



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

**ANÁLISIS COMPARATIVO DEL PAVIMENTO: EMPEDRADO Y ADOQUINADO DE  
CAMINOS RURALES Y SU COMPORTAMIENTO ANTE TRÁFICO PESADO EN EL  
TRAMO MOMOSTENANGO-SANTA LUCÍA LA REFORMA, TOTONICAPÁN**

**César Alejandro Morales Folgar**

Asesorado por el Ing. Rowland Herman Lang González

Guatemala, octubre de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS COMPARATIVO DEL PAVIMENTO: EMPEDRADO Y ADOQUINADO DE  
CAMINOS RURALES Y SU COMPORTAMIENTO ANTE TRÁFICO PESADO EN EL  
TRAMO MOMOSTENANGO-SANTA LUCÍA LA REFORMA, TOTONICAPÁN**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**CÉSAR ALEJANDRO MORALES FOLGAR**  
ASESORADO POR EL ING. ROWLAND HERMAN LANG GONZÁLEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympto 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 Olympto Paiz Recinos
EXAMINADORA	Inga. Dilma Yanet Mexicanos Jol
EXAMINADOR	Ing. Rafael Enrique Morales Ochoa
EXAMINADOR	Ing. Juan Ramón Ordoñez Hernández
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:

**ANÁLISIS COMPARATIVO DEL PAVIMENTO: EMPEDRADO Y ADOQUINADO DE CAMINOS RURALES Y SU COMPORTAMIENTO ANTE TRÁFICO PESADO EN EL TRAMO MOMOSTENANGO-SANTA LUCÍA LA REFORMA, TOTONICAPÁN**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 12 de mayo de 2011.

  
**César Alejandro Morales Folgar**



Guatemala septiembre de 2013

Ingeniero Mario Estuardo Arriola Ávila  
Jefe de Departamento de Topografía y Transporte  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimado Ingeniero Arriola Ávila

Por este medio atentamente le informo que como Asesor de Tema de Tesis, del estudiante universitario **CÉSAR ALEJANDRO MORALES FOLGAR** de la Carrera de Ingeniería Civil, con carné No. **200313199** procedí a revisar el informe final, cuyo título es: **“ANÁLISIS COMPARATIVO DEL PAVIMENTO: EMPEDRADO Y ADOQUINADO DE CAMINOS RURALES Y SU COMPARTAMIENTO ANTE TRÁFICO PESADO EN EL TRAMO MOMOSTENANGO-SANTA LUCIA LA REFORMA, TOTONICAPÁN”**.

En tal virtud, **LO DOY POR APROVADO**, solicitándole darle el trámite respectivo. Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

**Rowland Herman Lang González**  
Ingeniero Civil  
Colegiado 4404

Rowland Herman Lang Gonzalez

Ingeniero Civil colegiado 4404

Asesor



**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Escuela de Ingeniería Civil



Guatemala,  
9 de agosto de 2013

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 **ANÁLISIS COMPARATIVO DEL PAVIMENTO: EMPEDRADO Y ADOQUINADO DE CAMINOS RURALES Y SU COMPARTAMIENTO ANTE TRÁFICO PESADO EN EL TRAMO MOMOSTENANGO-SANTA LUCIA LA REFORMA, TOTONICAPÁN** desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil César Alejandro Morales Folgar, quien contó con la asesoría del Ing. Rowland Herman Lang González.

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.

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua





**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Escuela de Ingeniería Civil



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Rowland Herman Lang González y del Coordinador del Área de Topografía y Transportes, Ing. Mario Estuardo Arriola Ávila, al trabajo de graduación del estudiante César Alejandro Morales Folgar, titulado **ANÁLISIS COMPARATIVO DEL PAVIMENTO: EMPEDRADO Y ADOQUINADO DE CAMINOS RURALES Y SU COMPORTAMIENTO ANTE TRÁFICO PESADO EN EL TRAMO MOMOSTENANGO-SANTA LUCIA LA REFORMA, TOTONICAPÁN**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

*Hugo Leonel Montenegro Franco*  
Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, septiembre de 2013.

**Mobdel 134** años de Trabajo Académico y Mejora Continua





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: **ANÁLISIS COMPARATIVO DEL PAVIMENTO: EMPEDRADO Y ADOQUINADO DE CAMINOS RURALES Y SU COMPORTAMIENTO ANTE TRÁFICO PESADO EN EL TRAMO MOMOSTENANGO-SANTA LUCÍA LA REFORMA, TOTONICAPÁN**, presentado por el estudiante universitario: **César Alejandro Morales Folgar**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olimpo Paiz Reñán  
Decano



Guatemala, octubre de 2013



## **ACTO QUE DEDICO A:**

**Dios**

**Mis padres** César Augusto Morales Álvarez y Cindy Jeannette Folgar Barillas.

**Mi esposa** Lucía Carolina Lang Velásquez.

**Mis hijos** Alejandro José, Valeria Carolina y Emma Lucía Morales Lang.

**Mis suegros** Herman Lang y Lisbeth Velásquez.

**Mis hermanos** Cindy, Luis y Stephanie Morales Folgar.

**Mi patria** Guatemala.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>La Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por ser mi casa de estudio.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por ser la fuente de conocimiento y aprendizaje.
<b>Mi esposa</b>	Por su paciencia y apoyo en todo momento.
<b>Mis padres</b>	Por su apoyo y ejemplo de perseverancia.
<b>Mis suegros</b>	Por estar presentes en todo momento de mi carrera.
<b>Mis amigos de la Facultad</b>	Por los desvelos de estudio y por apoyarnos durante estos años.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
GLOSARIO .....	VII
RESUMEN.....	XI
OBJETIVOS.....	XIII
INTRODUCCIÓN .....	XIV
1. INVESTIGACIÓN PRELIMINAR .....	1
1.1. Monografía del municipio de Momostenango .....	1
1.2. Marco histórico del lugar.....	1
1.3. Características de la población.....	2
1.3.1. Localización y ubicación .....	2
1.3.2. Colindancia.....	3
1.3.3. Clima .....	4
1.3.4. Orografía y suelo .....	4
1.3.5. Organización comunitaria .....	5
1.4. Contexto social .....	7
1.4.1. Población.....	7
1.4.2. Religión.....	8
1.4.3. Costumbres .....	9
1.4.4. Condiciones de salud .....	10
1.4.5. Composición étnica .....	10
1.5. Aspectos económicos.....	11
1.5.1. Producción.....	11
1.6. Aspectos e infraestructura .....	12
1.6.1. Acceso y vías de comunicación.....	12

1.6.2.	Infraestructura básica.....	13
1.6.3.	Vivienda .....	13
1.6.4.	Servicios públicos.....	14
2.	ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE ADOQUINADO Y EMPEDRADO Y SU INFLUENCIA ANTE TRÁFICO PESADO .....	15
2.1.	Justificación del análisis .....	15
2.2.	Definiciones.....	15
2.2.1.	Adoquinado .....	15
2.2.2.	Empedrado.....	18
2.2.3.	Tráfico pesado .....	19
2.2.4.	Impacto ambiental .....	20
2.3.	Especificaciones para el análisis comparativo .....	22
2.3.1.	Objetivos del mejoramiento de caminos.....	22
2.3.2.	Ubicación y localización del proyecto.....	22
2.3.3.	Estudio de suelos .....	22
2.4.	Proceso constructivo .....	27
2.4.1.	Topografía.....	27
2.4.2.	Materiales .....	29
2.5.	Normas.....	33
2.6.	Elementos del proceso constructivo.....	39
2.6.1.	Clasificación vial.....	47
2.7.	Tablas comparativas .....	48
2.7.1.	Funcionamiento.....	48
2.7.2.	Economía .....	50
2.7.3.	Durabilidad .....	50
2.7.4.	Resistencia al envejecimiento .....	51
2.7.5.	Presupuesto comparativo.....	53
2.8.	Impacto ambiental.....	55

2.9.	Manejo y mantenimiento.....	57
2.10.	Limitaciones.....	60
3.	ANÁLISIS DE SOBREPESO POR VEHÍCULOS DE CARGA.....	61
3.1.	Normas y tipos de vehículo pesado .....	62
3.2.	Factores equivalentes de carga .....	74
3.3.	Problemas de deterioro por sobrecargo.....	84
3.4.	Soluciones al problema.....	88
	CONCLUSIONES .....	91
	RECOMENDACIONES.....	93
	BIBLIOGRAFÍA.....	95
	APÉNDICES .....	97
	ANEXOS.....	113



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Ubicación satelital del lugar.....	3
2.	Adoquín.....	16
3.	Empedrado.....	18
4.	Proceso constructivo.....	44
5.	Cama de asiento.....	45
6.	Mantenimiento de obra.....	59
7.	Distribución de carga .....	62
8.	Pesos y dimensiones máximas .....	67
9.	Tipos de transporte por ejes .....	73
10.	Aplicación de carga por eje .....	76
11.	Comparación de vehículos livianos .....	81
12.	Comparación de vehículos con más de 2 ejes.....	81
13.	Comparación de transporte de mayor aumento de ESALs ....	82
14.	Comparación total de aumento de ESALs .....	82
15.	Equivalencias .....	84
16.	Carga por llanta en el suelo.....	86
17.	Ejes de diferente carga .....	87

### TABLAS

I.	Tipo de tránsito .....	20
II.	Valor soporte CBR .....	27
III.	Resistencia del adoquín.....	35

IV.	Estudio para adoquines de concreto.....	38
V.	Espesores aceptables de rodadura .....	48
VI.	Pendientes máximas admisibles.....	49
VII.	Tabla comparativa de precio m2.....	50
VIII.	Resistencia de los elementos .....	51
IX.	Valores mínimos requeridos. ....	52
X.	Presupuesto adoquín.....	53
XI.	Presupuesto empedrado.....	54
XII.	Separación de ejes más distantes. ....	68
XIII.	Separación de ejes mínima .....	70
XIV.	Dimensiones máximas permitidas .....	71
XV.	TPDA tramo carretero.....	78
XVI.	Volumen diario de tránsito .....	79
XVII.	Factores equivalentes por eje (AASHTO).....	80



## GLOSARIO

<b>AASHTO</b>	American Association of State Highway and Transportation Officials (Asociación Americana de Carreteras del Estado y Transportes Oficiales).
<b>Agregados</b>	Roca quebrada, arena o grava que ha sido graduada y puede utilizarse como material de relleno.
<b>Arcilla</b>	Suelo cohesivo que se compone de partículas cuyo diámetro es menor de 0,06 mm.
<b>ASTM</b>	Siglas en inglés American Society for Testing and Materials.
<b>Banco</b>	Una masa de tierra que se levanta sobre la superficie normal de la tierra. Generalmente, cualquier masa de tierra que se va a excavar de su sitio natural.
<b>Camino</b>	Vía de tránsito público construida dentro de los límites del derecho de vía.
<b>CBR</b>	Siglas en inglés de: California Bearing Ratio: (Valor Soporte California) escala de valor soporte del suelo.
<b>Cohesión</b>	Característica de algunas partículas del suelo de atraer y adherirse a partículas semejantes.

<b>Compresibilidad</b>	Propiedad del suelo de permanecer comprimido después de la compactación.
<b>Contracción</b>	Es el acomodamiento de las partículas del suelo, debido a la acción de compactación.
<b>Contenido de humedad óptima</b>	Porcentaje de humedad el cual puede obtenerse la densidad máxima del suelo mediante compactación.
<b>Derecho de vía</b>	Área de terreno que el Estado suministra para ser usada en la construcción de la carretera.
<b>Densidad</b>	Relación del peso de la sustancia contra su volumen.
<b>Eje de carga equivalente</b>	ESAL es la suma del total de ejes equivalentes de 18 000 lb (80 KN, 8,2 t), aplicados al pavimento por todos los vehículos que circularán por la carretera durante el período de diseño.
<b>Eje simple</b>	Es el eje que está compuesto por dos ruedas, una en cada extremo del eje.

