y cuatro kilómetros (2133.84 Km), equivalente al veinte y un punto doce por ciento (21.12%) de la red nacional de vías; y por sus capas superiores y superficie de rodadura pueden ser clasificados como sigue:

- Con superficie de rodadura no pavimentada, entre ellos: caminos de tierra, caminos gravosos, caminos constituidos por una capa de revestimiento con materiales de cantera.
- Con superficie de rodadura estabilizados con materiales industriales.

La red no pavimentada de El Salvador se aprecia en la figura 1.1, algunas de ellas pueden estar dentro de la clasificación de caminos de baja intensidad de tráfico.

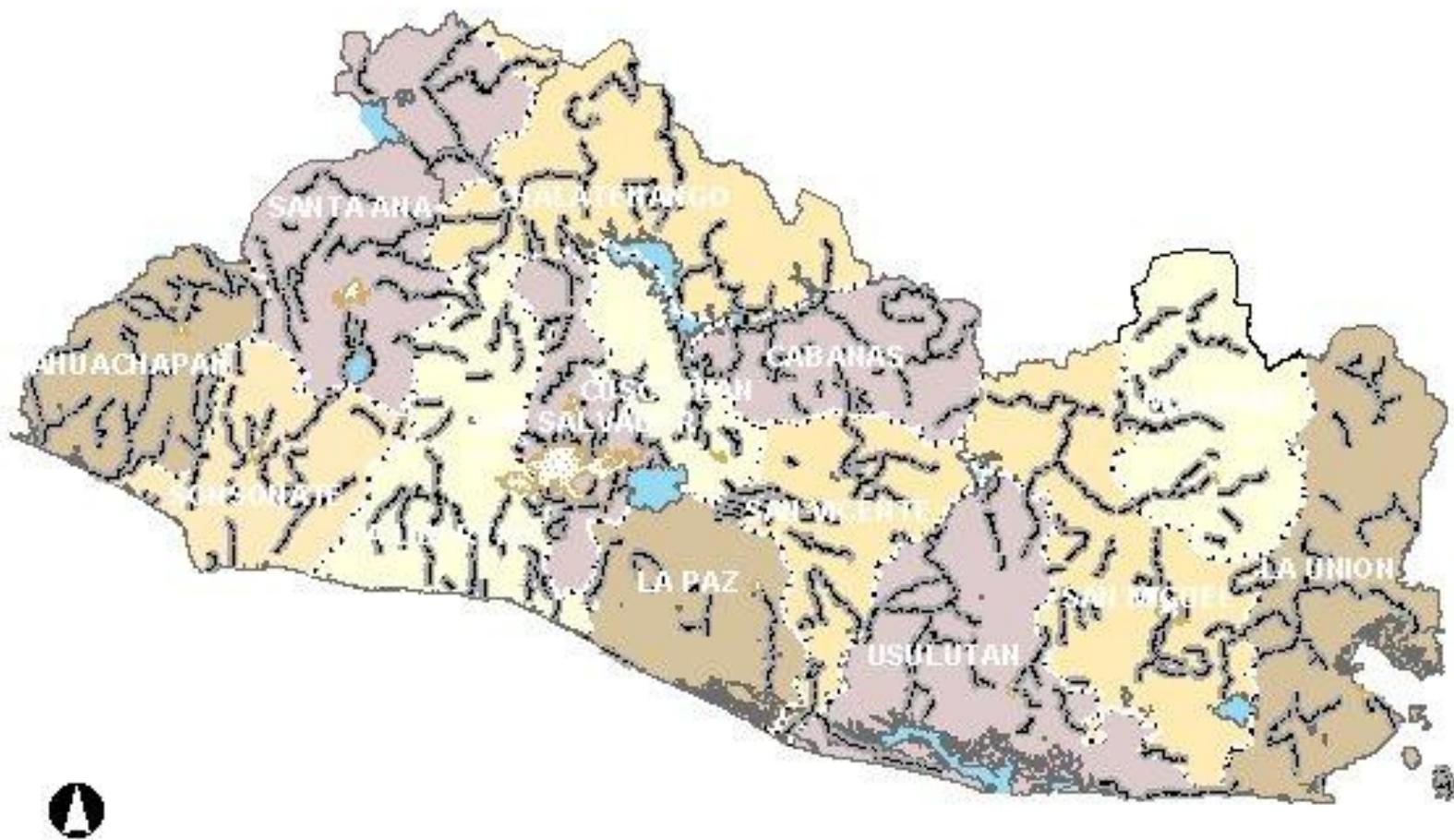
Según el manual centroamericano, normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales, en función de Transito Promedio Diario Anual (TPDA), se propone agrupar las carreteras en cuatro categorías: mayores de 3,000, entre 1,000 y 3,000, entre 500 y 1,000 y menores de 500 vehículos por día (vpd).

En el país existe la ley de carreteras y caminos vecinales, en la cual atendiendo a su importancia y características geométricas son subdivididas en:

Primarias, las capacitadas para intensidades de tránsito superiores a dos mil vehículos promedio por día, con doce metros de plataforma, siete metros treinta centímetros de rodaje y un mínimo de siete metros noventa centímetros de rodaje en los puentes.

Secundarias, las capacitadas para intensidades de tránsito comprendidas entre quinientos y dos mil vehículos promedio por día, con nueve metros cincuenta centímetros de plata forma, seis metros cincuenta centímetros de rodaje y un mínimo de siete metros cuarenta centímetros de rodaje en los puentes.

Terciarias, aquellas cuya intensidad de transito está comprendida entre cien y quinientos vehículos promedio por día, con seis metros de plataforma, revestimiento de materiales locales selectos y un mínimo de seis metros cincuenta centímetros de rodaje en los puentes.



Mapa creado por MOP - Gerencia de Informatica Institucional



FIGURA 1.1 RED VIAL NO PAVIMENTADA

Rurales, las capacitadas para una intensidad de tránsito de cien vehículos promedio por día, con cinco metros de plataforma y un mínimo de tres metros de rodaje en los puentes; o que, sin llenar tales características, dicha carretera haya sido construida por el Gobierno Central

Caminos vecinales o municipales, son aquellos que comunican villas, pueblos, valles, cantones o caseríos entre sí o conectan éstos con cualquier carretera, los cuales en ningún caso podrán tener menos de seis metros cincuenta centímetros de ancho; su construcción, mejoramiento y conservación corresponde a la Municipalidad de la respectiva jurisdicción.

Los caminos que serán considerados como de baja intensidad de tránsito, serán aquellos que tengan un TPDA menor de 400 vehículos por día, para nuestro caso aplicando la ley de carreteras y caminos vecinales serán las carreteras terciarias, terciarias modificadas y rurales; éstos se estructuran como caminos de bajo costo, por lo que sus diseños geométricos están orientados a evitar excesivos movimientos de tierra, por lo general son diseñados para periodos de vida útil, de corto y mediano plazo con características que afecten lo menos posible la naturaleza del terreno.

Una vez definido el concepto de camino de baja intensidad de tránsito, es de suma importancia conocer las características geométricas que estos caminos tendrán, como hemos establecido anteriormente en base a la ley de carreteras y caminos vecinales, nuestra propuesta estará orientada a las carreteras terciarias, terciarias modificadas y carreteras rurales. (*Ver tabla 1.1, 1.2, 1.3 y Figuras 1.2, 1.3.*)

**TABLA 1.1 NORMAS DE DISEÑO****CLASIFICACION TERCARIA**

<b>CRITERIO DE DISEÑO</b>	<b>TERRENO PLANO</b>	<b>TERRENO ONDULADO</b>	<b>TERRENO MONTAÑOSO</b>
<b>VELOCIDAD DE DISEÑO</b>	60 k/h	50 k/h	40 k/m
<b>PENDIENTE MAXIMA</b>	6.0%	8.0%	10.0%
<b>RADIO MINIMO</b>	150.00 m	100.00 m	40.00 m
<b>DISTANCIA MINIMA ENTRE CURVAS HORIZONTALES</b>	50.00 m	50.00 m	50.00 m
<b>DISTANCIA MINIMA DE VISIBILIDAD</b>	120.00 m	100.00 m	80.00 m
<b>ANCHO DE LA VIA</b>	6.00 m	6.00 m	6.00 m
<b>ANCHO DE RODAMIENTO EN LOS PUENTES</b>	6.50 m	6.50 m	6.50 m
<b>ANCHO DE LA ZONA DE DERECHO DE VIA</b>	20.00 m	20.00 m	20.00 m
<b>ANCHO DE LA ZONA DE RETIRO</b>	4.00 m	4.00 m	4.00 m
<b>CARGA DE DISEÑO PARA PUENTES</b>	H15-S12	H15-S12	H15-S12
<b>TIPO DE SUSPERFICIE</b>	MATERIAL SELECTO COMPACTO		

FUENTE: LEY DE CARRETERAS Y CAMINOS VECINALES DECRETO LEGISLATIVO N° 463

**TABLA 1.2 NORMAS DE DISEÑO  
CLASIFICACION TERCIARIA MODIFICADA**

<b>CRITERIO DE DISEÑO</b>	<b>TERRENO PLANO</b>	<b>TERRENO ONDULADO</b>	<b>TERRENO MONTAÑOSO</b>
<b>VELOCIDAD DE DISEÑO</b>	60 k/h	50 k/h	40 k/m
<b>PENDIENTE MAXIMA</b>	6.0%	8.0%	10.0%
<b>RADIO MINIMO</b>	150.00 m	100.00 m	40.00 m
<b>DISTANCIA MINIMA ENTRE CURVAS HORIZONTALES</b>	50.00 m	50.00 m	50.00 m
<b>DISTANCIA MINIMA DE VISIBILIDAD</b>	130.00 m	100.00 m	80.00 m
<b>ANCHO DE LA VIA</b>	8.00 m	8.00 m	8.00 m
<b>ANCHO DEL PAVIMENTO</b>	6.00 m	6.00 m	6.00 m
<b>ANCHO DE BERMAS</b>	1.00 m	1.00 m	1.00 m
<b>ANCHO DE RODAMIENTO EN LOS PUENTES</b>	7.40 m	7.40 m	7.40 m
<b>ANCHO DE LA ZONA DE DERECHO DE VIA</b>	20.00 m	20.00 m	20.00 m
<b>ANCHO DE LA ZONA DE RETIRO</b>	10.00 m	10.00 m	10.00 m
<b>CARGA DE DISEÑO PARA PUENTES</b>	H15-S12	H15-S12	H15-S12
<b>TIPO DE PAVIMENTO</b>	TRATAMIENTO SUPERFICIAL SIMPLE		
<b>TRATAMIENTO DE BERMAS</b>	MATERIAL SELECTO COMPACTO		

FUENTE: LEY DE CARRETERAS Y CAMINOS VECINALES DECRETO LEGISLATIVO N° 463

NORMAS DE DISEÑO

SECCIONES TIPICAS

CLASIFICACION TERCARIA Y TERCARIA MODIFICADA.

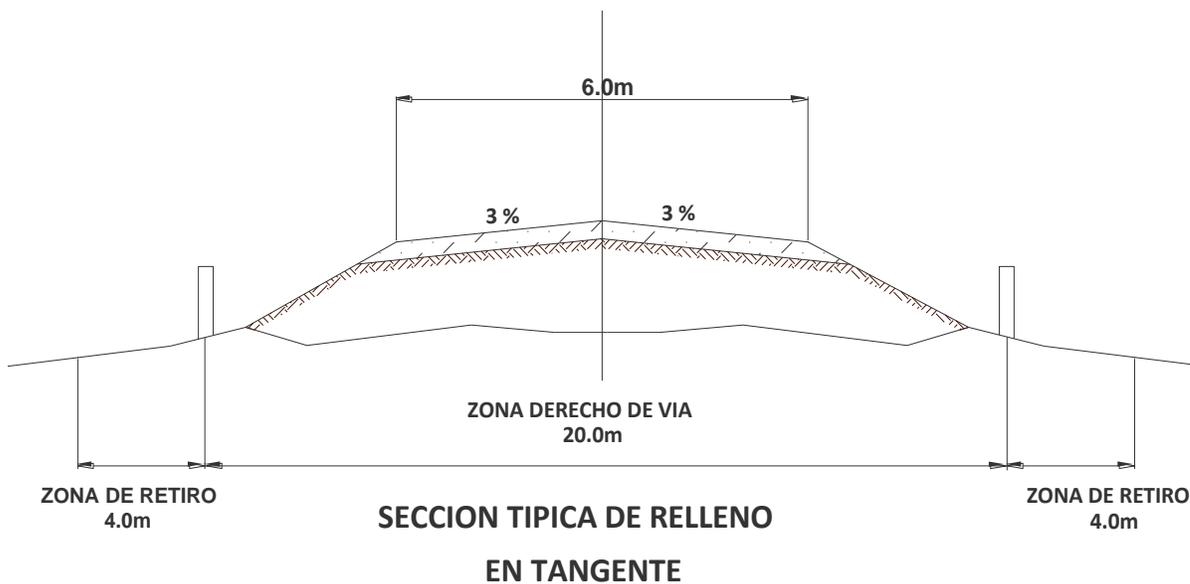
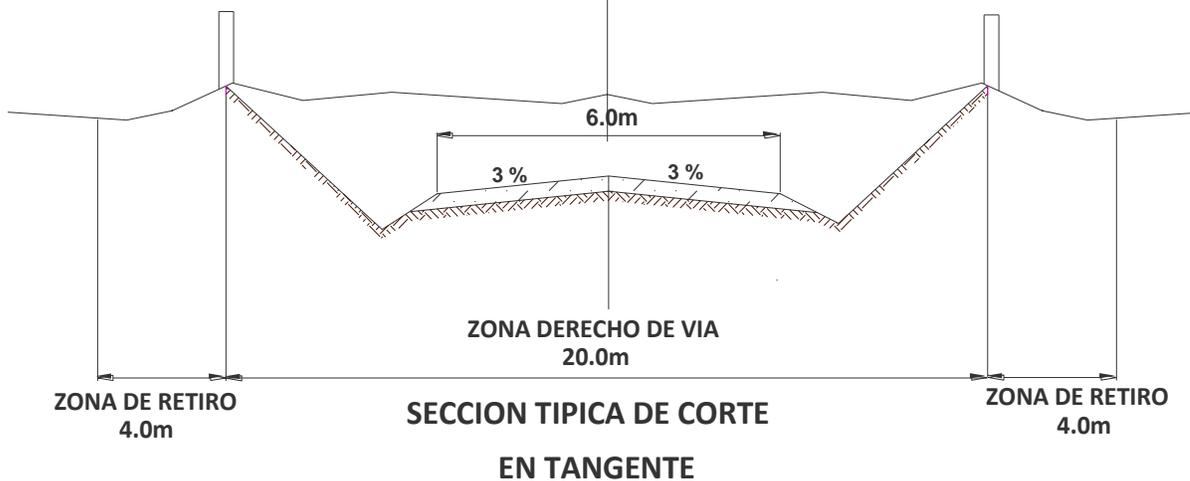


FIGURA 1.2 SECCIÓN TIPICA DE CORTE Y RELLENO, CLASIFICACIÓN TERCARIA Y TERCARIA MODIFICADA.

**TABLA 1.3 NORMAS DE DISEÑO****CLASIFICACION RURAL**

<b>CRITERIO DE DISEÑO</b>	<b>TERRENO PLANO</b>	<b>TERRENO ONDULADO</b>	<b>TERRENO MONTAÑOSO</b>
<b>VELOCIDAD DE DISEÑO</b>	50 k/h	40 k/h	30 k/m
<b>PENDIENTE MAXIMA</b>	6.0%	8.0%	12.0%
<b>RADIO MINIMO</b>	67.00 m	53.00 m	20.00 m
<b>DISTANCIA MINIMA DE VISIBILIDAD</b>	90.00 m	60.00 m	45.00 m
<b>ANCHO DE LA VIA</b>	5.00 m	5.00 m	5.00 m
<b>ANCHO DE RODAMIENTO EN LOS PUENTES</b>	3.00 m	3.00 m	3.00 m
<b>ANCHO DE LA ZONA DE DERECHO DE VIA</b>	15.00 m	15.00 m	15.00 m
<b>ANCHO DE LA ZONA DE RETIRO</b>	4.00 m	4.00 m	4.00 m
<b>CARGA DE DISEÑO PARA PUENTES</b>	H1544	H1544	H1544
<b>TIPO DE SUSPERFICIE</b>	REVESTIDA		

FUENTE: LEY DE CARRETERAS Y CAMINOS VECINALES DECRETO LEGISLATIVO N° 463

NORMAS DE DISEÑO

SECCIONES TÍPICAS

CLASIFICACION RURAL.

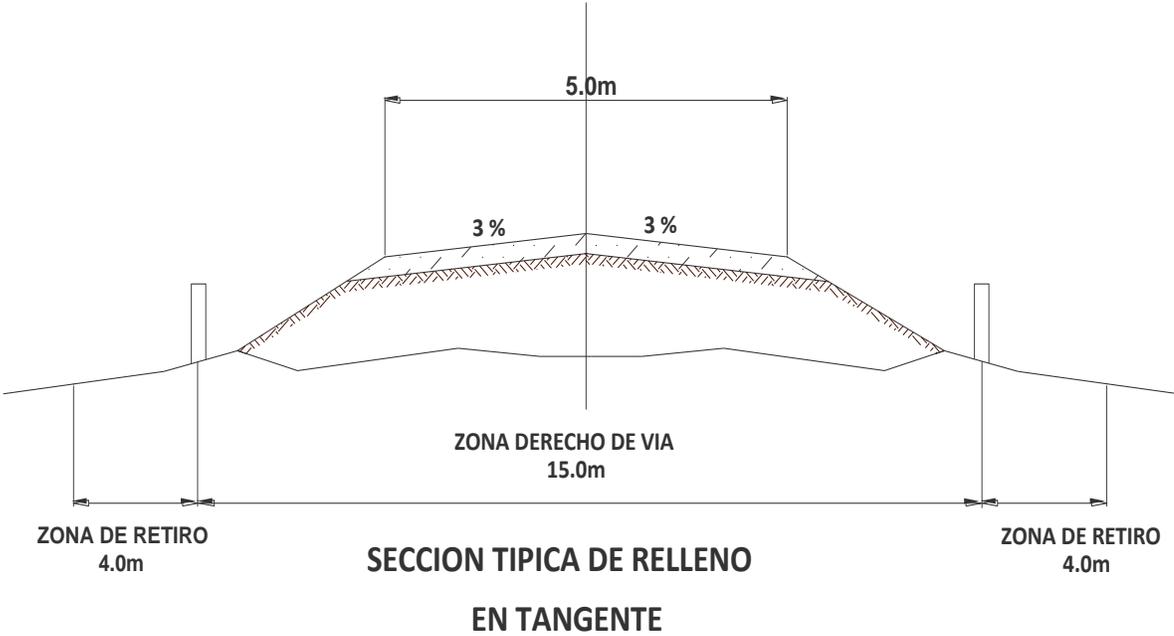
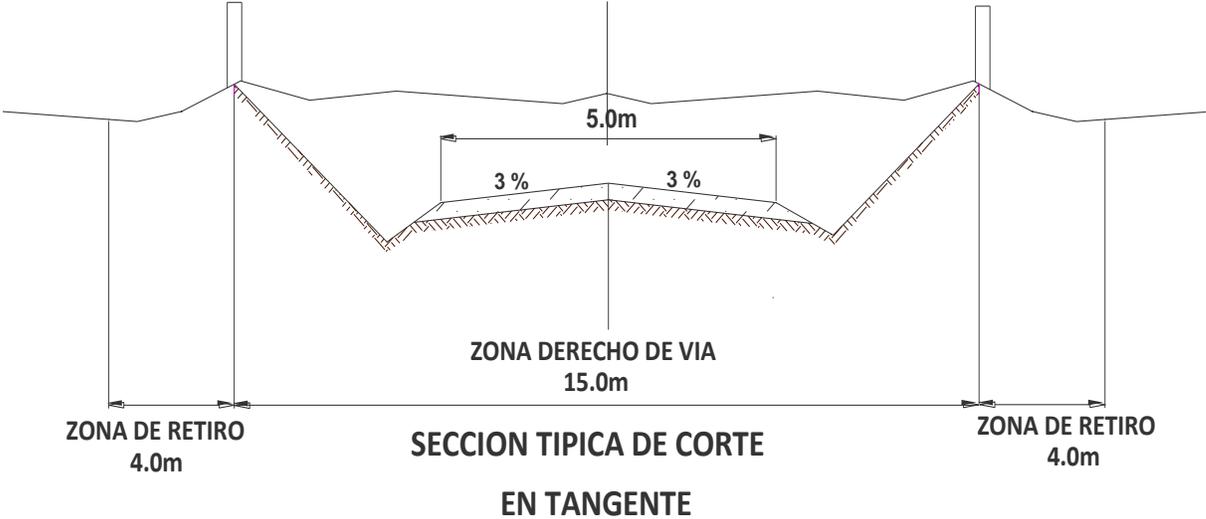


FIGURA 1.3 SECCIÓN DE CORTE Y RELLENO DE CLASIFICACIÓN RURAL.

En nuestro país las vías terrestres ocupan un lugar primordial en la comunicación de las ciudades y poblados, facilitando el intercambio de bienes y servicios entre ellos, como consecuencia de esto, se genera y estimula el posterior desarrollo y el bienestar tanto económico como social de todas las poblaciones aledañas a la zona.

No existe una documentación adecuada que sirva de apoyo en el diseño de la estructura del pavimento, construcción y mantenimiento de los caminos de baja intensidad, debido a ello se tiene poco éxito en éstos, con una duración y condición menor a la proyectada.

## 1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La necesidad de tener en buenas condiciones los caminos de baja intensidad de tránsito, se vuelve cada día más indispensable para el desarrollo social y económico de las comunidades.

El poco o nada de interés por plantear soluciones técnicas y económicamente viables al tratamiento de este tipo de caminos ha obstaculizado en gran manera dicho desarrollo y una conservación de los existentes.

Las condiciones físicas en las que se encuentran los caminos en las zonas rurales en El Salvador, son deficientes, distinguiéndose por su fragilidad y desequilibrio. Con solo recorrer algunos de los caminos de baja intensidad de tránsito, se puede tener una idea de las grandes dificultades que tiene que afrontar la población para acceder a otros núcleos urbanos o vías principales, por ejemplo grandes capas de polvo en verano, estancamiento de agua, escorrentías superficiales, elevadas pendientes.

La mayoría de caminos dentro de la clasificación de baja intensidad de tránsito, existentes en el país, carecen de un estudio de suelos, estudio del tránsito al que estará sometido, estudio hidráulico; dando como resultado caminos que representan un mayor costo generalizado.

La realidad es que no existe documentación específica donde se presente el procedimiento para diseño estructural, construcción y mantenimiento de carreteras terciarias, terciarias modificadas y caminos rurales en El Salvador.

## **1.3 OBJETIVOS GENERALES Y ESPECIFICOS**

### **1.3.1 OBJETIVO GENERAL**

Elaborar una guía de diseño de la estructura del pavimento, construcción y mantenimiento de caminos de baja intensidad de tránsito usando tratamientos superficiales.

### **1.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Facilitar los recursos técnicos para la elaboración del diseño de la estructura del pavimento y construcción en caminos de baja intensidad obteniendo así soluciones prácticas y económicas.
- Establecer criterios, basados en norma y especificaciones, para la selección de materiales, procedimientos de construcción y mantenimiento.
- Detallar el proceso constructivo a seguir, cuando se estén ejecutando estos proyectos.
- Crear un programa de mantenimiento para el buen funcionamiento de los caminos de baja intensidad de tránsito.

## **1.4 ALCANCES Y LIMITACIONES**

### **1.4.1 ALCANCES.**

- Elaborar una guía para el diseño estructural del pavimento, donde se establezcan parámetros para la selección de los espesores de las capas según los requerimientos de la vía; además presentar el procedimiento adecuado para la construcción de dicha estructura y la creación de un programa de mantenimiento.
- Se reducirá el estudio a las vías que presenten baja intensidad de tránsito con ello se enmarcan las carreteras terciarias, terciarias modificadas y rurales.
- Se presentaran alternativas de diseño estructural que incluyan caminos con capa de rodadura de material granular (no pavimentados) y caminos protegidos con tratamientos superficiales.

### **1.4.2 LIMITACIONES**

La aplicación de esta guía no se realizará a un camino en particular. Debido a que se excede el tiempo con el que se cuenta para la finalización del documento y no se cuenta con el patrocinio de instituciones afines al tema, para llevar a cabo la construcción y mantenimiento de un camino de bajo volumen de tránsito.

## **1.5 JUSTIFICACIÓN**

Las vías de comunicación son elementos esenciales para el desarrollo social y económico de un territorio. Tanto las condiciones y las características cuantitativas como cualitativas de éstas, son un parámetro para determinar muchas veces las condiciones de desarrollo de una nación.

En el ámbito social las condiciones de los caminos de baja intensidad de tránsito obstaculizan la comunicación entre las ciudades y los poblados, así como también el intercambio de bienes y servicios, debido a su mal estado generan incomodidad y retraso para los usuarios.

En el ámbito económico, cuando estos caminos se someten algún tipo de tratamiento, hay un desperdicio de los recursos debido al poco conocimiento que obstaculiza plantear soluciones mucho más rentables. Teniendo como consecuencia un incremento en el costo del mantenimiento de los vehículos que circulan por estas vías.

Se pretende que esta guía sea no sólo un método de dimensionamiento de la estructura del pavimento, sino también, en alguna medida, una sencilla guía de construcción. Por esta razón se incluirá un capítulo dedicado a los suelos y materiales, que son parte de los elementos básicos para la conformación de la estructura.

## **CAPITULO 2**

---

# **SUELOS**

## **2.1 GENERALIDADES.**

El suelo es el material más utilizado para construir, dado que aparece en todas las construcciones, al menos como su material de fundación. En el caso de los pavimentos además de servir como soporte, es parte integral de su estructura y de la calidad del suelo depende en buena parte el espesor final de los pavimentos.

Por lo anterior, es claro que mientras más conocimiento se tenga acerca del comportamiento de los suelos, más certeza se tendrá sobre el funcionamiento de los pavimentos.

### **2.1.1 ORIGEN, COMPOSICIÓN Y PROPIEDADES INGENIERILES DE LOS SUELOS.**

Las rocas desde el punto de vista geológico son todos los materiales pétreos que constituyen la corteza terrestre. Para la geotecnia las rocas son aquellos materiales duros de la corteza terrestre cuyas partículas constitutivas están adheridas entre sí por fuerzas cohesivas de intensidad variable, lo que les da una resistencia también variable dentro de límites muy amplios. El término suelo en cambio se utiliza para designar a los depósitos formados por la acumulación de partículas no cementadas producidas por la desintegración física (fragmentación), o por la descomposición química (alteración) de las rocas y de los residuos de materia orgánica.

Los principales procesos naturales que han dado origen a las diferentes clases de rocas y suelos que hoy forman la corteza terrestre son:

- Tectonismo.
- Vulcanismo.

- Meteorización.
- Erosión.
- Sedimentación.
- Consolidación.
- Metamorfismo.

Según la hipótesis más comúnmente aceptada, el enfriamiento del globo terrestre produjo el endurecimiento de las rocas candentes y viscosas de la superficie, dando lugar a la formación de la corteza. Esto hace pensar que las primeras rocas que formaron la costra endurecida fueron rocas ígneas. Son un espesor variable de 10-70 Km, la corteza constituye solo una delgada capa con respecto al diámetro de la tierra.

### **2.1.2 PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS SUELOS Y LAS ROCAS.**

En los suelos la textura, que es definida por la granulometría y la plasticidad, es el factor más importante de las propiedades geotécnicas y es el criterio básico de la clasificación geotécnica de los suelos. La estratigrafía y la compacidad natural son características muy importantes pues la capacidad de carga y la deformabilidad de los suelos están relacionadas con sus características.

*Textura.* Se refiere a la forma, el tamaño y la adherencia (cohesión) de las partículas minerales u orgánicas que constituyen a las rocas y a los suelos.

*Estratigrafía.* Es la sucesión de las diferentes capas, o estratos, de rocas o suelos que se encuentran debajo de la cimentación, hasta la profundidad en la que estos estratos

sean significativamente afectados por los esfuerzos que la cimentación inducirá en ellos.

*Compacidad.* Es otra forma de expresar la porosidad de un suelo o roca, a medida que la porosidad es menor, la estructura del suelo es más compacta y viceversa.

En las rocas en cambio, la textura es menos importante excepto cuando se trata de rocas blandas débilmente cementadas, cuyo comportamiento es semejante al de los suelos. Los aspectos estructurales que suelen tener importancia son principalmente las discontinuidades tales como: grietas, fallas, cavernas y zonas de alteración.

### **2.1.3 PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DE ROCAS Y SUELOS.**

El número de combinaciones posibles de los procesos geológicos que pueden formar un determinado tipo o clase de roca o de suelo es muy grande, también lo es el intervalo de valores de las propiedades mecánicas de estos materiales. Para los fines prácticos no basta definir el material por su origen geológico, sino que se debe definir su textura y estructura y cuantificar la resistencia, la deformabilidad y la permeabilidad.

### **2.1.4 CLASIFICACIÓN GEOTÉCNICA DE LAS ROCAS Y SUELOS SEGÚN SU ORIGEN GEOLÓGICO.**

Estas clasificaciones se muestra en la Tabla 2.1 y 2.2 tal como se establece convencionalmente en los términos usados en la geología, según los cuales las rocas se clasifican en tres grandes grupos: rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas; y los suelos se clasifican en: residuales, transportados, piroclásticos y orgánicos.

**Tabla 2.1 CLASIFICACION DE LAS ROCAS SEGÚN SU ORIGEN GEOLOGICO**

ORIGEN		NOMBRE	TEXTURA	ESTRUCTURA	RESISTENCIA (roca sana)	DEFORMABILIDAD	PERMEABILIDAD
<b>IGNEAS</b>	<b>Intrusivas</b>	Granito	Cristalina	Masiva	Alta	Baja	Baja
		Diorita		Fisurada			
		Gabro		Columnar o lajeada			
	<b>Extrusivas</b>	Andesita		Fluidal	Alta a media	Baja a media	Media a alta
		Riolita		Agrietada o lajeada			
		Basalto			Media a baja	Media a alta	Media a baja
		Brecha		Granular, cementada			
Toba		Estratificada					
<b>SEDIMENTARIAS</b>	<b>Químicas</b>	Caliza	Micro cristalina amorfa	Estratificada agrietada	Alta a baja	Baja a alta	Alta a media
		Dolomita					
	<b>Clásticas</b>	Conglomerado	Granular, cementada	Estratificada, agrietada	Media a baja	Media a alta	Baja a media
		Arenisca					
		Lutita					
		Suelos	Granular a coloidal, no cementada	Porosa, estratificada o heterogénea	Muy baja a nula	Muy alta	Alta a baja
(regolita)							
<b>METAMORFICAS</b>	Cuarcita	Cristalina		Masiva, fisurada	Alta	Baja	Baja
	Mármol						
	Gneiss						
	Esquisto	Micro cristalina	Foliada, fisurada	Media a baja	Media a alta		
	Pizarra						

FUENTE: SMMS MECANICA DE SUELOS APLICADA A LAS CARRETERAS

## **Rocas ígneas.**

Se forman a partir del magma, constituido por roca fluida y de alta temperatura que subyace a la corteza terrestre y que asciende a través de grietas en la propia corteza. Si lo hacen hasta la superficie en forma de corrientes de lava o de explosiones volcánicas, se denominan rocas extrusivas. Cuando no salen a la superficie y se quedan atrapadas entre estratos o grietas de otras rocas existentes, se llaman rocas intrusivas.

Los ejemplos más comunes de **rocas intrusivas** son el granito, la diorita y el gabro. Al formarse esta clase de rocas no quedan expuestas al aire o al agua, por ello se enfrían lentamente y están formadas por cristales de tamaño visible a simple vista, ligados por fuerzas moleculares intensas que le dan a la roca sana (no alterada) una alta resistencia a la compresión (mayor que  $500 \text{ kg/cm}^2$ ). El enfriamiento lento y bajo presión hace que la contracción volumétrica que acompaña a este proceso genere fisuras finas (menores que 1 mm) que forman planos en direcciones diversas y producen bloques grandes con formas irregulares o prismáticas; en ocasiones se desarrollan prismas hexagonales de gran altura que dan la impresión de columnas, por lo que se llama estructura columnar. Los esfuerzos de compresión, tensión o cortantes, que prevalecen durante el proceso de enfriamiento o después, contribuyen a definir la estructura de la masa rocosa, que a veces toma la forma de placas relativamente delgadas a la que se llama estructura lajeada. Debe aclararse que la resistencia corresponde a la que se mide en cilindros de roca sana, sin fisuras, mientras que la deformabilidad y la permeabilidad corresponden a la masa de roca incluyendo sus

fisuras y sus grietas. Los términos relativos que expresan la resistencia están referidos a los valores típicos del concreto, al cual se asigna aquí un intervalo medio, como se explica:

- Resistencia Alta, mayor de  $300 \text{ kg/cm}^2$  (rocas muy duras)
- Resistencia media, de  $300$  a  $100 \text{ kg/cm}^2$  (semiduras)
- Resistencia baja, de  $100$  a  $20 \text{ kg/cm}^2$  (rocas blandas)
- Resistencia muy baja, menor de  $20 \text{ kg/cm}^2$  (rocas muy blandas)

La escala de la deformabilidad de la masa de roca está referida a la del concreto, mientras que la escala de la permeabilidad es comparable a la de los suelos.

Los ejemplos más comunes de las rocas que salen del magma en forma de flujos de lava están la andesita, la riolita y el basalto. Por su rápido enfriamiento los cristales que las forman son de menor tamaño. A menudo son visibles solamente con la ayuda de una lupa, y su estructura suele mostrar abundantes fisuras y grietas hasta de uno o más centímetros de abertura. Las andesitas y riolitas, originadas por lavas más viscosas que los basaltos, presentan estructuras menos agrietadas, en cambio en los basaltos es frecuente encontrar estructuras cavernosas y estratos de textura escoriácea, así llamada por su aspecto de escoria de fundación, muy porosa. El término estructura fluidal tiene que ver con las líneas de flujo de la corriente de lava antes de solidificarse. La resistencia de las rocas extrusivas puede variar de alta a media, su deformabilidad de baja a media con excepción de los basaltos que es alta, la permeabilidad de media en andesitas y riolitas, a alta en basaltos.

En el mismo grupo de rocas extrusivas se incluyen las **tobas** que son originadas por erupciones volcánicas explosivas, que lanzan al aire grandes masas de polvo, cenizas, guijarros y fragmentos de roca de gran tamaño, llamadas por ello **rocas piroclásticas**. Su textura es generalmente granular, cuyo tamaño varía desde partículas de polvo de 0.05 mm, hasta boleos de gran tamaño, y posee cementación variable. Su estructura es porosa y estratificada.

La resistencia a la compresión de las rocas piroclásticas sanas puede variar desde nula hasta media, dependiendo de la cementación entre sus granos.

### **Rocas sedimentarias.**

Se clasifican en dos grupos:

*Sedimentos químicos* formados por la precipitación y cementación posterior de sales en ambiente marino o lagunar. Entre estos están **las calizas y las dolomitas**, las primeras constituidas principalmente de carbonato de calcio y las segundas de carbonato de magnesio, con alto grado de cementación. Presentan estructura estratificada y agrietada a causa de los grandes plegamientos que ha sufrido en su vida geológica.

*Sedimentos clásticos* formados por la depositación y cementación de fragmentos de otras rocas transportadas por glaciares, ríos, vientos o erupciones volcánicas explosivas, estos últimos llamados piroclásticos.

Existen dos tipos de rocas clásticas: las de partículas cementadas y las de partículas que carecen de cementación. Ejemplos de rocas clásticas cementadas son: **los conglomerados, las areniscas y las lutitas. Las no cementadas corresponden a los** depósitos de suelos geológicamente denominados regolita.

La textura de los conglomerados es de granos gruesos, las areniscas están formadas por granos de tamaño medio y las lutitas por partículas finas. La cementación puede variar dentro de un intervalo muy amplio, dependiendo del cementante depositado entre sus partículas que puede ser arcilla, óxido de hierro, carbonato de calcio o de magnesio o sílice. Este último es el que proporciona la mayor cohesión y la arcilla la menor.

La estructura estratificada y agrietada es típica de las rocas sedimentarias cementadas. Las calizas, dolomitas y areniscas son rocas de resistencia media a alta y deformabilidad media, pero su estructura agrietada les da una permeabilidad de media a alta. Las lutitas son las menos resistentes, su deformabilidad es alta, su permeabilidad es baja. Se desintegran con facilidad, especialmente cuando contienen partículas de arcilla.

### **Rocas Metamórficas.**

Son el resultado de la transformación de rocas existente bajo la acción de esfuerzos de compresión y cortantes de gran magnitud, acompañados frecuentemente por altas temperaturas. El metamorfismo además de producir cambios en la textura y estructura

de las rocas originales, afecta también sus propiedades geotécnicas. Ejemplos de estas son: la cuarcita, el mármol, el gneiss, el esquisto y la pizarra.

La cuarcita y el mármol son los productos metamórficos de las areniscas y de la caliza respectivamente, pero su estructura es más compacta y los cristales de mayor tamaño que los de las rocas originales, por lo cual tienen más resistencia. Su estructura masiva y poco fisurada las hace poco permeables.

El gneiss se forma a partir del granito, sometido a grandes esfuerzos de compresión y cortantes, tiene una estructura foliada y alargada debido a los esfuerzos cortantes.

El esquisto y la pizarra son derivados metamórficos de las rocas clásticas, el primero de las areniscas y el segundo de las lutitas. Esquisto tiene textura cristalina y la pizarra microcristalina. Las dos tienen estructura foliada y finamente fisurada, con resistencia de media a baja, deformabilidad de media a alta y permeabilidad baja. En ambas clases se manifiestan las diferencias entre las propiedades geotécnicas en el sentido paralelo de la foliación y en la dirección normal.

**Tabla 2.2 CLASIFICACION DE LOS SUELOS SEGÚN SU ORIGEN GEOLOGICO**

FORMACION	TRANSPORTE	DEPOSITO	TEXTURA	ESTRUCTURA	CONSISTENCIA
<b>RESIDUALES</b>	Ninguno	In situ	Granular a coloidal	Fracturas de la roca madre	Blanda a dura
<b>TRANSPORTADOS</b>	Coluviales	Talus	Granular, Gruesa y angulosa	Heterogénea	Suelta
	Aluviales	Abanicos	Granular, media y subangulosa	Heterogénea	Suelta a semicompacta
		Llanuras	Granular fina a coloidal	Heterogénea,	Suelta a compacta
		Terrazas		Lenticular o	
		Deltas		estratificada	
		Marinos	Granular, media a fina coloidal	Homogénea	Suelta a compacta
		Lacustres		Estratificada	Blanda a dura
	Eólicos	Dunas	Granular, fina y uniforme	Homogénea	Muy suelta
		Loess			
	Glaciales	Morrenas	Granular, gruesa a coloidal	Heterogénea	Compacta
		Fluviales		Estratificada	Blanda a dura
		Marinos			
		Lacustres			
	<b>PIROCLÁSTICOS</b>	Eólicos	Superficiales	Granular, gruesa a fina	Heterogénea, o estratificada y homogénea
Marinos					
Lacustres					
<b>ORGANICOS</b>	Ninguno o aluviales	Residuales	Coloidal a fibrosa	Estratificada	Muy blanda
		Marinos			
		o Lacustres			

FUENTE: SMMS MECANICA DE SUELOS APLICADA A LAS CARRETERAS

### **Suelos residuales.**

Reciben este nombre cuando los fragmentos de la roca meteorizada no sufren ningún transporte, permaneciendo en el sitio donde se formaron, allí siguen siendo transformados, física y químicamente por los procesos de la meteorización. La intensidad de la transformación varía con la profundidad, siendo mayormente afectado el material cercano a la superficie, el cual puede quedar transformado en arcilla coloidal y disminuye gradualmente con la profundidad hasta encontrar intacta la roca original o roca madre. La textura puede variar desde coloidal en la superficie, hasta granular a cierta profundidad, dependiendo de la intensidad de la meteorización y de la composición mineralógica de la roca madre. La compacidad natural también varía con la profundidad siendo menor cercana a la superficie, particularmente en climas húmedos.

### **Suelos transportados.**

Son trasladados y depositados en otro sitio diferente al de las rocas que les dieron su origen. Según el medio de transporte, se le llama:

- Suelos coluviales, cuando son transportados por la acción de la gravedad.
- Suelos aluviales, transportados por las corrientes de agua superficiales.
- Suelos eólicos, transportados por el viento.
- Suelos glaciales, transportados por el flujo lento de los glaciales.

Los suelos *coluviales* son fragmentos de la desintegración de las rocas que se encuentran en lo alto de las montañas caen por gravedad, rodando por las laderas y depositándose al pie de la montaña, donde adoptan un talud de equilibrio, por lo que estos suelos reciben el nombre de **talus**. Los fragmentos son de tamaños predominantemente gruesos (cantos y gravas) y de formas angulosas, su estructura es heterogénea y el acomodo deja abundantes huecos por lo que se considera de baja compacidad o de estructura suelta.

Los suelos *aluviales* Son lo que son arrastrados por los arroyos que bajan de las montañas y que van depositándose a los largo de los cauces a medida que disminuye la velocidad de la corriente.

Existen suelos aluviales llamados **abanicos aluviales** que se forman al pie de las laderas donde la pendiente cambia bruscamente, depositándose fragmentos subangulosos de textura gruesa a media, por la forma en que se depositan reciben ese nombre. Son suelos heterogéneos, cuya compacidad y granulometría varía de un lugar de depósito a otro.

Los **depósitos de llanura aluvial** se forman en la parte baja de los cauces, donde los ríos se desbordan, inundando grandes áreas, donde las velocidades de la corriente son bajas permitiendo la sedimentación de partículas más pequeñas de arcillas y limos. Las **terrazas** son depósitos que se forman a los lados de los cauces, la textura de éstos varia de fina a media. Los **deltas** son depósitos muy heterogéneos formados por las

desembocaduras de los ríos, su textura varía de gruesa hasta fina y coloidal dependiendo del lugar de depositación.

La compacidad de estos tres últimos tipos de suelos aluviales varía desde muy suelta hasta compacta.

### **Suelos piroclásticos.**

Se llama así a los fragmentos de rocas ígneas producidas por las erupciones volcánicas, que después de ser lanzados al aire, son transportados por el viento y depositados sobre la superficie de la tierra. Frecuentemente después de la depositación adquieren una débil cementación que les da una baja resistencia a la compresión por lo que se les suele llamar suelos duros. Cuando la cementación adquiere cierta importancia se les llama **tobas** que son consideradas rocas blandas. La resistencia al corte de estos materiales depende de la cohesión y la fricción entre las partículas constitutivas.

**No hay una frontera clara entre los suelos y las rocas de origen piroclástico**, ya que estos suelos poseen una ligera cementación entre sus partículas, por los que se les considera como suelos **cohesivo-friccionantes**. Los depósitos piroclásticos están formados por estratos de tobas blandas o duras, cementadas, intercaladas con capas de arena o gravas, de fragmentos de pómez o de finas partículas de vidrio volcánico, débilmente cementadas o sin cementación.

Las cenizas y fragmentos producidos por la erupción volcánica son transportados por el viento y depositados por gravedad, pudiendo caer en el cono del volcán o a gran distancia de él. La textura puede variar desde fina a gruesa, y su estructura suele ser heterogénea cerca del cono volcánico o estratificado lejos de él. La compacidad varía de media a alta. Son generalmente suelos de buena estabilidad y baja compresibilidad.

### **Suelos orgánicos**

Son los residuos de la descomposición de materia orgánica, de origen vegetal o animal, acumulados en fondos de lagos, pantanos o lagunas litorales someras. Pueden estar mezclados con suelos minerales. Cuando predomina la materia orgánica se forman depósitos de gran espesor conocidos como **turbas** que son suelos residuales, pero pueden ser erosionados, transportados y redepositados después. Si las partículas minerales aportan más del 50% del peso total seco se acostumbra llamarles **suelos orgánicos**. Los suelos orgánicos y las turbas son generalmente de estructura estratificada y de muy baja compacidad, por lo cual poseen baja resistencia y son muy compresibles.

El ambiente natural en el que se depositan los suelos transportados tiene gran influencia en la textura, la estructura y la compacidad natural del depósito.

### **2.1.5 INVESTIGACIÓN DEL SUBSUELO Y MUESTREO**

En las carreteras se utilizan esencialmente los mismos métodos de exploración y muestreo de suelos que son comunes a todos los campos de aplicación de la Mecánica de Suelos.

Los trabajos de campo constituyen el inicio del estudio geotécnico en el cual se requiere conocer la estratigrafía y las propiedades mecánicas de los suelos y las rocas del sitio. Este conocimiento se obtiene mediante trabajos de exploración geológica superficial complementados por la obtención de muestras representativas de los diferentes estratos de suelos y rocas que forman el subsuelo del lugar.

La exploración de suelos para fines de un proyecto de vías terrestres tiene pocos criterios preestablecidos para normar el juicio del Ingeniero que ha de tomar decisiones en un caso particular dado. No existen lineamientos específicos y en cada caso ha de planearse la exploración de un modo distinto, no sólo diferenciando una vía terrestre de otra, sino los diferentes tramos de cada una o las diversas zonas de cada tramo.

Existe una primera etapa en los trabajos de campo de un estudio geotécnico llamada exploración preliminar cuyo objetivo es obtener en el campo la información que permita determinar las características geotécnicas de las rocas o los suelos que constituyen el sitio explorado. La información obtenida de esta primera etapa del estudio es la base para plantear alternativas preliminares del diseño y construcción de las obras.

Existen diferentes tipos de investigación o exploración del subsuelo, las cuales son: Estudios geológicos y fotointerpretación. (A lo largo de la línea).

La exploración necesaria sería la que permitiese llegar a un completo conocimiento de las características mecánicas de los suelos involucrados, con ayuda del laboratorio. Sin embargo, es casi imposible el conocimiento detallado de las propiedades mecánicas en cada punto de una carretera, muchas veces porque no se cuenta con todos los recursos o porque no resulta práctico hacerlo.

Desde este punto de vista, la carretera es una obra que en cualquier estudio que se proponga para un metro lineal, aún cuando parezca sencillo y económico, corre el riesgo de convertirse en utópico cuando se le aplique el multiplicador constituido por todos los metros lineales de la estructura.

Los mapas geológicos constituyen una información básica para un proyecto de carreteras. Con trabajo de campo o con fotointerpretación de pares estereoscópicos de aerofotografías pueden determinarse los tipos de formaciones de suelos y rocas, así como sus límites y secuencias, lo cual proporcionará la primera idea en relación con las propiedades mecánicas de los suelos existente en la zona en que se proyecta la vía terrestre, lo mismo que la primera información sobre problemas de estabilidad. Se pueden definir las estructuras geológicas de interés tales como fallas, trayectorias de juntas y fisuras, deslizamientos de tierra anteriores, etc.

Un estudio geológico que incluya un mapa geológico con suficiente detalle es entonces el primer paso obligado en el proyecto de una vía terrestre.

Los principales datos que se pueden obtener de estudios de fotointerpretación en relación a la mecánica de suelos es la identificación de las características geológicas de interés tales como formaciones Lacustres o pantanosas, formaciones inestables, lugares de erosión acentuada, falta o abundancia de materiales de construcción, posibles dificultades de realizar excavaciones, zonas de infiltración, llanuras de inundación.

Cuando el trabajo de fotointerpretación sea completado en cualquiera de las etapas del proyecto, será preciso verificar sus conclusiones en el campo, examinando la zona por donde pasará la vía terrestre para comprobar todas las características del estudio.

Un informe geológico para cualquiera de las etapas del proyecto deberá incluir datos a cerca de los siguientes puntos, con el grado de detalle necesario según la etapa del proyecto a que corresponda:

**Rocas:** Clasificación, descripción morfológica, grado de meteorización, clasificación y descripción de fracturas, grietas, fallas, espesor de materiales no aprovechables para la construcción, recomendaciones para estabilidad de cortes y clasificación desde el punto de vista de facilidad de trabajo.

**Suelos:** Origen, espesor, compacidad, plasticidad y contenidos medios de agua y materia orgánica, información sobre variaciones en las direcciones vertical y horizontal y recomendaciones sobre su uso como material de construcción.

**Cruces:** Deberá informarse sobre todas las características de interés en el momento en que la línea de estudio cruce cualquier cauce.

#### **2.1.5.1 LOCALIZACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DEL MUESTREO**

Localización y distribución del muestreo a realizar en un Proyecto, esto depende básicamente del tipo de Proyecto a ejecutar y de su importancia.

Para evaluar la condición de la subrasante y para determinar la profundidad de descapote, la exploración consistirá en realizar Pozos a Cielo Abierto (PCA) de una profundidad promedio de 1.50 m de profundidad mínima y a cada 500 m, sobre la traza como máximo, llevándose a cabo cuando sea necesario Sondeos de Penetración Estándar (SPT) o penetración Rotativa.

La profundidad de exploración será función del nivel de rasante proyectado, debiendo las mismas alcanzar profundidades mayores a los niveles antes indicados. Por cada PCA se realizarán los ensayos determinados en la tabla 2.3 Ensayos de laboratorio mínimos.

**TABLA 2.3 ENSAYOS DE LABORATORIO MÍNIMOS.**

Tipo de Ensayo	Frecuencia de Ensayos.			
	Vía	Taludes.	Cimentaciones.	Bancos de préstamo.
<b>ENSAYOS DE IDENTIFICACIÓN DE SUELOS.</b>				
Granulometría por tamizado por estrato.	1 por PCA	1 cada 20 m máx.	1 cada 10 m máx.	1 por PCA
Límites de Atterberg por estrato.	1 por PCA	1 cada 20 m máx.	1 cada 10 m máx.	1 por PCA
Materia Orgánica por estrato.	1 por PCA	1 cada 20 m máx.	1 cada 10 m máx.	1 por PCA
Humedad Natural y densidad por estrato.	1 por PCA	1 cada 20 m máx.	1 cada 10 m máx.	1 por PCA
Gravedad específica por estrato.	1 por PCA	1 cada 20 m máx.	1 cada 10 m máx.	1 por PCA
Clasificación ASTM y AASHTO por estrato.	1 por PCA	1 cada 20 m máx.	1 cada 10 m máx.	1 por PCA
<b>ENSAYOS DE IDENTIFICACIÓN DE ROCAS.</b>				
Determinación litológica principal	1 por cada zona en la que se identifique roca.			
TRIAXIAL POR ESTRATO.	1 por Eje	1 por Eje	1 por Eje	1 por Eje
PROCTOR MODIFICADO.				
COMPRESIÓN SIMPLE EN ROCAS.	1 por cada estrato rocoso identificado.			
CBR DE LABORATORIO.	1 por PCA			
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA.				1 por PCA
DESGASTE DE LOS ÁNGELES.				1 por PCA
ANÁLISIS GRANOLUMETRICO EN GRAVAS Y ARENAS.				1 por PCA
EQUIVALENTE DE ARENA ( YACIMIENTOS GRANULARES)				1 por PCA
ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN.		1 cada 20 m máx.		

FUENTE: MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS DE EL SALVADOR (MOP)

### **2.1.5.2 GEOTECNIA LOCALIZADA**

La geotecnia localizada se refiere a los estudios de cimentación para puentes y otras estructuras los cuales requieren trabajos de exploración que se fundamentan en los mismos datos y tipo de información que son comunes a todos los campos de la mecánica de suelos.

Para el caso de puentes, son muy populares los métodos exploratorios a base del uso de penetrómetros como por ejemplo el Ensayo de Penetración Estándar, la cual es de mucha utilidad en este tipo de trabajos. Los penetrómetros cónicos, estáticos o dinámicos, se usan también con mucha frecuencia.

El espaciamiento óptimo de los sondeos en los cauces de los ríos no es fácil de establecer con reglas fijas. Si al momento de hacer la exploración se conoce la distribución del puente que se va a construir, podrá lograrse que los sondeos coincidan con los apoyos previstos, pero si, como es frecuente, no se dispone de un anteproyecto del puente al hacer la exploración, será necesario cubrir el cauce de tal manera que con base en los sondeos pueda llegar a elaborarse un perfil de suelos razonablemente preciso.

El Ingeniero constructor deberá estar consciente de que dicho perfil implica necesariamente mucha extrapolación de información y precisamente en una zona (cauce del río) que suele ser sumamente heterogénea y expuesta a cambios muy importantes de los suelos, aún en distancias muy pequeñas.

Una regla práctica común en relación a la cantidad de trabajo de exploración es cubrir la sección transversal del cauce con sondeos espaciados a 20 o 25 m, lo cual es buen margen si no existen circunstancias especiales; en cauces muy anchos o en los que se sepa que existen condiciones muy homogéneas, los espaciamientos anteriores podrán ampliarse un poco.

En puentes es muy común el empleo de cimentaciones profundas, por medio de pilotes o de cilindros, por lo que con frecuencia los sondeos han de ser también relativamente profundos. En el momento de realizar la exploración, si los primeros metros son aceptables desde el punto de vista de la resistencia, compresibilidad y permeabilidad, no será necesario alcanzar grandes profundidades de exploración; tomándose en cuenta siempre los problemas de socavación y la posibilidad de inundación de las excavaciones, cuando estas se hacen bajo el nivel freático, ya que ambos aspectos impiden cimentar superficialmente aun en terrenos de buena resistencia y alta compresibilidad.

Si la naturaleza del terreno obliga a pensar en cimentaciones profundas, la exploración deberá incluir toda la exploración involucrada.

La presencia de suelos blandos y compresibles suele exigir la obtención de muestras inalteradas para realizar pruebas de consolidación y resistencia. Para la obtención de tales muestras deberán usarse los métodos de perforación con muestreadores de tubos de pared delgada hincados a presión.

Los muros de retención pueden requerir exploraciones variables, desde las más sencillas hasta las más elaboradas, según sea el caso.

En la Tabla 2.4 se presenta la relación del tipo de muestra que se obtendrá en base al método de exploración utilizado.

**Tabla 2.4. Relación Método de exploración-tipo de muestra a obtener.**

Etapa de Exploración		Tipo de prueba que se puede realizar	Tipo de muestra	Cantidad o tamaño de la muestra
<b>Reconocimiento exploratorio</b>		Clasificación visual Contenido de agua Límites de plasticidad Ensayos de compactación de suelos de la línea	Representativa	Muestra de posteadora, barrenos o de penetrómetros. Pozos a cielo abierto.
<b>Exploración detallada</b>		Límites de plasticidad Análisis granulométrico Peso específico	Representativa	Alrededor de 50 kg Alrededor de 50 kg Alrededor de 50 Kg
<b>Pruebas menores</b>		Contenido natural de agua (w) Peso específico	Representativa, bien sellada	Muestras de 5 cm de diámetro, pero se usan con frecuencia algo mayores. En pozos a cielo abierto suelen extraerse muestras del orden de 30 cm de lado.
		Compresión simple Prueba directa de esfuerzo cortante	Inalterada	Para pruebas de esfuerzo cortante es deseable muestra de 10 cm de diámetro.
<b>Exploración detallada</b>		Permeabilidad Consolidación Compresión triaxial	Inalterada	Muestra de 5 cm de diámetro, de 10 o 15 cm.
<b>Pruebas mayores</b>		pruebas directas, pruebas especiales de esfuerzo cortante	Inalterada	Muestras de 10 cm de diámetro como mínimo. En pozos a cielo abierto muestras cúbicas de 30 o 40 cm de lado.
<b>Materiales de construcción</b>	Exploración	Análisis Granulométrico Compactación y valor relativo de soporte California (CBR) Compresión triaxial Pruebas en agregado de concreto	Representativa natural o fabricada en laboratorio, de modo que sea representativa	50 a 100 kg como mínimo, pero a veces la serie completa de pruebas sobre un mismo material requiere 250 kg.
	Control de calidad	Peso específico seco Contenido de agua Valor relativo de soporte California (CBR) Ensayos de compactación con materiales selectos y estabilizados (cal, cemento, químicos)	Inalterada	Muestras de 5 a 10 cm de diámetro. En pozos a cielo abierto, muestras cúbicas de 30 cm de lado por lo menos.
<b>Agua</b>		Análisis químico Análisis bacteriológico	Representativa	10 L.
<b>Corazones de roca</b>		Inspección visual Pruebas mineralógicas Compresión, esfuerzo cortante, porosidad, permeabilidad al aire	Inalterada	Muestras de 2.2 a 2.9 cm, barras EX y AX (respectivamente). Preferible de 4.13 a 5.40 cm, barras BX y NX respectivamente. En roca suave o muy fracturada convendrá llegar a muestra hasta de 15 cm de diámetro

FUENTE: SMMS MECANICA DE SUELOS APLICADA A LAS CARRETERAS

### **2.1.5.3 BANCOS DE MATERIALES PÉTREOS O DE PRESTAMO.**

Para determinar si un lugar será utilizado como banco de préstamo o como banco de materiales pétreos, será definido por el tipo de material que se encuentre en el lugar, dependiendo de sus propiedades mecánicas así será su uso.

Los métodos exploratorios para este caso, son igualmente de la práctica común. Lo primero que se debe realizar es una evaluación geológica de la ruta y en base a la inspección preliminar, se determina la ubicación de posibles fuentes de materiales pétreos.

Luego de seleccionar los bancos de materiales pétreos o de préstamo, se deberá realizar un plano de ubicación del Banco, indicando la distancia de acarreo hasta el sitio del Proyecto, así como un estimado del volumen de material existente para ser utilizado.

Para explorar un banco en terrenos llanos o semiplanos, es preferible cavar fosos o abrir zanjas, extrayendo el material que se desea analizar, y en el caso de colinas o terrenos accidentado es aconsejable hacer cortes o excavaciones.

Si para la explotación de bancos no resulta práctico ni económico abrir zanjas, hacer cortes o efectuar otro tipo de excavación, se utilizarán taladros o máquinas perforadoras.

Los ensayos que deben realizarse a los materiales extraídos de bancos de materiales pétreos o bancos de préstamo son:

A los materiales provenientes del banco se le realizarán los siguientes ensayos:

- Análisis Granulométrico.
- Límites de Atterberg.
- Peso específico.
- Sanidad.
- Ensayo Proctor.
- Ensayo CBR.
- Ensayo de desgaste de Los Ángeles.
- 

Después de que la operación de la fuente se termine, debe retornarse al área de la fuente todo el material de cubierta que existía en sitio antes de comenzar la explotación. Debe nivelarse el área cuidadosamente, conformando los taludes en la extensión correspondiente. El material almacenado de la cubierta debe esparcirse uniformemente sobre los lados y base del área explotada. Debe colocarse una cobertura vegetal en el sitio y en el área circundante.

#### **2.1.6 GENERALIDADES DE LOS MÉTODOS DE EXPLORACIÓN INDIRECTA.**

Cada día es mayor el uso que se hace de los métodos geofísicos en el campo de las exploraciones ingenieriles en general y de las vías terrestres en particular. En estas últimas, tales métodos de exploración pueden rendir excelentes frutos por su

capacidad para explorar grandes extensiones a un costo relativamente bajo y con una precisión que con mucha frecuencia resulta suficiente.

La Geofísica es una ciencia que generalmente permite relacionar parámetros físicos del subsuelo puestos en evidencia por la geología superficial o no, y establecer las características geológicas del espesor estudiado; a veces permite explicar y comprobar algunas teorías sobre la constitución del globo terrestre.

Un fenómeno que se pueda medir en la superficie y que se correlacione de una manera u otra con la estructura subterránea puede ser la base de un método geofísico de prospección.

Los métodos que más se utilizan en la actualidad son los siguientes:

- Magnético.
- Gravimétrico.
- Radiactivo.
- Geotérmico.
- Sísmico.
- Eléctrico.

De estos métodos, los dos últimos son, los mucho más usados en las tecnologías conectadas con el Proyecto y la construcción de vías terrestres.

### **2.1.7 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE CORTES Y TERRAPLENES.**

Los taludes constituyen las estructuras más complejas de las vías terrestres. Se conocen con el nombre de taludes cualesquiera superficies inclinadas respecto a la horizontal que hayan de adoptar permanentemente las masas de tierra. Ligados a su estabilidad aparecen los problemas más complicados de la mecánica de suelos y de rocas aplicadas a la construcción de vías terrestres.

La evaluación de estabilidad de taludes se realiza basándose en una altura de taludes mayor a 10 m, en base a los resultados obtenidos de este análisis se presentan las observaciones y conclusiones pertinentes aplicándoles los aspectos sísmicos indicados en el Reglamento de Diseño de Cimentaciones y Estabilidad de Taludes de El Salvador.

En los terraplenes no solo se debe de estudiar el material que formará el terraplén, sino también el terreno de fundación sobre el cual descansará, el cual debe ser firme y estable. La obtención de muestras del terreno de fundación se hará por medio de equipos de tipo estándar.

