



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**CAUSAS, EFECTOS Y SOLUCIONES AL MANEJO INADECUADO DE AGUA PLUVIAL EN EL
RELLENO REALIZADO EN EL KILÓMETRO 112 RUTA CA-01 OCCIDENTE**

Boris Abilio Palma Cerna

Asesorado por el Ing. Guillermo Javier Hernández Maltez

Guatemala, febrero de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**CAUSAS, EFECTOS Y SOLUCIONES AL MANEJO INADECUADO DE AGUA PLUVIAL EN EL
RELLENO REALIZADO EN EL KILÓMETRO 112 RUTA CA-01 OCCIDENTE**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

BORIS ABILIO PALMA CERNA

ASESORADO POR EL ING. GUILLERMO JAVIER HERNÁNDEZ MALTEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, FEBRERO DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

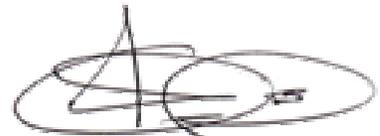
DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Marco Antonio García Díaz
EXAMINADOR	Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
EXAMINADOR	Ing. Juan Carlos Linares Cruz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

CAUSAS, EFECTOS Y SOLUCIONES AL MANEJO INADECUADO DE AGUA PLUVIAL EN EL RELLENO REALIZADO EN EL KILÓMETRO 112 RUTA CA-01 OCCIDENTE

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha marzo de 2012.



Boris Abilio Palma Cerna

Guatemala, 10 de octubre de 2012

Ingeniero

Mario Arriola Ávila

Jefe del Departamento de Topografía y Trasportes

Escuela de Ingeniería Civil

Presente

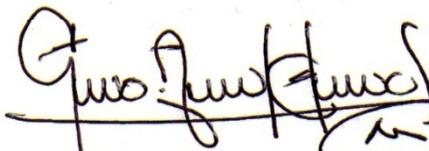
Estimado Ingeniero:

Atentamente me dirijo a usted para informarle que he procedido a la revisión del trabajo de tesis titulado " **CAUSAS, EFECTOS Y SOLUCIONES AL MANEJO INADECUADO DE AGUA PLUVIAL EN EL RELLENO REALIZADO EN EL KILOMETRO 112 RUTA CA-01 OCCIDENTE.**", presentado por el estudiante **BORIS ABILIO PALMA CERNA**, el cual llena los requisitos propuestos por el sustentante, por lo que me permito aprobarlo en calidad de asesor del mismo.

Sin otro particular, me suscribo de usted,

Atentamente,

"Id y enseñad a todos"



Ing. Guillermo Javier Hernández Maltez

Asesor

Colegiado No. 3,931

GUILLERMO JAVIER
HERNANDEZ MALTEZ
ING. CIVIL COL. 3931



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
www.ingenieria-usac.edu.gt



Guatemala,
14 de noviembre de 2012

Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Director Escuela Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos

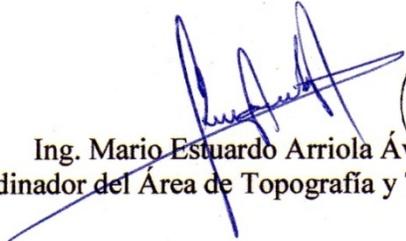
Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **CAUSAS, EFECTOS Y SOLUCIONES AL MANEJO INADECUADO DE AGUA PLUVIAL EN EL RELLENO REALIZADO EN EL KILOMETRO 112 RUTA CA-01 OCCIDENTE**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Boris Abilio Palma Cerna, quien contó con la asesoría del Ing. Guillermo Javier Hernández Maltez.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Mario Estuardo Arriola Ávila
Coordinador del Área de Topografía y Transportes



FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO
DE
TRANSPORTES
USAC

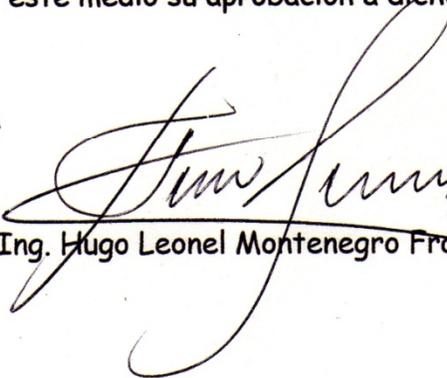
bbdeb.



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
www.ingenieria-usac.edu.gt



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Guillermo Javier Hernández Maltez y del Coordinador del Área de Topografía y Transportes, Ing. Mario Estuardo Arriola Ávila, al trabajo de graduación del estudiante Boris Abilio Palma Cerna, titulado CAUSAS, EFECTOS Y SOLUCIONES AL MANEJO INADECUADO DE AGUA PLUVIAL EN EL RELLENO REALIZADO EN EL KILOMETRO 112 RUTA CA-01 OCCIDENTE, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, febrero de 2013.

/bbdeb.

Más de 130^{Años} de Trabajo Académico y Mejora Continua





DTG. 076 .2013

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **CAUSAS, EFECTOS Y SOLUCIONES AL MANEJO INADECUADO DE AGUA PLUVIAL EN EL RELLENO REALIZADO EN EL KILÓMETRO 112 RUTA CA-01 OCCIDENTE**, presentado por el estudiante universitario: **Boris Abilio Palma Cerna**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, 12 de febrero de 2013

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por prestame la vida y darme la sabiduría e inteligencia necesaria, para poder obtener una meta más en mi vida.
- Mi padre** Boris Abilio Palma Montenegro, por haberme dado la oportunidad de estudiar y apoyarme en todo momento, pues es gracias a él que cumpla uno de mis grandes sueños y de los suyos: te amo.
- Mi madre** Sara Julieta Cema Montesflore, por su amor, apoyo incondicional en todos los momentos de mi vida, especialmente en los más difíciles para nuestra familia, por tus consejos, por incansable dedicación por mi felicidad, por la fe que me has brindado.
- Mis hermanas** Ana Gabriela y Julieta Palma, por todo el apoyo que me brindaron y por estar conmigo en cada momento que las necesité, porque siempre han confiado en mí y hemos pasado juntos tantas cosas, gracias por eso, las quiero mucho.

Mis amigos

Ellos saben quiénes son, por todo el apoyo y ayuda que me brindaron, por estar siempre para apoyarme y ayudarme cuando más lo necesitaba, por todos los momentos que compartimos juntos, penas, tristezas, alegrías, ilusiones y celebraciones, porque sé que continuarán de alguna manera, gracias por esa amistad.

**La Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por dame la oportunidad de realizar mis estudios, en especial a la Facultad de Ingeniería.

AGRADECIMIENTOS A:

- Dios** Por dame la vida hasta hoy que llego a culminar esta meta.
- Mis padres** Boris Abilio Palma y Sara Julieta Cerna, por enseñame buenos principios y valores, los cuales han servido para poder conducir de una buena manera en el trascurso de mi vida estudiantil, dando como resultado este triunfo; los amo.
- Mis hermanas** Ana Gabriela y Julieta Palma, por creer en mí y formar parte de los momentos más importantes de mi vida como este acto.
- Mis amigos** Por los momentos compartidos durante la carrera.
- Mi asesor** Ing. Guillermo Javier Hernández Maltez, por el apoyo y conocimientos aportados durante el desarrollo de este trabajo de graduación, así como su amistad brindada.
- Facultad de Ingeniería** Por los conocimientos obtenidos hasta el día de hoy. No sólo los conocimientos científicos, sino también las experiencias de vida.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	III
GLOSARIO	VII
RESUMEN.....	XI
OBJETIVOS.....	XIII
INTRODUCCIÓN.....	XV
1. DESCRIPCIÓN DE LA CARRETERA INTERNACIONAL (CA-01W).....	1
1.1. Ubicación y accesos.....	2
1.2. Monografía.....	4
2. DESCRIPCIÓN DEL MOVIMIENTO DE TIERRAS.....	7
2.1. Conceptos generales.....	7
2.1.1. Clasificación.....	8
2.2. Ensayos para material a utilizar.....	12
2.3. Características de los materiales	20
2.4. Procedimiento constructivo	22
2.5. Normas y especificaciones.....	27
2.6. Obras de protección	34
3. DESCRIPCIÓN DE LA TORMENTA TROPICAL AGHATA.....	39
3.1. Historia meteorológica.....	39
3.2. Impacto.....	45
4. RELLENO REALIZADO EN EL KILÓMETRO 112 RUTA CA-01	47
4.1. Material utilizado	47

4.2.	Proceso constructivo.....	62
4.2.1.	Operaciones previas.....	63
4.2.2.	Ejecución del terraplén.....	64
4.2.3.	Compactación.....	67
4.2.4.	Terminación del terraplén.....	69
4.3.	Formas de protección.....	69
4.4.	Colapso del relleno.....	75
4.4.1.	Causas.....	75
4.4.2.	Efectos.....	77
4.4.3.	Soluciones.....	83
4.4.4.	Discusión de resultados.....	105
	CONCLUSIONES.....	107
	RECOMENDACIONES.....	109
	BIBLIOGRAFÍA.....	111
	ANEXOS.....	113

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Frontera con El Salvador, San Cristóbal.....	1
2.	Frontera con México, La Mesilla.....	2
3.	Longitud de la red vial de Guatemala por departamentos según el tipo de carretera y tipo de rodadura 2001 (en kilómetros).....	5
4.	Isométrico de un relleno o un corte.....	10
5.	Laboratorio empresa encargada del proyecto.	13
6.	Equipo utilizado para elaboración de ensayos.....	14
7.	Equipo utilizado para ensayo CBR	15
8.	Equipo utilizado para la realización de varios ensayos.....	18
9.	Equipo utilizado para realización de ensayo de cono de arena.....	19
10.	Secciones 203, 205 y 206 de las Normas ASSHTO.....	29
11.	Registro de lluvia acumulada.....	40
12.	Registro acumulado de 24 horas.....	41
13.	Secuencia de boletines especiales.....	42
14.	Determinación de la densidad <i>in situ</i>	52
15.	Principales fases constructivas de un relleno.....	63
16.	Obra de protección utilizada antes del colapso.....	72
17.	Obra de protección dañada.....	73
18.	Bloqueo de cuneta causado por las comunidades.....	74
19.	Daños acusados a las obras de protección del relleno.....	76
20.	Aberturas en la pista anunciando el mal funcionamiento del relleno	77
21.	Abertura causada por movimiento del relleno.....	78

22.	Pista intransitable.....	78
23.	Pista en mal estado por el movimiento del relleno.....	79
24.	Pista intransitable por causa de movimiento en el relleno.....	79
25.	Momento en el cual el relleno empezó a ceder.....	80
26.	Pista en mal estado por causa del movimiento en el relleno.....	80
27.	Comunidades aledañas reunidas	81
28.	Momentos después del colapso.....	81
29.	Ubicación del camión que estaba ubicado sobre el relleno ya cuando el paso está prohibido.....	82
30.	Intransitabilidad de la vía.	82
31.	Perdidas materiales.....	83
32.	Colapso de la pista.....	83
33.	Limpieza del área afectada.....	88
34.	Inicio reparación por parte de empresa constructora.....	88
35.	Realización de ensayos a la obra de reconstrucción.....	89
36.	Proceso de compactación a nivel de base.....	89
37.	Limpieza del área de reconstrucción.....	90
38.	Construcción de obras de protección.	90
39.	Colocación pavimento.....	91
40.	Colocación pavimento rígido.....	91
41.	Acabado pavimento.....	92
42.	Colocación de pavimento rígido reconstrucción.	92
43.	Emparejado de pavimento.....	93
44.	Construcción obra de protección pie de talud.....	93
45.	Construcción de obra de protección para solución planteada.....	94
46.	Colocación electro malla de refuerzo.....	94
47.	Protección talud, menor altura.....	95
48.	Visualización final, del tramo reconstruido.....	95
49.	Colocación de señalización.....	96

50.	Colocación de señalización, tomando en cuenta medidas de seguridad.....	96
51.	Acabados finales, pintura.....	97
52.	Pintura.....	97
53.	Protección al talud por medio de zampeado, para evitar erosión.....	99
54.	Bordillo de protección 1.....	99
55.	Bordillo de protección 2.....	100
56.	Bajada de agua de la parte superior 1	101
57.	Bajada de agua de la parte superior 2	101
58.	Tubería transversal para captación de agua pluvial.....	102
59.	Caja colectora de aguas pluviales.....	102
60.	Protección de talud.....	103
61.	Derramaderos existentes 1	104
62.	Derramaderos existentes 2	104
63.	Medidas de protección.....	105

TABLAS

I.	Problemas más frecuentes que se presentan en las partes o elementos de un relleno.....	26
II.	Resultados ensayo cono de arena, relleno.....	49
III.	Resultados ensayo proctor, subrasante	53
IV.	Resultados ensayo cono y arena, subrasante.....	53
V.	Resultados ensayo densímetro nuclear.....	54
VI.	Resultados ensayo proctor, subbase.....	56
VII.	Resultados ensayo límites de Atterberg, subbase.....	56
VIII.	Resultados ensayo equivalente de arena, subbase.....	57
IX.	Resultados ensayo densímetro nuclear, subbase	57
X.	Resultados ensayo CBR, subbase.....	59

XI.	Resultados ensayo viga Benkelman, subbase	59
XII.	Diseño de mezcla de capa de base estabilizada con cemento.....	61
XIII.	Resultados ensayo cono y arena, subrasante, posterior al colapso.....	85
XIV.	Resultados ensayo viga Benkelman, subrasante, posterior al colapso.....	85
XV.	Resultados ensayo cono y arena, subbase, posterior al colapso.....	86
XVI.	Resultados ensayo viga Benkelman, subbase, posterior al colapso.....	86
XVII.	Resultados ensayo cono y arena, base, posterior al colapso	87
XVIII.	Resultados ensayo viga Benkelman, base, posterior al colapso.....	87

GLOSARIO

Agua pluvial	Agua de lluvia que fluye sobre la superficie de la tierra, en vez de penetrar directamente en ella; llegando finalmente en un río, lago, arroyo, etc.; llevando consigo una variedad de contaminantes y sedimentos de la tierra.
Compactación	Operación previa, para aumentar la densidad de los suelos, y con ello mejorar la resistencia superficial de un terreno sobre el cual deba construirse una carretera y otra obra. Aplicando una cantidad de energía la cual es necesaria para producir una disminución apreciable del volumen de hueco del material utilizado.
Cota	Número que, en un mapa o plano topográfico, señala la altura de un punto sobre el nivel del mar.
Derrumbe	Caída de una franja de terreno que pierde su estabilidad o la destrucción de una estructura construida por el hombre. Suelen ser repentinos y violentos.
Deslizamientos	Tipo de corrimiento o movimiento de masa de tierra, provocado por la inestabilidad de un talud.

Libro azul	Sobre nombre dado a las Especificaciones Generales para Construcción de Carreteras y Puentes de la Dirección General de Caminos.
Excavación	Desmonte del terreno existente; destinada a abrir una vía de paso a la carretera. Esta excavación puede realizarse por medios mecánicos o con explosivos, según el tipo de terreno.
Geología	Ciencia que estudia la composición y estructura interna de la Tierra.
Geotecnia	Rama de la Ingeniería civil que se encarga del estudio de las propiedades mecánicas, hidráulicas e ingenieriles de los materiales provenientes de la tierra.
Hundimientos	Es un movimiento de la superficie terrestre en el que predomina el sentido vertical descendente y que tiene lugar en áreas adinales o de muy baja pendiente.
Infraestructura	Es la base material de la sociedad que determina la estructura social y el desarrollo y cambio social.
Intransitabilidad	Que no puede ser transitado.
Movimiento de tierras	Actividades llevadas a cabo para variar o modificar la topografía de un área, faja o zona.

Obra de mitigación ambiental	Establece las obras que se requieren para prevenir, mitigar, controlar, compensar y corregir los posibles efectos o impactos ambientales negativos causados en desarrollo de un proyecto, obra o actividad.
Pavimentación	Capa constituida por uno o más materiales que se colocan sobre el terreno natural o nivelado, para aumentar su resistencia y servir para la circulación de personas o vehículos.
Rasante	La cota que determina la elevación del terreno en cada punto; se distingue entre rasante natural del terreno, rasante de vía (eje de la calzada) o de acera, pudiendo ser existentes o proyectadas; por omisión se entenderá la rasante de la vía pública que establezca el planeamiento.
Saturación	Cuando el agua llena todos los poros desalojando al aire.
Subrasante	Superficie terminada de la carretera a nivel de movimiento de tierras (corte o relleno), sobre la cual se coloca la estructura del pavimento o afirmado.

Suelo

Es el sustrato físico sobre el que se realizan las obras, del que importan las propiedades físico-químicas, y especialmente, las propiedades mecánicas. Desde el punto de vista ingenieril se diferencia del término roca al considerarse específicamente bajo este término un sustrato formado por elementos que no pueden ser separados sin un aporte significativamente alto de energía.

Talud

Pendiente de un muro, la que es más gruesa en el fondo que en la parte superior de éste, de modo que así resista la presión de la tierra tras él.

Topografía

Ciencia que estudia el conjunto de principios y procedimientos que tienen por objeto la representación gráfica de la superficie de la Tierra, con sus formas y detalles; tanto naturales como artificiales.

RESUMEN

La carretera internacional (CA-01W) es una de las rutas principales a nivel nacional y regional, y con mayor tránsito del país, por su conexión con lugares muy importantes dentro de la economía nacional por sus producciones industriales y agrícolas. Además esta ruta es parte de la Carretera Interamericana que atraviesa casi todo el continente; también importante por pasar por sitios altamente turísticos. El tramo que corresponde del kilómetro 89 hasta el 124 se vio afectado por los inviernos pasados, provocando deslizamientos, derrumbes, hundimientos entre otros problemas.

El 2 de octubre del 2010 se presentó un hundimiento en la estación 112 lateral derecho, que se produjo debido a la saturación del relleno controlado que se llevó a cabo en dicho punto.

La saturación del relleno fue provocada, en parte, por la población aledaña al lugar, ya que por inconformidad con la construcción de la ampliación de la carretera a cuatro carriles, bloquearon el paso del agua en las cunetas y rompieron bordillos, alegando que sus propiedades se veían afectadas, y desviaron el agua hacia el relleno lo cual provocó la saturación y la falla del mismo.

En este trabajo de graduación se pretende sintetizar las causas de este suceso, así como la justificación del porqué de las decisiones tomadas por los ingenieros encargados del proyecto: Diseño y construcción de la ampliación a 4 carriles de la ruta CA-01 occidente tramo: Tecpán – Los Encuentros (km 89 –

km 124), con lo que respecta a los inconvenientes suscitados en el relleno que se ejecutó en dicho proyecto entre las estaciones 111+920 a 112+580.

El percance fue bastante relevante tomando en cuenta que el proceso constructivo del mismo se llevó a cabo conforme todas las normas y especificaciones de la construcción de carreteras de la Dirección General de Caminos.

Este relleno tenía una longitud aproximada de 660 mts quedando completamente terminado, con su debida protección como cunetas, derramadero y obras de mitigación ambiental en el talud del relleno, inclusive la obra fue recibida por la Dirección General de Caminos satisfactoriamente. Por la falta de información de la importancia de las obras de ingeniería, los vecinos del lugar rompieron los bordillos y cunetas, ocasionando con esto la obstrucción del desfogue de cunetas, causando el derrame de toda el agua sobre el relleno construido, lo que ocasionó una saturación en el relleno.

La empresa encargada al momento de percatarse de este suceso, tomó las medidas correctivas del mismo, señalizando para evitar la circulación de vehículos y así evitar ejercer algún tipo de carga; sin embargo, por la negligencia de los usuarios no se acataron las señales de prevención que se colocaron y un piloto imprudente colocó un vehículo de peso considerable sobre la pista dañada y por la carga y la saturación existente se dio el colapso del relleno y por ende la pista del lado derecho, causando así la intransitabilidad de una ruta tan importante como lo es la CA-01.

OBJETIVOS

General

Evaluar las causas, efectos y soluciones del colapso del relleno realizado en el kilómetro 112 de la ruta CA-01 occidente, como parte del proyecto: Diseño y construcción de la ampliación a 4 carriles de la ruta CA-01 occidente tramo: Tecpán – Los Encuentros (km 89 – km 124).

Específicos

1. Conocer los diferentes tipos de rellenos, existentes así como los parámetros para su utilización.
2. Conocer las especificaciones planteadas por el libro azul, de la Dirección General de Caminos con lo que respecta a la construcción de rellenos.
3. Determinar la forma correcta para la protección de rellenos realizados en proyectos viales.
4. Concientizar a los usuarios y comunidades aledañas del cuidado que se tiene que tener en las obras de ingeniería.
5. Determinar si la solución planteada, realizar el paso inferior con menor altura de relleno, fue la más viable y proponer otras alternativas.

INTRODUCCIÓN

Las obras de infraestructura de transporte o vías terrestres como: caminos, carreteras, autopistas o autovías son importantes debido a los beneficios socioeconómicos proporcionados por las vías terrestres. Incluyen, además la confiabilidad, bajo todas las condiciones climáticas, la reducción de los costos de transporte, el mayor acceso a los mercados para los cultivos y productos locales, el acceso a nuevos centros de empleo, la contratación de trabajadores locales en obras en sí, el mayor acceso a la atención médica y otros servicios sociales y el fortalecimiento de las economías locales. Para construir una obra, los beneficios tienen que ser claros y evidentes, lo segundo, que la inversión venga justificada en términos económicos, sociales y políticos y por último, que nunca arrastre riesgos inmanejables.

En el caso del proyecto de ampliación a 4 carriles de la ruta CA-01 occidente los beneficios son evidentes: la reducción de costo y tiempo para el transporte de las personas a sus respectivos empleos así como el acceso a fuentes de educación, cultivos, salud, recreación, así el mejoramiento a los diferentes lugares turísticos con los que cuenta esta región del país.

Como en toda obra de ingeniería civil, en el proceso constructivo han existido diferentes inconvenientes como las cotas de proyecto de rasante y subrasante de las obras de pavimentación establecen la necesidad de modificar el perfil natural del suelo, siendo necesario en algunos casos rebajar dichas cotas, y en otros casos elevarlas. En el primer caso corresponde ejecutar un trabajo de corte o excavación, y en el segundo, un trabajo de

relleno o de terraplén. En ambos casos debe efectuarse lo que constituye propiamente un movimiento de tierras.

El movimiento de tierras puede llegar a ser un procedimiento bastante debatible para las comunidades aledañas al proyecto, esto porque para muchas personas el beneficio no es claro, más la inseguridad que ocasiona este procedimiento si lo es. Un movimiento de tierras si no es manejado adecuadamente es inminente que puede llegar a ser más que un beneficio, un peligro, es por esta razón que es necesario conocer más acerca de dicho procedimiento, así como lo es la selección del material a utilizar, el proceso constructivo, y las obras de protección pertinentes.

Guatemala es un país rico en recursos, entre ellos la gran disposición de materiales con diferentes características físicas y mecánicas es por esta razón que para la utilización de un material para un relleno es necesario la selección correcta, ya que es evidente que en muchas ocasiones los problemas ocasionados en las redes viales viene relacionados con el mal comportamiento de los diferentes materiales utilizados, así como mala ejecución de los trabajos planificados.

Con la finalidad de contribuir de manera formal, con el área de topografía y transportes, con este tema muy importante, se presenta este trabajo como parte de una investigación de los problemas suscitados en el proyecto: Diseño y construcción de la ampliación a 4 carriles de la ruta CA-01 occidente tramo: Tecpán – Los Encuentros (km 89 – km 124), proyecto de investigación titulado: Causas, efectos y soluciones al manejo inadecuado de agua pluvial en el relleno realizado en el kilómetro 112 ruta CA-01 occidente, la investigación tiene como fin primordial sistematizar el manejo adecuado del agua pluvial en un relleno.

1. DESCRIPCIÓN DE LA CARRETERA INTERNACIONAL (CA-01W)

La carretera internacional CA-01 forma parte de la Carretera Panamericana o también llamada ruta panamericana, esta ruta es un sistema de carreteras de aproximadamente 25 800 km de largo. Este sistema vincula casi todos los países del continente americano. Esta carretera fue concebida en una conferencia internacional llevada a cabo en los Estados Unidos en 1923. Esta carretera internacional es de vital importancia, no sólo por ser una carretera que vincula dos fronteras muy importantes con lo que respecta en sus actividades económicas como la frontera con El Salvador, San Cristóbal y la frontera con México, Comalapa.

Figura 1. **Frontera con El Salvador, San Cristóbal**



Fuente: Prensa Libre. http://www.prensalibre.com/jutiapa/Movimiento-comercial-reinicia-fronteras-Salvador_0_601139937.html. Consulta: mayo de 2012.

Figura 2. **Frontera con México, La Mesilla**



Fuente: Revolución por minuto. http://revolucionporminuto.blogspot.com/2009_01_01_archive.html. Consulta: mayo de 2012.

1.1. Ubicación y accesos

La Carretera Intemacional CA-01 es importante por los aspectos ya mencionados, pero también, porque la misma atraviesa diferentes departamentos los cuales cuentan con gran cantidad de actividades económicas y actividades altamente turísticas, entre éstos: Antigua Guatemala, ciudad a la cual se puede llegar por medio de esta carretera. Entre los diferentes departamentos que atraviesa la carretera CA-01 son San Marcos, Quetzaltenango, Totonicapán, Sololá, Quiché, Chimaltenango, Sacatepéquez, Guatemala, Santa Rosa y Jutiapa, estos departamentos cuentan con gran cantidad de actividades económicas, pese a esto cuentan con condiciones muy desfavorables con lo que respecta a educación, salud, y diferentes servicios sociales entre otros muchos aspectos, ocasionando así niveles muy bajos en lo

que respecta a educación y bastantes carencias en el área de salud, esto muchas veces está relacionado por la falta de descentralización existente en la capital.

Debido a esto muchas veces para los pobladores de estos departamentos es necesario su movilización al área urbana, Ciudad de Guatemala. Por esta razón es de vital importancia contar con sistemas de transporte de calidad, ya que muchas veces esto ayuda a la disminución de costos, tiempo y, en muchas ocasiones, accidentes viales.

Pese a ser una carretera internacional, por diferentes circunstancias, tales como: fenómenos naturales, falta de mantenimiento, falta de trabajos en la misma, algunos tramos se encuentran en mal estado, fue hasta hace apenas 6 años que se enfatizó en vigilancia de esta vía, proponiendo así proyectos de gran escala como: Diseño y construcción de la ampliación a 4 carriles de la ruta CA-01 occidente tramo: Tecpán – Los Encuentros (km 89 – km 124), que es a la cual se enfocará el presente estudio. Este tramo carretero de la CA-01 ha sufrido diferentes percances ocasionados por las fuertes lluvias que azotaron el territorio guatemalteco.

El 14 de octubre del 2011, la ruta CA-01 occidente, conocida como Carretera Interamericana, estuvo cerrada a partir del kilómetro 153 hasta el 188, Cuatro Caminos, para resguardar la seguridad de la población, hasta nueva orden, esto debido a fenómenos naturales suscitados en esta fecha. En este tramo carretero, únicamente del kilómetro 60 al 153 se registraron 35 derrumbes. De las emergencias atendidas en este tramo, 19 fueron consideradas altamente peligrosas, y la registrada en el kilómetro 153, en el cual previamente ya se habían habilitado dos carriles, pero un nuevo deslave provocó el cierre de este punto, dejando una víctima mortal y la búsqueda de

desaparecidos. En un punto crítico de esta ruta en el kilómetro 180, permaneció por un tiempo prolongado maquinaria trabajando para remover el material rocoso que impidió el paso y puso en peligro a los usuarios de la vía.

Pese a todos los problemas que se tuvieron, se logró activar nuevamente esta ruta, por su importancia, pero es recomendable que se proponga un plan de restauración y mantenimiento para este tipo de vías y así evitar tener problemas de gran magnitud y hasta pérdidas humanas.

1.2. Monografía

En la región occidente, por la que atraviesa la CA-01, se presenta una alta vulnerabilidad física, no solamente a fenómenos antropogénicos (provocados por el hombre) como deforestación, contaminación ambiental, incendios, etc., sino también, por su situación geográfica, a fenómenos naturales como la sequía, inundaciones causados por desborde de ríos, movimientos y deslizamientos de tierra. Las áreas que se consideran más vulnerables física y socialmente son aquellas donde hay mayor recurrencia de fenómenos, mayor índice de pobreza, alta concentración de población y donde se concentra el mayor sector económico y productivo.

La carretera internacional CA-01, hoy en día se encuentra pavimentada en su totalidad, lamentablemente algunos sectores se encuentra bastante dañada, es por esta razón que es necesario crear un plan de reconstrucción y mantenimiento adecuado. En algunos sectores ya se ha iniciado con la reconstrucción y en otros con la ampliación a 4 carriles de pavimento rígido, o sea de concreto hidráulico.

A continuación se muestra una tabla que indica algunas longitudes de la red vial de Guatemala por departamentos. En el anexo 1 se encuentra una imagen de la red vial de la República de Guatemala donde se indican las carreteras centroamericanas, nacionales y departamentales.

Figura 3. **Longitud de la red vial de Guatemala por departamentos según el tipo de carretera y tipo de rodadura 2001, (en kilómetros)**

Departamento	Total (Km)	Tipo de Carretera			Tipo de rodadura		
		C.A.	Nacional	Departamental	Asfalto	Terrecería	Caminos rurales
Guatemala	752	177	113	462	482	270	42
Alta Verapaz	840	39	231	570	155	685	246
Baja Verapaz	319	53	98	168	92	227	164
Chiquimula	490	144	77	269	245	245	136
El Progreso	236	118	25	93	178	58	12
Izabal	438	213	85	140	255	183	----
Zacapa	471	105	23	343	246	225	18
Jalapa	286	----	161	125	88	198	355
Jutiapa	566	156	59	351	355	211	97
Santa Rosa	493	88	54	351	241	252	140
Chimaltenango	388	63	76	249	176	212	359
Escuintla	821	258	60	503	436	385	----
Sacatepéquez	156	32	74	50	106	50	----
Quetzaltenango	450	58	150	242	285	165	190
Retalhuleu	222	28	71	123	168	54	4
San Marcos	758	54	315	389	260	498	262
Sololá	311	53	96	162	212	99	104
Suchitepéquez	577	73	31	473	316	261	3
Totonicapán	232	61	57	114	98	134	358
Quiché	551	8	174	369	160	391	419
Huehuetenango	693	101	254	338	208	485	424
Petén	1033	264	----	769	431	602	----
Total	11083	2146	2284	6653	5193	5890	3332

Fuente: perfil socioambiental de la región sur occidente, Universidad del Valle de Guatemala.

p. 4.