<b>LEF Load Equivalent</b>	Factor Equivalente de Carga.
<b>Número Estructural AASHTO</b>	Lo define como un número abstracto que representa la resistencia estructural de un pavimento, para una combinación dada de las características de materiales.
<b>Serviciabilidad Inicial</b>	Parámetro del nivel de servicio inicial para un pavimento nuevo con valores de IRI menores de 2.
<b>Serviciabilidad Final</b>	Parámetro del nivel de servicio final para un pavimento en uso con valores de IRI mayores de 6.
<b>Tándem</b>	Conjunto de dos ejes simples de ruedas dobles, con una separación de centros de 1,00 a 2,45 metros.
<b>Tonelada métrica</b>	Peso de mil kilogramos o 2 2046 lb.
<b>Tonelada Inglesa</b>	Peso de dos mil libras, equivalente a 907,18 kg.
<b>PBV</b>	Peso Bruto Vehicular.
<b>TPDA</b>	Tránsito Promedio Diario Anual.



## **RESUMEN**

Dado la falta de recursos que imperan en los municipios del país y la necesidad de tener caminos adecuados para mejorar la economía del lugar y generar fuentes de empleo, es necesario corregir la problemática del deterioro de las calles y caminos rurales; en este caso en el tramo de Momostenango hacia Santa Lucía La Reforma Totonicapán, el cual a pesar de ser un camino de terracería, transitan vehículos de carga pesada, deteriorando la durabilidad de los caminos.

Por lo tanto, en el presente trabajo de graduación se analiza dicha problemática y se determina una solución, realizando un análisis comparativo entre el adoquinado y empedrado, analizando factores como: economía, impacto ambiental, durabilidad y comportamiento ante tráfico pesado. Dando como resultado una solución económicamente factible y que satisfaga las necesidades de la población.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Presentar un análisis comparativo entre los métodos constructivos adoquinado y empedrado, para el mejoramiento del tramo carretero Momostenango-Santa Lucía La Reforma Totonicapán.

### **Específicos**

1. Establecer un proceso constructivo adecuado para mejorar los caminos del lugar.
2. Proteger el medio ambiente y no alterarlo durante la construcción de los caminos.
3. Analizar las sobrecargas en los pavimentos, según el reglamento para el control de pesos y dimensiones de vehículos automotores y sus combinaciones, con base en los artículos 1 y 2 de este reglamento.





## INTRODUCCIÓN

La investigación se realizó en el municipio de Momostenango, departamento de Totonicapán.

Dado la problemática de un mal diseño de la red vial del lugar, provocando inconformidades entre la población y accidentes de tránsito por el temprano deterioro que sufre la red vial, es necesario un análisis para determinar las causas del deterioro y proponer un diseño adecuado, que permita resolver dicha problemática.

El análisis comparativo se hará entre: adoquinamiento y empedrado tradicional; demostrando así, las reacciones de los mismos ante las presencias de cargas altas, específicamente tráfico pesado.

Se describirá cual debería ser el uso correcto de los métodos constructivos antes mencionados, así como las normas que rigen a cada uno de estos y su impacto al medio ambiente.

El análisis comparativo entre estos procesos estarán analizados en los siguientes puntos fundamentales: economía, Impacto ambiental, comportamiento ante tráfico pesado, durabilidad y los tipos de base adecuados para resistir las cargas transmitidas por los pavimentos.



# **1. INVESTIGACIÓN PRELIMINAR**

## **1.1. Monografía del municipio de Momostenango**

Santiago Momostenango es un pueblo de origen precolombino del municipio de Momostenango, en el departamento de Totonicapán (Guatemala).

En el Popol Vuh es mencionado con el nombre de Chuvá Tzac, que se traduce como “frente a la fortaleza”, entre los pueblos y naciones que fueron sometidos por el rey Quicab de los quichés. En otro documento indígena, el Título de la casa de Ixquín-Nehaib, señora del territorio de Otzoyá, presentado a mediados del siglo XVIII como prueba en un juicio de tierras, es mencionado como Santiago Chuatzak Momostenango, el señor Abel de León, el emplazamiento primitivo fue el lugar denominado Ojer Tinamit (Pueblo Viejo), a 8 kilómetros de la actual cabecera municipal. Su fundador, según la tradición oral, se llamó Diego Ixquín.

## **1.2. Marco histórico del lugar**

La cabecera municipal fue fundada a mediados del siglo XVI. La mención más antigua que se conoce es la del cronista franciscano fray Francisco Vásquez, quien señala que en 1575 Momostenango pertenecía al convento de Quetzaltenango y que en 1590 se fundó el convento de Santiago Momostenango. Indica que los habitantes eran grandes labradores y hombres de campo, que obtenían buenos ingresos de la agricultura y la venta de lana.

La fiesta titular se celebra el 21 de julio al 4 de agosto. Los días principales son el 25 y 31 de julio y 1 de agosto, cuando la iglesia católica celebra la festividad del santo patrono, Santiago Apóstol, (día 25) se llevan a cabo festividades religiosas y los cofrades visten sus trajes ceremoniales. Se acostumbra comer pavos y gallinas, preparadas en un recado picante al que llaman quilín, acompañado con una bebida hecha a base de maíz, cacao y pepitas de zapote quemado, llamada súcheles.

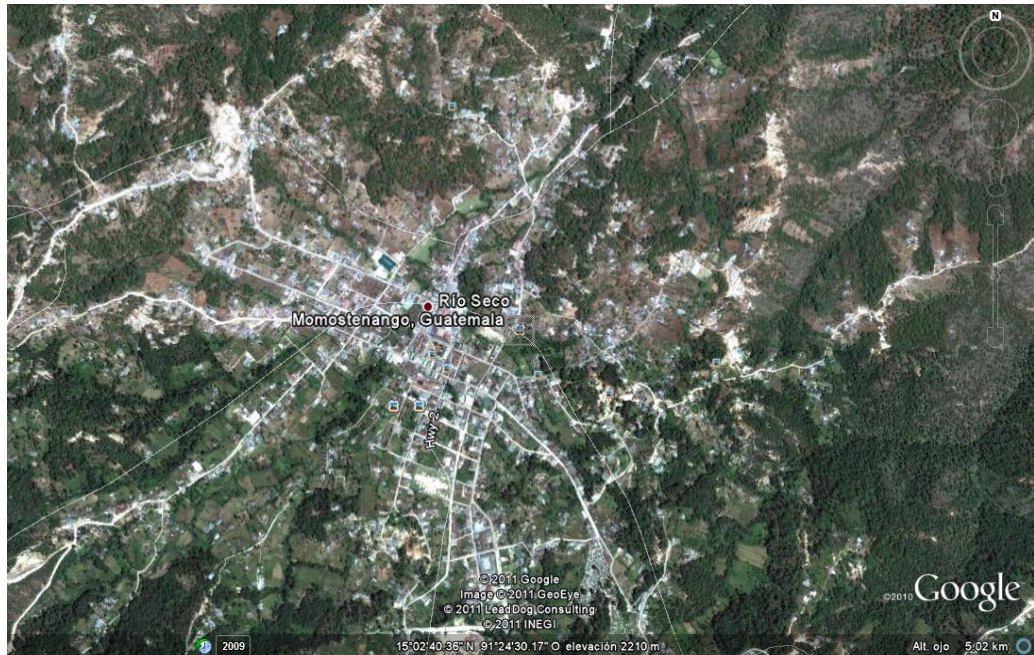
### **1.3. Características de la población**

A continuación se presenta las diferentes características de la población de Momostenango, Totonicapán.

#### **1.3.1. Localización y ubicación**

Su extensión territorial es de 305 kilómetros cuadrados, altitud: 2 204,46 metros, distancia de la ciudad capital: 208 kilómetros, latitud: 15°, 02', 40" N, longitud: 91°, 24,30" O.

Figura 1. **Ubicación satelital del lugar**



Fuente: google maps 2013.

### 1.3.2. **Colindancia**

Al norte colinda con: San Carlos Sija (Quetzaltenango), San Bartolo Aguas Calientes y Santa Lucía La Reforma. Al sur colinda con: Totonicapán (Cabecera) y San Francisco El Alto. Al este colinda con: San Antonio Ilotenango (Quiché), Santa María Chiquimula y Santa Lucía La Reforma. Al oeste colinda con: San Carlos Sija (Quetzaltenango).

### **1.3.3. Clima**

El clima predominante en el municipio es frío, el cual se vuelve más intenso durante los meses de noviembre a febrero. La temperatura media anual es de 15°C. La región es muy lluviosa y el ambiente mantiene una humedad relativamente alta. La clase de clima que predomina en el municipio es atribuido a la altura que existe sobre el nivel del mar de 2 204,46 metros, por lo tanto el clima es frío; prevalecen los vientos de norte y sur, especialmente los meses de enero a marzo.

Las estaciones que se presentan bien enmarcadas son el verano y el invierno. La primera se muestra de noviembre–abril y la segunda durante los meses de mayo–octubre; respecto a la lluvia, no es uniforme en todos los sectores. La precipitación pluvial anual es de 2 000 a 4 000 milímetros y la temperatura promedio anual oscila entre los 16° y 25,9° centígrados. La humedad varía entre el 6% y 100% durante el año.

### **1.3.4. Orografía y suelo**

La parte norte del municipio es la más accidentada rodeada por colinas y cerros. En la cabecera municipal se aprecia una pequeña superficie plana, rodeada de 65 cerros y más de 20 montañas ricas en árboles, cuya madera se emplea para la construcción de viviendas y leña para la población.

Conforme a la tala inmoderada se ha disminuido la riqueza forestal. Así mismo, se observa en el área urbana y rural, terrenos inclinados o ligeramente ondulados; de los cuales en su mayoría son aptos para la agricultura y de

acuerdo con la investigación realizada son utilizados para la siembra del maíz y frijol entre otros.

Una mínima parte de los terrenos son destinados para el cuidado y alimentación de ganado, ya que no representan una posición importante para la economía del municipio. De tal forma se localizan en el municipio algunos lugares turísticos, tales como Los Riscos (ocasionados por la erosión de la tierra), área que ha sido declarada parque nacional.

En el municipio de Momostenango sobresalen los suelos profundos, con pendientes moderadas, drenados, equilibrados con ceniza volcánica suelta primordialmente pomáceo, son poco húmedos y el nivel de erosión es alto. El relieve de los suelos está vinculado con la localización de las estribaciones de la Sierra Madre y los Cuchumatanes. Se establece un declive del suelo que oscila entre 10° y 50° centígrados. En 2004, los suelos han reducido sus nutrientes, la erosión ocasionada en éstos, se debe a la falta de abono orgánico o natural y sistemas de riego en las propiedades cultivadas.

### **1.3.5. Organización comunitaria**

Los habitantes del municipio eligen a sus propias autoridades. La municipalidad tiene plena autonomía ya que obtienen y manejan sus propios recursos. Las funciones principales son: atender los servicios públicos y locales, el ordenamiento territorial de su jurisdicción y el cumplimiento de sus fines propios. El alcalde y la Corporación Municipal, son electos directamente por el pueblo.

Para que ellos efectúen mejor los planes de desarrollo, la Constitución Política de la República obliga al Organismo Ejecutivo a trasladar el ocho por ciento de Presupuesto Nacional para las obras de infraestructura y de servicios públicos.