Dependiendo del tipo de talud a construir o existente y del suelo que lo conforma, así serán los ensayos que se realizarán al mismo. De la evaluación de la estabilidad de taludes se presentaran recomendaciones de construcción y conservación de los mismos.

## **2.2 PROPIEDADES DE LOS SUELOS**

Conocidos los principales tipos de suelos existentes, el siguiente paso es establecer una serie de procedimientos científicos que permitan caracterizarlos en función de diferentes propiedades físicas, químicas o mecánicas.

Los ensayos que definen las principales propiedades de los suelos en carreteras son: análisis granulométrico, límites de Atterberg y equivalente de arena.

### **2.2.1 ANALISIS POR TAMIZADO DE AGREGADOS GRUESO Y FINO (AASHTO T-27)**

Este método es usado primordialmente para determinar la graduación de materiales propuestos para usarse como agregados, o están siendo usados como agregados. Los resultados se usan para determinar el cumplimiento de la distribución del tamaño de las partículas, según los requisitos especificados y para proporcionar información necesaria en el control de la producción de agregados y mezclas que contienen agregados. La información también puede ser usada en el desarrollo de relaciones concernientes a la porosidad y empaque.

Para una determinación exacta del material más fino que el tamiz de 75- $\mu\text{m}$  (No. 200) se debe realizar utilizando el Método de ensayo AASHTO T-11 para material más fino que el tamiz 75- $\mu\text{m}$  (No. 200) por lavado.

#### **2.2.1.1 Material.**

1. Muestree el agregado de acuerdo con la practica AASHTO T-2. La masa de la muestra de campo será la masa mostradas en AASHTO T-2 o cuatro veces la

cantidad de las masas requeridas en Apartado 4 y 5 (excepto como se modifica en la Apartado 6), la que sea mayor.

2. Mezcle la muestra completamente y redúzcala a una cantidad adecuada para su ensayo usando los procedimientos aplicables que se describen en la norma AASHTO T-248. La muestra para el ensayo deberá ser aproximadamente la cantidad deseada cuando seque y será el resultado final de la reducción. La reducción a una cantidad predeterminada exacta no será permitida.

*NOTA: Cuando el análisis por tamices, incluya la determinación de material más fino que el tamiz 75- $\mu$ m (No. 200), para propósito de ensayo, el tamaño de la muestra podrá reducirse en el campo para evitar enviar cantidades excesivas de material adicional al laboratorio.*

3. Agregado Fino. — El tamaño de la muestra para ensayo de agregado, después de secado será de 300 g como mínimo.

4. Agregado Grueso. — La masa de la muestra de agregado grueso será conforme a la Tabla 2.5.

5. Mezcla de agregado grueso y fino. — La masa de la muestra de ensayo de mezclas de agregado grueso y fino será la misma que para agregado grueso.

6. Muestras de agregado grueso de tamaño grande. El tamaño de la muestra requerida para agregado con Tamaño Máximo Nominal de 50 mm ó mayor, es para evitar una reducción conveniente de la muestra y ensayarla como una unidad, sin incluir agitadores mecánicos grandes y agitadores de tamices. Como una opción

cuando tal equipo no está disponible, en lugar de combinar y mezclar las porciones de muestras, reduzca la muestra de campo a tamaño de ensayo, realizando el análisis por tamizado a porciones aproximadamente iguales de la muestra total ensayada de acuerdo a los requisitos del apartado 4 de esta sección.

**TABLA 2.5 MASA DE LA MUESTRA.**

Tamaño Máximo Nominal, Aberturas cuadradas.		Masa Mínima de la Muestra de ensayo.	
mm	(pul)	Kg	(lb)
9.5	(3/8)	1	(2)
12.5	(1/2)	2	(4)
19.0	(3/4)	5	(11)
25.0	(1)	10	(22)
37.5	(1 ½)	15	(33)
50	(2)	20	(44)
63	(2 ½)	35	(77)
75	(3)	60	(130)
90	(3 ½)	100	(220)
100	(4)	150	(330)
125	(5)	300	(660)

FUENTE: AASHTO T - 27

7. En caso que se requiera la cantidad más fina que el tamiz No. 200, este se determinara de acuerdo con la AASHTO T-11, usando los procedimientos descritos en las Apartados 7.1 ó 7.2, o la que sea aplicable.

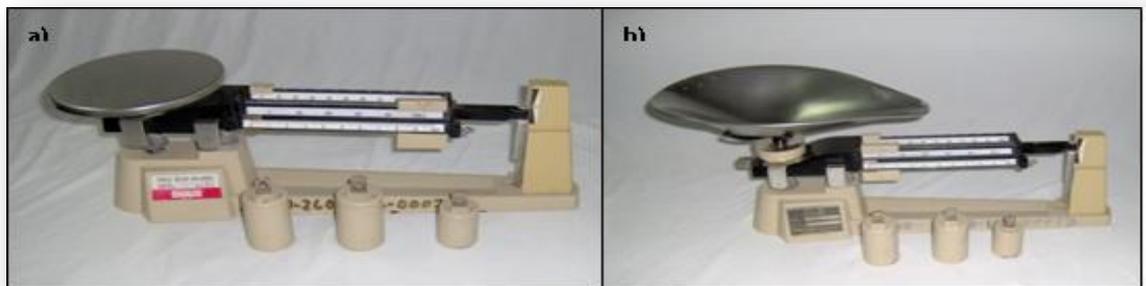
7.1. Para agregados con un tamaño máximo nominal de 12.5 mm (1/2 pulg) ó menos, use la misma muestra para ensayar de acuerdo a AASHTO T-11 o según este método. Primero ensaye la muestra de acuerdo con AASHTO T-11 al final de la operación de secado, tamice la muestra seca como se estipula en la Sección 2.2.1.3 apartados 2 y 7.

7.2. Para agregados con un tamaño máximo nominal mayor que 12.5 mm (1/2 pulg), una sola muestra de ensayo podrá ser usada como se describe en la Sección g.1 o muestras de ensayos separadas podrán ser usadas para AASHTO T-11.

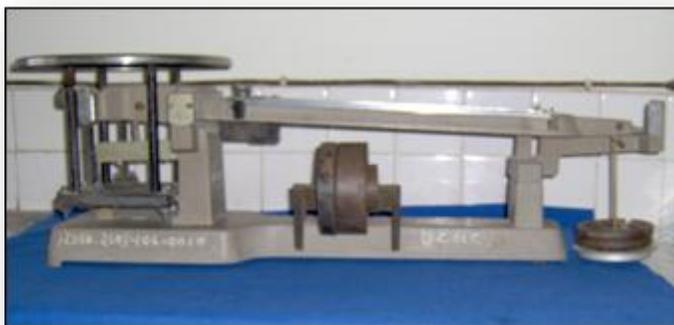
7.3. Donde la especificación requiera la determinación de la cantidad total de material más fino que la el tamiz de 75- $\mu$ m (No. 200) por lavado y tamizado seco, use el procedimiento descrito en la Apartado 7.1.

#### 2.2.1.2 EQUIPO.

1. Balanza: La balanza tendrá suficiente capacidad, con una precisión de 0.1 por ciento de la masa de la muestra, o mejor, conforme a los requisitos de AASHTO M-231 (ver Figura 2.1.).



**FIGURA 2.1** Balanzas para muestras de 3 Kg con precisión de 0.1 g: a) Para conocer la masa con tara la muestra b) Para conocer la masa sin tara la muestra.



**Figura 2.2** Balanza para muestras de agregado grueso de 20 Kg, con precisión de 1g.

2. Tamices: El tejido de los tamices deberán estar montado en marcos sólidos, contruidos de una manera que prevengan la pérdida de material durante el tamizado. El tejido y los marcos del tamiz estándar serán de acuerdo a los requisitos de AASHTO M-92. En tamices que no son estándar los marcos serán de acuerdo a los requisitos de AASHTO M-92, cuando sea aplicable. (Ver Figura 2.3.)



**Figura 2.3.** Equipo para ensayo de tamizado: a) Cuarteador de agregado fino b) Juego de tamices c) Muestra a ensayar d) Balanza de 0.1 g de precisión

*NOTA: Es recomendable que los tamices montados en marcos más grandes que los estándar de 203.2 mm (8 pulg) de diámetro, sean usados en el ensayo de agregado grueso para reducir la posibilidad de sobrecargar las mallas. Ver Sección 2.2.1.3 apartado 3*

3. Agitador Mecánico de Tamices. — Si se usa un dispositivo de tamizado mecánico (Figura 2.4), deberá crear movimiento en los tamices que cause que las partículas salten, se volteen, o se giren para presentar diferentes orientaciones en la superficie del tamiz. La acción del tamizado será tal que el criterio para un tamizado adecuado, será como se describe en Sección 2.2.1.3 apartado e, teniendo un periodo de tiempo satisfactorio.



**Figura 2.4. Tamizador mecánico**

*NOTA: El uso de un agitador mecánico de tamices es recomendable cuando el tamaño de la muestra es de 20 kg o mayor, y puede usarse para muestras más pequeñas, incluyendo agregado fino. Un tiempo excesivo (más de aproximadamente 10 minutos) para lograr un tamizado adecuado puede resultar en*

*degradación de la muestra. El mismo agitador mecánico de tamices puede no ser práctico para todos los tamaños de muestra, necesitando un área de tamizado mayor, para un tamizado práctico de un tamaño nominal grande al agregar agregado grueso lo que probablemente resultaría en pérdida de una porción de la muestra si es usada para una muestra más pequeña de agregado grueso o agregado fino.*

4. Horno. — Un horno de tamaño apropiado capaz de mantener una temperatura uniforme de  $110 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $230 \pm 9 \text{ }^\circ\text{F}$ ), Figura 2.5.



**Figura 2.5. Horno para el secado de agregados grueso y fino.**

### **2.2.1.3 PROCEDIMIENTO**

1. Si la muestra de ensayo no ha sido sujeta al ensayo AASHTO T-11, seque la muestra a masa constante a una temperatura de  $110 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $230 \pm 9 \text{ }^\circ\text{F}$ ) y determine la masa con una aproximación a 0.1 por ciento del total de la masa de la muestra seca original.

*NOTA - Para propósitos de control, particularmente donde resultados rápidos son deseados, generalmente no es necesario secar los agregados gruesos para el ensayo de análisis por tamices. Los resultados son afectados ligeramente debido al efecto del contenido de la humedad a menos que: (1) el tamaño máximo nominal es menor que 12.5 mm. (1/2 pulg); (2) el agregado grueso contenga apreciable material más fino que 4.75 mm (No. 4), o (3) el agregado grueso es altamente absorbente (por ejemplo, un*

*agregado de peso ligero). También, las muestras pueden ser secadas a temperatura más altas asociado con el uso de platos calientes sin afectar los resultados, produciendo escapes de vapor sin generar presiones suficientes para fracturar las partículas, y las temperaturas no son tan grandes en lo que se refiere a causar fracturas químicas en el agregado.*

2. Seleccione los tamices con aberturas adecuadas para proveer la información requerida por las especificaciones que cubre el material a ser ensayado. Use tamices adicionales según sea necesario para proporcionar otra información, tal como el módulo de finura, o para regular la cantidad de material en un tamiz. Se colocan los tamices en orden decreciente de tamaño de abertura de arriba hacia abajo y coloque la muestra en el tamiz superior hasta que llegue al fondo, ó la porción de la muestra si debe ser tamizada en más de una porción. Agite los tamices a mano o con el equipo mecánico por un periodo suficiente, establecidos por ensayos o controlado por medición en la muestra actual de ensayo, para encontrar los criterios de tamizado suficientes descritos en la Sección 2.2.1.3 apartado 4.

3. Límite la cantidad de material en un tamiz dado tal que todas las partículas tengan oportunidad de alcanzar las aberturas del tamiz en varias ocasiones durante la operación del tamizado. Para tamices con aberturas más pequeñas que 4.75-mm (No. 4) la cantidad retenida en cualquier tamiz al completar la operación de tamizado no deberá exceder a 7 kg/m<sup>2</sup> (4 g/pulg<sup>2</sup>) de área superficial del tamiz. Para tamices con aberturas de 4.75 mm (No. 4) y mayores, la cantidad retenida en kg no excederá el producto de 2.5 x (abertura de tamiz, mm x (área efectiva del tamiz, m<sup>2</sup>)). Esta cantidad es mostrada en la Tabla 2.6 para cinco dimensiones del marco del tamiz de uso

corriente. En ningún caso la cantidad retenida será tan grande como para causar deformación permanente en el tejido del tamiz.

3.1. Prevenga una sobrecarga de material en un tamiz individual por uno de los siguientes métodos:

3.1.1. Inserte un tamiz adicional con abertura de tamaño intermedia entre el tamiz que puede ser sobrecargado y el tamiz inmediatamente por encima de ese tamiz, en el conjunto original de tamices.

3.1.2. Parta la muestra en dos o más porciones, tamizando cada porción individualmente. Combine las masas de las porciones retenidas en un tamiz específico antes de calcular el porcentaje de la muestra en el tamiz.

3.1.3. Use tamices que tengan un marco de tamaño grande y que provea un área de tamizado mayor.

*NOTA: Kg/m<sup>2</sup> cuantifica 200 g para el diámetro de tamiz usual de 203.2 mm (8 pulg) con un diámetro efectivo en la superficie de tamizado de 109.5 mm (7.5 pulg).*

3.1.4. En caso de mezclas de agregado grueso y fino, la porción de la muestra más fina que el tamiz 4.75 mm (No 4) puede ser distribuido en dos o más juegos de tamices para prevenir sobrecargar los tamices individuales.

**TABLA 2.6 Cantidad Máxima Admisible de Material retenido en un tamiz, Kg**

Tamaño de abertura de tamiz		Dimensiones nominales de los tamices (a)				
		203.2 mm	254 mm	304.8 mm	350 x 350	372 x 580
Pulg.	mm	ϕ (b)	ϕ (b)	ϕ (b)	mm	mm
Área de tamizado, m <sup>2</sup>						
		0.0285	0.0457	0.067	0.1225	0.2158
5	125	c	c	c	c	67.4
4	100	c	c	c	30.6	53.9
3 ½	90	c	c	15.1	27.6	48.5
3	75	c	8.6	12.6	23.0	40.5
2 ½	63	c	7.2	10.6	19.3	34.0
2	50	3.6	5.7	8.4	15.3	27.0
1 ½	37,5	2.7	4.3	6.3	11.5	20.2
1	25	1.8	2.9	4.2	7.7	13.5
¾	19	1.4	2.2	3.2	5.8	10.2
½	12.5	0.89	1.4	2.1	3.8	6.7
3/8	9.5	0.67	1.1	1.6	2.9	5.1
No 4	4.75	0.33	0.54	0.8	1.5	2.6

**FUENTE: AASHTO T-27.**

(a) Las dimensiones del marco del tamiz en pulgadas son: 8 pulg, de diámetro, 10 pulg, de diámetro, 12 pulgadas de diámetro, 13.8 x 13.8 pulg (14 pulg x 14 pulg nominal), (16 x 24 pulg nominal).

(b) El área para tamices redondos está basada en un diámetro efectivo de 12.7 mm (1/2 pulg) menos que el diámetro nominal del marco, AASHTO M92 permite que el sello entre la malla del tamiz y el marco se extienda ¼ pulg. así, el diámetro efectivo de tamizado para un tamiz de 8 pulg. es de 19.05 mm (7.5 pulg.). Algunos fabricantes de tamices no deben infringir el sello de la malla del tamiz en un ¼ pulg.

(c) Los tamices indicados tienen menos de 5 aberturas completas y no pueden usarse para el ensayo de tamizado.

3.1.5 Alternativamente, la porción más fina que el tamiz 4.75 mm (No. 4) puede ser reducida de tamaño, usando un cuarteador mecánico según AASHTO T-248. Si este procedimiento es seguido, calcule el tamaño de la masa de cada porción de la muestra original como sigue:

$$A = \frac{W_1}{W_2} \times B$$

Donde:

A: Masa de la porción total de la muestra base.

$W_1$ : Fracción de la masa más fina que el tamiz de 4.75 mm (No. 4) en el total de la muestra.

$W_2$ : Porción de la masa reducida de material más fino que el tamiz 4.75 mm (No. 4) tamizada actualmente, y

B: Tamaño de la porción de masa reducida por tamizado.

4. Continúe tamizando por un periodo suficiente de tal manera que, después de completado, no más del 0.5 % de la masa del total de la muestra pase cualquier tamiz durante un minuto continuo de tamizado manual, realizado de la siguiente manera: Mantenga el tamiz individual con una mano, provista con un fondo y tapa, las cuales deben ajustarse de forma cómoda, en una posición ligeramente inclinada. Golpee el lado del tamiz con rapidez y con un movimiento ascendente en contra de la palma de la otra mano a una razón de alrededor de 150 veces por minuto, se gira el tamiz alrededor de un sexto de una revolución en intervalos de 25 golpes. En la determinación eficiente del tamizado para tamaños mayores que el tamiz de 4.75-mm (No. 4), se limita el material en el tamiz a una simple capa de partículas. Si la cantidad de los tamices para el ensayo hacen impráctico el movimiento de tamizado descrito, use tamices de diámetro de 203.2-mm (8 pulg.) Para verificar la eficiencia del tamizado.

5. A menos que un agitador mecánico de tamices sea usado, se deben tamizar manualmente las partículas mayores de 75 mm (3 pulg.) para determinar la abertura

del tamiz más pequeño a través del cual cada partícula pasará, si es necesario girar las partículas, en orden para determinar si atravesarán una abertura en particular; sin embargo, no fuerce las partículas para que pasen a través de una abertura.

6. Determine la masa de cada porción de tamaño en una báscula o balanza con aproximación del 0.1% del total de la masa de la muestra seca original. La masa total del material después de tamizado debe verificarse minuciosamente con la masa original de la muestra colocada sobre los tamices. Si las cantidades difieren por más de 0.3 % basados en la masa de muestra seca original, los resultados no podrán ser usados para propósitos de aceptación.

7. Si la muestra ha sido previamente ensayada por el Método de Ensayo AASHTO T-11, añada la masa del material más fino que el tamiz 75- $\mu\text{m}$  (No. 200) determinada por este método a la masa que pasa el tamiz 75- $\mu\text{m}$  (No. 200) por tamizado seco de la misma muestra en éste método.

### **2.2.2 MATERIALES MÁS FINOS QUE PASAN EL TAMIZ DE 75 $\mu\text{m}$ (No. 200) EN AGREGADO MINERAL POR LAVADO. (AASHTO T-11).**

El material más fino que el tamiz de 75 $\mu\text{m}$  (No. 200), puede ser separado de partículas mayores eficazmente y completamente por el tamizado en húmedo, que por el tamizado en seco. Por consiguiente, cuando se desean determinaciones exactas de material más fino que 75  $\mu\text{m}$  en agregado fino y grueso, se utiliza este método de ensayo en la muestra antes del tamizado en seco de acuerdo con la especificación

AASHTO T-27. Los resultados de este método de ensayo son incluidos en el cálculo en la especificación AASHTO T-27, y el cálculo total de material más fino que 75µm por lavado, más la cantidad obtenida por tamizado seco en la misma muestra, es reportado con los resultados de AASHTO T-27. Usualmente la cantidad adicional de material más fino que 75µm obtenido en el proceso de tamizado seco es una cantidad pequeña. Si es grande, entonces la eficiencia de la operación de lavado debería ser comprobada. Eso, también, podría ser una indicación de degradación del agregado.

El agua corriente es adecuada para separar el material más pequeño que 75µm del material más grueso en la mayoría de agregados. En algunos casos, el material más fino se adhiere a las partículas más grandes, como algunas capas de arcilla y capas en agregados que han sido extraídos de mezclas bituminosas. En estos casos, el material fino será separado fácilmente con un agente humectante en el agua.

#### **2.2.2.1 MATERIALES Y EQUIPO.**

1. Balanzas: La balanza tendrá suficiente capacidad, para leer al 0.1 por ciento de la masa de la muestra, o mucho más, y estará conforme a los requisitos de la especificación AASHTO M-231 (Ver Figura 2.1).

2. Tamices: Un grupo de dos tamices, el más pequeño será un tamiz de 75-µm (No. 200) (Ver Figura 2.6) y el más grande será un tamiz con aberturas en el rango de 2.36-mm (No. 8) a 1.18-mm (No. 16), ambos conforme a los requisitos de la especificación AASHTO M-92.

3. Contenedor: Una bandeja o vasija de un tamaño suficiente para contener la muestra cubierta con agua y que permita la agitación vigorosa sin perder alguna parte de la muestra o agua (Ver Figura 2.7).

4. Horno. — Un horno de suficiente tamaño, capaz de mantener una temperatura uniforme de  $110 \pm 5$  ° C ( $230 \pm 9$  ° F) (Ver Figura 2.8).

5. Agente humectante: Cualquier agente dispersante, como detergentes líquidos para lavar platos, puede ayudar a la separación de los materiales finos.

*NOTA: El uso de un equipo mecánico para realizar la operación de lavado no es prohibitivo, ya que los resultados obtenidos del uso de este equipo, son consistentes con los resultados obtenidos de utilizar operaciones manuales. El uso de algún equipo mecánico de lavado con algunas muestras puede causar degradación de la muestra.*



**Figura 2.6.** Tamiz No 200 utilizado para lavado, donde se puede observar la prolongación de la altura de su marco para evitar la pérdida de material en el momento de la decantación.



**Figura 2.7.** a) Contenedor de muestra, b) Piseta para devolver el material retenido en el tamiz, c) Tamiz para decantación de muestra.



**Figura 2.8.** Horno para el secado del agregado grueso y fino.

6. Si la misma muestra es ensayada según AASHTO T-27, entonces la masa mínima estará descrita en las secciones aplicables de ese método. De otra manera, la masa de

la muestra de ensayo, después de secarse, será conforme a la Tabla 2.7.

**TABLA 2.7 Masa mínima de muestra de ensayo.**

<b>Tamaño Nominal Máximo</b>	<b>Masa mínima, g</b>
4.75mm (No. 4) o menor	300
9.5mm (3/8 pulg)	1000
19.0mm (3/4 pulg)	2500
37.5mm (1 ½ pulg) o mayor	5000

FUENTE: AASHTO T-27

#### **2.2.2.2 PROCEDIMIENTO.**

Se utilizará el procedimiento “A”, salvo indicación contraria dada por la especificación con la cual los resultados del ensayo serán comparados, o cuando lo dicte la agencia para la cual el trabajo es realizado.

##### **2.2.2.2.1 PROCEDIMIENTO “A” LAVADO CON AGUA.**

1. Secar la muestra de ensayo hasta alcanzar una masa constante, a una temperatura de  $110 \pm 5$  ° C ( $230 \pm 9$  ° F). Determinar la masa con una precisión del 0.1 por ciento de la masa de la muestra de ensayo.

2. Si la especificación aplicable requiere que la cantidad que pasa el tamiz de 75µm (No. 200) sea determinado en una porción de la muestra que pasa un tamiz más pequeño que el tamaño máximo nominal del agregado, separar la muestra en el tamiz

designado y determinar la masa del material que pasa el tamiz designado al 0.1 por ciento de la masa de la porción de la muestra de ensayo. Usar esta como la masa seca original de la muestra de ensayo.

*NOTA 2- Algunas especificaciones para agregados con un tamaño máximo nominal de 50mm (2 pulg) o mayor, por ejemplo, proveen un límite para materiales que pasan el tamiz de 75µm (No. 200) determinado en la porción de la muestra que pasa el tamiz de 25.0-mm (1 pulg). Tales procedimientos son necesarios ya que no es práctico lavar muestras del tamaño requerido cuando la misma muestra de ensayo servirá para análisis por tamizado según AASHTO T-27.*

3. Después de secar y determinar la masa, colocar la muestra de ensayo en el contenedor y agregar suficiente agua para cubrirla. Ningún detergente, agente dispersante, u otra sustancia se añadirá al agua. Agitar la muestra con suficiente vigor para que haya una separación completa de todas las partículas más finas que el tamiz de 75-µm (No. 200) de las partículas más gruesas, y que el material fino quede en suspensión. El uso de una cuchara grande u otra herramienta similar para revolver y agitar el agregado en el agua de lavado tiene resultados satisfactorios. Inmediatamente vierta el agua de lavado conteniendo los sólidos suspendidos y disueltos sobre el arreglo de tamices (Ver Figura 2.9), organizados con el tamiz más grueso arriba. Esfuércese por evitar, tanto como sea posible, la decantación de partículas más gruesas de la muestra.

4. Añada una segunda cantidad de agua a la muestra en el recipiente, agitar, y decantar como antes. Repetir esta operación hasta que el agua de lavado salga clara (Ver Figura 2.10).

*NOTA 3 - Si el equipo de lavado es usado, la carga de agua, agitación, y la decantación pueden ser una operación continua.*

*NOTA 4 – Una boquilla de aerosol o una pieza de tubo de caucho unido a un grifo de agua, pueden ser*

usadas para enjuagar cualquiera de los materiales que haya caído sobre los tamices. La velocidad del agua, que puede ser incrementada por la presión del tubo, debe ser la suficiente para no causar salpicaduras de muestra en los lados del tamiz.



**Figura 2.9.** Agua conteniendo material fino suspendido, siendo vertido en el tamiz N° 200.



**Figura 2.10.** Decantación de agregados en tamiz n° 200 hasta que el agua sale limpia.

5. Regresar todo el material retenido en el grupo de tamices, limpiando con un chorro de agua la muestra lavada. Secar el agregado lavado hasta obtener masa constante a una temperatura de  $110 \pm 5$  ° C ( $230 \pm 9$  ° F) y determinar la masa con una precisión del 0.1 por ciento de la masa original de la muestra.

*NOTA. Después del lavado de la muestra y la limpieza de cualquier material retenido en el tamiz de 75µm (No. 200) llevarlos de vuelta al recipiente, el agua no deberá ser decantada al recipiente sino es a través del tamiz de 75-µm, para evitar pérdida de material. El agua en exceso del enjuague deberá evaporarse de la muestra en el proceso de secado.*

#### **2.2.2.2. PROCEDIMIENTO “B” LAVADO USANDO AGENTE HUMECTANTE.**

1. Preparar la muestra de la misma manera que en el procedimiento “A”.
2. Después de secarse y determinar la masa, colocar la muestra de ensayo en el recipiente. Añada suficiente agua para cubrir la muestra, y añadir agente humectante al agua. Agitar la muestra con suficiente vigor para que haya una separación completa de las partículas más finas que el tamiz de 75µm (No. 200) de las partículas más gruesas, para dejar el material fino en suspensión. El uso de una cuchara grande u otra herramienta similar para revolver y agitar el agregado en el agua de lavado ha sido encontrado satisfactorio. Inmediatamente verter el agua de lavado conteniendo los sólidos suspendidos y disueltos sobre el grupo de tamices, organizados con el tamiz más grueso arriba. Esforzarse por evitar, tanto como sea posible, la decantación de partículas más gruesas de la muestra.

*NOTA: El agente humectante deberá ser suficiente para producir un poco de espuma cuando la muestra es agitada. La cantidad dependerá de la dureza del agua y la calidad del detergente. Espuma en exceso puede derramarse de los tamices y puede llevarse material con ella.*

3. Añada una segunda cantidad de agua (sin agente humectante) a la muestra en el contenedor, agitar, y decantar como antes. Repetir esta operación hasta que el agua de lavado sea clara.

4. Completar el ensayo como en el procedimiento "A".

### **2.2.3 LIMITES DE ATTERBERG**

Como se dijo en la presentación, el comportamiento de un suelo está muy influenciado por la presencia de agua en su seno. Este hecho se acentúa cuanto menor es el tamaño de las partículas que componen dicho suelo, siendo especialmente relevante en aquéllos donde predomine el componente arcilloso, ya que en ellos los fenómenos de interacción superficial se imponen a los de tipo gravitatorio.

Por ello, resulta muy útil estudiar los límites entre los diversos **estados de consistencia** que pueden darse en los suelos coherentes en función de su grado de humedad: líquido, plástico, semisólido y sólido.

#### **2.2.3.1 Estados de consistencia**

**Líquido:** La presencia de una cantidad excesiva de agua anula las fuerzas de atracción interparticular que mantenían unido al suelo –la cohesión- y lo convierte en una *papilla*, un líquido viscoso sin capacidad resiste

**Plástico:** El suelo es fácilmente moldeable, presentando grandes deformaciones con la aplicación de esfuerzos pequeños. Su comportamiento es plástico, por lo

que no recupera su estado inicial una vez cesado el esfuerzo. Mecánicamente no es apto para resistir cargas adicionales.

**Semisólido:** El suelo deja de ser moldeable, pues se quiebra y resquebraja antes de cambiar de forma. No obstante, no es un sólido puro, ya que disminuye de volumen si continúa perdiendo agua. Su comportamiento mecánico es aceptable.

**Sólido:** En este estado el suelo alcanza la estabilidad, ya que su volumen no varía con los cambios de humedad. El comportamiento mecánico es óptimo.

Las humedades correspondientes a los puntos de transición entre cada uno de estos estados definen los **límites líquido** (LL), **plástico** (LP) y **de contracción** (LC) respectivamente.

Para realizar esta tarea, existen dos procedimientos de ensayo muy extendidos: los **límites de Atterberg** y el **equivalente de arena**, si bien el primero es más preciso que el segundo.

## **2.2.3.2. DETERMINACION DE LOS LÍMITES**

### **2.2.3.2.1 MATERIAL Y EQUIPO**

#### **LIMITE LÍQUIDO (AASHTO T - 89).**

1. Muestra de suelo: Representativa de campo, manteniendo su contenido de humedad previo a la realización del ensayo.
2. Agua: Destilada o desmineralizada.
3. Aparato del límite líquido (Copa de Casagrande): Es un dispositivo mecánico, constituido de una copa de latón suspendida de un carruaje, diseñado para controlar su caída hacia una base de caucho duro. El dispositivo puede ser operado manualmente o a través de un motor eléctrico.
4. Recipientes para contenido de humedad: Latas de acero inoxidable o aluminio, resistentes a la corrosión y que posean tapaderas ajustables. Son apropiados los recipientes con dimensiones de 1 pulg de altura y 2 pulg de diámetro.
5. Balanza: Con una legibilidad de 0.01 g.
6. Recipiente para mezclado y almacenamiento: De material de porcelana, vidrio o plástico; de aproximadamente 4½ pulg de diámetro.
7. Espátula o cuchillo: Con dimensiones de aproximadamente 2 cm de ancho y 10 a 13 cm de largo.

8. Charola de lavado: De fondo plano, redonda, con una profundidad de 7.6 cm y ligeramente más grande en el fondo que un tamiz que 8 pulg de diámetro.

9. Mortero y pistilo: Ambos son de porcelana, siendo el mortero el recipiente donde se coloca y tritura el suelo y el pistilo es el utilizado para desmenuzar.

### **LIMITE PLASTICO (AASHTO T - 90).**

1. Placa de vidrio: Con dimensiones de 30 cm de ancho y largo y de 1 cm de espesor.

2. Misceláneos: Piseta, cepillo plástico, franelas, bolsas plásticas, horno.



**Figura. 2.11** Equipo utilizado durante el ensayo de límite líquido.



**Figura. 2.12** Equipo utilizado durante el ensayo del límite plástico

#### **2.2.3.2.2 PROCEDIMIENTO**

##### **LIMITE LÍQUIDO**

Un espécimen de suelo es cribado por el tamiz No 40 (425  $\mu\text{m}$ ), para remover cualquier material retenido en él. El límite líquido es determinado realizando ensayos en los que una porción del espécimen es extendida en una copa (Copa de Casagrande), luego es dividida en dos utilizando un ranurador y posteriormente es sacudido el suelo por medio de repetidos golpes proporcionados a la copa hasta que las dos mitades de la muestra se unan una distancia de 1.3 cm ( $\frac{1}{2}$  pulgada). El límite líquido determinado con múltiples puntos (Método A) requiere tres o más ensayos sobre un rango de contenidos de humedad a ser realizados y los datos son graficados o calculados para hacer una relación de la cual el límite líquido es determinado. El límite líquido por un punto (Método B), utiliza el dato de dos ensayos a un contenido de humedad multiplicado por un factor de corrección para determinar el límite líquido.

## LIMITE PLASTICO

El límite plástico es determinado presionando y enrollando una fracción pequeña de suelo plástico en forma de hilo de un diámetro de 3.2 mm (1/8 pul) hasta que el contenido de agua es reducido a un punto en el cual, éste se desmorona y ya no puede ser alargado por presión y re-enrollado. El índice de plasticidad se calcula como la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico.

**Tabla 2.8 Valores típicos de consistencia de suelo**

PARAMETRO		TIPO DE SUELO		
		Arena	Limo	Arcilla
LL	Límite líquido	15 – 20	30 - 40	40 – 150
LP	Límite plástico	15 – 20	20 -25	25 – 50
LC	Límite de contracción	12 – 18	14 – 25	8 – 35
IP	Índice de plasticidad	0 – 3	10 – 15	10 – 100

Fuente AASHTO

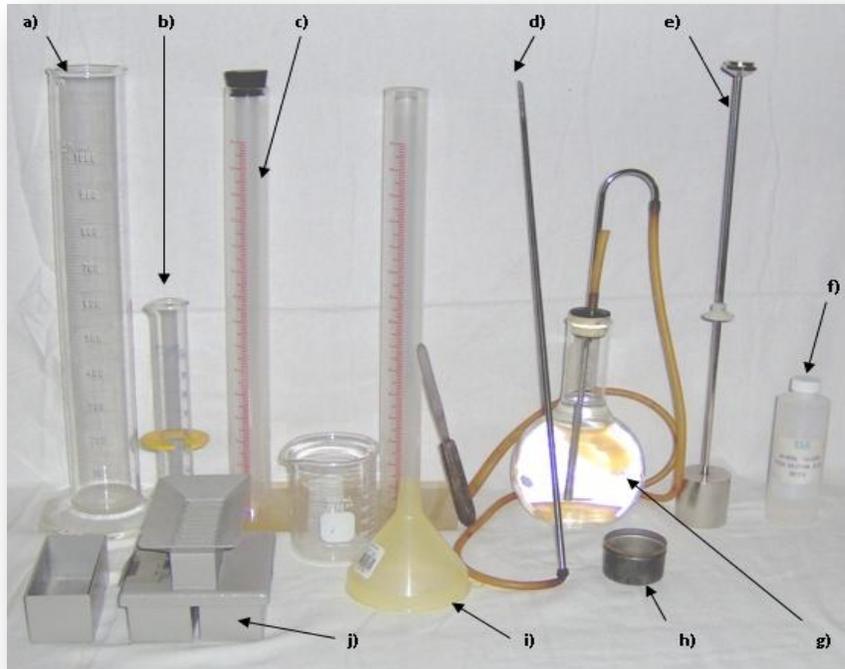
### 2.2.4 EQUIVALENTE DE ARENA (AASHTO T - 176)

La intención de éste ensayo es que sirva como una prueba de campo rápida para mostrar las proporciones relativas de polvo fino o material arcilloso en suelos o agregados graduados.

Lo siguiente tiene aplicación para todos los límites especificados en este estándar: Para el propósito de determinar conforme con esta especificación, un valor observado o calculado, será redondeado "al entero más cercano" en el último lugar a la derecha

de la cifra utilizada para expresar el valor límite, Indicando Cual posición de la Cifra deberá ser Considerado Significativa en el límite Especificado de Valores.

#### 2.2.4.1 MATERIAL Y EQUIPO



**Figura. 2.13** Equipo para realizar ensayo de equivalente de arena

- a) Probeta de 1000 ml de capacidad para medir la cantidad de agua.
- b) Probeta de 350 ml de capacidad para medir la cantidad de cloruro de calcio (stock).
- c) Probeta graduada con tapón de hule para precipitación de material fino.
- d) Tubo irrigador. e) Pisón metálico. f) Cloruro de calcio.
- g) Matraz para producir el vacío.
- h) Cápsula para medir la cantidad de material.
- i) Embudo para depositar el material fino en la probeta graduada.
- j) Cuarteador miniatura.

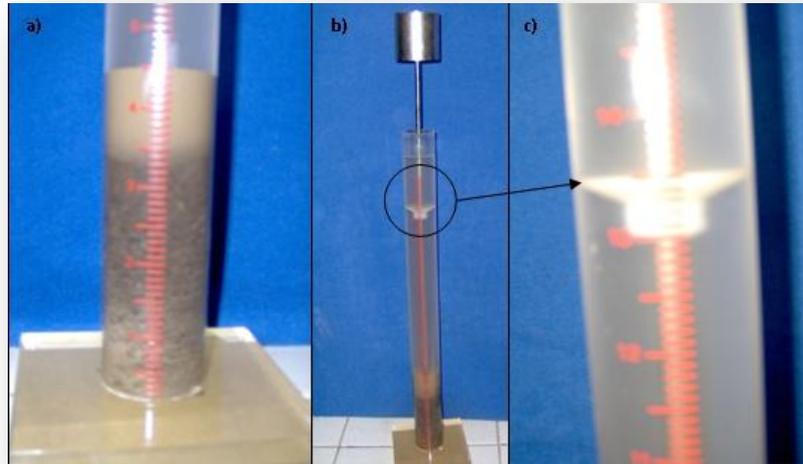
#### 2.2.4.2. PROCEDIMIENTO

Para realizarlo, se separa la fracción arenosa del suelo mediante el tamiz de 4.75 mm. De la malla N° 4 de la serie ASTM) y se introduce un volumen de 85 cm<sup>3</sup> de la misma en una probeta cilíndrica de 32 mm. de diámetro y 430 mm. de longitud, graduada de 2 en 2 mm. A continuación se introducirá una espesa disolución de trabajo formada por cloruro cálcico, glicerina y formaldehído diluidos en agua destilada, dejando reposar la mezcla durante 10 minutos. Seguidamente, el conjunto se agitará de forma normalizada 90 ciclos en 30 segundos, con un recorrido de unos 22.9 cm. para conseguir una mezcla íntima. Posteriormente, se dejará reposar durante un tiempo de 20 minutos.

Una vez transcurrido este tiempo, se podrá observar mediante simple contacto visual la existencia de dos horizontes, uno de ellos correspondiente a la fracción arenosa del suelo y otro por encima del anterior, relativo a la proporción de finos existente en la muestra, para esto se introduce en la probeta una varilla, con un pistón en un extremo hasta que descansa sobre la arena.

El equivalente de arena es:

$$EA = \left[ \frac{\text{Lectura ... de ... arena}}{\text{Lectura ... de ... arcilla}} \right] \times 100$$



**FIGURA. 2.14** Detalle de toma de lecturas en el ensayo

- a) Lectura de finos o de arcilla
- b) lectura de arena
- c) detalle de lectura de arena

**TABLA 2.9 Interpretación de resultados**

EA	Tipo de Suelo
> 40	Suelo nada plástico, arena
20 – 40	Suelo poco plástico, finos
< 20	Suelo plástico y arcilloso

Fuente: Manual de Carreteras, Luis Bañón y José Beviá.

### 2.3 CLASIFICACION DE SUELOS.

Dada la gran variedad de suelos que se presentan en la naturaleza, la mecánica de suelos ha desarrollado algunos métodos de clasificación. Cada uno de estos métodos

tiene, prácticamente su campo de aplicación, según la necesidad y uso que los haya fundamentado: Ingenieros Civiles, Agrónomos, Geólogos, etc.

Así se tiene por ejemplo la clasificación de los suelos, según el tamaño de sus partículas, la clasificación de la Asociación Americana de funcionarios de caminos públicos (American Association State Highway Officials, AASHTO), la clasificación de la Administración de la Aeronáutica Civil (C.A.A.), el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.), etc.

La existencia de esta variedad de sistemas de clasificación de suelos, se debe, posiblemente al hecho de que tanto el Ingeniero Civil como el Geólogo y el Agrónomo, analizan el suelo desde diferentes puntos de vista. Sin embargo, lo que es fundamental es el hecho de que cualquier clasificación que quiera abarcar las necesidades correspondientes, debe estar basada en las propiedades mecánicas de los suelos, ya que estas son fundamentales en las variadas aplicaciones de la ingeniería.

### **2.3.1 SISTEMA DE CLASIFICACION DE SUELOS DE LA ASOCIACION AMERICANA DE FUNCIONARIOS DE CAMINOS PUBLICOS (AASHTO M – 145)**

Este es el sistema del Departamento de Caminos de U.S.A., introducido en 1929 y adoptado por la Asociación Americana de Funcionarios de Caminos Públicos entre

otras. Es de uso especial para la construcción de vías, en especial para manejo de subrasantes y terraplenes.

Este sistema divide a los suelos en 8 grupos principales, desde el grupo A -1 hasta el grupo A-7, existe además, una subdivisión en algunos grupos, de la forma siguiente: 2 subgrupos en A-1, 4 subgrupos en A-2 y 2 subgrupos en A-7, para un total de 12 subgrupos de suelo.

Todos los grupos anteriormente descritos, el sistema los divide en tres categorías:

**Granulares:** si el 35% o más del material se retiene en la malla N° 200. Estos suelos forman los grupos A-1, A-2 y A-3.

**Limo-arcilla:** si mas del 35% del total pasa la malla N° 200. Estos suelos constituyen los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7.

**Orgánicos:** turba. Material excesivamente orgánico.

Las primeras dos categorías en este sistema, se subdividen de acuerdo con sus características de distribución de sus granos, su límite líquido y su índice plástico, utilizando entonces los símbolos desde el grupo A-1 hasta el A-7.

Es de hacer notar que los símbolos de los tipos de suelo, indican vagamente que con el aumento del número disminuye la calidad del suelo para la construcción de carreteras.

### ***Materiales granulares***

#### **Grupo A-1:**

El material típico de este grupo es una mezcla bien graduada de fragmentos de piedra o grava, arena gruesa, arena fina, y un ligante de suelo no plástico o de baja

plasticidad. Sin embargo, este grupo incluye también fragmentos de roca, grava, arena gruesa, cenizas volcánicas, etc. Sin un ligante de suelo.

Subgrupo A-1-a: incluye aquellos materiales que consisten predominantemente de fragmentos de roca o grava con o sin un ligante bien graduado de material fino.

Subgrupo A-1-b: incluye aquellos materiales que consisten predominantemente de arena gruesa con o sin ligante de suelo bien graduado.

### **Grupo A-3:**

El material típico de este grupo es la arena fina de playa o la arena fina de desierto, sin finos de arcilla, limo o con una pequeña cantidad de limo no plástico. Este grupo también incluye las mezclas aluviales de arena fina mal graduada con pequeñas cantidades de arcilla gruesa y grava.

### **Grupo A-2:**

Este grupo incluye una amplia variedad de materiales granulares, que se encuentran en el límite entre los materiales que se clasifican en los grupos A-1 y A-3, y los materiales tipo limo y arcilla que se clasifican en los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7. Incluyen todos los materiales que contienen 35% o menos de material que pasa el tamiz N° 200 que no pueden ser clasificados en los grupos A-1 o A-3, debido al contenido de finos o a los índices de plasticidad, o ambos, por encima de las limitaciones de estos grupos.

Subgrupos A-2-4 y A-2-5: estos grupos comprenden materiales tales como grava y arena gruesa con contenidos de limo e IP por encima de las limitaciones del grupo A-1, y arena fina con un contenido de limo no plástico por encima de las limitaciones del grupo A-3.

Subgrupos A-2-6 y A-2-7: incluyen materiales similares a los descritos en los subgrupos A-2-4 y A-2-5 excepto en que la porción fina contiene arcilla plástica que tiene las características de los grupos A-6 y A-7 respectivamente.

### ***Materiales Limo-arcillosos***

#### **Grupo A-4:**

El material típico de este grupo es un suelo limoso no plástico o moderadamente plástico, que normalmente tiene el 75% o más de material que pasa el tamiz N° 200. Este grupo también incluye mezclas de suelo limoso fino y hasta 64% de arena y grava retenida sobre el tamiz N° 200.

#### **Grupo A-5:**

El material típico de este grupo es similar al descrito en el grupo A-4, salvo que usualmente tiene un carácter diatomáceo o micáceo y puede ser muy elástico, como lo indica su alto Limite Líquido.

#### **Grupo A-6:**

El material típico de este grupo es una arcilla plástica que usualmente tiene un 75% o más del material que pasa el tamiz N°200. Este grupo también incluye mezclas de suelo arcilloso y hasta el 64% de arena y grava retenida sobre el tamiz N°200. Los

materiales de este grupo normalmente presentan grandes cambios de volúmenes entre los estados seco y húmedo.

### **Grupo A-7:**

El material típico de este grupo es similar al descrito en el grupo A-6, salvo que tiene el Limite Líquido elevado, característico del grupo A-5, y puede presentar elasticidad o alto potencial de expansión.

Subgrupo A-7-5: incluye materiales con IP moderados en relación con el LL y que pueden presentar un alto potencial de expansión.

Subgrupo A-7-6: incluyen materiales con un alto IP en relación con el LL y presentan un alto potencial en expansión.

### **Orgánico:**

Son suelos orgánicos, incluida la turba. La clasificación de estos materiales se basa en la inspección visual y no depende del porcentaje que pasa por el tamiz N°200, el LL y el IP. El material se compone principalmente de materia orgánica parcialmente descompuesta; generalmente tiene una textura fibrosa, un color negro o pardo oscuro y olor a podrido. Estos materiales orgánicos son inadecuados para su utilización en terraplenes y subrasantes. Tales materiales son altamente compresibles y tienen una baja resistencia al corte.

### **RESUMIENDO:**

A-1-a Principalmente gravas con o sin partículas finas de granulometrías bien definidas.

A-1-b Arena con o sin partículas finas de granulometrías bien definidas.

A-2-4 Materiales granulares con partículas finas limosas.

A-2-5 Materiales granulares con partículas finas limosas.

A-2-6 Materiales granulares con partículas finas arcillosas.

A-2-7 Materiales granulares con partículas finas arcillosas.

A-3 Arena de granulometría deficiente que casi no contiene partículas finas ni gravas.

A-4 Principalmente partículas finas limosas.

A-5 Tipos de suelos poco frecuentes que contienen partículas finas limosas, generalmente elásticas y difíciles de compactar.

A-6 Contienen partículas finas limosas o arcillosas con un límite líquido bajo.

A-7-5 Las arcillas y limos más plásticos.

A-7-6 Las arcillas y limos más plásticos.

Suelos orgánicos.

### **Índice de Grupo: (IG)**

Para establecer la posición relativa de un suelo dentro de un subgrupo y para comparar suelos dentro de un mismo grupo, el sistema de clasificación AASHTO, esta suplementado por la utilización de un Índice de grupo, que siendo encontrado dicho valor se coloca después del número de clasificación.

El índice de grupo es un valor en función del porcentaje de suelo que pasa la malla N° 200 y de los límites de Atterberg.

Si dos suelos de un mismo grupo, tienen diferente índice de grupo, tendrá mejor comportamiento como material de carretera aquel cuyo índice de grupo sea menor.

La fórmula para el cálculo es la siguiente:

$$IG = (F-35)(0.2+(0.005(LL-40)))+0.01(F-15)(IP-10)$$

Donde:

F es la fracción del suelo que pasa la malla 200.

LL es el límite líquido del suelo.

IP es el Índice de plasticidad del suelo.

Algunas reglas con respecto al uso de esta ecuación son las siguientes:

Si el valor obtenido es negativo, se debe asumir como  $IG = 0$ .

El IG debe redondearse a valores enteros: Por ejemplo si el valor obtenido es  $IG = 3.3$  realmente es  $IG = 3$  o si es  $IG = 3.5$  realmente es  $IG = 4$ .

El Índice de grupo de A-1, A-3 y A-2-4 y A-2-5 siempre es igual a cero.

Para los grupos A-2-6 y A-2-7, el Índice de grupo se calcula con la segunda parte de la ecuación, dependiendo solo del IP.

El índice del grupo indica la idoneidad de un suelo determinado para construir explanaciones. El índice de un grupo igual a "0" indica un material bueno mientras que un índice igual a "20" indica un material deficiente.

En base al índice de grupo obtenido, se clasifica el suelo, de la manera siguiente:

**TABLA 2.10 Clasificación del suelo según Índice de Grupo**

<b>Calidad del suelo</b>	<b>Índice de Grupo</b>
Excelente	0
Bueno	$0 \leq IG \leq 1$
Regular	$2 \leq IG \leq 4$
Malo	$5 \leq IG \leq 9$
Muy malo	$10 \leq IG \leq 20$

Fuente: AASHTO.

**Procedimiento de clasificación:**

1. Clasifique el suelo en un grupo o subgrupo apropiado, o en ambos, de acuerdo con la tabla 2.11, y a partir de los resultados de los ensayos determinados. Utilice la carta de plasticidad de la AASHTO (figura. 2.14) para clasificar los materiales fino granulares a partir de los valores de LL y de IP.

Todos los valores de límites de consistencia se presentan como números enteros. Si aparecen números fraccionarios en los informes de ensayo, aproxímelos al número entero más próximo para utilizarlo en la clasificación.

2. A partir de los resultados de los ensayos requeridos, proceda de izquierda a derecha en la tabla 2.11, y encontrara la clasificación correcta por un proceso de eliminación. El

primer grupo de la izquierda en el que se ajusten los resultados de los ensayos es el de la clasificación correcta.

3. La clasificación de los materiales en los diferentes grupos, se aplica solo a la fracción que pasa la malla de 3". En consecuencia cualquier especificación en relación con el uso de materiales de los grupos A-1, A-2 o A-3 para construcción debe definir si admite cantos (retenidos sobre la malla de 3").

**TABLA 2.11. CLASIFICACIÓN DE SUELOS Y MEZCLAS DE SUELOS Y AGREGADOS.**

Clasificación General	Materiales Granulares (35% o menos pasa la malla n° 200)							Limos y Arcillas (35% pasa malla n° 200)			
	A - 1		A - 3	A - 2				A - 4	A - 5	A - 6	A - 7
Grupos	A - 1 - a	A - 1 - b		A - 2 - 4	A - 2 - 5	A - 2 - 6	A - 2 - 7				
Subgrupos											
% que pasa tamiz:											
N° 10	50 máx.										
N° 40	30 máx.	50 máx.	51 mín.								
N° 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	
Límites Atterberg.											
Límites Líquido.				40 máx.	41 máx.	40 máx.	41 máx.	40 máx.	41 máx.	40 máx.	41 máx.
Índice de Plasticidad.	6 máx.	6 máx.	NP	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Índice de Grupo.	0	0	0	0	0	4 máx.	4 máx.	8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Tipo de Material	Gravas y Arenas.		Arena fina.	Gravas y arenas limosas y arcillosas.				Suelos Limosos.		Suelos arcillosos.	
Estimación general del suelo como Sub rasante.	Excelente.			Excelente a bueno.				Regular a malo.			

FUENTE: AASHTO

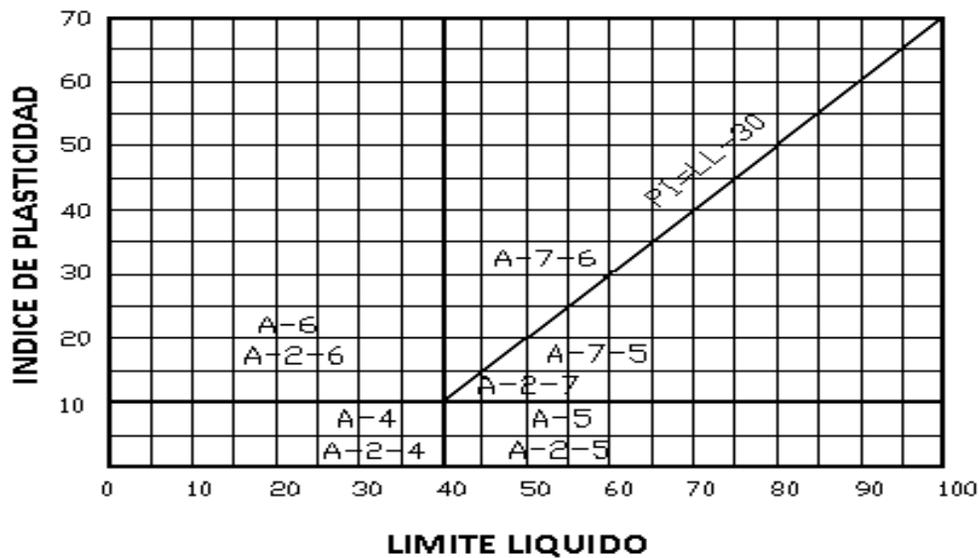


Figura 2.14 Carta de plasticidad de la AASHTO.

**TABLA 2.12 CARACTERÍSTICAS Y USOS DE LOS DIFERENTES TIPOS DE SUELOS Y SU CALIDAD**

Grupo Suelos	Permeabilidad.	Elasticidad.	Cambio de volumen.	Capilaridad.	Bases de pavimentos.	Sub bases.	Terraplenes.	Valoración escala.
A - 1	--	---	--	-	++	++	++	+++ Sobresaliente.
A - 2	-	++	+	m	-	m	+	++ Muy alto.
A - 3	+	-	--	-	+	+	+	+ Alto.
A - 4	-	+	±	+++	-	-	±	m Moderado.
A - 5	-	m	++	+++	---	-	--	- Deficiente.
A - 6	---	-	++	++	--	--	-	-- Bajo.
A - 7	--	m	++	++	--	--	--	--- Muy bajo.

FUENTE: AASHTO

### 2.3.2 METODO VISUAL MANUAL PARA LA IDENTIFICACION DE SUELOS.

Para el uso de este método se utiliza el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, el cual posee una equivalencia con el método de clasificación de la AASHTO, en la tabla 2.13 se presentan las equivalencias entre los métodos de clasificación, para relacionar la clasificación visual manual con la clasificación AASHTO.

**TABLA 2.13 EQUIVALENCIAS DE CLASIFICACIÓN.**

CLASIFICACIÓN AASHTO	DESCRIPCIÓN	CLASIFICACIÓN SUCS
<b>Suelos de Grano Grueso:</b>		
A - 1 - a, Bien Graduado	Grava	GW, GP
A - 1 - a, Pobremente Graduado		
A - 1 - b	Arena Gruesa	SW
A - 3	Arena Fina	SP
<b>Suelos A - 2 (Material Granular con muchos Finos):</b>		
A - 2 - 4, gravoso	Grava Limosa	GM
A - 2 - 5, gravoso	Grava Arena - Limosa	
A - 2 - 4, arenoso	Arena Limosa	SM
A - 2 - 5, arenoso	Arena Grava - Limosa	
A - 2 - 6, gravoso	Grava Arcillosa	GC
A - 2 - 7, gravoso	Grava Arena - Arcillosa	
A - 2 - 6, arenoso	Arena Arcillosa	SC
A - 2 - 7, arenoso	Arena Grava - Arcillosa	
<b>Suelos de Grano Fino:</b>		
A - 4	Limo	ML, OL
	Limo/ Arena/ Mezcla de Grava	
A - 5	Limo Pobremente Graduada	MH
A - 6	Arcilla Plástica	CL
A - 7 - 5	Arcilla Elástica moderadamente Plástica	CL, OL
A - 7 - 6	Arcilla Elástica altamente Plástica	CH, OH

FUENTE: SUPPLEMENTAL ASSOCIATION OF THE AASHTO GUIDE 1998.

La identificación de un suelo es de suma importancia en la ingeniería, permite conocer en forma cualitativa, las propiedades mecánicas e hidráulicas del suelo, pero para ello, es necesario poseer experiencia; para poder brindar una clasificación correcta.

Las características principales para identificar suelos finos en una investigación de campo son: dilatancia, tenacidad, resistencia en estado seco, plasticidad, ensayo de brillo, sedimentación y sonido. Para determinar la presencia de materia orgánica, óxidos de hierro, metales, etc., las características a determinar son el color y el olor.

Para suelos de grano de grueso se determina la angulosidad de las partículas y tamaño.

#### **2.3.2.1 Aplicación e importancia del método:**

La información descriptiva obtenida por esta práctica de ensayo puede utilizarse como un instrumento auxiliar para describir un suelo en la evaluación de sus propiedades significativas para uso ingenieril. Además de emplearse para complementar la clasificación de un suelo, según lo determinado por el método de ensayo D-2487.

Este ensayo puede ser usado para la identificación de suelos, utilizando la clasificación de símbolos de grupo y nombres como los descritos por el método de ensayo D-2487.

Nota: Debido a que los nombres y símbolos usados en esta práctica para identificar los suelos son los mismos que en el método de ensayo D-2487, se debe reportar en el informe que el símbolo de la clasificación y el nombre está basado en un procedimiento visual-manual.

Esta práctica de ensayo no será empleada únicamente para la identificación de suelos en el campo, sino también en la oficina, laboratorio o donde sea necesario inspeccionar y describir muestras de suelo.

Esta práctica de ensayo tiene un valor particular para la agrupación de muestras de suelos similares, para que sólo un mínimo de pruebas de laboratorio deban ser realizadas para la correcta clasificación del suelo.

*Nota: La habilidad para describir e identificar los suelos correctamente es aprendida de manera más fácil bajo la guía de un personal experimentado, pero también puede ser adquirida sistemáticamente mediante comparaciones numéricas de los resultados de ensayos de laboratorio para suelos típicos de cada tipo con sus características visuales y manuales.*

Cuando se requieran describir e identificar muestras de suelos de una perforación dada, una extracción de una calicata o un grupo de alguno de los anteriores, no es necesario seguir y realizar todos los procedimientos descritos en esta práctica para cada una de las muestras, ya que pueden agruparse los suelos que parezcan ser similares y solo una muestra ser descrita e identificada.

#### **2.3.2.2 Material y equipo:**

- *Muestra de suelo:*

Representativa del estrato de donde se obtuvo.

- *Agua purificada o desmineralizada.*

- *Ácido Hidroclorhídrico:*

Una botella pequeña de ácido hidrociorhídrico diluida una parte de *HCl* (10 N) en tres partes de agua. (El uso de este reactivo es opcional en este ensayo).

*Notas:*

- *Maneje cuidadosamente la solución y almacénela con seguridad, evitando que entre en contacto con la piel, de lo contrario enjuague con suficiente agua.*

- *Nunca se deberá agregar agua en el ácido hidrociorhídrico.*

- *Debido a que el carbonato del calcio es un agente cementante común, el informe de su presencia en base a la reacción con ácido hidrociorhídrico diluido es importante.*

- *Placa de vidrio cuadrada y grande.*

- *Misceláneos:*

Cuchillo de bolsillo o una espátula pequeña, probeta graduada, lupa de mano pequeña, bote con tapadera o tubo pequeño y su tapón, cocina, tamices de 3", ¾", No 4, No 10, No 40, No 200, piseta y franela.

### **2.3.2.3 Procedimiento:**

a) Identifique cada una de las muestras de suelo, detallando lo siguiente: su número de perforación, número de muestra, estrato geológico y pedológico o una descripción de lugar con respecto a un monumento permanente así como su profundidad o elevación.

Seleccione para la descripción e identificación correcta de la muestra, la cantidad mínima del espécimen a ser ensayado de acuerdo con la siguiente tabla:

**Tabla 2.14 Cantidad mínima del espécimen de ensayo según el tamaño máximo de la partícula.**

<b>TAMAÑO MAXIMA DE LA PARTICULA, ABERTURA DE MALLA</b>	<b>TAMAÑO MINIMO DE ESPECIMEN, PESO SECO</b>
4.75 mm (n°4)	100 g (0.25 lb)
9.5 mm (3/8")	200g (0.5 lb)
19.0mm (3/4")	1.0 Kg (2.2 lb)
38.1mm (1 1/2")	8.0 Kg (18.0 lb)
75 mm (3")	60 Kg (132 lb)

Fuente: Norma ASTM D 2488-00, volumen 04.08 (American Society for Testing and Materials)

*Notas:*

- Si se encuentran partículas de forma aislada, que sean significativamente más grandes que las partículas en la matriz del suelo, éstas deben ser descritas e identificadas con precisión.
- Si la muestra de campo o espécimen que se está examinando es más pequeña que la cantidad mínima recomendada, el informe deberá incluir un comentario apropiado.

b) Registre la información descriptiva de cada una de las muestras a identificar, mediante las características siguientes:

***b1. Angulosidad***

Describa la angulosidad del grano de arena (sólo tamaño grueso), gravas, guijarros y boleos (cantos rodados).



Figura 2.15 Angulosidad típica de los granos de mayor volumen.

Tabla 2.15 Criterios para la descripción de la angulosidad de las partículas de grano grueso (Vea fig. 2.16)

Descripción	Criterio
Angular	Las partículas tienen bordes agudos y los lados relativamente planos con superficies ásperas.
Sub-angular	Las partículas son similares a la descripción angular, pero tiene bordes bien redondeadas.
Sud-redondeada	Las partículas tienen lados casi planos, pero tiene esquinas y bordes bien redondeadas.
Redondeada	Las partículas tienen lados sumamente curvos y lisos y no poseen bordes.