Para el proyecto Diseño y construcción de la ampliación a 4 carriles de la ruta CA-01 occidente tramo: Tecpán – Los Encuentros (km 89 – km 124), en las etapas previas al proceso constructivo se llevaron a cabo los estudios de impacto ambiental (EIA), geológico de la zona, topográfico, tránsito, geotécnico, suelos, hidrológico y pavimento. Esto con el fin de obtener diferentes

parámetros para el diseño del tramo carretero que cumpla con las especificaciones técnicas, físicas y mecánicas que aseguren el buen funcionamiento así como una prolongada vida útil del proyecto. Lo que se realizó posteriormente a llevar a cabo los estudios fue todo lo relacionado con trabajo de gabinete, así como ensayos al material a utilizar, es allí donde nos enfocaremos ya que es de mucha importancia la buena práctica de dichos ensayos así como una buena interpretación de resultados, ya que el proyecto depende en gran medida a estos parámetros.

2. DESCRIPCIÓN DEL MOVIMIENTO DE TIERRAS

2.1. Conceptos generales

Las carreteras, como vía proyectada y construida para la circulación de vehículos, no solo deberá limitarse a resolver de forma efectiva el traslado de un punto a otro de la superficie terrestre, sino que deberá hacerlo asegurando las máximas condiciones de seguridad y comodidad a sus usuarios, así como integrándose al paisaje por el que conduce y del que forma parte.

Algunas de las variables más importantes a tener en cuenta en la ingeniería de carreteras son las pendientes del terreno sobre el que se construye la carretera, la capacidad portante tanto del suelo como del firme para soportar la carga esperada, la estimación correcta de la intensidad de uso de la carretera, la naturaleza geológica y geotécnica del suelo sobre el que va a construirse, así como la composición y espesor de la estructura de pavimentación.

Para poder adaptar una obra civil, en este caso, una carretera, a un determinado terreno muchas veces es necesario llevar a cabo lo que se llama movimiento de tierras, éstas son aquellas actividades llevadas a cabo para variar o modificar la topografía de un área, faja o zona. Estas actividades constructivas son utilizadas frecuentemente en la ejecución de la infraestructura vial, el desarrollo urbano, social e industrial de un país. Estas actividades son de vital importancia para los profesionales de la construcción y en especial de los ingenieros civiles, por tal razón deben ser estudiadas para ser capaces de diseñar y construir con eficiencia tales trabajos. Esta actividad contempla

diversas operaciones entre ellas la preparación del terreno, como destronque (desbroce), excavación, compactación, realización de zanjas, entre otros.

2.1.1. Clasificación

Una de las circunstancias que más influyen en el coste de una carretera es la topografía existente en la zona donde se pretende construir dicha vía. El relieve se convierte así en una condición límite del trazado, en cuanto que debe procurarse que el movimiento de tierras sea el menor posible para no disparar los costos de construcción. Los movimientos de tierras pueden ser clasificados de diferentes maneras, entre ellas:

- **Conformaciones:** en éstas no se produce una modificación sustancial de la topografía, generalmente se evitan cambios bruscos, que no existan riscos, barrancos, etc., que dificulten o pongan en peligro la vida de las personas.
- **Explanaciones:** obras que consisten en remodelar el terreno natural para conseguir la explanada definida en el proyecto, pueden ser en excavaciones del terreno natural o rellenos con materiales apropiados, realizando con posterioridad siempre las obras de terminación y refino, mediante el perfilado de las superficies. Para la obtención de la explanada diseñada puede ser necesario estabilizar los suelos existentes. Si se realizan grandes modificaciones de la topografía la cual conlleva al movimiento de grandes volúmenes de tierra (excavación y relleno). Las explanaciones se ejecutan usando el suelo como principal material de construcción, empleando las denominadas máquinas de movimiento de tierras, las técnicas constructivas, las estrategias y medidas organizativas idóneas, que aseguren su construcción en el

menor tiempo posible, mínimos costos y adecuada calidad acorde con su importancia.

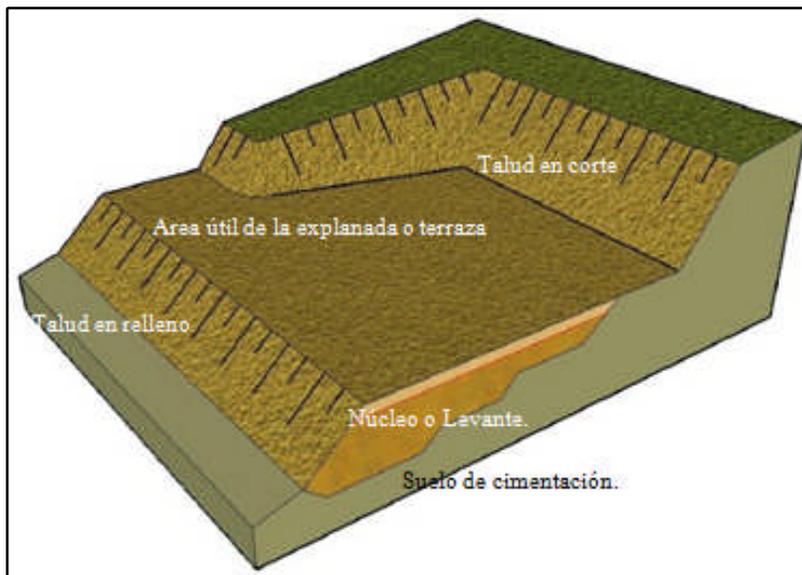
En el presente trabajo de graduación se tratará, primordialmente al proceso constructivo de las explanaciones, así como los diferentes parámetros a tomar en cuenta para su ejecución, como lo es: la selección del material, ensayos a realizar, operaciones previas, ejecución, control de calidad, terminación. Todo esto haciendo referencia al terraplén realizado en el proyecto: Diseño y construcción de la ampliación a 4 carriles de la ruta CA-01 occidente tramo: Tecpán – Los Encuentros (km 89 – km 124). En este trabajo de reconstrucción se llevaron a cabo todas las tareas ya mencionadas, como también, surgieron diferentes inconvenientes relacionados al manejo del agua pluvial en algunas estructuras de este tipo, lo cual puede causar problemas muy significativos, como el colapso.

Estas obras de tierra, son utilizadas para el acondicionamiento del terreno para la posterior ubicación de algunas partes del proyecto, en este caso parte de la pista. Se distinguen fundamentalmente dos tipos:

- Excavación: desmonte del terreno existente; destinada a abrir una vía de paso a la carretera. Esta excavación puede realizarse por medios mecánicos o con explosivos, según el tipo de terreno.
- Relleno: aporte o relleno de tierras en zonas de cota inferior a la prevista en proyecto. Puede aprovecharse, si son aptas, las tierras extraídas de zonas de desmonte. Se entienden por rellenos, todo depósito de materiales procedentes de aportes de tierras o bien de otras obras.

También pueden entenderse por relleno todo depósito de escombros procedentes de demoliciones, vertederos industriales, basureros, etc., aunque como es lógico, jamás pueden ser considerados como terrenos aptos para la ubicación de cualquier tipo de construcción.

Figura 4. **Isométrico de un relleno o un corte**



Fuente: <http://erods.files.wordpress.com/2010/09/movimiento-de-tierra.pdf>.

Las obras de tierra se pueden clasificar de diferentes maneras por su diseño, por su forma y dimensión, entre otras.

- Por su diseño:
 - Compensadas: es lo ideal que debe suceder, el mismo se ejecuta usando el suelo natural obtenido en el proceso de excavación, esto genera la máxima economía. (volumen de excavación = volumen de relleno).

- No compensadas: este tipo de diseño es el que se debe evitar puesto que podría generar gastos significativos. De este tipo de diseño existen dos tipos:
 - Significa que el suelo sobrante se debe colocar en un área de depósito o vertedero cercado (volumen de excavación > volumen de relleno).
 - Significa que se necesita trasladar el material de relleno desde un banco de préstamo. (volumen de relleno > volumen de excavación).

Dado el caso de ser no compensada es preferible que suceda lo primero (volumen de excavación > volumen de relleno) para asegurar el diseño más económico, solo usar el segundo caso (volumen de relleno > volumen de excavación) cuando no quede otra opción, por ser la solución menos económica, ya que implica el uso de tierras prestadas de excavaciones fuera de la distancia de acarreo libre o el uso de bancos de préstamo.

- Por su forma y dimensión:
 - Terrazas (explanadas o plataformas): en estas el área predomina con respecto a la altura.
 - Terraplenes: en éstos predomina la longitud con respecto al ancho y altura, como los terraplenes de carreteras vías férreas, autovías, pistas de aterrizaje de aeropuertos, etc.

2.2. Ensayos para material a utilizar

Las propiedades físicas y propiedades mecánicas de los suelos son parámetros muy importantes que ayudan a determinar la selección de un material a utilizar en un determinado proyecto de ingeniería. En este caso para proyectos relacionados al movimiento de tierras. Para la determinación de estos parámetros existen diferentes ensayos los cuales brindan diferentes datos que junto con una buena interpretación de los mismos, permiten llegar a determinar todas las propiedades ya mencionadas. Estos ensayos se ejecutan en laboratorios de Mecánica de Suelos, en estos laboratorios deben contar con el equipo necesario para realizar ensayos de compactación, relación soporte california, plasticidad, granulometría, clasificación de los suelos, gravedad específica, peso específico de los sólidos, equivalente de arena y densidad del suelo. Los mencionados se utilizan principalmente en la construcción de carreteras pero existen otros los cuales describen el esfuerzo de corte de los suelos para la construcción de cimentación, entre otros.

El presente trabajo está enfocado principalmente a los ensayos destinados a construcción de carreteras, éstos ensayos son los que interesan por el tipo de proyecto que se está tratando. En el presente trabajo se dará una breve descripción de dichos ensayos y la interpretación de sus resultados haciendo una comparación con los parámetros solicitados en las Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras y Puentes, libro azul, de la Dirección General de Caminos. El objetivo no es enfocarse en el equipo y procedimiento de estos ensayos, sino más bien se pretende que se adquiera la habilidad de poder interpretar los resultados obtenidos de un material a utilizar en un proyecto.

Los resultados presentados fueron obtenidos en el laboratorio de la empresa encargada del proyecto mencionado, como parte de este trabajo se brindó la oportunidad de estar presente en la realización de varios ensayos.

Para mejorar las características mecánicas de un material se puede llevar a cabo un proceso de compactación. El proceso de compactación es todo proceso que aumente el peso volumétrico de un material. Para las obras de ingeniería es conveniente compactar un suelo para aumentar la resistencia al corte por consiguiente, mejora la estabilidad y la capacidad de carga de cimentaciones y pavimentos. Disminuir la compresibilidad y así reducir los asentamientos, este proceso ayuda a disminuir la relación de vacíos y por consiguiente, reducir la permeabilidad, así como reducir el potencial de expansión o contracción.

Figura 5. Laboratorio de la empresa encargada del proyecto



Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos ubicado en Campamento CONASA (empresa encargada del proyecto) km 89 Ruta, Interamericana CA-01 occidente.

Con relación al proceso de compactación uno de los ensayos más importantes es el ensayo proctor.

- Ensayo proctor

Este ensayo es uno de los más importantes, ya que por medio de él es posible determinar la compactación máxima de un terreno en relación con su grado de humedad. Existe dos tipos de ensayo proctor; normal y modificado, la diferencia radica en la energía utilizada.

Figura 6. **Equipo utilizado para elaboración de ensayos**



Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos ubicado en Campamento CONASA (empresa encargada del proyecto) km 89, Ruta Interamericana CA-01 occidente.

- Relación soporte california (CBR)

Este ensayo tiene como finalidad determinar la capacidad soporte de un suelo o agregados compactados en laboratorio, con una humedad óptima y niveles de compactación variables. Este ensayo mide la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas, permitiendo obtener un porcentaje de la relación de soporte.

Figura 7. **Equipo utilizado para ensayo CBR**



Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos ubicado en Campamento CONASA (empresa encargada del proyecto) km 89, Ruta Interamericana CA-01 occidente.

La consistencia es el grado de cohesión que tienen las partículas de un suelo arcilloso, este pueden tener diferentes grados de cohesión dependiendo de la cantidad de agua que contenga, esto da lugar a los estados de consistencia.

- Límites de Atterberg

Este ensayo es necesario para determinar los estados de consistencia de un suelo. Este ayuda a determinar las propiedades con que se define la plasticidad y se utilizan en la identificación y clasificación de un suelo. En este ensayo se consideran tres límites o estados de consistencia: el límite de contracción que es la frontera convencional entre el estado sólido y semisólido, el límite plástico que es la frontera entre los estados semisólido y plástico; y el límite líquido que se define como la frontera entre estado plástico y semilíquido.

La variedad en el tamaño de las partículas del suelo, es casi ilimitada; por simple inspección, los granos de mayor tamaño son los que se pueden ver con gran facilidad, mientras que los más finos son tan pequeños que no se puede apreciar con un microscopio corriente. Por esta razón que es necesario llevar a cabo un análisis granulométrico.

- Ensayo granulométrico

Este ensayo es para determinar las proporciones relativas de los diferentes tamaños de grano presentes en una masa de suelo dada. Obviamente para obtener un resultado satisfactorio la muestra debe ser estadísticamente representativa de la masa de suelo.

- Gravedad específica

Este ensayo uno de los más sencillos de llevar a cabo, el mismo brinda el valor de la gravedad específica el cual es necesario para calcular la relación de vacíos de un suelo, este valor es utilizado en el análisis hidrométrico, es útil

para calcular el peso unitario del suelo y puede ser utilizado para graficar la recta de saturación máxima en el ensayo de compactación proctor.

- **Peso específico**

El peso específico relativo de una masa de suelo o roca (que incluye aire, agua y sólidos) se denomina peso de la masa o peso específico aparente. El cálculo del peso específico es importante, es por esa razón que se lleva a cabo el ensayo, la determinación de estos parámetros es importante no sólo para conocer las propiedades de la muestra de suelo, sino también, para determinar las demás relaciones entre peso y volumen. Se emplea en cálculos de problemas de suelo, como son: la determinación de la estabilidad de las masas de suelo, la estimación del asentamiento de los edificios o para especificar el grado de compactación necesario en la construcción de terraplenes.

- **Equivalente de arena**

Es un ensayo rápido que puede efectuarse tanto en campo como en laboratorio y se usa para conocer el porcentaje relativo de finos-plásticos que contienen los suelos y los agregados pétreos. Este ensayo es llevado a cabo principalmente, cuando se trata de materiales que se usarán para base, subbase, o sea en bancos de préstamo.

- **Clasificación de los suelos**

Dada la gran variedad de suelos que se presentan en la naturaleza y los diferentes parámetros que pueden presentarse en los ensayos mencionados anteriormente, con el tiempo se han ido desarrollando algunos métodos de clasificación de los suelos. Cada uno de estos métodos tiene, prácticamente su

campo de aplicación según la necesidad y uso que las haya fundamentado. Normalmente en el medio de la ingeniería civil se utilizan los siguientes métodos: el sistema de clasificación de los suelos AASHTO (American Association of State High-way and Transportation Officials) y el Sistema Unificado de Clasificación de los Suelos SUCS o USCS (Unified Soil Classification System), también llamado sistema de clasificación ASTM.

Figura 8. **Equipo utilizado para la realización de varios ensayos**



Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos ubicado en Campamento CONASA (empresa encargada del proyecto) km 89, Ruta Interamericana CA-01 occidente.

Al momento de llevar a cabo la construcción una estructura de movimiento de tierras, relleno, es necesario definir los criterios de compactación (en la forma de especificaciones técnicas) para las obras en terreno. Para determinar si los trabajos de compactación se están llevando a cabo de forma correcta es necesario utilizar un método para determinar la densidad o peso unitario que el

suelo alcanza luego de la compactación. Existen varios métodos para determinar el grado de compactación en el terreno: de cono de arena, balón de densidad y nuclear.

- Densidad cono

Este ensayo es uno de los más importantes, ya que es utilizado con el fin de conocer y controlar la compactación de terraplenes y capas de base, también se usa para determinar densidad *in situ* y porcentajes de contracción o hinchamiento de materiales.

Figura 9. **Equipo utilizado para realización de ensayo de cono de arena**



Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos ubicado en Campamento CONASA (empresa encargada del proyecto) km 89, Ruta Interamericana CA-01 occidente.

- Densímetro nuclear

Este ensayo ayuda a determinar la humedad y la densidad seca de los suelos en el campo mediante métodos nucleares sin tener que recurrir a métodos de intervención física, extracción de testigos. Este ensayo determina la densidad mediante la transmisión, directa o retro dispersada, de los rayos gamma.

2.3. Características de los materiales

El tipo de material a utilizar en un movimiento de tierras y relleno, va a depender en gran parte de las necesidades así como las condiciones en las que se encuentre el proyecto. Las Especificaciones Generales para la construcción de Carreteras y Puentes norman los parámetros para la buena selección del material, las cuales se mostrarán más adelante. En este capítulo se mostrará los diferentes estados del material principal utilizado en estas estructuras, el suelo.

- Estado natural (también denominado sobre desmonte)

Es aquel suelo que se encuentra en su estado primitivo, antes de ser excavado, disgregado o removido. El volumen del suelo calculado en estas condiciones es llamado: volumen natural o sobre desmonte. Éste es el volumen que se debe utilizar para cuantificar y pagar el movimiento de tierra realizado, ya que solo mediante su determinación por secciones transversales y longitudinales periódicamente, es que se puede conocer realmente el volumen de material que será excavado. Éste se expresa en m³.

- Estado suelto

Es aquel que, por efecto de la excavación, ha sido disgregado, experimentando un aumento de volumen, al aumentar su volumen de huecos, es decir, las distancias entre las partículas constituyentes. El volumen así determinado se denomina: volumen suelto y se expresa en m^3 sueltos, ejemplo: el suelo que se traslada sobre máquinas de transporte, el contenido en los cubos, cucharas o palas de la maquinaria, etc.

- Estado compactado

Es aquel sobre el cual se ha ejercido una compresión tal que se logra un incremento en su peso específico, es decir, el suelo está más compacto que en su estado original. Al material en ese estado se denomina suelo compactado y su unidad de medida es el m^3 compactado.

En general el volumen compactado es menor que el natural y mucho menor que el suelto, es evidente que entre los tres volúmenes existe una relación. A continuación se darán a conocer algunos conceptos de amplia utilización en los movimientos de tierra que son los siguientes

- Material a caballero: cuando la cantidad de material a excavar es superior a la de rellenar, es necesario disponer del material en exceso a la disposición en las áreas aledañas a la obra (en forma de pila, cordón lateral) a dicha disposición del material sobrante se denomina: material a caballero y se expresa en m^3 .

- Material compensado: es aquel suelo cuyo volumen excavado en una explanación servirá para rellenar otra zona de la propia obra de tierra, siendo compactado a máxima densidad, se expresa en m³ compactados.
- Material de relleno o préstamo: cuando no puede producirse una compensación de volúmenes, por no alcanzar el material natural o no tener las condiciones adecuadas, surge la necesidad de obtener, para ejecutar el relleno un material o suelo en una zona distante del área de la obra; al mismo se le denomina material de préstamo o de relleno y a la zona donde se toma préstamo lateral, banco de préstamo o simplemente préstamo (en otros países del área es conocido también por banco de materiales).
- Material de mejoramiento o rocoso: su definición es similar a la anterior solo difiere en que este material tiene un alto peso específico y posee de buenas a excelentes características para su empleo como relleno, por lo que preferiblemente se utiliza en las capas de coronación de las explanaciones para hacerlas más resistentes. Se extrae de los préstamos y tramos en corte de las vías.

2.4. Procedimiento constructivo

Como en gran parte de los trabajos de ingeniería antes de proceder al proceso constructivo es recomendable realizar un diseño. Para el diseño de las estructuras de tierra es necesario contar con algunos datos básicos como:

- Carta topográfica de la zona o escala adecuada (preferiblemente 1:500).
- Si el suelo natural reúne los requisitos para su uso como material de

relleno tanto para núcleo como para coronación (al menos clasificación según AASHTO o HRB).

- Noción general del drenaje del área, niveles de crecida o riada y/o de posibles inundaciones.
- Finalidad de las edificaciones, ubicación y dimensiones de los distintos objetos de obra de las mismas.

Posteriormente de la realización del diseño, al llevarse a cabo el proceso de construcción de las estructuras de tierra se deben cumplir con ciertas condiciones que ayudarán a satisfacer el buen funcionamiento de la misma; las condiciones básicas son:

- Necesaria estabilidad y resistencia ante las acciones externas.
- Aceptable deformabilidad durante el período de diseño.
- Factibilidad y economía constructiva.
- En el diseño geométrico un correcto trazado en planta teniendo presente el suelo donde se asentará la misma (suelo de cimentación).
- Correcta selección de suelos seleccionados tanto para la construcción del núcleo o levante, como para la construcción de la capa de coronación hasta subrasante.
- Correcta compactación de las capas de suelo en la construcción.
- Diseño y construcción eficiente de sistema de drenaje (superficial y soterrado) que minimice los efectos erosivos del agua.

Las condiciones básicas mencionadas son en relación a toda la estructura. Pero también existen ciertas condiciones para la fase constructiva las cuales son necesarias cumplir para así garantizar el buen funcionamiento

así como cumplir con los requerimientos propuestos por las Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras y Puentes, estas condiciones básicas del proceso constructivo son:

- Cumplir con las exigencias especificadas en el proyecto ejecutivo respecto a los materiales utilizados, calidad de la compactación y óptima selección de la maquinaria y técnica constructiva a emplear.
- Seleccionar el material con relación a las condiciones propuestas por las Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras y Puentes, para lograr esto es necesario realizar cierta cantidad de ensayos para así conocer las características físicas y mecánicas del material.
- Hacer ensayos al trabajo realizado en campo los cuales garanticen la calidad de los trabajos.

Si se logran cumplir con las condiciones anteriores en el proyecto y la construcción; se logra la mayor economía posible, cumplimiento o reducción del plazo de construcción, máxima durabilidad. Cumplir con los principios antes planteados asegura la mayor eficiencia constructiva de la obra.

Seguir las condiciones planteadas anteriormente no garantiza que no se presenten ciertos inconvenientes. Los problemas más frecuentes en el diseño tanto geométrico como geotécnico y en la construcción de las explanaciones son:

- Excesivos asentamientos
- Inestabilidad ante las cargas o acciones exteriores

- Excesiva erosión debido a los agentes del interperismo
- Deficiencias durante su construcción
- Colapso por saturación del material

En las obras de ingeniería civil, principalmente en las relacionadas con movimiento de tierras el elemento que más inconvenientes causa es el agua, su manejo inadecuado, el cual puede causar diferentes problemas, así como el colapso. El manejo inadecuado del agua puede influir en:

- Los cambios físicos y geotécnicos que se experimenten en las laderas de los tramos en cortes y los taludes de las explanaciones.
- La reducción de la resistencia al cortante del suelo debido a la disminución de la presión de poros.
- Incremento del peso del suelo en los taludes de los tramos en corte y de relleno, lo cual provoca un aumento del esfuerzo cortante de la posible superficie de falla del mismo.
- Al aumento de los esfuerzos cortantes debido al incremento de las fuerzas de filtración.

Por tales razones debe prestársele siempre la máxima prioridad e importancia al diseño y oportuna construcción de los sistemas de drenaje.

A continuación se presentan algunos de los problemas que pueden ocurrir en cada una de las partes o elementos que componen una estructura de movimiento de tierras, en este caso un terraplén

Tabla I. **Problemas más frecuentes que se presentan en las partes o elementos de un relleno**

Parte o elemento	Problemas estructurales	Problemas constructivos
Suelo de cimentación	<ul style="list-style-type: none"> • Excesiva consolidación • Susceptibilidad a cambio de volumen • Insuficiente capacidad de carga 	<ul style="list-style-type: none"> • Necesidad de empleo de equipos especiales y técnicas constructivas adecuadas.
Núcleo (o levante) en excavación	<ul style="list-style-type: none"> • Inestabilidad de los taludes, hinchamiento y/o contracción de suelos. • Pérdida de capacidad soportante por presencia de agua. 	<ul style="list-style-type: none"> • Dados por mala selección de equipo acorde con el tipo de suelo a trabajar • Mala ejecución del sistema de drenaje • Mayor complejidad en el caso de realizar los trabajos de voladura
Núcleo (o levante) en relleno o terraplén.	<ul style="list-style-type: none"> • Inestabilidad de taludes en terraplenes altos por deficiente diseño o ejecución (compactación) • Excesivos asentamientos originados por consolidación • Grandes compresiones por los terraplenes altos 	<ul style="list-style-type: none"> • Mala elección del material de relleno • Incorrecta disposición de los suelos o materiales al ejecutar los rellenos • Definir compactación sobre todo en los terraplenes de aproche • Mala ejecución del sistema de drenaje • Insuficiente control de la calidad de trabajos, principalmente de la compactación de rellenos

Fuente: RODRÍGUEZ SOLÓRZANO, Edson Alberto. *Movimiento de tierras*. p.11.

2.5. Normas y especificaciones

La Dirección General de Caminos fue creada por Acuerdo Gubernativo del 28 de mayo de 1920, durante el gobierno del licenciado Carlos Herrera, como producto de la necesidad existente de contar con un ente gubernamental encargado de normar la construcción y el mantenimiento de las carreteras. Esta institución gubernamental tiene como objetivo que el país pueda contar con una adecuada infraestructura vial, a través de la elaboración, aplicación de planes y proyectos de acuerdo a las políticas de desarrollo integral del ministerio del ramo.

La Dirección General de Caminos, con el fin de cumplir con sus objetivos creó un compendio de normas en forma general para todas sus obras, Las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras y Puentes. Las especificaciones y demás documentos tienen por objetivo comunicar al oferente, lo que la Dirección General de Caminos quiere construir. Son un medio de comunicación escrito. Aunque cuidadosamente preparados los medios de comunicación escritos adolecen de fallas: a menudo se observa lo que se quiere ver, se entiende lo que se quiere entender y se encuentra lo que se quiere encontrar. Siendo las especificaciones generales un medio de legislar o de nomar, no contienen los criterios que sirvieron para establecerlas. Se recomienda la formulación del Manual de Construcción, siendo el documento que sirve para establecer el criterio y el razonamiento para su aplicación. Lo antes mencionado es un fragmento extraído del prólogo de dichas especificaciones.

Las especificaciones están compuestas por diferentes divisiones desde la 100 hasta la 800 y estas divisiones en secciones, las cuales cada una de ellas se enfoca en diferentes temas relacionados con la construcción de carreteras y puentes. En estas divisiones se pueden encontrar: definiciones, descripciones, algunos conceptos y parámetros, medidas y formas de pago. Las Normas ASSHTO también tienen que ser tomadas en cuenta.

En el proyecto: Diseño y Construcción de la Ampliación a 4 Carriles de la Ruta CA-01 Occidente Tramo: Tecpán – Los Encuentros (km 89 – km 124), la empresa constructora realizó todos sus procedimientos conforme dichas especificaciones, incluyendo el trabajo de movimiento de tierras, en estas especificaciones se obtuvieron los diferentes parámetros para la selección del material para la realización del mismo, así como diferentes parámetros de compactación a cumplir, a continuación se presentan algunas partes de esta especificación:

Para esta la obtención de los parámetros más importantes para la realización del relleno estructural se consultaron las secciones, 203, 205, 206 ya que es en estas secciones donde estas especificaciones están enfocadas en este tipo de trabajos.

Figura 10. **Secciones 203, 205 y 206 de las Normas ASSHTO**

SECCIÓN 203 EXCAVACIÓN Y TERRAPLENES	
<u>203.01</u>	<u>DEFINICIONES.</u>
<p><u>Materiales inadecuados.</u> Son materiales inadecuados para la construcción de terraplenes y sub-rasante, los siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none">(a) Los correspondientes a la capa vegetal.(b) Los clasificados en el grupo A-8, AASHTO M 145, que son suelos altamente orgánicos, constituidos por materias vegetales parcialmente carbonizadas o fangosas. Su clasificación es basada en una inspección visual y no depende del porcentaje que pasa el tamiz 0.075 mm (N° 200), del límite líquido, ni del índice de plasticidad.	
<p><u>Terraplén o Relleno.</u> Es la estructura que se construye con los materiales que se especifican en esta Sección y en capas sucesivas hasta la elevación indicada en los planos.</p>	
<u>REQUISITOS DE CONSTRUCCIÓN</u>	
<p><u>203.05 TERRAPLENES EN GENERAL.</u> En todas las áreas donde se vayan a construir terraplenes, se deben terminar previamente los trabajos correspondientes a limpia, chapeo y destronque, retiro de estructuras, servicios existentes, obstáculos y, si fuese requerido, sub drenajes, drenajes y retiro de material inadecuado.</p> <p>Quando el terraplén a construir tenga 1 metro o menos de altura y el terreno original requiera ser escarificado, éste debe ser compactado a la misma densidad y por el mismo método especificado para la colocación del relleno. Quando se construya un terraplén sobre una capa de balasto existente, se deberá escarificar la capa de balasto hasta una profundidad mínima de 150 milímetros debajo de dicha capa.</p> <p>Antes de que sean colocados los materiales de un terraplén en ladera, la superficie se debe limpiar de toda vegetación y capa vegetal, debiendo enseguida construir terrazas o remover el terreno, escarificándolo hasta una profundidad no menor de 150 milímetros. En las laderas que tengan una pendiente igual o mayor de 2 ½ horizontal a 1 vertical, se deben construir terrazas.</p> <p>Quando los terraplenes se deban de construir adyacentes a, o sobre carreteras existentes, los taludes de dichas carreteras deben ser escarificados hasta una profundidad no menor de 150 milímetros; construyendo el terraplén en capas sucesivas.</p> <p>Quando en la construcción del terraplén se termine todo el material resultante de los trabajos de excavación, el terraplén deberá completarse con material de préstamo. Todos los terraplenes se deben construir hasta llegar a la sub-rasante establecida por el Delegado Residente y en capas aproximadamente paralelas a la subrasante indicada, salvo que en los planos se indique otra forma de construcción de dichas capas.</p>	

Continuación de la figura 10.