El municipio de Momostenango se rige según lo estipulado en el Decreto 12-2002 del Congreso de la República, artículo 9: el Gobierno Municipal corresponde al Concejo Municipal, el cual es responsable de ejercer la autonomía del Municipio. Se integra por el alcalde, los síndicos y los concejales, todos electos directa y popularmente por cada municipio. En el municipio existe el Concejo Municipal de Desarrollo –COMUDES–, quien apoya a la Corporación Municipal. El Servicio de Información Municipal –SIM– de Inforpress Centroamericana realizó en 2004 talleres de capacitación para el Concejo Municipal de Desarrollo, con estos talleres se pretendió generar demandas y respaldo social para las autoridades locales frente a las presiones de la comunidad y el gobierno central.

Así también, existen en Momostenango las alcaldías auxiliares, para apoyar a satisfacer las diferentes necesidades de las comunidades, así como los Consejos Comunitarios de Desarrollo –COCODES–, integrados por hombres y mujeres de una misma comunidad; con la finalidad de planificar democráticamente el desarrollo comunitario, por medio de la promoción y la implementación de políticas participativas, la identificación y priorización de proyectos, planes y programas que benefician a la comunidad. Según la Ley de Consejos de Desarrollo, artículo 13; están integrados así:

La asamblea comunitaria formada por los residentes en una misma comunidad y el órgano de coordinación constituido de acuerdo a sus principios,



valores, normas y procedimientos o, en forma supletoria, de acuerdo a la reglamentación municipal existente. En el municipio, el órgano de coordinación está conformado por el alcalde auxiliar o comunitario, las personas electas en asamblea con un máximo de doce integrantes

#### **1.4. Contexto social**

A continuación se presenta el contexto social del municipio de Momostenango, Totonicapán.

##### **1.4.1. Población**

La población está conformada por cuatro barrios: Santa Ana, Patzité, Santa Catarina y Santa Isabel; cuenta también con 14 aldeas que son: Xequemeyá, Tierra Colorada, Santa Ana, Los Cipreses, Tunayac, Xolajap, Tzanjon, Pitzal, Nicaja, Patulup, Chinimabé, San Vicente Buenabaj, San Antonio Pasajoc, Tierra Blanca; con 10 caserios que son: Canquixajá, Pancá, Choxacol, Rachoquel, Nimtztuj, Chonimatux, Chuabaj, Xeabaj, Jutacaj, San José Sigüilá, y con 3 parajes que son: Pamumus, Chicorral, Pasuc.

Los habitantes del municipio, están distribuidos en diversos centros poblados, en el área urbana y rural, distinguidos por su género, edad, niveles de pobreza, entre otros. La tasa anual de crecimiento en Momostenango fue del 3%, según los datos proporcionados por el Instituto Nacional de Estadística – INÉ. El mayor número de residentes oscilan entre las edades de 15 a 64 años y representan el 48% del total de la población, son personas dedicadas a un trabajo determinado y esforzado desde muy temprana edad.

Los habitantes de cero a seis años muestran una disminución del 1%, indica que la tasa de nacimientos ha descendido consecuentemente a los controles de natalidad. Así mismo, se observa que en la población de 65 a más años, se han mantenido los mismos porcentajes, lo cual revela que solamente el 4% de los habitantes logran llegar a la edad mencionada.

La distribución de los habitantes de Momostenango, se elabora en relación al género de la población; con base en censos realizados en años anteriores al estudio socioeconómico que se llevó a cabo en Momostenango en 2004. De los vecinos del municipio, en su mayoría son mujeres, representa el 53% del total en la localidad. A dos años después del censo, existe una diferencia del 6% comparado con el género masculino. La población proyectada según el sexo masculino disminuyó, lo cual significa que en Momostenango existen nacimientos en el que predomina el género femenino.

Los habitantes en el sector urbano, están registrados en el perímetro central, en Momostenango se refiere a la Villa (cabecera municipal). En la parte rural son los centros poblados, clasificados como aldeas, caseríos y parajes. Se establece que la mayoría de personas están concentradas fuera del casco urbano, con el 70% del total de la población del municipio. Esta predilección por los habitantes se fundamenta con el censo 2002 y también predomina en las proyecciones de 2004.

#### **1.4.2. Religión**

La religión católica es predominante en todo el municipio de Momostenango y en menor proporción las iglesias evangélicas. A partir de la firma de los acuerdos de paz en el país, se ha experimentado un resurgimiento

de la práctica de la espiritualidad maya, tomando mayor auge en las actividades propias de la población indígena.

Los valores del cristianismo entran en formar parte de la espiritualidad maya, debido a la implementación del cristianismo en la época de la colonización. Comenzó con la construcción de templos en los centros ceremoniales propios de los indígenas. Posteriormente, las ceremonias se realizaban en los hogares, porque gran porcentaje de la población indígena fue absorbido por la religión católica y las prácticas de la espiritualidad maya se dieron de manera privada.

La comunidad, en su desenvolvimiento cultural, implanta un gran número de costumbres y tradiciones, en mayoría, ligadas a su religiosidad.

### **1.4.3. Costumbres**

Su profunda religiosidad se observa no sólo en las manifestaciones espirituales propiamente dichas, sino en el liderazgo de los guías de la comunidad (sacerdotes mayas) que conocen el lenguaje del copal y las hierbas sacras y ejercen una influencia significativa dentro de la comunidad.

En el aspecto folclórico, se presentan varios bailes típicos como: la conquista, el torito, el venado, los enmascarados, gracejos, los vaqueros, los xacaljotes, los pascarines, los moros y cristianos y otros. Algo importante es la celebración del Wakxaquib Batz, del cual se hace especial mención en el municipio de Momostenango.

El idioma indígena predominante en todo el departamento de Totonicapán es el quiché, pero muchos también hablan el español, especialmente los hombres.

#### **1.4.4. Condiciones de salud**

El municipio de Momostenango, dispone de dos centros de salud, uno en el casco urbano y otro en la aldea San Vicente Buenabaj, los cuales facilitan asistencia médica y jornadas de salud para prevenir enfermedades en los habitantes del municipio. Así también, existen varios puestos de salud ubicados en áreas que dan cobertura médica, tanto a los pobladores del lugar como a las comunidades aledañas a éstos.

El Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, es la institución con mayor cobertura y responsabilidad en el sector de salud dentro del municipio. Los fondos sociales, el Instituto de Fomento Municipal (por su responsabilidad en relación con la gestión del agua) y Sanidad Militar también forman parte del sector y efectúan acciones preventivas y curativas.

Esta red de servicios de salud se ha visto complementada con la construcción de un segundo centro de salud que se localiza en la aldea de San Vicente Buenabaj.

#### **1.4.5. Composición étnica**

Los habitantes de Momostenango están determinados por el grupo étnico al que pertenecen. Por lo cual, es importante detallar un cuadro de la población indígena y no indígena establecida en el lugar.

El grupo étnico con mayor porcentaje en el municipio de Momostenango es el indígena con el 99% y el 1% corresponde a no indígena. El grupo indígena tiene incrementos no significativos comparados con 1994.

## **1.5. Aspectos económicos**

A continuación se presentan los aspectos económicos del municipio de Momostenango, Totonicapán.

### **1.5.1 Producción**

Dentro del municipio de Momostenango se cuenta con una diversidad de productos para uso propio o comercial, las actividades que integran el sector productivo son: agrícola, pecuario, artesanal, industrial y servicios, sin desarrollarse aún la agroindustrial. La producción pecuaria es la que abarca el mayor porcentaje producido en valores con el 53,83%, porque incluye la producción de huevos de gallina (unidades); mientras que la producción agrícola tiene el 17,89%, porque representa la producción en quintales; la actividad artesanal tiene el 16,62%, mientras que la industrial y los servicios representan el 10,59% y 1,07% respectivamente. La diferencia que se refleja en la actividad agrícola y las demás actividades productivas es por la unidad de medida.

En el municipio de Momostenango la actividad artesanal es una de las principales fuentes para la economía del lugar, debido a la cantidad de productos que se comercializan y la calidad de las materias con que elaboran la producción. Esta actividad ha sido difundida por generaciones;

consecuentemente, genera fuentes de trabajo y es el medio de subsistencia principal. Por lo que permite el progreso de las familias que laboran esta producción. Un número representativo de personas se dedican a la elaboración artesanal, la producción que sobresale es en su orden: los tejidos de lana, la panadería, la sastrería y la carpintería; entre otras que son comercializadas en menor escala.

## **1.6. Aspectos de Infraestructura**

A continuación se presentan los aspectos de infraestructura del municipio de Momostenango, Totonicapán.

### **1.6.1. Acceso y vías de comunicación**

Las vías de acceso al municipio, son a través de la carretera Interamericana CA-1, en el lugar denominado el entronque (San Francisco El Alto), allí se ingresa a la carretera departamental RDTOT 02, a una distancia de 17 kilómetros de la cabecera municipal de Momostenango, la carretera se encuentra asfaltada.

La segunda vía está ubicada en el kilómetro 203, en el lugar designado el Rancho de Teja (San Francisco El Alto), a una distancia de 12 kilómetros de la cabecera municipal de Momostenango y la tercera vía está localizada en el kilómetro 204, en jurisdicción de la aldea Santa Ana, se ingresa por Pologuá, a una distancia de 14 kilómetros de la cabecera municipal. A diferencia de la primera vía de acceso, las otras dos vías son de terracería, transitables todo el año.

### **1.6.2. Infraestructura básica**

Porcentaje de viviendas con servicio de agua: 80%, porcentaje con servicio sanitario: 95%, usuarios de energía eléctrica: 80%.

### **1.6.3. Vivienda**

Según el Instituto Nacional de Estadística se define como un lugar con paredes y techo, estructuralmente separada de otras viviendas y con entrada independiente, ocupada o destinada a ser habitada por una persona o grupo de personas, la misma que aun cuando no haya sido construida originalmente para tales fines, esté destinada, total o parcialmente, a ser habitada como vivienda sin distinción de su estructura o materiales de construcción.

La vivienda particular puede ser una casa, un apartamento, uno o varios cuartos, una choza, una cabaña o cualquier refugio ocupado o disponible para ser utilizado como lugar de alojamiento.

Los habitantes del municipio utilizaban materiales sencillos y en muchas ocasiones no aptos para la construcción de las habitaciones, tales como: la caña forrada de barro y la paja, denominadas éstas: viviendas de pajón.

Posteriormente, se eligió por una nueva técnica, ésta consiste en mezclar barro con pino, se moldea con un marco de madera y secarlo bajo el sol hasta que endurece, para obtener el material llamado adobe. Esta práctica aún es utilizada por la población de Momostenango.

#### **1.6.4. Servicios públicos**

Se cuenta en Momostenango, Totonicapán los siguientes servicios públicos:

- Hospitales:
  - centro de salud: 1
  - puestos de salud: 2
- Centros educativos:
  - primaria: 75
  - básicos: 19
  - diversificados: 5



## **2. ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE ADOQUINADO Y EMPEDRADO Y SU INFLUENCIA ANTE EL TRÁFICO PESADO**

### **2.1. Justificación del análisis**

A continuación se presentan los argumentos para poder establecer un análisis comparativo entre el empedrado y adoquinado y su influencia ante el tráfico pesado.

### **2.2. Definiciones**

A continuación se presentan las definiciones de los enunciados a tratar en el presente trabajo de graduación.

#### **2.2.1. Adoquinado**

Historia

Pavimentar con adoquines (elementos de piedra, mármol, cantera, concreto, etc.) se hace desde épocas muy remotas en muchas partes del mundo, desde hace 5 000 años ya se utilizaban losas de piedras instaladas en los caminos públicos.

Un sistema similar adoptó el Imperio Romano, bien recordado por sus múltiples vialidades. En la América precolombina son comunes los caminos

empedrados y con piedras de los ríos de la región también se fabricaron adoquines de barro cocido y madera, durante los siglos XVIII y XIX en América, el desarrollo del concreto como materia prima, trajo consigo la aparición de elementos prefabricados, como los adoquines de concreto.