Fuente: Norma ASTM D 2488-00, volumen 04.08 (American Society for Testing and Materials)

**b2. Forma**

Describe la forma de las partículas de grava, guijarros y cantos rodados, de acuerdo

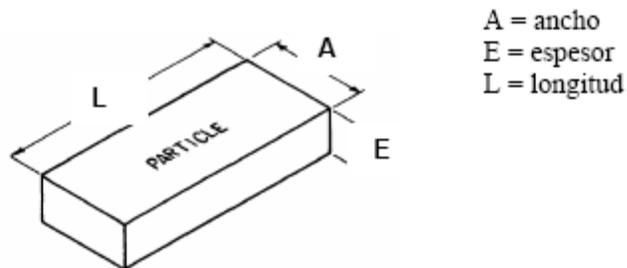
Con los criterios establecidos en la Tabla 2.16 y el esquema de la figura 2.16

**Tabla 2.16 Criterio para describir la forma de la partícula.**

Descripción	Criterio
Plana	Partículas con relación ancho/espesor > 3
Alargada	Partículas con relación longitud/ancho > 3
Plana-alargada	Partículas que reúnen los dos criterios anteriores

Fuente: Norma ASTM D 2488-00, volumen 04.08 (American Society for Testing and Materials)

*Nota: La forma de la partícula se deberá describir tomando como longitud, ancho y espesor las dimensiones máxima, intermedia y mínima de la partícula respectivamente.*



**Figura 2.16** Criterios para describir la forma de la partícula.

**b3. Color:**

Observe y anote el color del suelo en condición húmeda, especialmente al identificar suelos orgánicos.

– Si la muestra en estudio contiene capas o zonas de diferentes colores, registre esta información y describa los colores que sean más representativos.

- Si el color representa una condición seca del suelo, esto deberá anotarse en el informe.

**b4. Olor:**

Describe el olor del suelo como inorgánico o inusual.

*Notas:*

*- Suelos que contienen una cantidad significativa de materia orgánica, usualmente tienen un olor distintivo a vegetación en descomposición. Esta característica es muy fácil detectarla en muestras de suelo en estado húmedo, pero si éstas están en condición seca, el olor puede ser reavivado calentando las muestras previamente humedecidas.*

*- El olor de una muestra será inusual cuando emane un olor a productos de petróleo, químicos y similares.*

**b5. Condición de humedad**

Describe la condición de humedad de la muestra de suelo, de acuerdo con los Criterios de la Tabla 2.17.

**b6. Reacción del HCl (Acido Hidroclorhídrico)**

Describe la reacción del HCl de acuerdo con los criterios de la tabla 2.18.

**Tabla 2.17 Criterio para la descripción de la condición de humedad.**

Descripción	Criterio
Muy suave	El pulgar penetra el suelo más de 25 mm (1")
Suave	El pulgar penetra el suelo aproximadamente 25 mm (1")
Firme	El pulgar penetra el suelo cerca de 6 mm (1/4")
Dura	El pulgar no penetra el suelo, pero si la uña
Muy dura	La uña del pulgar no penetra el suelo

Fuente: Norma ASTM D 2488-00, volumen 04.08 (American Society for Testing and Materials)

*Nota: Este criterio no es apropiado para muestras de suelos con cantidades significativas de grava.*

**Tabla 2.18 Criterio para la descripción de la reacción con HCl**

Descripción	Criterio
Ninguna	Reacción no visible
Débil	Alguna reacción, con burbujas formándose lentamente
Fuerte	Reacción violenta, con burbujas formándose inmediatamente

Fuente: Norma ASTM D 2488-00, volumen 04.08 (American Society for Testing and Materials)

*Nota: La reacción del HCl es observada al agregar a la muestra de suelo una cantidad de la solución diluida en la proporción indicada en el apartado 8.7 de "material y equipo".*

### **b7. Consistencia**

Describe la consistencia de los suelos inalterados de grano fino, presionando con el dedo pulgar el suelo y siguiendo los criterios de la tabla 2.19.

**Tabla 2.19 Criterio para la descripción de la consistencia**

<b>Descripción</b>	<b>Criterio</b>
Muy suave	El pulgar penetra el suelo más de 25 mm (1")
Suave	El pulgar penetra el suelo aproximadamente 25 mm (1")
Firme	El pulgar penetra el suelo cerca de 6 mm (1/4")
Dura	El pulgar no penetra el suelo, pero si la uña
Muy dura	La uña del pulgar no penetra el suelo

Fuente: Norma ASTM D 2488-00, volumen 04.08 (American Society for Testing and Materials)

*Nota: Este criterio no es apropiado para muestras de suelos con cantidades significativas de grava.*

**b8. Cementación**

Describe la cementación de la muestra de suelo inalterado de grano grueso, según los criterios siguientes de la Tabla 2.20.

**Tabla 2.20 Criterio para la descripción de la cementación.**

<b>Descripción</b>	<b>Criterio</b>
Débil	Se desmenuza o se fragmenta al ser manipulada o con poca presión de los dedos
Moderada	Se desmenuza o se fragmenta con una presión considerable de los dedos
Fuerte	No se desmenuza ni se fragmente con la presión de los dedos.

Fuente: Norma ASTM D 2488-00, volumen 04.08 (American Society for Testing and Materials)

### **b9. Estructuración**

Observe y anote la descripción de la estructura de un suelo inalterado, de acuerdo con los criterios siguientes de la tabla 2.21.

**Tabla 2.21 Criterio para la descripción de la estructura.**

<b>Descripción</b>	<b>Criterio</b>
Estratificada	Capas alternadas de material o color variable, de al menos 6 mm de espesor, registre el espesor.
Laminar	Capas alternadas de material o color variable, menores de 6 mm de espesor, registre el espesor.
Fisurada	Roturas a lo largo de planos definidos con poca resistencia a la fractura.
Espejo de falla	Los planos de fractura aparecen pulidos o con brillo, algunas veces astriados.
En forma de bloque	Suelos cohesivos que pueden quebrarse en terrones angulares más pequeños, los cuales resisten una futura fracturación.
Lenticular	Inclusión de pequeñas bolsas de diferentes suelos, tales como pequeños lentes de arena esparcidos en toda la masa de arcilla, registre el espesor.
Homogénea	Mismo color y apariencia en todo el suelo.

Fuente: Norma ASTM D 2488-00, volumen 04.08 (American Society for Testing and Materials)

### **b10. Rango de tamaño de las partículas**

Describa el rango de tamaño de las partículas para los componentes de arenas y gravas, según se define en la terminología.

*Nota: Considere las subdivisiones de tamaño de la grava y arena, por ejemplo: aproximadamente 20% de grava fina a gruesa, aproximadamente 40% de arena fina a gruesa.*

**b11. Tamaño máximo de la partícula.**

Describa el tamaño máximo de la partícula en la muestra, de acuerdo a la siguiente información:

**Tabla 2.22 Criterios para la determinación del tamaño máximo de la partícula.**

Descripción	Criterio
Arena	Describa como fina, media o gruesa, según lo definido en la terminología, ej., tamaño máximo de la partícula, arena media.
Grava	Describa el tamaño máximo de la partícula como la abertura de malla más pequeña por la que pasa esta. Por ej. Si el tamaño máximo de la partícula es 1 1/2", implica que la partícula pasa un tamiz de 1 1/2" pero no uno de 3/4".
Guijarro o Boleo (canto rodado)	Describa la dimensión máxima de la partícula de mayor tamaño. Por ej.: dimensión máxima, 450mm (18")

Fuente: Norma ASTM D 2488-00, volumen 04.08 (American Society for Testing and Materials)

**b12. Dureza**

Describa la dureza de la arena gruesa y de las partículas más grandes como dura o indique qué sucede cuando las partículas son golpeadas con un martillo.

Por ejemplo: las partículas del tamaño de las gravas se fracturan con un golpe considerable de martillo y otras se desmenuzan.

*Nota: "Dura" significa que las partículas no se resquebrajan, fracturan o desmenuzan bajo un golpe de martillo.*

#### **2.3.2.4 Preparación de la muestra para la identificación de suelos.**

- a) Separe de forma manual las partículas mayores de 75 mm (3") en muestras sueltas y en muestras inalteradas, sepárelas de forma visual, antes de su clasificación.
- b) Estime y anote el porcentaje de guijarros y boleos (cantos rodados), por medio de un procedimiento visual.

*Nota: La estimación del porcentaje de guijarros y cantos rodados deberá hacerse en base al volumen total de la muestra, por lo que debe especificarse en el informe.*

- c) Estime y registre el porcentaje en masa seca de las fracciones de grava, arena y finos por uno de los siguientes métodos:

*- Método de la jarra:*

El porcentaje de las partículas de grano grueso y fino del material puede ser estimado agitando completamente una mezcla de suelo y agua en un tubo de ensayo o recipiente y dejándola reposar. Las partículas más gruesas caerán al fondo y seguidamente se depositarán las partículas más finas en un tiempo mayor; las arenas dejarán de estar en suspensión entre 20 y 30 s. Las proporciones relativas pueden ser estimadas del volumen relativo de cada tamaño por separado).

*Nota: Este método deberá se correlacionado con las determinaciones del tamaño de las partículas en laboratorio.*

*- Método visual:*

Visualice mentalmente las partículas del tamaño de las gravas sobrepuestas en un saco o recipiente, realizando el mismo procedimiento con las partículas del tamaño de arena y finos. Posteriormente compare cada una de las porciones para estimar de forma aproximada, el porcentaje de las partículas mayores y menores al tamiz No. 4 presentes en la muestra. Los porcentajes de arenas y finos de la porción menor que la malla No. 4 deben ser estimados con el método abajo descrito (Método de lavado).

*- Método de lavado (para porcentajes relativos de arena y finos):*

Seleccione y humedezca suficientemente la muestra de material menor que la malla No. 4 y forme un cubo de suelo de 25 mm (1”), luego corte el cubo por la mitad, coloque a un lado una de las mitades y la otra en un plato pequeño. Lave la porción colocada en el plato y decante los finos del material hasta que el agua del lavado se observe clara y compare las dos muestras. Estime el porcentaje en peso de arena y finos.

*Notas:*

*- Durante el lavado podría ser necesario quebrar o desmenuzar terrones finos con los dedos, para obtener mejores resultados.*

*- Los porcentajes de partículas de grava, arena y finos; deberán ser estimados con una aproximación del 5% y la suma de dichos porcentajes deberá ser el 100%.*

*- Si uno de los componentes (grava, arena y finos) está presente en una cantidad menor a ser considerada del 5%, indique su presencia empleando el término “traza”, la cual no deberá ser estimada en el 100% del total de los componentes.*

d) Identifique preliminarmente el suelo (en base a los porcentajes estimados en el paso anterior), como:

- *Suelo de grano fino*: si contiene el 50% o más de fino, si este es el caso proceda como se describe en el procedimiento del apartado 2.3.2.6.
- *Suelo de grano grueso*: si contiene menos del 50% de finos, luego proceda como se describe en el apartado 2.3.2.9

### **2.3.2.5 Identificación de suelos de grano fino**

1. Seleccione una muestra representativa del material para examinarlo y remueva de ella las partículas que se retienen en el tamiz No. 40 (arena mediana y gruesa) hasta obtener un espécimen de aproximadamente un puñado de material. Utilice este espécimen para realizar los ensayos siguientes:

#### **I. Resistencia en seco:**

a) Tome una porción de la muestra seleccionada anteriormente, lo suficiente para moldear una bola de aproximadamente 25 mm (1") de diámetro.

b) Agregue agua al suelo, moldee el material hasta que tenga la consistencia de una masilla y haga por lo menos tres especímenes de ensayo en forma de bola de 12 mm ( $\frac{1}{2}$ " de diámetro (ver figura 2.17).



Figura 2.17 Especímenes de ensayo con diámetro aproximado de 12 mm.

c) Seque los especímenes de ensayo exponiéndolos al aire, al sol o utilizando métodos artificiales, siempre y cuando la temperatura no exceda los 60 °C.

*Notas:*

- *Si la muestra de ensayo contiene terrones secos de forma natural, aquéllos que son de aproximadamente 12 mm (½") de diámetro pueden ser usados en lugar de las bolas moldeadas.*
- *El proceso de moldeado y secado normalmente produce resistencias más altas que las que se obtendrían en los terrones secos del suelo.*

d) Determine la resistencia en seco de las bolas o terrones comprimiéndolas entre los dedos.

e) Anote la resistencia en seco de acuerdo a los criterios descritos en la tabla 2.23

**Tabla 2.23 Criterio para describir la Resistencia en seco de un suelo.**

<b>Descripción</b>	<b>Criterio</b>
Ninguna	El espécimen seco se desmenuza en polvo con poca presión en su manipulación.
Baja	El espécimen seco se desmenuza en polvo con alguna presión en los dedos.
Media	El espécimen seco se rompe en pedazos o se desmenuza con considerable presión en los dedos.
Alta	El espécimen seco no se puede quebrar con la presión de los dedos. Se quebrara en pedazos entre los dedos y una superficie dura.
Muy alta	El espécimen seco no se puede quebrar entre los dedos contra una superficie dura

Fuente: Norma ASTM D 2488-00, volumen 04.08 (American Society for Testing and Materials)

*Nota: La presencia de una alta resistencia de los materiales cementantes solubles en agua como el carbonato de calcio, pueden causar resistencias secas excepcionalmente altas. La presencia de carbonato de calcio usualmente puede detectarse de la intensidad de la reacción con una solución de ácido clorhídrico (como se describe en 2.3.2.4, literal b6).*

## **II. Dilatancia:**

a) Tome una porción de la muestra seleccionada en el paso 1 de este apartado, de manera que sea suficiente para formar una bola de 12 mm (1/2”) de diámetro.

b) Agregue agua si es necesario y moldee el material hasta que tenga una consistencia suave pero no pegajosa.

c) Aplane la bola de suelo en la palma de la mano empleando una espátula pequeña. Luego agite en dirección horizontal golpeando vigorosamente el costado de la mano contra la otra varias veces (ver figura 2.18).



Figura 2.18 Proceso de agitado del suelo en dirección horizontal.

d) Presione la muestra cerrando la mano o apretando el suelo entre los dedos y observe la reacción del agua que aparece en la superficie del suelo; esto es la velocidad con la que el agua aparece mientras se agita y desaparece mientras se aprieta.

e) Anote la reacción de acuerdo con los criterios descritos en la tabla 2.24.

**Tabla 2.24 Criterio para describir la dilatancia de un suelo.**

Descripción	Criterio
Ninguna	No hay cambios visibles en el espécimen
Lenta	El agua aparece lentamente en la superficie del espécimen cuando se está sacudiendo y no desaparece lentamente cuando se aprieta o se exprime.
Rápida	El agua aparece rápidamente en la superficie del espécimen cuando es sacudido y desaparece rápidamente al ser exprimido o apretado.

Fuente: Norma ASTM D 2488-00, volumen 04.08 (American Society for Testing and Materials)

### III. Tenacidad:

a) Forme con el espécimen del ensayo anterior un hilo de aproximadamente 3 mm (1/8 pulg) de diámetro, rodándolo entre las palmas de las manos o en una superficie lisa.

*Nota: Si la muestra está demasiado húmeda y no se puede rodar fácilmente, se debe extender en una capa delgada para permitir que pierda un poco de agua por evaporación.*

b) Doble los hilos formados, vuélvalos a enrollar en varias ocasiones hasta que el hilo se desmenuce en un diámetro cercano a 3 mm (1/8 pulg). Observe la presión requerida para rodar el hilo, así como su resistencia.

*Nota: El hilo se desmenuzará a un diámetro de 3 mm (1/8 pulg), cuando el suelo este cerca de su límite plástico.*

c) Una las piezas o porciones amasándolas hasta que se desmenuce nuevamente y anote la tenacidad del material de acuerdo con el criterio descrito en la tabla 2.25

**Tabla 2.25 Criterio para describir la tenacidad de un suelo**

<b>Descripción</b>	<b>Criterio</b>
Baja	Solo se necesita poca presión para rodar el hilo cerca del límite plástico. El hilo y el terrón son medios rígidos
Media	Es necesaria una presión media para poder rodar el hilo cerca del límite plástico. El hilo y el terrón son medio rígidos.
Alta	Se necesita una presión considerable para rodar el hilo cerca del límite plástico. El hilo y el terrón son muy rígidos.

Fuente: Norma ASTM D 2488-00, volumen 04.08 (American Society for Testing and Materials)

#### IV. Plasticidad

a) Describa la plasticidad del material en base a las observaciones realizadas durante el ensayo para la determinación de la dureza de un suelo y de acuerdo con los criterios descritos en la Tabla 2.26.

**Tabla 2.26 Criterio para describir la plasticidad de un suelo.**

Descripción	Criterio
No plástico	Un hilo de 1/8" (3mm) no puede ser rodado con ningún contenido de agua.
Baja	El hilo apenas puede ser rodado y el terrón no se puede formar cuando está más seco que el límite plástico
Media	El hilo es fácil de rolar y se llega rápidamente al límite plástico. El hilo puede ser rolado después de alcanzar el límite plástico. El terrón se desmenuza si se seca más allá del límite plástico.
Alta	Toma considerable tiempo y amasamiento para alcanzar el límite plástico. El hilo puede rolar varias veces después de alcanzar el límite plástico. El terrón puede ser formado sin desmenuzarse cuando está más seco del límite plástico.

Fuente: Norma ASTM D 2488-00, volumen 04.08 (American Society for Testing and Materials)

b) Observe si el suelo de grano fino es inorgánico u orgánico, luego proceda según sea el caso con la “*identificación de un suelo de grano fino inorgánico*” (apartado 2.3.2.6.) o “*identificación de un suelo de grano fino orgánico*” (apartado 2.3.2.7)

### 2.3.2.6 Identificación de suelos de grano fino inorgánicos.

a) Identifique el suelo como una arcilla magra (CL), arcilla grasa (CH), un limo (ML) o limo elástico (MH), en base a los resultados observados de los ensayos de resistencia en seco, dilatancia, tenacidad y plasticidad expuestos en la siguiente tabla:

**Tabla 2.27 Identificación de suelos de grano fino inorgánicos por medio de ensayos manuales.**

<b>Símbolo del suelo</b>	<b>Resistencia en seco</b>	<b>Dilatancia</b>	<b>Tenacidad</b>	<b>Plasticidad</b>
ML	Ninguna a baja	Lenta a rápida	Baja o el rollito no se puede formar	Baja o no plástico
MH	Baja a media	Ninguna a lenta	Baja a media	Baja a media
CL	Media a alta	Ninguna a lenta	Media	Media
CH	Alta a muy alta	Ninguna a lenta	Alta	Alta

Fuente: Norma ASTM D 2488-00, volumen 04.08 (American Society for Testing and Materials)

Notas:

- Un limo elástico (MH) posee propiedades similares a una arcilla pobre (CL). Sin embargo, los limos secan rápidamente en la mano y poseen una textura lisa y sedosa cuando se encuentran en estado seco.

- Para algunos suelos que se clasificarían como MH, puede ser necesario realizar ensayo de laboratorio para identificación adecuada, ya que son visualmente difíciles de distinguir de las arcillas delgadas (CL).

b) Añada una frase complementaria al nombre del grupo del suelo, siguiendo los siguientes criterios:

- Si estima que el suelo posee de un 15% a 25% de arena, grava o ambos, las palabras "con arena" o "con grava" (el que más predomine) se agregue al nombre de grupo. Si el porcentaje de arena es igual al porcentaje de grava, utilice "con arena".

- Si estima que el suelo tiene un 30% o más de arena, grava o ambos, se agregue la palabra "arenosa" o "gravosa" al nombre de grupo. Complete añadiendo la palabra "arenoso" si parece que el suelo contiene más arena que grava ó la palabra " gravosa " si parece existir más grava que arena. Si el porcentaje de arena es igual al de grava use "arenoso."

c) Exprese la identificación de la muestra de suelo, proporcionado la siguiente información: Nombre de grupo del suelo, frase complementaria (símbolo de grupo del suelo), color del suelo húmedo, grado de la plasticidad, porcentaje aproximados de arena y grava, tamaño máximo de las partículas gruesas y la información descriptiva.

### **2.3.2.7 Identificación de suelos de grano fino orgánicos.**

Identifique el suelo como orgánico, si éste contiene suficientes partículas orgánicas que influyan en sus propiedades. Los suelos orgánicos normalmente tienen un color de castaño oscuro a negro y pueden tener un olor orgánico.

*Notas:*

*- En algunos casos los suelos orgánicos cambian de color, por ejemplo de negro a café cuando son expuestos al aire.*

*- En algunos casos a través de la práctica y la experiencia, puede ser posible identificar con mayor detalle los suelos orgánicos como limos orgánicos o arcillas orgánicas (OL ó OH).*

*- Se pueden realizar correlaciones entre la dilatancia, resistencia en seco, dureza y ensayos de laboratorio para identificar suelos orgánicos en ciertos depósitos de materiales similares de un origen geológico conocido.*

### 2.3.2.8 Identificación de suelos de grano grueso

1. Determine el nombre y símbolo de grupo del suelo, en base a los porcentajes estimados en el apartado 2.3.2.5 literal c y utilizando los criterios descritos en la tabla 2.28.

**Tabla 2.28 Identificación del nombre y símbolo de grupo de un suelo de grano grueso.**

<b>Criterio</b>	<b>Nombre y símbolo de grupo</b>
% de grava estimada es mayor que el % de arena	Grava (G)
% de grava estimada es igual o menor que el % de arena	Arena (S)

2. Tomando como base la estimación del porcentaje de finos realizada en el 2.3.2.5 literal c, seleccione uno de los siguientes procedimientos:

#### **I. Porcentaje de finos es menor o igual al 5%**

a) Identifique el suelo como una grava bien graduada (GW) o como una arena bien graduada (SW), si éste posee un rango amplio de tamaños de partículas y cantidades sustanciales para los tamaños intermedios.

b) Identifique un suelo como una grava mal graduada (GP) o como una arena mal graduada (SP), consiste predominantemente de un solo tamaño de partículas (uniformemente graduada), ó si tiene una gama amplia de tamaños con algunos tamaños intermedios que no están presentes. (Graduación estrecha o discontinua).

c) Si el espécimen de ensayo contiene predominantemente grava o arena en un estimado del 15% o más del otro constituyente de grano grueso, las palabras "con grava" o "con arena" se agregará al nombre de grupo.

d) Si la muestra del campo contiene cualquier guijarro o cantos rodados, o ambos, las palabras "con guijarros" o "con guijarros y cantos rodados" se agregará al nombre de grupo.

## **II. Porcentaje de finos estimado es mayor o igual al 15%**

a) Identifique el suelo como una grava arcillosa (GC) o una arena arcillosa (SC), si los finos son arcillosos como es definido en la identificación de suelo de grano fino (apartado 2.3.2.6).

b) Clasifique el suelo como una grava limosa (GM) o una arena limosa (SM), si los finos son limosos como es definido en la identificación de suelo de grano fino (apartado 2.3.2.6).

c) Si el espécimen de ensayo contiene predominantemente grava o arena en un estimado del 15% o más del otro constituyente de grano grueso, las palabras "con grava" o "con arena" se agregará al nombre de grupo.

d) Si la muestra del campo contiene cualquier guijarro o cantos rodados, o ambos, las palabras "con guijarros" o "con guijarros y cantos rodados" se agregará al nombre de grupo.

### **III. Porcentaje de finos estimado es igual al 10%**

Si se estima que el suelo contiene 10 % de finos, proporcione al suelo una identificación dual empleando símbolos de dos grupos.

*Notas:*

*- El primer símbolo de grupo corresponderá a una grava o arena limpia (GW, GP, SW, SP) y el segundo símbolo deberá corresponder a una grava o arena con finos (GC, GM, SC, SM).*

*- El nombre de grupo debe corresponder al primer símbolo de grupo más las palabras*

*"con arcilla" o "con limo" para indicar las características de plasticidad de los finos. Por ejemplo: " grava bien graduada con arcilla, GW-GC" o " arena pobremente graduada con limo, SP-SM".*

**3.** Exprese la identificación de la muestra de suelo, proporcionado la siguiente información: Nombre de grupo del suelo, frase complementaria (símbolo de grupo del suelo), color del suelo húmedo, grado de la plasticidad, porcentaje aproximados de arena y grava, tamaño máximo de las partículas gruesas y la información descriptiva.

#### **2.3.2.9 Identificación de turbas**

Una muestra compuesta principalmente de tejidos vegetales en varios estados de descomposición que tienen una textura fibrosa amorfa, normalmente un color castaño oscuro a negro, y un olor orgánico, se designará como un suelo muy orgánico y se identificará como turba, PT y no se sujetará a los procedimientos de identificación descritos en este ensayo.

## **2.4 CAPACIDAD DE SOPORTE.**

### **2.4.1 ENSAYO DE PROCTOR (AASHTO T - 90 Y T - 180)**

#### **2.4.1.1 Densidad del suelo**

La compactación de un suelo es una propiedad importante en carreteras, al estar directamente relacionada con la resistencia, deformabilidad y estabilidad de un firme; adquiere una importancia crucial en el caso de los terraplenes y todo tipo de relleno en general, en los que el suelo debe quedar lo más consolidado posible para evitar asentamientos causantes de variaciones en la rasante y alabeo de la capa de rodadura durante la posterior explotación de la vía. Una frase que resumiría lo anteriormente dicho sería: “Cuanto más compacto esté un suelo, más difícil será volverlo a compactar.”

#### **2.4.1.2 Influencia de la humedad**

En la compactación de suelos, la humedad juega un papel decisivo: mientras que un suelo seco necesita una determinada energía de compactación para vencer los rozamientos internos entre sus partículas, el mismo suelo ligeramente húmedo precisará un menor esfuerzo, ya que el agua se comporta como un agente lubricante formando una película alrededor de los granos y disminuyendo la fricción entre ellos.

Si seguimos añadiendo agua al suelo, llegará un momento en el que ésta haya ocupado la totalidad de los huecos del mismo. Este hecho acarreará un aumento de

volumen –dada la incompresibilidad del líquido elemento- y una mayor dificultad para evacuarlo del suelo, por lo que su compacidad disminuirá.

De la anterior explicación, se deduce que existirá una humedad óptima con la que se obtenga una compacidad máxima, para una misma energía de compactación.

#### **2.4.1.3 Influencia de la energía de compactación**

Si tomamos un mismo suelo y estudiamos la relación humedad-densidad para distintas energías de compactación, observaremos que el punto de humedad óptima varía en función de la energía que hayamos comunicado a la muestra.

Un estudio más en profundidad de las curvas obtenidas (Fig. 2.20) permite obtener una segunda conclusión, no menos importante: dicha variación presenta una clara polaridad, obteniéndose una humedad óptima menor cuanto mayor sea la energía de compactación empleada.

Otra lectura que puede realizarse de esta gráfica es que para humedades mayores que la óptima, el aumento de densidad conseguido con un apisonado más enérgico es mucho menor que el obtenido con humedades bajas. La conclusión práctica que se extrae es que en terrenos secos, una consolidación enérgica puede ser más eficaz.

#### **2.4.1.4 Influencia del tipo de suelo**

La tipología del suelo, concretamente su composición granulométrica, determina la forma de la curva de compactación. Podría decirse aquello de que “no hay dos suelos iguales”, aunque sí pueden englobarse en dos grandes grupos de comportamiento.

Así, los suelos granulares bien graduados y con bajo contenido en finos obtienen su densidad máxima para valores bajos de humedad. La compactación de este tipo de suelos se realiza desde la “rama seca” de la curva, humectándolos progresivamente hasta llegar al grado de humedad óptimo. Además, presentan una curva aguda, lo que indica su gran sensibilidad a la humedad de compactación.

Por el contrario, los suelos arcillosos, limosos o los formados por arenas de granulometría muy uniforme dan curvas tendidas, lo que indica la gran dificultad de compactación que presentan. Suelen compactarse por colapso desde la “rama húmeda”, saturando el suelo en agua para debilitar los enlaces interparticulares.

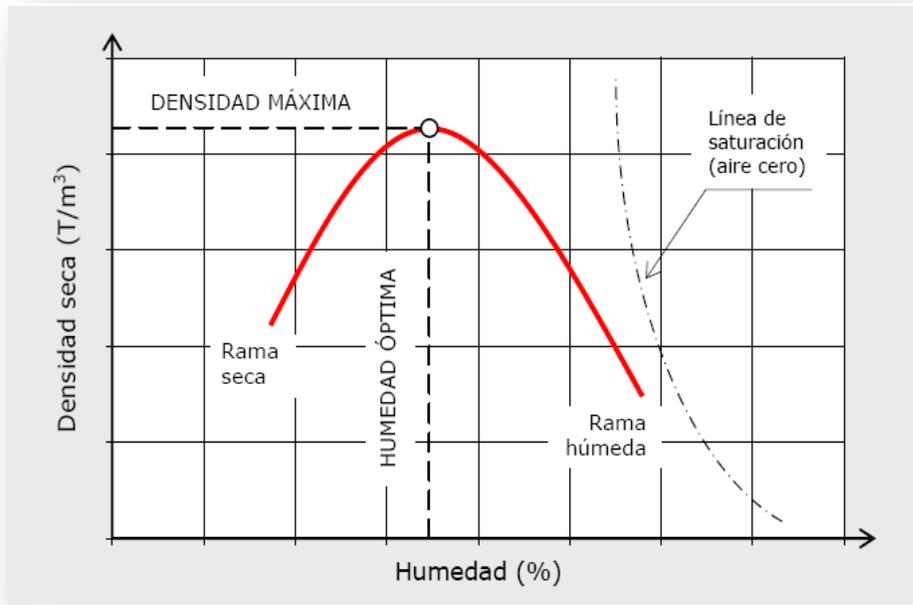


Figura. 2.19 Curva humedad densidad seca

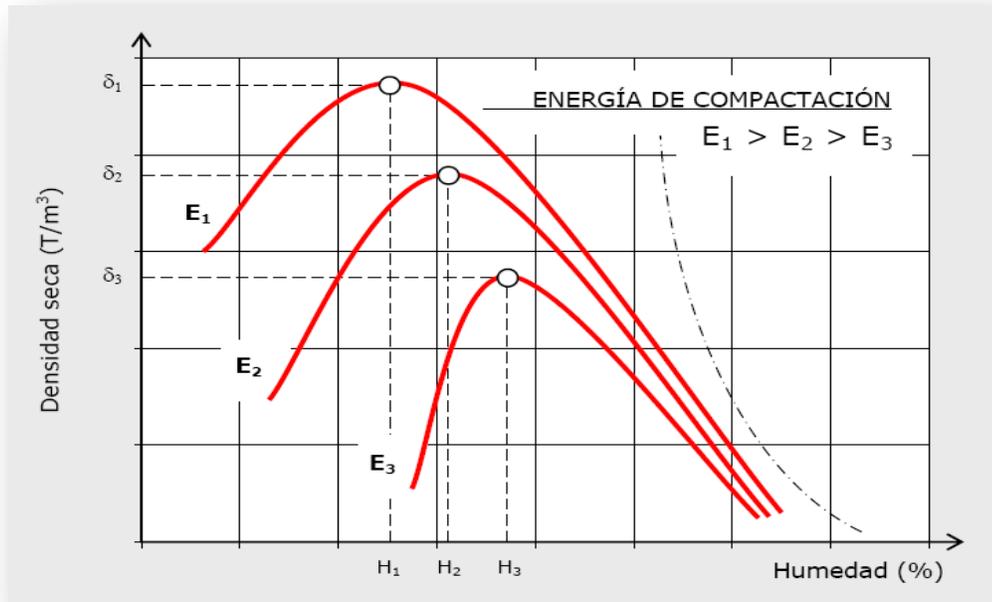


Figura. 2.20 Influencia de la energía de compactación

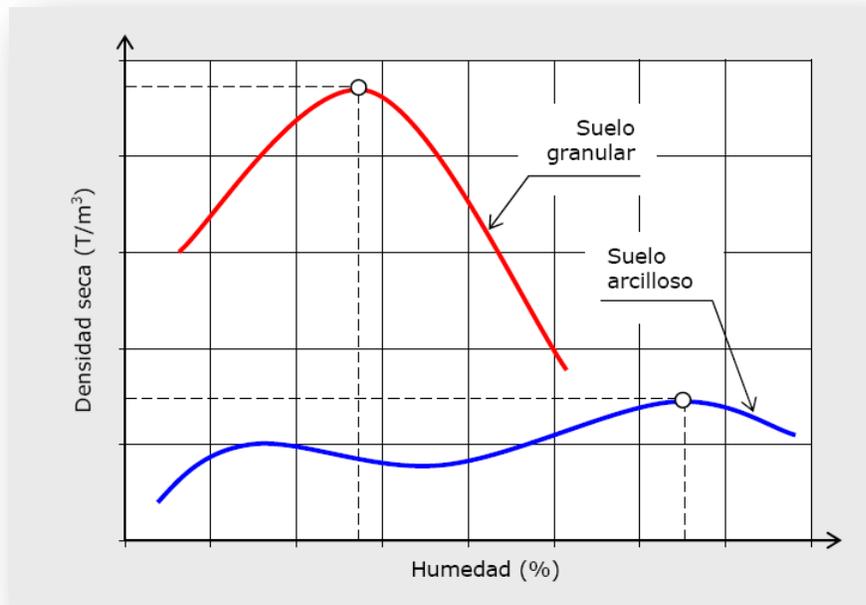


Figura. 2.21 Influencia del tipo de suelo

#### 2.4.1.5. Material y equipo

- Muestra de suelo.
- Apisonador manual o martillo de compactación.
- Moldes.
- Extractor de muestras.
- Regla enrazadora.
- Balanza.
- Horno de secado.
- Tamices.
- Misceláneos.



Figura. 2.22 y 2.23 Equipo para la realización de ensayo de Proctor

#### 2.4.1.6. Procedimiento

#### PROCTOR (AASHTO T-99)

Un suelo con un contenido de humedad seleccionado es colocado en tres capas dentro de un molde cilíndrico de dimensiones conocidas, cada capa es compactada por medio de la caída de un pisón de 2.5 Kg (5.5 lb) con una altura de caída de 12", aplicando de 25 a 56 golpes y sometiendo al suelo a un esfuerzo de compactación de 12400 lb-pie/pie<sup>3</sup> (600 kN-m/m<sup>3</sup>), determinándose posteriormente su peso unitario seco. El procedimiento es repetido para un número suficiente de contenidos de agua para establecer la relación entre el peso unitario seco y el contenido de agua del suelo. Graficados estos datos representan una relación curvilínea conocida como "curva de Compactación". Los valores del contenido de agua óptimo y el peso unitario seco máximo del suelo, son determinados utilizando dicha curva.

## PROCTOR MODIFICADO (AASHTO T-180)

Un suelo con un contenido de humedad seleccionado es colocado en cinco capas dentro de un molde cilíndrico de dimensiones conocidas, cada capa es compactada por medio de la caída de un pisón de 4.54 Kg (10 lb) con una altura de caída de 18", aplicando de 25 a 56 golpes y sometiendo al suelo a un esfuerzo de compactación de 56000 lb pie/pie<sup>3</sup> (2700 kN-m/m<sup>3</sup>), determinándose posteriormente su peso unitario seco. El procedimiento es repetido para un número suficiente de contenidos de agua para establecer la relación entre el peso unitario seco y el contenido de agua del suelo. Graficados estos datos representan una relación curvilínea conocida como "curva de compactación". Los valores del contenido de agua óptimo y el peso unitario seco máximo del suelo, son determinados utilizando dicha curva.



**Figura. 2.24** Ejecución de ensayo

#### **2.4.2. DETERMINACIÓN DEL CBR (AASHTO T-193)**

Este método de prueba cubre la determinación del CBR (California Bearing Ratio — Relación de Soporte California) de la sub-rasante, sub-base, y de los materiales granulares de base de especímenes compactados en laboratorio. El método de prueba es principalmente previsto, pero no limitado para la evaluación de la resistencia de los materiales cohesivos que tienen un tamaño máximo de partículas menores de 19 milímetros (3/4 pulg.)

Cuando los materiales tienen tamaños de partículas mayores de 19 milímetros (3/4 pulg.) deben ser llevadas a prueba, este método de prueba prevé modificar la gradación del material, de modo que todo el material usado para las pruebas pase el tamiz de 19.0 milímetros (3/4 pulg.) mientras que la fracción de grava total, de 4.75 mm (No. 4) a 75 mm (3 pulg.) siga siendo igual. Aunque tradicionalmente este método de preparación de especímenes se ha utilizado para evitar el error inherente en los materiales de prueba que contenían partículas grandes en el aparato de la prueba de CBR, el material modificado puede tener significativamente propiedades de resistencia diferentes que la del material original. Sin embargo, se ha logrado una amplia base de experiencia usando este método de prueba para los materiales para los cuales se ha modificado la gradación, y los métodos de diseño han sido usados basados en los resultados de pruebas utilizando este procedimiento.

Más allá de las prácticas pasadas el CBR han demostrado que los resultados del CBR para esos materiales que tienen porcentajes substanciales de las partículas retenidas

en 4.75 mm (tamiz No. 4) son variables que para los materiales más finos. Por lo tanto, se pueden requerir más ensayos para estos materiales y establecer un CBR confiable.

Este método de prueba prevé la determinación del CBR de un material con un contenido de agua óptimo o un rango de contenido de humedad de un ensayo de compactación especificado y a una masa unitaria seca especificada. La masa unitaria seca se da generalmente como porcentaje de la masa unitaria seca máxima en los ensayos de compactación de T-99 o de T-180.

Este método se utiliza para evaluar la resistencia potencial de la sub-rasante, subsuelo, sub-base, y material grueso de base, incluyendo los materiales reciclados para el uso en pavimentos de caminos y aeropistas. El valor de CBR obtenido en esta prueba forma parte integral de varios métodos de diseño de pavimentos flexibles.

Para los usos donde el efecto del contenido de agua en la compactación del CBR es pequeño, por ejemplo la poca cohesión, los materiales de grano grueso, o donde una tolerancia para el efecto de diferencias en los contenidos de agua de la compactación en el procedimiento de diseño, el CBR podría determinarse el contenido de agua óptimo de un esfuerzo especificado de compactación. La masa unitaria seca especificada es normalmente el porcentaje de compactación mínimo permitido por la especificación de compactación de campo de la agencia.

Los criterios para la preparación del espécimen de prueba de los materiales cementantes (y otros), los cuales ganan resistencia con el tiempo, se deben basar en

una evaluación geotécnica de la ingeniería. Según lo dirigido por el ingeniero, los materiales cementantes serán curados adecuadamente hasta que la relación de soporte represente a largo plazo condiciones de servicio que puedan ser medidas.

## **MATERIAL Y EQUIPO**

### **MATERIAL**

La muestra será manejada y el espécimen para la compactación será preparado de acuerdo con los procedimientos dados en T-99 o T-180 para la compactación en un molde de 152.4 mm (6 pulg.) excepto como sigue:

a) Si todo el material pasa el tamiz de 19.0 mm (3/4 pulg.), la gradación entera será utilizado para preparar especímenes para compactación sin modificarla. Si este material es retenido en el tamiz de 19.0 mm este será removido y substituido por una cantidad igual de material que pasa el tamiz 19.0 mm y retenido en el tamiz de 4.75 mm (No. 4) obtenido por la separación de las porciones de la muestra no usadas de otra manera para la prueba.

b) La Relación de Soporte al contenido óptimo de humedad—de una muestra que tiene una masa de 35 kilogramos (75 libras) o más, se selecciona una porción representativa que tenga una masa aproximadamente de 11 kilogramos (25 libras) para la prueba de humedad-densidad y divida el resto de la muestra para obtener tres porciones

representativas que tengan una masa de aproximadamente 6.8 kilogramos (15 libras) cada uno.

c) La Relación de Soporte para un rango de contenido de agua—de una muestra que tiene una masa de 113 kilogramos (250 libras) o más, seleccionar por lo menos cinco porciones representativas que tengan una masa aproximadamente de 6.8 kilogramos (15 libras) cada uno para el uso en el desarrollo de cada curva de compactación.

## **EQUIPO**

Moldes—Los moldes serán de forma cilíndrica, hechos de metal, con un diámetro interno de  $152.40 \pm 0.66$  mm ( $6.0 \pm 0.026$  pulg.) y una altura de  $177.80 \pm 0.46$  mm ( $7.0 \pm 0.018$  pulg.) provisto con un collar de extensión aproximadamente 50 mm (2.0 pulg.) en altura y una placa base perforada que se pueda adaptar a cualquier extremo del molde. Es deseable tener por lo menos tres moldes para cada muestra de suelo probada.

Disco Espaciador — Un disco espaciador circular hecho de metal  $150.8 \pm 0.8$  mm ( $5 \frac{15}{16} \pm \frac{1}{32}$  pulg.) de diámetro y  $61.37 \pm 0.25$  mm ( $2.416 \pm 0.01$  pulg.) de altura.

*Nota: Al utilizar moldes que tengan una altura de 177.80 mm (7.0 pulg.) (Figura 2.25), una altura del disco espaciador de 61.37 mm (2.416 pulg.) será necesario para obtener un espesor del espécimen compactado que forme los espesores de 116.43 mm (4.584 pulg.) en T-99 y T-180.*

Pisón — Un Pisón según lo especificado en T-99 o T-180.

Aparato para medir expansión—Este consiste en una placa de hinchamiento con un vástago ajustable y un trípode de soporte para un dial indicador. La placa de hinchamiento es de metal, con  $149.2 \pm 1.6$  mm ( $5 \frac{7}{8} \pm 1/16$  pulg.) de diámetro y está perforada con agujeros de 1.6 mm ( $1/16$  pulg.) de diámetro. El trípode se usa para apoyar el dial indicador que estará arreglado para fijarlo al collar de extensión del molde.

Indicadores — Dos diales indicadores: cada indicador tendrá un recorrido de 25 mm (1 pulg.) y una lectura a 0.02 mm (0.001 pulg.).

Pesos para Sobrecarga — Una pesa de metal en forma de anillo con un agujero al centro de aproximadamente 54.0 mm (2 pulg.) de diámetro y varias pesas de metal con ranuras o partidas, todas de  $149.2 \pm 1.6$  mm ( $5 \frac{7}{8} \pm 1/16$  pulg.) de diámetro y cada uno con una masa de  $2.27 \pm 0.04$  kilogramos ( $5 \pm 0.10$  libra) (Figura 2.25).

*Nota: Cuando se usen pesas partidas, la masa del par será  $2.27 \pm 0.04$  kg ( $5 \pm 0.10$  libra)*

Pistón de Penetración — Un pistón de metal para la penetración de una sección transversal circular, con un diámetro de  $49.63 \pm 0.13$  mm ( $1.954 \pm 0.005$  pulg.) área = 1935 mm<sup>2</sup> (3 pulg.) y no menos de 102 mm (4 pulg.) de largo. (Véase Figura 2.25.)

Dispositivo de Carga — Un aparato para compresión tipo capaz de aplicar una carga aumentándola uniformemente y aumentándola hasta una capacidad suficiente para el

material que es probado a una velocidad de 1.3 mm/min. (0.05 in/min.), usado para forzar el pistón de la penetración en el espécimen.

Tanque de Saturación — Un tanque de saturación adecuado para mantener el nivel del agua 25 mm (1 pulg.) sobre la parte superior de los especímenes.

Horno de Secado — Uno horno de secado termostáticamente controlado capaz de mantener una temperatura de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$  ( $230 \pm 9^{\circ}\text{F}$ ) para el secado de las muestras húmedas.

Contenedores para el Contenido de Humedad.

Misceláneos — Herramientas misceláneas tales como cacerolas de mezclado, cucharas, regla enrasadora, papel filtro, balanzas, etc.



Figura. 2.25 Equipo utilizado para la realización del ensayo de CBR

## PROCEDIMIENTO

a) Relación de Soporte en el contenido de agua óptimo:

a1. Normalmente, tres especímenes deben ser compactados de modo que el rango de sus compactadas se extiendan a partir del 95 por ciento (o menor) a 100 por ciento (o mayor) de la densidad seca máxima determinada en el ensayo de proctor.

*Nota: -Generalmente cerca de 10, 30, y 65 golpes por capa son convenientes para los especímenes compactados 1, 2, y 3, respectivamente. Más de 56 golpes por capa se requieren generalmente para moldear un espécimen de CBR al 100 por ciento de la densidad seca máxima determinada por T-99 ; esto es debido a la muestra para la prueba de la humedad-densidad que es reutilizada, mientras que la muestra para el espécimen de CBR se mezcla y se compacta solamente una vez.*

*-Algunos laboratorios pueden preferir probar solamente un espécimen el cual será compactado a la densidad seca máxima y el contenido de agua óptimo según lo determinado por T-99 o T-180.*

a2. Sujetar el molde con abrazadera a la placa base, una el collar de la extensión y pese lo más cercano a 5 g (0.0 1 lb). Inserte el disco del espaciador en el molde y coloque un papel de filtro grueso encima del disco.

a3. Mezcle cada una de las tres porciones preparadas de 6.8 kg (15 lb) con suficiente agua para obtener el contenido de agua óptimo.

a4. Compactar la primera de las tres porciones de la mezcla de suelo-agua en el molde, usando tres capas iguales y el pisón apropiado si la densidad máxima fue

determinada por T-99 o cinco capas iguales si la densidad máxima fue determinada por T-180, para dar una profundidad de compactación total cerca de 125 mm, compactando cada capa con el menor número seleccionado de golpes para dar una densidad compactada de 95 por ciento o menos de la densidad máxima.

a5. Determine el contenido de agua del material que es compactado al principio y al final del procedimiento de la compactación (dos muestras). Cada muestra de la humedad tendrá una masa de por lo menos 100 g para los suelos de grano fino y 500 g para los suelos de grano grueso.

a6. Remover el collar de extensión, y usando una regla enrasadora, corte el suelo compactado incluso con la parte superior del molde. Las irregularidades superficiales se deben corregir con material de tamaño pequeño. Quite el disco espaciador, coloque un papel filtro grueso en la placa base perforada, invierta el molde y el suelo compactado y el papel filtro hasta que el suelo compactado esté en contacto con el papel filtro. Asegure la placa base perforada con abrazadera al molde y sujete el collar. Determine la masa del molde y del espécimen lo más cercano a 5 g (0.01 lb).

a7. Compacte las otras dos porciones de 6.8 kg (15 lb) de acuerdo con el procedimiento en los apartados a4 hasta a6, a menos que un número intermedio de golpes por capa deba ser utilizado para compactar el segundo espécimen y el número más alto de golpes por capa será utilizado para compactar el tercer espécimen.

b) Relación de Soporte para un rango del contenido de agua:

b1. Prepare los especímenes de y realice toda la compactación en los moldes de CBR. Cada espécimen utilizado para desarrollar la curva de compactación para esfuerzos de compactación los 10 golpes, 25 golpes, y 56 golpes por capa serán penetrados. En casos en donde la masa unitaria especificada está en o cerca del 100 por ciento de masa unitaria seca máxima, será necesario incluir un esfuerzo de compactación mayor de 56 golpes por capa.

### **CALCULO DE CBR**

$$CBR = \left[ \frac{Carg a...Unitaria...Ensayo}{Carg a...Unitaria...Patron} \right] * 100\%$$

CBR = El número CBR es un porcentaje de la carga unitaria patrón.

Si el CBR de 0.2 es mayor del 0.1 se repite el ensayo y si predomina se repite el ensayo.se deja el de 0.2”.

### **DETERMINACION DEL VALOR DE SOPORTE A UTILIZAR EN EL DISEÑO**

En general, y por tratarse de un estudio de caracterización de suelos para su empleo en el diseño estructural de un pavimento nuevo, se empleará el ensayo de Valor Soporte Relativo Dinámico Simplificado.

Como producto de esta etapa de trabajos de laboratorio, se tendrán los resultados correspondientes a los ensayos realizados sobre cada una de las “muestras grandes”.

La Tabla 2.29 muestra, a título de ejemplo, una planilla resumen de resultados de ensayos de laboratorio.

TABLA 2.29 RESUMEN DE ENSAYOS DE VALOR DE SOPORTE									
MUESTRA	CARACTERIZACION			ENSAYO DE COMPACTACION PROCTOR		HUMEDAD NATURAL A 1 m DE PROFUNDIDAD	ENSAYO DE VALOR SOPORTE RELATIVO		
	LIMITE LIQUIDO	INDICE PLASTICO	CLASIFICACION	DENSIDAD SECA MÁXIMA	HUMEDAD OPTIMA		HUMEDAD DE EMBEBIMIENTO	HINCHAMIENTO	VALOR SOPORTE
13	39	17	A-6(11)	1.451	27.5	27.9	29.8	0.7	5
18	34	8	A-4(7)	1.559	19.9	21.5	23.1	0.1	12
23	41	20	A-7-6(13)	1.541	22.5	22.8	30.7	2.5	3
26	31	12	A-6(9)	1.599	20.2	18.1	21.5	0.2	8
35	36	15	A-6(10)	1.572	23.1	22.6	25.8	1.1	7
47	43	19	A-7-6(12)	1.551	23.1	22.5	26.7	1.5	5

DATOS TOMADOS EN CAMPO

### Definición del Valor Soporte de Diseño o C.B.R. de diseño.

Llegado a este punto, se tiene una determinada cantidad de valores CBR (según el ejemplo de la tabla 2.29 tendríamos seis (6) valores de C.B.R.), todos ellos determinados mediante ensayos de laboratorio ejecutados sobre muestras representativas del tramo en estudio. Asumiendo que todo el tramo presentara homogeneidad estructural, esto significa que debemos definir un único valor soporte de diseño, con el cual se efectuará el dimensionamiento de la estructura del pavimento para todo el tramo.

Pero la realidad es que no se encuentran tramos homogéneos en los proyectos por lo que es necesario obtener un CBR, que sea representativo ¿Cuál es el Valor Soporte de Diseño que debiéramos adoptar: el menor CBR, el mayor CBR, ó un CBR medio?

Los alumnos deberán analizar, conceptualmente, si corresponde adoptar alguno de los valores mencionados en la pregunta, como así también las implicancias en caso de adoptar cada uno de los tres valores propuestos en la pregunta.

El Criterio que se adoptará para la definición del Valor Soporte de Diseño, se basa en considerar un determinado “porcentaje de cobertura” en función de la importancia ó categoría del camino a diseñar.

A su vez, la importancia ó categoría del camino vendrá dada, en este caso, por un parámetro que representa la magnitud de la solicitud que impondría el tránsito a la estructura del pavimento. Este parámetro es “el número de ejes de 8.16 toneladas (ESAL’s), conocidos como ejes equivalentes, en efecto destructivo, acumulados a lo largo del período de diseño (número N)”.

**Veamos cómo proceder:**

Los resultados obtenidos mediante los ensayos de C.B.R.(como los resumidos en la tabla 2.29), permiten determinar la curva “porcentaje de cobertura vs CBR”, de la siguiente forma: para cada CBR, calcular el porcentaje de “valores mayores ó iguales” respecto del total de ensayos realizados. La representación gráfica de los pares de valores así obtenidos, permitirá obtener la curva mencionada. Ver el ejemplo de la Figura 2.26.

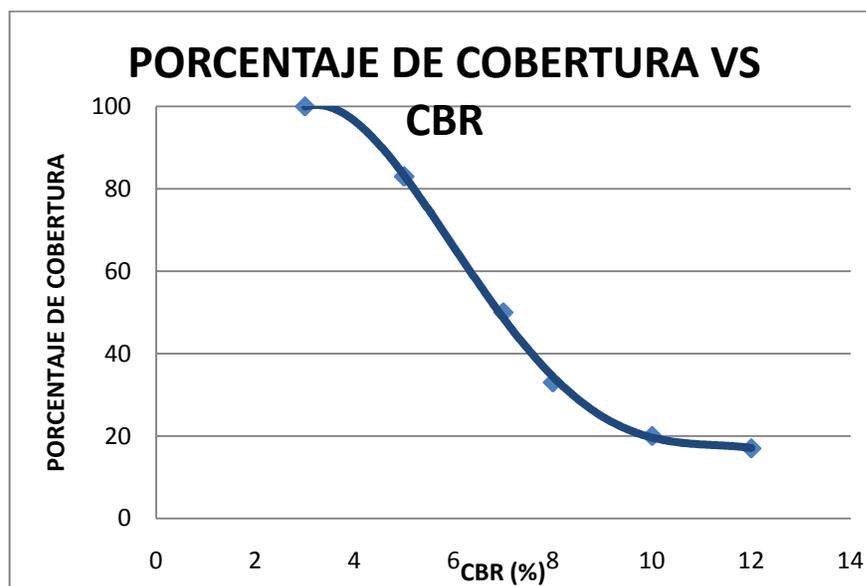
Corresponde luego adoptar el “porcentaje de cobertura”, según la importancia del camino, representada por el “número N” (Figura 2.27).

Finalmente, entrando con dicho “porcentaje de cobertura” en la curva “porcentaje de cobertura vs CBR”, se obtiene el Valor Soporte Relativo de Diseño. Ver el ejemplo de la Figura 2.28.

**TABLA 2.30 VALORES PARA CURVA PORCENTAJE DE COBERTURA VS CBR**

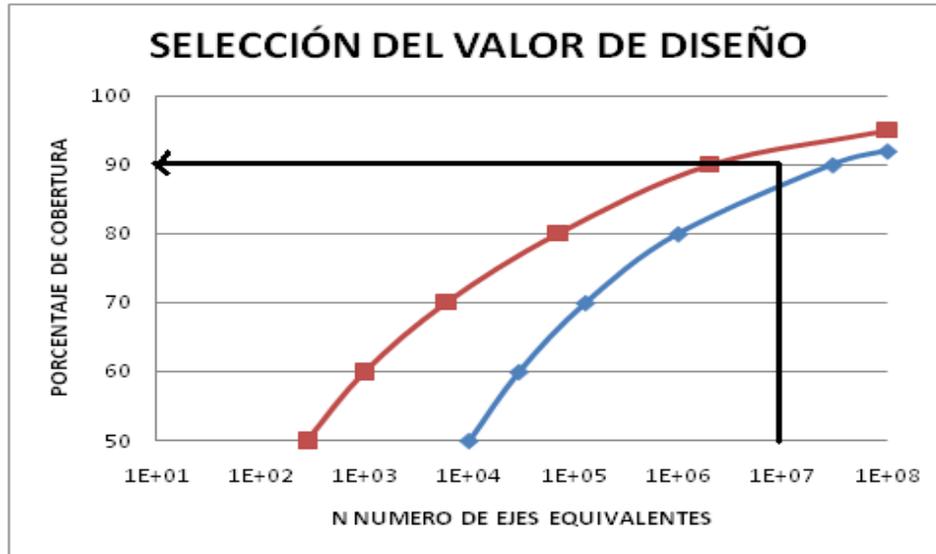
CBR	VALORES MAYORES O IGUALES	PORCENTAJE DE COBERTURA
3	6	$6/6 \times 100 = 100\%$
5	5	$5/6 \times 100 = 83\%$
5	5	$5/6 \times 100 = 83\%$
7	3	$3/6 \times 100 = 50\%$
8	2	$2/6 \times 100 = 33\%$
12	1	$1/6 \times 100 = 17\%$

GENERADA A PARTIR DE CALCULOS.



**FIG. 2.26 CURVA PORCENTAJE DE COBERTURA VS CBR**

Como ejemplo para  $N = 10^7$  surge un porcentaje de cobertura igual 90%.



FUENTE: INSTITUTO DEL ASFALTO

FIG. 2.27 Valores recomendados para el valor de diseño de la subrasante

Según nuestro ejemplo, corresponderá adoptar un valor de soporte para la subrasante igual a 4.5%.

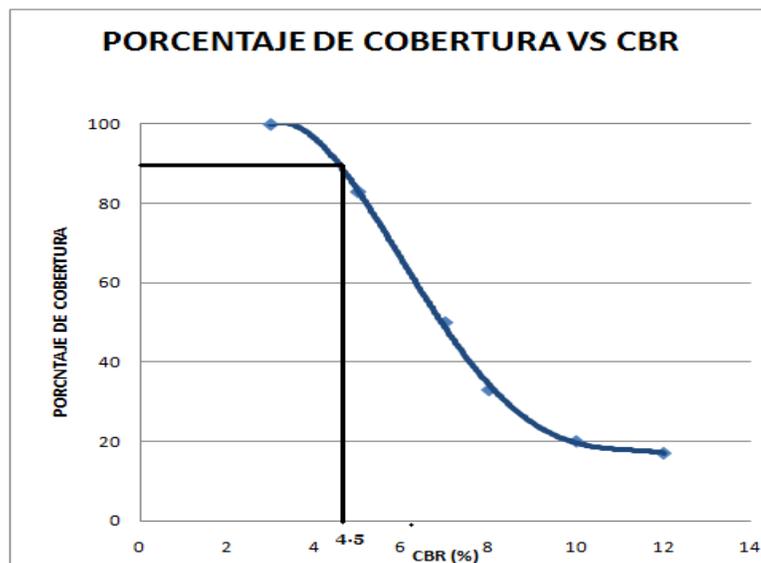


FIG. 2.28 Definición del valor de soporte de diseño

### 2.4.3 MODULO RESILIENTE.

La base para la caracterización del material en proyectos viales es el Módulo Resiliente o Elástico. Para materiales de la subrasante, el ensayo de laboratorio para Módulo Resiliente AASHTO T-274 deberá ser desarrollado en muestras representativas, en condiciones simuladas de humedad y esfuerzo.

Alternativamente, el valor del Módulo Resiliente puede ser determinado por correlación con las propiedades del suelo. Se utilizará la correlación desarrollada por la NCHRP (National Cooperative Highway Research Program) y TRB (Transportation Research Board), desarrollaron una correlación general que describe la relación entre el CBR y el Módulo Resiliente de materiales no consolidados, como base, sub-base y sub-rasante. La correlación desarrollada está destinada a ser utilizada en la nueva metodología de diseño de pavimentos de la AASHTO.

La correlación obtenida es la siguiente:

$$M_R = 2555 CBR^{0.64}$$

Esta correlación nos da resultados en Psi.

En la siguiente tabla se pueden observar los valores típicos de Módulo Resiliente, según su clasificación.

**TABLA 2.31 VALORES TÍPICOS DEL  $M_R$  SEGÚN SU CLASIFICACIÓN AASHTO**

<b>CLASIFICACIÓN AASHTO</b>	<b>VALOR TÍPICO DE CBR</b>	<b>RANGO <math>M_R</math> (ksi)</b>	<b>VALOR POR DEFECTO <math>M_R</math> (ksi)</b>
A-7-6	1 – 5	2.5 - 7	4
A-7-5	2 – 8	4 - 9.5	6
A-6	5 – 15	7 – 14	9
A-5	8 – 16	9 – 15	11
A-4	10 – 20	12 – 18	14
A-3	15 – 35	14 – 25	18
A-2-7	10 – 20	12 – 17	14
A-2-6	10 – 25	12 – 20	15
A-2-5	15 – 30	14 – 22	17
A-2-4	20 – 40	17 – 28	21
A-1-b	35 – 60	25 – 35	29
A-1-a	60 – 80	30 – 42	38

FUENTE: NCHRP & TBR.

## **2.5 ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS.**

### **2.5.1 CONO DE PENETRACIÓN DINÁMICO.**

El Cono de Penetración Dinámico (CPD) mide la penetración dinámica por golpes, a través del terreno natural o suelo fundación, levemente cementados.

Es un método no destructivo capaz de medir la capacidad estructural in situ del suelo de fundación.

El equipo puede ser utilizado en:

- Identificación de tramos homogéneos.
- Control de la construcción de las distintas capas de pavimento.
- Determinación de la eficiencia de equipos de compactación.
- Evaluación de un suelo colapsable.
- Estabilidad de taludes.
- Medida de resistencia a la penetración.
- Determinación de espesores de las capas del pavimento.
- Evaluación de la capacidad portante de las capas del pavimento (correlación con índice CBR).
- Evaluación de las características mecánicas de los materiales de las capas del pavimento (correlación con el módulo de deformación).

#### **2.5.1.1 DESCRIPCIÓN DEL CONO DE PENETRACIÓN DINÁMICO (CPD)**

El modelo consta de una varilla de acero de penetración de 16 mm de diámetro. En su extremo inferior un cono de acero templado de 60 grados y 20 mm de diámetro.