El Contratista debe compactar los taludes de los lados del terraplén con una compactadora de pata de cabra o por medio de un tractor de bandas. Para pendientes de 1: 2 (1 vertical a 2 horizontal) o mayores los taludes deben ser compactados conforme progresa la construcción del terraplén.

203.06 TERRAPLENES DE ROCA. Los terraplenes de roca serán aquellos que se construyan con materiales que contengan 25% o más, en volumen, de partículas de roca con un diámetro mayor que 100 milímetros. Los terraplenes de roca se deben construir normalmente en capas sucesivas de 300 milímetros de espesor compactado o menos y se deben extender a todo el ancho de la sección típica. El espesor de la capa puede ser mayor, cuando el tamaño de las rocas y altura del relleno lo permita. No obstante, en todo caso la capa no debe exceder de 600 milímetros de espesor compactado. Las rocas o fragmentos de roca mayores de 600 milímetros deben ser incorporados reduciéndolos de tamaño o colocándolos individualmente. La roca se debe reducir a un tamaño menor de 1.20 metros en su dimensión más grande y se deberá distribuir dentro del terraplén de tal forma que no queden vacíos entre las rocas.

Ningún material debe ser descargado directamente sobre el borde de un terraplén terminado, ni permitir que ruede o se deslice hasta el pie del talud, excepto: cuando se construya un relleno sobre el agua o terreno pantanoso, en cuyo caso, se puede formar una capa inicial con suficiente espesor para que soporte el equipo; y cuando se pase de corte a relleno y la pendiente del terreno exceda del 25%, la descarga se permitirá hasta que la pendiente de la ruta de acarreo sea del 25%.

Salvo que se prevea de otra manera, los 300 milímetros superiores del terraplén no deben contener piedras cuya mayor dimensión exceda de 100 milímetros, sino que deben estar compuestos de material graduado en tal forma, que se asegure la máxima densidad y uniformidad de la capa superficial.

203.07 TERRAPLENES DE SUELO. Los terraplenes de suelo son aquellos compuestos principalmente de materiales que no son de roca y deben ser construidos con materiales adecuados, procedentes de la excavación o de bancos de préstamo aprobados.

Los terraplenes de suelo deben ser construidos en capas sucesivas, a todo el ancho de la sección típica, y en longitudes tales, que sea posible el riego de agua y compactación por medio de los métodos establecidos. Los espesores de las capas a ser compactadas deben ser determinados por el Contratista, de conformidad con la capacidad de la maquinaria y equipo que se va a utilizar, debiendo efectuar, para tal efecto, pruebas para determinar el espesor máximo en cada caso, siempre y cuando se llenen los requisitos de compactación que se indican en estas Especificaciones Generales. Como resultado de las pruebas, el Delegado Residente aprobará el espesor de capa máxima a compactar. En ningún caso, el espesor podrá ser menor de 100 milímetros compactados ni mayor de 300 milímetros compactados.

Continuación de la figura 10.

203.08 COMPACTACIÓN.

- (a) Compactación de terraplenes de suelo. Los terraplenes se deben compactar como mínimo al 90 % de la densidad máxima, determinada por el método AASHTO T 180 y los últimos 300 milímetros se deben compactar como mínimo, al 95% de la densidad máxima determinada por el método citado.

El Contratista debe de controlar el contenido de humedad adecuado, calentando el material y determinando la humedad a peso constante, o por el método del carburo de calcio, AASHTO T 217, a efecto de obtener la compactación especificada. Cada capa debe ser nivelada con equipo adecuado para asegurar una compactación uniforme y no se debe proseguir la compactación de una nueva capa, hasta que la anterior llene los requisitos de compactación especificados.

- (b) Compactación de terraplenes de roca.

- 1) Para capas con un espesor compactado de 300 milímetros o menos se deberá ajustar el contenido de humedad del material a uno adecuado para la compactación. Se debe compactar cada capa de material, en todo el ancho, utilizando cualquiera de los métodos siguientes:
 - (i) Cuatro pasadas del rodillo de una compactadora de rodillo de compresión de 45 toneladas métricas.
 - (ii) Cuatro pasadas del rodillo de una compactadora de rodillo vibratorio que tenga una fuerza dinámica mínima de impacto de 180 kilonewtons por vibración y una frecuencia mínima de 16 hertz.
 - (iii) Ocho pasadas del rodillo de una compactadora de rodillo descompresión de 20 toneladas métricas.
 - (iv) Ocho pasadas del rodillo de una compactadora de rodillo vibratorio que tenga una fuerza dinámica mínima de impacto de 130 kilonewtons por vibración y una frecuencia mínima de 16 hertz.
- 2) Para capas con un espesor compactado mayor de 300 milímetros se deberá proporcionar cualquiera de los esfuerzos de compactación siguientes:
 - (i) Por cada 150 milímetros adicionales o fracción, incrementar el número de pasadas del rodillo indicado en los numerales (1-i) y (1-ii) en cuatro.
 - (ii) Por cada 150 milímetros adicionales o fracción, incrementar el número de pasadas del rodillo indicado en los numerales (1-iii) y (1-iv) en ocho. Los rodillos de compresión deben ser operados a velocidades menores de 2 metros por segundo y los rodillos vibratorios a velocidades menores de 1 metro por segundo.

Continuación de la figura 10.

SECCIÓN 205 EXCAVACIÓN ESTRUCTURAL PARA ESTRUCTURAS MAYORES Y MENORES

205.11 RELLENO ESTRUCTURAL PARA ESTRUCTURAS. En cualquier excavación estructural, el relleno hasta la altura del terreno original o hasta la superficie de la sub-rasante, lo que sea más bajo, forma parte de la excavación.

El relleno sobre el nivel del agua, detrás de los estribos, alas, pilas, así como alrededor de las Sub-estructuras, debe ser depositado en capas horizontales, cuyo espesor debe ser determinado por el Contratista y aprobado por el Delegado Residente, según la capacidad del equipo que se utilice. En todo caso, las capas deben ser compactadas como mínimo al 90% de la densidad máxima determinada por el método AASHTO T 180. El último metro abajo de la sub-rasante terminada, debe ser compactado como mínimo al 95% de la densidad máxima determinada por el método citado. Cuando el material de relleno sea depositado en agua, no se aplicarán los requisitos de densidad para las capas, sino hasta que se haya obtenido una capa de 1 metro de material relativamente seco, la cual se debe compactar por apisonamiento.

No se debe colocar ningún relleno contra cualquier estructura de concreto, sino hasta que el Delegado Residente lo autorice y en ningún caso antes de que el concreto haya alcanzado la resistencia necesaria para soportar los esfuerzos producidos por la construcción de dicho relleno.

SECCIÓN 206 RELLENO PARA ESTRUCTURA

206.01 DEFINICIÓN. Relleno para Estructuras. Es el relleno que se construye en los accesos de un puente, sobre la superficie exterior de una bóveda o en la excavación de las alcantarillas cuando el Delegado Residente así lo ordene, dentro de los límites que se indican en esta Sección, que se muestran en los planos y/o se describan en las Disposiciones Especiales.

206.03 REQUISITOS DE LOS MATERIALES. Los materiales para relleno deben cumplir con lo establecido a continuación:

- (a) **Material para relleno estructural.** El Contratista debe suministrar material granular de libre drenaje, libre de exceso de humedad, turba, terrones de arcilla, raíces, césped, u otro material deletéreo y debe cumplir con lo siguiente:
- | | |
|---|-----------------------|
| (1) Dimensión máxima | 50 milímetros |
| (2) Material que pasa el tamiz AASHTO T 27 y T 11 | 15 % máximo de 75 µm, |
| (3) Límite líquido, AASHTO T 89 | 30 % máximo |

REQUISITOS DE CONSTRUCCIÓN

206.04 RELLENO PARA ESTRUCTURAS. El Contratista debe notificar, con suficiente anticipación, al Delegado Residente que iniciará los levantamientos topográficos que sean necesarios y proporcionará las pruebas de laboratorio que comprueben la calidad del suelo para la cimentación del relleno, los materiales a utilizar y los lugares de donde serán extraídos. No se medirá ni pagará ningún material de relleno que se haya colocado antes de que lo autorice el Delegado Residente.

Continuación de la figura 10.

Cuando dentro de los límites del relleno, se encuentre fango u otro material inadecuado para la adecuada cimentación del relleno, el Contratista debe excavar tal material por lo menos 300 milímetros debajo de la superficie del terreno original o a la profundidad que indique el Delegado Residente. Este material debe ser retirado por el Contratista y depositado donde autorice el Delegado Residente. El Contratista debe rellenar la excavación efectuada, con el material especificado, el cual debe ser debidamente conformado y compactado a la misma densidad especificada para el relleno.

Cuando el relleno a construir tenga 1 metro o menos de altura y el terreno original requiera ser escarificado, éste debe ser compactado a la misma densidad especificada para el relleno.

No se debe colocar ningún relleno contra cualquier estructura de concreto, antes de que el concreto haya adquirido la resistencia para soportar los esfuerzos producidos por la construcción del relleno.

El relleno debe ser construido en capas sucesivas horizontales y de tal espesor que permita la compactación especificada en esta Sección. Los espesores de las capas a ser compactadas, deben ser determinados por el Contratista, con la aprobación del Delegado Residente, de conformidad con la capacidad de la maquinaria o equipo que se vaya a utilizar, debiéndose efectuar para tal efecto, ensayos para determinar el espesor máximo en cada caso, siempre y cuando se llenen los requisitos de compactación que se indican en estas Especificaciones Generales.

- (b) Relleno para Bóvedas. Los rellenos sobre la superficie exterior de las bóvedas, se deben construir, en capas sucesivas debidamente confinadas con la estructura, hasta formar un prisma que tenga las siguientes líneas de pago: hasta una altura de 600 milímetros sobre la corona exterior de la bóveda; en sentido transversal a la bóveda, el ancho del relleno en la parte superior de la misma debe ser igual a la distancia comprendida entre las aristas exteriores de los pies de los muros, continuando a ambos lados con taludes que tengan una pendiente de 1½ a 1, hasta encontrar el terreno natural; y en sentido longitudinal, debe tener una dimensión igual a la longitud de la bóveda, descontando lo que corresponde a los taludes que fije la Sección Típica, para una altura de 600 milímetros. El pie del talud lo constituirá: en parte, la misma estructura y el resto, el terreno natural, según lo que muestre el plano respectivo.

206.05 COMPACTACIÓN. En los rellenos para estructuras, cada capa se debe compactar como mínimo al 90% de la densidad máxima, determinada según el método AASHTO T 180; y los últimos 300 milímetros superiores deben compactarse como mínimo al 95% de la densidad máxima determinada por el método citado.

La compactación se comprobará en el campo, de preferencia mediante el método AASHTO T 191 (ASTM D 1556). Con la aprobación escrita del Delegado Residente, se pueden utilizar otros métodos técnicos, incluyendo los no destructivos.

Continuación de la figura 10.

El Contratista debe de controlar el contenido de humedad adecuado, calentando el material y determinando la humedad a peso constante, o por el método del Carburo de Calcio, AASHTO T 217, a efecto de obtener la compactación especificada. Cada capa debe ser compactada con equipo apropiado para asegurar una compactación uniforme y no se debe proseguir la compactación de una nueva capa, hasta que la anterior llene los requisitos de compactación especificados.

Fuente: *Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras y Puentes*. Dirección General de Caminos; Ministerio de Comunicaciones, infraestructura y Vivienda. p. 203.

2.6. Obras de protección

Para garantizar el buen funcionamiento del relleno estructural realizado, no sólo es necesario tomar en cuenta todas las normas y especificaciones planteadas anteriormente, sino también existen ciertas recomendaciones las cuales podrían ayudar.

En este tipo de estructuras es de vital importancia llevar a cabo obras de protección para así garantizar el buen funcionamiento o bien reducir el riesgo de un posible colapso, existen diferentes obras de protección las cuales se presentan a continuación:

- Lograr la necesaria estabilidad y resistencia ante las acciones externas, para ello hay que efectuar la:
 - Correcta compactación de los rellenos.
 - Ejecución oportuna del sistema de drenaje superficial.
 - Correcta construcción de taludes en corte y relleno.
 - Correcta disposición de los suelos y/o rocas en las partes de la explanación.

- Lograr la adecuada deformabilidad, para lo cual hay que hacer la:
 - Selección y disposición idónea de los materiales (suelos) a utilizar.
 - Correcta compactación de los rellenos de las explanaciones.
 - Determinación y control de los asentamientos y su corrección en caso necesario.

- Garantizar la factibilidad y economía constructiva, lo que se logra mediante:
 - Selección de las técnicas constructivas idóneas que aseguren la ejecución en tipo y con calidad de las explanaciones a realizar.
 - Distribución óptima de las masas de suelo a mover.
 - Selección y uso de la maquinaria idónea que asegure máximos rendimientos y mínimos costos.
 - Disminución al mínimo de las afectaciones al medio ambiente.

Las obras de tierras son las estructuras más propensas al colapso al tener contacto con el agua, esto debido al comportamiento inestable que tiene una masa de suelo al encontrarse en un estado saturado. Es por eso que es de vital importancia el buen diseño de un sistema de drenaje superficial, Una vez definidas las dimensiones de la superficie del área neta de la explanada, terraza o relleno, así como la pendiente o pendientes de la misma en cada vértice y de esta en general, debe procederse a diseñar los dispositivos de drenaje superficial que completan el sistema de drenaje, los que seguidamente se enumeran:

- Cunetas o cunetillas al pie de los taludes en corte (para captar y evacuar el agua pluvial y/o filtraciones de zonas altas)

- Cunetas de guarda o contra cunetas (para captar y eliminar el agua lluvia de aquellas áreas que tributan hacia los tramos en corte).
- Cunetas o cunetillas cercanas al pie de los taludes en terraplén (para proteger dichos taludes de posibles inundaciones o efectos erosivos de los escurrimientos pluviales de zonas altas).
- Cunetas escalonadas (para captar y evacuar el agua pluvial en zonas de fuertes pendientes, generalmente recubiertas con lajas de rocas naturales o con homigón).

La decisión de usar uno, varios o todos los dichos dispositivos dependerá del análisis que se realice de la topografía existente en la zona aledaña, debiendo definirse en el plano en planta la posición y longitud de los mismos, pero faltaría aún por definir sus secciones transversales de manera tal que sean capaces de desempeñar su función adecuadamente, para lo cual habrá que realizar lo siguiente:

- Cálculo hidrológico: es utilizado para determinar el gasto o caudal de llegada a los mismos. El gasto o caudal de llegada se determinará por el método racional por ser el más adecuado para cuencas tributarias con áreas menores de 30 kms² y ser el recomendado para el caso concreto de Guatemala. La expresión a utilizar es la de este método que es:

$$Q = CIA/360 \text{ en: m}^3/\text{segundos}$$

Donde:

Q = gasto o caudal de llegada al dispositivo en m³/segundos

C = coeficiente de escorrentía o escurrimiento

I = intensidad media de la precipitación máxima de duración igual al tiempo de concentración y frecuencia correspondiente al período de retorno establecido en el proyecto, expresado en mm/min.

A = área de la cuenta hidrográfica en hectárea.

- Cálculo y diseño hidráulico de cada dispositivo.

Este cálculo es llevado a cabo para determinar el caudal que llega a determinado dispositivo por medio de este caudal podemos realizar un diseño del mismo tomando en cuenta la capacidad hidráulica que es capaz de circular en este dispositivo en este caso por una cuneta. El diseño puede ser llevado a cabo por medio de la expresión de Manning para “canales abiertos”. Para su diseño es importante la pre selección de una sección transversal, fijar la pendiente longitudinal de la cuneta esto tomando en cuenta lograr evacuar el agua sin producir erosiones perjudiciales dependerá en gran medida de los diferentes recubrimientos utilizados. Ya con estos parámetros podemos llevar a cabo el diseño hidráulico más óptimo.

3. DESCRIPCIÓN DE LA TORMENTA TROPICAL AGHATA

3.1. Historia meteorológica

La tormenta tropical Agatha es una de los fenómenos meteorológicos que azotó el área de Centro América en 2010, originándose el 24 de mayo cerca de las costas de Costa Rica. El día 25 de mayo, un sistema fuerte de baja presión se ubicaba en el Pacífico centroamericano entre Nicaragua y El Salvador, generando inestabilidad en gran parte del territorio guatemalteco, el movimiento de la baja presión era lento hacia El Salvador y Guatemala. Al día siguiente se generó el ingreso abundante de humedad al territorio nacional, manteniéndose un movimiento lento hacia la costa de Guatemala.

El día 27 la baja presión se ubicó frente a las costas de Guatemala, manteniendo un movimiento lento hacia México. La baja presión seguía promoviendo abundante ingreso de humedad al territorio nacional lo cual ocasionó que el día 28 se alcanzara una presión mínima de 1007 Mb, condición que promovió abundante entrada de humedad al territorio nacional, registrándose lluvias fuertes en la mayor parte del país. Para así generar el día 29 condiciones tipo temporal en la mayor parte del territorio con lluvias torrenciales.

El día 29 de mayo, fue el de mayor actividad para Agatha, ya que el sistema de baja presión se fortaleció, generando la depresión tropical No. 1, al suroeste del puerto de Champerico, con una presión de 1005 Mb, vientos máximos de 55 km/hr, la depresión se movía hacia territorio guatemalteco a una

velocidad de 7 km/hr hora más tarde según datos el INSIVUMEH, la depresión tropical se fortaleció generando la tormenta tropical Agatha.

La tormenta tropical Agatha es considerada como una de las que más daño ha causado en los últimos tiempos, especialmente en el territorio guatemalteco. Esto debido a que azotó el territorio guatemalteco junto con ceniza y arena arrojada por la erupción el volcán de Pacaya. Por la presencia de ceniza, arena y las excesivas lluvias causadas por Agatha empeoró la situación, lo cual ocasiono varios inconvenientes como deslizamiento de tierras, inundaciones y crecidas de ríos entre otros. Estos inconvenientes causaron muchas pérdidas humanas y materiales; así como problemas relacionados con la ingeniería como el bloqueo y colapso de carreteras, impidiendo el tránsito en las mismas. Los mayores acumulados registrados se muestran en la figura 10:

Figura 11. **Registro de lluvia acumulada**

Los mayores acumulados registrados de lluvia en seis días fueron (datos preliminares de 42 estaciones climáticas)		
Estación	Municipio/Departamento	Lluvia acumulada (mm) 25 al 30 de mayo 2010
Mazatenango	Mazatenango, Suchitepéquez	565,6
Retalhuleu	Retalhuleu, Retalhuleu	555,3
Montufar	Ciudad Pedro de Alvarado, Jutiapa	536,7
San José	Puerto de San José, Escuintla	497,4
El Capitán	San Lucas Tolimán, Sololá	490,4
Champerico	Champerico, Retalhuleu	410,2
El Tablón	Aldea el Tablón, Sololá	391,1
Camantulul	Santa Lucia Cot., Escuintla	369,3
Catarina	Catarina, San Marcos	353,3
INSIVUMEH	Guatemala, Guatemala	356,0
Alameda icta	Chimaltenango, Chimaltenango	344,8
Tecún Umán	Tecún Umán, San Marcos	335,9
Santiago Atitlán	Santiago Atitlán, Sololá	301,9
Labor Ovalle	Olintenpeque, Quetzaltenango	294,7
San Marcos	San marcos, San Marcos	290,8
San Martín Jilotepeque	San Martín Jil. Chimaltenango	279,7
Todos Santos	Todos santos, Huehuetenango	225,6
Cubulco	Cubulco, Baja Verapaz	212,7

Continuación de la figura 11.

Balanyá	Santa Cruz Balanyá, Chimaltenango	188,7
Cobán	Cobán, Alta Verapaz	185,6
Suiza Contenta	San Lucas Sacatepéquez	184,0
Huehuetenango	Huehuetenango, Huehuetenango	177,5
San Agustín Chixoy	Chisec, Alta Verapaz	176,2
Nebaj	Nebaj, Quiché	175,6
Las Vegas	Livingston, Izabal	168,0
San Pedro Ayampuc	San Pedro Ayampuc, Guatemala	159,8
Asunción Mita	Asuncion Mita, Jutiapa	156,1

Fuente: Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología INSIVUMEH, Departamento de Investigación y Servicios Climático.

Los mayores acumulados registrados de lluvia en 24 horas fueron:

Figura 12. Registro acumulado de 24 horas

Los mayores acumulados registrados de lluvia en 24 horas fueron: (datos preliminares de 42 estaciones climáticas)			
Estación	Municipio/Departamento	Lluvia de 24 hrs (mm)	Fecha
Montufar	Ciudad Pedro de Alvarado, Jutiapa	426,2	29-may
El Capitán	San Lucas Tolimán, Sololá	322,0	29-may
San José	Puerto de San José, Escuintla	246,0	28-may
INSIVUMEH	Guatemala, Guatemala	232,5	29-may
El Tablón	Aldea el Tablón, Solola	226,2	29-may
Alameda Icta	Chimaltenango, Chimaltenango	253,3	29-may
Champerico	Champerico, Retalhuleu	204,0	28-may
Camantulul	Santa Lucia Cotz., Escuintla	187,1	29-may
Mazatenango	Mazatenango, Suchitepéquez	177,0	25-may
Mazatenango	Mazatenango, Suchitepéquez	175,0	29-may
San Martin Jil.	San Martin Jilotepeque, Chimaltenango	170,5	29-may
San José	Puerto de San José, Escuintla	158,1	28-may
El capitán	San Lucas Tolimán, Sololá	156,5	28-may
El Tablón	Aldea el Tablón, Sololá	145,5	28-may
Santiago Atitlán	Santiago Atitlán, Sololá	145,0	29-may
Retalhuleu	Retalhuleu, Retalhuleu	141,4	29-may
San Marcos	San Marcos, San Marcos	138,5	28-may
Retalhuleu	Retalhuleu, Retalhuleu	134,5	25-may
San Marcos	San Marcos, San Marcos	132,3	29-may
Cubulco	Cubulco, Baja Verapaz	132,3	29-may

Continuación de la figura 12.

Labor Ovalle	Olintenpeque, Quetzaltenango	130,5	29-may
Tecún Umán	Tecun Union, San Marcos	126,0	28-may
Todos Santos	Todos Santos, Huehuetenango	124,5	28-may
Santiago Atitlán	Santiago Atitlan, Sololi	124,5	28-may
Champerico	Champerico, Retalhuleu	123,0	29-may
Retalhuleu	Retalhuleu, Retalhuleu	114,0	26-may
Catarina	Catarina, San Marcos	105,4	28-may
Alameda Icta	Chimattenango, Chimaltenango	104,8	28-may
Asunción Mita	Asunción Mita, Jutiapa	103,5	29-may
Labor Ovalle	Olintenpeque, Quetzaltenango	102,9	28-may
San José	Puerto de San José, Escuintla	102,0	28-may
San Marcos	San Marcos, San Marcos	101,0	29-may
Retalhuleu	Retalhuleu, Retalhuleu	101,0	28-may
Balanyá	Santa Cruz Balanyá, Chimaltenango	98,7	29-may
Cobán	Cobán, Alta Verapaz	97,7	29-may
San Agustín Chixoy	Chisec, Alta Verapaz	93,3	26-may

Fuente: Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología INSIVUMEH, Departamento de Investigación y Servicios Climático.

Figura 13. **Secuencia de boletines especiales**

Secuencia de Boletines Especiales emitidos por INSIVUMEH, asociados a la formación, movimiento y disipación de la Tormenta Tropical Agatha			
Dentro de sus actividades de monitoreo continuo, INSIVUMEH emite boletines especiales ante el acercamiento de un fenómeno meteorológico que puede afectar directa o indirectamente el territorio guatemalteco. Durante la tormenta tropical Agatha, se emitieron 31 boletines especiales. El primer boletín especial 10-2010 se emitió el día 25 de mayo a las 16:00 hrs y el último boletín especial 30-2010 se emitió el día 31 de mayo a las 08:00hrs			
No. Boletín Especial	Día de emisión	Hora de emisión	Comentario
10-2010	25 de mayo	10:00 hrs	Pacífico centroamericano muy inestable, generado por un sistema fuerte de baja presión. no se descarte el fortalecimiento... a un disturbio tropical mayor
11-2010	26 de mayo	10:00 hrs	nublados parciales a totales y lluvias fuertes persistirán en el territorio nacional con mayor intensidad en la región sur, debido a un sistema fuerte de baja presión
12-2010	26 de mayo	19:00 hrs	el sistema de baja presión continua generando importantes acumulados de lluvia en el país... se prevé que las lluvias continúen de fuertes a muy fuertes

Continuación de la figura 12.

13-2010	27 de mayo	8:00 hrs	...el sistema fuerte de baja... se desplaza lentamente hacia territorio mexicano... estas condiciones de nublados parciales a totales, lloviznas y/o lluvias intermitentes de moderadas a fuertes persistirán en el territorio nacional.
14-2010	27 de mayo	18:00 hrs	... el sistema fuerte de baja presión... se desplaza muy lentamente sobre aguas del océano Pacífico guatemalteco, generando cielos totalmente nublados y lluvias en la mayor parte del país. ...el sistema de baja presión se puede fortalecer a depresión tropical...
15-2010	28 de mayo	8:00 hrs	... se continuarán presentando nublados parciales a totales, lloviznas y/o lluvias intermitentes de moderadas a fuertes en el territorio nacional...
16-2010	28 de mayo	14:30 hrs	... no se descarta la posibilidad de que estas lluvias puedan intensificarse en cualquier momento. ...no se descarta la posibilidad de que en las próximas horas pueda convertirse en una depresión tropical...
17-2010	28 de mayo	18:00 hrs	el sistema de baja presión tiene un potencial para desarrollarse a una depresión tropical en las siguientes 24 hrs, actualmente se localiza entre las costas de Guatemala y México y mantiene un movimiento lento hacia el noreste.
18-2010	13 de mayo	21:00 hrs	... este sistema seguirá generando tiempo tipo temporal: nublados de parciales a totales en la mayor parte del país, lluvias de moderadas a fuertes en la mayor parte del país con mayores acumulados en la región sur y meseta central , vientos moderados en el litoral pacífico
19-2010	29 de mayo	00:00 hrs	... el sistema fuerte de baja presión ... continua favoreciendo con abundante entrada de humedad al territorio nacional
20-2010	29 de mayo	06:00 hrs	el sistema fuerte de baja presión sobre aguas del pacífico se ha intensificado a depresión tropical con vientos de 60 kilómetros por hora... posibilidad de alcanzar la categoría de tormenta tropical. este sistema seguirá generando tiempo tipo temporal
21-2010	29 de mayo	08:30 hrs	... la depresión tropical... se ha convertido en la tormenta tropical Agatha ubicada muy cerca del litoral pacífico occidental de Guatemala, alrededor de 150 kilómetros al suroeste del municipio de Ocos San Marcos

Continuación de la figura 12.

22-2010	19 de mayo	13:00 hrs	Agatha se está moviendo muy lentamente hacia el noreste rumbo al territorio nacional... sigue generando cielos totalmente nublados y lluvias importantes en la mayor parte del país.
23-2010	29 ce mayo	16:30 hrs	Agatha empezara a internarse en le territorio nacional durante la noche de hoy, en la zona fronteriza con México. la red meteorológica nacional ha comenzado a registrar vientos intensos
24-2010	29 de mayo	12:30 hrs	Agatha ha tocado tierra en la costa de san marcos cerca a la frontera con México. este sistema seguirá generando tiempo tipo temporal
25-2010	29 de mayo	21:00 hrs	Agatha se ha degradado a depresión tropical. la degradación de este sistema favorecerá a que los vientos gradualmente empiecen a disminuir
26-2010	29 de mayo	24:00 hrs	la depresión tropical en su centro se desenergiza y debilita gradualmente
27-2010	30 de mayo	02:30 hrs	la degradación de este sistema continuará favoreciendo con: nublados parciales a totales en la mayor parte del país. lloviznas y/o lluvias en la mayor parte del país con continuaran disminuyendo gradualmente
28-2010	30 de mayo	12:00 hrs	la desenergización de este sistema ha favorecido a que en la últimas 6 horas no se han registrado lluvias significativas... la tarde y noche de hoy podrían presentarse lluvias ligeras a moderadas
29-2010	30 de mayo	12:30 hrs	... se mantienen los nublados y en el transcurso de la noche se estarán presentando lluvias o lloviznas de carácter ligero y formaciones de niebla al amanecer
30-2010	31 de mayo	08:00 hrs	por el remanente de humedad... continuarán presentando: nublados parciales a totales en la mayor parte del país, lloviznas y/o lluvias que continuarán disminuyendo en este inicio de semana, pronosticándose lluvias normas de época.

Fuente: Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología INSIVUMEH, Departamento de Investigación y Servicios Climático.