## Adoquín

Son piedras o bloques labrados y de forma rectangular que se utilizan en la construcción de pavimentos. El material más utilizado para su construcción ha sido el granito, por su gran resistencia y facilidad para el tratamiento; sus dimensiones suelen ser de 20 cm de largo por 15 de ancho para facilitar la manipulación del elemento con una sola mano.

Figura 2. **Adoquín**



Fuente: Adoblock.

## Composición

Cemento, agua, áridos, aditivos y pigmentos inorgánicos, pueden ser fabricados con un solo tipo de hormigón o con diferentes.

## Fabricación

Estos adoquines de hormigón son productos premoldeados elaborados en plantas industriales, tanto en lo que se refiere a la dosificación de los materiales como el proceso de curado, lo que permite obtener un producto de óptima calidad. Los adoquines pueden ser fabricados, además, agregando pigmentos al hormigón obteniendo elementos de distintos colores, alternativa a la que se recurre en el caso de veredas, sendas peatonales, plazas y accesos vehiculares.

## Usos

Hoy se utilizan los adoquinados como pavimentos articulados por su facilidad en la construcción y su economía, también cuando hay cambios sustanciales de temperaturas así como la necesidad de puesta en uso de forma inmediata la calle o cualquier otro proyecto específico, también se utiliza en parqueos, áreas peatonales, jardines domésticos, tráfico liviano y tráfico pesado.

### 2.2.2. Empedrado

Se conoce como empedrado, aquella capa de rodadura elaborada con piedra, obtenida de las orillas de ríos o cantera mediante un proceso de explotación.

El empedrado es un tipo de pavimento flexible, que presenta gran durabilidad y resistencia.

Para la elaboración de un camino empedrado, es necesario que exista una fuente de material adecuada, preferiblemente cerca del proyecto. Si este no fuera el caso, debe analizarse si la distancia del proyecto hacia la fuente de materiales es aceptable y no perjudica la economía del proyecto. De preferencia se deben seleccionar terrazas aluviales, donde se encuentran gran cantidad de cantos rodados; los conglomerados son excelentes fuentes de materiales, pero el proceso de explotación debe realizarse con equipo pesado y existe desperdicio; los ríos son una muy buena fuente de canto rodado si estuviese dentro de los límites del proyecto.

Figura 3. Empedrado



Fuente: empedrado Palo Blanco, Jutiapa.

## Condiciones técnicas

El empedrado presenta como principales generalidades las siguientes:

- Es un pavimento flexible.
- No es monolítico.
- La fricción entre las piedras, ayuda a soportar la carga que transmiten las llantas a la rodadura (necesidad de rellenar las juntas).
- No existe un método de diseño científico.
- La experiencia de las comunidades es importante en la construcción.
- Se utiliza en caminos de tráfico promedio diario (TPD) no mayor a 200 vehículos, con un componente de hasta 30% de camiones y autobuses; puede emplearse en caminos con tráfico de hasta 250 vehículos diarios.

### **2.2.3. Tráfico pesado**

El tráfico constituye un parámetro de entrada para el dimensionamiento y definición de las características que debe reunir la base y el pavimento. El tráfico rodado y en especial el tráfico pesado que debe soportar una vía urbana durante el período de proyecto, es un factor fundamental en el dimensionamiento de la estructura de la base. El parámetro del tráfico que es preciso estimar para realizar el dimensionamiento de una base, es el número de vehículos pesados que circularán por el mismo durante el período de proyecto considerado, al que habitualmente se denomina tráfico de proyecto.

## Tipo de tránsito

La estimación del tránsito que soportará el pavimento de adoquín, debe considerar los conteos actuales y las actividades del área a que servirá la carretera a construir, así como posibles usos futuros; sin embargo, es más importante el peso máximo de los vehículos que su cantidad; un solo vehículo excesivamente pesado puede causar más daño a un pavimento que mil vehículos ligeros. Sin embargo, el número de aplicaciones de carga tiene un efecto y por ello la clasificación del tránsito considera tanto el número como el peso de los vehículos.

Tabla I. **Tipos de tránsito**

	Tipo de Tránsito total durante 24 horas		
	Carga de diseño tránsito (lb/rueda)		Total Camiones:
	camiones	vehículos	autobuses pesados
Pesado	3000 mín.	700 mín.	150 mín.
Mediano	1000-3000	250-700	50-150
Liviano	1000 máx.	250 máx.	50 máx.

Fuente: Dirección General de Caminos, DGC. Reglamento para el Control de Pesos y Dimensiones de Vehículos Automotores y sus Combinaciones. Guatemala, 1992.

### **2.2.4. Impacto ambiental**

Se entiende por impacto ambiental, el efecto que produce una determinada acción humana sobre el medio ambiente en sus distintos aspectos.

Las acciones humanas, motivadas por la consecución de diversos fines, provocan efectos colaterales sobre el medio natural o social. Mientras los efectos perseguidos suelen ser positivos, al menos para quienes promueven la actuación, los efectos secundarios pueden ser positivos y más a menudo, negativos. La evaluación de impacto ambiental (EIA) es el análisis de las consecuencias predecibles de la acción; y la Declaración de Impacto ambiental (DIA) es la comunicación previa, que las leyes ambientales exigen bajo ciertos supuestos, de las consecuencias ambientales predichas por la evaluación.

La mitad de los materiales empleados en la industria de la construcción proceden de la corteza terrestre, produciendo anualmente en el ámbito de la Unión Europea (UE) 450 millones de toneladas de residuos de la construcción y demolición (RCD); esto es, más de una cuarta parte de todos los residuos generados. Este volumen de RCD aumenta constantemente, siendo su naturaleza cada vez más compleja a medida que se diversifican los materiales utilizados. Este hecho limita las posibilidades de reutilización y reciclado de los residuos, que en la actualidad es sólo de un 28% (en el caso de España, un 5%), lo que aumenta la necesidad de crear vertederos y de intensificar la extracción de materias primas.

En términos estadísticos, se puede decir que el sector de la construcción es responsable del 50% de los recursos naturales empleados, del 40% de la energía consumida (incluyendo la energía en uso) y del 50% del total de los residuos generados.

## **2.3. Especificaciones para el análisis comparativo**

A continuación se enlistan las especificaciones que se utilizarán para el análisis comparativo.

### **2.3.1. Objetivos del mejoramiento de caminos**

El mejoramiento de carreteras rurales es un proyecto social y de beneficio para el medio ambiente, que además está enfocado en el mejoramiento de la forma de vida de todos los ciudadanos que viven en las regiones rurales, por tanto se necesita que los caminos y carreteras rurales estén en condiciones aptas para el transporte de: personas, mercaderías, materiales de construcción, turismo, etc.; generando así fuentes de empleo, un lugar con ornato más adecuado y pueden llegar a ser auto-sostenibles, dependiendo del mantenimiento que se le dé a los caminos rurales.

### **2.3.2. Ubicación y localización del proyecto**

El proyecto se ubica en el departamento de Totonicapán entre las comunidades de Momostenango a Santa Lucía La Reforma.

### **2.3.3. Estudio de suelos**

Las pruebas de laboratorio que se deben de realizar, servirán para determinar las condiciones del material, para determinar la calidad del mismo o hacer los ajustes necesarios para aumentar su calidad. También sirven para determinar su granulometría y grado de compactación.



Las pruebas de laboratorio son las siguientes:

- Granulometría

El conocimiento de la composición granulométrica de un suelo grueso, sirve para discernir sobre la influencia que puede tener la densidad del material compactado. El análisis granulométrico se refiere a la determinación de la cantidad en porcentaje, de los diversos tamaños de las partículas que constituyen los suelos. Para el conocimiento de la composición granulométrica de un determinado suelo existen diferentes procedimientos. Para clasificar por tamaños las partículas gruesas, el procedimiento más expedito es el tamizado.

Al aumentar la finura de los granos, el tamizado se hace cada vez más difícil, teniendo entonces que recurrir a procesos por sedimentación. Conocida la composición granulométrica del material, se le representa gráficamente para formar la llamada curva granulométrica del mismo.

Como tamaño de la partícula puede considerarse el diámetro de ellas, cuando es indivisible bajo la acción de una fuerza moderada, como la producida por un mazo de madera golpeando ligeramente.

- Límites de Atterberg

La plasticidad es la propiedad que presentan los suelos para poder deformarse, hasta cierto límite, sin romperse. Por medio de ella se mide el su comportamiento en todas las épocas. Las arcillas presentan esta propiedad en grado variable. Para conocer la plasticidad de un suelo se hace uso de los

límites de Atterberg, que por medio de ellos separó los cuatro estados de consistencia de los suelos coherentes; los mencionados límites son:

- Límite líquido

El límite líquido se define como el contenido de humedad expresado en porcentaje con respecto al peso de la muestra, con el cual el suelo cambia de estado líquido al plástico. De acuerdo con esta definición, los suelos plásticos tienen en el límite líquido una resistencia muy pequeña al esfuerzo de corte, pero definida y según Atterberg es de 25g/cm<sup>2</sup>. La cohesión de un suelo en el límite líquido es prácticamente nula.

- Límite plástico (LP)

Es el contenido de agua que tiene el límite inferior de su estado líquido, el límite plástico de un suelo se acepta como el contenido de humedad que permite cilindrarlo haciendo bastoncitos de 3mm. de diámetro, sin que se rompan.

- Proctor

Es necesario mencionar que la prueba de Proctor se creó, para determinar la relación entre la humedad óptima con que un suelo puede alcanzar su máxima densidad posible, es decir, su máxima compactación, ya que la escasez de agua en un suelo y la abundancia de la misma, ocasiona que el suelo no pueda ser compactado al máximo. Un suelo debe compactarse para mejorar su capacidad de carga, disminuir la absorción de agua y reducir la sedimentación.

Es necesario encontrar una relación entre el contenido de agua a usar en un volumen determinado de suelo y la máxima densidad que el suelo compactado puede alcanzar, todo esto se hace en laboratorio antes de iniciar el trabajo de campo.

Si la masa de un suelo se encuentra suelta, tiene un mayor número de vacíos, los que van reduciéndose conforme se somete a compactación hasta llegar a un mínimo, que es cuando la masa del suelo alcanza su menor volumen y su mayor peso.

Esto se conoce como “densidad máxima”. Para alcanzar la densidad máxima es necesario que la masa del suelo tenga una humedad determinada, la cual se conoce como “humedad óptima”.

- **Determinación de la resistencia del suelo CBR**

El valor relativo de soporte de un suelo (CBR), es un índice de su resistencia al esfuerzo cortante en condiciones determinadas de compactación y humedad. Se expresa en porcentaje de la carga requerida para producir la misma penetración en una muestra estándar de piedra triturada.

Para este ensayo es necesario conocer la humedad óptima y la humedad actual del suelo y con ello poder determinar la cantidad de agua que se añadirá a la muestra de suelo. Los cilindros se compactan en cinco capas, para 10, 30 y 65 golpes por cada capa. Para cada cilindro compactado se obtendrá el porcentaje de compactación (%C), el porcentaje de expansión y el porcentaje de CBR. El procedimiento analítico se rige por la Norma AASHTO T 193.

Para determinar la expansión, a cada cilindro se le coloca un disco perforado, con vástago ajustable y el disco de 10 a 13 lb. Sobre el vástago ajustable se coloca el extensómetro, montado sobre un trípode y ajustando la lectura a cero. Se sumerge en agua durante cuatro días, tomando lecturas cada 24 horas y controlando la expansión del material.

El objetivo de sumergir la muestra durante cuatro días en agua es para someter los materiales usados en la construcción, a las peores condiciones que puedan estar sujetos en el pavimento.