El Penetrómetro Dinámico de Cono es introducido en el suelo por un martillo deslizante de 8 Kg que cae desde una altura de 575 mm. (Figura 2.28)

### 2.5.1.2 PROCEDIMIENTO

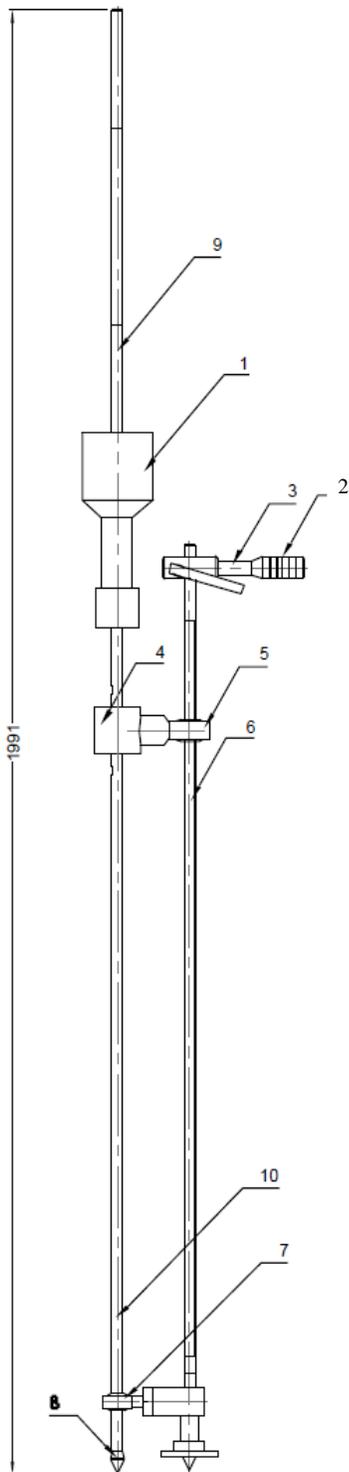
- I. **Verificación del equipo** – Antes de iniciar un ensayo, el CPD se inspecciona para identificar partes dañadas por el uso, en particular el acople y la empuñadura, un desgaste excesivo de la barra o la punta-cono recambiable. Todas las uniones deben estar bien ajustadas, incluyendo el ensamble de acople entre la punta-cono recambiable y la barra (o el acople para la punta-cono desechable y la barra).
- II. **Operación básica** – El operador sostiene el aparato por la empuñadura en posición vertical o a plomo, y levanta y suelta el mazo desde la altura estándar. Según la escala que se utilice se mide y toma nota de la penetración total para un número establecido de golpes o la penetración para cada golpe.
- III. **Lectura inicial:**
  - i. **Ensayo de un estrato o capa superficial.**

El CPD se sostiene verticalmente y la punta se coloca de tal forma que la parte superior más ancha de la punta está a nivel de la superficie del material a probar. Se obtiene una lectura inicial de la escala vertical graduada o una escala separada. La distancia es medida con precisión lo más cerca a 1 mm (0,04 pulgadas).

Algunos dispositivos deslizantes opcionales permiten poner la escala en cero si la punta está colocada en la posición cero mostrada en la Figura 2.28 Que es un espécimen de punta recambiable.

**ii. Ensayo de suelos por debajo de un estrato cementado.**

Cuando se ensayan materiales ubicados debajo de capas cementadas se utiliza un mazo rotatorio o aparato saca núcleos, con el fin de poder realizar un hueco de acceso al estrato a ser analizado. Si se trabaja en húmedo, se requiere que el fluido utilizado sea removido inmediatamente y el ensayo con el CPD sea realizado lo más pronto posible, y dentro de los 10 minutos siguientes a la extracción del núcleo. No se debe permitir que el fluido utilizado sature o penetre dentro del material a ser probado. En este caso se debe utilizar una bomba de vacíos o succionador en seco o húmedo luego de completar el taladrado, para remover partículas sueltas o líquido del hueco de acceso antes de realizar la prueba. Para minimizar el impacto del mazo rotatorio, no se debe taladrar hasta el final a través del estrato o capa, sino detenerse unos 10-20 mm antes. El CPD se utilizará, entonces, para penetrar la parte del fondo del estrato. Este proceso puede repetirse entre el taladrado y la realización de las pruebas con el CPD, para determinar el espesor de la capa o estrato.



N° DE LA PIEZA	DESCRIPCIÓN	N° DE PIEZAS.	MATERIAL
1	Martillo deslizante.	1	Acero Inoxidable.
2	Asa.	1	Acero Inoxidable.
3	Brazo con tornillo para fijar el asa.	1	Acero Inoxidable.
4	Yunque.	1	Acero Inoxidable.
5	Rótula superior deslizante.	1	
6	Barra de referencia.	1	Acero Inoxidable.
7	Rótula inferior deslizante.	1	
8	Cono de penetración.	1	Acero Inoxidable.
9	Barra guía del martillo.	1	Acero Inoxidable.
10	Barra de penetración.	1	Acero Inoxidable.

FIGURA 2.28 CONO DE PENETRACIÓN DINAMICO.

### **iii. Ensayo de pavimentos con sellos delgados.**

En el caso de pavimentos con sellos delgados, la punta debe introducirse a través del sello, hasta que el punto cero de la punta-cono quede al nivel de la parte superior de la capa a ser analizada.

Una vez que se ha llegado al estrato o capa a ser analizada, la lectura de referencia se realiza con el punto cero de la punta-cono ubicado en el nivel de la parte superior del estrato, registrando de previo el espesor de las capas que se atravesaron. Esta lectura de referencia es el punto de partida a partir del cual se mide la penetración subsecuente.

#### **IV. Secuencia del ensayo:**

##### **i. Dejando caer el mazo.**

Se sostiene el CPD en una posición vertical o a plomo. El operador levanta el mazo hasta que solamente haga un ligero contacto con el mango. El mazo no debe hacer impacto sobre el mango cuando es levantado. Luego se suelta el mazo en caída libre y se deja que impacte sobre el ensamble de yunque.

##### **ii. Profundidad de la penetración**

La profundidad de la penetración variará según su aplicabilidad. Para su uso en autopistas típicas, una penetración menor a 900 mm (35 pulgadas) es generalmente la adecuada.

iii. Rechazo.

La presencia de agregados de gran tamaño o estratos de roca va a ocasionar que la penetración se imposibilite o que se flexione la barra guía. Si después de 5 impactos, el CPD no ha avanzado más de 2 mm (0,08 pulgadas) o el mango se ha desviado más de 75 mm (3 pulgadas) de la posición vertical, se debe detener la prueba y mover el CPD hacia otro lugar donde realizarla. La nueva ubicación para la realización de la prueba debe estar ubicada con lo mínimo a unos 300 mm (12 pulgadas) de la localización anterior, con el fin de minimizar el margen de error en la prueba ocasionado por problemas del material.

iv. Extracción.

Luego de completar la prueba, y en caso de estarse usando una punta-cono reemplazable, el CPD debe ser extraído usando la gata de extracción. Si por el contrario se está utilizando una punta-cono desechable, el CPD es extraído golpeando el mazo hacia arriba contra la empuñadura.

## V. Cálculos e interpretación de los resultados

El CBR in situ estimado se calcula usando el índice del CPD. La penetración por golpe puede ser graficada respecto a la escala de lectura o respecto a la profundidad total alcanzada. La penetración por golpe se utiliza luego para estimar el CBR in situ o la resistencia al corte utilizando una correlación adecuada. Por ejemplo, la correlación entre la penetración por golpe (CPD) se deriva de la ecuación:

$$CBR = \frac{292}{CPD^{1.12}}$$

Recomendada por el Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los Estados Unidos. Esta ecuación es utilizada para todo los suelos, exceptuando los suelos arcillosos de baja plasticidad (CL) con CBR por debajo de 10 y los suelos CH. Para este tipo de suelos, las siguientes ecuaciones son recomendadas por el Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los Estados Unidos:

$$\text{CBR de suelos CL} < 10: \mathbf{CBR} = \frac{1}{(0.017019 XCPD)^2}$$

$$\text{Suelos CH: } \mathbf{CBR} = \frac{1}{0.002871 CPD}$$

### 2.5.2 MÉTODO CBR IN SITU

Es un método adecuado para determinar la capacidad de soporte de un material en el lugar donde será sometido a las solicitaciones de la estructura que soportará. Debería realizarse cuando se presenten materiales dudosos y en movimientos de tierra importantes.

Básicamente la fase de penetración de este ensayo es similar a la que se realiza en la prueba ejecutada en el laboratorio. La metodología utilizada en la ejecución de los ensayos es la normada por ASTM-D 4429-93.

El ensayo de CBR se utiliza para establecer una relación entre el comportamiento de los suelos principalmente utilizados como bases y subrasantes bajo el pavimento de carreteras y aeropistas, la siguiente tabla da una clasificación típica:

**TABLA 2.32 VALORES TÍPICOS DE CBR, SEGÚN CLASIFICACIÓN.**

CBR	Clasificación general	Usos	Sistema de Clasificación
			AASHTO
0 - 3	muy pobre	Sub-rasante	A5, A6, A7
3 - 7	pobre a regular	Sub-rasante	A4, A5, A6, A7
7 - 20	regular	sub-base	A2,A4,A6,A7
20 - 50	bueno	base, sub-base	A1b, A2-5, A3
> 50	excelente	base	A2-6 A1-a, A2-4,A3

Fuente ASTM D-4429

Lo usual es determinar primero la densidad in situ del material en el lugar de ensayo, el cual puede ser usado bajo cualquiera de las siguientes condiciones:

- Cuando in situ la densidad y el contenido de agua son tal que el grado de saturación es de un 80% o superior.
- Cuando el material es de granos gruesos y su cohesión es tal que no se vea afectado por cambios en la humedad.
- Cuando el material ha estado en el lugar por varios años. En estos casos La humedad no es constante pero fluctúa dentro de rangos estrechos y el ensayo CBR in situ se considera como un indicador satisfactorio de la capacidad de soporte del suelo.

### **2.5.2.1 PROCEDIMIENTO.**

Por lo general se elige un lugar donde no haya piedras mayores a 3/4", deberá removerse el material suelto y nivelar la superficie, luego se coloca un sistema de reacción montando un gato, con anillo dinamométrico y pistón, en forma vertical,

aplicando la reacción con un vehículo cargado u otro sistema (figura 2.29). En caso de que el pistón sea colocado en forma horizontal, la reacción será dada por la pared contraria del pozo construido para este efecto.

Se colocan los anillos de sobrecarga directamente al suelo y se carga el pistón al suelo con una fuerza menor que 4,54 kg. Se debe instalar un dial comparador para registrar las lecturas de deformaciones, en un punto que permanezca constante e inmóvil (por ejemplo una viga empotrada al suelo en poyos de hormigón).

La penetración se realiza en forma similar al ensayo tradicional y el ensayo se repite en otros dos puntos escogidos con anterioridad.

La forma de expresar los resultados también es idéntica al método de laboratorio, es decir, trazando la curva tensión contra penetración, corrigiendo la curva si fuese necesario y calculando el CBR in situ, usando los valores de penetración de 0,1" y 0,2".



**Figura 2.29.Desarrollo del ensayo CBR de campo.**

**CAPITULO 3**

---

**TRANSITO**

### **3.0 TRANSITO**

El diseño de una carretera responde a una necesidad justificada social y económicamente. Ambos conceptos se correlacionan para establecer las características técnicas y físicas que debe tener la carretera que se proyecta para que los resultados buscados sean óptimos, en una solución técnica y económica en beneficio de la comunidad que requiere del servicio, normalmente en situación de limitaciones muy estrechas de recursos locales y nacionales.

#### **3.1 METODOLOGÍA PARA EL ESTUDIO DE LA DEMANDA DE TRÁNSITO**

##### **3.1.1. Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA).**

El Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) representa el promedio aritmético de los volúmenes diarios para todos los días del año previsible o existente en una sección dada de la vía. Su conocimiento da una idea cuantitativa de la importancia de la vía en la sección considerada y permite realizar los cálculos de factibilidad económica.

En los estudios del tránsito se puede tratar de dos situaciones:

a) Los estudios para carreteras con el tránsito existente podrá proyectarse mediante los sistemas convencionales.

b) Las carreteras nuevas requieren de un estudio de desarrollo económico zonal o regional que lo justifique.

El pavimento se diseña para un volumen de tránsito que se determina como demanda diaria promedio a servir al final del período de diseño, calculado como el número de vehículos promedio que utilizan la vía por día actualmente y que se incrementa con una tasa de crecimiento anual, normalmente determinada por el Ministerio de economía para las diversas zonas del país.

### **Cálculo de tasas de crecimiento y la proyección**

Se puede calcular el crecimiento de tránsito utilizando una fórmula simple:

$$T = \frac{T_0(1 + i)^n - 1}{i}$$

Donde:

**T<sub>n</sub>** = Tránsito proyectado al año “n” en veh/día.

**T<sub>0</sub>** = Tránsito actual (año base 0) en veh/día.

**n** = Años del período de diseño.

**i** = Tasa anual de crecimiento del tránsito. Definida en correlación con la dinámica de crecimiento socio-económico normalmente entre 2% y 6% a criterio del equipo del estudio.

Estas tasas pueden variar sustancialmente si existieran proyectos de desarrollo específicos por implementarse con suficiente certeza a corto plazo en la zona de la carretera.

La proyección puede también dividirse en dos partes. Una proyección para vehículos de pasajeros que crecerá aproximadamente al ritmo de la tasa de crecimiento de la población y una proyección de vehículos de carga que crecerá aproximadamente con la tasa de crecimiento de la economía. Ambos índices de crecimiento correspondientes a la región que normalmente cuenta con datos estadísticos de estas tendencias.

### **3.1.2. Volumen y composición de los vehículos (carreteras existentes)**

- i) Se definen tramos del proyecto en los que se estima una demanda homogénea en cada uno de ellos.
- ii) Se establece una estación de estudio de tráfico en un punto central del tramo, en un lugar que se considere seguro y con suficiente seguridad social.
- iii) Se toma nota en una cartilla del número y tipo de vehículos que circulan en una y en la otra dirección, señalándose la hora aproximada en que pasó el vehículo por la estación.

Se utiliza en el campo una cartilla previamente elaborada que facilite el conteo, según la información que se recopila y las horas en que se realiza el conteo.

De esta manera, se totalizan los conteos por horas, por volúmenes, por clase de vehículos, por sentidos, etc.

### **3.1.3. Variaciones horarias de la demanda**

De conformidad con los conteos, se establece las variaciones horarios de la demanda por sentido de tránsito y también de la suma de ambos sentidos. También se establece la hora de máxima demanda.

Puede realizarse conteos para las 24 horas corridas. Pero si se conoce la hora de mayor demanda, puede contarse por un período menor.

### **3.1.4 Variaciones diarias de la demanda**

Si los conteos se realizan por varios días, se pueden establecer las variaciones relativas del tránsito diario (total del día o del período menor observado) para los días de la semana.

### **3.1.5 Variaciones estacionales (mensuales)**

Si la información que se recopila es elaborada en forma de muestreo sistemático durante días claves a lo largo de los meses del año, se puede obtener índices de variación mensual que permitan establecer que hay meses con mayor demanda que otros. Como sería el caso en zonas agrícolas, durante los meses de cosecha.

### **3.1.6. Información mínima necesaria**

Para los casos en que no se dispone de la información existente de la variación diaria y estacional (mensual) de la demanda que en general es información que debe proveer

la autoridad competente, referencialmente para los tramos viales, se requerirá realizar estudios que permitan localmente establecer los volúmenes y características del tránsito diario en los días típicos de cada diseño, es decir, normales, de la actividad local.

Para este efecto, debe evitarse contar el tránsito en días feriados, nacionales o patronales, o en días en que la carretera estuviera dañada y, en consecuencia, cortada.

De conformidad a la experiencia anual de las personas de la localidad, los conteos e inventarios de tránsito en general pueden realizarse prescindiéndose de las horas en que se tiene nulo o poco tránsito. El estudio debe tomar días que en opinión general reflejen razonablemente el volumen de la demanda diaria y la composición o clasificación del tránsito.

### **3.2 TRANSITO PARA CAMINOS PAVIMENTADOS**

En el funcionamiento estructural de las capas de la estructura del pavimento influye el tipo de suelo de la subrasante, el número total de los vehículos pesados por día o durante el periodo de diseño, incluido las cargas por eje y la presión de los neumáticos. La demanda o volumen de tráfico (TPDA), requiere ser expresado en términos de ejes equivalentes acumulados para el periodo de diseño. Un eje equivalente (EE) equivale al efecto de deterioro causado sobre el pavimento, por un eje simple de dos ruedas cargado con 8.2 ton de peso, con neumáticos con presión de 80 lb./pulg<sup>2</sup>.

El tránsito para diseño de pavimentos ha sido clasificado en rangos de número de repeticiones de ejes equivalentes; el volumen existente en el tramo, TPDA considera el promedio diario anual del total de vehículos (ligeros y pesados) en ambos sentidos. Este volumen de demanda tiene una composición de distintos tipos de vehículos, según los diversos tramos viales. El carril de diseño del pavimento de una carretera de dos carriles, considerará solo el 50% del TPDA.

Para la obtención de la demanda de tránsito que circula en cada sub tramo en estudio, se requerirá como mínimo la siguiente información:

- a. Identificación de “sub tramos homogéneos” de la demanda, en la ruta del estudio.
  
- b. Conteos de tránsito en cada sub tramo (incluyendo un sábado o un domingo) por un período consecutivo de 7 días (5 día de semana+sábado+domingo), como mínimo, en una semana que haya sido de circulación normal. Los conteos serán volumétricos y clasificados por tipo de vehículo. Asimismo en caso no hubiera información oficial, sobre pesos por eje, aplicable a la zona, se efectuará un censo de carga vehicular durante 2 días consecutivos.
  
- c. El estudio podrá ser complementado con información, de variaciones mensuales, proveniente de estaciones de conteo permanente, cercanas al tramo en estudio, que permita el cálculo del TPDA.
  
- d. Con los datos obtenidos, se definirá el Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes (EE) para el periodo de diseño del pavimento.

e. Para el cálculo de los EE, se puede tomar el criterio simplificado de la metodología AASHTO (Tabla 3.1), aplicando las siguientes relaciones para vehículos pesados, buses y camiones:

**TABLA 3.1 FORMULA SIMPLIFICADA DE AASHTO**

Tipo de eje	Ejes Equivalentes (EE <sub>8.2 tn</sub> )
Eje simple de ruedas simples	$EE_{s1} = [ P / 6.6 ]^4$
Eje simple de ruedas dobles	$EE_{s2} = [ P / 8.2 ]^4$
Eje tándem de ruedas dobles	$EE_{TA} = [ P / 15.1 ]^4$
Eje tridem de ruedas dobles	$EE_{TR} = [ P / 22.9 ]^4$
P = Peso real por eje en toneladas.	

Fuente AASHTO.

También se considerará un factor de ajuste por presión de neumáticos, para computar el efecto adicional de deterioro que producen las altas presiones de los neumáticos en el deterioro del pavimento.

f. Para la determinación y cálculo de los ejes equivalentes se requiere el uso de factores de camión para cada clase particular de vehículo, principalmente para camiones pesados. Esto debe hacerse usando los pesos límites de cada vehículo conforme se establece en la tabla 3.2.

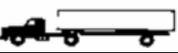
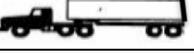
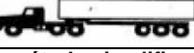
**TABLA 3.2 PESOS MAXIMOS SEGÚN TIPO DE VEHICULO.**

Tipo de Vehículo	Tipo de eje del Tractor			Tipo de eje del semirremolque			Total Toneladas.	
	Eje simple direccional	Eje de tracción			Eje de arrastre			
		Eje Simple	Doble rueda	Triple Rueda	Eje Simple	Doble rueda		Triple Rueda
C2	5.00	10.00					15.00	
C3	5.00		16.50				21.50	
C4	5.00			20.00			25.00	
T2 - S1	5.00	9.00			9.00		23.00	
T2 - S2	5.00	9.00				16.00	30.00	
T2 - S3	5.00	9.00				20.00	34.00	
T3 - S1	5.00		16.00		9.00		30.00	
T3 - S2	5.00		16.00			16.00	37.00	
T3 - S3	5.00		16.00			20.00	41.00	
Otros	----	----	----	----	----	----	Variable.	

Fuente: Acuerdo Centroamericano sobre circulación por Carreteras, SIECA, 2000. Resolución 02-01 COMITRAN XXIII

La determinación del EE por tipo de vehículo pesado, camiones y buses, resulta de la suma de EE por tipo de eje, para cada vehículo específico ver ejemplo tabla 3.3

**TABLA 3.3 FACTORES DE CAMIÓN POR EJE Y VEHÍCULO POR PESOS SEGÚN SIECA.**

SÍMBOLO	DIAGRAMA	DESCRIPCIÓN	EJE DELANTERO	EJE POSTERIOR				TOTAL
				1 <sup>er</sup> EJE	2 <sup>o</sup> EJE	3 <sup>er</sup> EJE	4 <sup>o</sup> EJE	
C2		Carga (tn)	5.00	10.00				15.00
		F.C.	0.329	2.212				2.541
C3		Carga (tn)	5.00	16.50				21.50
		F.C.	0.329	1.426				1.755
T2 - S1		Carga (tn)	5.00	9.00	9.00			23.00
		F.C.	0.329	1.451	1.451			3.231
T3 - S2		Carga (tn)	5.00	16.00	16.00			37.00
		F.C.	0.329	1.251	1.251			2.831
T3 - S3		Carga (tn)	5.00	16.00	20.00			41.000
		F.C.	0.329	1.251	0.582			2.162

Cálculo utilizando método simplificado AASHTO, tabla 3.1.

g. Para el cálculo del número de repeticiones de ejes equivalentes de 8.2 tn, se usará la siguiente expresión por tipo de vehículo. El resultado final será la sumatoria de los tipos de vehículos considerados:

$$N_{rep\ de\ EE} = \sum \frac{EE_{día-carril} \times 365 \times (1 + i)^t - 1}{i}$$

**EE<sub>día-carril</sub>** = EE x factor direccional x factor carril

**EE** = N<sup>o</sup> de vehículos según tipo x Factor vehículo x factor de presión de llantas

Donde:

**N<sub>rep de EE 8.2t</sub>** = Número de repeticiones de ejes equivalentes de 8.2 tn

**EE<sub>día-carril</sub>** = Ejes equivalentes por día para el carril de diseño

**365** = Número de días del año

**t** = Tasa de proyección del tráfico, en centésimas

**EE** = Ejes equivalentes

**Factor direccional** = 0.5, corresponde a carreteras de dos direcciones por calzada (recomendable).

**Factor carril** = 1, corresponde a un carril por dirección o sentido

**Factor de presión de llantas** = En función al censo.

### 3.3 TRÁNSITO PARA DISEÑO DE CAMINOS NO PAVIMENTADOS

Desde el punto de vista del diseño de la capa de rodadura sólo tienen interés los vehículos pesados (buses y camiones), considerando como tales aquellos cuyo peso bruto excede de 2.5ton. El resto de los vehículos que puedan circular con un peso inferior (motocicletas, automóviles y camionetas) provocan un efecto mínimo sobre la capa de rodadura, por lo que no se tienen en cuenta en su cálculo.

El tráfico al año proyectado, se clasificará según lo siguiente:

**TABLA 3.4 Clasificación según volumen de tránsito**

CLASE	To	T1	T2	T3	T4
TPDA (total veh. ambos sentidos)	<15	16-50	51-100	101-200	201-400
Vehículos pesados (carril de diseño)	<6	6 – 15	16 - 28	29 – 56	57 - 112
Nº de rep. (carril de diseño)	$<2.5 \times 10^4$	$2.6 \times 10^4 - 7.8 \times 10^4$	$7.8 \times 10^4 - 1.5 \times 10^5$	$1.6 \times 10^5 - 3.1 \times 10^5$	$3.2 \times 10^5 - 6.1 \times 10^5$

FUENTE: MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES DE PERU (MTC).

Para la obtención de la clase de tráfico que circula para el tramo en estudio, se realizará lo siguiente:

- Identificación de “sub tramos homogéneos” de la demanda.

b. Conteos de tráfico en ubicaciones acordadas con la Entidad y por un período mínimo de 3 días (1 día de semana+Sábado+Domingo), de una semana que haya sido de circulación normal. Los conteos serán volumétricos y clasificados por tipo de vehículo.

c. El Estudio podrá ser complementado con información, de variaciones mensuales, proveniente de estaciones de conteo y/o pesaje del Ministerio de Obras Publicas (MOP), cercanas al tramo en estudio, que sea representativo de la variación de tránsito del proyecto.

d. Con los datos obtenidos se determinará el número de vehículos (TPDA) y la cantidad de pesados (buses + camiones) para el carril de diseño, suficientes para definir la clase tipo de tráfico. No obstante, será necesario obtener el Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes (EE) para el periodo de diseño.

e. El concepto de EE corresponde a la unidad normalizada por la AASHTO que representa el deterioro que causa en la capa de rodadura un eje simple cargado con 8,2 toneladas. Para el cálculo de los factores destructivos por eje equivalente calculados se toma en cuenta el criterio simplificado de la metodología AASHTO, aplicando las relaciones de la tabla 3.1.

También se considerará un factor de ajuste por presión de neumáticos, de tal manera de computar el efecto adicional de deterioro que producen las altas presiones de los neumáticos en el deterioro de los afirmados. Para evitar este efecto en el cálculo de los EE, las llantas deberían tener una presión máxima de 80 psi.

Para el cálculo del Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes de 8.2 t, se usará la tabla 3.3 “FACTORES DE CAMIÓN POR EJE Y VEHÍCULO POR PESOS SEGÚN SIECA.”

### CALCULO DE NÚMERO DE REPETICIONES DE EJES EQUIVALENTE

$$N_{rep\ de\ EE} = \sum \frac{EE_{día-carril} \times 365 \times (1 + t)^n - 1}{t}$$

**EE<sub>día-carril</sub>** = EE x factor direccional x factor carril

**EE** = N° de vehículos según tipo x Factor vehículo x factor de presión de llantas

Donde:

**N<sub>rep de EE 8.2t</sub>** = Número de repeticiones de ejes equivalentes de 8.2 tn

**EE<sub>día-carril</sub>** = Ejes equivalentes por día para el carril de diseño

**365** = Número de días del año

**t** = Tasa de proyección del tráfico, en centésimas

**EE** = Ejes equivalentes

**Factor direccional** = 0.5, corresponde a carreteras de dos direcciones por calzada (recomendable).

**Factor carril** = 1, corresponde a un carril por dirección o sentido

**Factor de presión de llantas** = En función al censo.

## **CAPITULO 4**

---

# **DISEÑO ESTRUCTURAL**

## **4.1 DISEÑO DE CAMINOS DE BAJA INTENSIDAD DE TRANSITO.**

### **TIPOS DE PAVIMENTO**

#### **CON SUPERFICIE DE RODADURA PAVIMENTADA**

1. Con capas granulares (sub base y base drenantes) y una superficie bituminosa de espesor variable menor a 25 mm, como son los tratamientos superficiales bicapa y tricapa.

2. Con capas granulares (sub base y base drenantes) y una capa bituminosa de espesor variable mayor a 25 mm, como son las carpetas asfálticas en frío y en caliente.

La guía considera principalmente soluciones estructurales con materiales tradicionales cuyas propiedades mecánicas y comportamiento son conocidos y están considerados en el Manual Centroamericano de Especificaciones para la construcción de Carreteras y Puentes Regionales; también forman parte las estabilizaciones y mejoramientos de suelos de la subrasante.

#### **CON SUPERFICIE DE RODADURA NO PAVIMENTADA.**

a. Caminos de tierra, constituido por suelo natural y mejorado con grava seleccionada por zarandeo.

b. Caminos gravosos, constituidos por una capa de revestimiento con material granular natural pétreo sin procesar. Seleccionado manualmente o por zarandeo, de tamaño máximo de 75mm.

c. Caminos afirmados, constituidos por una capa de revestimiento con materiales de cantera, dosificados naturalmente o por medios mecánicos , con una dosificación especificada, compuesta por una dosificación apropiada de tres tamaños o tipos de material: piedra, arena y finos o arcilla, siendo el tamaño máximo 25mm.

c.1 Afirmados con gravas naturales o tamizadas.

c.2 Afirmados con gravas homogenizadas mediante trituración.

d. Caminos con superficie de rodadura estabilizada con materiales industriales:

d.1 Afirmados con grava con superficie estabilizada con materiales como: asfalto (imprimación reforzada), cemento, cal, aditivos químicos, y otros.

d.2 Suelos naturales estabilizados con: material granular y finos ligantes, asfalto (imprimación reforzada), cemento, cal, aditivos químicos, y otros.

## **4.2 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA PARA CAMINOS DE BAJA INTENSIDAD USANDO EL METODO AASHTO-93.**

El diseño estructural de pavimentos para caminos de baja intensidad de tránsito se divide en tres categorías:

1. Pavimentos flexibles.
2. Pavimentos rígidos.
3. Caminos con superficie de materiales granulares.

Esta guía desarrollara los diseños de pavimentos flexibles y caminos con superficie de materiales granulares; usando procedimientos basados en cartas (nomogramas) y catálogos de diseños. Para las superficies con tratamientos superficiales o sellos de gravilla, se utilizan los mismos procedimientos que para pavimentos flexibles.

Debido a que la base fundamental en todo método racional de predicción del comportamiento de pavimentos es la aplicación acumulada de cargas pesadas por eje, es necesario usar la aproximación de diseño de la carga por eje simple equivalente de 18 Kips (ESAL`S) para caminos de baja intensidad de transito, sin importar cuán bajo sea el nivel de tráfico o cual sea la distribución de automóviles o caminos.

Debido a que muchas calles de ciudad y carreteras rurales que caen en la categoría de baja intensidad de transito, pueden llevar niveles significativos de tráfico de camiones, el número máximo de aplicaciones ESAL`S de 18 Kips considerado para el diseño de pavimentos en caminos de baja intensidad de transito, es de 700,000 a 1, 000,000. El nivel de tráfico mínimo virtual que puede ser considerado para cualquier pavimento durante un periodo de comportamiento dado, es de alrededor de 50,000 aplicaciones ESAL`S de 18 Kips. Para caminos de superficies de gravas usadas en muchos distritos y caminos Rurales, el máximo nivel de tráfico para ser considerado como baja intensidad de transito es de 100,000 aplicaciones ESAL`S de 18 Kips, mientras que el nivel mínimo virtual (durante un periodo de comportamiento simple) es de 10,000.

#### 4.2.1 PROCEDIMIENTO DE DISEÑO POR NOMOGRAMAS.

Los procedimientos de diseño de caminos de bajo volumen de tránsito para pavimentos flexibles mediante cartas considerados en la Guía AASHTO de 1993, son básicamente los mismos que los del diseño de pavimentos de carreteras. El procedimiento para caminos de bajo volumen, consiste básicamente en el establecimiento de los requerimientos de diseño, así como en un procedimiento paso a paso. La principal diferencia está en el nivel de la confiabilidad que se pueda usar. Debido a su relativamente bajo uso y al bajo nivel de riesgo asociado con los caminos de bajo volumen de tránsito, el nivel de confiabilidad recomendado es de 50%. El usuario puede, sin embargo, proyectar niveles más altos del orden de 60 a 80 %, dependiendo del nivel real de tráfico proyectado y de la facilidad de rehabilitación, de la importancia del corredor.

Si en la estimación de un Módulo Resiliente del suelo de fundación del camino ( $M_R$ ), no es posible determinar la duración de las estaciones o incluso, los Módulos Resilientes Estacionales del suelo de fundación del camino, se deberán tomar en cuenta las siguientes sugerencias:

**Duración de las Estaciones.** En el capítulo 4 de la guía de diseño de pavimentos AASHTO 1993 Low Volume Road Design, se establecen 6 regiones climáticas para los E.E.U.U., las características de estas regiones son:

- I. Húmeda, no helada.
- II. Húmeda, con Ciclos de Hielo-Deshielo.

- III. Húmeda, Fuerte Congelamiento, Deshielo Primavera.
- IV. Seca, No Helada.
- V. Seca, con Ciclos de Hielo-Deshielo.
- VI. Seca, Fuerte Congelamiento, Deshielo Primavera.

De acuerdo al informe climático de El Salvador emitido por el Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET) y el Centro de Información Agrometeorológica (CIAGRO), en El Salvador existen dos periodos climáticos que se dividen en: la época seca (noviembre - abril) y la lluviosa (mayo – octubre), así como dos épocas de transición, con una duración de aproximadamente un mes entre una y otra, las cuales ocurren entre octubre-noviembre y abril-mayo, respectivamente.

Para el desarrollo de esta guía únicamente se considerarán de la guía de diseño AASHTO 1993 Low Volume Road Design, las regiones climáticas I y IV, Húmeda, no helada y Seca, no Helada, respectivamente. Siendo estas las que se adecuan más a las características climáticas presentes en el país.

**Módulo Resiliente Estacional del Suelo de Fundación.** En la tabla 4.1 se dan algunos valores de Módulo Resiliente del Suelo de Fundación recomendados por la AASHTO y adaptados a las Regiones climáticas consideradas. Los que pueden ser usados para el diseño de caminos de bajo volumen de tránsito si se puede clasificar la calidad general del material de asiento del camino como un cimiento para la estructura del pavimento. Si los valores sugeridos en esta tabla se combinan con las duraciones de las estaciones sugeridas en la sección previa, se pueden generar valores de los

Módulos Resilientes Efectivos (sólo para el diseño de pavimentos flexibles) para cada una de las regiones consideradas. Estos valores se presentan en la tabla 4.2.

**TABLA 4.1 Módulo Resiliente del Suelo de Fundación Sugerido  $M_R$  (psi), en función de la calidad relativa del material.**

Calidad Relativa del Suelo de Fundación	Estación (condición de Humedad del Suelo de Fundación)	
	Región I (húmeda, no helada) $M_R$	Región IV (seca, no helada) $M_R$
Muy Buena	8,000	20,000
Buena	6,000	10,000
Regular	4,500	6,500
Pobre	3,300	4,900
Muy Pobre	2,500	4,000

Fuente AASHTO.

**TABLA 4.2 Valores del Módulo Resiliente del Suelo de Fundación  $M_R$  (Psi), que se pueden usar en el Diseño de Pavimentos Flexibles Para Caminos de Bajo Volumen de Tránsito. Valores Sugeridos en Función de la Región Climática y de la Calidad Relativa del Suelo de Fundación.**

Región Climática.	Calidad Relativa del Suelo del Afirmado.				
	Muy Pobre	Pobre	Regular	Bueno	Muy Bueno
I (Húmeda, no helada)	2,800	3,700	5,500	6,800	9,500
IV (Seca, no helada)	3,200	4,100	5,600	7,900	11,700

Fuente AASHTO. ( $M_R$ , Psi)

#### 4.2.2 CAMINOS CON SUPERFICIE DE MATERIALES GRANULARES.

La base para el tratamiento de los efectos de los cambios estacionales de humedad en los Módulos Resilientes de los Suelos de Fundación,  $M_R$ , es la misma en el diseño de caminos con superficies de materiales granulares, que para el diseño de pavimentos flexibles. Sin embargo, a diferencia de los procedimientos para el diseño de pavimentos granulares, basado en cartas, requiere de una solución gráfica.

*NOTA: en el país no se trabaja con Modulo Resiliente, por lo que se usara la correlación establecida con CBR descrita en la sección 2.4.3.*

Los requerimientos principales de diseño para los agregados de los caminos con superficies de materiales granulares incluyen:

1. Tráfico futuro previsto  $w_{18}$  para el periodo.
2. Duración de las estaciones.
3. Módulo Resiliente Estacional del Suelo de Fundación.
4. Módulo Elástico  $E_{BS}$  de la capa de base granular.
5. Módulo Elástico  $E_{SB}$  de la capa sub - base granular.
6. La pérdida de serviciabilidad de diseño,  $\Delta PSI$
7. El ahuellamiento permisible RD (pulgadas), según Guía AASHTO de Diseño de la Estructura del Pavimento 1993, en la sección 2.2.2 Ahuellamiento Permisible. El ahuellamiento permisible depende del promedio de tráfico diario típico se puede presentar en un rango de 1 a 2 pulgadas.
8. La pérdida de agregados, GL (pulgadas) de la capa superficial.

Estos requerimientos de diseño se usan en conjunto con la Tabla 4.3 y los nomogramas de diseño por serviciabilidad (Figura 4.1) y ahuellamiento (Figura 4.2).

**TABLA 4.3 CARTA PARA CALCULAR EL DAÑO TOTAL DEL PAVIMENTO (BAJO LOS CRITERIOS DE SERVICIABILIDAD Y AHUELLAMIENTO), BASADA EN UN ESPESOR DE PRUEBA DE LA BASE GRANULAR.**

ESPEURO DE PRUEBA DE LA BASE BDS (PULGADAS) _____				Criterio de Serviabilidad. $\Delta$ PSI= _____		Criterio de Ahuellamiento. RD (pulgadas)= _____	
(1) Estación (Condición de Humedad de la Subrasante)	(2) Módulo Resiliente de la Subrasante, $M_R$ (Psi)	(3) Módulo Elástico de la Base $E_{BS}$ (Psi)	(4) Tráfico Proyectado en ESAL`S de 18 kips $w_{18}$	(5) Tráfico Permissible en ESAL`S de 18 kips $(W_{18})$ PSI	(6) Daño Estacional $w_{18}/(W_{18})$ PSI	(7) Tráfico Permissible en ESAL`S de 18 kips $(W_{18})$ RUT	(8) Daño Estacional $w_{18}/(W_{18})$ RUT
Invierno( congelado)							
Primavera/Deshielo (Saturado)							
Otoño/Invierno (Húmedo)							
Verano (seco)							
Tráfico total = _____				Daño total		Daño total	

FUENTE: GUIA PARA EL DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO, CAPITULO 4 DISEÑO DE CAMINOS DE BAJO VOLUMEN DE TRANSITO AASHTO 93

El ejemplo que se desarrolla en la presente guía es el que presenta la AASHTO en la Guía para el Diseño de la Estructura del Pavimento AASHTO 1993. El cual se desarrolla paso a paso, para demostrar el uso de la Tabla 4.3.

**Paso 1.** Seleccionar cuatro niveles de espesor de base granular,  $D_{BS}$ , los que deberían contener la solución probable. Para esto, se deben preparar cuatro tablas separadas idénticas a la Tabla 4.3. Ingrese cada uno de los cuatro espesores de prueba de la base granular,  $D_{BS}$ , en la esquina superior izquierda de cada una de las cuatro tablas (en el ejemplo se usa  $D_{BS} = 8$  pulgadas).

**Paso 2.** Ingresar la pérdida de serviciabilidad de diseño, es decir  $\Delta PSI = P_t - P_i$ , así como el ahuellamiento permisible  $RD$ , en los casilleros correspondientes de cada una de las cuatro tablas.

**Paso 3.** Ingrese el Módulo Resiliente (Elástico) Estacional apropiado del suelo de fundación ( $M_R$ ) y del material de base de agregados,  $E_{BS}$  (Psi), en las columnas 2 y 3, respectivamente, de la Tabla 4.3. Los valores del módulo base pueden ser proporcionales al Módulo Resiliente del Suelo de Fundación durante una estación dada.

En este ejemplo se ha usado un valor constante de 30,000 psi, sin embargo, una porción del material de base granular será convertido a un espesor equivalente de material de sub-base (la que proveerá protección contra los efectos de humedad del medio ambiente).

**Paso 4.** Ingresar el tráfico ESAL`S estacional de 18-Kips en la columna 4 de la Tabla 4.3. Asumiendo que el tráfico de camiones se distribuye uniformemente a lo largo del año, se deben usar las duraciones de las estaciones que proporcionen el tráfico ESAL`S total proyectado de 18-Kips para cada sección. Si el camino está zonificado por cargas (restringido) durante ciertos períodos críticos, el tráfico total puede distribuirse solamente entre aquellas estaciones en las que el tráfico está permitido. (En el ejemplo de la Tabla 4.5, se ha usado un tráfico total de 21,000 aplicaciones ESAL`S de 18-Kips y una distribución estacional correspondiente a la Región Climática III).

**Paso 5.** Dentro de cada una de las cuatro tablas estimar el tráfico permisible ESAL`S, de 18-Kips para cada una de las cuatro estaciones usando el nomograma de la Figura 4.1, basado en la serviciabilidad, e ingresar en la columna 5. Si el Módulo Resiliente del Suelo de Fundación es tal que el tráfico excede el límite superior del nomograma, asuma un valor práctico de 500,000 ESAL`S de 18-kips.

**Paso 6.** Dentro de cada una de las cuatro tablas, estimar el tráfico permisible de 18-kips ESAL`S para cada una de las cuatro estaciones, usando el nomograma de la Figura 4.2, basado en el ahuellamiento e ingrese en la columna 7. Nuevamente, si el Módulo Resiliente del Suelo de Fundación es tal que el tráfico permisible excedente el límite superior del nomograma, asumir el valor práctico de 500,000 ESAL`S de 18-kips.

**Paso 7.** Compute los valores del daño estacional en cada una de las cuatro tablas por el criterio de serviciabilidad, dividiendo el tráfico estacional proyectado (columna 4)

entre el tráfico permisible en esa estación (Columna 5). Ingrese esos valores de daño estacional en la columna 6 de la Tabla 4.3, correspondiente al criterio de serviciabilidad. A continuación siga las mismas instrucciones para el criterio de ahuellamiento, es decir, divida la columna 4 entre la columna 7 e ingrese la columna 8.

**Paso 8.** Compute el daño total para ambos criterios de serviciabilidad y ahuellamiento, añadiendo los daños estacionales. Cuando se haya hecho esto para las cuatro tablas (correspondientes a los cuatro espesores de prueba de la base), se debe preparar un gráfico del daño total versus el espesor de la capa base. El espesor promedio de la capa  $D'_{BS}$ , requerido se determina interpolando en este gráfico para un daño total igual a 1.0. La Figura 4.3 proporciona un ejemplo en que el diseño está controlado por el criterio de serviciabilidad  $D'_{BS}$  es igual a 10 pulgadas.

**Paso 9.** El espesor de capa base determinado en el paso anterior se debe usar para diseñar siempre que los efectos de la pérdida de agregados sean insignificantes. Si en cambio, la pérdida de agregados es significativa, entonces el espesor de diseño se determina usando la siguiente ecuación.

$$D_{BS} = D'_{BS} + (0.5 \times GL)$$

Donde: GL = Pérdida total estimada de grava (en pulgadas) durante el periodo de funcionamiento.

Si por ejemplo, la pérdida total de la grava estimada fue de 2 pulgadas y el espesor promedio de la base requerida fue de 10 pulgadas, el espesor de diseño de la capa de base de agregados debería ser de:

$$D_{BS} = 10 + (0.5 \times 2) = 11 \text{ pulgadas}$$

**Paso 10.** El paso final del procedimiento de diseño por carta para caminos con superficie de materiales granulares consiste en convertir una porción del espesor de la capa de base granular a un espesor equivalente de material de sub-base. Esto se hace con ayuda de la Figura 4.4. Seleccionar el espesor final de base deseado,  $D_{BSf}$  (6 pulgadas en el ejemplo). Trazar una línea para el módulo estimado del material de sub-base,  $E_{SB}$  (15,000 psi en el ejemplo). Ir hacia la escala correspondiente a la reducción en el espesor de la base granular,  $D_{BSi} - D_{BSf}$  (11 – 6 = 5 pulgadas en el ejemplo). Luego, para el módulo conocido del material de base,  $E_{BS}$  (30,000 psi en el ejemplo), determine el espesor de sub-base requerido,  $D_{SB}$  (8pulgadas)

**TABLA 4.4 CARTA PARA CALCULAR EL DAÑO TOTAL DEL PAVIMENTO (BAJO LOS CRITERIOS DE SERVICIABILIDAD Y AHUELLAMIENTO), BASADA EN UN ESPESOR DE PRUEBA DE LA BASE GRANULAR.**

ESPEURO DE PRUEBA DE LA BASE BDS (PULGADAS) _____				Criterio de Serviabilidad. $\Delta$ PSI= _____		Criterio de Ahuellamiento. RD (pulgadas)= _____	
(1) Estación (Condición de Humedad de la Subrasante)	(2) Módulo Resiliente de la Subrasante, $M_R$ (Psi)	(3) Módulo Elástico de la Base $E_{BS}$ (Psi)	(4) Tráfico Proyectado en ESAL`S de 18 kips $w_{18}$	(5) Tráfico Permisible en ESAL`S de 18 kips ( $W_{18}$ )PSI	(6) Daño Estacional $w_{18}/(W_{18})$ PSI	(7) Tráfico Permisible en ESAL`S de 18 kips ( $W_{18}$ )RUT	(8) Daño Estacional $w_{18}/(W_{18})$ RUT
Invierno( congelado)	20,000	30,000	4,400	400,000	0.01	130,000	0.03
Primavera/Deshielo (Saturado)	1,500	30,000	2,600	4,900	0.53	8,400	0.31
Otoño/Invierno (Húmedo)	3,300	30,000	7,000	8,400	0.83	20,000	0.35
Verano (seco)	4,900	30,000	7,000	16,000	0.44	29,000	0.24
Tráfico total _____ = _____ 21,000				Daño total = 1.81		Daño total = 0.93	

EJEMPLO :

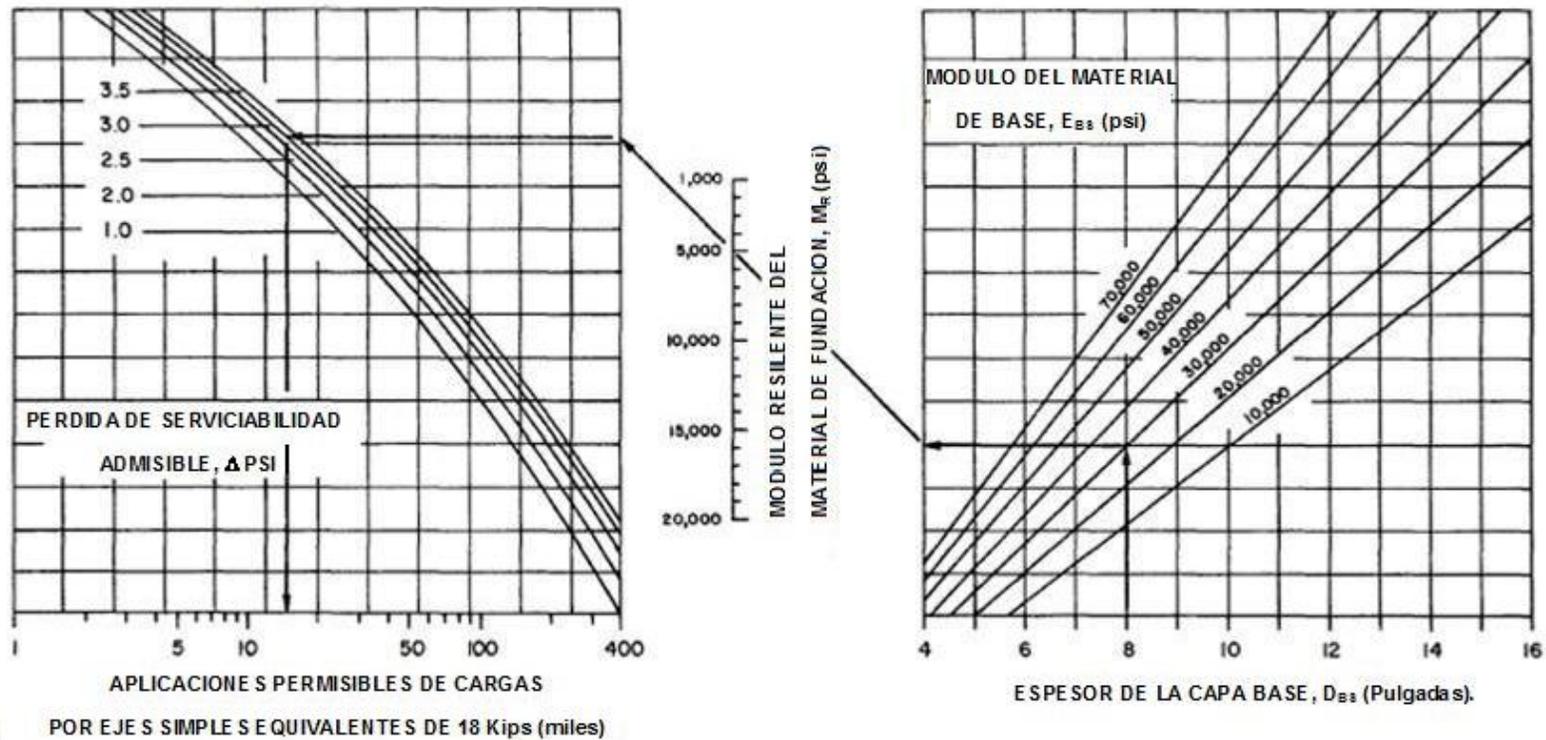
$D_{B3} = 8$  pulgadas

$E_{B3} = 30,000$  psi

$M_R = 4,900$  psi

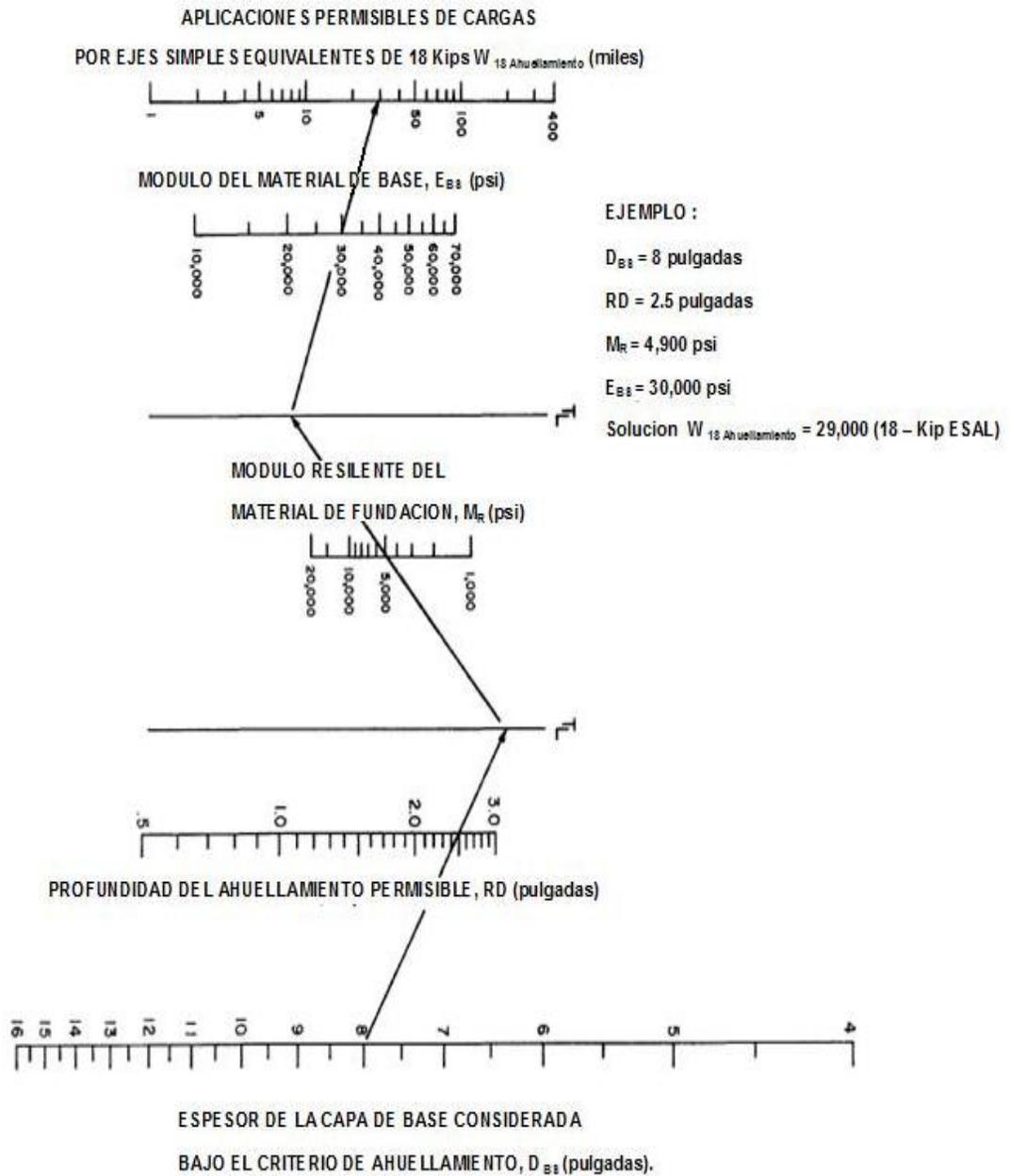
$\Delta PSI = 3.0$

Solucion  $W_{18} = 16,000$  psi (18 – Kip ESAL)



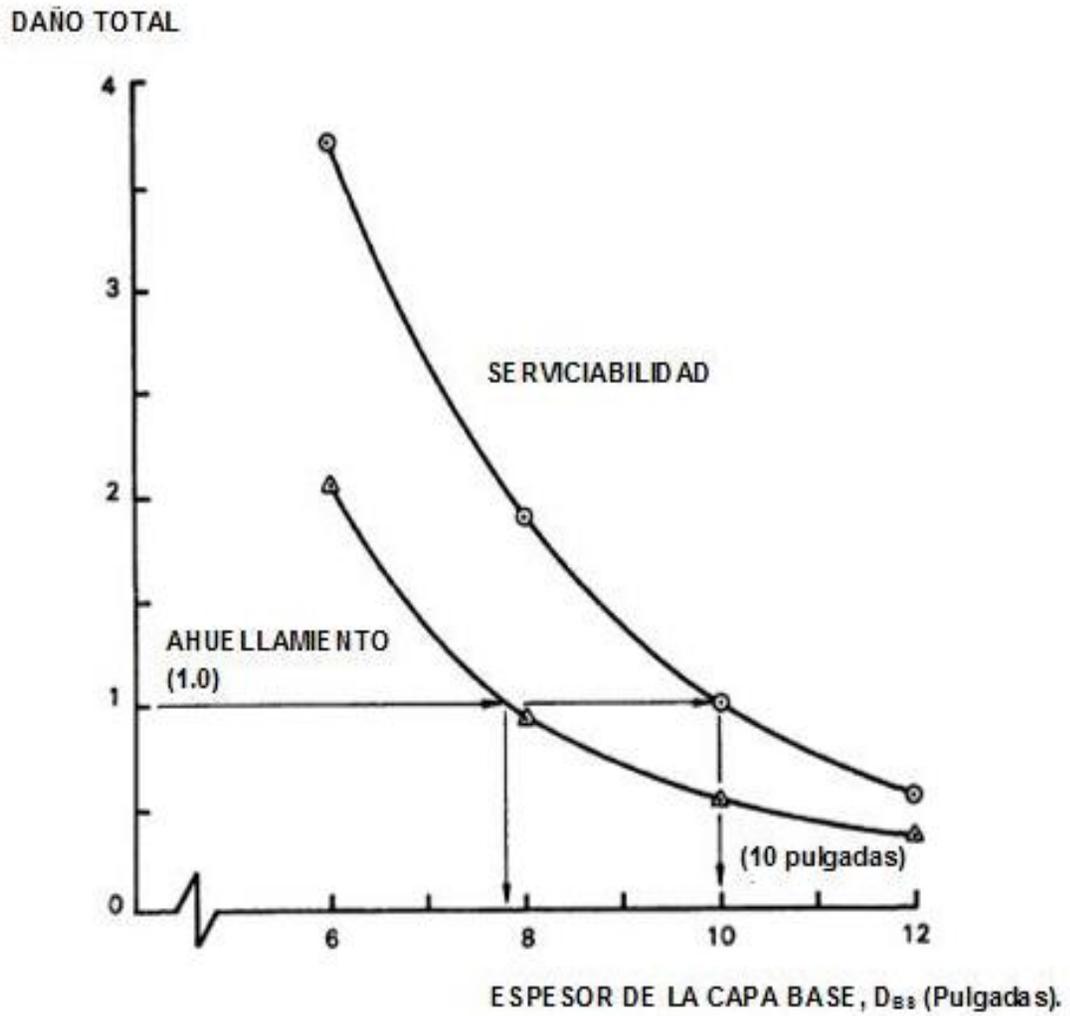
FUENTE: GUIA PARA EL DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO, CAPITULO 4 DISEÑO DE CAMINOS DE BAJO VOLUMEN DE TRANSITO AASHTO 93

Figura 4.1. Carta de Diseño para Caminos Afirmados, Considerando una Pérdida de Serviabilidad Admisible.



**FUENTE:** GUIA PARA EL DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO, CAPITULO 4 DISEÑO DE CAMINOS DE BAJO VOLUMEN DE TRANSITO AASHTO 93

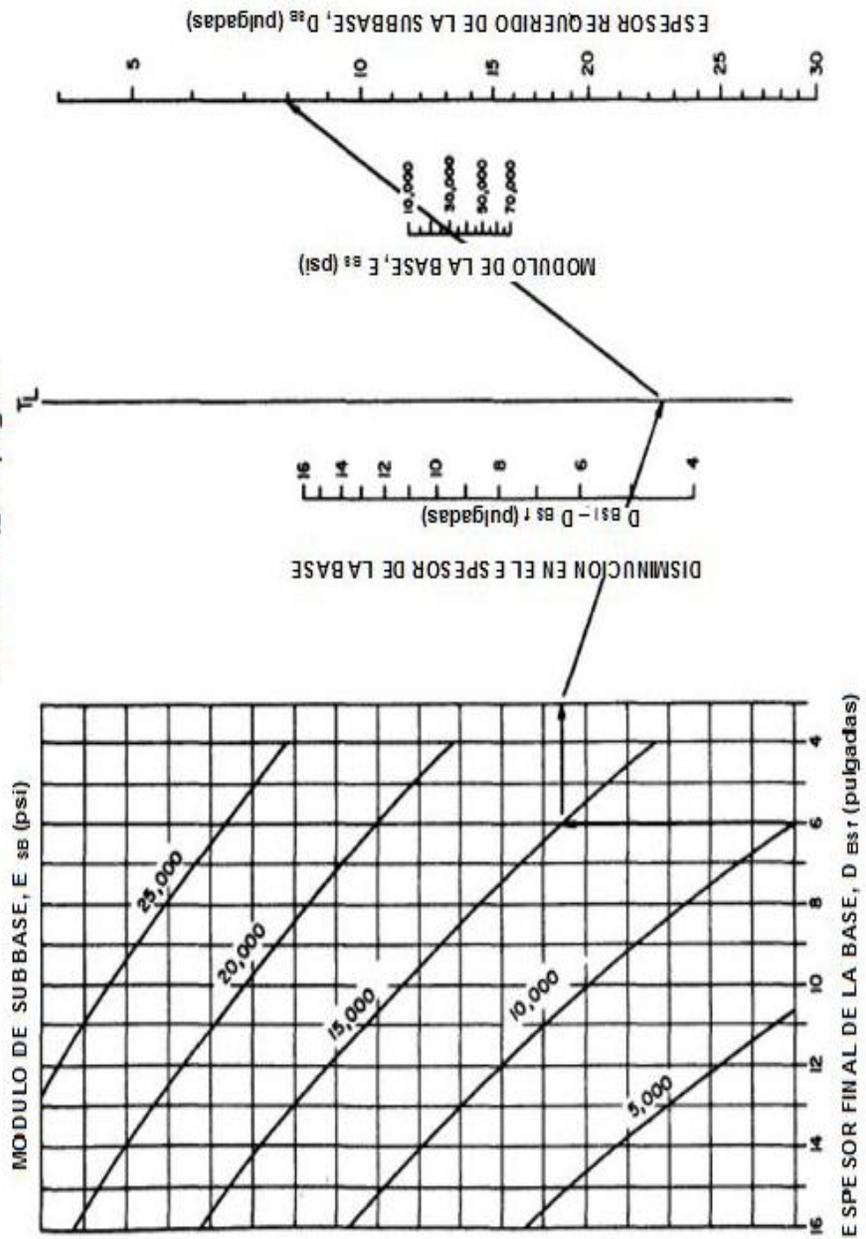
**Figura 4.2. Carta de Diseño para Caminos Afirmados, Considerando un Ahuellamiento Permisible.**



FUENTE: GUIA PARA EL DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO, CAPITULO 4 DISEÑO DE CAMINOS DE BAJO VOLUMEN DE TRANSITO AASHTO 93

**Figura 4.3. Ejemplo del Crecimiento del Daño Total versus el Espesor de la capa Base para los Criterios de Serviciabilidad y ahuellamiento.**

EJEMPLO :  
 $D_{bs1} = 11$  pulgadas  
 $D_{bsr} = 6$  pulgadas  
 $E_{sb} = 15,000$  psi  
 $E_{bs} = 30,000$  psi  
 Solucion  $D_{sb} = 8$  pulgadas



FUENTE: GUIA PARA EL DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO, CAPITULO 4 DISEÑO DE CAMINOS DE BAJO VOLUMEN DE TRANSITO AASHTO 93

Figura 4.4. Carta para Convertir una Porción del Espesor de la capa de Base

Granular a un Espesor Equivalente de Subbase.

#### **4.2.3 CATALOGO DE DISEÑO.**

El propósito de esta sección es proporcionar al usuario de un medio para identificar razonablemente, diseños apropiados de la estructura del pavimento para caminos de bajo volumen de tránsito. El catálogo de diseño que se presenta cubre caminos con superficie de materiales granulares, así como de pavimentos Flexibles. Es importante notar que a pesar de que los diseños descritos anteriormente, ellos están basados en un grupo único de suposiciones relativas a los requisitos de diseño y condiciones ambientales. Las siguientes suposiciones específicas se aplican a los dos tipos de diseños de estructuras considerados.