3.2. Impacto

El país más afectado por la tormenta tropical Agatha fue Guatemala, principalmente en su capital y en algunos departamentos del occidente del país como el departamento de Chimaltenango, lugares que ya estaban en alerta por la erupción del volcán Pacaya. En algunas regiones de Guatemala se registró más lluvia de lo que normalmente se registra en todo el mes de mayo. Según datos del INSIVUMEH en el territorio nacional cayeron alrededor de 500 mm de lluvia, lo que provocó el crecimiento inmediato de los ríos que se dirigen hacia la costa del Pacífico, provocando serios daños a viviendas y puentes. Debido a esta cantidad elevada de inconvenientes este fenómeno tuvo gran impacto en Guatemala, dejando saldos según la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres (CONRED), la cual comunicó oficialmente el fallecimiento de 165 personas, 78 desaparecidos, 154 heridos, y 162 857 afectados.

A causa de esta problemática se produjeron diferentes inconvenientes entre ellos algunos relacionados a la ingeniería civil lo cual se vio reflejado en la gran cantidad de críticas a esta área de la ingeniería, ya que se puso en duda la calidad de los trabajos realizados por muchos profesionales. Uno de los problemas que más causó polémica fue la socavación que se dio en la Ciudad de Guatemala, zona 2. Además, debido a la tormenta Agatha, más de 300 puentes y gran cantidad de kilómetros de la red vial alrededor del país se destruyeron, lo cual dejó a varios pueblos y comunidades aisladas por no tener acceso a ellas.

Entre los daños que se dieron en la red vial cabe mencionar los acontecidos en la Carretera Interamericana (CA-01W), la cual es una de las rutas principales a nivel nacional y con mayor tránsito, por su conexión con lugares altamente turísticos. Los daños que se dieron en este tramo carretero

fueron relacionados con el movimiento de tierras, como deslizamientos, derrumbes, hundimientos entre otros. Uno de los problemas más significativos fue el que ocurrió en el relleno realizado en el kilómetro 112 por la empresa que ejecutaba el proyecto de la ampliación a cuatro carriles dicha ruta. El mismo debido a las fuertes lluvias y al manejo inadecuado se dio su colapso, el manejo inadecuado no se dio por problemas constructivos como se cree sino mas bien fue provocado, en parte, por la población aledaña al lugar, ya que por la inconformidad con la construcción de la ampliación de la carretera a cuatro carriles, bloquearon el paso del agua en las cunetas y rompieron bordillos argumentando que sus propiedades se veían afectadas, y desviaron el agua hacia el relleno, lo cual provocó la saturación y la falla del mismo.

4. RELLENO REALIZADO EN EL KILÓMETRO 112 RUTA CA-01

4.1. Material utilizado

Los trabajos de movimiento de tierras, excavación y terraplenes no son más que cortes o rellenos construidos con materiales térreos y/o pétreos naturales o artificiales compactados a máxima densidad, con el objetivo de servir de apoyo de las obras viales y estructurales. Para conseguir la compactación a máxima densidad es necesaria la realización de diferentes estudios al material a utilizar.

Las diferentes tipos de estructuras de tierra existente son:

- Terraplenes y terrazas: empleando materiales de relleno, generalmente usando suelos naturales de calidad adecuada.
- Escolleras: estructuras formadas por rocas de granulometría uniforme y de gran tamaño
- Piedraplenes: estructuras mixta formada por rocas de granulometría distribuida y suelos seleccionados, con una estructura de esqueleto resistente.

Como parte del proyecto: Diseño y construcción de la ampliación a 4 carriles de la ruta CA-01 occidente tramo: Tecpán – Los Encuentros (km 89 – km 124), se realizó un movimiento de tierras y como parte de la cimentación se

utilizó un piedraplen, esto con el fin de ubicar parte de la pista del proyecto ya mencionado. Para la selección del material a utilizar se realizaron diferentes ensayos, los cuales fueron llevados a cabo en el laboratorio de la empresa encargada de este proyecto, como parte de este trabajo la empresa encargada brindó la oportunidad de observar y realizar gran parte de los ensayos a los materiales utilizados en la construcción del relleno así como los materiales utilizados posteriormente en la reparación de este tramo. Estos ensayos fueron realizados en conjunto con un laboratorista encargado de dicha empresa. Como parte de los parámetros necesarios, se determinó la húmeda óptima del material, la cual es necesaria para lograr una máxima compactación.

Así como otros ensayos para conocer las características del material a utilizar y apegarse a los requerimientos solicitados por las Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras y Puentes, libro azul, también se realizaron otros procedimientos que ayudaron a verificar los resultados de los trabajos realizados en campo, como ensayos de densidades y deflexiones.

En el proyecto Diseño y construcción de la ampliación a 4 carriles de la ruta CA-01 occidente tramo: Tecpán – Los Encuentros (km 89 – km 124), se llevaron a cabo los ensayos anteriormente mencionados. Estos ensayos brindaron diferentes características físicas y mecánicas las cuales fueron comparadas con las Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras y Puentes, libro azul, de caminos, para así determinar si los resultados obtenidos se encuentran dentro de los parámetros sugeridos por dichas especificaciones. En los anexos se podrán encontrar las hojas técnicas proporcionadas por la empresa ejecutante de los diferentes ensayos así como planos de referencia de la parte del proyecto a la cual se está enfocando.

A continuación se presentan los resultados de los ensayos realizados al material con el que se ejecuto el relleno, esto con el fin de descartar que la calidad del material y proceso constructivo sea la causa que haya provocado los diferentes inconvenientes suscitados.

Ensayos realizados al material a utilizar en el área de relleno, realizado en las estaciones 111+920 a la 112+580:

Los ensayos presentados a continuación son de gran relevancia puesto que los resultados de los mismos demuestran la calidad del relleno realizado, y se descarta la posibilidad que el material utilizado o el proceso constructivo sea la causa del colapso del mismo.

Cono de arena

Tabla II. **Resultados ensayo cono de arena, relleno**

Estación	Capa	Densidad seca Gr/Cm ³	Grado de compactación %
112+320 L.D.	1	1,733	94,30
112+360 C	1	1,733	96,40
112+400 L.I.	1	1,733	93,60
112+440 L.D.	1	1,733	97,00
112+480 C	1	1,733	96,00
112+520 L.D.	1	1,733	95,20
112+560 L.I.	1	1,733	94,20
112+600 C	1	1,733	93,60
112+640 L.D.	1	1,733	94,70
112+310 L.I.	2	1,733	93,70
112+350 L.D.	2	1,733	95,20
112+390 C	2	1,733	92,60
112+430 L.I.	2	1,733	96,10
112+320 L.D.	3	1,733	91,30
112+360 C	3	1,733	91,00
112+400 L.I.	3	1,733	90,00

Continuación de la tabla II.

112+440 L.D.	3	1,733	93,30
112+320 L.D.	4	1,733	92,50
112+360 L.I.	4	1,733	93,80
112+400 C	4	1,733	95,40
112+440 L.D.	4	1,733	98,70
112+320 C	6	1,733	90,00
112+360 L.I.	6	1,733	97,70
112+400 L.D.	6	1,733	96,10
112+440 C	6	1,733	94,30
112+320 L.I.	8	1,733	91,20
112+360 C	8	1,733	91,90
112+400 L.D.	8	1,733	96,40
112+440 L.I.	8	1,733	97,70
112+320 L.D.	10	1,733	91,20
112+360 C	10	1,733	94,70
112+400 L.I.	10	1,733	94,70
112+440 L.D.	10	1,733	92,40
112+320 L.D.	12	1,733	95,00
113+360 C	12	1,733	96,60
113+400 L.I.	12	1,733	94,00
113+440 L.D.	12	1,733	94,00
112+320 C	14	1,733	92,60
113+360 L.I.	14	1,733	98,00
113+400 L.D.	14	1,733	94,90
113+440 C	14	1,733	93,70
112+320 L.D.	16	1,733	93,00
112+360 C	16	1,733	91,23
112+400 L.I.	16	1,733	91,62
112+440 L.D.	16	1,733	91,00
112+320 L.D.	18	1,733	98,70
112+360 C	18	1,733	97,60
112+400 L.I.	18	1,733	97,20
112+440 L.D.	18	1,733	97,90
112+320 L.D.	20	1,733	92,80
112+360 C	20	1,733	94,20
112+400 L.I.	20	1,733	93,30
112+440 L.D.	20	1,733	94,80

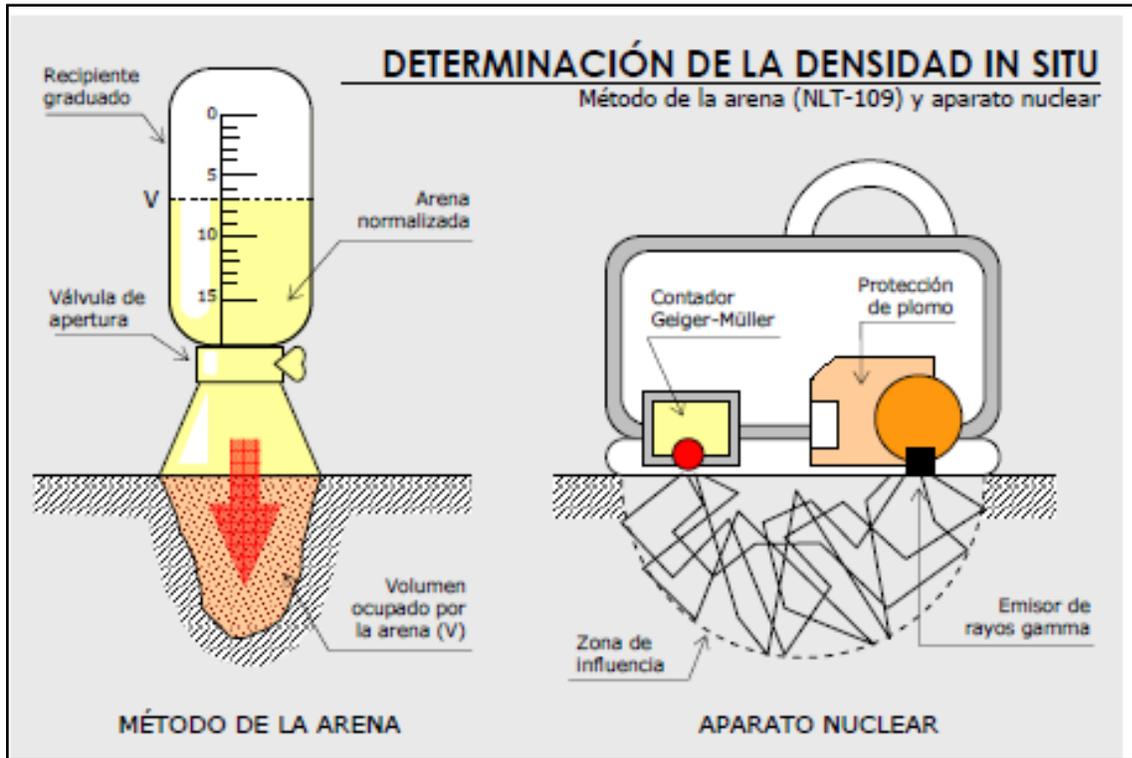
Fuente: elaboración propia.

Según las Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras y Puentes, se debe compactar como mínimo al 90% de la densidad máxima, y los últimos 300 milímetros se deben compactar como mínimo, 95% de la densidad máxima determinada.

Como se puede observar en los resultados de este ensayo el grado de compactación en casi todos los casos se cumplen con los requerimientos, sin embargo, las especificaciones indican que en los últimos 300 milímetros se deben compactar como mínimo, 95% de la densidad máxima, este es un parámetro que como se puede observar en algunos casos, no se logra cumplir sin embargo, los datos no difieren en gran escala, por lo tanto no se considera sustancial para el funcionamiento del relleno realizado.

Cabe mencionar que la capa No. 20 es la única que tiene un espesor de 20 cm, ésta capa no debió haberse recibido por no cumplir con el requerimiento de la norma aplicable, el resto tiene un espesor de 30 cm y el chequeado de densidad en la capa No. 16 y 20 fue por medio del método del Densímetro Nuclear.

Figura 14. Determinación de la densidad *in situ*



Fuente: RODRÍGUEZ SOLÓRZANO, Edson Alberto. *Manual de carreteras, construcción y mantenimiento*. p. 16

Ensayos realizados a material a utilizar en subrasante:

- Ensayo proctor

Tabla III. **Resultados ensayo proctor, subrasante**

Estación	Densidad seca máxima gr/cm ³	Humedad óptima %
111+780 - 112+080 L.I.	1,754	16,7
111+920 - 112+240 L.I.	1,568	22,7
112+260 - 112+320 L.I.	1,629	18,5
112+320 - 112+590 L.I.	1,636	19,9
112+480 - 112+560 L.D.	1,554	21,1
112+600 - 113+010 L.I.	1,495	25,5
112+660 - 112+800 L.D.	1,625	20,7
112+760 - 112+600 L.I.	1,590	19,9
112+790 - 113+060 L.D.	1,571	23,2

Fuente: elaboración propia.

Los resultados obtenidos en este ensayo no tiene parámetros de comparación puesto que los mismo no se pueden definir como buenos o malos simplemente, se debe procurar trasladar la humedad optima obtenida al campo, para así poder obtener una densidad máxima.

Ensayo densidad *in situ* – cono y arena

Tabla IV. **Resultados ensayo cono y arena, subrasante**

Estación	Densidads seca gr/cm ³	Grado de compactación %
111+430 D	1,572	97,4
111+470 C	1,564	96,9
111+510 I	1,578	97,8
111+550 D	1,578	97,8
111+590 C	1,580	97,9
112+500 D	1,504	96,8
112+540 C	1,515	97,5

Continuación de la tabla IV.

112+580 I	1,502	96,7
112+620 D	1,508	97,0
112+660 D	1,519	95,5
112+680 D	1,605	98,8
112+700 I	1,608	99,5
112+720 C	1,584	97,5
112+740 C	1,566	98,5
112+760 I	1,609	99,0
112+780 D	1,443	96,5
112+820 I	1,437	96,1
112+860 C	1,447	96,8
112+900 D	1,423	95,2
112+960 D	1,465	98,0
113+000 C	1,481	99,1

Fuente: elaboración propia.

Según la Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras y Puentes, el mínimo grado de compactación requerido es 95% de compactación respecto a la densidad máxima; como se puede observar, todos los resultados cumplen con este parámetro.

- Ensayo densidad con densímetro nuclear

Tabla V. **Resultados ensayo densímetro nuclear**

Estación	Densidad seca gr/cm ³	Grado de compactación %
112+100 D	1,537	98,00
112+140 C	1,552	98,99
112+180 I	1,548	98,70
112+220 D	1,555	99,18
112+260 C	1,499	95,60
112+280 D	1,554	95,40

Continuación de la tabla V.

112+300 D	1,589	97,15
112+320 C	1,561	95,80
112+320 D	1,610	98,41
112+340 C	1,597	97,63
112+360 C	1,594	97,44
112+380 I	1,597	97,63
112+400 I	1,608	98,27
112+420 D	1,608	98,30
112+440 D	1,599	97,74
112+460 C	1,608	98,26
112+480 C	1,592	97,33
112+520 I	1,592	97,29
112+560 D	1,596	97,56
112+800 D	1,514	96,40
112+840 C	1,505	95,79
112+880 I	1,515	96,43
112+920 D	1,518	96,60
112+960 C	1,509	96,07
113+000 I	1,522	96,90
113+040 D	1,524	97,00

Fuente: elaboración propia.

Según las Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras y Puentes, el mínimo grado de compactación requerido es 95% de compactación respecto a la densidad máxima; como se puede observar, todos los resultados cumplen con este parámetro.

Ensayos realizados a material a utilizar en subbase:

- Ensayo proctor

Tabla VI. **Resultados ensayo proctor, subbase**

Estación	Densidad seca máxima gr/cm ³	Humedad óptima %
111+800 - 112+080 L.I	1,676	18,5
112+080 - 112+320 L.I.	1,785	16,0
112+300 - 112+550 L.D.	1,639	17,1
112+320 - 112+640 L.I.	1,635	17,7
112+640 - 113+000 L.I.	1,559	23,5
112+640 - 113+000 L.I.	1,535	23,7
112+790 - 113+060 L.D.	1,678	16,4

Fuente: elaboración propia.

Los resultados obtenidos en este ensayo no tiene parámetros de comparación puesto que los mismos no se pueden definir como buenos o malos, simplemente se debe procurar trasladar la humedad óptima obtenida al campo, para así poder obtener una densidad máxima.

- Ensayo límites de Atterberg

Tabla VII. **Resultados ensayo límites de Atterberg, Subbase**

Estación	Limite liquido	Limite plástico	Indice de plasticidad
112+640 – 113+000	0,0	0,0	0,0

Fuente: elaboración propia.

Según parámetros de las Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras y Puentes, la subbase y la base no deben tener un

índice de plasticidad mayor de 6 ni un límite líquido mayor de 25. Como se puede observar, este material se encuentra en muy buenas condiciones ya que el material no presenta límite líquido ni límite plástico, humedades obtenidas con horno.

- Ensayo equivalente de arena

Tabla VIII. **Resultados ensayo equivalente de arena, subbase**

Estación	Equivalente de arena promedio
112+640 – 113+000 LI	29

Fuente: elaboración propia.

Según parámetros de las Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras y Puentes, la subbase y la base el equivalente de arena no debe ser menor de 30, en este caso es menor, pero no en gran proporción por lo tanto no afecta su funcionamiento.

- Ensayo densidad in situ con densímetro nuclear

Tabla IX. **Resultados ensayo densímetro nuclear, subbase**

Estación	Densidad seca máxima Gr/Cm ³	Grado de compactación %
111+820 L.I.	1,676	97,10
111+860 L.D.	1,676	97,60
111+900 C	1,676	96,96
111+940 L.I.	1,676	97,40
111+980 L.D.	1,676	98,70
112+020 C	1,676	99,90
112+060 L.I.	1,676	98,42
112+100 L.D.	1,785	97,80
112+140 C	1,785	98,10

Continuación de la tabla IX.

112+180 L.I.	1,785	97,18
112+220 L.D.	1,785	99,43
112+260 C	1,785	98,50
112+300 L.I.	1,785	97,54
112+320 L.D.	1,639	98,35
112+320 L.D.	1,635	97,80
112+360 C	1,639	97,77
112+360 C	1,635	97,10
112+400 L.I.	1,639	98,90
112+400 L.I.	1,635	97,90
112+440 L.D.	1,639	97,10
112+440 L.D.	1,635	98,20
112+480 C	1,639	97,51
112+480 C	1,635	97,90
112+520 L.I.	1,639	98,00
112+520 L.I.	1,635	98,30
112+560 L.D.	1,639	97,76
112+560 L.D.	1,635	97,40
112+600 C	1,639	97,74
112+600 C	1,635	98,00
112+640 L.D.	1,535	97,30
112+640 L.I.	1,639	98,35
112+680 C	1,535	97,37
112+680 L.D.	1,639	98,15
112+720 C	1,639	97,32
112+720 L.I.	1,535	100,04
112+760 L.D.	1,535	99,30
112+760 L.I.	1,639	98,20
112+800 C	1,535	97,58
112+800 L.D.	1,678	99,84
112+840 C	1,678	99,84
112+840 L.I.	1,535	97,20
112+880 L.D.	1,535	100,19
112+880 L.I.	1,678	97,24
112+920 C	1,535	99,08
112+920 L.D.	1,678	98,04
112+960 C	1,678	97,36
112+960 L.I.	1,535	98,66
113+000 L.D.	1,535	98,40
113+000 L.I.	1,678	96,94
113+040 L.D.	1,678	98,02

Fuente: elaboración propia.

Según las Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras y Puentes, el mínimo grado de compactación requerido es 95% de compactación respecto a la densidad máxima como podemos observar todos los parámetros están dentro de este requerimiento.

- Valor soporte California

Tabla X. **Resultados ensayo CBR, subbase**

Estación	Hinchamiento total %	CBR al 95%
112+640 – 113+000 LI	0,13	78%
	0,11	78%
	0,02	78%
Ecuación del anillo (Kg) $Y = 2,5535 + 22,8688x$		

Fuente: elaboración propia.

Según las Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras y Puentes, La subbase debe tener un valor mínimo de 40 y la base 70, esto efectuado sobre muestra saturada, a 95% de compactación y un hinchamiento máximo de 0,5%. Los parámetros arrojados en este ensayo indican que este material es de buena calidad, pudiéndose incluso utilizar como base.

- Medición de deflexión con viga Benkelman (lectura en milímetros)

Tabla XI. **Resultados ensayo viga Benkelman, subbase**

Estación	Lado derecho	Lado central	Lado izquierdo
111+820			0,737
111+860	0,813		
111+900		0,635	
111+940			0,762
111+980	0,610		
112+020		0,483	

Continuación de la tabla XI.

112+060			0,533
112+300	0,711		
112+320	0,838		
112+320	0,660		
112+320	0,889		
112+340		0,635	
112+360		0,711	
112+360		0,838	
112+360		0,889	
112+380			0,838
112+400			0,737
112+400			0,889
112+400			1,016
112+420	0,914		
112+440	0,914		
112+440	0,610		
112+440	0,762		
112+460		0,762	
112+480		0,991	
112+480		0,787	
112+480		0,965	
112+520			0,737
112+520			0,914
112+520			1,600
112+560	1,016		
112+560	1,626		
112+600		0,762	

Fuente: elaboración propia.

Según las Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras y Puentes, la deflexión no debe sobrepasar la máxima deflexión aceptable que es de 2 mm.

- Ensayos realizados a material a utilizar en base

Para esta capa se utilizó una base estabilizada con cemento, esto es recomendable, ya que se logra la estabilización de un material cuando al adicionarle cemento, el agua y la energía de compactación dicho material

aumenta sus propiedades de resistencia mecánica, de plasticidad, y es estable ante los procesos de meteorización bajo las condiciones de clima a que está expuesto. Obviamente las cargas del tránsito inducirán un proceso de falla acorde con las leyes de fatiga que rigen estos materiales.

El cemento se puede incorporar al material de base para mejorar propiedades como: La resistencia mecánica, la resistencia a las condiciones de clima (especialmente ante altos índices de saturación), los indicadores de plasticidad o la degradación de los agregados. La base estabilizada ayuda a cimentar mejor la capa de concreto hidráulico.

A continuación se presenta una tabla resumen del diseño de mezcla de la capa de base estabilizada con cemento donde se encuentran los resultados obtenidos en los diferentes ensayos realizados al material utilizado en esta capa.

Tabla XII. **Diseño de mezcla de capa de base estabilizada con cemento**

Descripción	Resultado obtenido	Límite especificado
Densidad seca máxima	1,775 g/cm ³	-----
Humedad óptima	16,50%	-----
Granulometría	<i>Ver Anexo</i>	-----
Límite líquido	NO	30 Max.
Índice de plasticidad	NO	6 Max.
Equivalente de arena	51,3	25 Max.
Partículas planas y alargadas	0,20%	20% Max.
Peso unitario suelto	1,396 Kg/m ³	1,280 Kg/m ³
Peso unitario vaillado	1,465 kg/m ³	-----
Abrasión en maquina de los ángeles	36,20%	50% Max.
resistencia a la compresión simple	36 Kg/cm ²	21 Kg/cm ² min

Fuente: elaboración propia.

4.2. Proceso constructivo

El proceso constructivo de un terraplén consta de diferentes etapas y operaciones, las cuales tiene como objetivo conseguir las características resistentes estructurales exigidas en cada capa, para así asegurar un correcto funcionamiento del mismo. La calidad de una obra de movimiento de tierras, depende en gran medida de su correcto proceso constructivo, es decir, de la apropiada colocación y posterior tratamiento de los diferentes materiales empleados en su construcción. Así como un buen proceso constructivo puede llevar esta estructura a un buen funcionamiento, una mala ejecución puede ocasionar diversos problemas que afectarán a la funcionalidad.

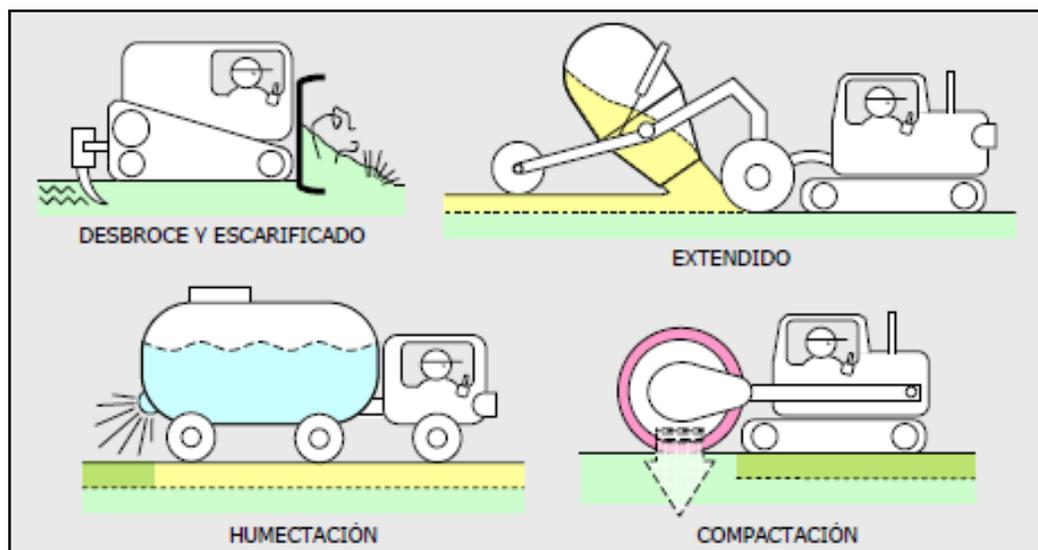
Algunos de los inconvenientes podría ser una humectación o compactación deficiente, que provocarían asentamientos excesivos provocando así un hundimiento en la superficie; la incorrecta ejecución del cimientado en una ladera puede provocar problemas de inestabilidad, ocasionando el colapso y desmoronamiento de la obra.

Dentro del proceso de construcción de este tipo de obras, pueden distinguirse diversas fases de ejecución, las cual será ampliadas más adelante:

- Operaciones previas: este proceso consiste en el desbroce de la vegetación existente, remoción de la capa superficial del terreno, escarificación y precompactación.
- Construcción del terraplén: este proceso está compuesto por cuatro operaciones aplicables a capa del terraplén:

- Extendido de la capa de suelo.
- Humectación a la humedad óptima proctor.
- Compactación.
- Terminación del terraplén: comprende operaciones de perfilado y acabado de taludes y de la explanada sobre la que se asentará el firme.

Figura 15. Principales fases constructivas de un relleno



Fuente: RODRÍGUEZ SOLÓRZANO, Edson Alberto. *Manual de carreteras, construcción y mantenimiento*. p. 16.

4.2.1. Operaciones previas

Como parte del proyecto: Diseño y construcción de la ampliación a 4 carriles de la ruta CA-01 occidente tramo: Tecpán – Los Encuentros (km 89 – km 124), se realizaron diferentes trabajos de movimiento de tierras. En este trabajo se está enfocando principalmente, al terraplén realizado entre la estación 111+920 y 112+580. El mismo se realizó con el fin de ubicar parte de

la pista de la ampliación a cuatro carriles. Como parte de las operaciones previas a la realización del relleno, lo primero que se realizó fue el desbroce (destronque), eliminación de la capa vegetal y posteriormente escarificado del terreno subyacente.

- El desbroce consistió en extraer y retirar de la zona afectada por la traza de la carretera todos los árboles, plantas, maleza, broza, madera caídas, escombros, basura o cualquier otro material indeseable que pudiera acarrear perjuicios al normal desarrollo de las obras o al futuro comportamiento de la vía.
- Posteriormente a la eliminación de la capa vegetal se ha realizado el proceso de escarificado y una debida re compactación al terreno en una profundidad de entre 15 y 25 cm, dependiendo de las condiciones en que se encontró dicho suelo.
- La escarificación, también denominada rizado, este proceso consistió en la disgregación de la capa superficial del terreno, efectuada por medios mecánicos. Se emplearon herramientas y máquinas especiales como tractores de gran potencia (*bulldozers*) que se encargaron simultáneamente de la eliminación del terreno vegetal y del proceso de escarificado.

4.2.2. Ejecución del terraplén

Una vez que se preparó el terreno sobre el que se asentó el terraplén, se procedió a la construcción del mismo, empleado los materiales apropiados, a los cuales se les realizó los debidos estudios, previamente descritos, en los cuales se pudo observar que los materiales cumplían todas las condiciones

recomendadas en las Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras y Puentes, libro azul, de la Dirección General de Caminos.

La ejecución del terraplén se puede dividir en tres operaciones que se repitieron cíclicamente para cada capa, hasta que se alcanzó la cota asignada en proyecto; éstas son: extendido, humectación y compactación.

- **Extendido:** esta operación consistió en el extendido del material en capas de espesor uniforme y con espesor mayor a 100 milímetros compactados y menor a 300 milímetros compactados, como lo proponen las Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras y Puentes. El material utilizado fue debidamente homogenizado presentando así características uniformes. El espesor de las capas que establece la norma es lo suficientemente reducido para que, con los medios disponibles en obra, se obtenga en todo su espesor el grado de compactación exigido. Asimismo, durante la construcción del terraplén es recomendable mantener una pendiente transversal que asegure una rápida evacuación de las aguas y reduzca el riesgo de erosión de la obra de tierra. La maquinaria a emplear en el extendido es muy diversa y la elección de uno u otro modelo depende fundamentalmente de la distancia de transporte de la tierra.
- **Humectación:** una vez que fue extendida la tongada (camionada) de terreno, se procedió a acondicionar la humedad del suelo. Este proceso es de vital importancia ya que cumple una doble función:
 - Asegurar una óptima compactación del material, asegurando la suficiente resistencia y reduciendo los posteriores asentamientos del terraplén.