La determinación de la resistencia a la penetración se realiza después de haber tenido la muestra en saturación durante cuatro días. Para ello, se sacan los cilindros del agua y se dejan escurrir durante diez minutos, se quitan los discos y el papel filtro y se procede a medir la resistencia a la penetración. Cuando se empieza la prueba, se coloca nuevamente el peso sobre la muestra y el extensómetro ajustado a cero con el pistón colocado sobre la superficie de la muestra. Se procede a hincar el pistón a una velocidad constante de penetración de 1,27 cm (0,5") por minuto. Se toma la presión, expresada en libras por pulgada cuadrada, necesaria para hincar a determinadas penetraciones.

Tabla II. **Valor soporte de CBR**

80% - 100% Son excelentes materiales para bases
50% - 80% Son buenos materiales para bases
30% - 50% Son buenos materiales para subbase
10% - 30% Son buenos materiales para subrasante
5% - 10% Son regulares materiales para subrasante
0 - 5% Son malos materiales para subrasante

Fuente: Kraemer, Carlos, et al. Ingeniería de carreteras. p.125.

## **2.4. Proceso constructivo**

A continuación se describe el orden que debe de tener el proceso constructivo para la realización del proyecto.

### **2.4.1. Topografía**

Antes de iniciar una obra es necesario conocer la forma del terreno. Por ello el estudio topográfico es fundamental, con él se efectúan las mediciones necesarias para determinar las posiciones relativas de los puntos horizontales y verticales que ayudarán a establecer dicha forma.

Tipos de levantamientos

Existen dos tipos de levantamiento topográfico: el levantamiento abierto, que es cuando se sale de una estación y no se regresa a ella; y el

levantamiento cerrado, que consiste en salir de una estación y regresar a la misma.

## Equipo

- Para efectuar un correcto levantamiento topográfico es necesaria la utilización de un equipo humano y un equipo de instrumentos de trabajo.
- El equipo humano consta de: un topógrafo y dos cadeneros.
- Como equipo de instrumentos de trabajo se emplean: teodolito, nivel, trípode, plomada, estadía, cinta métrica, almadana, estacas y libreta de campo.

## Levantamiento topográfico

Los levantamientos topográficos proporcionan la localización de accidentes naturales o artificiales y elevaciones del terreno que se utilizarán en la conformación de los mapas.

## Planimetría

Se entiende por planimetría al proceso de mediciones efectuadas para obtener una representación gráfica del terreno, que se proyecta sobre un plano horizontal, suponiendo que no existe ningún tipo de curvatura en el terreno. Con ello se obtiene un dibujo en dos dimensiones, al cual se le denomina plano.

El levantamiento planimétrico que se utiliza es el de conservación de azimuts, el cual se logra cuando se avanza a la siguiente estación y se realiza una observación de la estación anterior con vuelta de campana con el ángulo conservado y posteriormente, haciendo de nuevo una vuelta de campana del lente del teodolito para hacer la nueva medición.

### Altimetría

La altimetría consiste en la toma de medidas que se generan, para obtener la diferencia de alturas entre puntos establecidos con los trabajos de planimetría y con ello poder representar el terreno de una manera tridimensional. La manera de representar tridimensionalmente un terreno es con las curvas de nivel, que son líneas que unen puntos de igual altura.

El tipo de nivelación puede ser simple o compuesta. La nivelación simple se realiza saliendo de un punto cuya altura se conoce y avanzando en el terreno haciendo puntos de vuelta, así se obtienen las diferencias de nivel entre cada estación.

En la nivelación compuesta se llevan a cabo los mismos pasos que en la simple, pero además se incluyen puntos intermedios de los que se desea conocer sus cotas. Las cotas pueden ser absolutas, que son referidas al nivel del mar, o relativas, las cuales utilizan un punto previamente establecido llamado banco de marca o BM.

#### **2.4.2. Materiales**

Material selecto

Se le llama así a la arena gruesa, que se deposita en capas sobre el suelo natural antes de empedrar. De esta manera se aísla el suelo del pavimento empedrado dándole a la piedra un mejor soporte o agarre contra la lluvia, contra la humedad o el calor, ya que la humedad deslizaría la piedra. EL grosor del material selecto, debe ser de 20 cm y compactado a una densidad del 95% según proctor modificado.

#### Arena tipo grava

Este agregado fino debe estar libre de cantidades perjudiciales de aceites, ácidos, álcalis, sales, materia orgánica u otras sustancias que puedan ser nocivas para el empedrado fraguado.

#### Cemento

El cemento a utilizar deberá ser del tipo Portland modificado con puzolanas tipo I (PM) de uso general en construcción, categoría de resistencia de 4 000 PSI (280 Kg./cms<sup>2</sup>) a 28 días.

#### Agua

El agua empleada en el mezclado del concreto deberá ser limpia y estar libre de cantidades perjudiciales de aceites, ácidos, álcalis, sales, materia orgánica u otras sustancias que puedan ser nocivas para el concreto mermando la resistencia del mismo.



## Mortero

El mortero a utilizar tendrá la proporción 1:3 y será tipo sabieta.

## Piedra

El empedrado se realizará con cantos rodados o con piedra partida (triturada), en concordancia con lo establecido en los documentos contractuales y con la disponibilidad de los mismos. La clasificación y selección de las piedras adecuadas se lo hará en el lugar de explotación y no se permitirá el uso de piedras que no satisfagan los requerimientos de tamaño y características mecánicas.

## Adoquín

Son piedras o bloques labrados y de forma rectangular que se utilizan en la construcción de pavimentos. El material más utilizado para su construcción ha sido el granito, por su gran resistencia y facilidad para el tratamiento.

Sus dimensiones suelen ser de 20 cm de largo por 15 de ancho para facilitar la manipulación del elemento con una sola mano.

## Concreto

El concreto deberá de ser de calidad especificada en los planos o especificaciones técnicas, el concreto es una combinación de cemento hidráulico, agregados, agua y aditivos, algunas de las especificaciones para el mezclado de concreto son:

- Todo el equipo de mezclado y de transporte del concreto debe estar limpio y en buen estado, libre de materiales como el óxido o algún químico.
- Se deberá de retirar todos los escombros y materiales del área donde se colocará el concreto y también el agua estancada en la formaleta.
- El concreto deberá de mezclarse hasta lograr una distribución uniforme de sus componentes.
- El concreto se deberá mezclar en la obra y se tendrá que hacer en una mezcladora mecánica, la cual para su uso debe atender a instrucciones y recomendaciones del fabricante, al hacer una mezcla debe descargarse completamente antes de volverse a cargar, el mezclado deberá prolongarse como mínimo 1 ½ minutos después que todos los materiales hayan sido colocados dentro del tambor.
- Durante el proceso de mezclado, deberá observarse cuidadosamente la relación agua/cemento y no agregar mayor cantidad de agua que la determinada.
- El concreto deberá transportarse de la mezcladora a la obra final, empleando métodos que eviten la segregación de los materiales.
- El procedimiento y equipo de transporte debe ser capaz de llevar el concreto al elemento de colocación, sin interrupciones que ocasionen la pérdida de plasticidad entre mezclas sucesivas.

- La colocación se hará en forma dinámica y diligente para que el concreto conserve su estado plástico en todo momento, no se permitirá colocar en un elemento estructural, una de concreto que se haya endurecido o contaminado, se permitirá un tiempo máximo de 45 minutos desde la hechura de la mezcla hasta su colocación final.
- Al iniciarse el proceso de fundición, este deberá efectuarse en forma continua hasta terminar la fundición de todo el sistema considerado, de acuerdo a los límites establecidos, o conforme a juntas de construcción predeterminadas.
- Luego de haber sido fundido el concreto, se debe mantener a una temperatura mínima de 10°C y en condiciones de humedad, durante los primeros 7 días.
- El área fundido de concreto se deberá de tener humedecido para el curado respectivo y se hace colocando una capa de agua permanentemente o una cubierta de arena, costales o mantas saturadas de agua.
- La superficie de concreto endurecido deberá estar libre de lechadas y cualquier material blando antes de colocar concreto adicional sobre este.

## **2.5. Normas**

Debido a la creciente importancia que tomó en muchos países, pronto fue necesario crear normas para el control de calidad del adoquín. Así por ejemplo,

en Alemania Occidental se publicaron en 1958 las normas provisionales que fueron sujetas posteriormente a varias revisiones y en septiembre de 1964 se publicó la hoja de “Normas para los adoquines de concreto DIN 18501” vigentes actualmente en Alemania Occidental. En Guatemala, aun cuando no se ha iniciado la producción en grandes plantas del adoquín, el Instituto de Fomento Municipal (INFOM), ha creado las normas para su fabricación, que se lleva a cabo en varios municipios en forma manual, bajo la supervisión de dicho Instituto. Existen también en México especificaciones para el adoquín, elaboradas por el Departamento del Distrito Federal de la Dirección General de Obras Públicas, publicado bajo el título de: “Normas Técnicas para la Construcción del Adocreto”.

#### Ensayos en los adoquines

En este punto se expone únicamente las normas para los ensayos sobre adoquín, indicando los métodos y valores mínimos que éstos deben cumplir. En lo que se refiere a los ensayos sobre los materiales que conforman el adoquín, las normas consultadas no poseen información al respecto. Recopilación de información de Normas Extranjeras e Internacionales. En esta etapa se procedió a visitar, la biblioteca de la Facultad de Ingeniería, Biblioteca Central de la Universidad de San Carlos y el Centro de Información para la Construcción CICON, siendo los últimos dos centros, de donde se obtuvo las normas que sirven de base al estudio. Inicialmente se obtuvo en el CICON la norma alemana “Adoquines de concreto, DIN 18501”, seguidamente se consultaron tesis en el CICON, de donde se obtuvo las normas alemanas “Pruebas de desgaste, DIN 52108” y “Prueba de comprensión, DIN 52105”, y las normas españolas “Ensayo de comprensión de adoquines de piedra,

UNE7068”, “Ensayo de desgaste por razonamiento en adoquines de piedra, UNE 7069” y “Adoquines de granito para pavimentos del mismo tipo y tamaño, UNE 41005”.

Norma alemana DIN 52105

La resistencia a la compresión se especifica solamente la que está dada por la altura del adoquín, de acuerdo a la tabla Resistencia a la compresión.

Tabla III. **Resistencia del adoquín**

Altura o espesor en:	Resistencia a la compresión mínima en:	
	Cm	Kgf/cm <sup>2</sup>
20	600	58,84
16	612	60,02
14	18	60,61
12	624	61,19
10	630	61,78
8	636	62,37

Fuente: Norma alemana DIN 52105.

Norma alemana DIN 18501

Examen visual, forma y medidas, Para este análisis se toma como base lo expuesto en la norma alemana DIN 18501 adoquines en concreto, la cual hace referencia únicamente a que las medidas se deben tomar con una aproximación

de + 1mm, en lo que respecta a la forma de los adoquines no presenta información alguna, lo mismo sucede con la apariencia de éstos. Ensayo de comprensión DIN 52105 las probetas serán utilizadas en la regla del cubo con un largo de arista de 50mm + 2mm o del cilindro con un diámetro de 50mm + 2mm y una altura 50mm + 2mm. El número debe ser de 5 adoquines completos, colocados entre placas de presión idénticas. La altura de las probetas incluyendo la capa de nivelación o coronamiento debe ser de por lo menos 0.9 del lado menor de la cara de comprensión del adoquín. Las aristas de los cubos cortados deben tener una longitud mínima de 80mm. Si existe conicidad en las paredes laterales del adoquín y si la misma no excede del 5% de altura, los adoquines pueden probarse en forma entera. La resistencia debe sin embargo, calcularse sobre un área que represente el valor medio de las áreas de presión.