1. Todos los diseños están basados en los requerimientos estructurales para un período de funcionamiento, independiente del intervalo de tiempo. El rango de niveles de tráfico para los diseños de pavimentos flexibles está comprendido entre 50,000 y 1,000,000 de aplicaciones ESAL`S de 18-kips. El rango permitido de tráfico relativo para el diseño de caminos con superficies de materiales granulares está comprendido entre 10,000 y 100,000 aplicaciones ESAL`S 18-Kips.
2. Todos los diseños presentados están basados en un nivel de confiabilidad entre 50-75%.
3. Los diseños han sido hechos para condiciones ambientales correspondientes a las regiones climáticas antes definidas.

4. Los diseños son para cinco niveles de calidad de resistencia del suelo de fundación o capacidad de soporte: Muy bueno, bueno, regular, malo y muy malo. La tabla 4.1 indica los niveles del módulo Resiliente del Suelo de Fundación que fueron usados para cada clasificación de suelo.

5. La serviciabilidad Final para los diseños de pavimentos flexible es de 1.5 y la Pérdida de Serviciabilidad Total de Diseño usada para los caminos con superficies de materiales granulares es de 3.00. (Así, la serviciabilidad Inicial de un camino con superficies de materiales granulares fue de 3.5, la correspondiente Serviciabilidad Final, inherente a la solución del diseño es de 0.5).

**TABLA 4.5 PERDIDA DE SERVICIABILIDAD EN EL PAVIMENTO.**

<b>TIPO DE PAVIMENTO.</b>	<b>FLEXIBLE</b>	<b>GRANULAR</b>
SERVICIABILIDAD INICIAL	3.5	3.5
SERVICIABILIDAD FINAL	2	0.5
PERDIDA DE SERVICIABILIDAD	1.5	3

FUENTE: AASHTO.

#### **4.2.4 CATÁLOGO PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE.**

Las Tablas 4.6 y 4.7 presentan un catálogo de valores del SN (Número Estructural) para pavimentos flexibles, que se pueden usar en el diseño de caminos de bajo volumen cuando no es posible lograr una aproximación de diseño más detallada. La

Tabla 4.5 está basada en un nivel de confiabilidad del 50% y la Tabla 4.6 está basada en un nivel del 75%. El rango de valores de SN mostrados para cada condición está basado en un rango específico de aplicaciones ESAL`S de 18 Kips para cada nivel de tráfico:

ALTO 700,000 a 1,000,000

MEDIANO 400,000 a 600,000

BAJO 50,000 a 300,000

Una vez seleccionado un número estructural de diseño, el usuario está capacitado para identificar una combinación apropiada de espesor de capa de pavimento flexible que proporcionará la capacidad de soporte de carga deseada. Esto se puede complementar usando el criterio de coeficiente de capa (valores  $a_i$ ), y la ecuación general para el número estructural:

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 + a_3 D_3$$

Donde:

$a_1$   $a_2$  y  $a_3$  = Coeficientes de capa para los materiales de superficie, base y sub-base respectivamente.

$D_1$   $D_2$  y  $D_3$  = Espesores (en pulgadas) de la carpeta asfáltica, base y sub-base respectivamente.

**Tabla 4.6. Catálogo para el Diseño de Pavimentos Flexibles Para Caminos de Bajo Volumen de Transito: rangos Recomendados del Número Estructural (SN) Para las Regiones Climáticas, Tres niveles de Tráfico de Carga Por Eje y Cinco niveles de Calidad del Suelo de Fundación-Confiability Inherente: 50 Por ciento.**

Calidad Relativa del Suelo de Fundación.	Nivel de Tráfico.	Región Climática.	
		I	IV
Muy Bueno	Alto	2.3 - 2.5	2.1 - 2.3
	Medio	2.1 - 2.3	1.9 - 2.1
	Bajo	1.5 - 2.0	1.4 - 1.8
Bueno	Alto	2.6 - 2.8	2.5 - 2.7
	Medio	2.4 - 2.6	2.2 - 2.4
	Bajo	1.7 - 2.3	1.6 - 2.1
Regular	Alto	2.9 - 3.1	2.8 - 3.0
	Medio	2.6 - 2.8	2.5 - 2.7
	Bajo	2.0 - 2.6	1.9 - 2.4
Pobre	Alto	3.2 - 3.4	3.1 - 3.3
	Medio	3.0 - 3.2	2.8 - 3.0
	Bajo	2.2 - 2.8	2.1 - 2.7
Muy pobre	Alto	3.5 - 3.7	3.3 - 3.5
	Medio	3.2 - 3.4	3.1 - 3.3
	Bajo	2.4 - 3.1	2.3 - 3.0

FUENTE: GUIA PARA EL DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO, CAPITULO 4 DISEÑO DE CAMINOS DE BAJO VOLUMEN DE TRANSITO AASHTO 93

**Tabla 4.7. Catálogo para el Diseño de Pavimentos Flexibles Para Caminos de Bajo Volumen de Transito: rangos Recomendados del Número Estructural (SN) Para las Regiones Climáticas, Tres niveles de Tráfico de Carga Por Eje y Cinco niveles de Calidad del Suelo de Fundación-Confiability Inherente: 75 Por ciento.**

Calidad Relativa del Suelo de Fundación.	Nivel de Tráfico.	Región Climática.	
		I	IV
Muy Bueno	Alto	2.6 - 2.7	2.4 - 2.5
	Medio	2.3 - 2.5	2.1 - 2.3
	Bajo	1.6 - 2.1	1.5 - 2.0
Bueno	Alto	2.9 - 3.0	2.7 - 2.8
	Medio	2.6 - 2.8	2.4 - 2.6
	Bajo	1.9 - 2.4	1.8 - 2.3
Regular	Alto	3.2 - 3.3	3.0 - 3.2
	Medio	2.8 - 3.1	2.7 - 3.0
	Bajo	2.1 - 2.7	2.0 - 2.6
Pobre	Alto	3.5 - 3.6	3.4 - 3.5
	Medio	3.1 - 3.4	3.0 - 3.3
	Bajo	2.4 - 3.0	2.3 - 2.8
Muy pobre	Alto	3.8 - 3.9	3.6 - 3.8
	Medio	3.4 - 3.7	3.3 - 3.6
	Bajo	2.6 - 3.2	2.5 - 3.1

FUENTE: GUIA PARA EL DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO, CAPITULO 4 DISEÑO DE CAMINOS DE BAJO VOLUMEN DE TRANSITO AASHTO 93

### **4.3 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA PARA CAMINOS NO PAVIMENTADOS USANDO EL METODO AUSTRROADS.**

La guía considera soluciones estructurales con materiales tradicionales cuyas propiedades mecánicas y comportamiento son conocidos; también forman parte de esta Norma las estabilizaciones y mejoramientos de suelos de la subrasante o de las capas de revestimiento granular.

En el funcionamiento estructural de las capas de revestimiento granular influye el tipo de suelo de la subrasante, el número total de los vehículos pesados por día o durante el periodo de diseño, incluido las cargas por eje simple y la presión de los neumáticos.

La demanda, medida en EE o por vehículos pesados, es particularmente importante para ciertos tipos de caminos de bajo volumen pero que, pudieran tener alto porcentaje de vehículos pesados, como los que se construyen para propósitos especiales como el minero y forestal (extracción de madera).

#### **4.3.1 SUBRASANTE**

La subrasante es la capa superficial, de terreno natural. Para construcción de caminos se analizará hasta 0.45 m de espesor, y para rehabilitación los últimos 0.20 m.

Su capacidad de soporte en condiciones de servicio, junto con el tránsito y las características de los materiales de construcción de la superficie de rodadura, constituyen las variables básicas para el diseño del afirmado, que se colocará encima.

Se identificarán cinco categorías de subrasante:

**S0: SUBRASANTE MUY POBRE CBR < 3%**

**S1: SUBRASANTE POBRE CBR = 3% - 5%**

**S2: SUBRASANTE REGULAR CBR = 6 - 10%**

**S3: SUBRASANTE BUENA CBR = 11 - 19%**

**S4: SUBRASANTE MUY BUENA CBR > 20%**

Se considerarán como materiales aptos para la subrasante suelos con CBR igual o mayor de 6%. En caso de ser menor se procederá a eliminar esa capa de material inadecuado y se colocará un material granular con CBR mayor a 6%; para su estabilización. La profundidad mínima especificada de esta capa Figura en el catálogo de estructuras de capas granulares, que se presenta más adelante. Igualmente se estabilizarán las zonas húmedas locales y áreas blandas sobre la subrasante natural se colocará una capa de arena de espesor 20 cm mínimo y sobre ella, se añadirá una capa de espesor mínimo de 0.30m de material grueso rocoso o de piedras grandes.

**TABLA 4.8 Distancia mínima requerida hasta el nivel freático**

<b>Tipo de subrasante</b>	<b>Distancia hasta el nivel freático (min)</b>
Muy buena	0.60m
Buena	0.60m
Regular	0.80m
Pobre	1.00m
Muy pobre	1.20m
Otros	Colocar subdrenes

FUENTE: MANUAL PARA EL DISEÑO DE CAMINOS NO PAVIMENTADOS DE BAJO VOLUMEN DE TRANSITO  
MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES REPUBLICA DEL PERÚ.

Los subdrenes para proteger a la capa del afirmado, se proyectarán cuando la subrasante no esté constituida por material permeable y cuando las capas de rodadura no puedan drenar adecuadamente. Los subdrenes que se proyecten para interceptar filtraciones o para rebajar el nivel freático elevado, pueden utilizarse también para drenar el afirmado.

Para efectos del diseño del afirmado también se definirán sectores homogéneos, a lo largo de cada uno de ellos, donde las características del material de subrasante se identifican como uniforme. Dicha uniformidad se establecerá sobre la base del Estudio del Suelo y de ser necesario, la realización del muestreo. El proceso de sectorización requiere de análisis y criterio del especialista.

#### **4.3.1.1 IDENTIFICACIÓN DE SECTORES HOMOGÉNEOS.**

##### ***Paso 1.*** Reconocimiento:

En esta etapa se efectúa un proceso de inspección visual, se identifican asentamientos, deslizamientos, etc. que puedan ser atribuidos a factores geotécnicos y se establece, en primera aproximación, las causas que la produjeron.

El reconocimiento visual de suelos y rocas debe complementarse con la observación de otras características del terreno y que ayudan a definir las propiedades de este, como topografía, geomorfología, vegetación, zonas húmedas o cursos naturales de agua y, sobre todo, los taludes de cortes existentes próximos al tramo.

**Paso 2.** Diagnóstico:

Sí el reconocimiento del terreno permite su clasificación inmediata, pueden realizarse algunas calicatas de comprobación cada 500 m y los ensayos confirmatorios. Caso contrario sí en el terreno se detectara su naturaleza problemática, se deberá establecer un programa de muestreos y ensayos.

**Paso 3.** Programa de prospecciones y ensayos a realizar:

Se establecerá una estrategia para efectuar el programa exploratorio, y a partir de ello se ordenará la toma de las muestras necesarias de cada perforación, de manera de poder evaluar aquellas características que siendo determinantes en su comportamiento, resulten de sencilla e indiscutible determinación.

*Nota: Detalle sobre campaña geotécnica en el capítulo II*

#### **4.3.1.2 ENSAYOS CBR.**

Una vez que se haya clasificado los suelos por el sistema AASHTO, para caminos con tránsito mayor a 100 vehículos por día, se elaborará un perfil estratigráfico para cada sector homogéneo, a partir del cual se determinará los suelos que controlarán el diseño y se establecerá el programa de ensayos y/o correlaciones para establecer el CBR que es el valor soporte o resistencia del suelo, referido al 95% de la densidad máxima de compactación, determinada a partir del ensayo de Proctor T-180.

Dada la variabilidad que presentan los suelos (aún dentro de un mismo grupo de suelos y en un sector homogéneo), así como los resultados de los ensayos de CBR

(valor soporte del suelo), se efectuará un mínimo de 6 ensayos de CBR por sector homogéneo del suelo, con el fin de aplicar un criterio estadístico para la selección de un valor único de soporte del suelo.

En caso de que en un determinado sector se presente una gran heterogeneidad en los suelos de subrasante, que no permite definir uno como predominante, el diseño se basará en el suelo más débil que se encuentre.

El valor del CBR de diseño por sector homogéneo, se determinará según lo siguiente:

- Si el sector homogéneo presenta para el periodo de diseño, un Número de Repeticiones de EE 8.2 ton., menor de  $1 \times 10^5$ : el CBR de diseño será aquel que represente al percentil 60% de los valores de CBR.
- Si el sector homogéneo presenta un Número de Repeticiones de EE 8.2 ton., entre  $1 \times 10^5$  y  $1 \times 10^6$ : el CBR de diseño será aquel que represente al percentil 75% de los valores de CBR.

#### **4.3.2. DRENAJE SUPERFICIAL**

El drenaje es el conjunto de obras destinadas a proteger el pavimento de la acción destructiva del agua. Su necesidad se estableció desde que se construyeron los primeros pavimentos, pero tal como se concibe hoy es el resultado de la observación del comportamiento de aquellos pavimentos en los cuales una o más de sus capas son impermeables e impiden el libre desplazamiento de la humedad desde y hacia afuera de la estructura.

#### **4.3.2.1 DRENAJE DEL AGUA QUE ESCURRE SUPERFICIALMENTE**

El drenaje superficial es uno de los factores más importantes en este tipo de caminos ya que tiene como finalidad alejar las aguas del camino, para evitar el impacto negativo de las mismas sobre su estabilidad, durabilidad y transitabilidad.

El adecuado drenaje es esencial para evitar la destrucción total o parcial de un camino y reducir los impactos indeseables al ambiente debido a la modificación de la escorrentía a lo largo de este.

##### **4.3.2.1.1 FUNCIÓN DEL BOMBEO Y DEL PERALTE.**

La eliminación del agua de la superficie del camino se efectúa por medio del bombeo en las secciones en tangente y del peralte en las curvas, provocando el escurrimiento de las aguas hacia las cunetas.

##### **4.3.2.1.2 PENDIENTE LONGITUDINAL DE LA RASANTE.**

De modo general la rasante será proyectada con pendiente longitudinal no menor de 0.5%, evitándose los tramos horizontales, con el fin de facilitar el movimiento del agua de las cunetas hacia sus aliviaderos o alcantarillas. Solamente en el caso que la rasante de la cuneta pueda proyectarse con la pendiente conveniente, independientemente de la calzada, se podrá admitir la horizontalidad de ésta.

En caminos no pavimentados deberán evitarse en lo posible para precaver la erosión por el agua de lluvias, pendientes mayores al 10%, salvo que se construyan disipadores que desvíen las aguas lateralmente antes que adquieran velocidad de erosión.

#### **4.3.2.1.3 DESAGÜE SOBRE LOS TALUDES EN RELLENO O TERRAPLÉN**

Si la plataforma de la carretera está en un terraplén ó relleno y el talud es erosionable, las aguas que escurren sobre la calzada deberán ser encausadas por los dos lados de la misma en forma que el desagüe se efectúe en sitios preparados especialmente protegidas y se evite la erosión de los taludes.

Para encausar las aguas, cuando el talud es erosionable se podrá prever la construcción de un bordillo al costado de la berma: el mismo que deberá ser cortado con frecuencia impuesta por la intensidad de las lluvias, encausando el agua en zanjas fabricadas con descarga al pie del talud.

#### **4.3.2.2 CUNETAS**

Las cunetas son pequeños canales interceptores que deben tener una sección adecuada para evacuar el agua lluvia. Se diseñara teniendo en cuenta que: la pendiente longitudinal no favorezca el encharcamiento, su capacidad hidráulica sea suficiente para disponer del agua aportada por los taludes, las corrientes temporales de agua y las lluvias, y que la remoción del material producto de la erosión sea fácil.

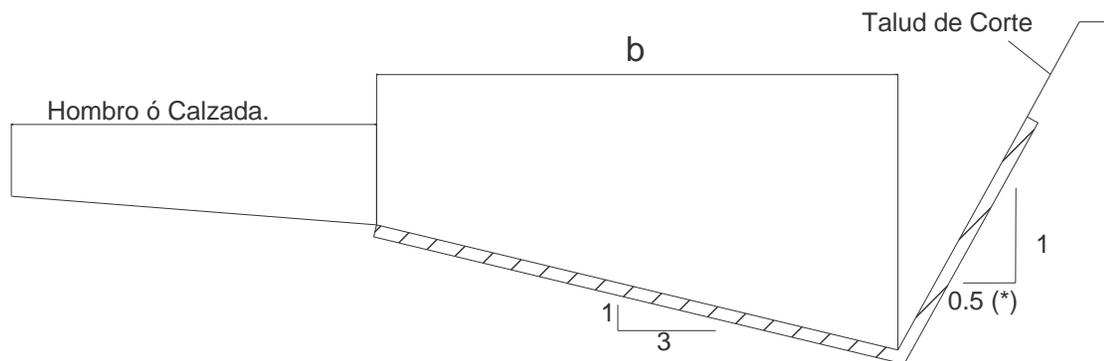
La cuneta es una estructura hidráulica que se asimila a un pequeño canal, y por lo tanto su capacidad se determina por ajustes sucesivos.

Elección de la geometría de la cuneta:

Para elegir las características geométricas de la cuneta se deben considerar aspectos constructivos, de seguridad vial e hidráulica.

Desde el punto de vista constructivo las secciones óptimas son las secciones trapezoidales o triangulares, pues facilitan su ejecución mecanizada y el trabajo de recubrimiento, el cual es muy recomendable ya que aumenta la capacidad hidráulica de la sección. Respecto a la seguridad vial se recomienda que las pendientes de las caras de la cuneta no sean exageradas, para evitar que los vehículos que accidentalmente caigan en ella se vuelquen.

La cuneta recomendada en base a los criterios expuestos es de sección triangular, similar a la de la Figura 4.5.



**Figura 4.5.** Sección típica de cuneta; (\*) puede ser 0.3 ó el talud de corte.

#### 4.3.2.2.1 DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD HIDRÁULICA

La cantidad de agua que se puede ser transportada por la cuneta, suponiendo un flujo uniforme a través de ella, se calculo, por medio de la formula de Manning.

$$Q = \frac{1}{n} A \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

Q: caudal transportado, (m<sup>3</sup>/s)

A: área de la sección (m<sup>2</sup>)

S: pendiente longitudinal de la cuneta

n: coeficiente de rugosidad

R: radio hidráulico (m)

La pendiente longitudinal de la cuneta puede ser, en principio de la vía, pero en ningún caso debe ser menor que 0.05%.

El coeficiente de rugosidad depende del material de recubrimiento de la cuneta. Algunos de los valores utilizados para el diseño de cunetas se encuentran en la tabla 4.9.

**TABLA 4.9. COEFICIENTES DE RUGOSIDAD PARA CUNETAS.**

TIPO DE CANAL	n		
	Mínimo	Promedio	Máximo
<b>CANALES REVESTIDOS</b>			
<b>En concreto</b>			
Terminado con palustre	0.011	0.013	0.015
Terminado con lechada	0.013	0.015	0.016
Sin terminar	0.014	0.017	0.02
<b>En Asfalto</b>			
Liso	0.013	0.013	
Rugoso	0.016	0.016	
<b>CANALES EXCAVADOS</b>			
<b>En tierra, recto y uniforme</b>			
Limpio con cierto uso	0.018	0.022	0.025
Mugo, corto y poca hierba	0.022	0.027	0.033
<b>En tierra, curvo y lento</b>			
Sin vegetación	0.023	0.025	0.03
Musgo, algunos pastos	0.025	0.03	0.033
Fondo de canto rodados y costados limpios	0.03	0.04	0.05
<b>En roca cortada</b>			
Lisa y uniforme	0.025	0.035	0.04
Dentada e irregular	0.035	0.04	0.05
<b>Sin mantenimiento</b>			
Pastos densos, altos como la profundidad del flujo	0.05	0.08	0.12

FUENTE: ESTUDIO Y PROYECTO DE CARRETERAS, CARCIENTE, JACOB.

#### 4.3.2.2.2 DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DEL AGUA

Con la ayuda de la siguiente ecuación se determina la velocidad del agua en la cuneta, para luego verificar que se encuentre dentro del rango de velocidades admisibles que permiten controlar los fenómenos de depositación y erosión dentro de la cuneta.

$$V = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

V: velocidad del agua (m/s)

S: pendiente longitudinal de la cuneta

n: coeficiente de rugosidad

R: radio hidráulico (m)

La velocidad mínima permitida o la velocidad no depositante, es la velocidad más baja que no inicia sedimentación. El control de este límite es especialmente importante si el agua que circula en la cuneta contiene gran cantidad de material en suspensión. Aunque cualquier valor de velocidad es incierto, en la mayoría de los casos una velocidad media que varía en el rango de 0.9 a 0.6 m/s permite controlar la depositación.

La velocidad máxima permitida o velocidad no erosionante es la velocidad más alta que no causa erosión en el cuerpo de la cuneta. Aunque este valor es muy incierto, en

general las cunetas viejas y bien asentadas soportaran velocidades mucho más altas que las nuevas, debido a que el viejo lecho de la cuneta esta mejor estabilizado, principalmente debido a la depositación de material coloidal. Para controlar esta velocidad se recomienda tener en cuenta los valores presentados en la tabla 4.10

**TABLA 4.10 VELOCIDADES NO EROSIONANTES DEL AGUA EN CUNETAS  
RECTAS CON ALGÚN USO**

MATERIAL	VELOCIDAD (m/s)	
	Agua limpia	Agua con limos
Arena fina coloidal	0.45	0.75
Arcilla arenoso no coloidal	0.5	0.75
Limo arenoso, no coloidal	0.6	0.9
Limo aluvial, no coloidal	0.6	1.1
Limo aluvial coloidal	1.1	1.5
Tierra común firme	0.75	1.1
Grava fina	0.8	1.5
Grava gruesa no coloidal	1.2	1.8
Cantos rodados y ripios	1.5	1.7
Concreto	2.4	

FUENTE: ESTUDIO Y PROYECTO DE CARRETERAS, CARCIENTE, JACOB.

### **4.3.3 CAPA DE AFIRMADO**

El material a usarse varía según la región y las fuentes locales de agregados, cantera de cerro o de río, también se diferencia si se utilizará como una capa superficial o capa inferior, porque de ello depende el tamaño máximo de los agregados y el porcentaje de material fino o arcilla, cuyo contenido es una característica obligatoria en el camino de afirmado.

El afirmado es una mezcla de tres tamaños o tipos de material: piedra, arena y finos o arcilla. Si no existe una buena combinación de estos tres tamaños, el afirmado será pobre. El termino afirmado se ha tomado del Manual para el Diseño de Caminos no Pavimentados de Bajo Volumen de Transito, Ministerio de Transportes y Comunicaciones, de la Republica del Perú, en el país es el equivalente a la capa de balastro.

El afirmado requiere de un porcentaje de piedra para soportar las cargas, asimismo necesita un porcentaje de arena clasificada según tamaño para llenar los vacíos entre las piedras y dar estabilidad a la capa; y, obligatoriamente un porcentaje de finos plásticos para cohesionar los materiales de la capa de afirmado.

Hay dos principales aplicaciones en el uso de afirmados: su uso como superficie de rodadura en caminos no pavimentados o su uso como capa inferior granular o como colchón anticontaminante.

Como superficie de rodadura, un afirmado sin suficientes finos, está expuesto a perderse, porque es inestable. En construcción de caminos se requiere un porcentaje limitado pero suficiente de materiales finos y plásticos, que cumplan la función de aglutinar para estabilizar la mezcla de gravas.

Un buen afirmado para capa inferior, tendrá mayor tamaño máximo de piedras, que en el caso de la capa de superficie y muy poco porcentaje de arcillas y de materiales finos en general.

La razón de ello es que la capa inferior debe tener buena resistencia para soportar las cargas del tránsito y además debe tener la cualidad de ser drenante.

### **GRADACIÓN DE LOS MATERIALES DE LA CAPA DE AFIRMADO**

Existen pocos bancos de material que tiene una gradación ideal, donde el material sin procesar se puede utilizar directamente, por lo que será necesario zarandear el material para obtener la granulometría especificada. En general los materiales serán agregados naturales procedentes de excedentes de excavaciones o canteras o podrán provenir de la trituración de rocas y gravas, o podrán estar constituidos por una mezcla de productos de ambas procedencias.

Es recomendable que los agregados tengan caras fracturadas o aristas y superficies rugosas, su comportamiento es mucho mejor que los agregados de textura lisa y forma

redondeada o canto rodado, dándole a la capa de afirmado resistencia y estabilidad bajo las cargas actuantes.

Gravas procedentes de bancos que contienen piedras fracturadas naturalmente son consideradas como muy buenos materiales. En todo caso, se podrán obtener mejores resultados procesando el material por trituración; esto significa que un buen porcentaje de las piedras tendrán caras fracturadas por proceso de la trituración, lográndose mejores propiedades de resistencia y estabilidad de la capa de afirmado.

Es muy importante indicar que todas las gravas no son iguales, por lo que la calidad verdadera debe ser determinada efectuando ensayos y dosificaciones de los materiales que constituyen el afirmado, esto asegurará que la dosificación puesta en obra sea la adecuada.

Se distinguen cuatro tipos de afirmado y su espesor y aplicación estará en función el TPD según el catálogo de revestimiento granular.

La capa del afirmado estará adecuadamente perfilada y compactada, según los alineamientos, pendientes y dimensiones indicados en los planos del proyecto.

AFIRMADO TIPO 1: corresponde a un material granular natural o grava seleccionada por zarandeo, con un índice de plasticidad hasta 9; excepcionalmente se podrá incrementar la plasticidad hasta 12, previa justificación técnica. El espesor de la capa será el definido en el presente Manual para el Diseño de Caminos de Bajo Volumen de

Tránsito. Se utilizará en los caminos de bajo volumen de tránsito, clases T0 y T1, con TPD proyectado menor a 50 vehículos día.

AFIRMADO TIPO 2: corresponde a un material granular natural o de grava seleccionada por zarandeo, con un índice de plasticidad hasta 9; excepcionalmente se podrá incrementar la plasticidad hasta 12, previa justificación técnica. Se utilizará en los caminos de bajo volumen de tránsito, clase T2, con TPD proyectado entre 51 y 100 vehículos día.

AFIRMADO TIPO 3: corresponde a un material granular natural o grava seleccionada por zarandeo o por trituración, con un índice de plasticidad hasta 9; excepcionalmente se podrá incrementar la plasticidad hasta 12, previa justificación técnica. Se utilizará en los caminos de bajo volumen de tránsito, clase T3, con TPD proyectado entre 101 y 200 vehículos día.

AFIRMADO TIPO 4: corresponde a un material granular o grava seleccionada por trituración, con un índice de plasticidad hasta 9; excepcionalmente se podrá incrementar la plasticidad hasta 12, previa justificación técnica. Se utilizará en los caminos de bajo volumen de tránsito, clase T4, con TPD proyectado entre 201 y 400 vehículos día.

Para cada tipo de Afirmado le corresponderá una granulometría:

**TABLA 4.11 GRANULOMETRIA CORRESPONDIENTE SEGÚN TIPO DE AFIRMADO**

TIPO Y AFIRMADO.				
Porcentaje que pasa	Tráfico T0 y T1: Tipo TPDA < 50 Veh.	Tráfico T2: Tipo 2 51 - 100 Veh.	Tráfico T3: Tipo 3 101- 200 Veh.	Tráfico T4: Tipo 4 201 - 400 Veh.
2" (50 mm)	100	100		
1½" (37.5 mm)		95 - 100	100	
1" (25 mm)	50 – 80	75 - 95	90 - 100	100
¾" (19 mm)			65 - 100	80 -100
½" (12.5 mm)				
⅜" (9.5 mm)		40 - 75	45 - 80	65 – 100
Nº 4 (4.75 mm)	20 – 50	30 - 60	30 - 65	50 – 85
Nº 8 (2.36 mm)				
Nº 10 (2.0 mm)		20 - 45	22 - 52	33 – 67
Nº 40 (4.5 µm)		15 - 30	15 - 35	20 – 45
Nº 200 (75 µm)	4. – 12	5. - 15	5. - 20	5. – 20
<b>Índice de Plasticidad</b>	4. – 9	4. - 9	4. - 9	4. – 9

FUENTE: MANUAL PARA EL DISEÑO DE CAMINOS NO PAVIMENTADOS DE BAJO VOLUMEN DE TRANSITO MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES REPUBLICA DEL PERÚ.

#### 4.3.4. CATALOGO ESTRUCTURAL DE SUPERFICIE DE RODADURA

Para el dimensionamiento de los espesores de la capa de afirmado, se adoptó como representativa la siguiente ecuación del método NAASRA, (National Association of Australian State Road Authorities (hoy AUSTRROADS) que relaciona el valor soporte del suelo (CBR) y la carga actuante sobre el afirmado, expresada en Número de Repeticiones de EE:

$$e = [219 - 211 \times (\log_{10} CBR) + 58 \times (\log_{10} CBR)^2] \times \log_{10} \times (Nrep/120)$$

Donde: e = espesor de la capa de afirmado en mm

CBR = valor del CBR de subrasante

Nrep = número de repeticiones de EE para el carril de diseño

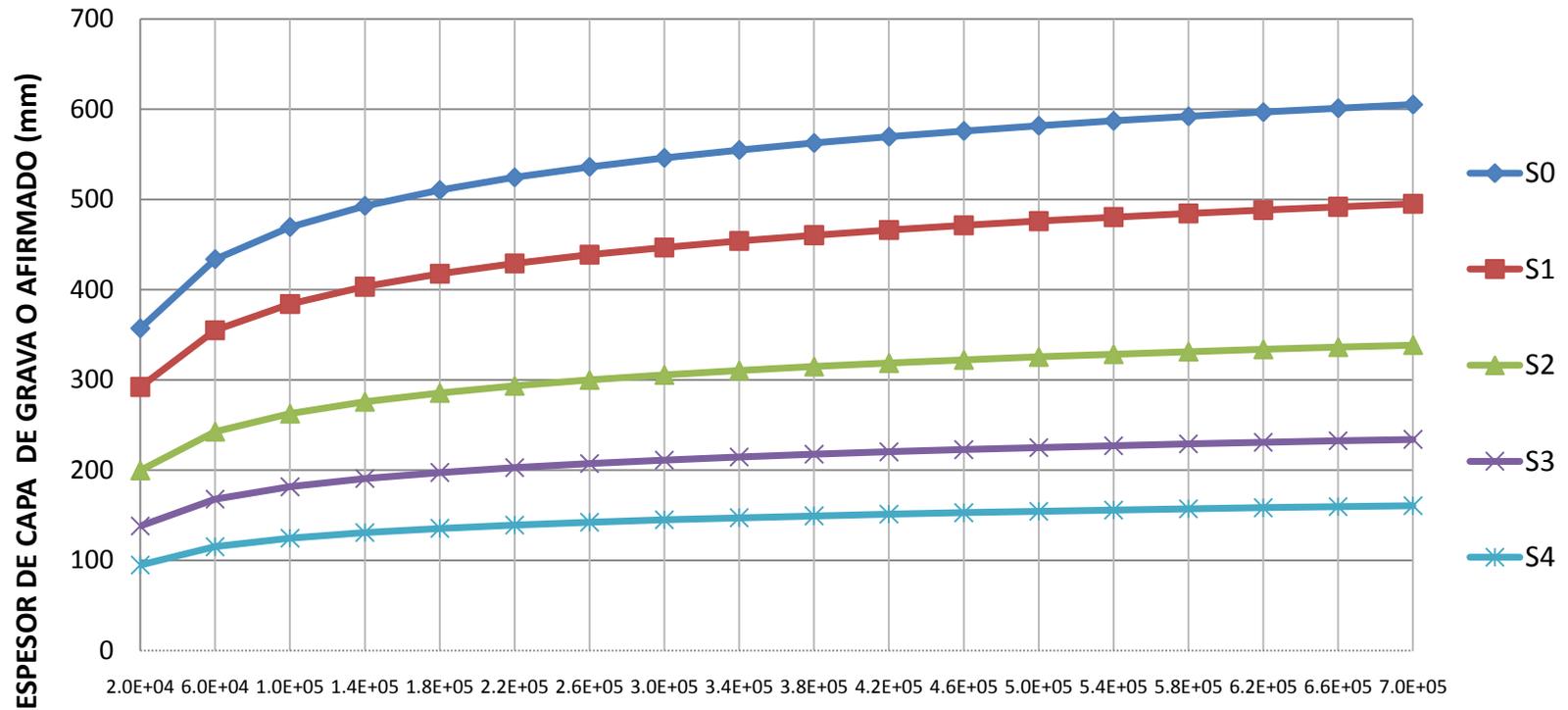
Sin ser una limitación, en ésta Guía de Diseño se incluye catálogos de secciones de capas granulares de rodadura, para cada tipo de tráfico y de subrasante, estos han sido elaborados en función de la ecuación indicada. El espesor total determinado, está compuesto por una capa de afirmado; por la granulometría del material y aspectos constructivos, el espesor de la capa de afirmado no será menor de 150 mm.

En todo caso se podrán ajustar las secciones de afirmado en función de las condiciones y experiencias locales, para lo cual:

Se analizará las condiciones de la subrasante natural, la calidad de los materiales de las canteras, la demanda específica de tráfico en el tramo y se decidirá el espesor necesario de la nueva estructura de la capa granular de rodadura.

En caso, de que el tramo tenga ya una capa de afirmado, se aprovechará el aporte estructural de la capa existente sólo se colocará el espesor de afirmado necesario para completar el espesor total obtenido según la metodología de diseño empleada, este espesor complementario no será menor a 100 mm. El nuevo material de afirmado se mezclará con el existente hasta homogeneizarlo y conformar la nueva capa de afirmado, debidamente perfilada y compactada.

**FIGURA 4.6 DETERMINACIÓN DE ESPESORES DE CAPA DE REVESTIMIENTO GRANULAR.**



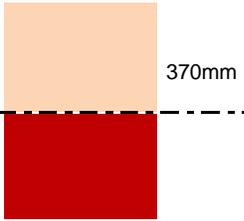
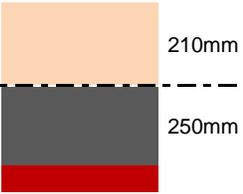
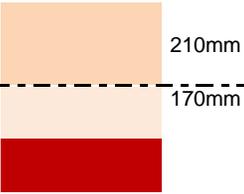
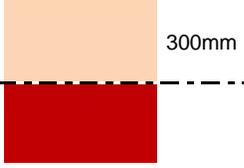
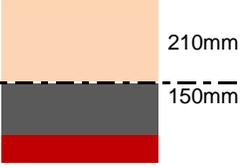
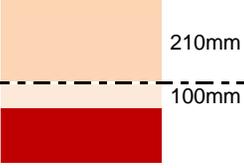
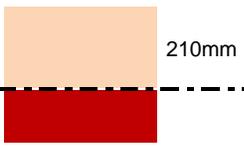
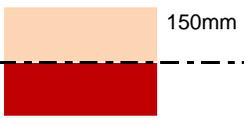
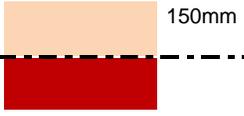
**NÚMERO DE REPETICIONES EN EJES EQUIVALENTES DE 8.2 TONELADAS.  
GRAFICA ELABORADA EN BASE A LA ECUACIÓN DESARROLADA POR NAASRA**

Para caminos de muy bajo volumen de tránsito, menor a 50, se estudiarán y analizarán diferentes alternativas constructivas de capas granulares, incluyendo macadam granular, y estabilización con gravas.

En el caso de no haber disponibilidades de gravas de fácil uso a distancias económicamente razonables, se podrá recurrir a procedimientos de estabilización de los suelos naturales, analizando económicamente alternativa como: estabilización con cal, estabilización con sal, estabilización con cemento, estabilización química.

En caso que se requiriese proteger la superficie de los caminos afirmados, para retardar su deterioro por razones de erosión y pérdidas de material, debido al tránsito, y/o para evitar la presencia de polvo levantado por el tránsito que crea riesgos y deteriora el ambiente agrícola, podrá colocarse una capa protectora, que podría ser una imprimación reforzada bituminosa, o un tratamiento superficial como el que se muestra en el siguiente apartado (4.3.5)

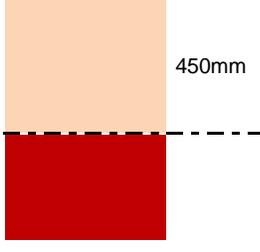
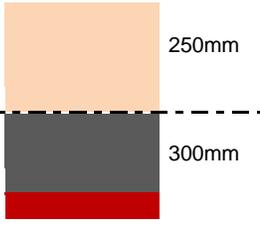
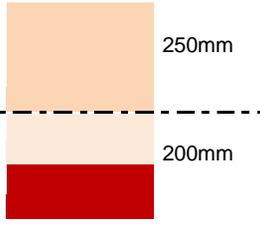
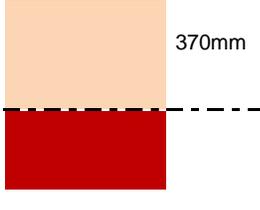
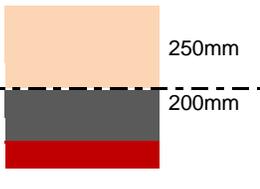
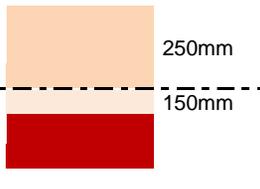
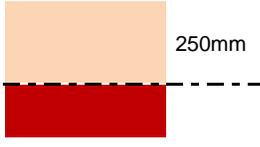
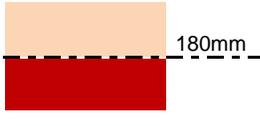
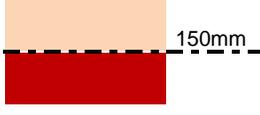
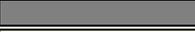
**FIGURA 4.7 CATALOGO DE CAPAS DE REVESTIMIENTO GRANULAR PARA TRAFICO CLASE To**

TIPO DE SUBRASANTE	CLASE DE TRAFICO To TPDA <15 Vehículos pesados (Buses + Camiones) carril de diseño< 6vehiculos pesados Número de Repeticiones EE (Carril de Diseño) 8.2 ton <2.5 E4		
	A: subrasante sin mejoramiento, perfilada y compactada	B: con mejoramiento de subrasante, con reemplazo de material granular CBR>6%	C: con mejoramiento de subrasante, con adición de cal, cemento o químico
So: SUBRASANTE MUY POBRE CBR< 3%	 370mm	 210mm 250mm	 210mm 170mm
S1: SUBRASANTE POBRE CBR 3%-5%	 300mm	 210mm 150mm	 210mm 100mm
S2: SUBRASANTE REGULAR CBR 6%-10%	 210mm		
S3: SUBRASANTE BUENA CBR 11%-19%	 150mm		
S4 CBR > 20%	 150mm		

	Nivel superior de la subrasante perfilado y compactado al 95% de MDS
	Subrasante
	B: con mejoramiento de subrasante, con reemplazo de material granular CBR>6%
	C: con mejoramiento de subrasante, con adición de cal, cemento o químicos para obtener CBR>6%
	capa de afirmado tipo I

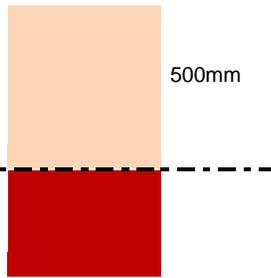
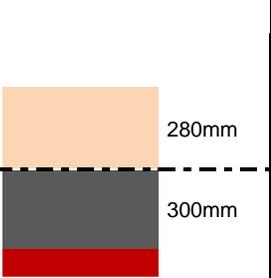
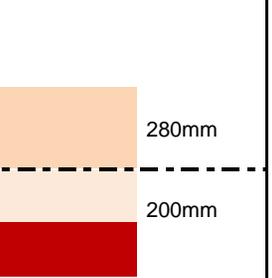
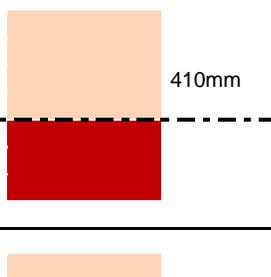
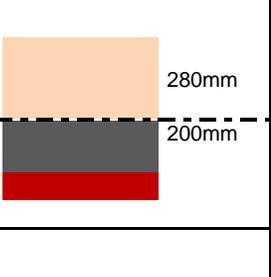
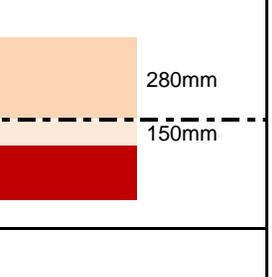
**FUENTE: MANUAL PARA EL DISEÑO DE CAMINOS NO PAVIMENTADOS DE BAJO VOLUMEN DE TRANSITO MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES REPUBLICA DEL PERÚ.**

**FIGURA 4.8 CATALOGO DE CAPAS DE REVESTIMIENTO GRANULAR PARA TRAFICO CLASE T1**

TIPO DE SUBRASANTE	CLASE DE TRAFICO T1 TPDA 16-50 vehículos Vehículos pesados (Buses + Camiones) carril de diseño 8-16 vehículos pesados Número de Repeticiones EE (Carril de Diseño) 8.2 ton 3.2E4 - 7.9E5		
	A: subrasante sin mejoramiento, perfilada y compactada	B: con mejoramiento de subrasante, con reemplazo de material granular CBR>6%	C: con mejoramiento de subrasante, con adición de cal, cemento o químico
S0: SUBRASANTE MUY POBRE CBR< 3%	 450mm	 250mm 300mm	 250mm 200mm
S1: SUBRASANTE POBRE CBR 3%-5%	 370mm	 250mm 200mm	 250mm 150mm
S2: SUBRASANTE REGULAR CBR 6%-10%	 250mm		
S3: SUBRASANTE BUENA CBR 11%-19%	 180mm		
S4 CBR > 20%	 150mm		
----- Nivel superior de la subrasante perfilado y compactado al 95% de MDS			
	Subrasante		
	B: con mejoramiento de subrasante, con reemplazo de material granular CBR>6%		
	C: con mejoramiento de subrasante, con adición de cal, cemento o químicos para obtener CBR>6%		
	capa de afirmado tipo I		

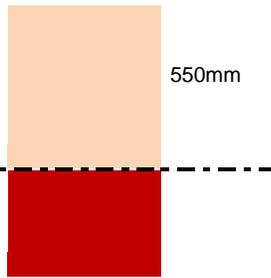
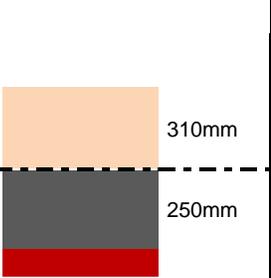
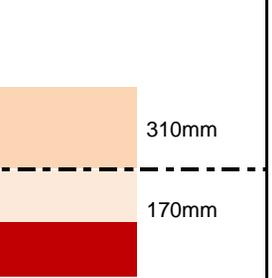
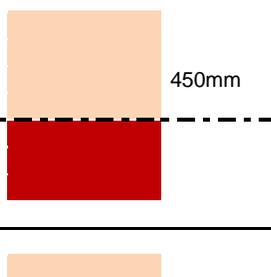
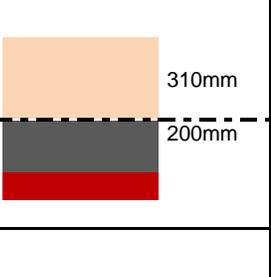
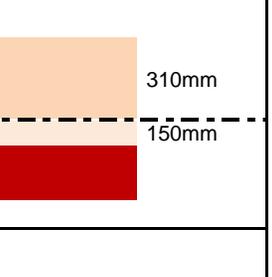
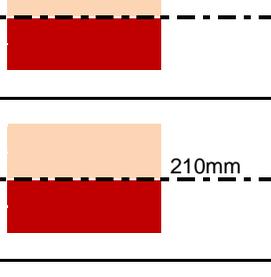
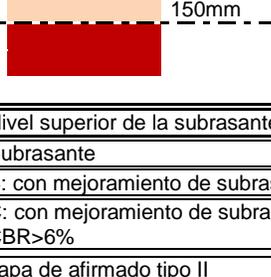
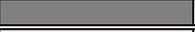
**FUENTE: MANUAL PARA EL DISEÑO DE CAMINOS NO PAVIMENTADOS DE BAJO VOLUMEN DE TRANSITO MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES REPUBLICA DEL PERÚ.**

**FIGURA 4.9 CATALOGO DE CAPAS DE REVESTIMIENTO GRANULAR PARA TRAFICO CLASE T2**

TIPO DE SUBRASANTE	CLASE DE TRAFICO T2 TPDA 51 - 100 vehículos Vehículos pesados (Buses + Camiones) carril de diseño 16 - 28 vehículos pesados Número de Repeticiones EE (Carril de Diseño) 8.2 ton 7.9E4 - 1.5 E5		
	A: subrasante sin mejoramiento, perfilada y compactada	B: con mejoramiento de subrasante, con reemplazo de material granular CBR>6%	C: con mejoramiento de subrasante, con adición de cal, cemento o químico
S0: SUBRASANTE MUY POBRE CBR< 3%	 500mm	 280mm 300mm	 280mm 200mm
S1: SUBRASANTE POBRE CBR 3%-5%	 410mm	 280mm 200mm	 280mm 150mm
S2: SUBRASANTE REGULAR CBR 6%-10%	 280mm		
S3: SUBRASANTE BUENA CBR 11%-19%	 190mm		
S4 CBR > 20%	 150mm		
	----- Nivel superior de la subrasante perfilado y compactado al 95% de MDS		
	 Subrasante		
	 B: con mejoramiento de subrasante, con reemplazo de material granular CBR>6%		
	 C: con mejoramiento de subrasante, con adición de cal, cemento o químicos para obtener CBR>6%		
	 capa de afirmado tipo II		

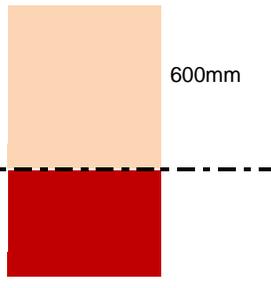
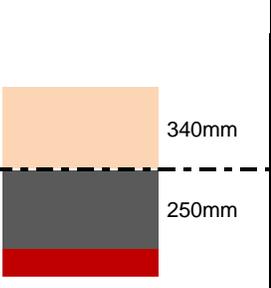
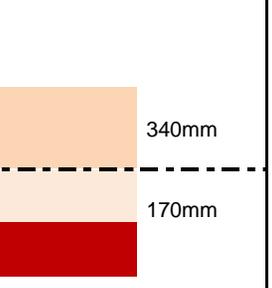
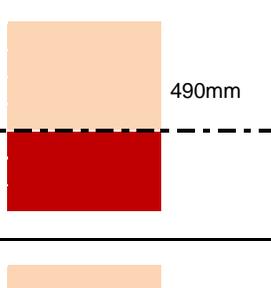
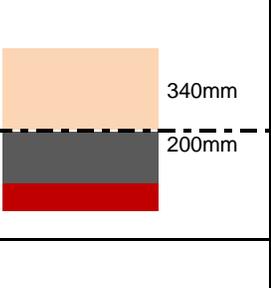
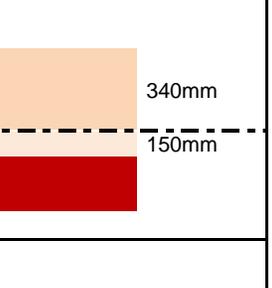
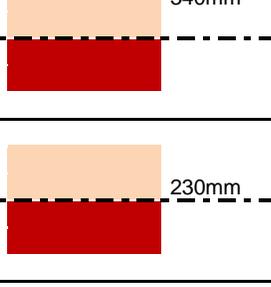
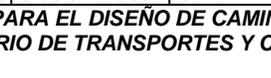
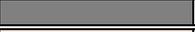
**FUENTE: MANUAL PARA EL DISEÑO DE CAMINOS NO PAVIMENTADOS DE BAJO VOLUMEN DE TRANSITO MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES REPUBLICA DEL PERÚ.**

**FIGURA 4.10 CATALOGO DE CAPAS DE REVESTIMIENTO GRANULAR PARA TRAFICO CLASE T3**

TIPO DE SUBRASANTE	CLASE DE TRAFICO T3 TPDA 101 - 200 vehículos Vehículos pesados (Buses + Camiones) carril de diseño 29 - 56 vehículos pesados Número de Repeticiones EE (Carril de Diseño) 8.2 ton 1.6E5 – 3.1E5		
	A: subrasante sin mejoramiento, perfilada y compactada	B: con mejoramiento de subrasante, con reemplazo de material granular CBR>6%	C: con mejoramiento de subrasante, con adición de cal, cemento o químico
S0: SUBRASANTE MUY POBRE CBR< 3%	 550mm	 310mm 250mm	 310mm 170mm
S1: SUBRASANTE POBRE CBR 3%-5%	 450mm	 310mm 200mm	 310mm 150mm
S2: SUBRASANTE REGULAR CBR 6%-10%	 310mm		
S3: SUBRASANTE BUENA CBR 11%-19%	 210mm		
S4 CBR > 20%	 150mm		
	----- Nivel superior de la subrasante perfilado y compactado al 95% de MDS		
	 Subrasante		
	 B: con mejoramiento de subrasante, con reemplazo de material granular CBR>6%		
	 C: con mejoramiento de subrasante, con adición de cal, cemento o químicos para obtener CBR>6%		
	 capa de afirmado tipo II		

**FUENTE: MANUAL PARA EL DISEÑO DE CAMINOS NO PAVIMENTADOS DE BAJO VOLUMEN DE TRANSITO MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES REPUBLICA DEL PERÚ.**

**FIGURA 4.11 CATALOGO DE CAPAS DE REVESTIMIENTO GRANULAR PARA TRAFICO CLASE T4**

TIPO DE SUBRASANTE	CLASE DE TRAFICO T4 TPDA 201 - 400 vehículos Vehículos pesados (Buses + Camiones) carril de diseño 57 - 112 vehículos pesados Número de Repeticiones EE (Carril de Diseño) 8.2 ton 3.1E5 – 6.1E5		
	A: subrasante sin mejoramiento, perfilada y compactada	B: con mejoramiento de subrasante, con reemplazo de material granular CBR>6%	C: con mejoramiento de subrasante, con adición de cal, cemento o químico
S0: SUBRASANTE MUY POBRE CBR< 3%	 600mm	 340mm 250mm	 340mm 170mm
S1: SUBRASANTE POBRE CBR 3%-5%	 490mm	 340mm 200mm	 340mm 150mm
S2: SUBRASANTE REGULAR CBR 6%-10%	 340mm		
S3: SUBRASANTE BUENA CBR 11%-19%	 230mm		
S4 CBR > 20%	 160mm		
	----- Nivel superior de la subrasante perfilado y compactado al 95% de MDS		
	 Subrasante		
	 B: con mejoramiento de subrasante, con reemplazo de material granular CBR>6%		
	 C: con mejoramiento de subrasante, con adición de cal, cemento o químicos para obtener CBR>6%		
	 capa de afirmado tipo II		

**FUENTE: MANUAL PARA EL DISEÑO DE CAMINOS NO PAVIMENTADOS DE BAJO VOLUMEN DE TRANSITO MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES REPUBLICA DEL PERÚ.**

## **4.3.5 TRATAMIENTOS SUPERFICIALES**

### **4.3.5.1 TRATAMIENTO SUPERFICIAL SIMPLE**

Un tratamiento superficial simple (chip seal) puede emplearse por una de varias razones:

- Como una medida provisoria, a la espera de una aplicación de mezcla asfáltica.
- Para corregir desprendimientos en la superficie y oxidación de viejos pavimentos.
- Para proveer una superficie impermeable, resistente al deslizamiento, sobre una estructura de pavimento existente.

Un tratamiento simple es particularmente adecuado para tráfico de rutina liviano y medio, como un procedimiento de mantenimiento preventivo o provisorio.

Para caminos de tráfico más intenso, debería considerarse una emulsión modificada con polímeros y un agregado de alta calidad. Los tratamientos simples pueden también ser aplicados a continuación de un sellado de fisuras. El tratamiento de superficie se aplica para resistir la acción abrasiva del tráfico.

### **4.3.5.2 TRATAMIENTOS SUPERFICIALES MULTIPLES**

Con un tratamiento superficial múltiple se puede alcanzar un espesor de entre 12 y 20 mm. Si han sido correctamente diseñados y construidos, los tratamientos superficiales dobles aproximadamente triplican la vida de servicio de un tratamiento simple con un

costo constructivo de al alrededor de un 50%. Debido a que el agregado de la segunda capa es de mayor tamaño, se minimiza, en gran medida, la pérdida de partículas del tratamiento superficial.

En los tratamientos dobles o triples, el tamaño mayor del agregado de la primera capa, define el espesor del tratamiento. Las capas siguientes sirven para llenar los vacíos en la matriz de la primera capa de agregados. El grado en que dichos vacíos son llenados determina la textura y la calidad de rodamiento del tratamiento superficial múltiple.

Podemos lograr un buen pavimento de larga vida útil, incrementando su espesor con tratamientos superficiales adicionales, sean simples o múltiples, en la medida en que las condiciones del tráfico lo exijan.

#### **4.3.5.3 CAPE SEAL.**

Un “cape seal” implica la aplicación de una lechada asfáltica (slurry seal) o de un micro-aglomerado (micro-surfacing) a un tratamiento superficial simple recientemente construido. La aplicación de la lechada asfáltica o del micro-aglomerado ayuda a llenar los vacíos entre agregados. Los Cape Seals proveen un tratamiento superficial de alta durabilidad. La lechada liga los agregados gruesos para prevenir pérdidas y los agregados gruesos impiden la excesiva abrasión del tráfico y la erosión de la lechada. Los Cape Seals se emplean a menudo debido al color del tratamiento superficial ya terminado.

#### **4.3.5.4 SELLADO DOBLE (SANDWICH SEAL)**

Un sellado doble se construye extendiendo una capa de agregado de gran tamaño de 15 a 20 mm; luego se riega con emulsión y, finalmente se aplica una capa de agregado de menor tamaño de 5 a 13 mm. Normalmente, la emulsión es una versión modificada con polímeros y se aplica típicamente, en cantidad superior a la de un tratamiento superficial simple e inferior a la de uno doble. El agregado de menor tamaño traba al agregado de mayor tamaño. La aplicación del agregado de gran tamaño ayuda a superar los problemas existentes en una superficie exudada. Los agregados deben estar limpios y libres de polvo.

## **CAPITULO 5**

---

# **CONSTRUCCIÓN**

## **5.0 CONSTRUCCION**

### **5.1 ESPECIFICACIONES TECNICAS PARA LOS PROCESOS CONSTRUCTIVOS**

#### **5.1.1. EXCAVACIÓN Y TERRAPLENADO**

##### **5.1.1.1 Descripción**

Este trabajo consiste en la excavación de material y la construcción de terraplenes. Esto incluye el suministro, acarreo, acopio, colocación, desecho, formación de taludes, conformación, compactación y acabado de material de tierra y rocoso.

##### **5.1.1.2. Definiciones.**

###### **(a) Excavación.-**

La excavación consiste en lo siguiente:

###### **(1) Excavación en la Vía.**

Se refiere a todo el material excavado dentro de los límites del Derecho de Vía o dentro de las áreas de servidumbre, exceptuando la subexcavación descrita en el numeral (2) más adelante y la excavación estructural. La excavación en la vía incluye todo el material encontrado independientemente de su naturaleza o características.

###### **(2) Subexcavación.**

Se refiere al material excavado de abajo del nivel de la subrasante, en tramos de corte, o de abajo del terreno original, en tramos de terraplén. La subexcavación no incluye el trabajo requerido en cortes en roca y cortes en tierra.

### **(3) Excavación de Préstamo.**

Este es material usado en la construcción de terraplenes y es obtenido de lugares fuera del prisma de la vía. La excavación de préstamo incluye préstamo no clasificado, préstamo selecto y material selecto para la capa superior de la terracería o terraplén.

### **(b) Construcción de Terraplenes.**

La construcción de terraplenes consiste en la colocación y compactación de los materiales excavados en la vía o en bancos de préstamo. Este trabajo incluye:

- (1)** Preparación de la cimentación de terraplenes.
- (2)** Construcción del terraplén de la vía.
- (3)** Construcción de escalones (hamacas) para terraplenes a media ladera.
- (4)** Construcción de diques, rampas, promontorios y bermas.
- (5)** Rellenado de áreas subexcavadas, hoyos, fosos y otras depresiones.

### **(c) Material para Terraplenes.-**

Los materiales para la construcción de terraplenes son:

#### **(1) Roca.-**

Se entiende por roca el material que contiene 25 por ciento o más, en volumen, de pedazos de roca mayores de 100mm de diámetro.

#### **(2) Tierra.-**

Se le aplica este término al material que contiene menos del 25 por ciento, en volumen, de pedazos de roca de más de 100mm de diámetro.

**(d) Tierra Vegetal Conservada.-**

Este es material excavado y conservado de la excavación en la vía y de las áreas de la cimentación del terraplén, que es apropiado para el crecimiento de hierba, siembras de cobertura o vegetación nativa. Este material debe ser razonablemente libre de suelo duro, roca, arcilla, sustancias tóxicas, basura y otro material perjudicial.

**(e) Desperdicio.-**

Se llama así al material sobrante (o extra) del balance entre excavación y terraplenado, o material inadecuado o material de subexcavaciones que no se puede usar en otro trabajo del Proyecto.

**5.1.1.3. Requerimientos para la Construcción**

**5.1.1.3.1. Preparación para la Excavación en la Vía y la Construcción de Terraplenes.**

El área deberá ser despejada de vegetación y obstrucciones.

**5.1.1.3.2 Conservación de Tierra Vegetal.**

La tierra vegetal procedente de la excavación de la vía y de las áreas de la cimentación de los terraplenes, deberá ser conservada.

La tierra vegetal conservada será amontonada en camellones de baja altura ubicados inmediatamente más allá de los límites de redondeo de los taludes de cortes y terraplenes o en otros lugares aprobados. La tierra vegetal será separada de todo otro material excavado.

La tierra vegetal conservada será colocada sobre los taludes terminados.

#### **5.1.1.3.3 Excavación de la Vía.**

Excavar en la forma siguiente:

##### **(a) Generalidades.-**

No perturbar el material o la vegetación existentes fuera de los límites de la construcción.

El material adecuado para rellenar estructuras, acabado de la superficie de la vía, coronamiento de la terracería u otros propósitos, se deberá excavar en una secuencia que permita la colocación del material excavado directamente en su posición final o en montones para su colocación posteriormente.

Incorporar en los terraplenes solo material adecuado. Reemplazar cualquier faltante de material adecuado causado por la disposición prematura de material excavado en la vía. Desechar material inadecuado o excavado en exceso.

Al final de cada día de operaciones, se deberán conformar y compactar las áreas trabajadas para proveer drenaje y una sección transversal uniforme. Eliminar todo surco y puntos bajos que pudieran retener agua.

##### **(b) Cortes en Roca.**

La roca será volada de acuerdo con los respectivos requerimientos. Los cortes en roca serán excavados hasta 150 mm por debajo de la subrasante del Proyecto, dentro de los límites de la corona de la vía. Rellenar hasta el nivel de la subrasante con material de corona u otro material adecuado. Compactar el material de acuerdo a los requerimientos de este proceso.

**(c) Cortes en Tierra.**

Los cortes en tierra serán escarificados hasta una profundidad de 150 mm debajo de la subrasante, dentro de los límites de la corona de la vía.

**5.1.1.3.4. Subexcavación.**

Excavar el material existente dentro de los límites mostrados en los planos o designados por el Contratante. Cuando sea aplicable, tomar secciones transversales. Evitar que material inadecuado llegue a mezclarse con material de relleno. Desechar el material inadecuado. Rellene la subexcavación con material adecuado. Compacte el material.

**5.1.1.3.5 Excavación de Préstamo.**

Todo el material adecuado excavado en la vía deberá ser utilizado en la construcción de terraplenes. No deberá usar excavación de préstamo si ello va a resultar en una excavación extra en la vía; Si contraviene esta disposición, la excavación extra de préstamo que resulte, le será deducida de la cantidad total de excavación de préstamo. Deberá obtener la aprobación del banco de préstamo y desarrollar y restaurar los bancos de préstamo. No deberá excavar más allá de los límites establecidos. Cuando sea aplicable, el Contratista deberá conformar el banco de préstamo para permitir la medición exacta cuando la excavación haya sido completada.

**5.1.1.3.6 Preparación de la Cimentación para la Construcción del Terraplén.**

Se procederá en la forma siguiente:

**(a) Terraplén de menos de 1 metro de altura sobre el terreno natural.**

Desmenuzar completamente la superficie del terreno despejado hasta una profundidad mínima de 150 mm arándola o escarificándola y compactar la superficie del terreno.