- Evitar que las variaciones de humedad que se produzcan después de la construcción provoquen cambios excesivos de volumen en el suelo, ocasionando daños y deformaciones en el firme. Como se ha mencionado con anterioridad, suele tomarse como humedad de referencia la determinada en el ensayo de proctor normal o modificado, denominada humedad óptima proctor las cuales se pueden observar en los resultados de los ensayos anteriormente mostrados. Con relación a la humedad de un suelo existen una serie de casos particulares que es necesario tratar de forma especial:
 - Suelos secos: un suelo con un bajo nivel de humedad pueden ser compactado hasta su nivel óptimo sin necesidad de humectarlos, empleando para ello una mayor energía de compactación, ya que la humedad óptima disminuye con la energía de compactación.
 - Suelos sensibles a la humedad: este grupo de suelos presentan curva de compactación muy pronunciadas, lo que los hace especialmente sensibles a la humedad. Este hecho se traduce en que una pequeña variación en la húmeda acarrea consigo un cambio sensible de la densidad del suelo.
 - Suelos expansivos: este tipo de suelos, en el que destacan las arcillas deben compactarse con unas condiciones óptimas de humedad para evitar cambios de volumen importantes durante la vida útil de la carretera, lo que podría ocasionar diversas patologías en el firme.

- Suelos colapsables: este tipo de suelos se caracterizan por su baja densidad y bajo grado de humedad, presentando un gran número de huecos en su seno. La inundación de este tipo de suelos ocasiona un fenómeno denominado colapso, que se traduce en el asiento brusco del terraplén. Por ello, es recomendable forzar esta compactación durante la fase de construcción saturándolo en agua.

La maquinaria empleada para humedecer el material en esta fase de construcción fue un camión provisto de un tanque de agua (Pipa). Con lo que respecta la humectación del terreno deberá ser progresiva y uniforme hasta alcanzar el grado óptimo estipulado. Si la humedad del suelo es excesiva, existen diversas formas de reducirla: destaca el oreo del material, trabajándolo con gradas una vez extendido, o la adición de materiales secos o sustancias como la cal viva, que, además, mejora las características resistentes del suelo.

4.2.3. Compactación

Posteriormente al alcanzar el grado de humedad óptimo, se procedió a la última fase de ejecución del terraplén: la compactación. La cual tiene como objetivo: aumentar la estabilidad y resistencia mecánica del terraplén- se consigue comunicando energía de vibración a las partículas que conforman el suelo, produciendo una reordenación de estas, que adoptarán una configuración energéticamente más estable.

En términos más explícitos, la compactación trata de forzar el asiento prematuro del terraplén para que las deformaciones durante la vida útil de la carretera sean menores, ya que cuando más compactado esté un suelo, más difícil será volverlo a compactar.

En el terraplén realizado como parte del proceso de compactación se verificó la calidad de la misma, esto se realizó verificando la densidad obtenida en campo por medio de los diferentes ensayos, anteriormente mencionados. Según las Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras y Puentes, los terraplenes se deben compactar como mínimo al 90% de la densidad máxima, determinada por el Método AASHTO T180 (Ensayo proctor modificado) y los últimos 300 milímetros se deben compactar como mínimo, al 95% de la densidad máxima determinada.

La compactación de las capas se realizó, como es recomendable, desde fuera hacia el centro del terraplén; teniendo un especial cuidado en los bordes y taludes del mismo, debiendo emplearse una de las siguientes técnicas constructivas:

- Compactar una franja de por lo menos 2m de anchura desde el talud, capas más delgadas y mediante maquinaria ligera apropiada (rodillos pequeños, bandejas vibratoras, etc.)
- Dotar de un ancho suplementario (1 m) al terraplén sobre los valores estipulados en proyecto. Posteriormente se recortará el exceso colocado, pudiendo ser reutilizado.
- El relleno se efectúa sobre perfil teórico de proyecto y los taludes se compactan directamente mediante maquinaria apropiada.

La maquinaria empleada en la compactación de terraplenes es muy diversa, aunque suelen emplearse compactadores vibratorios de llanta metálica lisa, compactadores de neumáticos o rodillos de pata de cabra según el tipo de

suelo; en los márgenes y zona difíciles se emplean vibroapisonadores o planchas vibrantes.

4.2.4. Terminación del terraplén

Una vez que ha terminado el proceso constructivo del terraplén en cuestión, se realizó el acabado geométrico del mismo reperfilando los taludes y la superficie donde posteriormente se asentó el firme, empleándose la moto niveladora. También se realizó una última pasada con la compactadora sin aplicar vibración, con el fin corregir posibles irregularidades producidas por el paso de la maquinaria y sellar la superficie.

Los taludes fueron revegetados para aumentar su estabilidad y favorecer su integración ambiental, empleando capa de tierra vegetal anteriormente excavada dadas sus excelentes propiedades fertilizantes.

4.3. Formas de protección

Los trabajos de movimiento de tierras son realizados con tierras y/o rocas, es por esta razón que muchas veces estos trabajos son propensos a un mal funcionamiento al entrar en contacto con el agua, pudiendo causar su colapso, esto se debe a los diferentes límites que presenta un material, como lo es el límite líquido, el cual está definido, como el contenido de humedad en el cual una masa de suelo se encuentra entre el estado plástico para pasar al estado líquido o semilíquido, Es por esta razón que al momento de realizar este tipo de trabajos es necesario realizar diferentes obras las cuales ayudan a la debida protección del mismo, evitando la filtración de agua a este elemento estructural.

Entre los elementos básicos para el buen manejo de las aguas, en este caso las aguas pluviales, son:

- La cuneta

Puede definirse como una zona longitudinal situada en el extremo de la pista y que discurre paralela a la misma, cuya misión es la de recibir y canalizar las aguas pluviales procedentes de la propia pista, de donde son evacuadas a través del bombeo, y de la escorrentía superficial del talud de desmonte si este existe. Además de brindar una buena protección por medio del manejo adecuado del agua pluvial, las cunetas prestan otros tipos de funciones útiles para el correcto funcionamiento de la infraestructura, como son:

- Control del nivel freático.
- Evacuación de las aguas infiltradas tanto en la estructura de tierra así como en el terreno circundante.

Las cunetas pueden construirse de diferentes materiales en función de la velocidad de circulación del agua, magnitud que depende directamente de la inclinación longitudinal de la cuneta, que suele coincidir con la adoptada para la vía. Una velocidad superior a la tolerable por el material causaría arrastres y erosiones del mismo, reduciendo la funcionalidad de la cuneta. Así, para bajar velocidades no es necesario efectuar ningún revestimiento, mientras que si esta supera los 4,5 m/s es necesario revestir las paredes de concreto.

- Ubicación

Como ya se ha comentado, las cunetas suelen ubicarse generalmente en los laterales de la pista, aunque éste no es el único lugar donde pueden encontrarse. Otras disposiciones propias de las cunetas son:

- Cunetas de coronación de desmote: se colocan en la parte más alta del desmonte para evitar la erosión y arrastre de materiales que conforman talud, así como para aliviar parte del caudal que debería recoger la cuneta principal, interceptando la escorrentía de las laderas circundantes.
- Cuneta de coronación de terraplén: al igual que las anteriores, evitan que el agua recogida por la calzada penetre en el talud, lo que podría ocasionar arrastres e incluso el desmoronamiento parcial del terraplén. Son de menor tamaño, ya que únicamente deben evacuar el agua recogida en el firme.
- Cuneta de pie de terraplén: su misión es recoger las aguas que caen sobre el talud del terraplén y sobre el terreno circundante, sobre todo si su pendiente vierte hacia el propio relleno, ya que podría llegar a erosionar gravemente la base del mismo.

En el proyecto Diseño y construcción de la ampliación a 4 carriles de la ruta CA-01 occidente tramo: Tecpán – Los Encuentros (km 89 – km 124), como medida de protección en las obras de tierra realizadas, para el buen manejo del agua pluvial se utilizaron diferentes obras como tuberías y cunetas de coronación y de pie, esto influyó en gran medida, en el buen funcionamiento de esta estructura. Así también, la utilización de una capa vegetal en el talud, esto

para proporcionar estabilidad. Una buena protección es de vital importancia, ya que en dicho territorio del país las lluvias se intensifican en épocas de invierno, por lo cual el mal manejo puede ocasionar diferentes inconvenientes en las estructura.

Figura 16. **Obra de protección utilizada antes del colapso**



Fuente: kilómetro 112, Ruta Interamericana CA-01 occidente.

Figura 17. **Obra de protección dañada**



Fuente: kilómetro 112, Ruta Interamericana CA-01 occidente.

En el 2010, para la época de invierno, el territorio guatemalteco se vio afectado por la tormenta tropical Aghata, ocasionando lluvias en gran magnitud en el área occidente del país, en un inicio fue evidente el buen funcionamiento de las obras de protección; ya que las mismas lograron su cometido, lamentablemente por la falta de conocimiento de la importancia de estas obras por parte de las comunidades aledañas a este proyecto, las obras de protección fueron dañadas (cunetas, bordillos, derramaderos, etc.) bloqueando así el paso del agua en las cunetas, argumentando que sus propiedades se veían afectadas, por esta razón desviaron el agua hacia el relleno, lo cual provocó la saturación.

La empresa constructora al percatarse de este suceso tomó las medidas pertinentes para evitar someter a cargas esta estructura lo cual pudiera ocasionar su colapso, lastimosamente estas medidas fueron ignoradas y esta estructura fue sometida carga por lluvias ocasionado la falla y el desplome.

Figura 18. **Bloqueo de cuneta causado por las comunidades**



Fuente: kilómetro 112, Ruta Interamericana CA-01 occidente.

El relleno que se ha venido mencionando ubicado entre las estaciones 111+920 – 112+580 , quedó desprotegido y es aquí donde radica el problema de este elemento estructural, que es donde se centra en gran medida este trabajo de graduación, debido a la irresponsabilidad de la gente de las comunidades aledañas al lugar, las cunetas y todas las obras de protección que realizó la empresa constructora fueron destruidas, como se logra observar en la imagen anterior, por estas personas argumentando que no estaban de acuerdo

con los trabajos realizados; esto ocasionó un mal manejo del agua pluvial, ya que la misma fue direccionada hacia el relleno realizado, que como se puede observar cumplía con todos los requerimientos establecidos, tanto el tipo de material, como todos los procesos de compactación, pero el agua siendo un agente de tanta importancia al entrar en contacto con el suelo provoca una excesiva humedad en el material lo que ocasiona demasiada fluidez, por lo tanto el colapso, ocasionando así muchas pérdidas materiales.

Luego de haber observado el inconveniente que se tuvo en esta estructura de tierra, se puede notar como las obras de protección muchas veces no se les da la importancia debida. Éste es un claro ejemplo de cómo aun usando un material que cumpla con todas las características y realizando una compactación adecuada y seguir todas las recomendaciones pertinentes, si no se utilizan las debidas obras de protección o se utilizan de mala manera puede ocasionar muchos inconvenientes hasta causar el colapso del mismo.

4.4. Colapso del relleno

El colapso del relleno significó un impacto importante en el desarrollo técnico del diseño, por tanto, vale la pena explicar de manera generará las causas y efectos del mismo.

4.4.1. Causas

Entre las causas, que pudieron ocasionar el colapso del relleno realizado entre las estaciones son 111+920 – 112+580 están:

- Falta de conocimiento de la importancias de las obras de protección por parte de las comunidades aledañas.

- Falta de mantenimiento de las obra de protección.
- Reducida implementación de obras de protección.
- Falta de conocimiento por las comunidades aledañas de las obras de drenaje existente.
- Inconformidad por parte de las comunidades aledañas con el proyecto.

Figura 19. **Daños causados a las obras de protección del relleno**



Fuente: kilómetro 112, Ruta Interamericana CA-01 occidente.

Como es posible observar en la imagen, la obra de protección no solamente fue dañada, sino también se modificó el curso del agua pluvial lo cual ocasionó que el agua se dirigiera directamente al relleno ubicado al otro lado de

la carretera, causando una saturación en el mismo. Lastimosamente no solo se modificó el funcionamiento, sino también el aspecto de la misma.

4.4.2. Efectos

Los efectos, que se han dado por las causas anteriormente mencionadas son:

- Pérdidas materiales.
- Posibles pérdidas humanas.
- Pérdidas económicas.
- Desprestigio al trabajo realizado por esta empresa constructora, por destrucción de drenajes existentes en el área del relleno.

Figura 20. **Aberturas en la pista anunciando el mal funcionamiento del relleno**



Fuente: kilómetro 112, Ruta Interamericana CA-01 occidente.

Figura 21. **Abertura causada por movimiento del relleno**



Fuente: kilómetro 112, Ruta Interamericana CA-01 occidente.

Figura 22. **Pista intransitable**



Fuente: kilómetro 112, Ruta Interamericana CA-01 occidente.

Figura 23. **Pista en mal estado por el movimiento del relleno**



Fuente: kilómetro 112, Ruta Interamericana CA-01 occidente.

Figura 24. **Pista intransitable por causa de movimiento en el relleno**



Fuente: kilómetro 112, Ruta Interamericana CA-01 occidente.

Figura 25. **Momento en el cual el relleno empezó a ceder**



Fuente: kilómetro 112, Ruta Interamericana CA-01 occidente.

Figura 26. **Pista en mal estado por causa del movimiento en el relleno**



Fuente: kilómetro 112, Ruta Interamericana CA-01 occidente.

Figura 27. **Comunidades aledañas reunidas**



Fuente: kilómetro 112, Ruta Interamericana CA-01 occidente.

Figura 28. **Momentos después del colapso**



Fuente: kilómetro 112, Ruta Interamericana CA-01 occidente.

Figura 29. **Ubicación del camión que estaba ubicado sobre el relleno ya cuando el paso está prohibido**



Fuente: kilómetro 112, Ruta Interamericana CA-01 occidente.

Figura 30. **Intransitabilidad de la vía**



Fuente: kilómetro 112, Ruta Interamericana CA-01 occidente.

Figura 31. **Pérdidas materiales**



Fuente: kilómetro 112, Ruta Interamericana CA-01 occidente.

Figura 32. **Colapso de la pista**



Fuente: kilómetro 112, Ruta Interamericana CA-01 occidente.

4.4.3. Soluciones

Entre las soluciones que se plantearon, la empresa encargada, las comunidades y la empresa supervisora:

- La re ejecución de esta estructura de tierra.
- Posible traslado del eje central de la carretera.
- La realización de un paso a una altura inferior para así evitar la realización del relleno.

Como parte de este proyecto se tuvo que buscar una nueva alternativa para la ubicación de la pista, entre las soluciones las anteriormente mencionadas, pero no era factible la realización del relleno nuevamente esto por motivos de seguridad, economía y descontento de las comunidades. Por tal razón se prefirió realizar este tramo a una altura inferior, esta solución fue propuesta por al empresa ejecutora y con el visto bueno de la empresa supervisora, por lo tanto se procedió a realizar el paso a una altura inferior, efectuando todos los procedimientos respectivos de construcción y sus debidas obras de protección las cuales se muestran más adelante.

A continuación se presentan los ensayos realizados a el material utilizado en este tramo, esto con el fin de corroborar la buena práctica del proceso constructivo así como la calidad del material utilizado, usando como referencia las Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras y Puentes.

- Ensayos realizados a material a utilizar en subrasante:
 - Ensayo densidad *in situ* – cono y arena

Tabla XIII. **Resultados ensayo cono y arena, subrasante, posterior al colapso**

Estación	Densidad seca gr/cm ³	Grado de compactación %
112+150 L.D.	1,953	95,80
112+210 C	1,953	98,90
112+270 L.I.	1,953	96,50
112+330 L.D.	1,953	98,10
112+390 C	1,953	98,00

Fuente: elaboración propia.

- Medición de deflexión con viga Benkelman (lectura en milímetros)

Tabla XIV. **Resultados ensayo viga Benkelman, subrasante, posterior al colapso**

Estación	Lado derecho	Lado central	Lado izquierdo
112+150	1,143		
112+210		1,118	
112+270			1,016
112+330	1,067		
112+390		1,143	

Fuente: elaboración propia.

- Ensayos realizados a material a utilizar en Subbase:
 - Ensayo densidad *in situ* – cono y arena

Tabla XV. **Resultados ensayo cono y arena, subbase, posterior al colapso**

Estación	Densidad Seca Gr/cm ³	Grado de Compactación %
112+160 L.D.	1.953	99.2
112+220 L.I.	1.953	99.4
112+280 L.D.	1.953	100.4
112+340 L.I.	1.953	99.7

Fuente: elaboración propia.

- Medición de deflexión con viga Benkelman (lectura en milímetros)

Tabla XVI. **Resultados ensayo viga benkelman, subbase, posterior al colapso**

Estación	Lado derecho	Lado central	Lado izquierdo
112+160	0,762		
112+220		0,813	
112+280			0,914
112+340	0,940		

Fuente: elaboración propia.

- Ensayos realizados a material a utilizar en base:

Para esta capa se utilizo una base estabilizada con cemento.

- Ensayo densidad *in situ* – cono y arena

Tabla XVII. **Resultados ensayo cono y arena, base, posterior al colapso**

Estación	Densidad seca gr/cm ³	Grado de compactación %
112+150 L.D.	1,763	98,60
112+210 L.I.	1,763	99,4
112+270 C	1,763	98,80
112+330 L.D.	1,763	99,10

Fuente: elaboración propia.

- Medición de deflexión con viga Benkelman (lectura en milímetros)

Tabla XVIII. **Resultados ensayo viga Benkelman, base, posterior al colapso**

Estación	Lado derecho	Lado central	Lado izquierdo
112+180	0,686		
112+315			0,660
112+400		0,559	
112+500	0,737		

Fuente: elaboración propia.

Figura 33. **Limpieza del área afectada**



Fuente: kilómetro 112, Ruta Interamericana CA-01 occidente.

Figura 34. **Inicio reparación por parte de empresa constructora**



Fuente: kilómetro 112, Ruta Interamericana CA-01 occidente.

Figura 35. **Realización de ensayos a la obra de reconstrucción**



Fuente: kilómetro 112, Ruta Interamericana CA-01 occidente.

Figura 36. **Proceso de compactación a nivel de base**



Fuente: kilómetro 112, Ruta Interamericana CA-01 occidente.

Figura 37. **Limpieza del área de reconstrucción**



Fuente: kilómetro 112, Ruta Interamericana CA-01 occidente.

Figura 38. **Construcción de obras de protección**



Fuente: kilómetro 112, Ruta Interamericana CA-01 occidente.

Figura 39. Colocación pavimento



Fuente: kilómetro 112, Ruta Interamericana CA-01 occidente.

Figura 40. Colocación pavimento rígido



Fuente: kilómetro 112, Ruta Interamericana CA-01 occidente.

Figura 41. **Acabado pavimento**



Fuente: kilómetro 112, Ruta Interamericana CA-01 occidente.

Figura 42. **Colocación de pavimento rígido reconstrucción**



Fuente: kilómetro 112, Ruta Interamericana CA-01 occidente.

Figura 43. **Emparejado de pavimento**



Fuente: kilómetro 112, Ruta Interamericana CA-01 occidente.

Figura 44. **Construcción obra de protección pie de talud**



Fuente: kilómetro 112, Ruta Interamericana CA-01 occidente.

Figura 45. **Construcción de obra de protección para solución planteada**



Fuente: kilómetro 112, Ruta Interamericana CA-01 occidente.

Figura 46. **Colocación electro malla de refuerzo**



Fuente: kilómetro 112, Ruta Interamericana CA-01 occidente.

Figura 47. **Protección talud, menor altura**



Fuente: kilómetro 112, Ruta Interamericana CA-01 occidente..

Figura 48. **Visualización final, del tramo reconstruido**



Fuente: kilómetro 112, Ruta Interamericana CA-01 occidente.

Figura 49. **Colocación de señalización**



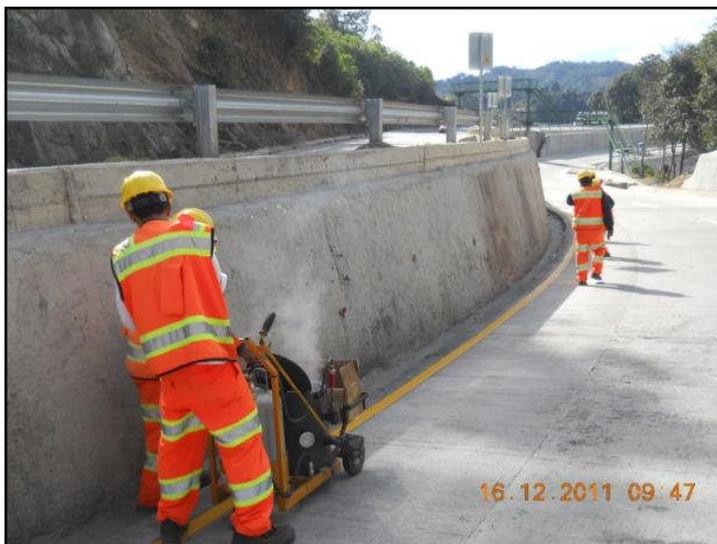
Fuente: kilómetro 112, Ruta Interamericana CA-01 occidente.

Figura 50. **Colocación de señalización, tomando en cuenta medidas de seguridad**



Fuente: kilómetro 112, Ruta Interamericana CA-01 occidente.

Figura 51. **Acabados finales, pintura**



Fuente: kilómetro 112, Ruta Interamericana CA-01 occidente.

Figura 52. **Pintura**



Fuente: kilómetro 112, Ruta Interamericana CA-01 occidente.

Al llevar a cabo la reconstrucción de la pista se utilizaron las debidas obras de protección, esto con el fin de evitar cualquier problema que pudiera ser ocasionado por el agua pluvial, pero en esta ocasión se incrementaron estas obras de protección evitando que interfirieran en algún terreno o algún área que pudiera causar molestias a las comunidades aledañas, para vitar nuevamente los percances suscitados anteriormente.

A continuación se presentan algunas imágenes de las obras de protección realizadas, así como el cálculo del caudal para verificar la buena selección de la sección propuesta para el funcionamiento de las condiciones más críticas.

4.4.3.1. Calculo de caudal

Área = 1,31 Ha

C = 0,75

I = 205 mm/hr

$$Q = \frac{(C)(AREA)(INTENSIDAD)}{360} = CAUDAL \text{ m}^3/s$$

$$Q = \frac{(0,75)(1,31)(205)}{360} = 0,55 \text{ m}^3/s$$

Figura 53. **Protección al talud por medio de zampeado, para evitar erosión**



Fuente: kilómetro 112, Ruta Interamericana CA-01 occidente.

Figura 54. **Bordillo de protección 1**



Fuente: kilómetro 112, Ruta Interamericana CA-01 occidente.

En esta imagen se observa la construcción de un bordillo en la protección para canalizar el agua hacia los derramaderos.

Figura 55. **Bordillo de protección 2**



Fuente: kilómetro 112, Ruta Interamericana CA-01 occidente.

Figura 56. **Bajada de agua de la parte superior 1**



Fuente: kilómetro 112, Ruta Interamericana CA-01 occidente.

En esta imagen se puedes observar la bajada de agua de la parte superior de la carretera y cuneta hacia tubería existente

Figura 57. **Bajada de agua de la parte superior 2**



Fuente: kilómetro 112, Ruta Interamericana CA-01 occidente.

Figura 58. **Tubería trasversal para captación de agua pluvial**



Fuente: kilómetro 112, Ruta Interamericana CA-01 occidente.

Figura 59. **Caja colectora de aguas pluviales**



Fuente: kilómetro 112, Ruta Interamericana CA-01 occidente.

Figura 60. **Protección del talud**



Fuente: kilómetro 112, Ruta Interamericana CA-01 occidente.

En esta imagen se pueden observar la protección del talud con sus respectivos derramaderos y los gaviones colocados en el pie del talud como medida de protección.

Figura 61. **Derramaderos existentes 1**



Fuente: kilómetro 112, Ruta Interamericana CA-01 occidente.

Figura 62. **Derramaderos existentes 2**



Fuente: kilómetro 112, Ruta Interamericana CA-01 occidente.

Figura 63. **Medidas de protección**



Fuente: kilómetro 112, Ruta Interamericana CA-01 occidente.

En esta imagen se puede observar gran parte de las obras de protección realizadas por la empresa encargada, para evitar tener cualquier tipo de inconveniente.

4.4.4. Discusión de resultados

Como se puede observar en la construcción del relleno en esta área, los inconvenientes de no respetar las obras de protección en los trabajos de ingeniería, pueden ocasionar pérdidas materiales, humanas e incomodidades a los usuarios que circulan por esta carretera tan importante a nivel nacional y regional.

A pesar de cumplir con todos los requerimientos establecidos en el proceso constructivo, especialmente en este relleno, el mismo al entrar en contacto con el agua, el cual es una agente muy perjudicial para los suelos. Puede provocar el mal funcionamiento del mismo ocasionando la falla. Al realizarse un trabajo de esta índole es conveniente concientizar a las comunidades de la importancia de estas obras para evitar daños.

CONCLUSIONES

1. El colapso del relleno realizado en el kilómetro 112 de la ruta CA-01 occidente, como parte del proyecto: Diseño y construcción de la ampliación a 4 carriles de la ruta CA-01 occidente tramo: Tecpán – Los Encuentros (km 89 – km 124) se debió principalmente a la falta de conocimiento de las comunidades aledañas sobre la importancia de las obras de protección, lo que causó un manejo inadecuado del agua pluvial, haciendo que la misma saturara el material del relleno y colapsara, esto por negligencia de uno de los usuarios, este relleno fue sometido a una carga causando así su colapso.
2. Existen diferentes tipos de rellenos, los cuales van a depender de su forma, dimensión, diseño y material utilizado. Sea cual sea el tipo de relleno algunos de los parámetros más importantes es la buena selección del material, así como de una buena compactación.
3. La Dirección General de Caminos establece algunos criterios que tienen que ser tomados en cuenta al llevarse a cabo obras de carreteras y puentes. En el relleno anteriormente mencionado, fue de vital importancia tomar estos parámetros y tener una forma de demostrar, por medio de ensayos, para comprobar que el colapso del mismo no se debió a mala práctica de la empresa ejecutora.
4. La forma correcta de proteger un relleno es realizando sus debidas obras de protección como cunetas, derramaderos, colocación de tuberías e informar a los vecinos del área de la importancia de las mismas.

5. La realización del paso a una altura inferior fue una de las soluciones más acertadas ya que con esto se evitó la realización del relleno nuevamente en las condiciones originales, lo cual pudo haber ocasionado descontento a los vecinos del lugar, así como no ser factible económicamente.

RECOMENDACIONES

1. Previamente a realizar un trabajo de movimiento de tierras, deben realizarse los respectivos ensayos para evaluar las condiciones del material a utilizar.
2. Seguir las especificaciones planteadas por la Dirección General de Caminos.
3. Realizar las debidas obras de protección al hacer un movimiento de tierra y relleno, ya que el agua es el agente más perjudicial para este tipo de obras.
4. Evitar la realización de este tipo de rellenos de gran magnitud cuando sea posible.
5. Informar a las comunidades afectadas por estas obras, sobre la importancia de las mismas.
6. Que las comunidades aledañas a una obra de este tipo conozcan acerca del tema y eviten hacer cualquier modificación que pueda cambiar el funcionamiento, causando así un mal funcionamiento, lo cual pone en riesgo su integridad, así como la de otros usuarios.

BIBLIOGRAFÍA

1. BAÑÓN VELÁSQUEZ, Luis; BEVIÁ GARCÍA, José Francisco. *Manual de carreteras, construcción y mantenimiento*. 2a ed. Universidad de Alicante. Escuela Politécnica Superior: Alicante, 2000. 189 p.
2. JUÁREZ, Rico. *Mecánica de suelos*. 3a ed. México: Limusa. 2001. 454 p.
3. MEZA MONROY, Mildred. *Control de calidad del concreto fluido para el relleno estructural*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. 2008. 81 p.
4. *Movimiento de tierras* [en línea]. <http://erods.files.wordpress.com/2010/09/movimiento-de-tierra.pdf>. [Consulta: 5 de junio de 2012].
5. Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología. Resumen del impacto meteorológico tormenta tropical Agatha. Departamento de investigación y servicios dimáticos. Guatemala: INSIVUMEH. 89 p.
6. RICO RODRÍGUEZ, Alfonso; DEL CASTILLO MEJÍA, Hermilo. *Consideraciones sobre compactación de suelo en obras de infraestructura de transporte*. Documento técnico No. 7. Instituto Mexicano del transporte. 28 p.