#### Diseño de Pavimentos de Adoquín

En cuanto a la resistencia al desgaste se indica en el ensayo normal, la pérdida volumétrica no debe exceder de  $15\text{cm}^3/50\text{cm}^2$  y la disminución de espesor no debe ser mayor de 3mm.

#### Desgaste o abrasión DIN 52108

Para la prueba de abrasión se utilizarán probetas de forma de cubo de 71mm + 1,5mm. por arista. Las probetas serán secadas a temperatura de 100°C hasta alcanzar peso constante y deberá preesmerilarse. Para iniciar el ensayo se realizarán 5 períodos de 22 vueltas en la primera cara, lo cual se repetirá en las tres caras restantes de la probeta, el ensayo produce un total de 440 vueltas que equivalen a 608 m de recorrido. El carril de desgaste será espolvoreado

con el abrasivo en una proporción aproximada de 20g por cada período, luego será puesto en movimiento el disco. Después de un período deberá limpiarse el disco de desgaste y el área de prueba de la probeta. El cálculo del volumen desgastado se hará por medida directa usando un vernier o calculando la densidad del bloque y utilizando la fórmula:

$$\text{Volumen} = \frac{\text{Masa}}{\text{Densidad}}$$

#### Ensayo de compresión UNE 7068

Este ensayo se realizará en 6 probetas extraídas de los adoquines, éstas serán cubos de 7 cm. de lado, teniendo dos de sus caras aproximadamente paralelas a la superficie de rodadura. Las probetas se marcarán con señal indeleble, en dirección normal a la superficie de rodadura. Para realizar este ensayo será necesaria una máquina apta para compresión y capaz de proporcionar una carga total de 150 toneladas.

La aplicación de la carga no ha de excederse de 13,7 MPa/min. (140kgf/cm<sup>2</sup>/minuto) Para la obtención del esfuerzo de compresión se utilizará la fórmula:

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad \text{MPa (kgf/cm}^2\text{)}$$

P: carga máxima

A: promedio de las áreas de las bases superiores e inferiores de la probeta ensayada.

Ensayo a flexión y compresión para adoquines de Concreto, según norma COGUANOR NGO 41086, Norma DIN 18501, modificado según estudio del CII/USAC.

Los adoquines son elementos macizos de concreto, prefabricados con forma de prisma recto, cuyas bases son polígonas que permiten conformar una superficie completa.

Los adoquines son sometidos a dos tipos de carga, que dependen del tipo de vehículos que transiten sobre él, como es la carga a flexión al transitar motocicletas y la de compresión al transitar camiones o automóviles. Para este ensayo se tomará 1 adoquín.

Los datos a reportar de los adoquines de concreto deben cumplir los requisitos de la Norma DIN 18501; tabla 1 y Estudio del CII/USAC.

Tabla IV. **Estudio del CII/ USAC para adoquines de concreto**

Tipo de tráfico	Módulo de ruptura kg/cm <sup>2</sup>	Compresión kg/cm <sup>2</sup>
Vehicular liviano	42	210
Vehicular pesado	51	280

Fuente: CII/ USAC para adoquines de concreto.



## **2.6. Elementos del proceso constructivo**

### Subrasante

Es la superficie que resulta del movimiento de tierras en corte o relleno y que debe ser conformada y compactada con relación a las secciones transversales y pendientes del diseño. Ésta soporta la estructura del pavimento y se extiende hasta una profundidad tal que no sea afectada por la carga de diseño que corresponde al tránsito calculado. Debe llenar los requisitos de resistencia, incompresibilidad e inmunidad a la expansión y retracción por efectos de humedad para soportar al pavimento luego de haber sido estabilizada, homogenizada y compactada.

El espesor del adoquín o empedrado depende en gran parte de la calidad de la subrasante y se basa en los siguientes enunciados:

- Si la subrasante es de muy mala calidad (con alto contenido de materia orgánica o material suelto sin cohesión), será necesario sustituirla por un material de mejor calidad o estabilizarla (con cemento, cal, materiales bituminosos, etc.) en un espesor que dependerá de las cargas de diseño y de las propiedades de los materiales de las otras capas.
- Si la subrasante es de mala calidad (formada por suelo fino limoso arcilloso), será necesario colocar una capa de subbase granular de material selecto o de material estabilizado antes de colocar la capa base.

- Si la subrasante es de buena calidad (formada por un suelo bien graduado, que no ofrezca peligro de saturación) con un valor soporte excelente y buen drenaje, podrá omitirse la capa de subbase.
- Si la subrasante es excelente (con valor soporte muy elevado y sin posibilidad de saturación), se puede omitir las capas subbase y base, colocando la carpeta sobre el terreno natural después de haber sido conformado y compactado.

Estos requisitos se deben cumplir en una profundidad de al menos 30 cm para calles y carreteras.

La subrasante debe compactarse hasta obtener como mínimo el 95% de compactación respecto de la densidad máxima obtenida en el laboratorio.

### Subbase

Es la primera capa del pavimento y está constituida por una capa de material selecto o estabilizado, de un espesor compactado, según las condiciones y características de los suelos existentes en la subrasante, pero en ningún caso será menor de 8 cm ni mayor de 70 cm. Esta capa se destina fundamentalmente a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad el efecto de las capas superiores del pavimento, de manera que el suelo de la subrasante las pueda soportar.

Las principales funciones de la subbase son:

- Transmitir y distribuir cargas provenientes de la base.
- Servir de material de transición entre la terracería y la base, así también como elemento aislador; previniendo la contaminación de la base cuando la terracería contenga materiales muy plásticos.
- Hacer mínimos los efectos de cambio de volumen en los suelos de la subrasante.

La capa de subbase debe ser constituida por materiales de tipo granular en su estado natural o mezclados formando un material de las siguientes características:

- Tener un CBR, AASHTO T193, mínimo de 30, efectuado sobre muestras saturadas al 95% de compactación, AASHTO T180.
- El tamaño de las piedras que contenga el material no debe exceder los 70 mm ni sobrepasar la mitad del espesor de la capa. No debe tener más del 50% en peso de partículas que pasen el tamiz 40 (0,425mm) ni más del 25% en peso de partículas que pasen el tamiz 200 (0,075mm).
- El equivalente de arena, AASHTO T176, no debe ser menor de 25%.
- La porción que pasa el tamiz 40 (0,425 mm) no debe tener un índice de plasticidad, AASHTO T90, mayor de 6 ni un límite líquido, AASHTO T89, mayor de 25, determinados ambos sobre una muestra preparada en húmedo, AASHTO T146. Cuando las disposiciones especiales lo indiquen expresamente, el índice de plasticidad puede ser más alto, pero en ningún caso mayor de 8.

- El material de subbase debe estar exento de materias vegetales, basuras, terrones de arcilla o sustancias que incorporadas dentro de la capa de subbase puedan causar fallas en el pavimento.

## Base

Es la capa, regularmente, de material selecto que se coloca encima de la subbase o subrasante.

Esta capa permite reducir los espesores de carpeta, dada su función estructural importante, al reducir los esfuerzos cortantes que se transmiten hacia las capas inferiores y funciona como drenante del agua atrapada dentro del cuerpo del pavimento al evitar el bombeo y los cambios de volumen de las capas inferiores. El espesor de la capa base debe estar comprendido entre los 10 y 30 cm.

Dentro de sus principales características y funciones están las siguientes:

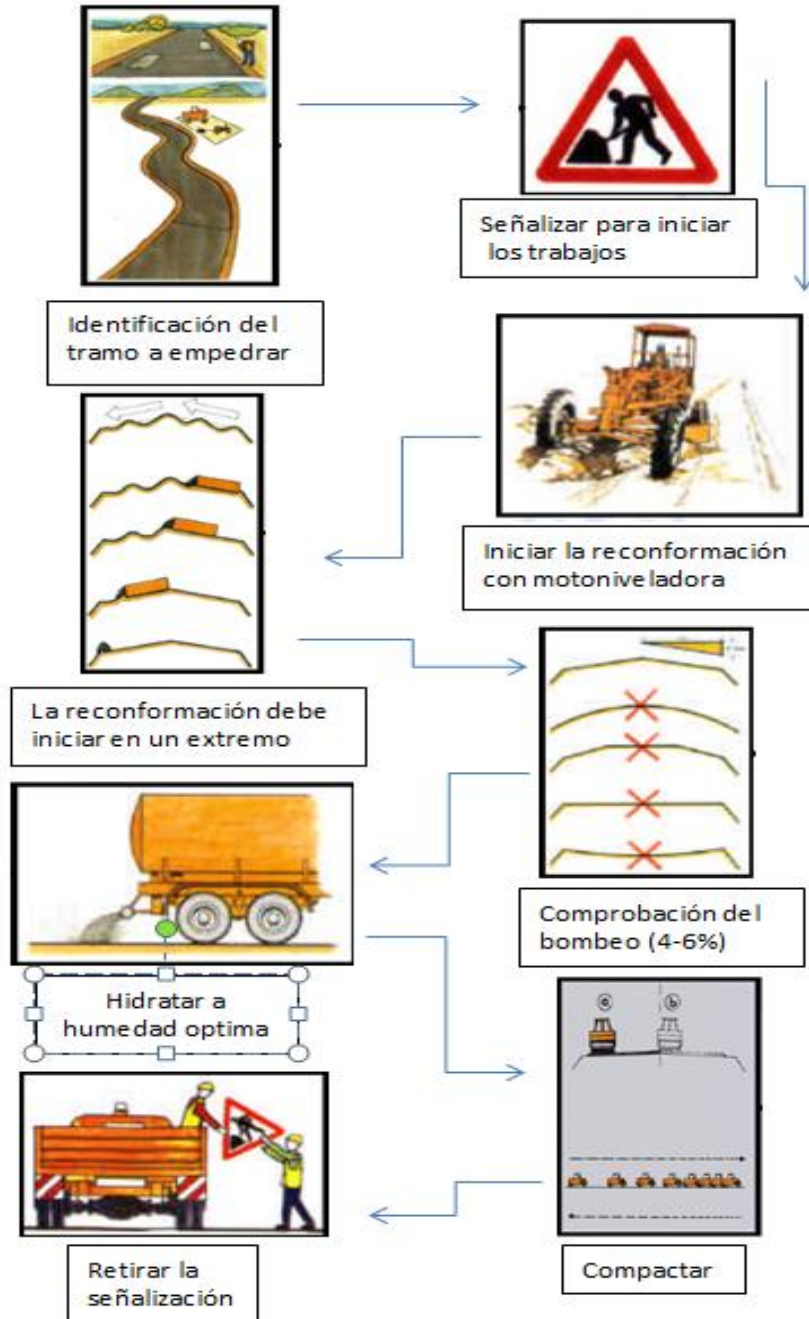
- Transmitir y distribuir las cargas provenientes de la superficie de rodadura.
- Servir de material de transición entre la subbase y la carpeta de rodadura.
- Ser resistentes a los cambios de temperatura, humedad y desintegración por abrasión producidas por el tránsito.
- Tener mayor capacidad que el material de subbase.