**(b) Terraplén de menos de 50 cm de altura sobre una superficie de camino existente de concreto, asfáltico o de grava.**

Escarificar el camino de grava hasta una profundidad mínima de 150 mm. Escarificar o pulverizar la superficie de caminos asfálticos o de concreto hasta una profundidad de 150 mm. Y reduzca el tamaño de las partículas a menos de 150 mm, por medio de arado o escarificador para obtener un material uniforme. Compactar la superficie del terreno,

**c) Terraplén sobre terreno incapaz de soportar el equipo.**

Volcar cargas sucesivas de material para terraplén en una capa uniformemente distribuida para construir la porción más baja del terraplén. Limitar el espesor de la capa a la mínima necesaria para soportar el equipo.

**d) Terraplén sobre una pendiente mayor de 1:3 (1V/3H).**

Cortar bancos o escalones en la pendiente existente con un ancho suficiente para acomodar las operaciones de colocación, compactación y equipo, hacer los escalones a medida que se vaya colocando y compactando el terraplén en capas. Comenzar cada banco en la intersección del terreno original y el corte vertical del banco anterior.

#### **5.1.1.3.7 Construcción del Terraplén.**

Incorporar en el terraplén solamente material excavado en la vía que sea adecuado. Cuando se agote el material adecuado de la excavación en la vía, suministrar material de préstamo no clasificado para completar el terraplén. Construir el terraplén de la siguiente manera:

##### **(a) Generalidades.**

Al final de las operaciones de cada día, conformar, sellar y compactar la superficie del terraplén para que drene y quede con una sección transversal uniforme. Eliminar todo surco y puntos bajos que puedan retener agua. Durante todas las etapas de la construcción fijar rutas y distribuir la circulación del equipo de acarreo y nivelación en todo el ancho y longitud de cada capa de material. Compactar los taludes laterales del terraplén con un rodillo del tipo de impacto (apisonador) o con pasadas de un tractor. Para taludes de 1:1.75 ó más vertical, compactar los taludes a medida que progresa la construcción del terraplén.

**(b) Pedraplenes.** Colocar la roca en capas horizontales de no más de 300 mm de espesor compacto. Los materiales compuestos predominantemente de “bolones” o fragmentos de roca demasiado grandes para ser colocados en capas de 300 mm, pueden ser colocados en capas de hasta 600 mm de espesor. Los “bolones” o fragmentos de roca de sobre-tamaño se deberán incorporar en capas de 600 mm, reduciéndolos de tamaño o bien colocándolos individualmente según se indica en (c) más adelante. Las capas de roca se deberán colocar con suficiente tierra y rocas de

menor tamaño para llenar los vacíos. Construir los 300 mm superiores del pedraplén con material para corona u otro material adecuado.

**c) Construcción de Pedraplén con Fragmentos de Roca y Bolones Individuales.**

Los fragmentos de roca y bolones individuales mayores de 600 mm de diámetro, serán colocados de la siguiente forma:

- (1) Reducir los pedazos de roca a menos de 1200 mm en su dimensión más grande.
- (2) Distribuir las rocas dentro del pedraplén en forma que se produzca acuñaamiento y relleno de vacíos entre ellas con material más fino.
- (3) Compactar cada capa de acuerdo a los requerimientos de compactación.

**(d) Terraplenes.** La tierra se deberá colocar en capas horizontales que no excedan de 300 mm de espesor compacto. Los bolones y fragmentos de roca de sobre- tamaño, se deberán incorporar en las capas de 300 mm mediante reducción de tamaño o colocándolos individualmente, según se indicó antes en (c).

Compactar cada capa, antes de colocar la capa siguiente.

**(e) Terraplenes Fuera del Prisma de la Vía.-**

Cuando se coloquen terraplenes fuera de las estacas que delimitan el prisma, coloque el material en capas horizontales que no excedan 600 mm de espesor compactado. Compacte cada capa según lo establecido.

**(f) Otros Terraplenes.** Cuando se coloquen terraplenes a un lado de los bastiones o estribos de un puente, aletones, pilas o cabezales de alcantarilla, el material se deberá compactar usando métodos que eviten las presiones excesivas contra la estructura.

Cuando se coloque un material de terraplén en ambos lados de un muro de concreto o estructura de una caja, conducir las operaciones de manera que el material del terraplén compactado, esté al mismo nivel en ambos lados de la estructura. Cuando se hincen pilotes estructurales en lugares de un terraplén, limitar el tamaño máximo de partículas a 100 mm.

#### **5.1.1.3.8 Compactación.**

Compactar de la siguiente manera:

##### **(a) Pedraplén.**

El contenido de humedad del material se deberá ajustar a un valor apropiado para la compactación. Cada capa de material será compactada, a todo el ancho, de acuerdo con uno de los siguientes métodos:

Formar las contracunetas por medio de arado u otros métodos aceptables, para construir un surco continuo. Colocar todo el material excavado al lado bajo del talud de tal manera que el fondo de la contracuneta quede aproximadamente 0.50 metros debajo de la cresta del material suelto. Límpiase la contracuneta usando una pala de mano, un zanjeador u otro método apropiado. Conformar la contracuneta de manera que el flujo del agua no se desborde.

#### **5.1.1.3.9 Taludes, Conformado y Acabado.**

Antes de colocar las capas superficiales de agregados se deberán completar los taludes, cunetas, zanjas, alcantarillas, empedrados, zampeados y otras estructuras menores subterráneas. Cortar taludes, conformar y dar acabado de conformidad con lo siguiente:

**(a) Taludes.-**

Todos los taludes de tierra se deberán dejar con superficies ásperas uniformes, excepto lo que se describe en (b) más adelante, sin quiebres notables vistos desde la vía. Excepto en roca sólida, redondear las partes superior e inferior de todos los taludes, incluyendo los taludes de las cunetas y zanjas de drenaje. Redondear el material que recubre la roca sólida hasta el grado en que sea práctico. Elimine salientes en todo talud de roca. Si ocurre un deslizamiento o derrumbe en un talud de corte o terraplén, remover o reemplazar el material y reparar o restaurar todo daño sufrido por la obra. Banquear o bloquear el talud para estabilizar el deslizamiento. Reconformar el talud del corte o terraplén a una condición aceptable.

**(b) Taludes en Escalones.-**

Cuando así lo requiera el Contrato, se deberán construir escalones en los taludes de 1.3: 1 ó 1: 2. Construir los escalones de aproximadamente 50 cm de altura. Combinar los escalones en el terreno natural al final del corte. Si el talud contiene afloramientos de roca no desgarrable, combinar los escalones dentro de la roca. Remover el material suelto encontrado en el área de transición. Exceptuando la remoción de rocas grandes que puedan caer, no será requerido eliminar los salientes en los taludes de roca escalonados.

**(c) Conformación.-**

La subrasante se deberá conformar hasta dejar una superficie lisa y de acuerdo con la sección transversal requerida. Los taludes se deberán conformar siguiendo una transición gradual realizando los acomodos de taludes sin quiebres apreciables. En los

extremos de los cortes y en las intersecciones de cortes y terraplenes, acomodar los taludes en los planos horizontal y vertical a fin de fundirse el uno con el otro o con el terreno natural.

**(d) Acabado.-**

Se deberá remover todo material de más de 150mm de tamaño de la superficie de la vía. Remover todo material inestable de la superficie de la vía y reemplazarlo con material adecuado. Dar un acabado a las superficies de tierra de la vía con una tolerancia de + 15 mm y, las superficies de roca, dentro de + 30 mm de la línea y rasante estaqueadas. Acabar la sección transversal de las cunetas dentro de + 30 mm de la línea y rasante estaqueadas. Mantener un drenaje adecuado de las cunetas y zanjas.

**5.1.1.3.10 Desecho de Materiales Inadecuados o Excedentes.**

Los materiales inadecuados o excedentes serán desechados legalmente fuera del Proyecto. Cuando existe un concepto de pago por desechos, el material de desecho se deberá conformar y compactar en su sitio final de depósito (botadero). El material de desecho no se deberá mezclar con el material proveniente del abra y destronque ni con otros materiales cuya disposición no tiene pago directo.

**5.1.1.4 Aceptación.**

El material para terraplenes y tierra vegetal conservada serán evaluados visualmente de acuerdo a los requerimientos de las fuentes locales de material suministradas por el contratista y acopio y manejo de los materiales.

La excavación y construcción de terraplenes serán evaluadas visualmente y mediante mediciones y ensayos de acuerdo a los criterios ya mencionados.

La limpieza será evaluada es otro factor a evaluar y la colocación de tierra vegetal conservada.

#### **5.1.1.5 Medición**

La medición será como se indica a continuación:

##### **(a) Excavación en la Vía.**

Cuando en el Pliego de Licitación aparece el concepto de pago por excavación en la vía y no aparece el concepto de pago por construcción de terraplenes, el material excavado se medirá en metros cúbicos, en su posición original, como sigue:

##### **(1) Incluir como Excavación en la Vía los siguientes volúmenes:**

(a) Excavación en el prisma de la vía definido por las secciones típicas del Proyecto.

(b) Material rocoso excavado y removido de debajo de la subrasante en tramos de corte.

(c) Cuando no exista en el Pliego de Licitación el concepto de pago para subexcavación, se incluirán el material inadecuado extraído de debajo de la subrasante y el material inadecuado de debajo de las áreas de terraplén.

(d) Cunetas y zanjas, exceptuando las contracunetas, que son medidas bajo concepto de pago separado.

(e) Tierra vegetal conservada.

(f) Material de préstamo usado en la obra, cuando en el Pliego de Licitación no exista el concepto de pago para préstamo.

(g) Rocas sueltas dispersas removidas y colocadas en la vía según se requiera.

(h) Material conservado tomado de los montones y usado en las obras, exceptuando la tierra vegetal.

(i) Material de deslizamientos y derrumbes no atribuibles al método de operación del Contratista.

**(2)** La excavación en la Vía no deberá incluir lo siguiente:

(a) Descortezado (descapote) y otros materiales de desecho de los bancos de préstamo.

(b) Sobreexcavación en los taludes de corte en excavación en roca.

(c) Agua u otro material líquido

(d) Material usado en trabajos diferentes a los requeridos en el Contrato.

(e) Material de la capa superficial de la vía escarificado en su lugar y no removido.

(f) Material excavado al escalonar los taludes de corte.

(g) Material excavado al redondear los taludes de corte.

(h) Preparación de la cimentación para la construcción de terraplenes.

(i) Material excavado para hacer banqueos y construir terraplenes

(j) Material de deslizamientos o derrumbes atribuibles al método de operación del Contratista.

(k) Material conservado amontonado por opción del Contratista.

(l) Material excavado fuera de los límites establecidos para el talud.

**(b) Subexcavación.**

Cuando en el Pliego de Licitación aparece el concepto de pago para subexcavación, ésta será medida en metros cúbicos en su posición original.

**(c) Préstamo no Clasificado, Préstamo Selecto y Material Selecto para la Capa Superficial de la Corona de la Vía.**

Cuando en el Pliego de Licitación aparece el concepto de pago para excavación de préstamo, ya sea préstamo no clasificado, préstamo selecto y préstamo selecto para capa superficial, el volumen será medido en metros cúbicos en su posición original o en toneladas. No se medirá la excavación de préstamo cuando ésta haya sido hecha en vez de utilizar los excedentes de la excavación en la vía. Si la excavación de préstamo es medida en metros cúbicos, se tomarán las secciones transversales del terreno original después de descortezarlo o descapotarlo. Al completar la excavación y después de devolver al banco el material de desperdicio, se tomarán las secciones transversales finales antes de colocar de nuevo el material de descapote. Las secciones transversales finales serán tomadas en los mismos puntos de las originales.

**(d) Construcción de Terraplenes.**

Cuando en el Pliego de Licitación aparece el concepto de pago para la construcción de terraplenes, la medición se hará en metros cúbicos en su posición final. No se medirá la excavación en la vía, excepto según lo descrito en (3) más adelante. No se harán deducciones de la cantidad de construcción de terraplenes por el volumen ocupado por estructuras menores.

(1) Incluir en la cantidad por construcción de terraplenes, los siguientes volúmenes:

(a) Terraplenes de la vía.

(b) Material usado para rellenar áreas subexcavadas, hoyos, fosos y otras depresiones.

(c) Material usado para restaurar -a su relieve original- caminos o calles que estaban abandonados.

(d) Material usado en diques, rampas, promontorios y bermas.

**(2)** No incluir en el volumen de construcción de terraplenes, los siguientes:

(a) Volúmenes de preparación de cimentaciones para la construcción de terraplenes.

(b) Ajustes por asentamiento del terraplén o de la cimentación sobre la cual está colocado.

(c) Material usado para redondear los taludes del relleno.

**(3)** Cuando en el Pliego de Licitación aparecen conceptos de pago para construcción de terraplenes y de excavación en la vía, medir la excavación en la vía en metros cúbicos en su posición original e incluir solamente los siguientes volúmenes:

(a) Material inadecuado subexcavado en cortes y material inadecuado extraído de debajo de los terraplenes, cuando en el Pliego de Licitación no existe concepto de pago para subexcavación.

(b) Material de deslizamientos y derrumbes no atribuibles al método de las operaciones del Contratista.

(c) Zanjas de drenaje, cambios de canal y zanjas de desviación.

**(e) Contracunetas.** Las contracunetas se medirán en metros lineales.

**(f) Redondeo de los Taludes de Corte.**

El redondeo de los taludes de corte se medirá en metros lineales horizontalmente a lo largo de la vía y a cada lado de la misma.

**(g) Desecho.**

Medir el desecho o desperdicio en metros cúbicos en su posición final.

Medir las secciones transversales iniciales de la superficie del terreno después de descapotar el área. Al concluirse la colocación del material de desecho tomar de nuevo las secciones transversales antes de volver a colocar el material de descapote. Las secciones transversales serán tomadas usando los mismos puntos antes y después.

**(h) Descamado de taludes.**

El descamado de taludes se medirá en metros cúbicos en los vehículos de acarreo.

**5.1.1.6 CONFORMACIÓN DE LA SUBRASANTE**

**5.1.1.6.1 Descripción**

Este trabajo consiste en la conformación de la subrasante, dentro de las tolerancias especificadas de alineación y niveles.

**5.1.1.6.2 Requerimientos para la construcción**

**a) Preparación de la Calzada.**

Limpie el área de vegetación y obstrucciones.

**b) Excavación y Relleno.**

Conforme la subrasante de base según los requerimientos aplicables de la Sección 5.1.1, excepto lo que se modifica aquí.

Ajuste el contenido de humedad del material de relleno para obtener una compactación adecuada. Coloque el material de relleno en capas de 300 mm y compacte cada capa de acuerdo a lo requerido en la Subsección 5.1.1.3.8 (a). Cuando los rodillos de compactación no son prácticos, use equipo de compactación mecánicos o vibratorios aprobados.

Construya los accesos y conexiones con carreteras o caminos existentes, áreas de estacionamiento y senderos. Construya todos los accesos nuevos.

### **c) Tolerancia de la Calzada.**

No debe invadir los canales de conducción de aguas, o los acuíferos, o extenderse fuera del derecho de vía o servidumbres. No debe ajustar la pendiente de la calzada de tal forma que afecte los drenajes. Construya la calzada de acuerdo a las siguientes tolerancias:

#### **1) Alineamiento horizontal.**

- La línea central no debe desviarse más de tres metros a la izquierda o a la derecha del centro de la explanación.
- Los radios de curvatura pueden reducirse o aumentarse en un 50 %. No deben construirse curvas con radios menores de 30 metros. Son permitidas curvas compuestas.

#### **2) Pendiente vertical.**

El perfil de la rasante podrá variarse un máximo de 1.50 metros hacia arriba o hacia debajo de la elevación de la explanación de la calzada existente y la nueva pendiente en tangente, no puede variar más del 2% de la pendiente existente.

Revise la conexión hacia delante y hacia atrás de la pendiente con la pendiente uniforme de la curva vertical diseñada.

#### **5.1.1.6.3 Aceptación.**

La explanada de la calzada debe evaluarse de acuerdo a la limpieza y desmontaje y a la eliminación de estructuras, servicios existentes y obstáculos.

#### **5.1.1.6.4 Medición**

La medida de la calzada nivelada se pagará por kilómetro de acuerdo al alineamiento aprobado.

### **5.1.2 AFIRMADOS**

#### **5.1.2.1 Descripción**

Esta especificación presenta las disposiciones que son generales a los trabajos sobre afirmados, macadam granular, suelos estabilizados y otras superficies de rodadura.

#### **5.1.2.2 Materiales y su estabilización**

La clasificación de los suelos se efectuará bajo el sistema AASHTO que ha sido concebido para estudios de carreteras. En los siguientes cuadros se presenta la clasificación de suelos según AASHTO y luego su correlación con la clasificación unificada de suelos SUCS.

Esta clasificación permite predecir con exactitud suficiente el comportamiento de los suelos para los fines prácticos de identificar a lo largo de la carretera los sectores homogéneos desde el punto de vista geotécnico.

Para la construcción de afirmados, macadam granular, suelos estabilizados, empedrados y la capa de asiento (arena) del adoquinado, los materiales deberán corresponder a agregados naturales procedentes de excedentes de excavaciones o canteras, aprobados por el supervisor, o podrán provenir de la trituración de rocas y gravas o podrán estar constituidos por una mezcla de productos de ambas procedencias.

Las partículas de los agregados serán duras, resistentes y durables, sin exceso de partículas planas, blandas o desintegrables y sin materia orgánica, terrones de arcilla u otras sustancias perjudiciales. Sus requerimientos de limpieza dependerán del uso que se vaya a dar al material.

Los requisitos de calidad que deben cumplir los diferentes materiales y los requisitos granulométricos se presentan en la especificación respectiva (TABLA 2.11).

Para el traslado del material al lugar de obra para conformar las capas de afirmado, empedrados y capa de asiento del adoquinado, se deberá humedecer adecuadamente los materiales y cubrirlos con una lona para evitar emisiones de polvo fino, que afecte a los trabajadores y poblaciones aledañas de males alérgicos, respiratorios y oculares.

Los montículos de material almacenados temporalmente en las canteras y plantas se cubrirán con plásticos impermeables para evitar el arrastre de partículas a la atmósfera y a cuerpos de agua cercanos y para protegerlos de excesiva humedad cuando llueve.

La estabilización del suelo permitirá mejorar su calidad para formar parte de la estructura de la carretera incluyendo métodos de gradación o granulometría, reducción del índice de plasticidad o del potencial de expansión y aumento de la durabilidad y resistencia. Para la selección del estabilizador, debe considerarse el tipo de suelo que se estabilizará, el propósito para el cual la capa estabilizada será utilizada, el tipo de mejora de calidad del suelo deseado, la resistencia y la durabilidad requerida de la capa estabilizada, las condiciones del costo y las características ambientales y del clima.

En la tabla 5.1 se presenta una guía referencial para la selección el tipo de aditivo estabilizador, que satisface las restricciones y observaciones de cada tipo de suelo.

### **5.1.2.3 Equipo**

Todos los equipos deberán ser compatibles con los procedimientos de construcción adoptados y requieren la aprobación previa del supervisor, teniendo en cuenta que su capacidad y eficiencia se ajusten al programa de ejecución de las obras y al cumplimiento de las exigencias de del desarrollo y progresión de la obra y de la correspondiente partida de trabajo.

El equipo será el más adecuado y apropiado para la explotación de los materiales, su clasificación, trituración de ser requerido, lavado de ser necesario, equipo de carga, descarga, transporte, extendido, mezcla, homogeneización, humedecimiento y compactación del material, así como herramientas menores.

#### **5.1.2.4 Explotación de materiales y elaboración de agregados**

Las fuentes de materiales, así como los procedimientos y equipos utilizados para la explotación de aquellas y para la elaboración de los agregados requeridos, deberán tener aprobación previa del supervisor, la cual no implica necesariamente la aceptación posterior de los agregados que suministre o elabore de tales fuentes, ni lo exime de la responsabilidad de cumplir con todos los requisitos de cada especificación.

Se deberá evaluar las canteras establecidas, el volumen total a extraer de cada cantera, asimismo estimar la superficie que será explotada y proceder al estacado de los límites, para solicitar la respectiva licencia de explotación.

Los procedimientos y equipos de explotación, clasificación, trituración, lavado y el sistema de almacenamiento, deberán garantizar el suministro de un producto de características uniformes.

Todos los trabajos de clasificación de agregados y, en especial, la separación de partículas de tamaño mayor que el máximo especificado para cada gradación, se deberán efectuar en el sitio de explotación o elaboración, distinta a la vía, salvo aprobación del supervisor.

Luego de la explotación de canteras, se deberá readecuar de acuerdo a la morfología de la zona, ya sea con cobertura vegetal o con otras obras para recuperar las características de la zona antes de su uso.

Los suelos orgánicos existentes en la capa superior de las canteras deberán ser conservados para la posterior recuperación de las excavaciones y de la vegetación nativa. Al abandonar las canteras, el contratista remodelará el terreno para recuperar las características hidrológicas superficiales de ellas, teniendo en consideración lo indicado con términos referenciales a la protección ambiental.

En los casos que el material proceda de lechos de río, el contratista deberá contar previamente al inicio de su explotación con los permisos respectivos. Así también, el material superficial removido debe ser almacenado para ser reutilizado posteriormente para la readecuación del área de préstamo. La explotación del material se realizará fuera del nivel del agua y sobre las playas del lecho, para evitar la remoción de material que generaría aumento en la turbiedad del agua.

La explotación de los materiales de río debe localizarse aguas abajo de los puentes y de captaciones para acueductos, considerando todo los detalles descritos en el plan de manejo ambiental.

Si la explotación es dentro del cauce de río, esta no debe tener más de un 1.5 m de profundidad, evitando hondonadas y cambios morfológicos del río. Esta labor debe realizarse en los sectores de playa más anchas utilizando toda la extensión de la misma. Paralelamente, se debe ir protegiendo los márgenes del río, a fin de evitar desbordes en épocas de creciente.

Al concluir con la explotación de las canteras de río se debe efectuar la recomposición total del área afectada, no debiendo quedar hondonadas, que produzcan empozamientos del agua y, por ende, la creación de un medio que facilite la aparición de enfermedades transmisibles o que, en épocas de crecidas, pueda ocasionar fuertes desviaciones de la corriente y crear erosión lateral de los taludes del cauce.

Se deberán establecer controles para la protección de taludes y humedecer el área de operación o patio de carga a fin de evitar la emisión de material fino durante la explotación de materiales. Se aprovecharán los materiales de corte, si la calidad del material lo permite, para realizar rellenos o como fuentes de materiales constructivos.

Esto evitará la necesidad de explotar nuevas canteras y permitirá disminuir los costos ambientales.

Los desechos de los cortes no podrán ser dispuestos a media ladera, salvo aprobación del supervisor ni arrojados a los cursos de agua. Deberán ser colocados en el lugar de disposición de materiales excedentes o reutilizados para la readecuación de la zona afectada.

Para mantener la estabilidad del macizo rocoso y salvaguardar la integridad física de las personas no se permitirán alturas de taludes superiores a los diez (10) metros, sin escalonamientos.

Se debe presentar un registro de control, de las cantidades extraídas de la cantera, al supervisor para evitar la sobre explotación. La extracción por sobre las cantidades máximas de explotación se realizará únicamente con autorización.

El material no seleccionado para el empleo en la construcción de la carretera, deberá ser apilado convenientemente a fin de ser utilizado posteriormente en el nivelado del área que lo requiera, según sea aprobado.

#### **5.1.2.5 Planta de trituración**

La planta de trituración se debe instalar y ubicar en el lugar que cause el menor daño posible al medio ambiente y debe estar dotada de filtros, pozas de sedimentación y captadores de polvo u otros aditamentos necesarios a fin de evitar la contaminación de aguas, suelos, vegetación, poblaciones aledañas, etc. por causa de su funcionamiento.

La instalación de la planta de trituración requiere un terreno adecuado para ubicar los equipos, establecer patios de materias primas, así como las casetas para oficinas y administración.

La planta de trituración debe estar ubicada a suficiente distancia de las viviendas a fin de evitar cualquier afectación que pudieran sufrir por impacto de contaminaciones, ruidos, riesgos operativos, gases de combustión, vibraciones, contaminación de fuentes de agua, etc.

Si el lugar de ubicación es propiedad de particulares, se deberá contar con los permisos por escrito del dueño o de su representante legal. Los operadores y trabajadores que están más expuestos al ruido y las partículas generados, principalmente por la acción mecánica de las trituradoras y la tamizadora, deben estar dotados con gafas, tapa oídos, tapabocas, ropa de trabajo, casco, guantes, botas y otros que sean necesarios.

Dependiendo de la dirección y velocidad del viento, las fajas transportadoras deben ser cubiertas con mangas de tela a fin de evitar la dispersión de estas partículas al medio ambiente.

Se deben instalar campanas de aislamiento acústico sobre los sitios de generación de ruido a fin de disminuir este efecto y la emisión de partículas finas. Si es necesario se debe instalar un sistema de recirculación en el interior de las campanas, a baja velocidad. El volumen de aire dependerá de la capacidad de la planta y de las características del material.

En épocas secas, se deben mantener húmeda las zonas de circulación vehicular, principalmente aquellas de alto tráfico.

Al finalizar el funcionamiento de la planta de trituración, se debe proceder a la recomposición total del área afectada recuperando en lo posible su fisonomía natural. Todas las construcciones que han sido hechas para el funcionamiento de la planta

tritadora deberán ser demolidas y trasladadas a los lugares de disposición final de materiales excedentes.

#### **5.1.2.6 Transporte de suelos y agregados**

Los materiales se trasportarán a la vía protegidos con lonas u otros cobertores adecuados, asegurados a la carrocería y humedecidos para impedir que parte del material caiga o se disperse sobre las vías por donde transitan los vehículos.

#### **5.1.2.7 Tramos de prueba para afirmados, macadam granular, empedrados y suelos estabilizados**

Antes de iniciar los trabajos, emprenderá una fase de ejecución de tramos de prueba para verificar el estado y comportamiento de los equipos y determinar, en secciones de ensayo, el método definitivo de preparación, transporte, colocación y compactación de los materiales, de manera que se cumplan los requisitos de cada especificación.

Para tal efecto, construirá uno o varios tramos de prueba de ancho y longitud, en zonas definidas de común acuerdo con el supervisor y en ellas se probará el equipo y el plan de compactación.

El supervisor tomará muestras de la capa en cada caso y las ensayará para determinar su conformidad con las condiciones especificadas de densidad, granulometría y demás requisitos.

En el caso de que los ensayos indiquen que el afirmado, macadam granular, empedrados, adoquinados o suelo estabilizado, no se ajusta a dichas condiciones, el

contratista deberá efectuar inmediatamente las correcciones requeridas a los sistemas de preparación, extensión y compactación, hasta que ellos resulten satisfactorios, debiendo repetirse los tramos de prueba cuantas veces sea necesario. Sí el tramo de prueba defectuoso ha sido efectuado sobre un sector de la carretera proyectado, todo el material colocado será totalmente removido y transportado al lugar autorizado de disposición final de materiales excedentes, a costo del contratista.

#### **5.1.2.8 Acopio de los materiales**

Los agregados para afirmados, macadam granular, empedrados y arena para la capa base de los adoquinados, deberán acopiarse cubriéndolos con plásticos o con una lona para evitar que el material fino sea dispersado por el viento y contamine la atmósfera, la agricultura y cuerpos de agua cercanos. Además, ello evitará que el material se contamine con otros materiales o sufra alteraciones por factores climáticos o sufran daños o transformaciones perjudiciales.

Cada agregado diferente deberá acopiarse por separado, para evitar cambios en su granulometría original. Los últimos quince centímetros (15 cm) de cada acopio que se encuentren en contacto con la superficie natural del terreno no deberán ser utilizados, a menos que se hayan colocado sobre éste lonas que prevengan la contaminación del material de acopio.

#### **5.1.2.9 Aceptación de los trabajos**

##### **(a) Controles**

Durante la ejecución de los trabajos, el supervisor efectuará los siguientes controles principales:

- Verificar la implementación para cada fase de los trabajos de mantenimiento de tránsito y seguridad vial durante la ejecución de la obra.
- Verificar el estado y funcionamiento de todo el equipo empleado por el contratista.
- Comprobar que los materiales cumplan con los requisitos de calidad antes descritos.
- Supervisar la correcta aplicación del método de trabajo aceptado como resultado de los tramos de prueba en el caso de afirmados, macadam granular, empedrados, adoquinados y suelos estabilizados.
- Ejecutar ensayos de compactación.
- Verificar la densidad de las capas compactadas efectuando la corrección previa por partículas extra dimensionales, siempre que ello sea necesario. Este control se realizará en el espesor de capa realmente construido de acuerdo con el proceso constructivo a ser aplicado.
- Tomar medidas para determinar espesores, levantar perfiles y comprobar la uniformidad de la superficie.
- Vigilar la regularidad en la producción de los agregados de acuerdo con los programas de trabajo.
- Vigilar la ejecución de las consideraciones ambientales para la ejecución de obras de afirmados, macadam granular, empedrados, adoquinados y suelos estabilizados.

**(b) Condiciones específicas para el recibo y tolerancias**

Tanto las condiciones de recibo como las tolerancias para las obras ejecutadas, se indican en las especificaciones correspondientes. Todos los ensayos y mediciones requeridos para el recibo de los trabajos especificados, estarán a cargo del supervisor.

Aquellas áreas donde los defectos de calidad y las irregularidades excedan las tolerancias, deberán ser corregidas por el contratista, a su costo, hasta cumplir lo especificado.

#### **5.1.2.10 Medición**

##### **Construcción de afirmados, macadam granular, empedrados y suelos estabilizados**

La unidad de medida será el metro cúbico ( $m^3$ ), aproximado al entero, de material o mezcla suministrado, colocado y compactado, aprobado por el supervisor, de acuerdo con lo que exija la especificación respectiva, las dimensiones que se indican en el proyecto.

El volumen se determinará por el sistema promedio de áreas extremas, utilizando las secciones transversales y la longitud real, medida a lo largo del eje del proyecto.

No se medirán cantidades en exceso de las especificadas, ni fuera de las dimensiones de los planos y del proyecto, especialmente cuando ellas se produzcan por sobre excavaciones de la subrasante, por parte del contratista.

#### **5.1.2.11 Ejecución de bacheos con materiales granulares de afirmado**

La unidad de medida será el metro cúbico ( $m^3$ ), aproximado al entero, de bacheo con material de afirmado, según el caso, ejecutado de acuerdo con el proyecto y con lo exigido en la especificación respectiva (tabla 5.2)

**TABLA 5.1 SELECCIÓN DEL TIPO DE ESTABILIZADOR**

CLASE DE SUELO	TIPO DE ESTABILIZADOR RECOMENDADO	RESTRICCIÓN EN LL Y IP DEL SUELO	RESTRICCIÓN EN PORCENTAJE QUE PASA LA MALLA N° 200	OBSERVACIONES
SW-SP	(1) Asfalto			
	(2) Cemento Portland			
	(3) Cal-Cemento-cenizas volantes	IP no excede de 25		
SW-SM SP-SM SW-SC SP-PC	(1) Asfalto	IP no excede de 10		
	(2) Cemento Portland	IP no excede de 30		
	(3) Cal	IP no excede de 12		
	(4) Cal-Cemento-cenizas volantes	IP no excede de 25		
SM-SC SM-SC	(1) Asfalto	IP no excede de 10	No debe exceder el 30% en peso	
	(2) Cemento Portland	(b)		
	(3) Cal	IP no excede de 12		
	(4) Cal-Cemento-cenizas volantes	IP no excede de 25		
GW-GP	(1) Asfalto			Solamente material bien graduado
	(2) Cemento Portland			El material deberá contener cuando menos 45% en peso del material que pasa la malla N° 4
	(3) Cal-Cemento-cenizas volantes	IP no excede de 25		
GW-GM GP-GM GW-GC GP-GC	(1) Asfalto	IP no excede de 10	No debe exceder el 30% en peso	Solamente material bien graduado
	(2) Cemento Portland	IP no excede de 30		El material deberá contener cuando menos 45% en peso del material que pasa la malla N° 4
	(3) Cal	IP no excede de 12		
	(4) Cal-Cemento-cenizas volantes	IP no excede de 25		

CLASE DE SUELO	TIPO DE ESTABILIZADOR RECOMENDADO		RESTRICCIÓN EN LL Y IP DEL SUELO	RESTRICCIÓN EN PORCENTAJE QUE PASA LA MALLA N° 200	OBSERVACIONES
GM-GC GM-GC	(1)	Asfalto	IP no excede de 10		Solamente material bien graduado
	(2)	Cemento Portland	(B)		El material deberá contener cuando menos 45% en peso del material que pasa la malla N° 4
	(3)	Cal	IP no excede de 12		
	(4)	Cal-Cemento-cenizas volantes	IP no excede de 25		
CH-OL MH-ML OH-OL ML-CL	(1)	Cemento Portland	LL no menos de 40		Suelos orgánicos y fuertemente ácidos contenidos en esta área no son susceptibles a la estabilización por métodos ordinarios.
			IP no menor de 20		
	(2)	Cal	IP no menor de 12		
IP = índice de plasticidad (b) IP = 20 + (50% porcentaje que pasa la malla N° 200) / 4			Sin restricción u observación. No es necesario aditivo estabilizador		Referencia: US Army Corps of engineer

FUENTE: ESPECIFICACIONES PARA LA CONSTRUCCION DE CAMINOS DE BAJA INTENSIDAD DE TRANSITO MINISTERIO DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES REPUBLICA DEL PERÚ.

### 5.1.3 SUBBASE O BASE GRANULAR

#### 5.1.3.1 Descripción

Este trabajo consiste en la construcción de una subbase o base granular sobre una fundación ya preparada, de acuerdo con estas especificaciones y en conformidad con el trazado, rasante, espesor y secciones transversales típicas indicadas en los planos o establecidos por el Contratante. La graduación de los agregados de la subbase y base se muestran en la Tabla 5.2

**TABLA 5. 2 Cantidades de sustancias deletéreas o perjudiciales permisibles en el agregado fino**

	<b>Clase A % en peso</b>	<b>Clase B % en peso</b>
Partículas desmenuzables y terrones de arcillas	<3%	<3%
Carbón y lignito	<.25%	<1%
Finos que pasan la N° 200		
En concreto sujeto a abrasión	< 2%	<4%
En otras clases de concreto	<3%	<5%
Otras sustancias perjudiciales	<1%	<1%

**FUENTE: Manual Centroamericano de Especificaciones para la Construcción de Carreteras y Puentes Regionales.**

La aceptación del trabajo se basará en el examen de muestras al azar tomadas a la salida de la mezcladora, en el caso del método de mezcla estacionaria, o del caballete en el camino luego de ser procesado, en el caso del método de mezcla en camino.

Las calidades exigidas deberán cumplirse una vez colocados los materiales en obra, cuando ya han sufrido la abrasión y consecuentemente el desgaste del equipo.

Los procedimientos y equipo de explotación, clasificación, trituración y eventual lavado, así como la forma de almacenamiento, deben permitir la entrega de un producto de características uniformes. El Contratista estará obligado a cumplir con estos requisitos.

### 5.1.3.2 Requerimientos para la construcción

La subbase se debe colocar sobre la subrasante aceptada, previamente preparada, compactada y reacondicionada. La base se debe colocar sobre la subbase, previamente preparada, compactada y aceptada de acuerdo a estas especificaciones.

Para la aceptación de los agregados de subbase y base, se deben muestrear los apilamientos respectivos y entregar al Contratante una muestra representativa de por lo menos 150 kg, 15 días antes de la colocación de cada capa.

Los rangos de graduación se muestran en las tablas 5.5 y 5.3

**TABLA 5.3 CANTIDADES DE SUSTANCIAS DELETÉREAS O PERJUDICIALES PERMISIBLES EN EL AGREGADO GRUESO**

Clase	Partículas desmenuzables y terrones de arcilla	Carbón y lignito	Finos que pasan la malla N° 200	Desgaste de los Ángeles
A	2.0%	0.50%	1%	50%
B	3.0%	0.50%	1%	50%
C	5.0%	0.50%	1%	50%
D	5.0%	0.50%	1%	50%
E	10%	0.50%	1%	50%

FUENTE: Manual Centroamericano de Especificaciones para la Construcción de Carreteras y Puentes Regionales.

**Colocación y Tendido.** Se debe determinar previamente el contenido de humedad óptimo, de acuerdo a la prueba AASHTO T-180, método D, ajustando la humedad de la mezcla a su contenido óptimo con una aproximación del 2%.

Las capas no deberán exceder 200 mm de espesor compactado. Cuando sea necesario colocar más de una capa, se debe proceder de acuerdo con la Subsección de Conformación y compactación.

El material de subbase o base será colocado mediante una distribuidora mecánica capaz de obtener el material en una superficie uniforme, sin provocar segregación.

#### **5.1.3.3 Conformación y compactación.**

El agregado deberá ser conformado ajustándose al alineamiento y secciones típicas requeridas.

La compactación continuará hasta obtener una densidad no menor que el 95% de la densidad máxima determinada por la norma AASHTO T-180, método D.

La superficie deberá ser mantenida durante la operación de compactación con una textura uniforme, y de modo que los agregados permanezcan firmemente trabados. El agua deberá aplicarse sobre los materiales de la base o subbase durante la compactación cuando sea necesario para una consolidación adecuada.

La densidad en sitio, será determinada utilizando AASHTO T-238 y T-239 u otros métodos aprobados.

La compactación de la base o subbase deberá comenzar en los bordes y avanzar hacia el centro, con excepción de las curvas con superelevación, donde la compactación comenzará en el borde interno de la curva y avanzará hacia el borde superior.

#### **5.1.3.4 Tolerancia superficial.**

El acabado de la superficie será de forma tal que las desviaciones no excedan de 12 mm, controlado en forma longitudinal o transversal, medido por medio de un escantillón de 3 m de largo entre dos puntos de contacto. Los defectos se corregirán adicionando o raspando y compactando.

**(a) Ancho.** No se admitirá ninguna sección de sub-base o base cuyo ancho no iguale la dimensión indicada en los planos o establecida por el Contratante.

**(b) Espesor.** No se admitirá en ninguna parte que el espesor sea menor que el indicado en el proyecto o establecido por el Contratante.

**5.1.3.5 Mantenimiento.** Las capas deben mantenerse con el alineamiento correcto, gradiente, sección transversal y acabado, corrigiendo los defectos que ocurran por efecto del agua, huellas, baches, grietas, laminación etc. Los defectos se corregirán de acuerdo con la tolerancia superficial.

**5.1.3.6 Aceptación.** Para la aceptación de los agregados, deben evaluarse: el índice de plasticidad, la dureza, la durabilidad y la graduación. Se deben cumplir las propiedades de calidad.

**(a) Graduación de los agregados.** Las desviaciones de tolerancia permisibles en la granulometría, deben conservarse dentro de los límites permisibles mostrados en las Tablas 5.3 y 5.4.

**(b) Índice de plasticidad.** Los límites de plasticidad para agregados de capas superficiales se muestran en la Tabla 5.4

(c) La preparación de la superficie donde se colocará la capa de agregados debe evaluarse de acuerdo a las fuentes locales de materiales y al manejo y acopio de los mismos.

#### **5.1.3.7 Medición**

La subbase o base granular será medida en toneladas métricas o metros cúbicos medidos en vagoneta, o en metros cuadrados en terreno según lo establecido en el contrato. En el caso que el pago se realice por peso, se restará el peso del agua de humedad contenida.

#### **5.1.4. TRATAMIENTOS SUPERFICIALES ASFALTICOS**

##### **Requisitos para la construcción**

##### **Composición de la mezcla asfáltica (dosificación de diseño).**

Para tratamientos superficiales, se deberá suministrar la siguiente información, junto con muestras de los materiales; para la consideración de su aprobación, con una anticipación de 21 días al inicio de las obras.

##### **(a) Agregados.**

35 kg de cada apilamiento a utilizar y la granulometría correspondiente a cada uno.

##### **(b) Graduación de diseño.**

Se debe suministrar la dosificación porcentual de cada apilamiento a ser utilizado, así como la granulometría de diseño correspondiente (porcentajes pasando cada tamiz especificado).

##### **(c) Ligante asfáltico.**

2 litros de asfalto del mismo origen, tipo y grado que el utilizado en la construcción del tratamiento superficial.

##### **(d) Temperatura de aplicación del ligante asfáltico.**

Deberá reportarse, y ser a acorde con la Especificaciones de aceptación para cementos asfálticos

## **Equipamiento.**

Deberá disponerse del siguiente equipamiento para las obras:

### **(a) Distribuidor de asfalto.**

- (1) Capaz de calentar de manera uniforme el ligante asfáltico del tipo y grado a utilizar en las obras.
- (2) Barra de aplicación por rocío ajustable, con un ancho de 4 a 6 metros.
- (3) Sistema de control, incluyendo tacómetro, medidor de presión de rocío, indicador de volumen, o tanque calibrado capaz de distribuir el ligante asfáltico uniformemente sobre el ancho total de aplicación, con precisión de +/- 0.08 litros por metro cuadrado, respecto al contenido de ligante asfáltico de la dosificación de diseño.
- (4) Termómetro en el tanque.

### **(b) Barredora autopropulsada.**

### **(c) Compactadores de llantas de hule.**

- (1) Ancho mínimo de compactación de 1.5 metros.
- (2) Presión mínima de contacto de 550 kPa.

### **(d) Distribuidor de agregado.**

- (1) Autopropulsado.
- (2) Mínimo de 4 llantas de hule, en dos ejes.

**(3)** Sistema de control que permita depositar el agregado de manera uniforme sobre el ancho total de la aplicación, con una precisión de +/- 10 % del peso a aplicar según dosificación de diseño.

**(e) Otros equipos.**

Otros equipos de desempeño comprobado, que pueden incorporarse a las obras en lugar de los equipos específicos descritos. Corresponderá al Contratante definir cuáles son estos equipos.

**Preparación de la superficie.**

Se preparará la superficie de acuerdo con los requerimientos de acabado de la superficie.

**Limitaciones ambientales.**

El tratamiento superficial podrá ser aplicado cuando la temperatura del aire, en la sombra, y la temperatura de la superficie de la capa de apoyo sean, ambas, de al menos 16°C y con tendencia a incrementarse; y cuando el ambiente no esté lluvioso ni con neblina.

**Requisitos de pre-construcción.**

El inicio de las labores de construcción se deberá notificar con una anticipación de siete días.

Adicionalmente, se requerirá el aviso previo de siete días cuando se esté reanudando la construcción luego de ser interrumpida por aplicaciones de tratamientos superficiales no conformes.

En el primer día de construcción, se colocará un tramo de prueba de 150 m, en el ancho de un carril. Se deberán utilizar, para tales efectos, los materiales, porcentajes de dosificación, equipos de colocación y técnicas de compactación que se aplicarán en el resto de la construcción del tratamiento superficial. Se terminarán las obras del primer día cuando se concluya el tramo de prueba. El tramo de prueba será sujeto de la evaluación del cumplimiento a las especificaciones aplicables.

Tramos de prueba en cumplimiento con las especificaciones aplicables serán aceptados como parte de los trabajos terminados. Se construirán cuantos tramos de control se requieran hasta lograr el cumplimiento de las especificaciones para el tratamiento experimental terminado. Tramos de prueba no conformes con los requisitos de aceptación serán removidos y reemplazados o costo del contratista.

#### **Aplicación del ligante asfáltico.**

Se calibrará la barra de aplicación por rocío ajustable: altura, ángulo de boquillas y presión de bombeo, y se verificarán semanalmente las tasas de aplicación longitudinal y transversal, de acuerdo con ASTM D-2995.

Se protegerán las superficies en la vía que requieran protección durante el rocío de ligante asfáltico. Se colocará papel protector en la superficie de trabajo a lo largo de una distancia suficiente, al inicio y fin de la aplicación, de manera que, en cada aplicación, el flujo de rocío de ligante asfáltico se inicie y detenga en el papel protector. Cualquier trabajo previo a la aplicación y cambios de dosificación deberán ser aprobados por el Contratante.

Se aplicará el ligante asfáltico con el distribuidor de ligante asfáltico; aplicando la dosificación de diseño aprobada por el Contratante. Deberá tenerse el cuidado de no

aplicar exceso de ligante asfáltico en las juntas entre diferentes colocaciones de tratamiento superficial. Durante la construcción se deberán hacer las correcciones correspondientes en zonas con deficiencias.

Los residuos de papel u otros materiales que no forman parte del acabado final deberán disponerse en una forma aprobada por el Contratante.

### **Aplicación de agregado.**

Cuando se aplique asfalto emulsificado, se deberá humedecer el agregado para remover el polvo adherido. Cualquier trabajo previo a la aplicación y cambios de dosificación deberán ser aprobados por el Contratante.

Se aplicará el agregado uniformemente con un distribuidor de agregado, inmediatamente después de que el ligante asfáltico es aplicado de acuerdo con la dosificación de diseño. Se deberá operar el distribuidor de agregado de manera que el ligante asfáltico sea cubierto con el agregado antes de que las llantas del distribuidor le pasen por encima. Cuando se esté aplicando el tratamiento superficial sobre únicamente una parte del ancho de calzada se deberá dejar una franja de 150 mm de ligante asfáltico sin aplicación de agregado, para permitir el traslape de ligante asfáltico en posteriores aplicaciones adyacentes.

Se deberán corregir excesos y deficiencias por barrido, o por la adición o remoción de agregado, hasta lograr textura uniforme en la superficie del tratamiento superficial. Tales prácticas podrán ser manuales en áreas no accesibles al equipo de barrido autopropulsado.

La primera pasada del compactador tiene como propósito asentar el agregado inmediatamente después de distribuido. Se operarán los compactadores a velocidades iguales o inferiores a 10 km / h.

#### **5.1.4.1 Tratamientos superficiales simples.**

Un tratamiento superficial simple consiste en una aplicación de ligante asfáltico en una superficie asfáltica, seguida inmediatamente después por una aplicación simple y uniforme de agregado.

Se determinarán las dosis de diseño con base en la evaluación de tramos de Prueba limitar la velocidad de tránsito Durante los 45 minutos posteriores a la compactación, se deberá limitar la velocidad de tránsito a 15 km / h. Durante las 24 horas posteriores se deberá limitar la velocidad de tránsito a 30 km / h.

La mañana posterior a la construcción se deberá barrer la superficie del tratamiento superficial. Se aplicará gravilla para absorber cualquier exceso de ligante asfáltico. Se deberán reparar las áreas con carencia de agregados. Los materiales de exceso serán removidos con un sistema de barrido autopulsado; debe tenerse la precaución de no desalojar material ya embebido en el ligante asfáltico.

**TABLA 5.4 CANTIDADES APROXIMADAS DE MATERIAL PARA TRATAMIENTOS SUPERFICIALES SIMPLES**

Secuencia de operación	Designación de tratamiento superficial y graduación del agregado (1)				
	B	C	D	E	F
Aplicación del ligante asfáltico (l/m)	2	1.7	0.25	0.9	0.9
Asfalto emulsificado Asfalto rebajado o cemento asfáltico	1.8	1.15	0.9	0.7	0.7
Aplicación del agregado (Kg/m) (2)	24	16	12	8	11

FUENTE: Manual Centroamericano de Especificaciones para la Construcción de Carreteras y Puentes Regionales.

(1) Ver Tabla 5.6 para granulometría del agregado.

(2) Los pesos de agregado se refieren a agregados que tienen una gravedad específica de 2.65, según AASHTO T-84 y AASHTO T-85. Deberán hacerse las correcciones de dosificación cuando el agregado de diseño tenga una gravedad específica bruta sobre 2.75 o por debajo de 2.55; aplicando el método que defina el Contratante.

**TABLA 5.5 GRANULOMETRIA DEL AGREGADO**

Malla mm	Porcentaje por peso que pasa la malla estándar (AASHTO T-27 Y AASHTO T-11)					
	Designación de la granulometría					
	A	B	C	D	E	F
37.5	100	-	-	-	-	-
25	97-100	100	100	-	-	-
19	-	97-100	97-100	100	101	-
12.5	-	76-88(±5)	* (±5)	97-100	97-101	-
9.5	53-70(±6)	-	* (±6)	-	* (±5)	100
4.75	40-52(±6)	49-59(±7)	* (±7)	57-69(±6)	* (±6)	33-47(±6)
2.36	25-39(±4)	36-45(±5)	* (±5)	41.49(±6)	* (±6)	13-7(±6)
600µm	12-22(±4)	20-28(±4)	* (±4)	22-30(±4)	* (±4)	-
300µm	8-16(±3)	13-21(±3)	* (±3)	13-21(±3)	* (±3)	-
75µm	3-8(±2)	3-7(±2)	3-8(±2)	3-8(±2)	3-8(±2)	2-4(±2)

FUENTE: Manual Centroamericano de Especificaciones para la Construcción de Carreteras y Puentes Regionales.

#### 5.1.4.2 Tratamientos superficiales múltiples.

Un tratamiento superficial múltiple consiste en una aplicación de múltiples capas de ligante asfáltico y agregado. Se aplicará cada capa de ligante asfáltico. Se determinarán las tasas de dosificación a partir de la evaluación de los tramos de prueba.

Para tratamientos superficiales múltiples, de acuerdo con estándares ASTM, se aplicarán las pruebas AT-61 y E-61; deberá esperarse un plazo de 24 horas entre aplicaciones (tercera y cuarta capa de la emulsión asfáltica).

**TABLA 5.6 Cantidades aproximadas de material para tratamientos Superficiales  
múltiples usando cemento asfáltico o asfalto rebajado**

secuencia de operación (1) (2)	Designación de tratamiento superficial y graduación del agregado (1)				
	AT-19	AT-27	AT-33	AT-38	AT-61
<b>Primera capa</b> Aplicar ligante asfáltico (l/m) Distribuir agregado (Kg/m) Graduación D Graduación C Graduación B Graduación A	1  13	1.15  19	0.7  21	1.35  27	0.9  38
<b>Segunda capa</b> Aplicar ligante asfáltico (l/m) Distribuir agregado (Kg/m) Graduación D Graduación C Graduación B	0.6  6	1.15  8	1.35  7	1.55  11	1.8  11
<b>Tercera capa</b> Aplicar ligante asfáltico (l/m) Distribuir agregado (Kg/m), graduación E			0.7 5		0.9 7
<b>Cuarta capa</b> Aplicar ligante asfáltico (l/m) Distribuir agregado (Kg/m). graduación F					0.9 5
<b>Total</b> Ligante asfáltico (l/m) Agregado (Kg/m)	1.6 19	2.3 27	2.75 33	2.9 38	4.56 61

**FUENTE: Manual Centroamericano de Especificaciones para la Construcción de Carreteras y Puentes Regionales.**

- (1) Ver Tabla 5.4 para granulometría del agregado, especificaciones de graduación referidas a dicha tabla.  
(2) Los pesos de agregado se refieren a agregados que tienen una gravedad específica de 2.65, según AASHTO T84 y AASHTO T85. Deberán hacerse las correcciones de dosificación cuando el agregado de diseño tenga una gravedad específica bruta sobre 2.75 o por debajo de 2.55; aplicando el método que defina el Contratante.  
(3) Después de que se concluye la distribución del agregado se incorpora agregado fino (graduación F), en todas las áreas con ligante asfáltico en aparente exceso.

**TABLA 5.7 Cantidades aproximadas de material para tratamientos superficiales múltiples usando asfalto emulsificado.**

Secuencia de operación (1) (2)	Designación de tratamiento superficial y graduación dl agregado (1)				
	E-19	E-27	E-33	E-38	E-61
<b>Primera capa</b> Aplicar ligante asfaltico (l7m) Distribuir agregado (Kg/m) Graduación D Graduación C Graduación B Graduación A	2  13	1.55  17	2  19	2.25  21	1.8  38
<b>Segunda capa</b> Aplicar ligante asfaltico (l7m) Distribuir agregado (Kg/m) Graduación E Graduación D	1.15  6	1.15  5	1.15  9	1.15  11	2
<b>Tercera capa</b> Aplicar ligante asfaltico (l7m) Distribuir agregado (Kg/m), graduación E		1.15 5	1.15 5	1.15 6	1.15 7
<b>Cuarta capa</b> Aplicar ligante asfaltico (l7m) Distribuir agregado (Kg/m). graduación F (3)					1.15 5
<b>Total</b> Ligante asfaltico (l/m) Agregado (Kg/m)	3.15 19	3.85 27	4.3 33	4.55 38	6.1 61

FUENTE: Manual Centroamericano de Especificaciones para la Construcción de Carreteras y Puentes Regionales.

## Medición

Se medirá la cantidad de material para tratamientos superficiales, por unidades de **tonelada métrica** o **por metro cúbico** en el vehículo de transporte.

Se medirá el ligante asfáltico por **tonelada métrica**.

**TABLA 5.8 Muestreo y ensayo**

Material o producto	Propiedad o característica	Método de Ensayo especificado	Frecuencia de muestreo	Punto de Muestreo
capa de mezcla asfáltica con tratamiento superficial	Granulometría (1)	AASHTO T-27/T-11	1 cada 500 toneladas	Descarga del distribuidor
	Caras fracturadas (1)	FLH T-507	1 cada 500 toneladas	Descarga del distribuidor
	Índice de forma (Flakiness)	FLH T-508	1 cada 500 toneladas	Descarga del distribuidor

FUENTE: Manual Centroamericano de Especificaciones para la Construcción de Carreteras y Puentes Regionales.

(1) Procede para cada aplicación de agregado (por capa del tratamiento superficial).

### 5.1.4.3 SELLO CON LECHADA ASFÁLTICA (slurry seal)

#### Requisitos para la construcción

#### Composición de la mezcla asfáltica (dosificación de diseño).

El Contratista presentará la dosificación correspondiente a una lechada asfáltica con agregado, agua, emulsión asfáltica y aditivos, de acuerdo con ASTM D-3910 e ISSA T-114. Deberán cumplirse los requisitos de granulometría de agregados para concreto

asfáltico en caliente que apliquen, así como los siguientes criterios para el contenido de asfalto residual.

**(a) Tipo I** - Contenido de asfalto residual entre 10.0 % y 16.0 %.

**(b) Tipo II** - Contenido de asfalto residual entre 7.5 % y 13.5 %.

**(c) Tipo III** - Contenido de asfalto residual entre 6.5 % y 12.0 %.

El Contratista suministrará la dosificación de diseño, indicando el contenido porcentual de cada material en la mezcla, con base en una referencia por peso o volumen; para su evaluación y consideración de aprobación por el Contratante, al menos 21 días antes del inicio de los trabajos.

Se deberá presentar, adicionalmente, lo siguiente:

**(a) Granulometría del agregado.**

Los valores representativos de los porcentajes del agregado de diseño pasando para todos los tamaños estándar.

**(b) Contenido de emulsión asfáltica.**

El contenido de asfalto residual, como un porcentaje por peso del agregado en estado seco.

**(c) Muestras de agregado.**

Se requieren 45 kg para cada tipo de agregado a utilizar.

**(d) Muestra de emulsión asfáltica.**

Se suministrará el nombre del proveedor y los certificados técnicos de calidad, así como una muestra de 20 litros, que será contenida en un recipiente plástico.

**(e) Muestras de relleno mineral.**

Se requieren 25 kg para cada tipo de relleno mineral que se incorpore a la lechada asfáltica. La dosificación de diseño será evaluada y considerada para aprobación de acuerdo con la composición de la mezcla asfáltica.

**Equipo.**

El Contratista dispondrá de un equipo con las siguientes capacidades:

**(a) Mezclador de lechada asfáltica.**

(1) Auto. Propulsado.

(2) De mezclado en flujo continuo.

(3) Con controles calibrados.

(4) Dispositivos para dosificación de lectura fácil, que permitan la medición precisa de todos los materiales dosificados que ingresan al mezclador.

(5) Sistema automatizado de secuencia de introducción de la materia prima al mezclador, que permita la mezcla constante de la lechada asfáltica.

(6) Cámara de mezclado capaz de mezclar uniformemente la materia prima introducida.

(7) Alimentador de finos con dispositivo de dosificación.

(8) Dispositivo de dosificación para aditivos.

(9) Sistema de agua a presión con aspersores, capaz de humedecer la superficie de previo a la distribución de la lechada asfáltica, con una tasa de distribución de 0.13 a 0.27 litros por metro cuadrado.

(10) Sistema de dosificación con precisión para el proporcionamiento de materiales, independiente de la velocidad del motor.

(11) Velocidad mínima de 20 metros por minuto y velocidad máxima de 55 metros por minuto.

(12) Capacidad mínima de almacenaje de 6 toneladas métricas.

(13) Capacidad de operación de acuerdo con las Guías de Desempeño A-105 de ISSA.

**(b) Dispositivo mecánico de distribución.**

(1) Se incorpora en el mezclador de lechada asfáltica.

(2) Boquillas de distribución flexibles, en contacto con la superficie; para evitar el desperdicio de material.

(3) Ajustable para asegurar una tasa de distribución uniforme cuando se opere con geometría variable (pendientes y coronas de la calzada).

(4) Ajustable en ancho, con un dispositivo de rastrillado flexible.

(5) Boquillas para flujo uniforme en los extremos.

**(c) Equipo auxiliar.** Se contará con distribuidores manuales, palas y otros equipos necesarios para realizar los trabajos, de conformidad con el Contratante. Se proveerán equipos de limpieza tales como sistemas barredores auto-propulsados, compresores de aire, equipos de distribución de agua, y escobones manuales, para la preparación de la superficie.

**Preparación de la superficie.**

El Contratista deberá preparar la superficie a sellar con la lechada asfáltica, de acuerdo con los requerimientos de acabado de la superficie.

**Limitación de condiciones climáticas.**

Se aplicarán lechadas asfálticas cuando la temperatura del aire a la sombra y sobre la superficie del pavimento estén, ambas, sobre 15°C e incrementándose; y cuando no haya neblina ni lluvia.

**Aplicación de la lechada asfáltica.**

El Contratista deberá preparar la mezcla utilizando un mezclador de acuerdo con los equipos antes descritos, humedecerá la superficie con agua en el instante inmediato previo a la distribución de la lechada asfáltica.

Se mezclará el aditivo con el agregado utilizando el sistema de alimentación de finos.

Se debe pre-humedecer el agregado en el mezclador en el instante inmediato previo al mezclado con el emulsión asfáltica.

Se mezclará la lechada asfáltica por un máximo de 4 minutos. Se tomarán las precauciones para asegurarse que la lechada asfáltica sea de la consistencia requerida en el momento que es desalojada del mezclador, y que esté conforme con la dosificación de diseño aprobada. El ajuste en el contenido de relleno mineral y de emulsión asfáltica es factible, previa autorización por el Contratante, para tomar en cuenta el cambio en las condiciones propias del sitio del proyecto.

Se dispondrá de suficiente cantidad de lechada asfáltica en el sistema distribuidor para cubrir completamente la sección transversal de la colocación.

Se distribuirá la mezcla con un dispositivo mecánico. En áreas no accesibles para el sistema de distribución, se utilizarán distribuidores manuales.

El Contratista permitirá que las áreas tratadas curen completamente de previo a la apertura al tránsito. El curado se considerará completo cuando agua limpia y clara pueda ser desalojada al aplicar presión con un pedazo de papel sobre la capa de lechada asfáltica, sin que el papel se decolore.

### **Aceptación.**

La emulsión asfáltica será evaluada de acuerdo con el correcto manejo y acopio del material.

El agregado para lechada asfáltica será evaluado de acuerdo con las fuentes locales de material y también el manejo y acopio de los mismos.

### **Medición**

Se medirá la cantidad de lechada asfáltica por **metro cuadrado**. Se definirá el ancho de manera que incluya el ancho de la superficie del sello y cualquier grado de ensanchamiento en las curvas. Se definirá la longitud de forma paralela a la línea de centro de la calzada.

Se medirán las cantidades de emulsión asfáltica por litro o galón.

**TABLA 5.9 Muestreo y Prueba**

<b>Material o producto</b>	<b>Propiedad o característica</b>	<b>Método de prueba o especificación</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Lugar de Muestreo</b>
Agregado para lechada	Granulometría	AASHTO T-27/T-11	1 cada 500 toneladas	Producción y apilamiento
	Modulo de finesa (1)	AASHTO T-27	1 cada 500 toneladas	Producción y apilamiento
	Equivalente de arena	AASHTO T-176 método alternativo no. 2	1 cada 500 toneladas	Producción y apilamiento

FUENTE: Manual Centroamericano de Especificaciones para la Construcción de Carreteras y Puentes Regionales.

## **RIEGO DE IMPRIMACION**

### **Requisitos para la construcción**

#### **Equipos.**

El Contratista deberá utilizar equipos conforme a los utilizados en los tratamientos superficiales.

#### **Preparación de la superficie.**

El Contratista preparará la superficie a imprimir de acuerdo con los requerimientos de acabado en la superficie.

#### **Limitación de condiciones climáticas.**

Se aplicarán riegos de imprimación en superficies secas o con humedad superficial moderada, a criterio del Contratante, cuando la temperatura del aire a la sombra y en la

superficie del pavimento, ambas, sean por lo menos 10°C e incrementándose; y cuando no haya neblina ni lluvia.