7. TERZAGHI, Karl. *Mecánica de suelos en la ingeniería práctica*. 3a ed.
México: El Ateneo. 2001. 681 p.

ANEXOS

Anexo 1. **Mapa de red vial**

Fuente: <http://www.siinsan.gob.gt/portals/0/pdf/RedVial.pdf>

Anexo 2. **Plano de lugar afectado**

Fuente: Archivo empresa encargada del proyecto, CONASA

Anexo 3. **Hojas técnicas de ensayos afectados al relleno, sub rasante, subbase y base (antes de colapso)**

Fuente: Archivo empresa encargada del proyecto, CONASA

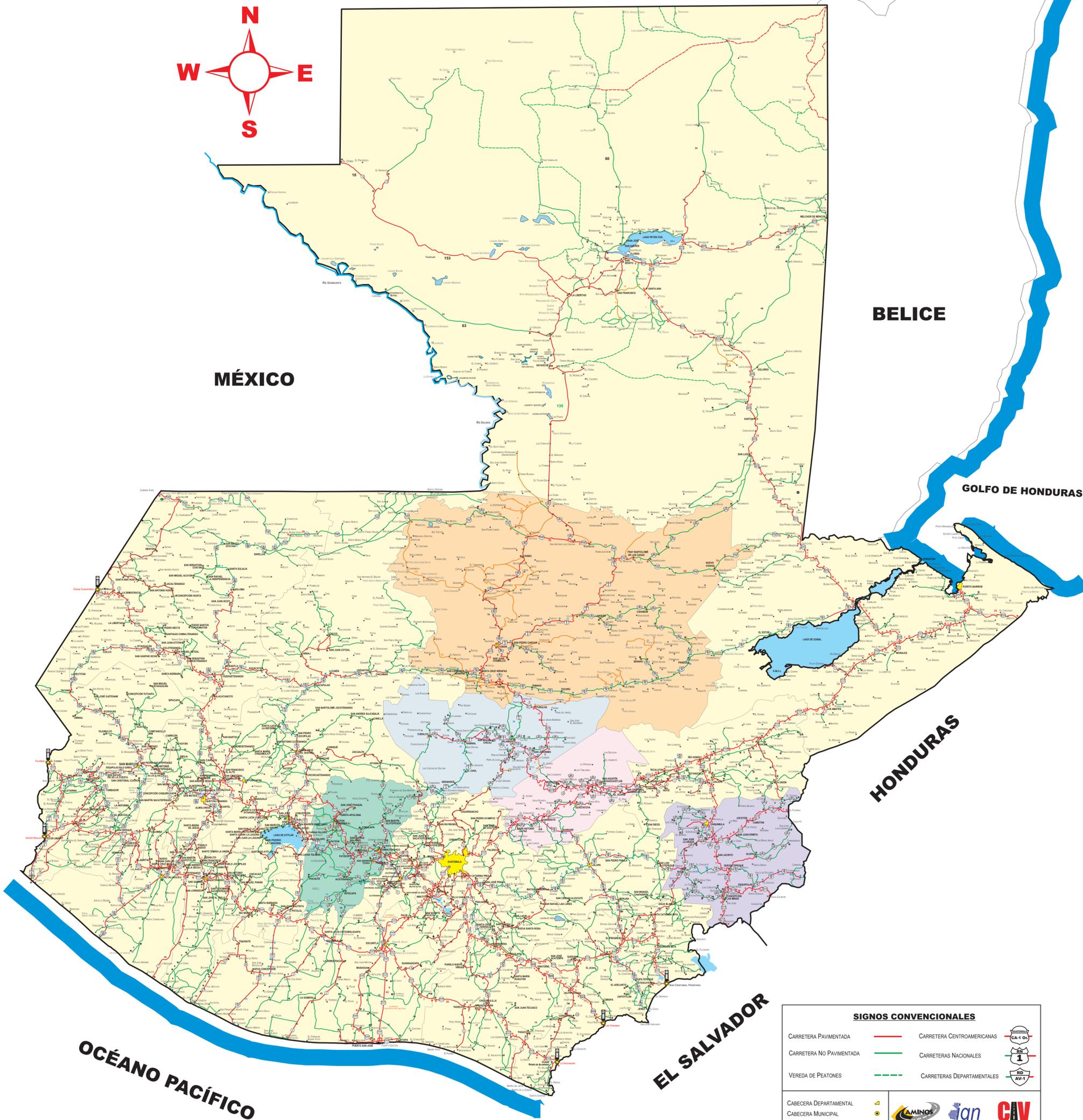
Anexo 4. **Hojas técnicas de ensayos afectados al subrasante, subbase y base (reparación)**

Fuente: Archivo empresa encargada del proyecto, CONASA

Anexo 5. **Diseño y ensayos a bordillos**

Fuente: Archivo empresa encargada del proyecto, CONASA

RED VIAL CON DISTANCIAS REPÚBLICA DE GUATEMALA



DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE TRANSITO/DPE/DGC.

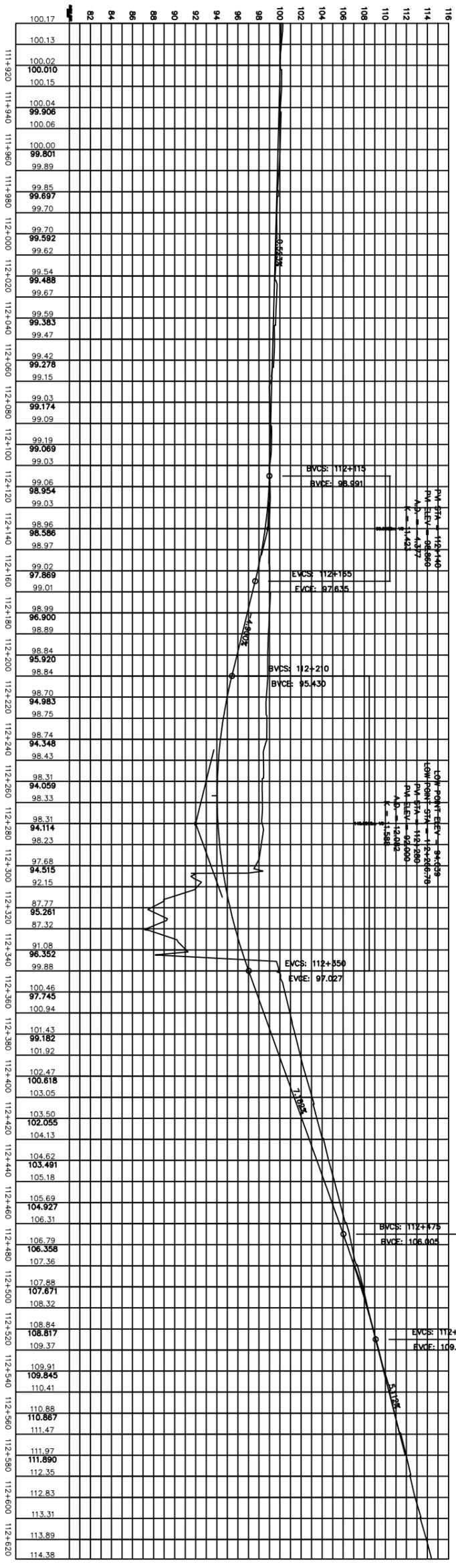
FUENTE: INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL
MAPA RED VIAL EDICION 2000.
RED VIAL DE GUATEMALA AÑO 2006
DIGITALIZADO POR: EDWIN MISSEL CORZO LÓPEZ
ENCARGADO ACTUALIZACION MAPA RED VIAL DGC.

SIMBOLA	DESCRIPCION	CLASIFICACION DE RUTAS
	CARRETERA NACIONAL	Red Nacional
	CARRETERA DEPARTAMENTAL	Red Departamental
	CARRETERA MUNICIPAL	Red Municipal
	FINCA O HACIENDA	Finca o Hacienda
	ÁREA O PARAJE	Área o Paraje



PERFIL REPLANTEO
 KM 112+300 Chupol

Escudo #



REVISIONES Y ACTUALIZACIONES			
REV.	FECHA	DESCRIPCION DE LA REVISION	RESPONSABLE

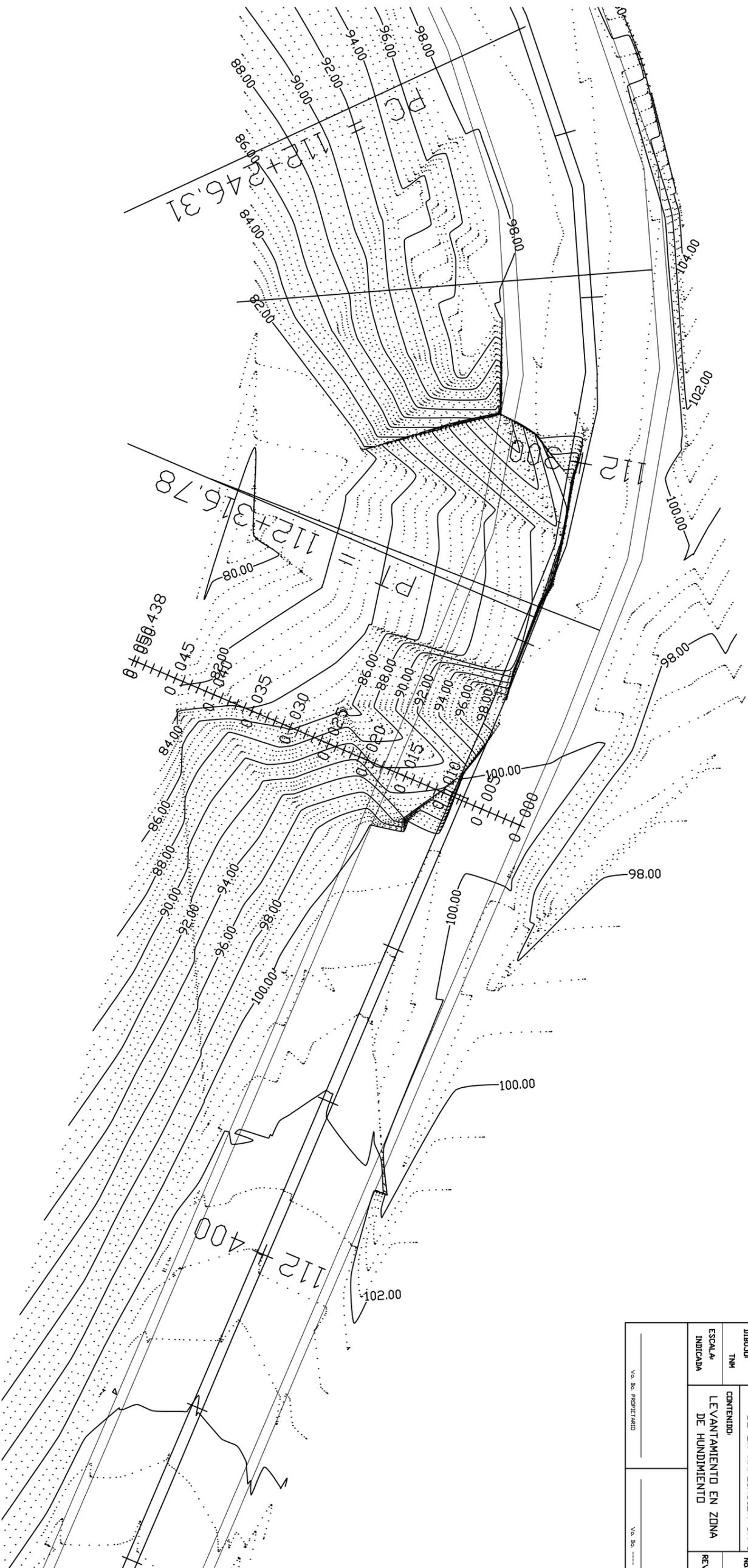
PROPIETARIO		ALDEA CHUPOL	
D:\Backup\Documents and Settings\Aurora\My Documents\Mapas\Mapas\Mapas\Mapas			
DIRECCION	ALDEA CHUPOL 112+280	DEPARTAMENTO	CHICHICASTENANGO
DISEÑO	TMN	PROYECTO	EMERGENCIA AGATHA DE LA AMPLIACION CA-1
DIBUJO	TMN	FECHA	NOV 2000
ESCALA	INDICADA	CONTENIDO	REPLANTEO PISTA ZONA DE HUNDIMIENTO
		REV	2/2

Vs. Bs. PROPIETARIO	Vs. Bs.
---------------------	--------------



PLANTA
LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO
KM. 112+400 Chupol

Escala 1: 500



REVISIONES Y ACTUALIZACIONES			
REV.	FECHA	DESCRIPCION DE LA REVISION	RESPONSABLE
PROPIETARIO: ALDEA CHUPOL			
D:\Backup\Documents and Settings\Aurelio\My Documents\Mapas\Mapas\Mapas			
DIRECCION: ALDEA CHUPOL 112+280		DEPARTAMENTO: CHICHICASTENANGO	
DISEÑO: TMN	PROYECTO: EMERGENCIA AGATHA	FECHA: OCTUBRE 2010	
DIBUJO: TMN	DE LA AMPLIACION CA-1	No. 1/2	
ESCALA INDICADA	CONTENIDO: LEVANTAMIENTO EN ZONA DE HUNDIMIENTO	REV	
V.A. BO. PROPIETARIO		V.A. BO. ...	

Anexo 3. Hojas técnicas de ensayos afectados al relleno, subrasante, subbase y base (Antes de colapso)

		DENSIDAD IN SITU - CONO DE ARENA <small>AASHTO T 191</small>							
TRAMO: <u>Ruta CA-01 Occidente "Tepán - Los Arcuentos"</u>		CANTERA: <u>Relleno de Terracería</u>							
UBICACIÓN: <u>Est. 112+300 - 112+460 Lad.Der</u>		CAPA: <u>No. 1</u>							
FECHA: _____		_____							
ESTACIÓN		112+320	112+360	112+400	112+440				
FECHA DE LA DENSIDAD:		26-ene-08	26-ene-08	26-ene-08	26-ene-08				
No. DE CAPA:		1	1	1	1				
LATERAL		Derecho	Centro	Izquierdo	Derecho				
N°	VARIABLES	U							
1	Peso del Suelo + Recipiente	(lb)	3,43	3,87	3,19	3,61			
2	Peso del Recipiente	(lb)	0,35	0,35	0,35	0,35			
3	Peso del Suelo	(lb)	3,08	3,52	2,84	3,26			
4	Peso de la Arena + Recipiente	(lb)	13,83	13,80	13,78	13,75			
5	Peso de la Arena Restante + Recipiente	(lb)	12,95	12,96	12,91	12,92			
6	Peso de la Arena del Cono	(lb)	0,88	0,84	0,87	0,83			
7	Peso de la Arena + Recipiente	(lb)	12,95	12,96	12,91	12,92			
8	Peso de la Arena Restante + Recipiente	(lb)	9,93	9,73	10,06	9,89			
9	Peso de la Arena Total Empleada	(lb)	3,02	3,23	2,85	3,03			
10	Peso de la Arena Dentro	(lb)	2,14	2,39	1,98	2,20			
11	Densidad de la Arena	(lb/pe ³)	83,70	83,70	83,70	83,70			
12	Volumen del Pazo	(pe ³)	0,02557	0,02855	0,02366	0,02628			
13	Peso Seco Retenido 3/4"	(gr)							
14	Volumen de Retenido 3/4"	(cm ³)							
15	Peso del Suelo - Retenido 3/4"	(gr)							
16	Volumen del Suelo	(cm ³)							
17	Densidad Húmeda	(lb/pe ³)	120,5	123,3	120,0	124,0			
18	Humedad	(%)	18,0	18,2	18,5	18,2			
19	Humedad Optima	(%)	17,6	17,6	17,6	17,6			
20	Densidad Seca	(gr/cm ³)	1,635	1,671	1,622	1,681			
21	Densidad Seca Máxima	(gr/cm ³)	1,733	1,733	1,733	1,733			
22	Grado de Compactación	(%)	94,3	96,4	93,6	97,0			
23	Espesor Capa	(cm)	30,0	30,0	30,0	30,0			
24	Muestra de Proctor de Lab.	(No.)	536	536	536	536			
DETERMINACIÓN DE HUMEDADES									
25	Peso del Suelo Húmedo + Recipiente	(gr)							
26	Peso del Suelo Seco + Recipiente	(gr)							
27	Peso del Agua	(gr)							
28	Peso del Recipiente	(gr)							
29	Humedad	(%)							
OBSERVACIONES: <u>Humedades obtenidas con Speedy.</u>									
<u>Chequeo de Densidades en relleno de Cajuela cap No. 1 de Est. 112+300 - 112+460 Lad.Der carril de ampliación 1/2 sección.</u>									
Mínimo Grado de Compactación Requerido = 90%									
ELABORÓ:			REVISÓ:			APROBÓ:			
Sistema de Gestión de la Calidad ISO 9001 - 2000									
<small>FT-CC-02-08 (04)</small>									

Continuación del anexo 3.

ESTACIÓN		112+640	112+600	112+560	112+520	112+480			
No. DE CAPA:		1	1	1	1	1			
LATERAL		Derecho	Centro	Izquierdo	Derecho	Centro			
Nº	VARIABLES	U							
1	Peso del Suelo + Recipiente	(lb)	3,55	3,68	3,58	3,52	3,62		
2	Peso del Recipiente	(lb)	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35		
3	Peso del Suelo	(lb)	3,20	3,33	3,23	3,17	3,27		
4	Peso de la Arena + Recipiente	(lb)	13,50	13,47	13,45	13,43	13,40		
5	Peso de la Arena Restante + Recipiente	(lb)	12,69	12,67	12,62	12,57	12,60		
6	Peso de la Arena del Cono	(lb)	0,81	0,80	0,83	0,86	0,80		
7	Peso de la Arena + Recipiente	(lb)	12,69	12,67	12,62	12,57	12,60		
8	Peso de la Arena Restante + Recipiente	(lb)	9,45	9,32	9,32	9,32	9,35		
9	Peso de la Arena Total Empleada	(lb)	3,24	3,35	3,30	3,25	3,25		
10	Peso de la Arena Dentro	(lb)	2,43	2,55	2,47	2,39	2,45		
11	Densidad de la Arena	(lb/pie ³)	83,70	83,70	83,70	83,70	83,70		
12	Volumen del Pozo	(pie ³)	0,02903	0,03047	0,02951	0,02855	0,02927		
13	Peso Seco Retenido 3/4"	(gr)							
14	Volumen de Retenido 3/4"	(cm ³)							
15	Peso del Suelo - Retenido 3/4"	(gr)							
16	Volumen del Suelo	(cm ³)							
17	Densidad Húmeda	(lb/pie ³)	110,2	109,3	109,5	111,0	111,7		
18	Humedad	(%)	24,7	25,0	24,4	25,0	24,7		
19	Humedad Óptima	(%)	24,5	24,5	24,5	24,5	24,5		
20	Densidad Seca	(gr/cm ³)	1,416	1,400	1,409	1,423	1,435		
21	Densidad Seca Máxima	(gr/cm ³)	1,495	1,495	1,495	1,495	1,495		
22	Grado de Compactación	(%)	94,7	93,6	94,2	95,2	96,0		
23	Espesor Capa	(cm)	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0		
24	Muestra de Proctor de Lab.	(No.)	472	472	472	472	472		
DETERMINACIÓN DE HUMEDADES									
25	Peso del Suelo Húmedo + Recipiente	(gr)							
26	Peso del Suelo Seco + Recipiente	(gr)							
27	Peso del Agua	(gr)							
28	Peso del Recipiente	(gr)							
29	Humedad	(%)							
OBSERVACIONES: <u>Humedades obtenidas con Speedy.</u>									
<u>On chequeo de Densidades en relleno de Caiuela Cap No. 1 de Est. 112+460 - 112+700 Lad.Der caril de Amp lliación 1/2 sección Completa.</u>									
ELABORÓ: _____ REVISÓ: _____ APR OBÓ: _____									
FT-CC-0208(04)									
Sistema de Gestion de la Calidad ISO 9001 - 2000									

Continuación del anexo 3.

 DENSIDAD IN SITU - CONO DE ARENA <small>AASHTO T 191</small>								
TRAMO: <u>Ruta CA-01 Occidente "Tecpán - Los Encuentros"</u> CANTERA: <u>Rd leno de Terracería</u>								
UBICACIÓN: <u>Est. 112+300 - 112+440 Lad.Der</u> CAPA: <u>No 2</u>								
FECHA: <u>29-ene-08</u>								
ESTACIÓN	112+310	112+350	112+390	112+430				
FECHA DE LA DENSIDAD:	29-ene-08	29-ene-08	29-ene-08	29-ene-08				
No. DE CAPA:	2	2	2	2				
LATERAL	Izquierdo	Derecho	Centro	Izquierdo				
Nº	VARIALES	U						
1	Peso del Suelo + Recipiente	(lb)	3,58	3,67	3,53	3,86		
2	Peso del Recipiente	(lb)	0,35	0,35	0,35	0,35		
3	Peso del Suelo	(lb)	3,23	3,32	3,18	3,51		
4	Peso de la Arena + Recipiente	(lb)	13,45	13,42	13,40	13,39		
5	Peso de la Arena Restante + Recipiente	(lb)	12,63	12,57	12,52	12,59		
6	Peso de la Arena del Cono	(lb)	0,82	0,85	0,88	0,80		
7	Peso de la Arena + Recipiente	(lb)	12,63	12,57	12,52	12,59		
8	Peso de la Arena Restante + Recipiente	(lb)	9,55	9,45	9,39	9,41		
9	Peso de la Arena Total Empleada	(lb)	3,08	3,12	3,13	3,18		
10	Peso de la Arena Dentro	(lb)	2,26	2,27	2,25	2,38		
11	Densidad de la Arena	(lb/ pie ³)	83,80	83,80	83,80	83,80		
12	Volumen del Pozo	(pie ³)	0,02697	0,02709	0,02685	0,02840		
13	Peso Seco Retenido 3/4"	(gr)						
14	Volumen de Retenido 3/4"	(cm ³)						
15	Peso del Suelo - Retenido 3/4"	(gr)						
16	Volumen del Suelo	(cm ³)						
17	Densidad Húmeda	(lb/ pie ³)	119,8	122,6	118,4	123,6		
18	Humedad	(%)	18,2	19,0	18,2	18,8		
19	Humedad Optima	(%)	17,6	17,6	17,6	17,6		
20	Densidad Seca	(gr/cm ³)	1,623	1,649	1,605	1,666		
21	Densidad Seca Máxima	(gr/cm ³)	1,733	1,733	1,733	1,733		
22	Grado de Compactación	(%)	93,7	95,2	92,6	96,1		
23	Espesor Capa	(cm)	30,0	30,0	30,0	30,0		
24	Muestra de Proctor de Lab.	(No.)	536	536	536	536		
DETERMINACIÓN DE HUMEDADES								
25	Peso del Suelo Húmedo + Recipiente	(gr)						
26	Peso del Suelo Seco + Recipiente	(gr)						
27	Peso del Agua	(gr)						
28	Peso del Recipiente	(gr)						
29	Humedad	(%)						
OBSERVACIONES: <u>Humedades obtenidas con Speedy.</u> <u>Se chequeo densidades de relleno en la Est. 112+300 - 112+440 Lad.Der carril de ampliación sección completa.</u> <hr/> Mínimo Grado de Compactación Requerido = 90%								
ELABORÓ:			REVISÓ:			APROBÓ:		
Sistema de Gestión de la Calidad ISO 9001 - 2000								

FT-CC-02-0 8 (04)

Continuación del anexo 3.

 DENSIDAD IN SITU - CONO DE ARENA <small>AASHTO T 191</small>										
TRAMO: <u>Ruta CA-01 Occidente "Tecpán - Los Encuentros"</u> CANTERA: <u>Relleno de Terracería</u>										
UBICACIÓN: <u>Est. 112+300 - 112+460 Lad. Der</u> CAPA: <u>No. 3.6</u>										
FECHA: _____										
ESTACIÓN	112+320	112+360	112+400	112+440	112+320	112+360	112+400	112+440		
FECHA DE LA DENSIDAD	04-feb-08	04-feb-08	04-feb-08	04-feb-08	10-feb-08	10-feb-08	10-feb-08	10-feb-08		
No. DE CAPA:	3	3	3	3	6	6	6	6		
LATERAL	Derecho	Centro	Izquierdo	Derecho	Centro	Izquierdo	Derecho	Centro		
Nº	VARIABLES	U								
1	Peso del Suelo + Recipiente	(lb)	2,92	3,01	3,20	2,95	2,90	2,42	2,13	2,80
2	Peso del Recipiente	(lb)	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
3	Peso del Suelo	(lb)	2,57	2,66	2,85	2,60	2,55	2,07	1,78	2,45
4	Peso de la Arena + Recipiente	(lb)	14,15	14,11	14,08	14,02	12,00	11,95	11,89	11,83
5	Peso de la Arena Restante + Recipiente	(lb)	13,23	13,20	13,15	13,09	11,04	11,00	10,91	10,86
6	Peso de la Arena del Cono	(lb)	0,92	0,91	0,93	0,93	0,96	0,95	0,98	0,97
7	Peso de la Arena + Recipiente	(lb)	13,23	13,20	13,15	13,09	11,04	11,00	10,91	10,86
8	Peso de la Arena Restante + Recipiente	(lb)	10,47	10,38	10,15	10,33	8,21	8,64	8,70	8,17
9	Peso de la Arena Total Empleada	(lb)	2,76	2,82	3,00	2,76	2,83	2,36	2,21	2,69
10	Peso de la Arena Dentro	(lb)	1,84	1,91	2,07	1,83	1,87	1,41	1,23	1,72
11	Densidad de la Arena	(lb/pe ³)	83,80	83,80	83,80	83,80	83,80	83,80	83,80	83,80
12	Volúmen del Pozo	(pie ³)	0,02196	0,02279	0,02470	0,02184	0,02232	0,01683	0,01468	0,02053
13	Peso Seco Retenido 3/4"	(gr)								
14	Volúmen de Retenido 3/4"	(cm ³)								
15	Peso del Suelo - Retenido 3/4"	(gr)								
16	Volúmen del Suelo	(cm ³)								
17	Densidad Húmeda	(lb/pe ³)	117,0	116,7	115,4	119,0	114,2	123,0	121,3	119,3
18	Humedad	(%)	18,5	18,5	18,5	17,9	17,3	16,3	16,6	16,9
19	Humedad Óptima	(%)	17,6	17,6	17,6	17,6	17,6	17,6	17,6	17,6
20	Densidad Seca	(g/cm ³)	1,582	1,577	1,559	1,617	1,560	1,694	1,665	1,635
21	Densidad Seca Máxima	(g/cm ³)	1,733	1,733	1,733	1,733	1,733	1,733	1,733	1,733
22	Grado de Compactación	(%)	91,3	91,0	90,0	93,3	90,0	97,7	96,1	94,3
23	Espesor Capa	(cm)	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
24	Muestra de Prodor de Lab.	(No.)	536	536	536	536	536	536	536	536

DETERMINACIÓN DE HUMEDADES

25	Peso del Suelo Húmedo + Recipiente	(gr)								
26	Peso del Suelo Seco + Recipiente	(gr)								
27	Peso del Agua	(gr)								
28	Peso del Recipiente	(gr)								
29	Humedad	(%)								

OBSERVACIONES: Humedades obtenidas con Speedy.

Chequeo de Densidades en relleno de Cajuela capa No. 3.6 de Est. 112+300 - 112+460 Lad. Der carril de ampliación 1/2 sección.

NOTA: En capa No. 5 no se chequeo porque se esta Chequeando una Capa si votra No por se material Gueso.

Mínimo Grado de Compactación Requerido = 90%

ELABORÓ:	REVISÓ:	APROBÓ:

Sistema de Gestión de la Calidad ISO 9001 - 2000

FT-CC-02-08 (04)

Continuación del anexo 3.

		DENSIDAD IN SITU - CONO DE ARENA <small>AASHTO T 191</small>							
TRAMO: <u>Ruta CA-01 Occidente "Tecpán - Los Encuentros"</u>		CANTERA: <u>Relleno de Terracería</u>							
UBICACIÓN: <u>Est. 112+300 - 112+460 Lad. Der</u>		CAPA: <u>Nº. 4</u>							
FECHA: <u>06-feb-08</u>									
ESTACIÓN		112+320	112+360	112+400	112+440				
FECHA DE LA DENSIDAD:		06-feb-08	06-feb-08	06-feb-08	06-feb-08				
No. DE CAPA:		4	4	4	4				
LATERAL		Derecho	Izquierd	Centro	Derecho				
Nº	VARIABLES	U							
1	Peso del Suelo + Recipiente	(lb)	3,39	3,63	3,43	3,88			
2	Peso del Recipiente	(lb)	0,35	0,35	0,35	0,35			
3	Peso del Suelo	(lb)	3,04	3,28	3,08	3,53			
4	Peso de la Arena + Recipiente	(lb)	13,90	13,80	13,75	13,64			
5	Peso de la Arena Restante + Recipiente	(lb)	12,95	12,90	12,85	12,75			
6	Peso de la Arena del Cono	(lb)	0,95	0,90	0,90	0,89			
7	Peso de la Arena + Recipiente	(lb)	12,95	12,90	12,85	12,75			
8	Peso de la Arena Restante + Recipiente	(lb)	9,80	9,68	9,80	9,51			
9	Peso de la Arena Total Empleada	(lb)	3,15	3,22	3,05	3,24			
10	Peso de la Arena Dentro	(lb)	2,20	2,32	2,15	2,35			
11	Densidad de la Arena	(lb/pe ³)	83,80	83,80	83,80	83,80			
12	Volúmen del Pozo	(pe ³)	0,02625	0,02768	0,02566	0,02804			
13	Peso Seco Retenido 3/4"	(g)							
14	Volúmen de Retenido 3/4"	(cm ³)							
15	Peso del Suelo - Retenido 3/4"	(g)							
16	Volúmen del Suelo	(cm ³)							
17	Densidad Húmeda	(lb/pe ³)	115,8	118,5	120,0	125,9			
18	Humedad	(%)	15,7	16,8	16,3	15,8			
19	Humedad Óptima	(%)	25,2	25,2	25,2	25,2			
20	Densidad Seca	(gr/cm ³)	1,603	1,625	1,653	1,741			
21	Densidad Seca Máxima	(gr/cm ³)	1,733	1,733	1,733	1,733			
22	Grado de Compactación	(%)	92,5	93,8	95,4	100,5			
23	Espesor Capa	(cm)	30,0	30,0	30,0	30,0			
24	Muestra de Proctor de Lab.	(Nº.)	536	536	536	536			
DETERMINACIÓN DE HUMEDADES									
25	Peso del Suelo Húmedo + Recipiente	(g)							
26	Peso del Suelo Seco + Recipiente	(g)							
27	Peso del Agua	(g)							
28	Peso del Recipiente	(g)							
29	Humedad	(%)							
OBSERVACIONES: <u>Humedades obtenidas con Speedy.</u>									
<u>Se chequeo en capas de relleno de un Vaciado en la Est. 112+300 - 112+460 Lad. Der Material de piedra.</u>									
Mínimo Grado de Compactación Requerido = 90%									
ELABORÓ:			REVISÓ:			APROBÓ:			
Sistema de Gestión de la Calidad ISO 9001 - 2000 FT-CC-02-08 (04)									

Continuación del anexo 3.