El material de base granular que se emplee para la capa base debe llenar los siguientes requisitos:

- Tener un CBR, AASHTO T193, mínimo de 60% efectuado sobre una muestra saturada a 95% de compactación, AASHTO T180 y un hinchamiento máximo de 0,5%, AASHTO T193.
- La porción de agregado retenida en el tamiz 4 (4,75 mm) no debe tener un porcentaje de desgaste por abrasión mayor del 50 a 500 revoluciones, AASHTO T 96.
- No más del 25% en peso del material retenido en el tamiz 4 (4,75 mm) pueden ser partículas planas o alargadas, con una longitud mayor de cinco veces el espesor promedio de dichas partículas.
- Debe estar libre de materias vegetales, basura, terrones de arcilla o sustancias que incorporadas dentro de la capa de subbase o base granular puedan causar fallas en el pavimento.
- El material de la capa de base granular en el momento de ser colocado en la carretera no debe tener en la fracción que pasa el tamiz 40 (0,425mm), incluyendo el material de relleno, un índice de plasticidad mayor de 6 para la base, AASHTO T90, ni un límite líquido mayor de 25, AASHTO T89, determinados ambos sobre una muestra preparada en húmedo, AASHTO T146.
- El material para capa de base granular debe llenar los requisitos de graduación determinados por los métodos AASHTO T27 y AASHTO T11.
- Cuando se necesite agregar material de relleno adicional al que se encuentra naturalmente en el material, para proporcionar características adecuadas de granulometría y cohesión.

Figura 4. **Proceso constructivo**

El Procedimiento que se debe realizar es el siguiente:



Fuente: Manual para construcción y mantenimiento de empedrados. p.9.

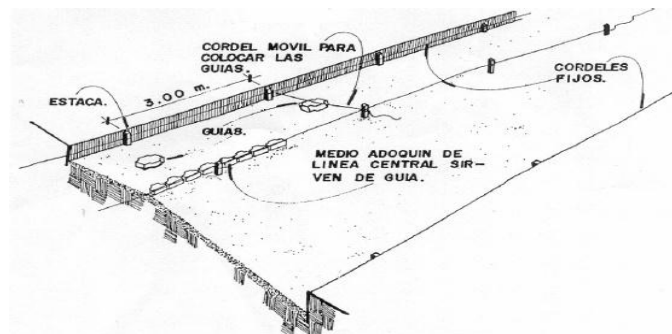
## Cama de asiento

Es una capa no rígida de arena gruesa colocada sobre la capa base que se necesita para sostener y compactar la carpeta de rodadura. Ésta es utilizada únicamente en pavimentos semirrígidos.

La cama de asiento debe poseer las siguientes características:

- Proporcionar un acondicionamiento para los adoquines sobre la capa base, cubriendo todas las irregularidades que ésta pueda tener.
- Brindar apoyo uniforme para toda el área de cada uno de los adoquines.
- Drenar el agua que pueda provenir de la infiltración en las juntas de los adoquines y con ello evitar que dañe la capa base.
- El material debe tener un tamaño máximo de grano de 5 mm y no debe contener materia orgánica ni fina arcillosa.
- El espesor de la capa de arena, una vez compactada, debe ser de 2 a 3 cm.

Figura 5. Cama de asiento



Fuente: Coronado Iturbide, Jorge et. al. Manual Centroamericano para diseño de pavimentos. p. 18.

## Carpeta de rodadura

La carpeta de rodadura de un pavimento adoquinado o empedrado comprende los siguientes elementos:

- Bloques de adoquín prefabricado o piedra bola o cantera
- Bordillo
- Llaves de confinamiento
- Relleno de juntas

Los bloques de adoquín prefabricado se construyen en moldes especiales, que son llenados manual o mecánicamente con una mezcla de concreto que ofrecerá la resistencia requerida para el diseño del pavimento, tomando en cuenta el tipo de tránsito que circula en el lugar.

Existe una diversidad de formas geométricas de bloques de adoquín y todas ellas han sido diseñadas con la finalidad de ir formando la carpeta de rodadura, un bloque seguido de otro de manera que casen entre sí y además presentar una figura estética agradable.

El bordillo es un elemento longitudinal fabricado de concreto (puede ser fundido en el lugar o prefabricado) y es utilizado para dar alineamiento a las calles y banquetas. Funciona como cauce de las aguas superficiales y brinda consolidación y confinamiento a las estructuras de rodadura. Este elemento sobresale de la pista aproximadamente 0,10 m y la parte superior es de forma redondeada para evitar daño a los vehículos y a las personas que transitan por las calles.



Las llaves de confinamiento sirven para delimitar las áreas adoquinadas y ayudan a evitar el deslizamiento y el deterioro de los adoquines. Este elemento estructural se fabrica también de concreto y dependiendo de la pendiente del terreno, se colocan a cada 6,00 m aproximadamente.

El relleno de juntas entre adoquines se realiza con un material que impida el menor movimiento de los bloques entre sí. El relleno se hace con arena fina de río, sin materia orgánica, entre los bloques que están separados de 6 a 10mm. En el sello de las juntas conviene emplear una mezcla de arena fina con arcilla de proporciones entre 5:1 a 10:1 en volumen con el fin de brindar un sello flexible, menos erosionable que la arena sola e impermeable al agua.

### **2.6.1. Clasificación vial**

La siguiente clasificación vial está basada en las Normas de Planificación y Construcción del Instituto de Fomento de Hipotecas Aseguradas (FHA).

- Vía primaria: son los accesos a la urbanización y avenidas tangenciales o perimetrales de tránsito pesado y rápido, sin acceso directo a urbanizaciones o áreas de uso público.
- Vía secundaria: calles de tránsito semipesados y baja velocidad; constituye la vía principal interna de la urbanización y servirá para dar acceso a los diferentes sectores del conjunto.
- Vía terciaria: calles de tránsito liviano y lento; permiten el acceso directo a las áreas de uso público y parqueos colectivos.

- Vía peatonal: calles para el uso exclusivo de personas que se desplazan a pie.

## 2.7. Tablas comparativas

Dada la información anterior se procede a hacer el análisis comparativo.

### 2.7.1. Funcionamiento

De acuerdo a la clasificación vial, el FHA propone los siguientes espesores aceptables de rodadura:

Tabla V. **Espesores aceptables de rodadura**

<b>CATEGORIA</b>	<b>CONCRETO</b>	<b>CARPETA ASFALTICA</b>	<b>TRATAMIENTO ASFALTICO</b>	<b>ADOQUIN</b>	<b>EMPEDRADO</b>
Vías Primarias	15 cm	7.5 cm	Triple	no recom.	no recom.
Vías Secundarias	12 cm	5.0 cm	Doble	12 cm	12 cm
Vías Terciarias	11 cm	3.0 cm	Simple	10 cm	10 cm
Vías Peatonales	7 cm	----	----	8 cm	8 cm
Estacionamientos	10 cm	2.5 cm	Simple	10 cm	10 cm

Fuente: FHA, Normas de planificación y construcción del FHA, p. 173.

- Se puede observar que la función del adoquín y del empedrado, va en proporción al espesor del elemento y según estudios del FHA tanto el adoquín como el empedrado, manejan los mismos espesores aceptables para las diferentes tipos de vías.

- Como se puede observar en la tabla V. el adoquín de hormigón y la piedra no se recomienda para uso en vías primarias, para el resto el adoquín y la piedra deberá de tener un espesor que va desde los 8 cm hasta 12 cm según el tipo de vía.

Tabla VI. **Las pendientes máximas admisibles en función de las velocidades y del tipo de terreno**

Velocidad	40 km/h	60 km/h	Adoquín	Empedrado
<b>Terreno llano</b>	2%	2%	Recomendado	Recomendado
<b>Terreno ondulado</b>	6%	4%	Recomendado	Recomendado
<b>Terreno accidentado</b>	10%	8%	No Recomendado	Recomendado
<b>Terreno muy accidentado</b>	15%	12%	No recomendado	Recomendado

Fuente: elaboración propia.

- Para caminos rurales de velocidades medias promedio y en función de las pendientes máximas permisibles se hacen las recomendaciones de la tabla VI.

Se debe de observar el lugar (para su adaptación).

- Topografía

- Geología
- Clima
- Vegetación
- Tránsito

### 2.7.2. Economía

Por su facilidad de instalación, no requiere de mano de obra especializada. Los materiales que se requieren para su construcción se consiguen fácilmente y no consume derivados del petróleo. Los costos respecto a otros pavimentos se deben comparar siempre a partir de opciones equivalentes estructuralmente.

Tabla VII. **Tabla comparativa de precio por m2**

	<b>ADOQUÍN</b>	<b>EMPEDRADO</b>
<b>PRECIO Q M2</b>	Q 209,16	Q 273,83

Fuente: elaboración propia, presupuesto de tramo carretero Santa Lucía La Reforma, Totonicapán.

### 2.7.3. Durabilidad

Por la calidad que se le exige a los adoquines de concreto y a la piedra de canto, se garantiza su durabilidad y resistencia por acciones de la intemperie.

El adoquín por sí solo tiene una vida útil casi ilimitada; puede estar al servicio por 10 años o más con una reparación menor, mientras que el empedrado puede llegar a casi 20 años con reparación menor.

Tabla VIII. **Resistencias de los elementos**

<b>CATEGORÍA</b>	<b>ESPESOR ADOQUÍN Y PIEDRA</b>	<b>RESISTENCIA ADOQUIN kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>RESISTENCIA PIEDRA kg/cm<sup>2</sup></b>
Vías Primarias	12	245	550
Vías Secundarias	12	210	600
Vías Terciarias	10	175	350
Vías Peatonales	8	175	350
Estacionamientos	10	210	470

Fuente: elaboración propia.

- La tabla anterior indica que si se compara resistencia vs durabilidad la piedra es más durable que el adoquín.

#### **2.7.4. Resistencia al envejecimiento**

Su finalidad es evaluar la resistencia o durabilidad de los materiales ante los principales agentes de deterioro, mediante la reproducción en el laboratorio de las distintas situaciones ambientales en las que pueden verse sometidos.

Se les denomina acelerados porque la acción de las agresiones se reproduce a una escala muy superior a la real, de este modo se pueden reducir los intervalos de tiempos necesarios para poder valorar la capacidad de reacción de los materiales.

Los principales factores de alteración son:

- Factores térmicos: variación de temperatura ambiente.
- Factores hidráulicos: el agua presenta un gran número de propiedades mecánicas y solventes.
- Factores químicos: el O<sub>2</sub> del aire oxida los metales, con el consiguiente hinchamiento de los mismos, el agua de lluvia contiene CO<sub>2</sub> y diversas sales disueltas que cristalizan al evaporarse.
- Contaminación atmosférica: causada por gases y partículas sólidas (originan cambios de forma y color en los materiales pétreos).
- Desgaste por rodadura de tránsito vehicular.

Tabla IX. **Valores mínimos requeridos**

CARACTERÍSTICAS PIEDRA	VALOR REQUERIDO	VS	CARACTERÍSTICA S ADOQUÍN	VALOR REQUERIDO
Abrasión máquina de los ángeles (500 revoluciones)	≤ 40%		Abrasión norma DIN 52108	≤0,3cm
Pérdida de peso mediante 5 ciclos de inmersión y lado de sulfato de sodio	≤ 12%		Flexión individual no menor a	36,7 kg/cm <sup>2</sup>
% de absorción	≤2%		% de absorción	≤7%
Espesor min, máx. del elemento	8,12cm		Espesor min, máx.	10,12cm

Fuente: elaboración propia.

- Los valores anteriores son con base a los requisitos de resistencia para el normativo de construcción del FHA.
- Al mantener los requerimientos mínimos mostrados en la tabla IX valores mínimos requeridos se puede dar una vida útil mayor a los elementos constructivos, dando como resultado una mejor resistencia al envejecimiento.

### 2.7.5. Presupuesto comparativo

El presupuesto está basado en el tramo de Momostenango-Santa Lucía La Reforma. Para este análisis comparativo se propone el mismo diseño para ambos métodos constructivos, siendo la única variable el adoquinado y empedrado.