### **Aplicación de la imprimación.**

Cuando se requiera, se aplicará un prehumedecido por medio de aspersores, de previo a la aplicación del riego de imprimación. Se aplicará el ligante asfáltico de acuerdo a los requisitos de preconstrucción establecido en los tratamientos superficiales, con una tasa de dosificación de 0.45 a 2.25 litros por metro cuadrado, para óptima penetración.

Cuando se utilice emulsión asfáltica que así lo requiera, a criterio del Contratante, se humedecerá la superficie de colocación. Cuando se requiera, se diluirá una emulsión asfáltica de rompimiento lento con una cantidad igual de agua. La tasa de aplicación del emulsión asfáltica es de 0.45 a 1.35 litros por metro cuadrado. Inmediatamente después, se distribuirá y compactará la el material de secado.

Las superficies imprimadas con emulsión asfáltica deberán ser curadas por no menos de 24 horas; las superficies imprimadas con asfalto rebajado serán curadas por no menos de 3 días; en ambos casos, de previo a la colocación de la siguiente capa.

Hasta que la siguiente capa sea colocada, se deberá mantener la superficie imprimada limpia y sin corrugación, mediante barredora mecánica. A criterio del Contratante, en una superficie imprimada, previo a la colocación de la siguiente capa, se distribuirá material de secado para cubrir el asfalto no absorbido. Se removerá el exceso de material de secado tan pronto como sea práctico, luego de que el exceso de asfalto es

absorbido. Se removerá todo resto de contaminantes y partículas extrañas sobre la superficie, y se repararán todas las áreas dañadas de previo a la colocación de la siguiente capa.

### **Aceptación.**

La emulsión asfáltica será evaluada de acuerdo con el correcto manejo y acopio del material.

El agregado para lechada asfáltica será evaluado de acuerdo con las fuentes locales de material y también el manejo y acopio de los mismos.

### **Medición**

Se medirá la cantidad de riego de imprimación por metro cuadrado, por litro o galón, incluyendo el agua agregada para dilución. Se medirá la cantidad de material de secado por tonelada métrica o por metro cúbico en el vehículo de transporte.

## **RIEGO DE LIGA**

### **Requisitos para la construcción**

#### **Equipos.**

El Contratista deberá utilizar equipos descritos anteriormente.

#### **Preparación de la superficie.**

El Contratista preparará la superficie donde se aplicará el riego de liga de acuerdo a los requerimientos de acabado en la superficie.

Cuando la superficie sea de concreto hidráulico, se deberán remover los excesos de sello de juntas y sello de grietas.

**Limitación de condiciones climáticas.**

Se aplicarán riegos de liga sobre superficies secas, cuando la temperatura en la sombra sea al menos 2°C e incrementándose.

**Aplicación del ligante asfáltico.**

Cuando se utilice emulsión asfáltica de rompimiento lento, se diluirá con una cantidad igual de agua.

Se aplicará el emulsión asfáltica de conformidad con los requerimientos de pre-construcción de los tratamientos superficiales a una tasa de dosificación de 0.15 a 0.70 litros por metro cuadrado. Cuando un riego de liga no puede ser aplicado con un sistema de distribución por aspersores, se aplicará de manera uniforme, con las políticas de control definidas por el Contratante, mediante distribuidores manuales, o algún otro método autorizado por el Contratante. Si se aplica exceso de ligante asfáltico, se eliminará el exceso de la superficie.

Se permitirá que el material de riego de liga cure completamente de previo a la colocación de la capa siguiente. Se colocará la capa siguiente en un plazo menor a 4 horas de colocado el riego de liga.

## **5.2 PROCESO CONSTRUCTIVO**

### **5.2.1 LIMPIEZA Y DESMONTE**

Este trabajo consiste en el desmonte, tala, remoción y eliminación de toda la vegetación y desechos dentro de los límites señalados en los planos, excepto los elementos que se hayan decidido que permanezcan en su lugar o que deban ser eliminados de acuerdo con otras secciones de estas Especificaciones.

Este trabajo incluirá la conservación adecuada de toda la vegetación y objetos destinados a permanecer en el sitio para evitar su daño o deformación.

Dentro del concepto de desmonte se eliminarán árboles, matorrales, madera tumbada y otra vegetación como se indica a continuación:

- (a)** Los árboles se cortarán de modo que caigan dentro de los límites del área limpieza.
- (b)** En áreas con bordes de taludes redondeados, los troncos serán cortados a nivel o debajo de la rasante final.

### **5.2.2 LIMPIEZA Y DESMONTE ADICIONAL**

Este trabajo consiste en la limpieza y desmonte que se efectúen fuera de los límites especificados en la Sección 5.2.1 Incluye la limpieza para mantener la visibilidad del claro, la eliminación de vegetación que obstaculice la visibilidad, y el retiro de árboles y troncos que resulte pertinente.

Limpiar y desmontar según la sección 5.2.1 excepto según lo modificado adjunto. No empuje, no tire, ni derribe los árboles indicados para permanecer. Remueva los

escombros señalados usando métodos que prevengan daños a la vegetación no señalada para ser removida.

Limpie y disponga de todos los árboles, nudos, madera tumbada y de otra vegetación señalada para ser removida.

Limpie, desmonte y disponga de todos los árboles, nudos, madera tumbada, troncos, raíces, registros enterrados, musgo, césped, hierba y de otra vegetación señalada para ser removida.

Limpie, desmonte y disponga de todos los árboles, nudos, madera tumbada, troncos, raíces, registros enterrados, musgo, césped, hierba y de otra vegetación.

### **5.2.3 ELIMINACIÓN Y REUBICACION DE ESTRUCTURAS.**

Consiste en la remoción y eliminación de construcciones, vallas, estructuras, pavimentos, tuberías abandonadas, postería, alcantarillas, aceras y otras obstrucciones. Incluye además la recuperación de estructuras para ser utilizadas en otro sitio.

Se pueden recuperar con razonable cuidado, todos los materiales indicados.

Los puentes, alcantarillas, pavimentos y otras estructuras para desagüe que estén en servicio para el paso (o tránsito) no deberán ser removidos hasta tanto no se hayan hecho los arreglos y facilidades para no interrumpir el tránsito normal. A no ser que el ingeniero o las Especificaciones Especiales lo dispongan los cimientos de las estructuras existentes deberán ser demolidos hasta el fondo natural o lecho del río o arroyo y las partes de la subestructura que se encuentren fuera de la corriente, se

demolerán hasta por lo menos 0.30 metros por debajo de la superficie natural del terreno.

En el caso que tales partes de las estructuras existentes estuvieron en todo o en parte dentro de los límites de la construcción de la nueva estructura, serán demolidas hasta donde indique el ingeniero, para permitir la construcción de la estructura nueva.

Los puentes de acero o madera, que se especifica sean recuperados, deberán ser desmantelados, desarmados y desmontados cuidadosamente sin causar daño a las partes para facilitar su montaje en el nuevo sitio. La operación de señalamiento de las partes podrá eliminarse por autorización del ingeniero.

Cuando sea económica y prácticamente factible, se debe indicar al contratista que el material debe ser reciclado. Se debe disponer de los escombros y del material en exceso y no adecuado del siguiente modo:



FIG 5.1 Y 5.2 DEMOLICION DE PUENTE EXISTENTE.

#### 5.2.4 EXCAVACIÓN Y TERRAPLENADO

Este trabajo consiste en la excavación de material y la construcción de terraplenes. Esto incluye el suministro, acarreo, acopio, colocación, desecho, formación de taludes, conformación, compactación y acabado de material de tierra y rocoso.

**(a) Excavación.-**

La excavación consiste en lo siguiente:

**(1) Excavación en la Vía.**

Se refiere a todo el material excavado dentro de los límites del Derecho de Vía o dentro de las áreas de servidumbre, exceptuando la subexcavación descrita en el numeral (2) más adelante y la excavación estructural. La excavación en la vía incluye todo el material encontrado independientemente de su naturaleza o características.

No perturbar el material o la vegetación existentes fuera de los límites de la construcción.

El material adecuado para rellenar estructuras, acabado de la superficie de la vía, coronamiento de la terracería u otros propósitos, se deberá excavar en una secuencia que permita la colocación del material excavado directamente en su posición final o en montones para su colocación posteriormente.

Incorporar en los terraplenes solo material adecuado. Reemplazar cualquier faltante de material adecuado causado por la disposición prematura de material excavado en la vía. Desechar material inadecuado o excavado en exceso.

Al final de cada día de operaciones, se deberán conformar y compactar las áreas trabajadas para proveer drenaje y una sección transversal uniforme. Eliminar todo surco y puntos bajos que pudieran retener agua.



**FIGURA 5.3 EXCAVACION DE LA VIA**

**(2) Subexcavación.**

Se refiere al material excavado de abajo del nivel de la subrasante, en tramos de corte, o de abajo del terreno original, en tramos de terraplén. La subexcavación no incluye el trabajo requerido en cortes en roca y cortes en tierra.

Excavar el material existente dentro de los límites mostrados en los planos o designados por el Contratante. Evitar que material inadecuado llegue a mezclarse con material de relleno. Desechar el material inadecuado. Rellene la subexcavación con material adecuado. Compacte el material.



**FIGURA 5.4 SOBREEXCAVACION**

### **(3) Excavación de Préstamo.**

Este es material usado en la construcción de terraplenes y es obtenido de lugares fuera del prisma de la vía. La excavación de préstamo incluye préstamo no clasificado, préstamo selecto y material selecto para la capa superior de la terracería o terraplén. Todo el material adecuado excavado en la vía deberá ser utilizado en la construcción de terraplenes. No deberá usar excavación de préstamo si ello va a resultar en una excavación extra en la vía; Si contraviene esta disposición, la excavación extra de préstamo que resulte, le será deducida de la cantidad total de excavación de préstamo. Deberá obtener la aprobación del banco de préstamo y desarrollar y restaurar los bancos de préstamo. No deberá excavar más allá de los límites establecidos. Cuando

sea aplicable, el Contratista deberá conformar el banco de préstamo para permitir la medición exacta cuando la excavación haya sido completada.



**FIGURA 5.5 EXCAVACION DE MATERIAL DE PRESTAMO**

### **(b) Construcción de Terraplenes.**

La construcción de terraplenes consiste en la colocación y compactación de los materiales excavados en la vía o en bancos de préstamo. Este trabajo incluye:

- (1)** Preparación de la cimentación de terraplenes.
- (2)** Construcción del terraplén de la vía.
- (3)** Construcción de escalones (hamacas) para terraplenes a media ladera.
- (4)** Construcción de diques, rampas, promontorios y bermas.
- (5)** Rellenado de áreas subexcavadas, hoyos, fosos y otras depresiones.



**FIGURA 5.6 TERRAPLANEO DE LA VIA**

### **Compactación.**

Compactar de la siguiente manera:

#### **a) Pedraplén.**

El contenido de humedad del material se deberá ajustar a un valor apropiado para la compactación. Cada capa de material será compactada, a todo el ancho, de acuerdo con uno de los siguientes métodos:

Formar las contracunetas por medio de arado u otros métodos aceptables, para construir un surco continuo. Colocar todo el material excavado al lado bajo del talud de tal manera que el fondo de la contracuneta quede aproximadamente 0.50 metros debajo de la cresta del material suelto. Límpiase la contracuneta usando una pala de

mano, un zanjeador u otro método apropiado. Conformar la contracuneta de manera que el flujo del agua no se desborde.

**(b) Terraplenes.-** Clasificar el material de acuerdo a AASHTO M-145. Para material clasificado A-1 ó A-2-4, determinar la densidad máxima de acuerdo a AASHTO T-180 método D. Para otras clasificaciones de material, determinar el contenido óptimo de humedad y la densidad máxima, de acuerdo con AASHTO T-99 método C.

Ajustar el contenido de humedad del material clasificado A-1 hasta A-5 al contenido de humedad apropiado para la compactación. Ajustar el contenido de humedad del material clasificado como A-6 y A-7, dentro de un margen del 2% del contenido óptimo de humedad.

El material colocado en todas las capas del terraplén y el material escarificado en los tramos en corte se deberá compactar a, por lo menos, el 95% de la densidad máxima. La densidad y el contenido de humedad en el sitio, se deberán determinar de acuerdo a AASHTO T-238 y T-239 u otros procedimientos de prueba aprobados.



FIGURA 5.7 Y 5.8 COMPACTACION DE TERRAPLEN

## **Taludes, Conformado y Acabado.**

### **d) Acabado.-**

Se deberá remover todo material de más de 150mm de tamaño de la superficie de la vía. Remover todo material inestable de la superficie de la vía y reemplazarlo con material adecuado. Dar un acabado a las superficies de tierra de la vía con una tolerancia de + 15 mm y, las superficies de roca, dentro de + 30 mm de la línea y rasante estaqueadas. Acabar la sección transversal de las cunetas dentro de + 30 mm de la línea y rasante estaqueadas. Mantener un drenaje adecuado de las cunetas y zanjas.



**FIGURA 5.9 ACABADO DE LA SUPERFICIE.**

### **5.2.5 EXCAVACION Y RELLENO PARA ESTRUCTURAS MAYORES**

Este trabajo consiste en la excavación de material para la construcción de estructuras mayores. El Contratante definirá, a criterio propio, cuando proceden las disposiciones de esta Sección. El trabajo incluye la preservación de canales y contornos, construcción de diques provisorios, el sellado de cimentaciones, la evacuación de

aguas, la excavación, la preparación de cimentaciones, los rellenos, y la remoción de dispositivos de seguridad y diques provisionarios.



**FIGURA 5.10 EXCAVACION PARA OBRA DE PASO**

### **EXCAVACION Y RELLENO PARA OTRAS ESTRUCTURAS**

Este trabajo consiste en la excavación de material para la construcción de todos los tipos de estructuras, excepto los indicados en la Sección 208. El trabajo incluye la preservación de canales, la construcción de arriostramientos y apuntalamientos, el sellado de cimentaciones, la evacuación de aguas, la excavación, la preparación de cimentaciones, la conformación de superficie para la cimentación y el relleno.

### **ELIMINACIÓN DE CAMINOS O CALLES EXISTENTES**

Este trabajo consistirá en la eliminación, de aquellos caminos o calles existentes, retornos, áreas de estacionamiento y otras estructuras, que son mostrados en los planos o designados por el Ingeniero para ser eliminados.

Después de que las secciones indicadas del camino o calle existente ya no sean necesarias para el tráfico, se rellenarán las zanjas y cunetas y la plataforma de la vía será emparejada y nivelada tratando de restaurar los contornos originales del terreno, o bien, de producir un aspecto agradable, formando taludes naturales redondeados. Después de completar este emparejamiento áspero, el área de la vía será escarificada o arada para mezclar el agregado remanente con tierra y luego, rastreada y afinada.

### **5.2.6 CONFORMACIÓN DE LA SUBRASANTE**

Este trabajo consiste en la conformación de la subrasante, dentro de las tolerancias especificadas de alineación y niveles.



**FIGURA 5.11 TRAMO DE SUBRASANTE CONFORMADA**

### **5.2.7 SUBBASE O BASE GRANULAR**

Este trabajo consiste en la construcción de una subbase o base granular sobre una fundación ya preparada (subrasante), de acuerdo con estas especificaciones y en

conformidad con el trazado, rasante, espesor y secciones transversales típicas indicadas en los planos



**FIGURA 5.12 SUBBASE CONFORMADA**



**FIGURA 5.13 COLOCACION DE BASE**

NOTA: posterior a la colocación y aceptación de la base corresponde colocar el tratamiento superficial, pero no se presentaran imágenes porque esta es la técnica que se pretende implementar.

### **5.3 CONTROL DE CALIDAD DEL CONTRATISTA.**

#### **5.3.1 ALCANCE DEL PLAN DE CONTROL DE CALIDAD (PCC).**

La ejecución del Sistema de Control de Calidad es responsabilidad del ejecutor. Asimismo, el supervisor tendrá toda la autoridad y obligación contractual de **verificar y asegurarse** que el contratista ejecute el PCC según se requiere en los documentos contractuales. Consecuentemente, el supervisor tendrá la responsabilidad contractual de rechazar y ordenar que se restituya toda obra deficiente que no haya sido ejecutada según los documentos contractuales y/o de aceptar toda obra que cumpla con los requisitos de los documentos contractuales. Para ello el supervisor evaluará las características de calidad mediante pruebas de contraste. Cuando no sea posible usarlos mismos métodos de prueba, se determinarán **factores de correlación** entre las pruebas de contratista y de la supervisión.

#### **5.3.2 PLAN DE CONTROL DE CALIDAD DEL CONTRATISTA.**

El Contratista proporcionará y mantendrá un efectivo PCC que permita alcanzar los requisitos de construcción y calidad de materiales detallados en planos y especificaciones.

El Contratista establecerá un PCC, como instrumento para planificar y dar seguimiento a trabajos de inspección y ensayos de todas las partidas de la obra, incluyendo aquella porción de la obra realizada por los subcontratistas, con el fin de controlar la conformidad de los procesos y del producto final con los planos y las especificaciones técnicas pertinentes, en lo que respecta a materiales, mano de obra, equipo,

procedimiento constructivo, acabado, rendimiento funcional, e identificación. Este control será establecido para todas las obras contenidas en el contrato.

**Una parte integral del PCC lo constituye el Seguimiento Estadístico de los Procesos Constructivos (SEPC)** a través de gráficas de control **de desempeño de características de calidad y su consistencia** que permitirán monitorear los resultados de las pruebas de campo y laboratorio correspondientes a la producción, colocación y mediciones de la calidad del producto terminado a medida que éste progresa. Se entiende que este requisito establece no un fin, es decir no basta con cumplir con la representación gráfica de los resultados de la producción, colocación y producto terminado, sino un medio que facilite al Ingeniero de Control de Calidad (ICC) tomar las acciones necesarias para investigar causas asignables de variación no aleatoria que le permitan asegurar la estabilidad de los procesos constructivos.

El SEPC se presentará mensualmente dentro del Informe Mensual de Control de Calidad. El incumplimiento a la adecuada y oportuna presentación de dicho informe será causal de penalidad.

El ICC garantizará que los datos utilizados en su informe Mensual de Control de Calidad están basados en toma de muestras aleatorias y como resultado, sus datos no son sesgados, es decir todos los datos obtenidos sean reportados. Si se comprueba falta de cumplimiento de este requerimiento, el contratista se hará acreedor a la penalidad correspondiente.

El contratista elaborará un PCC a utilizar en la obra, el cual registrará sus actividades de autocontrol de calidad, cumpliendo además **como mínimo** con las características especificadas en estos términos.

### 5.3.3 CONTENIDO DEL PLAN DE CONTROL DE CALIDAD.

El Contratista deberá entregar al Supervisor con copia al o a los representantes del propietario del proyecto, tan pronto como sea posible, y a más tardar **diez (10) días calendario** después de emitida la Orden de Inicio, el PCC. En caso de atraso en la presentación del PCC del propietario del proyecto el contratista incurrirá en una penalidad. Este documento incluirá como mínimo:

1. El **Organigrama** de la empresa con sus respectivas descripciones de funciones según los documentos contractuales. Deberán detallarse nombres, cargos, experiencia y grado académico, tanto para la persona que estará al mando de este proceso, como para las personas a cargo de inspección y ensayos.
2. **Una carta** extendida por el Representante Legal del contratista en la cual se hace constar que el ingeniero asignado como Ingeniero de Control de Calidad, ICC, tiene la RESPONSABILIDAD y toda la AUTORIDAD para ejecutar el PCC, incluyendo además y en forma explícita que el ICC tiene la RESPONSABILIDAD y toda la AUTORIDAD de detener y reparar toda obra que no cumpla con los requisitos establecidos en los documentos contractuales.
3. Descripción del procedimiento de funcionamiento del **laboratorio**, incluyendo los siguientes aspectos:
  - a. Datos de Calibración de las máquinas de ensayo a utilizar, incluyendo máquinas de Concreto hidráulico, Marshall, densímetros nucleares, etc.
  - b. Nombre, experiencia y formación del personal que realizará distintos tipos de ensayos.
  - c. Listado de los ensayos que el laboratorio puede realizar, y los que se subcontratarán.

d. Métodos de las tomas de muestras y procedimientos de almacenamiento de las mismas.

e. Procedimientos o medidas de seguridad ocupacional en la realización de ensayos y la operación de equipo de ensayo.

f. Una copia de cada uno de los formatos de laboratorio, que incluyan identificación del proyecto, responsables del ensayo, fechas, normas, parámetros de aceptación y/o especificaciones y su correspondiente N° correlativo.

4. **Lista de registros** y copia formatos a llevarse durante la obra. Dichos formatos deberán incluir al final espacios para las firmas de aprobación del ICC y del Supervisor.

El contratista será el responsable de desarrollar los formatos de:

a. Inspección Preparatoria.

b. Inspección Inicial.

c. Registro Diario de Control de Calidad.

d. Control de Producto No Conforme.

e. Formatos de control de procesos constructivos de campo (ej. Control de mezcla).

5. **Lista de materiales a ensayarse**, incluyendo:

a. Normas de ensayos a realizar.

b. Lugar de toma de las muestras.

c. Frecuencias proyectadas de los muestreos y ensayos.

d. Criterios de frecuencia y aceptación.

6. **Programación** (fechas tentativas) de Inspecciones preparatorias y de las actividades que la preceden (aprobación de permisos, ensayos de materiales, etc.).

Los controles tendrán TRES FASES DE INSPECCIÓN para todas las actividades definidas del trabajo, según se describe a continuación:

### 5.3.3.1 INSPECCIÓN PREPARATORIA.

Prepara, convoca y conduce: El Ingeniero de Control de Calidad.

Asisten: El Ing. Superintendente del contratista, encargados de producción, personal clave que ejecutará físicamente la obra, el supervisor y sus inspectores, y los inspectores de laboratorios involucrados en el proceso.

Instrumento: Formato de Inspección Preparatoria (a desarrollar por el contratista).

Esta inspección debe ser realizada antes de comenzar la actividad de trabajo en cuestión. Será responsabilidad del contratista definir la fecha más adecuada para la realización de esta inspección, la cual deberá incluir como mínimo, lo siguiente:

1. **Una revisión** conjunta de todos los requisitos contractuales y especificaciones técnicas aplicables.
2. **Una comprobación** para asegurarse que todos los materiales han sido ensayados, sometidos a aprobación, **y aprobados**.
3. Una revisión para asegurarse que se han hecho los arreglos necesarios para realizar oportunamente todos los **ensayos** de control de calidad requeridos.
4. **Una inspección del área** donde se realizarán los trabajos, para asegurarse que todo el trabajo previo y/o preliminar ha sido completado.
5. Una revisión del equipo de **laboratorio**, formatos y procesos para la realización de las pruebas de laboratorio.
6. Una inspección minuciosa de los **equipos**, claves usando el “Formato de Inspección de Equipos”.
7. Una descripción, detallada y minuciosa, por parte del contratista, del **proceso constructivo** propuesto indicando como mínimo: puntos de control, toma y cantidad de muestras, tolerancias, rendimientos de equipo y mano de obra, necesidad de equipo y

calidad de mano de obra, secuencias de procesos, encargados, mecanismos de comunicación interna del contratista necesarias para la actividad en cuestión, etc.

8. Revisión de las **medidas de seguridad**, análisis de riesgos y amenazas y control de tráfico a tomar.

El ICC convocará a la supervisión con un mínimo de cuarenta y ocho (48) horas (dos días hábiles) de anticipación a la Inspección Preparatoria. Dicha inspección y sus resultados deberán ser documentados en los formatos de Inspección Preparatoria.

#### **5.3.3.2 INSPECCIÓN INICIAL.**

Prepara y convoca: el Ingeniero de Control de Calidad.

Conduce: Ing. Superintendente del Contratista.

Asisten: El Ingeniero de Control de Calidad, encargados de producción, personal clave que ejecuta físicamente la obra, el supervisor y sus inspectores, y los inspectores de laboratorios involucrados en el proceso.

Instrumento: Formato de Inspección Inicial (a desarrollar por el contratista)

Esta inspección será llevada a cabo, el primer día de ejecución de la partida en cuestión, e incluirá:

1. Una evaluación de la calidad de la **mano de obra** empleada.
2. Una revisión de los **ensayos**, pruebas, mediciones de control realizados por el laboratorio.
3. Evaluación del desempeño y rendimiento de **equipos** clave, a fin de asegurar la conformidad con los requisitos contractuales y adecuado avance de obras.

4. Control de calidad de los **materiales** haciendo énfasis en los defectuosos o dañados.

5. Una revisión de la **obra realizada** que asegure que no se han realizado omisiones y que el trabajo se ajusta a los requisitos de niveles, ubicaciones y dimensiones.

6. Inspección de Sistema de Higiene y Seguridad Ocupacional.

El ICC convocará a la Inspección Inicial con un mínimo de 48 horas (2 días hábiles) de anticipación. Dicha inspección y sus resultados deberán ser documentados en los formatos de

Inspección Inicial. En caso de existir producto no conforme, el ICC será el responsable de documentarlas en el “Control de Producto NO Conforme” y darles seguimiento hasta que se realice satisfactoriamente el **proceso correctivo**.

### **5.3.3.3 INPECCIONES PREPARATORIAS E INICIALES ADICIONALES.**

Se deberán realizar Inspecciones Preparatorias e Iniciales adicionales para una misma actividad de trabajo cuando:

1. La calidad de trabajo es inaceptable.
2. Existan cambios en el personal clave del contratista.
3. Se va a recomenzar el trabajo después de un periodo de interrupción o inactividad considerable.
4. Se han desarrollado otros problemas.

### **5.3.3.4 INSPECCIONES DE SEGUIMIENTO.**

Prepara y conduce: El Ingeniero de Control de Calidad.

Asisten: responsables de producción del contratista, representante de la supervisión, responsables del laboratorio.

Instrumento: Formato de Registro de Inspección Diaria.

Serán realizadas **diariamente** para controlar que exista conformidad con los requisitos contractuales, **haciendo énfasis en la calidad de los procesos constructivos**, por ejemplo, procesos de producción de plantas, funcionamiento de maquinaria clave, etc., incluyendo resultados de ensayos, hasta que sea completada la actividad particular del trabajo. Dicha inspección y sus resultados deberán ser documentados en el “Formato de Registro de Inspección Diaria”. En caso de existir Producto No Conforme el ICC será el responsable de documentarlas en el “Control de Producto NO Conforme”.

#### **5.3.4 ARCHIVOS Y REGISTROS DEL PLAN DE CONTROL DE CALIDAD.**

El Contratista mantendrá registros actualizados y ordenados de todas las actividades del PCC. Este registro deberá tener como máximo, un atraso de un (1) día hábil. Estos registros comprenden como mínimo:

1. Inspecciones Preparatorias, Iniciales y de Registro Diario (Seguimiento).
2. Registro del Laboratorio (Calibraciones, resultados de las inspecciones, mediciones, ensayos)
3. El registro del Seguimiento Estadístico de los Procesos Constructivos, SEPC.  
**(Mediante Sistema de Control de Calidad en Línea).**
4. Registro del Control del Producto No Conforme.

El ICC proporcionará al Supervisor **diariamente**, copias legibles de toda la documentación que se incluya en el **Registro Diario** del PCC del Contratista. El supervisor emitirá diariamente su aprobación del contenido de los registros. **La falta al cumplimiento de este requerimiento será causa de penalidad para el Supervisor.**

El Contratista tendrá estos registros para su revisión por parte del propietario del proyecto, o su representante autorizado, en cualquier momento a lo largo del plazo contractual, hasta que sea firmada la liquidación del mismo. La falta al cumplimiento de este requerimiento será causa de penalidad para el contratista.

### **5.3.5 INFORME DE CONTROL DE CALIDAD**

El informe mensual de Control de Calidad deberá de contener como mínimo:

- Actividades realizadas por control de calidad.
- Actividades realizadas por el laboratorio y personal de inspectoría.
- Resumen de resultados obtenidos durante el periodo en cada uno de los rubros ejecutados.
- Análisis de los resultados obtenidos, tomando como base los parámetros mínimos de aceptación establecidos en las especificaciones Técnicas del Proyecto y/u otros Documentos contractuales (para respaldar los ensayos que por su naturaleza no pueden ser realizados por el contratista, éste deberá presentar los ensayos actualizados realizados por el proveedor, Ej. Ensayos a pintura para señalización y otros productos terminados).
- Análisis estadístico de los resultados obtenidos utilizando el **Método de Análisis de Nivel de Calidad-Desviación Estándar**.
- Conclusiones y Recomendaciones, las cuales deberán ser acordes con los resultados obtenidos y respaldándolas técnicamente.
- Anexos (respaldos de ensayos realizados, hojas de control de colocación de mezcla asfáltica, control de camiones concreteros y otros documentos que se considere conveniente).

### **5.3.6 UNIDAD DE CONTROL DE CALIDAD.**

El PCC, deberá ser implementado mediante el establecimiento de una Unidad de Control de

Calidad, dentro de la organización del Contratista, consistente en al menos lo siguiente:

1. Un Ingeniero de Control de Calidad, ICC, cuya única responsabilidad será la de garantizar el correcto funcionamiento del PCC. Este técnico deberá poseer al menos un título de Ingeniero Civil y deberá estar contratado para laborar a **tiempo completo** en este contrato durante la duración total del mismo; adicionalmente, este profesional permanecerá físicamente en el lugar de la obra, durante la realización de toda la obra.

En ningún momento se permitirá la ejecución de actividades en periodo extraordinario sin la presencia en el sitio del proyecto de los miembros de la unidad de control de calidad y de la supervisión. La violación a este requerimiento será causal de penalidad.

El ICC estará a cargo de toda la unidad de Control de Calidad, y su nivel de jerarquía será igual al Superintendente. Adicionalmente, su superior inmediato será el mismo para el Superintendente y el ICC.

2. Inspectores y/o laboratoristas, según se establece en las CPP.

**IMPORTANTE:** A ningún miembro de la Unidad de Control de Calidad se le asignará ningún otro tipo de tareas que no sean relacionadas a la ejecución del PCC, como por ejemplo: pago de planillas, alquiler de equipos, elaboración de estimaciones, etc. El incumplimiento de estas disposiciones será causal de **penalidad** para el contratista. Si el supervisor no reporta dicha violación por parte del contratista, el supervisor se hará acreedor a una **penalidad**.

En todo momento, durante la vigencia del contrato, incluyendo los períodos de suspensión y paros en la obra, debe llevarse a cabo lo siguiente:

1. Implementar y coordinar los planes de control del tránsito incluidos en los documentos contractuales.
2. Coordinar el mantenimiento de las operaciones de control del tránsito con las autoridades correspondientes y el Contratante.
3. Asegurar que los elementos de control de tránsito que no estén en uso, sean manejados y almacenados apropiadamente.

**La falta al cumplimiento de estos requerimientos será causa de penalidad.**

#### **5.3.6.1 REUNIÓN DE PRE-CONSTRUCCIÓN**

Convoca: El Gerente del Proyecto del Contratista.

Prepara: El Superintendente e Ingeniero de Control de Calidad.

Asisten: El Gerente de Proyecto del Supervisor, El Gerente de Proyecto del contratista, El Superintendente del Contratista y propietario.

La reunión deberá lograr un entendimiento mutuo relativo a los detalles del sistema, incluyendo:

1. Administración del PCC.
2. Cronograma de las Inspecciones Preparatorias e Iniciales.
3. Los formatos a utilizarse para el registro de ensayos, mediciones, e inspecciones.
4. Cronogramas de prueba del PCC/Planes de ensayos.
5. Interrelación del Contratista y el Supervisor en el PCC.
6. Compatibilización del PCC del contratista con el Plan de Aseguramiento de la Calidad, PAC, del supervisor, detallado en la siguiente sección.
7. Sistema de Seguridad e Higiene Ocupacional.
8. Plan de manejo de tráfico.

El Gerente del Proyecto preparará un Acta de la reunión, detallando los puntos tratados y los acuerdos alcanzados.

#### **5.3.6.2 CLÁUSULAS ESPECIALES.**

A menos que exista autorización escrita del propietario del proyecto, no se iniciarán operaciones de construcción, hasta que el PCC sea aprobado en su totalidad.

**Tampoco podrá efectuarse ningún pago en concepto de estimaciones hasta que dicho PCC sea aprobado en su totalidad.**

**Como parte del Seguimiento Estadístico de los Procesos Constructivo,** el contratista ingresará diariamente al Sistema de Control de Calidad de Proyectos del propietario del proyecto la información y resultados de los controles diarios de la calidad de la producción, colocación y medición de calidad del producto terminado. El supervisor revisará diariamente el cumplimiento de este requisito y revisará la validez del contenido de los reportes, al cual adicionará los resultados de su evaluación del nivel de calidad de los trabajos.

#### **5.3.7 SISTEMA DE ACEPTACION Y ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD.**

El PCC, estará sujeto a verificación para aceptación de los trabajos por del propietario del proyecto a través del Supervisor mediante un Plan de Aseguramiento de la Calidad (PAC), el cual incluirá inspecciones y ensayos para determinar el cumplimiento del PCC y de los requisitos contractuales.

La inspección y ensayo de la obra ejecutada, realizada por la supervisión, no exime al Contratista de la realización de labores propias del PCC, y las pruebas, inspecciones y mediciones realizadas por el Supervisor, no podrán sustituir las necesarias a realizar por el Contratista.

### **5.3.8 ALCANCE.**

El PAC, para efectos de verificación y aceptación, incluirá, sin limitarse a, lo siguiente:

1. Revisiones técnicas y aprobaciones de los materiales.
2. Aprobación de las Inspecciones Preparatorias, Iniciales y de Seguimiento.
3. Realización de **ensayos de contraste**.
4. Validar estadísticamente los resultados del PCC del contratista para poder usarlos en el proceso de aceptación.
5. Determinar el nivel de calidad de los lotes de trabajo del contratista.
6. Calcular del factor de pago (se computará dicho factor para las características de calidad designadas, pero no se aplicarán en este contrato).

### **5.3.9 PROCESO DE ACEPTACIÓN (DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE CALIDAD).**

Aceptación es un procedimiento formal de decisión si un trabajo debería ser aceptado o rechazado.

Es específicamente el método de monitoreo que se utilizará para determinar si un determinado proceso está llenando los requisitos de calidad, y por lo tanto **no es una forma de control de calidad**. Estos procedimientos simplemente aceptan o rechazan lotes de trabajo basados en su calidad. El muestreo de aceptación utiliza técnicas estadísticas para estimar información acerca de una gran cantidad de material a partir de una muestra aleatoria pequeña.

El programa de aceptación determinará el grado de cumplimiento de los requerimientos contractuales. Para ello usará el indicador de calidad Porcentajes Dentro de Límites (PWL) en lo que es llamado Análisis de Nivel de Calidad; la decisión de aceptación se basa originalmente en los resultados de ensayos de verificación de la supervisión a los

cuales se podrá agregar los datos del contratista siempre que cumplan con los siguientes requisitos:

- i. Se hallan validado estadísticamente.
- ii. Hayan sido realizados con los mismos métodos de prueba que la supervisión.
- iii. Proviengan de muestras aleatorias tomadas **independientemente** por ambos.

Sin embargo, se establece que bajo el concepto de **Aseguramiento de Calidad**, del propietario del proyecto tiene la prerrogativa de usar o no los resultados del PCC para la determinación del cumplimiento de los requisitos contractuales. Si se usan los resultados del contratista como parte del plan de aceptación, debe haber un sistema de chequeo para asegurar la confiabilidad y exactitud de sus resultados. Las pruebas realizadas por la supervisión son usadas para validar las primeras. De esta forma, el proceso de validación no es más que determinar si los resultados del contratista son consistentes con los de la supervisión.

Al usar muestras tomadas independientemente para la comparación, las pruebas de la supervisión están sujetas a la misma variación global así como las pruebas del contratista, pudiendo entonces combinarse para tomar la decisión de aceptación siempre que la validación resulte positiva.

Los resultados pueden no ser idénticos aunque provengan de la misma muestra, por lo que debe determinarse un procedimiento para identificar material proveniente de otra población. Debe aclararse que con este procedimiento estamos asegurando consistencia, no que ambos datos están correctos, lo cual proporciona una certidumbre de que de haberlos realizado una tercera parte, esta habría obtenido resultados similares.

Si los resultados no pueden considerarse similares, no significa que uno esta correcto y el otro no; implica que los procedimientos de muestreo y prueba no produjeron los mismos resultados.

Indicando que los resultados provienen de distintas poblaciones, o que no se emplearon los mismos procedimientos de prueba y muestreo. La razón de las diferencias será investigada con la intervención de laboratorio independiente.

La habilidad del procedimiento de validación de identificar diferencias entre resultados de dos grupos de datos depende del número de pruebas que se comparan. Inicialmente se recomienda usar muestras repartidas para verificar discrepancias en procedimiento de prueba y equipo. No es apropiado combinar los resultados de muestras independientes con los de repartidas y se permitirá únicamente en los casos que se haya demostrado consistencia en los resultados.

Al igual que el contratista, **el supervisor** ingresará en el sistema en línea de control de calidad de proyectos los resultados de sus ensayos de contraste de la producción, colocación y medición de calidad del producto terminado.

#### **5.3.10 PROCEDIMIENTO PARA CONTROL DE PRODUCTO NO CONFORME.**

Si como resultado de las anteriores comprobaciones, se determina que la obra realizada por el Contratista, los procedimientos utilizados por este, y/o su PCC, no llena los requisitos de los documentos contractuales, el Supervisor emitirá un Informe de No Conformidad (ver Anexo1 formato de Producto no Conforme, Anexo 2 Estado de no Conformidades). Desarrollo:

**TABLA 5.10 PROCEDIMIENTO PARA CONTROL DE PRODUCTO NO CONFORME.**

<b>Responsable</b>	<b>Actividad</b>
Cualquier funcionario Autorizado de FOVIAL, Contratista o Supervisor.	1. Identifica el producto NO Conforme. Si es el supervisor, lo registra en el Formato F-GCMC-08, ESTADO DE NO CONFORMIDADES.
Encargado de Control de Calidad del Proveedor	2. Registra la No Conformidad en el formato F-GCMC-07, "CONTROL DE NO CONFORMIDADES".
Proveedor (Contratista/Consultor)	3. Realiza el análisis de "Causa-Raíz" y estable las acciones para superar la NO Conformidad. 4. Describe la corrección y la acción correctiva en el formato "CONTROL DE NO CONFORMIDADES". 5. Ejecuta la corrección y la acción correctiva. 6. Verifica nuevamente la conformidad del producto con los requisitos.
Supervisor o funcionario responsable de FOVIAL	7. Verifica la eficacia de las acciones tomadas aprobando con su firma en el formato "CONTROL DE NO CONFORMIDADES".
Contratista	8. Anexa copia de formatos Control de NO Conformidades y de Estado de NO conformidades en estimación mensual correspondiente y en informe mensual de Control de Calidad.
Supervisor	9. Anexa copia de formatos Control de NO Conformidades y de Estado de NO conformidades en informe mensual de Aseguramiento de Calidad. 10. Elabora nota certificando que todo el producto pagado en la estimación mensual correspondiente es conforme y la anexa a la estimación del contratista.

FUENTE: FONDO DE CONSERVACIÓN VIAL EL SALVADOR (FOVIAL).

### 5.3.11 ENSAYOS DE CONTRASTE.

Como método para definir el cumplimiento de los requisitos de la sección "SISTEMA DE ACEPTACION Y ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD" se realizará, por parte del Supervisor, un plan de ensayos contraste. **El plan de Ensayos de Contraste** fijará, como mínimo, lo siguiente:

1. Intensidad del muestreo (consistente con el procedimiento de aceptación) pero no menor de estipulado en los términos de referencia.

2. Tipo y cantidad previsto de ensayos a ejecutar.

3. Parámetros de Aceptación o rechazo según los criterios establecidos en los términos de referencia.

El Supervisor entregará el Plan de Ensayos de Contraste al ICC del Contratista, a más **tardar tres** días hábiles después de ser aprobado el PCC del Contratista.

Para efectuar los Ensayos de Contraste, el delegado del Supervisor utilizará los mismos puntos muestreo del contratista y realizará el ensayo o toma de muestra "conjuntamente o en forma independiente", es decir, tratando que las condiciones sean semejantes, siguiendo los mismos criterios y normas establecidas.

El Supervisor efectuará el ensayo de las muestras tomadas y los resultados serán informatizados e ingresados para su estudio estadístico y contraste con los ensayos del Contratista en el sistema en línea de control de calidad de proyectos.

Si los ensayos realizados por el Supervisor contradicen los resultados del Contratista, referentes a las mismas muestras, el Supervisor emitirá una No Conformidad. Se podrá realizar un nuevo grupo de pruebas por ambas partes.

Si la diferencia persiste se podrán realizar ensayos de contraste de terceros previa aprobación del propietario del proyecto. El pago de estos últimos será definido de acuerdo a los resultados obtenidos.

### **5.3.12 SEGURIDAD E HIGIENE OCUPACIONAL.**

#### **EJECUCIÓN.**

El Contratista presentará al Supervisor, para su aprobación, un Plan de Seguridad e Higiene Ocupacional (PSHO), para el proyecto a ejecutar, a más tardar cuatro (4) días calendario antes de la reunión de Pre-Construcción. Dicho plan deberá estar firmado y sellado por el Representante Legal del contratista. Este plan deberá contener como mínimo, los siguientes apartados:

#### **1. ANALISIS DE RIESGOS.**

1.1. Riesgos profesionales.

1.2. Riesgo al tráfico y peatones.

1.3. Otros riesgos de daños a terceros.

#### **2. PREVENCION DE RIESGOS PROFESIONALES.**

2.1. Protecciones individuales.

2.2. Protecciones colectivas.

2.3. Capacitación del personal.

2.4. Medicina preventiva y primeros auxilios.

### 3. PREVENCIÓN DE RIESGOS DE DAÑOS A TERCEROS.

3.1. Manejo del tráfico durante la construcción y desvíos provisionales. Al ser aprobado este plan, se procederá a su implementación, y seguimiento por parte del Contratista, suministrándose el equipo, instalaciones, y materiales necesarios para la implementación del Plan. Debe hacerse especial énfasis en la implementación de la señalización provisional y de los dispositivos de control de tránsito a ser usados durante la etapa de ejecución.

**CAPITULO 6**

---

**MANTENIMIENTO**

## **6.0 MANTENIMIENTO.**

El mantenimiento de una carretera consiste en prever y solucionar los problemas que se presentan, a causa de su uso, y así brindar al usuario el nivel de servicio para el que la carretera fue diseñada. La vida de un camino está en función de una adecuada respuesta al mantenimiento para prolongar su vida útil.

### **6.1 ÍNDICE DE CONDICIÓN DE CARRETERAS NO PAVIMENTADOS (URCI).**

El índice de Condición de Carreteras no Pavimentados (Unsurfaced Road Condition Index URCI, por sus siglas en inglés), está basado en la misma metodología de evaluación y calificación objetiva del Índice de Condición del pavimento (PCI). Esta metodología es de fácil implementación y no requiere de herramientas especializadas más allá de las que constituyen el sistema.

El deterioro de la estructura de pavimento es una función de la clase de daño, su severidad y cantidad o densidad del mismo. La formulación de un índice que tuviese en cuenta los tres factores mencionados ha sido problemática debido al gran número de posibles condiciones. Para superar esta dificultad se introdujeron los “valores deducidos”, como un arquetipo de factor de ponderación, con el fin de indicar el grado de afectación que cada combinación de clase de daño, nivel de severidad y densidad tiene sobre la condición del pavimento.

El URCI es un índice numérico que varía desde cero (0), para un pavimento fallado o en mal estado, hasta cien (100) para un pavimento en perfecto estado. En la tabla 6.1 se presentan los rangos de URCI con la correspondiente descripción cualitativa de la condición del pavimento.

**Tabla 6.1. Rangos de Calificación del URCl.**

<b>Rango.</b>	<b>Clasificación.</b>
100 - 85	Excelente
85 - 70	Muy Bueno
70 - 55	Bueno
55 - 40	Regular
40 - 25	Malo
25. - 10	Muy Malo
10 - 0	Fallado.

FUENTE: TECHNICAL MANUAL 5-626,  
HEADQUARTERS DEPARTMENT OF THE ARMY

El cálculo del URCl se fundamenta en los resultados de un inventario visual de la condición del pavimento en el cual se establecen CLASE, SEVERIDAD y CANTIDAD de cada daño presente. El URCl se desarrolló para obtener un índice de la integridad estructural del pavimento y de la condición operacional de la superficie. La información de los daños obtenida como parte del inventario ofrece una percepción clara de las causas de los daños y su relación con las cargas o con el clima.

#### **6.1.1 PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN DEL PAVIMENTO.**

La primera etapa corresponde al trabajo de campo en el cual se identifican los daños teniendo en cuenta la clase, severidad y extensión de los mismos. Esta información se registra en el formato adecuado para tal fin. La Figura 6.1, ilustra el formato para la inspección de Carreteras no pavimentadas, respectivamente. La figura es ilustrativa y en la práctica debe proveerse el espacio necesario para consignar toda la información pertinente, este puede ser cambiado, siempre y cuando conserve la información necesaria para la obtención del URCl.

### **6.1.2 Unidades de Muestreo:**

Se divide la vía en secciones o “unidades de muestreo”, cuyas dimensiones varían de acuerdo al ancho de la vía. Para Carreteras no pavimentadas pueden variar desde 140 hasta 325 metros cuadrados con un promedio recomendado de 231 metros cuadrados. En general la unidad de muestreo es de 30 metros de largo. Si el camino es más estrecho que 4.5 metros, la longitud debe ser incrementada. Si el camino es más ancho que 10.5 metros, la longitud debe ser disminuida.

HOJA DE INSPECCIÓN PARA CARRETERAS NO PAVIMENTADAS.								
1. Estacionamientos (inicial - final):		2. Unidad de Muestreo:			3. Fecha:			
4. Código de la Vía:		5. Área de Muestreo (m <sup>2</sup> ):			6. Inspeccionado por:			
					7. Ancho de Calzada (m):			
8. Esquema:				Daños en Carreteras no Pavimentadas.				
				F1. Sección Transversal Inadecuada				
				F2. Corrugación				
				F3. Ahuellamiento				
				F4. Perdida de Agregados				
				F5. Baches				
				F6. Drenaje Inadecuado				
				F7. Polvo				
9. Cantidad y Severidad de los Daños.								
Tipo		F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
Cantidad y Severidad.	B							
	M							
	A							
10. Cálculo del URCl.								
Tipo de Daño. <i>A</i>	Densidad <i>b</i>	Severidad <i>c</i>	Valor Deductivo <i>d</i>	11. Observaciones:				
e. Valor Total Deductivo:		f. q =		g. URCl:		h. Clasificación:		

FIGURA 6.1 FORMATO PARA INSPECCIÓN DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS.

### 6.1.3 Determinación de las Unidades de Muestreo para Evaluación:

En la “Evaluación de un Proyecto” se deben inspeccionar todas las unidades; sin embargo, de no ser posible, el número mínimo de unidades de muestreo que deben evaluarse se obtiene mediante la siguiente Ecuación, (esta ecuación es la que se utiliza en la obtención del PCI, ya que no existe una para el cálculo del URCI, se utilizara dicha fórmula) la cual produce un estimado del PCI  $\pm 5$  del promedio verdadero con una confiabilidad del 95%.

$$n = \frac{N \times \sigma^2}{\frac{e^2}{4} \times (N-1) + \sigma^2}$$

Donde:

n: Número mínimo de unidades de muestreo a evaluar.

N: Número total de unidades de muestreo en la sección del pavimento.

e: Error admisible en el estimativo del PCI de la sección (e = 5%)

s: Desviación estándar del PCI entre las unidades.

Durante la inspección inicial se asume una desviación estándar (s) del URCI de 10, inspecciones subsecuentes se usará la desviación estándar real (o el rango URCI) de la inspección previa en la determinación del número mínimo de unidades que deben evaluarse.

Cuando el número mínimo de unidades a evaluar es menor que cinco (**n < 5**), ***todas las unidades deberán evaluarse.***

#### 6.1.4 Selección de las Unidades de Muestreo para Inspección.

Se recomienda que las unidades elegidas estén igualmente espaciadas a lo largo de la sección de pavimento y que la primera de ellas se elija al azar (aleatoriedad sistemática) de la siguiente manera:

- a. El intervalo de muestreo ( $i$ ) se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$i = \frac{N}{n}$$

Donde:

N: Número total de unidades de muestreo disponible.

n: Número mínimo de unidades para evaluar.

$i$ : Intervalo de muestreo, se redondea al número entero inferior (por ejemplo, 3.7 se redondea a 3)

- b. El inicio al azar se selecciona entre la unidad de muestreo 1 y el intervalo de muestreo  $i$ .

Así, si  $i = 3$ , la unidad inicial de muestreo a inspeccionar puede estar entre 1 y 3. Las unidades de muestreo para evaluación se identifican como (S), (S + 1), (S + 2), etc.

Siguiendo con el ejemplo, si la unidad inicial de muestreo para inspección seleccionada es 2 y el intervalo de muestreo ( $i$ ) es igual a 3, las subsiguientes unidades de muestreo a inspeccionar serían 5, 8, 11, 14, etc.

### **Selección de Unidades de Muestreo Adicionales.**

Uno de los mayores inconvenientes del método aleatorio es la exclusión del proceso de inspección y evaluación de algunas unidades de muestreo en muy mal estado. También puede suceder que unidades de muestreo que tienen daños que sólo se presentan una vez queden incluidas de forma inapropiada en un muestreo aleatorio.

Para evitar lo anterior, la inspección deberá establecer cualquier unidad de muestreo inusual e inspeccionarla como una “unidad adicional” en lugar de una “unidad representativa” o aleatoria. Cuando se incluyen unidades de muestreo adicionales, el cálculo del URCI es ligeramente modificado para prevenir la extrapolación de las condiciones inusuales en toda la sección.

#### **6.1.5 Evaluación de la Condición:**

El procedimiento varía de acuerdo con el tipo de superficie del pavimento que se inspecciona. Debe seguirse estrictamente la definición de los daños de este manual para obtener un valor del URCI confiable.

La evaluación de la condición incluye los siguientes aspectos:

*a. Equipo.*

- Odómetro manual para medir las longitudes y las áreas de los daños.
- Regla y una cinta métrica para establecer las profundidades de los ahuellamientos o depresiones.

Manual de Daños del URCI, con los formatos correspondientes y en cantidad suficiente para el desarrollo de la actividad. El manual de daños considera siete daños de los cuales cinco están incluidos en el Catálogo de daños a pavimentos viales (SIECA).

*b. Procedimiento.* Se inspecciona una unidad de muestreo para medir el tipo, cantidad y severidad de los daños de acuerdo con el Manual de Daños, y se registra la información en el formato correspondiente. Se deben conocer y seguir estrictamente las definiciones y procedimientos de medida los daños. Se usa un formulario u “hoja de información de exploración de la condición” para cada unidad muestreo y en los formatos cada renglón se usa para registrar un daño, su extensión y su nivel de severidad.

c. El equipo de inspección deberá implementar todas las medidas de seguridad para su desplazamiento en la vía inspeccionada, tales como dispositivos de señalización y advertencia para el vehículo acompañante y para el personal en la vía.

#### **6.1.6 CÁLCULO DEL URCI DE LAS UNIDADES DE MUESTREO**

Al completar la inspección de campo, la información sobre los daños se utiliza para calcular el URCI. El cálculo se basa en los “Valores Deducidos” de cada daño de acuerdo con la cantidad y severidad reportadas.

1. El primer paso en el cálculo del URCl es determinar la densidad de cada uno de los daños contabilizados en la inspección, los cuales han sido registrados en el formato de inspección, la densidad de los daños se obtiene por medio de la siguiente ecuación:

$$D = \frac{\text{Cantidad del daño}}{\text{Área de la unidad de muestreo}} \times 100\%$$

Cuando se tiene como daño el polvo no es necesario obtener la densidad del daño en la unidad de muestreo.

2. Con el uso de las graficas, se obtiene el valor deductivo de acuerdo con el tipo de daño y severidad.
3. Obtenemos el valor total deductivo (VDT) y el valor  $q$ . El VDT no es más que la suma de todos los valores deductivos de los daños registrados en la unidad de muestreo y el valor  $q$  es el número de valores deductivos mayores a 5.(Ver Anexo 10 gráfica para obtener URCl)
4. Cálculo del URCl de una Sección de Pavimento.

Una sección de pavimento abarca varias unidades de muestro. Si al momento de realizar la medición todas las unidades de muestreo fueron tomadas en cuenta, el URCl de la sección será el promedio de los URCl calculados en las unidades de muestreo.

Si se utilizó la técnica del muestreo, se emplea otro procedimiento, el procedimiento que se sigue es el que se utiliza en el cálculo del PCI, se tomaran las mismas fórmulas ya que no hay una propuesta para el URCl al momento de utilizar la técnica de muestreo. Si la selección de las unidades de

muestreo para inspección se hizo mediante la técnica aleatoria sistemática o con base en la representatividad de la sección, el URCl será el promedio de los URCl de las unidades de muestreo inspeccionadas. Si se usaron unidades de muestreo adicionales se usa un promedio ponderado calculado de la siguiente forma:

$$URCl_S = \frac{[(N-A) \times URCl_R] + (A \times URCl_A)}{N}$$

Donde:

URCl<sub>S</sub>: URCl de la sección del pavimento.

URCl<sub>R</sub>: URCl promedio de las unidades de muestreo aleatorias o representativas.

URCl<sub>A</sub>: URCl promedio de las unidades de muestro adicionales.

N: Número total de unidades de muestreo en la sección.

A: Número adicional de unidades de muestreo inspeccionadas.

## **6.2 MANUAL DE DAÑOS PARA CAMINOS NO PAVIMENTADOS.**

### **6.2.1 SECCIÓN TRANSVERSAL INADECUADA. (Ver Anexo 3, gráfica V.D. daño)**

**DESCRIPCIÓN:** Deformaciones en la superficie de la carretera que no permiten el flujo de las aguas pluviales y dificultan el tránsito.

**POSIBLES CAUSAS:** Están relacionadas con el asentamiento diferencial de la carretera, el movimiento de los materiales del pavimento por acción de las aguas pluviales, ausencia de drenes y cargas del tránsito.

**NIVELES DE SEVERIDAD:** La sección transversal es inadecuada cuando existen altas posibilidades de quede el agua acumulada en su superficie (empozamientos). Se definen tres niveles de severidad (Bajo, Mediano y Alto) en función de dicho parámetro, de acuerdo con la siguiente guía:

**B (Bajo)** Cuando los empozamientos ocupan menos del 10% de la sección transversal de la carretera y son poco profundos.

**M (Mediano)** Cuando los empozamientos ocupan entre el 10% y el 30% de la sección transversal de la carretera y son poco profundos.

**A (Alto)** Cuando los empozamientos ocupan más del 30% de la sección transversal de la carretera y son poco profundos o cuando estos originan grandes acumulaciones de agua.

**MEDICIÓN:** Es medida en metros lineales, por unidad de muestreo a lo largo del eje longitudinal o paralelo al eje longitudinal de la sección, la medición incluye los hombros. La máxima longitud que puede ser reportada es la misma de la unidad de muestreo.

**ESQUEMA:**

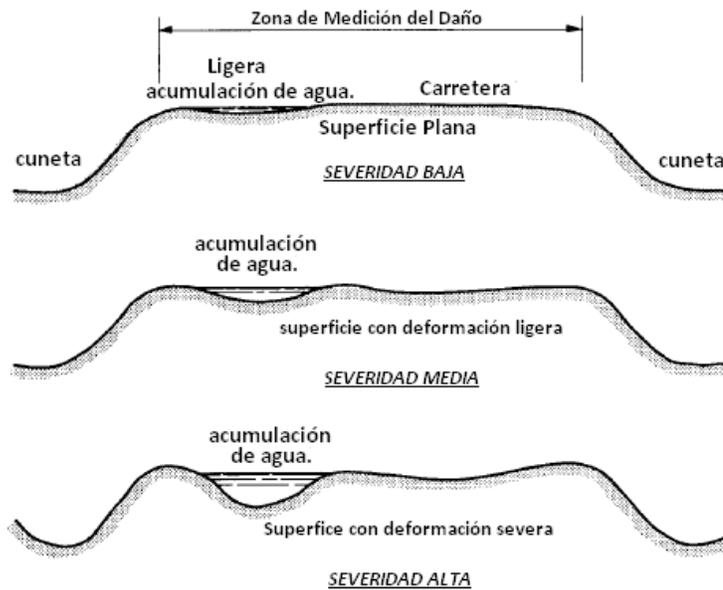


FIGURA 6.2 SECCION TRANSVERSAL INADECUADA.



FIGURA 6.3 FOTO DE SECCION TRANSVERSAL INADECUADA.

### **6.2.2 CORRUGACIONES.** (Ver Anexo 4, gráfica V.D. daño)

**DESCRIPCIÓN:** Serie de ondulaciones constituidas por crestas y depresiones perpendiculares a la dirección del tránsito, los cuales se suceden muy próximas, unas de otras, a intervalos aproximadamente regulares, en general menores de 1 metro, a lo largo de la superficie.

**POSIBLES CAUSAS:** Este daño es usualmente causado por la acción del tránsito y la falta de cohesión del material de superficie; desarrollándose mayormente en la época seca. Los materiales que presentan baja plasticidad, escasez de finos y agregados de tamaño mayor de 5 cm son más susceptibles de desarrollar este daño.

**NIVELES DE SEVERIDAD:** La severidad de la corrugación se determina en función de la profundidad de la depresión entre dos crestas. Estas se miden con una regla de 2.0 metros de longitud colocada a lo largo de la carretera. Se promedian los valores máximos de las depresiones. Se definen tres niveles de severidad (alto, mediano, bajo) de acuerdo con la siguiente guía:

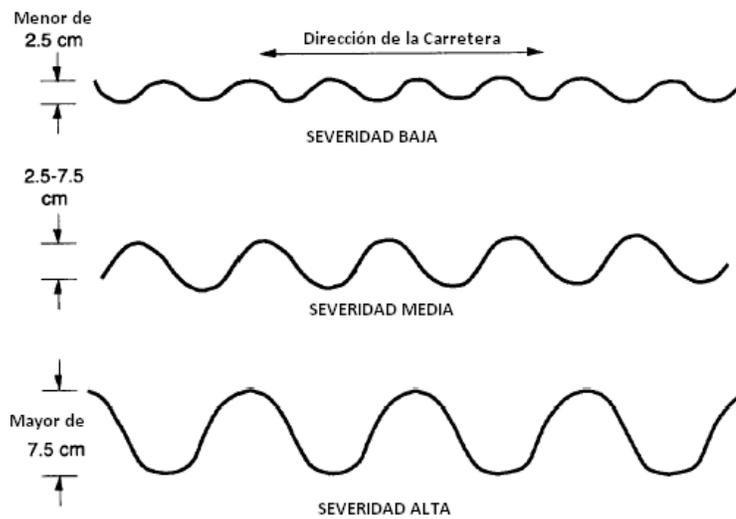
**B (Bajo)** La profundidad promedio es menor de 2.5 cm.

**M (Mediano)** La profundidad promedio está comprendida entre 2.5 y 7 cm.

**A (Alto)** La profundidad promedio es mayor de 7 cm.

**MEDICIÓN:** El daño es medido en metros cuadrados, el área no puede exceder el área de la unidad de muestreo.

**ESQUEMA:**



**FIGURA 6. 4 CORRUGACIONES.**



**FIGURA 6.5 FOTO DE CORRUGACIONES.**

### **6.2.3 AHUELLAMIENTO.** (Ver Anexo 5, gráfica V.D. daño)

**DESCRIPCIÓN:** Es una deformación longitudinal continua a lo largo de las huellas de canalización del tránsito, de longitud mínima de 6 m. En casos extremos la sección transversal de la carretera muestra un perfil en forma de W.

**POSIBLES CAUSAS:** Es la acción de las cargas transmitidas por los neumáticos de los vehículos, así como por la frecuencia de los mismos. Las características del material de superficie y las condiciones climáticas son factores que posibilitan el desarrollo de este daño. Por ejemplo, materiales arcillosos en clima húmedo o materiales sin cohesión (arenoso) en clima seco.