DENSIDAD IN SITU - CONO DE ARENA AASHTO T 191										
TRAMO:		Ruta CA-01 Occidente "Tecpán - Los Encuentros"				CANTERA: Relleno de Terracería				
UBICACIÓN:		Est. 112+300 - 112+460 L.D				CAPA: No. 8, 10				
FECHA:										
ESTACIÓN		112+320	112+360	112+400	112+440	112+320	112+360	112+400	112+440	
FECHA DE LA DENSIDAD:		13feb-08	13feb-08	13feb-08	13feb-08	18feb-08	18feb-08	18feb-08	18feb-08	
No. DE CAPA:		8	8	8	8	10	10	10	10	
LATERAL		Izquierdo	Centro	Derecho	Izquierdo	Derecho	Centro	Izquierdo	Derecho	
Nº	VARIABLES	U								
1	Peso del Suelo + Recipiente	(lb)	3,17	3,15	3,30	3,65	3,53	3,41	3,12	3,22
2	Peso del Recipiente	(lb)	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
3	Peso del Suelo	(lb)	2,82	2,80	2,95	3,30	3,18	3,06	2,77	2,87
4	Peso de la Aena + Recipiente	(lb)	14,04	14,00	13,95	13,91	13,25	13,19	13,14	13,10
5	Peso de la Aena Restante + Red piente	(lb)	13,12	13,07	13,00	12,96	12,40	12,29	12,26	12,22
6	Peso de la Aena del Cono	(lb)	0,92	0,93	0,95	0,95	0,85	0,90	0,88	0,88
7	Peso de la Aena + Recipiente	(lb)	13,12	13,07	13,00	12,96	12,40	12,29	12,26	12,22
8	Peso de la Aena Restante + Red piente	(lb)	10,15	10,12	10,02	9,77	9,25	9,28	9,46	9,30
9	Peso de la Aena Total Empleada	(lb)	2,97	2,95	2,98	3,19	3,15	3,01	2,80	2,92
10	Peso de la Aena Dentro	(lb)	2,05	2,02	2,03	2,24	2,30	2,11	1,92	2,04
11	Densidad de la Arena	(lb/pe3)	83,80	83,80	83,80	83,80	83,80	83,80	83,80	83,80
12	Vol umen del Pozo	(pe3)	0,02446	0,02411	0,02422	0,02673	0,02745	0,02518	0,02291	0,02434
13	Peso Seco Retenido 3/4"	(g)								
14	Vol umen de Retenido 3/4"	(cm3)								
15	Peso del Suelo - Retenido 3/4"	(g)								
16	Vol umen del Suelo	(cm3)								
17	Densidad Húmeda	(lb/pe3)	115,3	116,1	121,8	123,5	115,8	121,5	120,9	117,9
18	Humedad	(%)	16,8	16,8	16,8	16,8	17,4	18,5	17,9	17,9
19	Humedad Óptima	(%)	17,6	17,6	17,6	17,6	17,6	17,6	17,6	17,6
20	Densidad Seca	(gr/cm3)	1,581	1,592	1,670	1,693	1,580	1,642	1,642	1,602
21	Densidad Seca Máxima	(gr/cm3)	1,733	1,733	1,733	1,733	1,733	1,733	1,733	1,733
22	Grado de Compactación	(%)	91,2	91,9	96,4	97,7	91,2	94,7	94,7	92,4
23	Espesor Capa	(cm)	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
24	Muestra de Prodor de Lab.	(No)	536	536	536	536	536	536	536	536
DETERMINACIÓN DE HUMEDADES										
25	Peso del Suelo Húmedo + Recipiente	(g)								
26	Peso del Suelo Seco + Recipiente	(g)								
27	Peso del Agua	(g)								
28	Peso del Recipiente	(g)								
29	Humedad	(%)								
OBSERVACIONES: <u>Humedades obtenidas con Speedy</u>										
<u>Chequeo de Densidades en relleno de Caiuela Cap. No. 8 de Est. 112+300 - 112+460 Lad. Der. carril de ampliación 1/2 sección</u>										
NOTA: La cap. No. 7,9 no se Chequeo por ser material Guiso										
Mínimo Grado de Compactación Requerido = 90%										
ELABORÓ:			REVISÓ:				APROBÓ:			
FT-CC-02-08 (04)										

Continuación del anexo 3.

ESTACIÓN		112+320	113+360	113+400	113+440	112+320	113+360	113+400	113+440	
FECHA DE LA DENSIDAD:		23-feb-08	23-feb-08	23-feb-08	23-feb-08	26-feb-08	26-feb-08	26-feb-08	26-feb-08	
No. DE CAPA:		12	12	12	12	14	14	14	14	
LATERAL		Derecho	Centro	Izquierdo	Derecho	Centro	Izquierdo	Derecho	Centro	
Nº	VARIABLES	U								
1	Peso del Suelo + Recipiente	(b)	3,46	3,06	3,20	3,40	3,13	3,41	2,93	3,16
2	Peso del Recipiente	(b)	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
3	Peso del Suelo	(b)	3,11	2,71	2,85	3,05	2,78	3,06	2,58	2,81
4	Peso de la Arena + Recipiente	(b)	14,67	14,65	14,60	14,53	13,75	13,70	13,58	13,53
5	Peso de la Arena Restante + Recipiente	(b)	13,79	13,72	13,73	13,71	12,85	12,76	12,65	12,63
6	Peso de la Arena del Cono	(b)	0,88	0,93	0,87	0,82	0,90	0,94	0,93	0,90
7	Peso de la Arena + Recipiente	(b)	13,79	13,72	13,73	13,71	12,85	12,76	12,65	12,63
8	Peso de la Arena Restante + Recipiente	(b)	10,75	11,02	10,86	10,75	9,97	9,75	9,95	9,77
9	Peso de la Arena Total Empleada	(b)	3,04	2,70	2,87	2,96	2,88	3,01	2,70	2,86
10	Peso de la Arena Dentro	(b)	2,16	1,77	2,00	2,14	1,98	2,07	1,77	1,96
11	Densidad de la Arena	(lb/pe3)	83,80	83,80	83,80	83,80	83,80	83,80	83,80	83,80
12	Volúmen del Pozo	(pe3)	0,02578	0,02112	0,02387	0,02554	0,02363	0,02470	0,02112	0,02339
13	Peso Seco Retenido 3/4"	(g)								
14	Volúmen de Retenido 3/4"	(cm3)								
15	Peso del Suelo - Retenido 3/4"	(g)								
16	Volúmen del Suelo	(cm3)								
17	Densidad Húmeda	(lb/pe3)	120,6	128,3	119,4	119,4	117,6	123,9	122,2	120,1
18	Humedad	(%)	17,4	17,9	17,4	17,4	17,4	16,8	19,0	18,5
19	Humedad Óptima	(%)	17,6	17,6	17,6	17,6	17,6	17,6	17,6	17,6
20	Densidad Seca	(gr/cm3)	1,646	1,743	1,629	1,629	1,605	1,699	1,644	1,624
21	Densidad Seca Máxima	(gr/cm3)	1,733	1,733	1,733	1,733	1,733	1,733	1,733	1,733
22	Grado de Compactación	(%)	95,0	100,6	94,0	94,0	92,6	98,0	94,9	93,7
23	Espesor Capa	(cm)	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
24	Muestra de Prodor de Lab	(No.)	536	536	536	536	536	536	536	536

DETERMINACIÓN DE HUMEDADES

25	Peso del Suelo Húmedo + Recipiente	(g)								
26	Peso del Suelo Seco + Recipiente	(g)								
27	Peso del Agua	(g)								
28	Peso del Recipiente	(g)								
29	Humedad	(%)								

OBSERVACIONES: Humedades obtenidas con Speedy.

Chequeo de Densidades en capa de relleno de cajuela capas No. 12, 14 de Est. 112+300 - 112+460

Nota: las Capas No. 11, 13 no se chequearán por ser el material grueso.

Mínimo Grado de Compactación Requerido = 90%

ELABORÓ:	REVISÓ:	APROBÓ:
----------	---------	---------

Sistema de Gestión de la Calidad ISO 9001 - 2000

FTCC-02-08 (04)

Continuación del anexo 3.

ESTACIÓN		112+320	112+360	112+400	112+440				
FECHA DE LA DENSIDAD:		04-mar-08	04-mar-08	04-mar-08	04-mar-08				
No. DE CAPA:		18	18	18	18				
LATERAL		Derecho	Centro	Izquierdo	Derecho				
N°	VARIABLES	U							
1	Peso del Suelo + Recipiente	(lb)	2,85	3,64	3,43	3,35			
2	Peso del Recipiente	(lb)	0,35	0,35	0,35	0,35			
3	Peso del Suelo	(lb)	2,50	3,29	3,08	3,00			
4	Peso de la Arena + Recipiente	(lb)	14,70	14,67	14,64	14,58			
5	Peso de la Arena Restante + Recipiente	(lb)	13,78	13,78	13,74	13,62			
6	Peso de la Arena del Cono	(lb)	0,92	0,89	0,90	0,96			
7	Peso de la Arena + Recipiente	(lb)	13,78	13,78	13,74	13,62			
8	Peso de la Arena Restante + Recipiente	(lb)	11,20	10,72	10,74	10,62			
9	Peso de la Arena Total Empleada	(lb)	2,58	3,06	3,00	3,00			
10	Peso de la Arena Dentro	(lb)	1,66	2,17	2,10	2,04			
11	Densidad de la Arena	(lb/pe.3)	83,80	83,80	83,80	83,80			
12	Volumen del Pozo	(pie3)	0,01981	0,02589	0,02506	0,02434			
13	Peso Seco Retenido 3/4"	(gr)							
14	Volumen de Retenido 3/4"	(cm3)							
15	Peso del Suelo - Retenido 3/4"	(gr)							
16	Volumen del Suelo	(cm3)							
17	Densidad Húmeda	(lb/pe.3)	126,2	127,1	122,9	123,3			
18	Humedad	(%)	16,3	16,8	16,8	16,3			
19	Humedad Óptima	(%)	17,6	17,6	17,6	17,6			
20	Densidad Seca	(gr/cm3)	1,738	1,742	1,685	1,697			
21	Densidad Seca Máxima	(gr/cm3)	1,733	1,733	1,733	1,733			
22	Grado de Compactación	(%)	100,3	100,5	97,2	97,9			
23	Espesor Capa	(cm)	30,0	30,0	30,0	30,0			
24	Muestra de Proctor de Lab.	(No.)	536	536	536	536			

DETERMINACIÓN DE HUMEDADES

25	Peso del Suelo Húmedo + Recipiente	(gr)							
26	Peso del Suelo Seco + Recipiente	(gr)							
27	Peso del Agua	(gr)							
28	Peso del Recipiente	(gr)							
29	Humedad	(%)							

OBSERVACIONES: Humedades obtenidas con Speedy.

Chequeo de Densidades en relleno de cajuela capa No. 18 de Est. 112+300 - 112+460 Lad. Der carril de ampliación 1/2 sección.

Nota: Cap No. 17 no se chequeo

Mínimo Grado de Compactación Requerido = 90%

ELABORÓ:	REVISÓ:	APROBÓ:

FT-CC-02-08(04)

Sistema de Gestión de la Calidad ISO 9001 - 2000

Continuación del anexo 3.

DENSIDAD IN SITU CON DENSÍMETRO NUCLEAR											
AASHTO T 310											
TRAMO:	Ruta C.A.01 Occidente - Tacón - Los Encuentros		CANTERA:		Capa de Relleno de Terracería						
UBICACIÓN:	Est. 112+300 - 112+460 Lad. Der.		CAPA:		No. 20						
FECHA DE INFORME:	11-mar-08										
FECHA DE ELABORACIÓN DE CAPA:	11-mar-08	11-mar-08	11-mar-08	11-mar-08	11-mar-08	11-mar-08	11-mar-08	11-mar-08	11-mar-08	11-mar-08	
ESTACIÓN:	112+320	112+360	112+400	112+440	112+480	112+520	112+560	112+600	112+640	112+680	
No. DE CAPA:	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	
LATERAL:	Derecho		Centro		Izquierdo						
N°	VARIABLES		U								
1	Peso Unitario Humedo		(gr/cm ³)		1,8832	1,9067	1,8918	1,9287			
2	Humedad de Campo		(%)		17,10	16,80	17,00	17,40			
3	Densidad Seca		(gr/cm ³)		1,608	1,632	1,617	1,643			
4	Densidad Seca Máxima		(gr/cm ³)		1,733	1,733	1,733	1,733			
5	Humedad Óptima		(%)		17,60	17,60	17,60	17,60			
6	Grado de Compactación		(%)		92,80	94,20	93,30	94,80			
7	Penetración de Densidad		(mm)		125,0	125,0	125,0	125,0			
8	Espesor de Capa		(cm)		20,0	20,0	20,0	20,0			
9	No. De Muestra Proctor		(#)		536	536	536	536			
OBSERVACIONES:											
Se chequeo capa de relleno No. 20 de la Est. 112+300 - 112+460 Lad. Der.											
Minimo Grado de Compactación Requerido = 90%											
LABORÓ:											
REVISÓ:											
APROBÓ:											
Sistema de Gestión de la Calidad ISO 9001 - 2000											

Continuación del anexo 3.

DENSIDAD IN SITU CON DENSIÓMETRO NUCLEAR												
AASHITO T 310												
Ruta CA-01 Occidente "Tección - Los Encuentros"												
CANTE RA: Tramo de Cap de Sub- rasante												
UBICACIÓN: Est. 112+300 - 112+470 Lad.Der												
CAPA: Sub- rasante												
FECHA DE INFORME: 03-abr-08												
FECHA DE ELABORACIÓN DE CAPA:												
ESTACIÓN:												
No. DE CAPA:												
LATERAL:												
Derecho Centro Izquierdo Derecho Centro												
N°	VARIABLES	U	Derecho		Centro		Izquierdo		Derecho		Centro	
1	Peso Unitario Humedo	(gr/cm3)	1,8738	1,8896	1,8768	1,9411	1,9002	1,8768	1,9411	1,9002	1,9002	1,9002
2	Humedad de Campo	(%)	17,90	18,30	17,50	20,70	18,20	17,50	20,70	18,20	18,20	18,20
3	Densidad Secca	(gr/cm3)	1,59	1,60	1,60	1,61	1,61	1,60	1,61	1,61	1,61	1,61
4	Densidad Secca Máxima	(gr/cm3)	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64
5	Humedad Optima	(%)	19,90	19,90	19,90	19,90	19,90	19,90	19,90	19,90	19,90	19,90
6	Grado de Compactación	(%)	97,15	97,63	97,63	98,30	98,26	97,63	98,30	98,30	98,26	98,26
7	Penetración de Densidad	(mm)	125,00	125,00	125,00	125,00	125,00	125,00	125,00	125,00	125,00	125,00
8	Espesor de Capa	(cm)	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0
9	No. De Muestra P roctor	(#)	652	652	652	652	652	652	652	652	652	652
OBSERVACIONES:												
Se chequeo tramo de Sub- rasante de la Est. 112+300 - 112+470 media sección camil de ampliación Lad.Der.												
Mínimo Grado de Compactación Requerido = 95%												
ELABORÓ: [REVISÓ: [APROBÓ:]]												
Sistema de Gestión de la Calidad ISO 9001 - 2000												

Continuación anexo 3.

		MEDICIÓN DE DEFLEXIONES CON VIGA BENKELMAN			
		AASHTO T256			
TRAMO: <u>Ruta CA-01W "Tecpán - Los Encuentros"</u>		CAPA: <u>Capa de Sub-rasante</u>			
LECTURAS EN PULGADAS					
TRAMO	FECHA	ESTACIÓN	LADO DER.	LADO CEN.	LADO IZQ.
Est. 112+480 - 112+640 L.D.	07-ene-08	112+500	0,035		
	07-ene-08	112+540		0,035	
	07-ene-08	112+580			0,040
	07-ene-08	112+620	0,030		
LECTURAS EN MILÍMETROS					
TRAMO	FECHA	ESTACIÓN	LADO DER.	LADO CEN.	LADO IZQ.
Est. 112+480 - 112+640 L.D.	07-ere-08	112+500	0,889		
	07-ere-08	112+540		0,889	
	07-ere-08	112+580			1,016
	07-ere-08	112+620	0,762		
OBSERVACIONES:					
<u>Se chequeo Viga de Benkelman en capa de Sub-rasante en la Est. 112+480 - 112+640 Lad. Der.</u>					
*Maximo Permitido: 3.0 mm					
TRAMO: <u>Ruta CA-01W "Tecpán - Los Encuentros"</u>		CAPA: <u>Capa de Sub-rasante</u>			
LECTURAS EN PULGADAS					
TRAMO	FECHA	ESTACIÓN	LADO DER.	LADO CEN.	LADO IZQ.
Est. 112+300 - 112+460 L.D.	03-abr-08	112+300	0,028		
	03-abr-08	112+340		0,025	
	03-abr-08	112+380			0,033
	03-abr-08	112+420	0,036		
	03-abr-08	112+460		0,030	
LECTURAS EN MILÍMETROS					
TRAMO	FECHA	ESTACIÓN	LADO DER.	LADO CEN.	LADO IZQ.
Est. 112+300 - 112+460 L.D.	03-abr-08	112+300	0,711		
	03-abr-08	112+340		0,635	
	03-abr-08	112+380			0,838
	03-abr-08	112+420	0,914		
	03-abr-08	112+460		0,762	
OBSERVACIONES:					
<u>Chequeo de Viga Benkelman en capa de Sub-rasante de la Est. 112+300 - 112+460 L.D.</u>					
*Maximo Permitido: 3.0 mm					
ELABORÓ:		REVISÓ:		APROBÓ:	
Sistema de Gestión de la Calidad ISO 9001 - 2000					

Continuación anexo 3.

ESTACIÓN:		112+500	112+540	112+580	112+620				
No. DE CAPA:		Sub- rasante	Sub- rasante	Sub- rasante	Sub- rasante				
LATERAL:		De ñecho	Centro	Izquierdo	Derecho				
Nº	VARIABLES	U							
1	Peso del Suelo + Recipiente	(lb)	3,69	3,34	3,49	3,57			
2	Peso del Recipiente	(lb)	0,35	0,35	0,35	0,35			
3	Peso del Suelo	(lb)	3,34	2,99	3,14	3,22			
4	Peso de la Arena + Recipiente	(lb)	13,33	13,31	13,30	13,28			
5	Peso de la Arena Restante + Recipiente	(lb)	12,53	12,46	12,44	12,46			
6	Peso de la Arena del Cono	(lb)	0,80	0,85	0,86	0,82			
7	Peso de la Arena + Recipiente	(lb)	12,53	12,46	12,44	12,46			
8	Peso de la Arena Restante + Recipiente	(lb)	9,29	9,45	9,26	9,28			
9	Peso de la Arena Total Empleada	(lb)	3,24	3,01	3,18	3,18			
10	Peso de la Arena Dentro	(lb)	2,44	2,16	2,32	2,36			
11	Densidad de la Arena	(lb/pe3)	83,70	83,70	83,70	83,70			
12	Volumen del Pozo	(pie3)	0,02915	0,02581	0,02772	0,02820			
13	Peso Seco Retenido 3/4"	(gr)							
14	Volumen de Retenido 3/4"	(cm3)							
15	Peso del Suelo - Retenido 3/4"	(gr)							
16	Volumen del Suelo	(cm3)							
17	Densidad Húmeda	(lb/pe3)	114,6	115,8	113,3	114,2			
18	Humedad	(%)	22,0	22,5	20,8	21,3			
19	Humedad Óptima	(%)	21,1	21,1	21,1	21,1			
20	Densidad Seca	(gr/cm3)	1,504	1,515	1,502	1,508			
21	Densidad Seca Máxima	(gr/cm3)	1,554	1,554	1,554	1,554			
22	Grado de Compactación	(%)	96,8	97,5	96,7	97,0			
23	Espesor Capa	(cm)	30,0	30,0	30,0	30,0			
24	No. Muestra de Proctor de Lab.	(#)	494	494	494	494			

DETERMINACIÓN DE HUMEDADES

25	Peso del Suelo Húmedo + Recipiente	(gr)							
26	Peso del Suelo Seco + Recipiente	(gr)							
27	Peso del Agua	(gr)							
28	Peso del Recipiente	(gr)							
29	Humedad	(%)							

OBSERVACIONES: Humedades obtenidas con Speedy.
 Chequeo de Densidades en capa de Sub- rasante de Est. 112+480 - 112+640 Lad. Der. carril de ampliación 1/2 sección

ELABORÓ:	REVISÓ:	APROBÓ:

Sistema de Gestión de la Calidad ISO 9001 - 2000

Continuación del anexo 3.

 DENSIDAD IN SITU CON DENSIMETRO NUCLEAR <small>AAASHITO - T-310</small>									
TRAMO:		Ruta CA-01 Occidente "Tecpán - Los Encuentros"		CANTERA:		Tramo Chequeado		Capa de Sub-Base	
UBICACIÓN:		Est. 112+540 - 112+790 Lad. Der.		CAPA:		Sub-Base			
FECHA DE INFORME:		06-abr-08							
FECHA DE ELABORACIÓN DE CAPA:		06-abr-08		06-abr-08		06-abr-08		06-abr-08	
ESTACION:		112+560		112+600		112+680		112+720	
No. DE CAPA:		Sub-Base		Sub-Base		Sub-Base		Sub-Base	
LATERAL:		Derecho		Izquierdo		Derecho		Izquierdo	
Nº	VARIABLES		U						
1	Peso Unitario Humedo	gr/cm3	1,8507	1,8615	1,8618	1,8548	1,8631	1,8605	
2	Humedad de Campo	(%)	15,50	16,20	15,50	15,30	16,80	15,60	
3	Densidad Seca	gr/cm3	1,602	1,602	1,612	1,609	1,595	1,609	
4	Densidad Seca Máxima	gr/cm3	1,639	1,639	1,639	1,639	1,639	1,639	
5	Humedad Óptima	(%)	17,10	17,10	17,10	17,10	17,10	17,10	
6	Grado de Compacción	(%)	97,76	97,74	98,35	98,15	97,32	98,20	
7	Penetración de Densidad	(mm)	125,0	125,0	125,0	125,0	125,0	125,0	
8	Espesor de Capa	(cm)	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	
9	Nb. De Muestra Proctor	(#)	662	662	662	662	662	662	
OBSERVACIONES:									
Se chequeo tramo de Sub-Base de la Est. 112+540 - 112+790 Lad. Der 1/2 sección carril de ampatación.									
Mínimo Grado de Compacción Requerido = 97%									
ELABORÓ:				REVISÓ:				APROBÓ:	
Sistema de Gestión de la Calidad ISO 9001 - 2000									

Continuación del anexo 3.

DENSIDAD IN SITU CON DENSIMETRO NUCLEAR									
AAASHTO T310									
TRAMO:	Ruta CA-01 Occidente "Tecpán-Los Encuentros"		CANTEIRA:		Tramo Chequeado. Capa de Sub-Base				
UBICACIÓN:	Est. 112+310 - 112+540 Lad. Der.		CAPA:		Sub-Base				
FECHA DE INFORME:	05-abr-08								
FECHA DE ELABORACIÓN DE CAPA:	05-abr-08	05-abr-08	05-abr-08	05-abr-08	05-abr-08	05-abr-08	05-abr-08	05-abr-08	05-abr-08
ESTACION	112+320	112+360	112+400	112+440	112+480	112+520			
No. DE CAPA:	Sub-Base	Sub-Base	Sub-Base	Sub-Base	Sub-Base	Sub-Base			
LATERAL:	Derecho	Centro	Izquierdo	Derecho	Centro	Izquierdo			
Nº	VARIABLES	U							
1	Peso Unitario Humedo	(gr/cm³)	1,8522	1,8662	1,8642	1,8541	1,8698	1,8761	
2	Humedad de Campo	(%)	14,90	16,40	15,00	16,50	17,00	16,80	
3	Densidad Seca	(gr/cm³)	1,612	1,602	1,621	1,592	1,598	1,606	
4	Densidad Seca Máxima	(gr/cm³)	1,639	1,639	1,639	1,639	1,639	1,639	
5	Humedad Optima	(%)	17,10	17,10	17,10	17,10	17,10	17,10	
6	Grado de Compactación	(%)	98,35	97,77	98,90	97,10	97,51	98,00	
7	Penetración de Densidad	(mm)	125,0	125,0	125,0	125,0	125,0	125,0	
8	Espesor de Capa	(cm)	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	
9	No. De Muestra Proctor	(#)	662	662	662	662	662	662	
OBSERVACIONES:									
Se chequeo tramo de Sub-Base de la Est. 112+300 - 112+540 Lad. Der. camil de ampliación Media Sección									
Mínimo Grado de Compactación Requerido = 97%									
ELABORÓ:			REVISÓ:			APROBÓ:			
Sistema de Gestión de la Calidad ISO 9001 - 2000									

Continuación del anexo 3.

		MEDICIÓN DE DEFLEXIONES CON VIGA BENKELMAN <small>AASHTO T 256</small>			
TRAMO: <u>Ruta CA-01W "Tecpán - Los Encuentros"</u>		CAPA: <u>Capa de Sub-Base</u>			
LECTURAS EN PULGADAS					
TRAMO	FECHA	ESTACIÓN	LADO DER.	LADO CEN.	LADO IZQ.
Est. 112+540 - 112+790	06-abr-08	112+560	0,04		
	06-abr-08	112+600		0,038	
	06-abr-08	112+640			0,039
	06-abr-08	112+680	0,029		
	06-abr-08	112+720		0,033	
	06-abr-08	112+760			0,040
LECTURAS EN MILIMETROS					
TRAMO	FECHA	ESTACIÓN	LADO DER.	LADO CEN.	LADO IZQ.
Est. 112+540 - 112+790	06-abr-08	112+ 560	1,016		
	06-abr-08	112+ 600		0,965	
	06-abr-08	112+ 640			0,991
	06-abr-08	112+ 680	0,737		
	06-abr-08	112+ 720		0,838	
	06-abr-08	112+ 760			1,016
OBSERVACIONES: Se chequeo tramo de Sub-Base de la Est. 112+540 - 112+790 Lad. Der 1/2 sección carril de ampliación.					
* Máximo Permitido: 2 mm.					
TRAMO: <u>Ruta CA-01W "Tecpán - Los Encuentros"</u>		CAPA: <u>Capa de Sub-Base</u>			
LECTURAS EN PULGADAS					
TRAMO	FECHA	ESTACIÓN	LADO DER.	LADO CEN.	LADO IZQ.
Est. 112+320 - 112+590.L.I	01-abr-08	112+320	0,035		
	01-abr-08	112+360		0,035	
	01-abr-08	112+400			0,040
	01-abr-08	112+440	0,030		
	01-abr-08	112+480		0,038	
	01-abr-08	112+520			0,063
	01-abr-08	112+560	0,064		
LECTURAS EN MILIMETROS					
TRAMO	FECHA	ESTACIÓN	LADO DER.	LADO CEN.	LADO IZQ.
Est. 112+320 - 112+590.L.I	01-abr-08	112+ 320	0,889		
	01-abr-08	112+ 360		0,889	
	01-abr-08	112+ 400			1,016
	01-abr-08	112+ 440	0,762		
	01-abr-08	112+ 480		0,965	
	01-abr-08	112+ 520			1,600
	01-abr-08	112+ 560	1,626		
OBSERVACIONES: Se chequeo tramo de Sub-Base de la Est. 112+320 - 112+590 Lad. Izq. Media sección carril de ampliación.					
* Máximo Permitido: 2 mm.					
ELABORÓ: _____		REVISÓ: _____		APROBÓ: _____	
Sistema de Gestión de la Calidad ISO 9001 - 2000					

Continuación del anexo 3.

 Diseño de Mezcla de Capa de Base Estabilizada con Cemento					
Proyecto: <u> </u> Diseño y Construcción de la Ampliación a 4 Carriles de la Ruta CA-01 Occidente Sub-tramo: "Chimaltenango - Tecpán" Fecha: <u> </u>					
No.	Descripción	Norma	Resultado Obtenido	Límite Especificado	Especificación
1	Densidad Seca Máxima	AASHTO T-134	1.775 g/cm ³	-----	-----
2	Humedad Óptima	AASHTO T-134	16.50%	-----	-----
3	Granulometría	AASHTO T-11 y T-27	Ver Gráfico Adjunto	-----	Libro Azul 2001 307.03 (b) (5)
3	Límite Líquido	AASHTO T-89	NO	30 máx	Diseño del Pavimento Rígido - Opción con Capas Estabilizadas con Cemento
4	Índice de Plasticidad	AASHTO T-90	NO	6 máx	Diseño del Pavimento Rígido - Opción con Capas Estabilizadas con Cemento
5	Equivalente de Arena	AASHTO T-176	51.3	25 mín	Diseño del Pavimento Rígido - Opción con Capas Estabilizadas con Cemento
6	Partículas Planas y Alargadas		0.2%	20% máx	Libro Azul 2001 307.03 (b) (3)
7	Peso Unitario Suelto	AASHTO T-19	1,396 Kg/m ³	1,280 Kg/m ³ mín	Libro Azul 2001 307.03 (b) (7)
8	Peso Unitario Varillado	AASHTO T-19	1,465 Kg/m ³	-----	-----
9	Abrasión en Máquina de Los Angeles	AASHTO T-96	36.20%	50% máx	Libro Azul 2001 307.03 (b) (1)
10	Resistencia a la Compresión Simple	ASTM D 1632	36 Kg/cm ²	21 Kg/cm ² mín	Diseño del Pavimento Rígido - Opción con Capas Estabilizadas con Cemento

Continuación del anexo 3.

		Proctor - Relacion Densidad Humedad AASHTO T 99 - AASHTO T 180						
TRAMO: <u>Ruta CA-01 Occidente Tramo: "Tecpán - Los Encuentros Reparación por Tormenta Agatha"</u>		MUESTRA N°: _____						
CANTERA: <u>Muestra tomada en Tramo.</u>		ESTACION: _____						
TIPO DE MATERIAL Y USO: <u>Base Estabilizada con cemento</u>		FECHA: _____						

1	Punto	Nº	1	2	3	4	5	6
2	Peso del Molde	(gf)	4 193,00	4 193,00	4 193,00	4 193,00		
3	Peso del Molde + Sh	(gf)	6 005,00	6 005,00	6 149,00	6 123,00		
4	Volumen del Molde	(cm ³)	946,00	946,00	946,00	946,00		
5	Densidad Húmeda	(gr/cm ³)	1,9154	1,9789	2,0677	2,0402		
6	Cápsula	Nº						
7	Peso de la Cápsula	(gf)						
8	Cápsula + Sh	(gf)						
9	Capsula + Ss	(gf)						
10	Humedad	(%)	13,4	15,1	16,5	18,5		
11	Densidad Seca	(gr/cm ³)	1,689	1,719	1,775	1,722		

Densidad Seca Máxima

The graph plots Dry Density (gr/cm³) on the y-axis (ranging from 1.68 to 1.78) against Moisture (%) on the x-axis (ranging from 13.0 to 19.0). A blue curve shows the relationship, peaking at approximately 16.5% moisture and 1.775 gr/cm³ dry density. A vertical orange line marks the peak, and a horizontal orange line indicates the maximum dry density value.

DENSIDAD SECA MÁXIMA: 1,775 gr/cm³
HUMEDAD ÓPTIMA: 16,5 %

OBSERVACIONES: _____

ELABORÓ:	REVISÓ:	APROBÓ:

FT-CC-02-06 (04)

Sistema de Gestión de la Calidad ISO 9001 - 2000

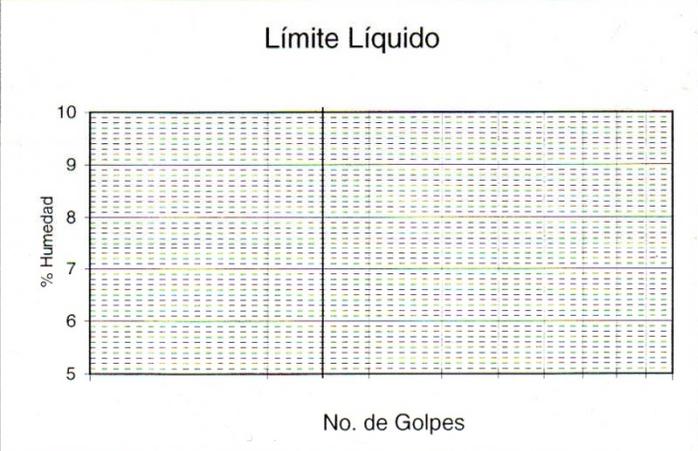
Continuación del anexo 3.

	LIMITES DE ATTERBERG	
AASHTO T 89 y AASHTO T 90		
TRAMO <u>Ruta CA-1 Occidente Tramo: "Chimaltenango - Tecpán"</u>		MUESTRA N°
CANTERA: <u>Material tomada en tramo Afinamiento</u>		ESTACION:
TIPO DE MATERIAL Y USO <u>Para Base Estabilizada, con 3.2% Cemento.</u>		FECHA:

LÍMITE LÍQUIDO

Capsula	N°	1	2	3			
Peso del Capsula	(gr)						
Capsula + Suelo Húmedo	(gr)	Límite No Líquido					
Capsula + Suelo Seco	(gr)						
Humedad	(%)						
Número de Golpes	N°						

Límite Líquido



LÍMITE LÍQUIDO: NO

LÍMITE PLÁSTICO: NO

ÍNDICE PLÁSTICO: NO

LÍMITE PLÁSTICO

Capsula	N°	4	5				
Peso del Capsula	(gr)						
Capsula + Suelo Húmedo	(gr)	Límite No Plástico					
Capsula + Suelo Seco	(gr)						
Humedad	(%)						

OBSERVACIONES: Humedades tomadas en Horno.

Límite de Base Estabilizada con 3.2% de Cemento C.F.B secado rápido muestra tomada en tramo de afinamiento carril existente perfilado sección completa.

No Límite Líquido No Límite Plástico.

ELABORÓ:	REVISÓ:	AUTORIZÓ:

FT-CC-02-05 (04)

Sistema de Gestión de la Calidad ISO 9001 - 2000

Continuación del anexo 3.

	<h2 style="margin: 0;">EQUIVALENTE DE ARENA</h2> <p style="margin: 0;">AASHTO T 176</p>		
TRAMO: <u>Ruta CA-01 Occidente "Tecpán - Los Encuentros Agatha"</u> CANTERA: _____ FECHA: _____ MATERIAL: <u>Base estabilizada</u> ESTACION: _____ MUESTRA Nº: _____			
FRACCIÓN Nº	1	2	3
HORA DE INICIO DE INMERSIÓN	11:08:34	11:11:24	
HORA DE SALIDA DE INMERSIÓN	11:18:34	11:21:24	
HORA DE INICIO POST-AGITACIÓN	11:20:48	11:23:42	
HORA DE SALIDA POST-AGITACIÓN	11:40:48	11:43:42	
NIVEL SUPERIOR DE SUSPENSIÓN DE FINOS	5,7	6,2	
NIVEL SUPERIOR DE ARENA	3,0	3,1	
EQUIVALENTE DE ARENA	52,6	50,0	
EQUIVALENTE DE ARENA PROMEDIO	51,3		
OBSERVACIONES: <u>Equivalente de arena; Base Estabilizada con 3.2% de Cemento de 1 1/2"</u> <u>Banco de piedra Las Trampas a 6 kms cruce a Godínez</u> _____ _____ _____ _____ _____			
ELABORÓ:	REVISÓ:	APROBÓ:	
FT-C-C-02-12 (04)			
Sistema de Gestion de la Calidad ISO 9001 - 2000			

Continuación del anexo 3.

	DENSIDAD BULK (PESO VOLUMÉTRICO)				
AASHTO T 19					
TRAMO:	Ruta CA-01W "Chimaltenango - Tecpán"	FECHA:			
CANTERA:	Tramo de Afinamiento	MATERIAL:	Para Base Estabilizada con cemento		
ESTACION:		MUESTRA N°:			
MEZCLA No. 1					
PESO VOLUMETRICO SUELTO					
	MUESTRAS	N° 1	N° 2	N° 3	PROMEDIO
A	PESO DEL MATERIAL + TARA EN grs.	6,507	6,493	6,469	/
B	PESO TARA EN grs.	2,500	2,500	2,500	/
C	PESO DEL MATERIAL EN grs.	4,007	3,993	3,969	/
D	VOLUMEN DEL RECIPIENTE	2,859	2,859	2,859	/
E	PESO VOLUMETRICO EN kg/m3	1,402	1,397	1,388	1,396
PESO VOLUMETRICO SUELTO VARILLADO					
	MUESTRAS	N° 1	N° 2	N° 3	PROMEDIO
A	PESO DEL MATERIAL + TARA EN grs.	6,651	6,737	6,679	/
B	PESO TARA EN grs.	2,500	2,500	2,500	/
C	PESO DEL MATERIAL EN grs.	4,151	4,237	4,179	/
D	VOLUMEN DEL RECIPIENTE	2,859	2,859	2,859	/
E	PESO VOLUMETRICO EN kgs/m3	1,452	1,482	1,462	1,465
MEZCLA No. 2					
PESO VOLUMETRICO SUELTO					
	MUESTRAS	N° 1	N° 2	N° 3	PROMEDIO
A	PESO DEL MATERIAL + TARA EN grs.				
B	PESO TARA EN grs.				
C	PESO DEL MATERIAL EN grs.				
D	VOLUMEN DEL RECIPIENTE				
E	PESO VOLUMETRICO EN kg/m3				
PESO VOLUMETRICO SUELTO VARILLADO					
	MUESTRAS	N° 1	N° 2	N° 3	PROMEDIO
A	PESO DEL MATERIAL + TARA EN grs.				
B	PESO TARA EN grs.				
C	PESO DEL MATERIAL EN grs.				
D	VOLUMEN DEL RECIPIENTE				
E	PESO VOLUMETRICO EN kg/m3				
OBSERVACIONES: <u>Peso Unitario de Base Estabilizada con 3.2% cemento muestra tomada en tramo</u>					
ELABORÓ:		REVISÓ:		AUTORIZÓ:	
FT-CC-02-11 (04)					
Sistema de Gestion de la Calidad ISO 9001 - 2000					

Continuación del anexo 3.

MALLA		PESO DE LOS TAMAÑOS INDICADOS (gr)						
Pasa	Retenido	GRADO "A" (12)	GRADO "B" (11)	GRADO "C" (8)	GRADO "D" (6)	GRADO "E" (12)	GRADO "F" (12)	GRADO "G" (12)
3"	2 1/2"					2500 +/- 50		
2 1/2"	2"					2500 +/- 50		
2"	1 1/2"					5000 +/- 50	5000 +/- 50	
1 1/2"	1"	1250 +/- 25					5000 +/- 25	5000 +/- 25
1"	3/4"	1250 +/- 25						5000 +/- 25
3/4"	1/2"	1250 +/- 25	2500 +/- 10					
1/2"	3/8"	1250 +/- 25	2500 +/- 10					
3/8"	N° 4			2500 +/- 10				
N° 4	N° 3			2500 +/- 10				
N° 3	N° 8				5000 +/- 10			
TOTALES		5000 +/- 10	5000 +/- 10	5000 +/- 10	5000 +/- 10	10000 +/- 100	10000 +/- 75	10000 +/- 50
Peso del Material Retenido en el Tamiz N° 12		3192						
Peso del Material Pasante el Tamiz N° 12		1808						
DESGASTE (%)		36.16%						

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL AGREGADO GRUESO:

OBSERVACIONES:
 Abrasión Tipo "A" de Base Estabilizada con 3.2% de cemento C.F.B secado rápido
 muestra tomada en tramo de afinamiento carril de ampliación S/C

ELABORÓ:	REVISÓ:	APROBÓ:
----------	---------	---------

FT-CC-02-13 (04)

Sistema de Gestión de la Calidad ISO 9001 - 2000

Continuación del anexo 3.

DENSIDAD IN SITU CON DENSÍMETRO NUCLEAR									
AAASHTO T-310									
TRAMO:	Ruta CA-01 Occidente "Teopán - Los Encuentros"			CA INTERA:			Tramo Chequeado. Base Estabilizada con Cemento.		
UBICACIÓN:	Est. 112+160 - 112+410 Lad. Der.			CA PA:			Base Estabilizada con 3.2% de Cemento		
FECHA DE INFORME:	13-ene-09								
FECHA DE ELABORACIÓN DE CAPA									
ESTACION									
No. DE CAPA:									
LATERAL:									
VARIABLES									
N°	U								
1	Peso Unitario Humedo (gr/cm3)	2,0204	2,0386	13-ene-09	13-ene-09	13-ene-09	13-ene-09	13-ene-09	1,9962
2	Humedad de Campo (%)	17,30	19,30	122+660	122+700	122+740	122+780	122+820	17,70
3	Densidad Seca (gr/cm3)	1,722	1,709	Base Est.	Base Est.	Base Est.	Base Est.	Base Est.	1,696
4	Densidad Referenciada mediante Proctor Modificado (gr/cm3)	1,702	1,702	Derecho	Centro	Izquierdo	Derecho	Centro	1,702
5	Humedad Optima (%)	18,50	18,50						1,702
6	Grado de Compacción (%)	101,2	100,4						18,50
7	Penetración de Densidad (mm)	125	125						100,0
8	Espesor de Capa (cm)	20,0	20,0						125
9	No. De Muestra Proctor (#)	20,0	20,0						20,0
Chequeo con Punto de campo									
OBSERVACIONES:									
Se chequeo Tramo de Base Estabilizada con cemento de la Est. 112+160 - 112+410 Lad. Der.									
Nota: Densidades tomadas con referencia mediante Proctor Modificado (chequeo conjunto de campo).									
Mínimo Grado de Compacción Requerido = 98%									
ELABORÓ: Fernando Rodríguez (conseja)									
REVISÓ: T. N. M. (Supervisora)									
APROBÓ: Ing. Fernando Aljatz (conseja)									
Sistema de Gestión de la Calidad ISO 9001 - 2000									
FI-CG-02-30 (U)									

Continuación del anexo 3.

		MEDICIÓN DE DE FLEXIONES CON VIGA BENKELMAN			
		AASHTO T 256			
TRAMO: <u>Ruta CA-01W "Tecpán - Los Encuentros"</u>		CAPA: <u>Base Estabilizada con Cemento</u>			
LECTURAS EN PULGADAS					
TRAMO	FECHA	ESTACIÓN	LADO DER.	LADO CEN.	LADO IZQ.
Est. 112+160 - 112+410 Lad. Der.	13-ene-09	112+180	0,029		
	13-ene-09	112+220		0,022	
	13-ene-09	112+260			0,026
	13-ene-09	112+300	0,027		
	13-ene-09	112+340		0,019	
	13-ene-09	112+380			0,021
LECTURAS EN MILÍMETROS					
TRAMO	FECHA	ESTACIÓN	LADO DER.	LADO CEN.	LADO IZQ.
Est. 112+160 - 112+410 Lad. Der.	13-ene-09	112+180	0,737		
	13-ene-09	112+220		0,559	
	13-ene-09	112+260			0,660
	13-ene-09	112+300	0,686		
	13-ene-09	112+340		0,483	
	13-ene-09	112+380			0,533
OBSERVACIONES:					
<u>Se chequeo con viga Benkelman de tramo de Base Estabilizada con cemento Est. 112+160 - 112+410 Lad. Der.</u>					
* Maximo Permitido: 1.3 (mm)					
TRAMO: <u>Ruta CA-01W "Tecpán - Los Encuentros"</u>		CAPA: <u>Base Estabilizada con Cemento</u>			
LECTURAS EN PULGADAS					
TRAMO	FECHA	ESTACIÓN	LADO DER.	LADO CEN.	LADO IZQ.
Est. 112+430 - 112+680 Lad. Der.	28-may-08	112+440	0,012		
	28-may-08	112+480		0,100	
	28-may-08	112+520			0,018
	28-may-08	112+560	0,170		
	28-may-08	112+600		0,120	
	28-may-08	112+640			0,140
	28-may-08	112+680	0,011		
LECTURAS EN MILÍMETROS					
TRAMO	FECHA	ESTACIÓN	LADO DER.	LADO CEN.	LADO IZQ.
Est. 112+430 - 112+680 Lad. Der.	28-may-08	112+440	0,305		
	28-may-08	112+480		2,540	
	28-may-08	112+520			0,457
	28-may-08	112+560	4,318		
	28-may-08	112+600		3,048	
	28-may-08	112+640			3,556
	28-may-08	112+680	0,279		
OBSERVACIONES:					
<u>Se chequeo con viga Benkelman de tramo de Base Estabilizada con Cemento Est. 112+430 - 112+680 Lad. Der.</u>					
ELABORÓ: Fernando Rodríguez (CONASA)		REVISÓ: _____ (T.N.M)		APROBÓ: Supervisora Ing. Fernando Ajaaz Pinto (CONASA)	
Sistema de Gestión de la Calidad ISO 9001 - 2000					

DENSIDAD IN SITU CON DENSIMETRO NUCLEAR										
AASHTO T 310										
TRAMO:	Ruta CA-01 Occidente "Tepicán - Los Encuentros"			CANTERA:	Tramo Chequeado, Base Estabilizada con Cemento.					
UBICACIÓN:	Est 112+430 - 112+680 Lad.Der			CAPA:	Base Estabilizada con 3.2% de Cemento					
FECHA DE INFORME:	13-ago-08									
FECHA DE ELABORACIÓN DE CAPA										
ESTACION:	112+440	112+480	112+520	112+560	112+600	112+640	112+680	13-ago-08	13-ago-08	
No. DE CAPA:	Base Est.	Base Est.	Base Est.	Base Est.	Base Est.	Base Est.	Base Est.	Base Est.	Base Est.	
LATERAL:	Derecho	Centro	Izquierdo	Derecho	Centro	Izquierdo	Derecho	Izquierdo	Derecho	
VARIABLES										
N°	U									
1	Peso Unitario Humedo	(gr/cm ³)	1,9482	1,9398	1,9459	1,9556	1,9528	1,9857	1,9292	
2	Humedad de Campo	(%)	17,20	16,40	17,80	17,40	18,10	17,80	17,10	
3	Densidad Seca	(gr/cm ³)	1,662	1,666	1,652	1,666	1,654	1,686	1,647	
4	Densidad Referenciada Mediante Proctor Modificado	(gr/cm ³)	1,665	1,665	1,665	1,665	1,665	1,665	1,665	
5	Humedad Optima	(%)	18,60	18,60	18,60	18,60	18,60	18,60	18,60	
6	Grado de Compactación	(%)	99,8	100,1	99,2	100,0	99,3	101,2	98,9	
7	Penetración de Densidad	(mm)	125	125	125	125	125	125	125	
8	Espesor de Capa	(cm)	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	
9	No. De Muestra Proctor	(#)	Chequeo con Punto de campo							
OBSERVACIONES:										
Chequeo de Densidades sobre tramo de Base Estabilizada con cemento de la Est. 112+430 - 112+680 Sección completa Lad. Der con 2.5.0% de aporte material Fino de la Est. 110+460 Lad. Izq. y 7.5.0% de material Perfilado										
Nota: Densidades tomadas con referencia mediante Proctor Modificado (chequeo con punto de campo).										
Mínimo Grado de Compactación Requerido = 98%										
ELABORÓ:				REVISÓ:						
ARRCÓ:										
Sistema de Gestión de la Calidad ISO 9001 - 2000										
ELC-00230-01										

Continuación del anexo 4.

ESTACIÓN:		112+150	112+210	112+270	112+330	112+390			
No. DE CAPA:		Sub - rasante	Sub - rasante	Sub - rasante	Sub - rasante	Sub - rasante			
LATERAL:		Derecho	Centro	Izquierdo	Derecho	Centro			
Nº	VARIABLES	U							
1	Peso del Suelo + Recipiente	(lb)	4,40	4,40	4,40	4,40	4,40		
2	Peso del Recipiente	(lb)	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28		
3	Peso del Suelo	(lb)	4,12	4,12	4,12	4,12	4,12		
4	Peso de la Arena + Recipiente	(lb)	12,43	12,43	12,43	12,43	12,43		
5	Peso de la Arena Restante + Recipiente	(lb)	11,70	11,70	11,70	11,70	11,70		
6	Peso de la Arena del Cono	(lb)	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73		
7	Peso de la Arena + Recipiente	(lb)	11,70	11,70	11,70	11,70	11,70		
8	Peso de la Arena Restante + Recipiente	(lb)	8,65	8,65	8,65	8,65	8,65		
9	Peso de la Arena Total Empleada	(lb)	3,05	3,05	3,05	3,05	3,05		
10	Peso de la Arena Dentro	(lb)	2,32	2,32	2,32	2,32	2,32		
11	Densidad de la Arena	(lb/pe ³)	73,90	73,90	73,90	73,90	73,90		
12	Volumen del Pozo	(pe ³)	0,03139	0,03139	0,03139	0,03139	0,03139		
13	Peso Seco Retenido 3/4"	(gr)							
14	Volumen de Retenido 3/4"	(cm ³)							
15	Peso del Suelo - Retenido 3/4"	(gr)							
16	Volumen del Suelo	(cm ³)							
17	Densidad Húmeda	(lb/pe ³)	131,3	135,7	132,6	133,7	134,8		
18	Humedad	(%)	12,4	12,5	12,7	11,8	12,8		
19	Humedad Óptima	(%)	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2		
20	Densidad Seca	(gr/cm ³)	1,870	1,932	1,884	1,915	1,914		
21	Densidad Seca Máxima	(gr/cm ³)	1,953	1,953	1,953	1,953	1,953		
22	Grado de Compactación	(%)	95,8	98,9	96,5	98,1	98,0		
23	Espesor Capa	(cm)	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0		

DETERMINACIÓN DE HUMEDADES										
25	Peso del Suelo Húmedo + Recipiente	(gr)								
26	Peso del Suelo Seco + Recipiente	(gr)								
27	Peso del Agua	(gr)								
28	Peso del Recipiente	(gr)								
29	Humedad	(%)								

OBSERVACIONES: Humedades obtenidas con Speedy.

Chaqueo de Densidades en capa de Sub - rasante de Est. 112+480 - 112+640 Lad. Der carril de ampliación 1/2 sección

ELABORÓ:	REVISÓ:	APROBÓ:
----------	---------	---------

Sistema de Gestión de la Calidad ISO 9001 - 2000

Continuación del anexo 4.

ESTACION:		112+150	112+210	112+270	112+330				
No. DE CAPA:		Base estabilizada	Base estabilizada	Base estabilizada	Base estabilizada				
LATERAL:		Derecho	Centro	Izquierdo	Derecho				
N°	VARIABLES	U							
1	Peso de l Suelo + Recipiente	(lb)	4,55	5,00	4,60	4,12			
2	Peso de l Recipiente	(lb)	0,34	0,34	0,34	0,34			
3	Peso de l Suelo	(lb)	4,21	4,66	4,26	3,78			
4	Peso de la Arena + Recipiente	(lb)	14,42	14,34	14,21	14,18			
5	Peso de la Arena Restante + Recipiente	(lb)	13,60	13,46	13,42	13,38			
6	Peso de la Arena del Cono	(lb)	0,82	0,88	0,79	0,80			
7	Peso de la Arena + Recipiente	(lb)	13,60	13,46	13,42	13,38			
8	Peso de la Arena Restante + Recipiente	(lb)	10,05	9,58	9,87	10,14			
9	Peso de la Arena Total Empleada	(lb)	3,55	3,88	3,55	3,24			
10	Peso de la Arena Dentro	(lb)	2,73	3,00	2,76	2,44			
11	Densidad de la Arena	(lb/pe ³)	83,80	83,80	83,80	83,80			
12	Volumen del Pozo	(pie ³)	0,03258	0,03580	0,03294	0,02912			
13	Peso Seco Retenido 3/4"	(gr)							
14	Volumen de Retenido 3/4"	(cm ³)							
15	Peso de l Suelo - Retenido 3/4"	(gr)							
16	Volumen del Suelo	(cm ³)							
17	Densidad Húmeda	(lb/pe ³)	129,2	130,2	129,3	129,8			
18	Humedad	(%)	19,0	19,0	19,0	19,0			
19	Humedad Óptima	(%)	19,5	19,5	19,5	19,5			
20	Densidad Seca	(gr/cm ³)	1,739	1,752	1,741	1,747			
21	Densidad Seca Máxima	(gr/cm ³)	1,763	1,763	1,763	1,763			
22	Grado de Compactación	(%)	98,6	99,4	98,8	99,1			
23	Espesor Capa	(cm)	30,0	30,0	30,0	30,0			
DETERMINACIÓN DE HUMEDADES									
25	Peso de l Suelo Húmedo + Recipiente	(gr)							
26	Peso de l Suelo Seco + Recipiente	(gr)							
27	Peso de l Agua	(gr)							
28	Peso de l Recipiente	(gr)							
29	Humedad	(%)							
OBSERVACIONES: Humedades obtenidas con Speedy.									
ELABORÓ:			REVISÓ:			APROBÓ:			
Sistema de Gestión de la Calidad ISO 9001 - 2000									

Continuación del anexo 4.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE DE ESPECIMENES DE CONCRETO HIDRÁULICO (REFLEXION)															
PROYECTO: Diseño y Construcción de la Ampliación a 4 Carriles de la Ruta CA-01 Occidente Tramo: Tepic - Los Encuentros Reparaciones															
OBSERVACIONES: Estructuras Menores (sub-contratistas)															
FECHA DE INFORME:															
No. Cilindro	ESTACIÓN	FECHA Elaboración	FECHA de Ruptura	EDAD Prueba	SLUMP (pulg)	DIÁMETRO (cm)	ALTURA (cm)	ÁREA (cm ²)	PESO (kg)	Peso Volum. (Kg/m ³)	CARGA		ESFUERZO (psi)	ESFUERZO (Kg/cm ²)	Observaciones
											(Lb)	(kg)			
21 - R	112+180 - 112+270 L.D	29-jun-11	27-jul-11	28	2"	15.00	30.50	176.72	12.500	2.319.20	71,999.87	32,653.00	2,626.61	184.78	Fundición de Cuneta Villalita
22 - R	112+290 L.D	1-ago-11	29-ago-11	28	2 1/2"	15.00	30.50	176.72	12.550	2.328.50	73,000.94	33,107.00	2,665.15	187.35	Fundición de Desfogue Calderón
23 - R	112+280 L.D	2-ago-11	30-ago-11	28	3"	15.00	30.50	176.72	12.640	2.345.20	69,499.40	31,519.00	2,537.32	178.36	Fundición de Bordillo Ing. Lepu.
24 - R	112+260 L.D	15-ago-11	12-sep-11	28	3 1/2"	15.00	30.50	176.72	12.300	2.282.10	64,988.99	29,478.00	2,373.02	166.81	Fundición de Desfogue Calderón
29 - R	112+380 - 112+480 L.D	20-ago-11	17-sep-11	28	2 1/2"	15.00	30.50	176.72	12.500	2.319.20	62,999.06	28,571.00	2,300.00	161.68	Fundición de Cuneta Villalita
30 - R						15.00	30.50	176.72	12.450	2.309.90	64,000.13	29,025.00	2,336.55	164.25	
33 - R															
34 - R															
37 - R															
38 - R															

ELABORÓ:

REVISÓ:

APROBÓ:

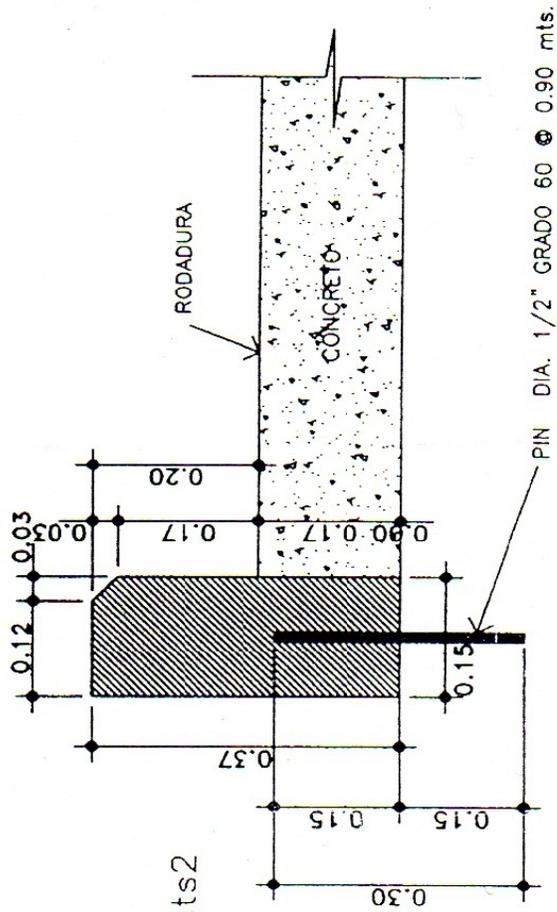
FT-CC-02-24 (Rev)

Sistema de Gestión de la Calidad ISO 9001 - 2000

Continuación del anexo 4.

		DENSIDAD IN SITU - CONO DE ARENA <small>AASHTO T 191</small>				
TRAMO: <u>Ruta CA-01 Occidente "Tecpán - Los Encuentros Agatha"</u>		CANTERA: <u>Tramo de afinamiento</u>				
UBICACIÓN: <u>Est. 112+260 - 112+480 Lad.Der</u>		CAPA: <u>Sub-Base</u>				
FECHA: <u>28-abr-11</u>						
ESTACIÓN:		112+160	112+220	112+280	112+340	
No. DE CAPA:		Sub-Base	Sub-Base	Sub-Base	Sub-Base	
LATERAL:		Derecho	Centro	Izquierdo	Derecho	
Nº	VARIABLES	U				
1	Peso del Suelo + Recipiente	(lb)	4,32	4,37	4,29	4,29
2	Peso del Recipiente	(lb)	0,35	0,35	0,35	0,35
3	Peso del Suelo	(lb)	3,97	4,02	3,94	3,94
4	Peso de la Arena + Recipiente	(lb)	13,29	13,18	13,14	13,10
5	Peso de la Arena Restante + Recipiente	(lb)	12,40	12,31	12,34	12,24
6	Peso de la Arena del Cono	(lb)	0,89	0,87	0,80	0,86
7	Peso de la Arena + Recipiente	(lb)	12,40	12,31	12,34	12,24
8	Peso de la Arena Restante + Recipiente	(lb)	9,08	8,93	9,15	8,96
9	Peso de la Arena Total Empleada	(lb)	3,32	3,38	3,19	3,28
10	Peso de la Arena Dentro	(lb)	2,43	2,51	2,39	2,42
11	Densidad de la Arena	(lb/pe3)	83,70	83,70	83,70	83,70
12	Volumen del Pozo	(pie3)	0,02903	0,02999	0,02855	0,02891
13	Peso Seco Retenido 3/4"	(gr)				
14	Volumen de Retenido 3/4"	(cm3)				
15	Peso del Suelo - Retenido 3/4"	(gr)				
16	Volumen del Suelo	(cm3)				
17	Densidad Húmeda	(lb/pe3)	136,8	134,0	138,0	136,3
18	Humedad	(%)	13,10	10,60	12,70	12,10
19	Humedad Óptima	(%)	12,20	12,20	12,20	12,20
20	Densidad Seca	(gr/cm3)	1,937	1,941	1,961	1,947
21	Densidad Seca Máxima	(gr/cm3)	1,953	1,953	1,953	1,953
22	Grado de Compactación	(%)	99,2	99,4	100,4	99,7
23	Espesor Capa	(cm)	30,0	30,0	30,0	30,0
24	No. Muestra de Proctor de Lab.	(#)	Punto de Campo			
DETERMINACIÓN DE HUMEDADES						
25	Peso del Suelo Húmedo + Recipiente	(gr)				
26	Peso del Suelo Seco + Recipiente	(gr)				
27	Peso del Agua	(gr)				
28	Peso del Recipiente	(gr)				
29	Humedad	(%)				
OBSERVACIONES: <u>Humedad es obtenidas con Speedy.</u>						
ELABORÓ:		REVISÓ:		APROBÓ:		
Sistema de Gestión de la Calidad ISO 9001 - 2000						

Anexo 7. Diseño y Ensayos a bordillos



Area = 0.055 mts²

DETALLE DE BORDILLO

TECPÁN-LOS ENCUENTROS

ESCALA: 1/10