**NIVELES DE SEVERIDAD:** La severidad del ahuellamiento se determina en función de la profundidad de la huella, midiendo ésta con una regla de 2 m de longitud colocada transversalmente al eje de la carretera. La medición se efectúa donde la profundidad es mayor, promediando los resultados obtenidos a intervalos de 3 m de largo de la huella. Se definen tres niveles de severidad (alto, mediano, bajo) de acuerdo con la siguiente guía:

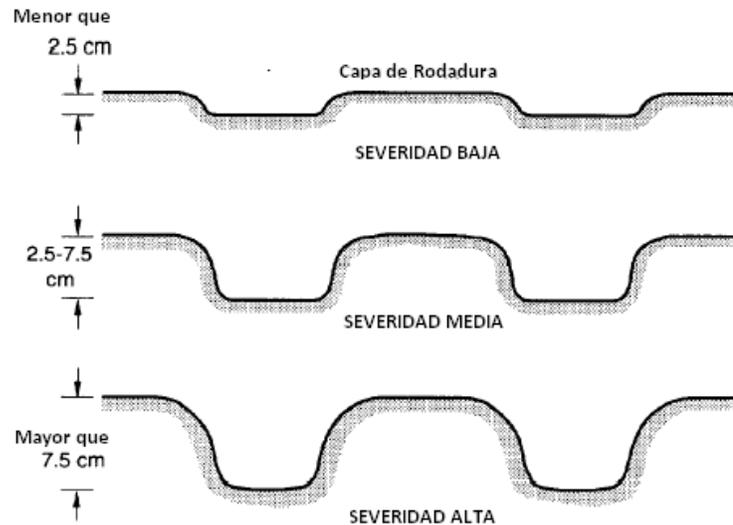
**B (Bajo)** La profundidad promedio es menor de 2.5 cm.

**M (Mediano)** La profundidad promedio está comprendida entre 2.5 y 7 cm.

**A (Alto)** La profundidad promedio es mayor de 7 cm.

**MEDICIÓN:** El daño es medido en metros cuadrados, dentro de la unidad de muestro.

**ESQUEMA:**



**AHUELLAMIENTO**

**FIGURA 6.6 AHUELLAMIENTO.**



**FIGURA 6.7 FOTO DE AHUELLAMIENTO.**

#### **6.2.4 PERDIDA DE AGREGADO.** (Ver Anexo 6, gráfica V.D. daño)

**DESCRIPCIÓN:** Se refiere a la separación de los agregados de la capa de superficie, quedando dichos agregados en estado suelto y formando cordones a lo largo de la carretera.

**POSIBLES CAUSAS:** Principalmente se origina por acción del tránsito sobre capas de superficie carente de finos plásticos y con presencia de agregados cuyas partículas son mayores a 5 cm. El daño se desarrolla con mayor rapidez cuando las partículas carecen de angulosidad. El tránsito desplaza longitudinalmente los agregados gruesos a las orillas de las huellas de canalización o ahuellamiento.

**NIVELES DE SEVERIDAD:** Según la altura de los cordones longitudinales sueltos que se forman, se definen tres niveles de severidad (alto, mediano, bajo) de acuerdo con la siguiente guía:

**B (Bajo)** Altura promedio del cordón menor de 5 cm.

**M (Mediano)** Altura promedio del cordón entre 5 y 10 cm.

**A (Alto)** Altura promedio del cordón mayor de 10 cm.

**MEDICIÓN:** La pérdida de agregado es medida en metros lineales paralelo al eje longitudinal de la unidad de muestreo, se mide separadamente cada una de las acumulaciones de agregado, es decir en una unidad de muestreo de 30 metros de longitud, pueden existir tres acumulaciones de agregados a lo largo de la unidad de muestro producida por el daño, en este caso en la longitud a contabilizar en el formato de evaluación será 90 metros.

**ESQUEMA:**



**FIGURA 6.8 PERDIDA DE AGREGADO.**



**FIGURA 6.9 FOTO DE PERDIDA DE AGREGADO.**

### 6.2.5 BACHES. (Ver Anexo 7, gráfica V.D. daño)

**DESCRIPCIÓN:** Cavidades en la superficie de la carretera en forma de tazón, cuyo diámetro promedio usualmente es menor de 1 m.

**POSIBLES CAUSAS:** Son muy variadas las causas que originan este daño. Se producen debido a un estado muy avanzado de otros daños, por ejemplo las corrugaciones, ahuellamientos, etc. Y también por la combinación del tránsito, clima y características de los materiales de la capa de rodadura, son factores que influyen en la formación de este daño. Este daño tiende a desarrollarse durante la época húmeda, durante la cual cualquier deformación en la superficie, posibilita la concentración de agua y por tanto el debilitamiento de dichas áreas.

**NIVELES DE SEVERIDAD:** Se definen tres niveles de severidad (Bajo, Mediano, Alto) en función del diámetro promedio y profundidad del bache, condición y estado de los bordes, de acuerdo a la siguiente tabla:

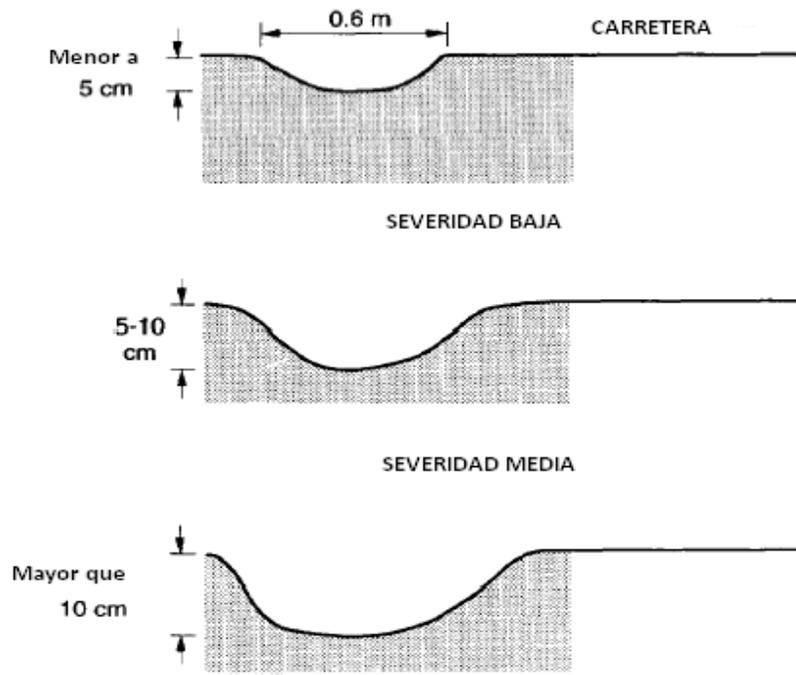
Profundidad Máxima	Diámetro Promedio (m)			
	Menor de 0.30	0.30 - 0.60	0.60 - 1.00	Mayor de 1.00 <sup>1</sup>
1.5 - 5 cm	B	B	M	M
5 - 10 cm	B	M	A	A
>10 cm	M	A	A	A

<sup>1</sup> si el diámetro promedio del bache es mayor de 1 m, se obtendrá en área del bache (metros cuadrados) y se dividirá entre 7 para encontrar un número equivalente de baches.

FUENTE: TECHNICAL MANUAL 5-626,  
HEADQUARTERS DEPARTMENT OF THE ARMY

**MEDICIÓN:** contando el número de baches que son de baja, media y alta severidad en la unidad de muestreo.

**ESQUEMA:**



**FIGURA 6. 10 BACHES.**



**FIGURA 6. 11 FOTO DE BACHES.**

#### **6.2.6 DRENAJE INADECUADO.** (Ver Anexo 8, gráfica V.D. daño)

**DESCRIPCIÓN:** Se presenta como una acumulación de agua en las cunetas, producida por la dificultad de escurrimiento del agua.

**POSIBLES CAUSAS:** este problema se da cuando las cunetas no están en buena condición, cuando hay crecimiento de hierba en las cunetas, acumulaciones de agregado que obstaculizan que el agua corra, estancándose.

**NIVELES DE SEVERIDAD:** definen tres niveles de severidad (Bajo, Mediano, Alto) de la siguiente manera:

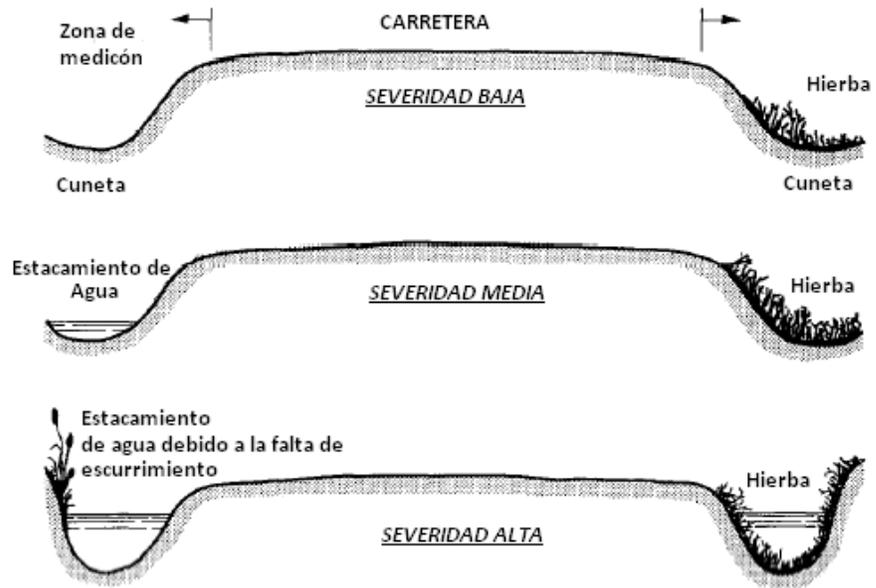
**B (Bajo)** Existen leves casi nulos estancamiento de agua en las cunetas, se puede observar el crecimiento de hierba dentro de la cuneta.

**M (Mediano)** Existen moderados estancamientos de agua en la cuneta y evidencia de escurrimiento en la capa de rodadura, se observa erosión en las cunetas afectando al hombro o en su defecto a la capa de rodadura.

**A (Alto)** Existen severos estancamientos de agua en la cuneta, impidiendo seriamente que el agua corra libremente en la cuneta, con abundante crecimiento de hierba.

**MEDICIÓN:** El problema de drenaje se mide en metros lineales, por unidad de muestreo, la longitud máxima a reportar es el doble de la unidad de muestreo.

**ESQUEMA:**



**FIGURA 6. 12 DRENAJE INADECUADO.**



**FIGURA 6. 13 FOTO DE DRENAJE INADECUADO.**

### **6.2.7 POLVO.** (Ver Anexo 9, gráfica V.D. daño)

**DESCRIPCIÓN:** Consiste en una nube que afecta la visibilidad del conductor. Este daño será analizado cuando no se cuente con la capa impermeabilizante.

**POSIBLES CAUSAS:** Es originado debido al desprendimiento de partículas de suelo, causado por el servicio de la carretera, y al aumento del tráfico, formando nubes de polvo que disminuyen la visibilidad y contribuyen a la contaminación del medio ambiente.

**NIVELES DE SEVERIDAD:** Se definen tres niveles de severidad (Bajo, Mediano, Alto).

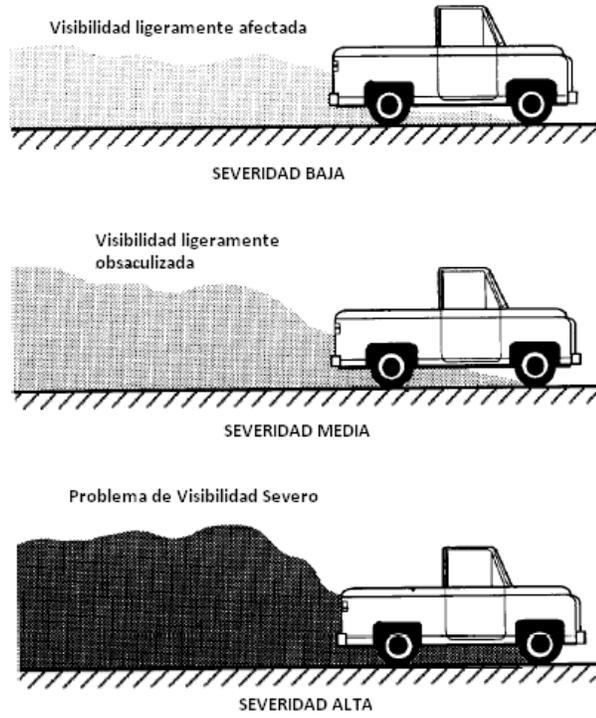
**B (Bajo)** El tráfico normal de la carretera ocasiona una tela delgada de polvo que no afecta la visibilidad del conductor.

**M (Mediano)** El tráfico normal de la carretera ocasiona una gruesa nube de polvo que afecta parcialmente la visibilidad y causa que el conductor disminuya la velocidad.

**A (Alto)** El tráfico normal de la carretera ocasiona una gruesa nube de polvo que afecta severamente la visibilidad, causa que el conductor disminuya la velocidad significativamente o se detenga.

**MEDICIÓN:** Se conduce un vehículo a velocidad de 40 KPH observándose la nube de polvo, es medido según la severidad baja, media y alta, por unidad de muestreo.

**ESQUEMA:**



**FIGURA 6. 14 POLVO.**



**FIGURA 6. 15 FOTO DE POLVO.**

### **6.3 PROGRAMA DE MANTENIMIENTO.**

Existen cuatro pasos que se deben seguir para desarrollar un programa de mantenimiento integral para una carretera no pavimentada, que son los siguientes:

1. Identificación de la carretera.
2. Establecer el Índice de Condición de la Vía.
3. Establecer las Prioridades del Mantenimiento.
4. Alternativas de Mantenimiento.

#### **6.3.1 Inspección de la Carretera.**

Este paso consiste en una evaluación previa del camino, en donde se realizará una división de tramos de acuerdo a ciertas características como las siguientes:

- Estructura del pavimento.
- Tráfico.
- Historial de Construcción.
- Categoría del camino.
- Drenaje y hombros.
- Unidad de muestreo, generalmente la longitud más pequeña para estas unidades de muestreo es 30 m, la cual es utilizada para determinar el URCI.

#### **6.3.2 Establecimiento del Índice de Condición de la Vía.**

Este se obtiene después de haber realizado el levantamiento de daños, clasificando cada uno de estos de acuerdo a su severidad baja, media y alta, considerando los siguientes daños:

- Sección Transversal Inadecuada.
- Corrugación.

- Ahuellamiento.
- Pérdida de Agregados.
- Baches.
- Drenaje Inadecuado.
- Polvo.

Esta evaluación es realizada con el objetivo de determinar el alcance y la magnitud de los problemas que presenta la carretera, a partir de esta evaluación se determinara la reparación el tipo de mantenimiento necesario.

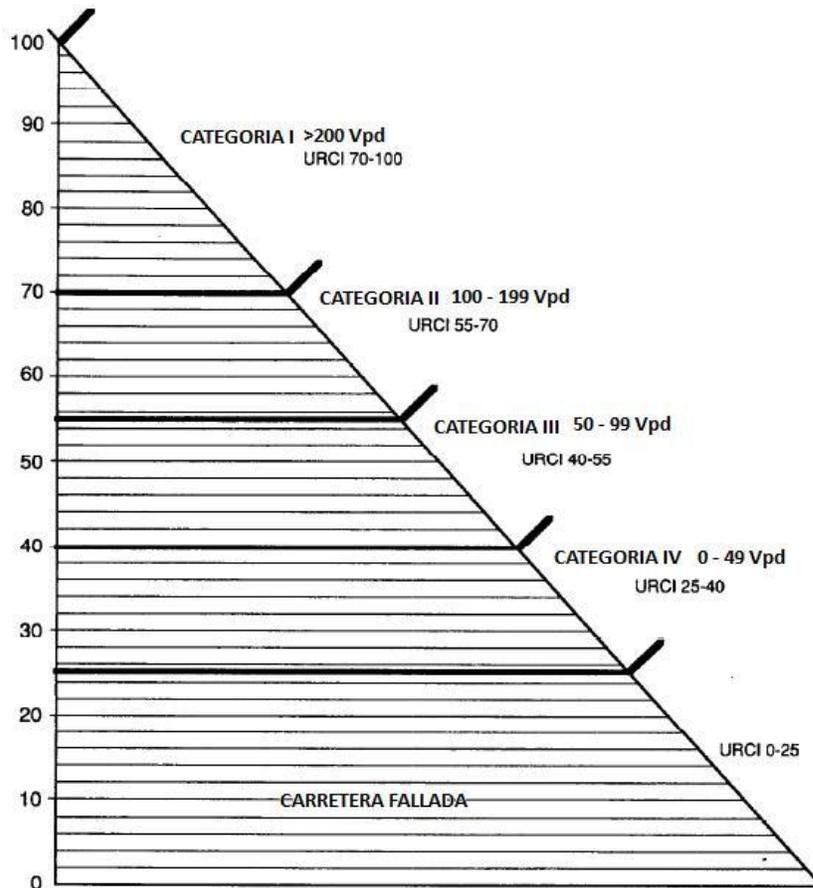
### **6.3.3 Establecimiento de las prioridades de mantenimiento.**

El establecimiento de la prioridad de mantenimiento está en función de valor del URCl obtenido y el tráfico al que la vía será expuesto, para dicho efecto se utiliza la figura 6.2, en donde se categoriza la carretera según el tráfico y el valor de URCl necesario.

Siendo las categorías las siguientes:

- Categoría I (> 200 Vpd)
- Categoría II (100 – 199 Vpd)
- Categoría III (50 – 99 Vpd)
- Categoría IV (0 – 49 Vpd)

De la figura 6.16 podemos establecer que si obtenemos un valor de URCl mínimo, con una combinación de tráfico alto, significa que la prioridad es mayor.



**FIGURA 6.16 Prioridad de Mantenimiento.**

Nota: Al momento de utilizar esta grafica si el valor del URCI con respecto a su categorización, esta sobre la línea limite el mantenimiento respectivo es opcional, si se encuentra justo en la línea es el momento optimo para realizar el mantenimiento, si el valor esta bajo esta línea su intervención es urgente.

### 6.3.4 Alternativas de Mantenimiento.

En la tabla 6.2 se presenta una guía para seleccionar el método de mantenimiento más adecuado (Ver Anexos 11, 12, 13, 14 y 15; Normas y Procedimientos de ejecución de Mantenimiento Vial SIECA) en la tabla se presentan los métodos de mantenimiento viables para cada uno de los daños presentados en el manual de acuerdo a la severidad del daño.

**TABLA 6.2 ALTERNATIVAS DE MANTENIMIENTO.**

<b>DAÑO.</b>	<b>SEVERIDAD</b>	<b>DESCRIPCIÓN.</b>
<b>SECCIÓN TRANSVERSAL INADECUADA</b>	B	CONFORMAR SECCIÓN.
	M	CONFORMAR SECCIÓN, Y AGREGAR MATERIAL (AGUA O AGREGADOS O AMBOS) Y COMPACTAR.
	A	CORTAR BASE, CONFORMAR CON AGREGADO AGUA Y COMPACTACIÓN
<b>DRENAJE INADECUADO</b>	B	LIMPIAR CUNETAS CADA 1 -2 AÑOS.
	M	MEJORAR SECCIÓN DE CUNETA.
	A	CONSTRUIR DRENAJE O UTILIZAR GOETEXTIL.
<b>CORRUGACIÓN</b>	B	CONFORMAR SECCIÓN.
	M	CONFORMAR SECCIÓN, Y AGREGAR MATERIAL (AGUA O AGREGADOS O AMBOS) Y COMPACTAR.
	A	CORTAR BASE, CONFORMAR CON AGREGADO AGUA Y COMPACTACIÓN
<b>POLVO</b>	B	APLICAR RIEGOS CON AGUA.
	M	APLICAR ESTABILIZANTE.
	A	INCREMENTAR EL PORCENTAJE DE ESTABILIZANTE, ESTABILIZAR BASE.
<b>BACHE</b>	B	CONFORMAR SECCIÓN.
	M	CONFORMAR SECCIÓN, Y AGREGAR MATERIAL (AGUA O AGREGADOS O AMBOS) Y COMPACTAR.
	A	CORTAR BASE, CONFORMAR CON AGREGADO AGUA Y COMPACTACIÓN
<b>AHUELLAMIENTO</b>	B	CONFORMAR SECCIÓN.
	M	CONFORMAR SECCIÓN, Y AGREGAR MATERIAL (AGUA O AGREGADOS O AMBOS) Y COMPACTAR.
	A	CORTAR BASE, CONFORMAR CON AGREGADO AGUA Y COMPACTACIÓN
<b>PERDIDA DE AGREGADO</b>	B	CONFORMAR SECCIÓN.
	M	CONFORMAR SECCIÓN, Y AGREGAR MATERIAL (AGUA O AGREGADOS O AMBOS) Y COMPACTAR.
	A	CORTAR BASE, CONFORMAR CON AGREGADO AGUA Y COMPACTACIÓN

**FUENTE: TECHNICAL MANUAL 5-626, HEADQUARTERS DEPARTMENT OF THE ARMY**

## **CAPITULO 7**

---

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## 7.1 CONCLUSIONES.

- Durante el desarrollo de un proyecto vial, el área de mecánica de suelos, es una de las más importantes y el conocimiento del comportamiento y características de éste, nos llevará a implementar soluciones factibles y efectivas, produciendo así una disminución en los costos.
- Para las vías de bajo intensidad de tránsito los ejes equivalentes se calculan auxiliándose de la fórmula abreviada recomendada por AASHTO; donde los datos requeridos para el cálculo solamente es el peso y tipo de eje del vehículo
- En esta guía se presentan dos alternativas de diseño, en la cual se lleva de la mano al usuario para que pueda determinar la estructura de pavimento que implementará y además mediante estos dos procedimientos el lector puede hacer un análisis comparativo de los costos diseñando con las diferentes alternativas.
- En la construcción de estos caminos es muy importante que se tenga un control de calidad de las obras que se ejecutan, para que estas cumplan con las proyecciones para lo cual han sido diseñadas, por esta razón se muestran las especificaciones técnicas que todo constructor debe seguir para desarrollar estos proyectos.

- El diseño de caminos de baja intensidad de tránsito para la obtención de espesores de Base y Subbase por medio de la metodología AASHTO utiliza nomogramas que tienen como variables Numero de Repeticiones de Ejes Equivalentes, Modulo Resiliente, Perdida de Serviciabilidad, Ahuellamiento y perdida de agregados, este diseño se hace utilizando un nivel de confiabilidad que varía de 50 hasta 75 %. Mientras que diseñando con el método AUSTROADS los datos requeridos son la capacidad de soporte de la subrasante (CBR) y el Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes, facilitando de esta manera la cantidad de variables a utilizar.
- Los métodos descritos son para caminos con una capa de rodadura de tierra o afirmado, con la experiencia vista en el país de estos caminos se ha observado que durante la época lluviosa se presenta el mayor deterioro de estas carreteras, de aquí surge la necesidad de la impermeabilización del paquete estructural del pavimento, por la naturaleza de los caminos de bajo volumen de tránsito, debe ser una impermeabilización de bajo costo, por lo que es conveniente realizarla con tratamientos superficiales asfálticos consiguiendo así una alternativa funcional y económica.

## 7.2 RECOMENDACIONES.

- Es necesario que exista personal capacitado en mecánica suelos ya que se observa serias deficiencias en el área de laboratorio provocando a su vez el mal desempeño de las estructuras por lo cual recomendamos se realice un programa que involucre a la Universidad de El Salvador y Ministerio de Obras Públicas para la implementación de una certificación para laboratoristas de proyectos viales.
- Realizar por medio de modelos de deterioros de pavimentos, una calibración para las condiciones de nuestro país y lograr obtener una metodología mecanístico-empíristico para el diseño de la estructura del pavimento en caminos de baja intensidad de tránsito.
- Realizar una revisión de las alternativas de mantenimiento para caminos de vías no pavimentadas, que están siendo realizadas, obteniendo como primer paso el URCI que produce el mantenimiento actual, el cual debe estar dentro de los rangos sugeridos, según su categorización, al encontrar un camino en el cual no se cumpla con dicho valor de URCI mínimo de su categorización, se debe hacer ajuste a las alternativas de mantenimiento que se están llevando a cabo, repitiendo dichas evaluaciones hasta obtener las alternativas que satisfagan los valores de las categorizaciones de los caminos.

- Hacer las gestiones necesarias para la construcción de tramos de prueba en donde se compare un camino de tierra contra un camino de tierra con impermeabilización del paquete estructural, en donde se pueda comprobar la efectividad de los planteado en esta guía, con el objetivo de evaluar su desempeño, de este modo se podrán hacer las correcciones necesarias y poder llegar a soluciones duraderas y adecuadas a nuestra realidad.

## BIBLIOGRAFIA.

- *Manual de pavimentos asfálticos para vías de baja intensidad de tráfico.*  
*Miguel Ángel del Val Mellus, Alberto Bardesi Orue-Echeverria.*  
*Compasan. Madrid ESPAS.*
- *Manual de diseño para pavimentos de bajo volumen de tránsito.*  
*Ing. Jorge A. Páramo e Ing. Rosana B. Cassan.*
- *Ley de Carreteras y Caminos Vecinales, decreto legislativo N° 463.*
- *Manual de Carreteras, construcción y mantenimiento, Luis Baños Blázquez,*  
*José Beviá García.*
- *Manual de Laboratorio de Mecánica de Suelos conforme a la Norma ASTM*  
*2003, Sandra Lisseth García Trejo, María Ofelia Ramírez López.*
- *Guía para el uso del Método de Diseño de Estructuras de Pavimentos nuevos*  
*según Método AASHTO 2002; Jorge Alexander Figueroa Gómez.*
- *Propuesta de un Manual para el Diseño Geométrico de Caminos Rurales en El*  
*Salvador; Jaime Benitez, Oscar Cruz y Sonia Juarez.*

- *Diseño de caminos de bajo volumen de tránsito, IDPP, instituto para el desarrollo de los pavimentos en el Perú.*
- *Manual para el diseño de caminos no pavimentado de bajo volumen de tránsito MTC, República del Perú, dirección general de caminos y ferrocarriles*
- *Manual series 19, manual Básico de Emulsiones Asfálticas. AEMA, Asphalt Institute.*
- *Catálogo Centroamericano de Daños a pavimentos Viales. SIECA.*
- *Normas y Procedimientos de ejecución para el Mantenimiento Vial. SIECA*
- *Manual Centroamericano de Especificaciones para la Construcción de Carreteras y Puentes Regionales 2da. Edición. SIECA.*
- *Estudio y Proyecto de Carreteras, CARCIENTE, JACOB.*
- *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993.*

- *Guide for Mechanistic Empirical Design, Appendix CC-1 Correlation of CBR with Index Properties; National Cooperative highway Research Program (NCHRP), Transportation Research Board (TRB).*
- *Pavement Condition Index; para pavimentos Asfálticos y de Concreto en Carreteras, Ing. Esp. Luis Ricardo Vásquez Varela. Universidad Nacional de Colombia.*
- *Department of the Army, TM 5-626, Unsurfaced Road Maintenance Management.*

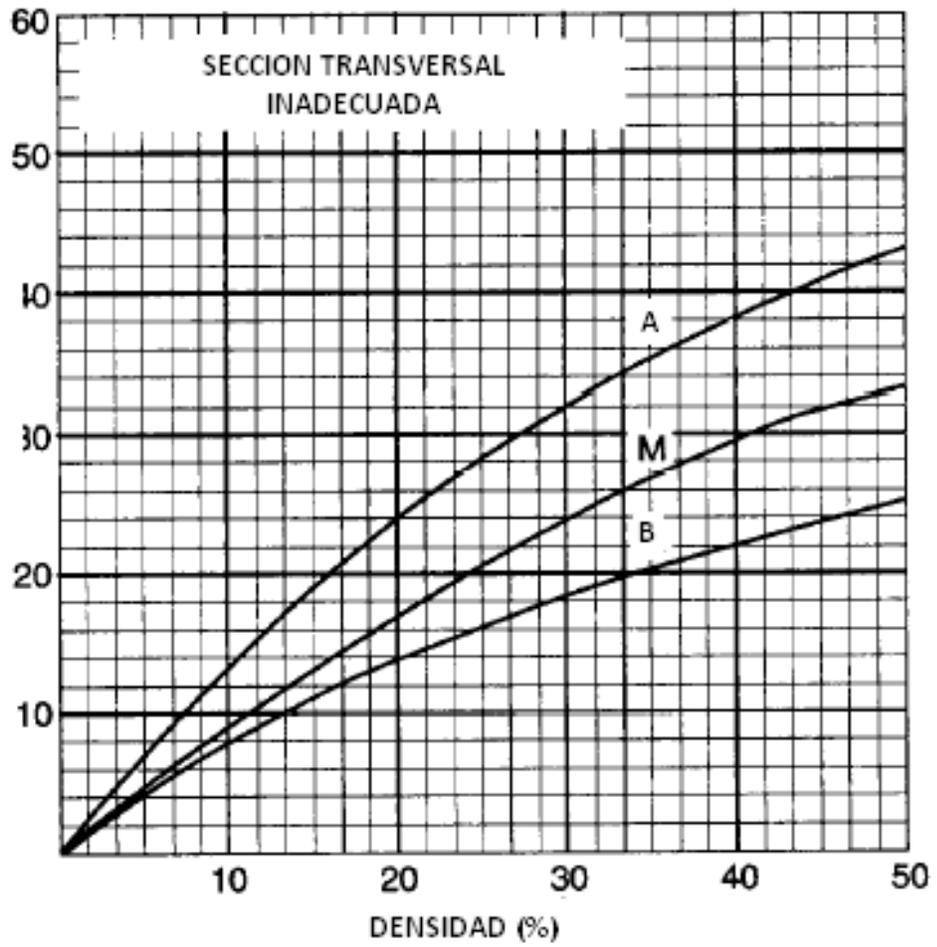
**ANEXOS.**

### ANEXO 1.

<b>Logo de Contratista.</b>	<b>CONTROL DE NO CONFORMIDADES</b>		
<b>PROYECTO:</b> _____			
<b>SUPERVISOR:</b> _____			
<b>CONTRATISTA:</b> _____			
<b>Actividad:</b>	<b>Responsable de La Actividad:</b>	<b>Fecha de No Conformidad:</b>	<b>Nº de NO Conformidad.</b>
<b>NO CONFORMIDAD DETECTADA POR:</b>			
SUPERVISOR <input type="checkbox"/> CONTROL DE CALIDAD <input type="checkbox"/> OTRO: _____ <span style="float: right;">(Nombre e Institución)</span>			
<b>ORIGEN DE LA NO CONFORMIDAD:</b>			
EJECUCION DE ENSAYOS	<input type="checkbox"/>	IMAGEN INSTITUCIONAL	<input type="checkbox"/>
RESULTADOS DE ENSAYO(S)	<input type="checkbox"/>	ESTIMACIONES	<input type="checkbox"/>
PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO	<input type="checkbox"/>	SEÑALIZACIÓN Y SEGURIDAD VIAL	<input type="checkbox"/>
MAQUINARIA O EQUIPO DEFECTUOSO	<input type="checkbox"/>	DOCUMENTACIÓN Y REGISTROS	<input type="checkbox"/>
LOGISTICA (RECURSOS DISPONIBLES)	<input type="checkbox"/>	SEGURIDAD OCUPACIONAL	<input type="checkbox"/>
CONTROL DE CALIDAD EN LINEA	<input type="checkbox"/>	RESPUESTA ANTE EMERGENCIAS	<input type="checkbox"/>
OTROS (Especificar):	<input type="checkbox"/>	ATRASOS EN LA EJECUCIÓN	<input type="checkbox"/>
<b>DESCRIPCIÓN Y UBICACIÓN DE LA NO CONFORMIDAD:</b>			
<b>CAUSA RAIZ:</b>			
<b>DESCRIPCIÓN Y FECHA DE LA CORRECCION (ACCION IMMEDIATA) (Que, quien, cuando):</b>			
<b>DESCRIPCIÓN Y FECHA DE LA ACCION CORRECTIVA/PREVENTIVA (PARA RESOLVER LA CAUSA RAIZ). (Que, quien, cuando):</b>			
<b>CIERRE DE LA NO CONFORMIDAD</b>			
<b>FECHA:</b>			
F. _____	F. _____		
Ing. de Aseguramiento de Calidad	Ing. de Control de Calidad		

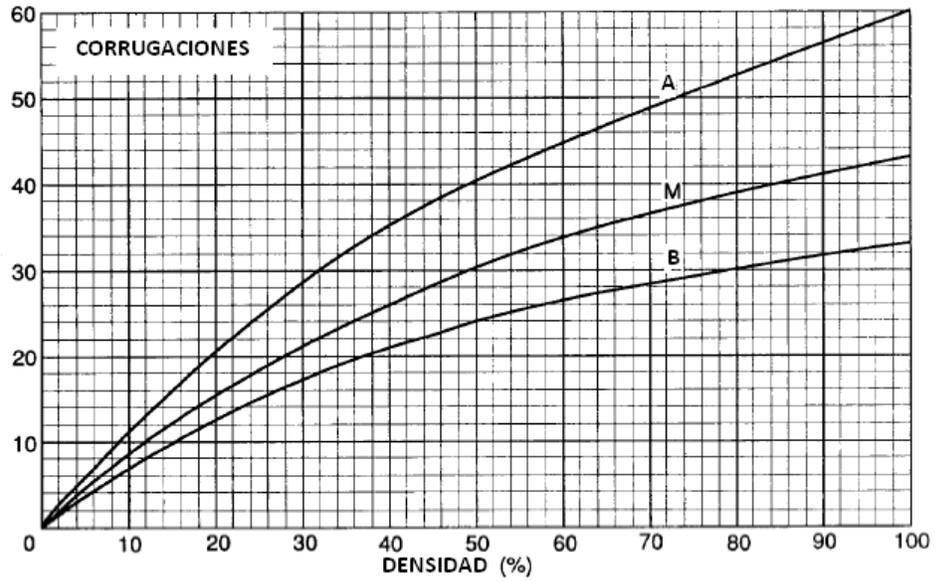


ANEXO 3.



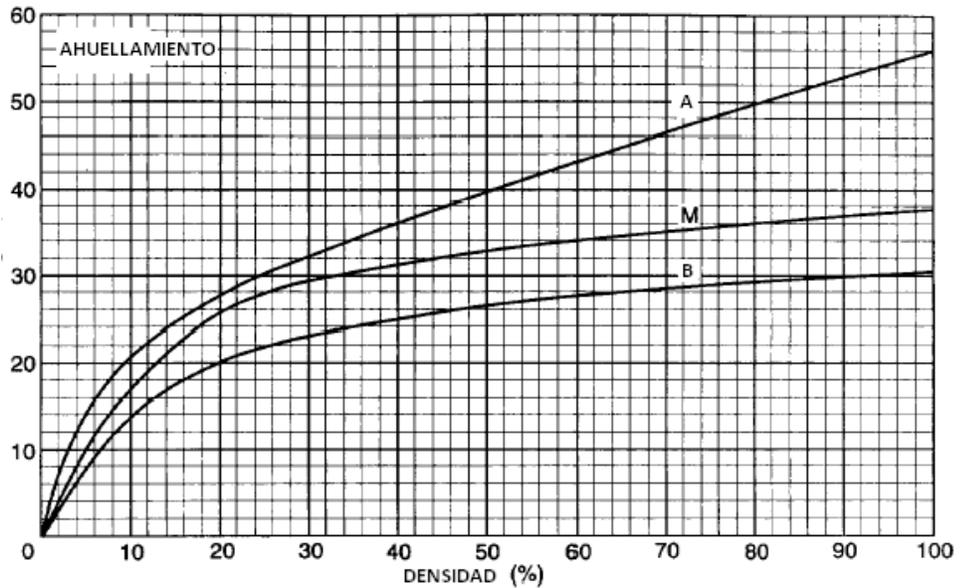
FUENTE: TECHNICAL MANUAL 5-626,  
HEADQUARTERS DEPARTMENT OF THE ARMY

### ANEXO 4.



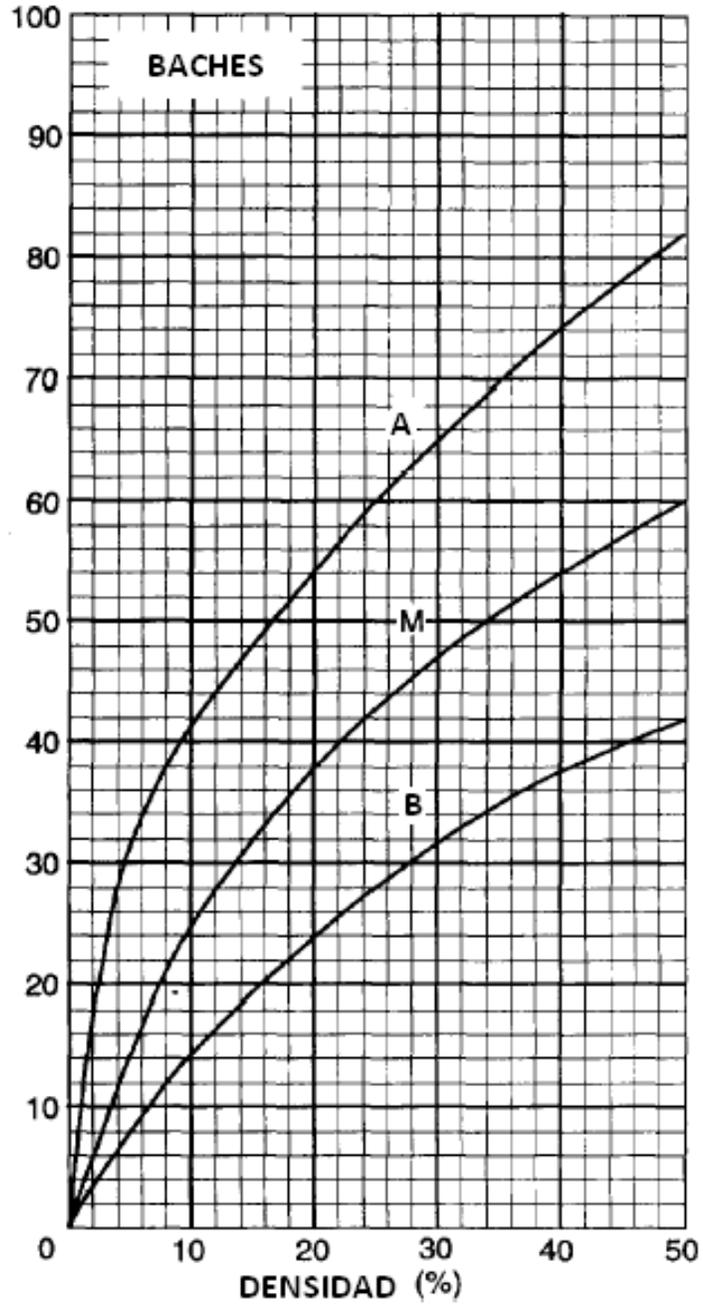
FUENTE: TECHNICAL MANUAL 5-626,  
HEADQUARTERS DEPARTMENT OF THE ARMY

### ANEXO 5



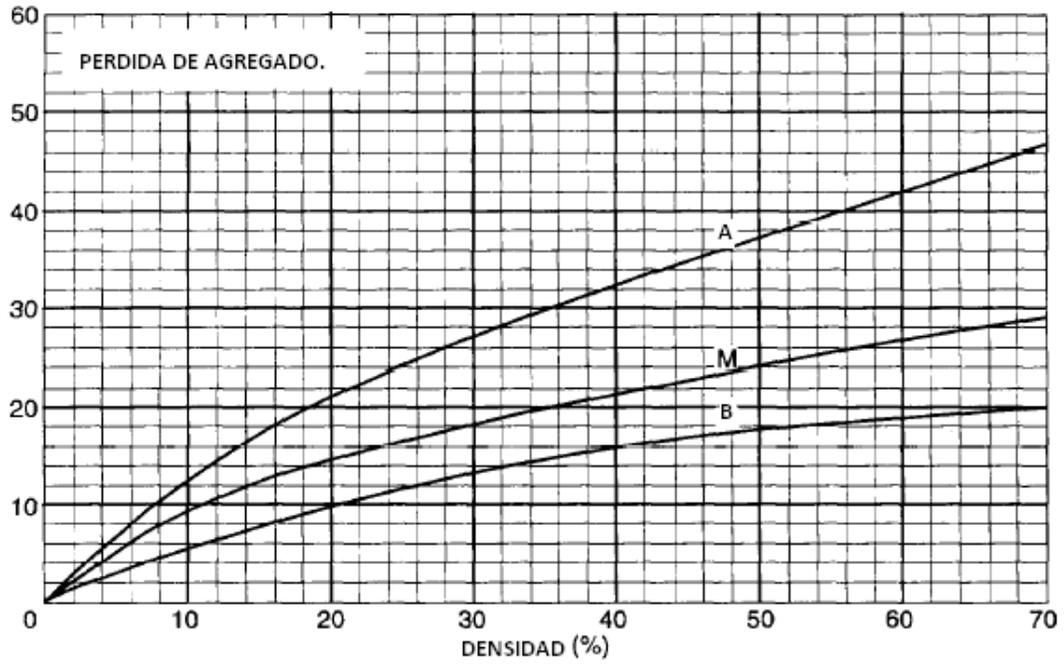
FUENTE: TECHNICAL MANUAL 5-626,  
HEADQUARTERS DEPARTMENT OF THE ARMY

ANEXO 7.



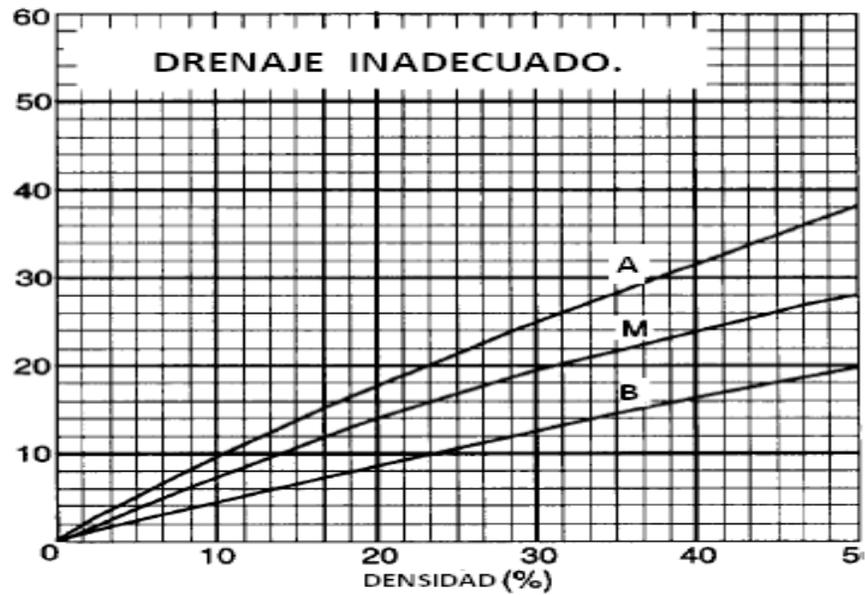
FUENTE: TECHNICAL MANUAL 5-626,  
HEADQUARTERS DEPARTMENT OF THE ARM

### ANEXO 6.



FUENTE: TECHNICAL MANUAL 5-626,  
HEADQUARTERS DEPARTMENT OF THE ARMY

### ANEXO 8.



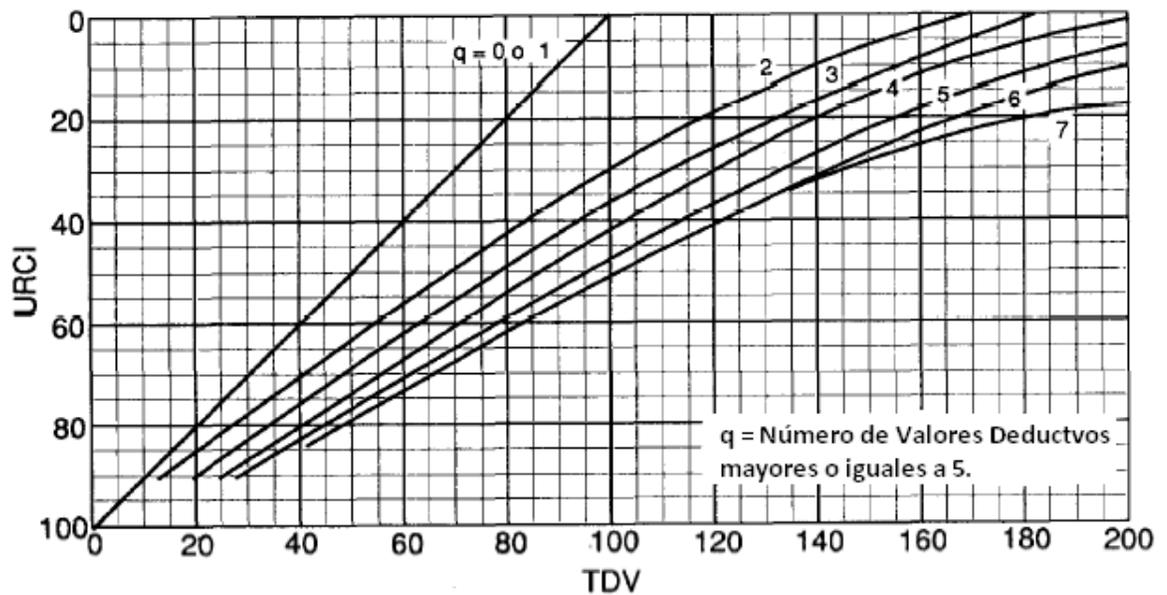
FUENTE: TECHNICAL MANUAL 5-626,  
HEADQUARTERS DEPARTMENT OF THE ARMY

**ANEXO 9.**

<b>POLVO.</b>		
<b>Para este daño no se obtiene densidad. Los valores deductivos de este daño son:</b>		
<b>BAJO</b>	-----	<b>2 Puntos.</b>
<b>MEDIO</b>	-----	<b>4 Puntos.</b>
<b>ALTO</b>	-----	<b>15 Puntos.</b>

FUENTE: TECHNICAL MANUAL 5-626,  
HEADQUARTERS DEPARTMENT OF THE ARMY

**ANEXO 10.**



FUENTE: TECHNICAL MANUAL 5-626,  
HEADQUARTERS DEPARTMENT OF THE ARMY

**ANEXO 11.**

		<b>SECRETARIA DE INTEGRACIÓN ECONÓMICA CENTROAMERICANA</b> <b>SIECA</b> <b>NORMAS Y PROCEDIMIENTOS DE EJECUCIÓN PARA MANTENIMIENTO VIAL</b>		
ACTIVIDAD				
CODIGO No.	NOMBRE:	CATEGORIA DE MANTENIMIENTO:		
RUT - 005	BACHEO DE SUPERFICIES NO PAVIMENTADAS	RUTINARIA		
<b>DESCRIPCIÓN:</b> Reparación a mano de pequeñas áreas, de carreteras y hombros no pavimentados, que presentan irregularidades tales como baches, depresiones, desgastes del balasto, áreas inestables y otras, colocando material apropiado.				
<b>PROPOSITO:</b> Corregir las irregularidades para la preservación de la carretera, evitar la formación de atascaderos y ofrecer seguridad y comodidad a los usuarios, así como mantener a un mínimo aceptable el costo de operación de vehículos.				
<b>CRITERIO PARA LA EJECUCIÓN:</b> Esta actividad debe ser realizada cuando las irregularidades provocan empozamiento de agua que al filtrarse destruye la carretera y antes que el área afectada se vuelva intransitable para el tránsito automotor.				
CANT.	MANO DE OBRA		PROCEDIMIENTO	
1	Caporal		1. Colocar señales y dispositivos de seguridad. 2. Cargar y transportar el material apropiado desde el banco hasta el lugar de apilación, predeterminado. 3. Descargar el material según se necesite. 4. Cuadrar el bache y extraer el material lodoso, orgánico o cualquier otro material indeseable (como lodo, material vegetal, etc.), que pueda haber dentro del área a reparar. Si es necesario, se debe compactar primero el fondo del bache. Si la causa de la anomalía es un nacimiento de agua, se debe dar aviso para que se haga sub-drenaje. 5. Esparcir el material, en capas de 10 cm si la profundidad a reponer es mayor de 15 cm para compactación manual, y para compactación con equipo en capas no mayores de 15 cm. 6. Compactar cada capa con la Compactadora o con mazos, cuando no sea posible el uso del primero. El material debe tener una humedad cercana a la óptima. Si le falta humedad regarle agua con la regadera de mano. 7. Verificar que el área quede bien nivelada con relación a la superficie circundante, por medio de regla o cordel. 8. Recoger excesos de material. 9. Retirar señales y dispositivos de seguridad en orden inverso a como fueron colocados.  * <b>NOTA:</b> 005-C Bacheo de superficies no pavimentadas/balasto 005-D Bacheo de superficies no pavimentadas/tierra	
10	Peones			
1	Piloto			
12	<b>TOTAL</b>			
CANT.	EQUIPO NECESARIO			% T.P.
1	Camión de volteo			50
1	Rodillo vibratorio portátil			35
CANT.	UNIDAD	MATERIALES		
10	m <sup>3</sup>	Balasto		
CANT.	HERRAMIENTA			
10	Palas	3		Carretillas de mano
5	Azadones	2		Regaderas de mano
10	Piochas	1	Tonel para agua	
5	Mazos metálicos			
UNIDAD DE MEDIDA				
Metro Cúbico de balasto				
PRODUCCIÓN PROMEDIO POR DÍA:			APROBADO POR:	
10 m <sup>3</sup> /día			FECHA:	

## ANEXO 12.

		<b>SECRETARIA DE INTEGRACIÓN ECONÓMICA CENTROAMERICANA</b> <b>SIECA</b> <b>NORMAS Y PROCEDIMIENTOS DE EJECUCIÓN PARA MANTENIMIENTO VIAL</b>	
ACTIVIDAD			
CÓDIGO No.	NOMBRE:	CATEGORIA DE MANTENIMIENTO:	
RUT - 006	RECONFORMACIÓN DE SUPERFICIES NO PAVIMENTADAS	RUTINARIA	
<b>DESCRIPCIÓN:</b> Conformar superficies no pavimentadas sin añadir material adicional, procurando conservar la sección típica tanto en ancho como en el bombeo.			
<b>PROPOSITO:</b> Mantener el perfil de la carretera en condiciones similares a las de diseño y proveer una superficie de rodadura uniforme.			
<b>CRITERIO PARA LA EJECUCIÓN:</b> Se llevará a cabo cuando la superficie tenga muchas irregularidades, se trabajará el material a la humedad óptima (de preferencia al principio de la Estación Lluviosa).			
CANT.	MANO DE OBRA	PROCEDIMIENTO	
1	Jefe de operadores	1. Colocar señales y dispositivos de seguridad, asegurar el control adecuado del tránsito, 2. Si las cunetas tienen exceso de maleza o están en mal estado ejecutar la actividad RUT - 011 Limpieza y Reconformación de Cunetas (con Motoniveladora). 3. Escarificar la superficie de rodadura hasta una profundidad de 15 cm cuando sea necesario y en una longitud no mayor de 1 km para no entorpecer el tránsito. 4. Mezclar y conformar humedeciendo el material cuando sea necesario, por medio de riegos hasta alcanzar su humedad óptima o airearlo cuando está muy saturado. 5. Raspar y arrastrar el sedimento desde el fondo de la cuneta hacia el hombro y si es necesario hacia el pie del talud. 6. Compactar con varias pasadas a todo el ancho de acuerdo con el anexo de compactación. 7. Retirar señales y dispositivos de seguridad en orden inverso a como fueron colocadas.	
1	Caporal		
5	Peones		
1	Piloto de regadora de agua (en época seca)		
1	Operador de motoniveladora		
1	Operador de compactadora de rodillo metálico		
10	<b>TOTAL</b>		
CANT.	EQUIPO NECESARIO	% T.P.	
1	Camión regador de agua (en época seca)	80	
1	Motoniveladora	80	
1	Compactadora de rodillo metálico	35	
<b>NOTAS:</b> 1- Si se conforman y limpian cunetas se debe de ejecutar y reportar de acuerdo a la actividad RUT - 011 Limpieza y Reconformación de Cunetas (con motoniveladora). 2- Esta actividad debe se reportada por el Jefe de Operadores. * <b>NOTA</b> 006-C Reconformación de superficies no pavimentadas / balasto 006-D Reconformación de superficies no pavimentadas / tierra			
CANT.	UNIDAD	MATERIALES	
		NINGUNO	
CANT.	HERRAMIENTA		
5	Palas		
5	Azadones		
5	Piochas		
2	Carretillas de mano		
UNIDAD DE MEDIDA			
Kilómetro			
PRODUCCIÓN PROMEDIO POR DIA:		APROBADO POR:	
1.5 km/día			
FECHA:			

**ANEXO 13.**

		<b>SECRETARIA DE INTEGRACIÓN ECONÓMICA CENTROAMERICANA</b> <b>SIECA</b>	
<b>NORMAS Y PROCEDIMIENTOS DE EJECUCIÓN PARA MANTENIMIENTO VIAL</b>			
<b>ACTIVIDAD</b>			
<b>CODIGO No.</b>	<b>NOMBRE:</b>	<b>CATEGORIA DE MANTENIMIENTO:</b>	
RUT - 007	REGADO DE AGUA	RUTINARIA	
<b>DESCRIPCIÓN:</b> El regado de agua en las carreteras no pavimentadas			
<b>PROPOSITO:</b> Evitar la pérdida de finos del material de recubrimiento, las molestias y peligros a los usuarios por el exceso de polvo.			
<b>CRITERIO PARA LA EJECUCION:</b> Esta actividad debe ser realizada cuando la superficie pierda mucha humedad y empiece a levantar polvo con el tránsito.			
<b>CANT.</b>	<b>MANO DE OBRA</b>	<b>PROCEDIMIENTO</b>	
1	Piloto de camión regador de agua	1. Buscar una fuente de agua cercana al tramo y allí llenar el Camión Regador usando la Bomba de Agua. 2. Colocar señales y dispositivos de seguridad. 3. Regar el agua sobre la carretera dando las pasadas necesarias para que la superficie queda húmeda, pero sin llegar a formar charcos. 4. Quitar señales y dispositivos de seguridad en el orden inverso a como fueron colocadas.  <b>NOTAS:</b> 1- Al realizar esta actividad, el Operador de Bomba de Agua y el Ayudante de regadora deben de tomar los tiempos de carga y descarga anotándolo en su respectiva libreta. Al finalizar el día deben presentar informe por separado al Encargado del Trabajo.	
1	Operador de bomba de agua		
1	Ayudante de regadora		
<b>3</b>	<b>TOTAL</b>		
<b>CANT.</b>	<b>EQUIPO NECESARIO</b>	<b>% T.P.</b>	
1	Camión regador de agua	75	* <b>NOTA</b> 007-A Regado de agua/balasto 007-B Regado de agua/terrra
1	Bomba de agua de 4"	25	
<b>CANT.</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>MATERIALES</b>	
		NINGUNO	
<b>CANT.</b>	<b>HERRAMIENTA</b>		
	NINGUNA		
<b>UNIDAD DE MEDIDA</b>			
Kilómetro de Vía Regado			
<b>PRODUCCIÓN PROMEDIO POR DÍA:</b>		<b>APROBADO POR:</b>	
8 km de Vía regados/Día		<b>FECHA:</b>	

**ANEXO 14.**

		<b>SECRETARIA DE INTEGRACIÓN ECONÓMICA CENTROAMERICANA</b> <b>SIECA</b>		
<b>NORMAS Y PROCEDIMIENTOS DE EJECUCIÓN PARA MANTENIMIENTO VIAL</b>				
<b>ACTIVIDAD</b>				
<b>CODIGO No.</b>	<b>NOMBRE: LIMPIEZA Y RECONFORMACIÓN DE</b>	<b>CATEGORIA DE MANTENIMIENTO:</b>		
RUT - 010	CUNETAS NO REVESTIDAS (A MANO)	RUTINARIA		
<b>DESCRIPCIÓN:</b> Limpieza y reconformación de cunetas y contracunetas a mano, extrayendo el material que haya caído en ellas.				
<b>PROPOSITO:</b> Mantener el drenaje de la carretera eficiente, de manera que el agua fluya libremente.				
<b>CRITERIO PARA LA EJECUCION:</b> Se realizará en las cunetas y contracunetas no revestidas donde no pueda trabajar la motoniveladora o donde el ancho de la carretera sea menor de 4.00 m. Se ejecutará al inicio de la estación lluviosa, a mediados de la misma y cuando sea necesario.				
<b>CANT.</b>	<b>MANO DE OBRA</b>	<b>PROCEDIMIENTO</b>		
1	Caporal	<ol style="list-style-type: none"> <li>Colocar señales y dispositivos de seguridad.</li> <li>Colocar a los Peones a lo largo de la cuneta o contracuneta por limpiarse, espaciándolos de 70 a 100 metros para que no se interfieran mutuamente.</li> <li>Conformar la cuneta y limpiarla de basura, vegetación, piedras y pequeños derrumbes, cargarlas en el Camión de Volteo cuando sea necesario o en Carretillas de mano.</li> <li>Verificar que la pendiente del fondo de la cuneta o contracuneta permita el libre flujo del agua y no haya depresiones que provoquen empozamientos. Verificar que la cuneta o contracuneta desagüe libremente en alcantarillas o salidas de agua.</li> <li>Descargar el material limpiado en zonas predeterminadas donde no sea arrastrado por las lluvias de nuevo al sistema de drenaje de la carretera.</li> <li>Quitar señales y dispositivos de seguridad en orden inverso a como fueron colocados.</li> </ol>		
10	Peones			
1	Piloto			
12	<b>TOTAL</b>			
<b>CANT.</b>	<b>EQUIPO NECESARIO</b>			<b>% T.P.</b>
1	Camión de volteo			40
<b>CANT.</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>MATERIALES</b>		
		NINGUNO		
<b>CANT.</b>	<b>HERRAMIENTA</b>			
10	Palas			
5	Azadones			
2	Rastrillos			
2	Carretillas de mano			
<b>UNIDAD DE MEDIDA</b>				
Metro lineal de cuneta o contracuneta limpiada				
<b>PRODUCCIÓN PROMEDIO POR DÍA:</b>				
300 ml/día				
			<b>APROBADO POR:</b>	
			<b>FECHA:</b>	

**ANEXO 15.**

		<b>SECRETARIA DE INTEGRACIÓN ECONÓMICA CENTROAMERICANA</b> <b>SIECA</b>	
<b>NORMAS Y PROCEDIMIENTOS DE EJECUCIÓN PARA MANTENIMIENTO VIAL</b>			
<b>ACTIVIDAD</b>			
<b>CODIGO No.</b>	<b>NOMBRE:</b> LIMPIEZA Y RECONFORMACIÓN DE	<b>CATEGORIA DE MANTENIMIENTO:</b>	
RUT - 011	CUNETAS (CON MOTONIVELADORA)	RUTINARIA	
<b>DESCRIPCIÓN:</b> Limpiar y conformar las cunetas con motoniveladora, solamente en tramos largos de cunetas no revestidas donde la topografía y la humedad del suelo lo permitan.			
<b>PROPOSITO:</b> Mantener libre el flujo de agua superficial, evitando estancamientos.			
<b>CRITERIO PARA LA EJECUCIÓN:</b> Se ejecutará esta actividad al inicio de la estación lluviosa y periódicamente durante la misma.			
<b>CANT.</b>	<b>MANO DE OBRA</b>	<b>PROCEDIMIENTO</b>	
1	Jefe de Operadores	1. Colocar señales y dispositivos de seguridad	
1	Caporal	2. Ajustar la cuchilla de la Motoniveladora	
5	Peones	3. Raspar y arrastrar con la Motoniveladora la maleza y sedimentos hacia fuera de la cuneta, prolongar la limpieza hacia las salidas de agua, si es necesario a mano.	
1	Piloto	4. Cargar el material sobrante en el Camión y transportarlo a sitios donde no perjudique, nunca sobre los hombros ni donde pueda obstruir obras de drenaje al ser arrastrado por las lluvias. No debe quedar sedimento en el hombro.	
2	Operadores	5. Verificar que la cuneta limpiada tenga pendiente uniforme que permita el flujo libre del agua y no queden depresiones ni puntos altos que provoquen que se empoce.	
10	<b>TOTAL</b>	6. Retirar señales y dispositivos de seguridad en orden inverso a como fueron colocados.	
<b>CANT.</b>	<b>EQUIPO NECESARIO</b>	<b>% T.P.</b>	<b>NOTAS:</b>
1	Camión de volteo	25	1. Esta actividad puede ejecutarse simultáneamente con la actividad RUT -006 Reconformación de Superficies no Pavimentadas. 2. Esta actividad debe ser reportada por el Jefe de Operadores. 3. Debe prestarse mucha atención para que la cuneta ya conformada no reduzca demasiado el ancho útil de la carretera principalmente si la cuneta es profunda y la pendiente de la carretera es mayor del 8%.
1	Motoniveladora	70	
1	Retroexcavadora	25	
<b>CANT.</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>MATERIALES</b>	
		NINGUNO	
<b>CANT.</b>	<b>HERRAMIENTA</b>		
5	Palas		
5	Azadones		
2	Carretillas de mano		
<b>UNIDAD DE MEDIDA</b>			
Kilómetro de cuneta limpiada			
<b>PRODUCCIÓN PROMEDIO POR DÍA:</b>			
1.5 km/día simultáneamente con Actividad RUT - 006			
5 km/día solo esta actividad			
			<b>APROBADO POR:</b>
			<b>FECHA:</b>