Tabla X. Presupuesto utilizando adoquín

No.	Descripción	unidad	cantidad	precio u.	total
<b>1</b>	<b>PRELIMINARES</b>				
1.1	Limpieza	M2	7320	Q 2,50	Q 18 300,00
1.2	Topografía	Global	1	Q10 000,00	Q 10 000,00
1.3	Cajuela	M2	7320	Q25,00	Q 183 000,00
1.4	Nivelación (conformación de la subrasante)	M2	7320	Q5,00	Q 36 600,00
<b>2</b>	<b>MEJORAMIENTO DEL TERRENO</b>				
2.1	Colocación de base de Balasto	M3	1098	Q50,00	Q 54 900,00
2.2	Tendido, homogenizado, humedecido y compactado de base	M3	1098	Q75,00	Q 82 350,00
2.3	Colocación de cama de asiento	M3	219,6	Q120,00	Q 26 352,00
<b>3</b>	<b>ADOQUINAMIENTO</b>				
3.1	Adoquín para tráfico pesado	M2	7320	Q95,00	Q695 400,00

Continuación de la tabla X.

3.2	Colocación de adoquín	M2	7320	Q25,00	Q183 000,00
3.3	Construcción de llaves de confinamiento	ML	532	Q50,00	Q26 600,00
3.4	Relleno y sellado de juntas	M3	75	Q90,00	Q6 750,00
4	<b>BORDILLO</b>				
4.1	Construcción de Bordillo	ML	2440	Q95,00	Q231 800,00
5	<b>COLOCACION DE TUBERIA</b>				
5.1	Tubería de 48"	ML	24	Q1 500,00	Q36 000,00
<b>TOTAL</b>					<b>Q1 531 052,00</b>

Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. **Presupuesto utilizando empedrado**

No.	Descripción	unidad	cantidad	precio unitario	total
1	<b>PRELIMINARES</b>				
1.1	limpieza	M2	7320	Q 2,50	Q 18 300,00
1.2	Topografía	Global	1	Q10000,00	Q 10 000,00
1.3	Cajuela	M2	7320	Q25,00	Q 183 000,00
1.4	Nivelación (conformación de la subrasante)	M2	7320	Q5,00	Q 36600,00
2	<b>MEJORAMIENTO DEL TERRENO</b>				
2.1	Colocación de base de Balasto	M3	1098	Q50,00	Q 54900,00
2.2	Tendido, homogenizado, humedecido y compactado de base	M3	1098	Q75,00	Q 82350,00
2.3	Colocación de cama de asiento	M3	366	Q120,00	Q 43920,00
3	<b>EMPEDRADO</b>				
3.1	Empedrado en caminos Rurales	M2	7320	Q130,00	Q951600,00



Continuación de la tabla XI.

3.2	Colocación de Empedrado	M2	7320	Q45,00	Q329400,00
3.3	Construcción de llaves de confinamiento	ML	532	Q50,00	Q26600,00
4	BORDILLO				
4.1	Construcción de Bordillo	ML	2440	Q95,00	Q231800,00
5	COLOCACION DE TUBERIA				
5.1	Tubería de 48"	ML	24	Q1 500,00	Q36 000,00
TOTAL					Q2 004 470,00

Fuente: elaboración propia.

## Propuesta

Se propone que se utilice el método de empedrado para este tramo carretero, ya que aunque tiene un costo más alto de inversión inicial, tendrá un mejor comportamiento ante la influencia de tráfico pesado a largo plazo y un costo menor de mantenimiento preventivo que con el adoquinado.

## 2.8. Impacto ambiental

El impacto ambiental en forma general está asociado a los cambios o efectos en los componentes biológicos, físicos y químicos del medio ambiente natural. Por ello la evaluación del mismo es importante para el desarrollo de un proyecto.

- Descripción del proceso de adoquinado o empedrado.

Recursos naturales que serán utilizados en las diferentes etapas:

- El recurso será el mismo suelo proveniente de las excavaciones que se realicen en las calles.
- Sustancias o materiales que van a ser utilizados en el proceso.

Para la ejecución de los proyectos se utilizará agua en la etapa de conformación de la subrasante, adoquín o piedra bola, cemento, arena, pedrín, block y hierro en las fases de construcción de llaves de confinamiento y cunetas.

- Control ambiental

Residuos y contaminantes que serán generados:

- No se generarán contaminantes, únicamente residuos de suelo provenientes de la excavación.

Desechos sólidos

- Material sobrante de la excavación del suelo para el proyecto de adoquinamiento o empedrado, dicho material será removido del lugar.

Ruidos

- En el proceso de construcción se generarán ruidos provenientes de las máquinas excavadoras y de la manipulación de herramienta.

- Ya finalizada la construcción se generará ruido en el área, el cual no afectará a los vecinos debido a su localización.

#### Contaminación visual

- En el proceso de construcción habrá contaminación visual provocada por la maquinaria, el personal de trabajo y el material que se emplea para la elaboración del proyecto.
- Existirá una modificación al paisaje en todas las calles debido a la implementación del adoquín o empedrado en la capa de rodadura.

En general estos dos elementos tanto el adoquín como la piedra bola, son de bajo grado contaminante ya que no son derivados del petróleo, como lo suelen ser las carpetas asfálticas.

### **2.9. Manejo y mantenimiento**

La capa de rodadura en todo pavimento es quizá el elemento más costoso. Al hacer reparaciones, esta capa se debe destruir y retirar.

En el caso de los pavimentos de adoquines todo el material es recuperable, se puede almacenar y volver a colocar; esto los hace particularmente especiales en proyectos donde las redes de servicio, alcantarillado, acueductos y líneas eléctricas subterráneas no estén completas.

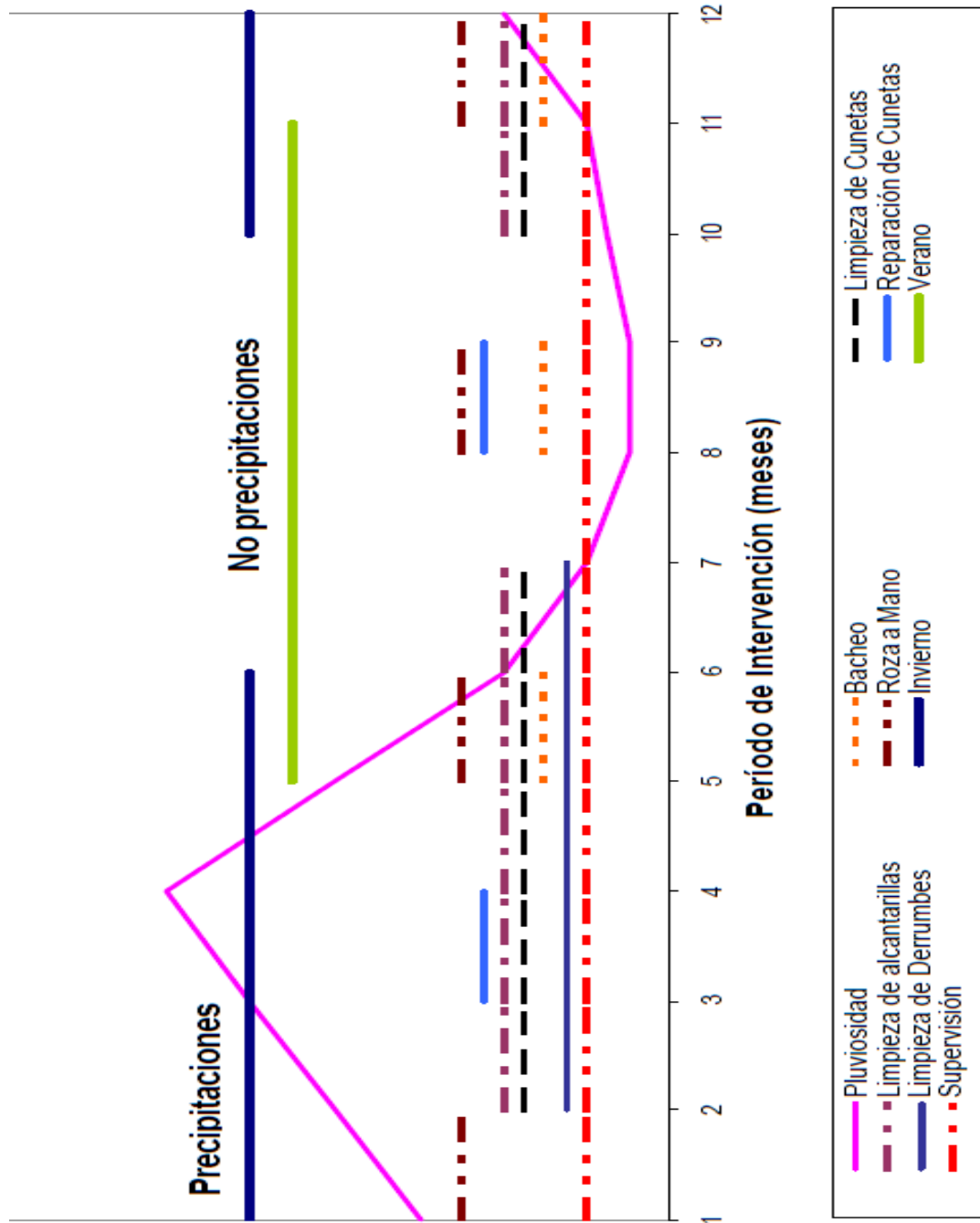
El mantenimiento de este pavimento es muy sencillo; sólo requiere limpiar la vegetación que pueda aparecer en las juntas donde no exista tránsito permanente y llenarlas con arena. No se requiere de sobre capas para mantener un buen nivel de servicio, como el caso de los pavimentos asfálticos.

Deben de mantenerse siempre en cuenta 7 actividades para el mantenimiento:

- Bacheo de empedrado o adoquinado (fugas de agua)
- Limpieza de cunetas
- Limpieza de alcantarillas
- Limpieza de taludes
- Limpieza de derrumbes menores
- Reparación de cunetas
- Supervisión de mantenimiento

Para realizar el mantenimiento, se deben considerar las etapas de lluvia y así programar las actividades, a continuación se muestra una imagen donde se grafica los 6 meses de lluvia versus los 6 meses de verano y cuando deberían realizarse las actividades de mantenimiento:

Figura 6. **Mantenimiento de obra**



Fuente: Manual para la construcción y mantenimiento de empedrados. p. 10.

## **2.10. Limitaciones del sistema de adoquinado y empedrado**

- Debido a la rugosidad superficial que presentan no es recomendable su utilización en calles con velocidades de circulación superiores a 60/65 Km./h. Esta limitación se convierte en ventaja para calles residenciales de baja intensidad de tránsito y poca densidad de semáforos.
- A velocidades mayores el conductor percibe molestas vibraciones que lo obligan a disminuir la marcha ocasionada por el adoquín o piedra según su caso.
- El tiempo de ejecución es lento ya que se tiene un avance promedio es de 15 m<sup>2</sup> por día por albañil en adoquinado y 10 m<sup>2</sup> por día por albañil en empedrado.
- Otra limitación es el fraguado en las llaves de confinamiento y en el empedrado fraguado, ya que para que haya circulación de vehículos se necesita esperar 22 días.
- En el caso del adoquín, en pendientes pronunciadas mayores del 12% no hay tracción en llantas y en época lluviosa se lava el sello de arena que lleva en las juntas, lo que puede ocasionar corrimientos de ciertas secciones de adoquín.

### **3. ANÁLISIS DE SOBREPESO POR VEHÍCULOS DE CARGA**

El principal factor en la determinación del espesor de una estructura de pavimento flexible (adoquín o empedrado) es el tránsito que pasara sobre este, por eso es necesario conocer datos como:

- TPD: Tránsito Promedio Diario en ambas direcciones de todos los vehículos.
- TPDC: Tránsito Promedio Diario de Camiones en ambas direcciones, carga por eje de camiones.
  - El TPDC puede ser expresado como un porcentaje de TPD o como un valor aparte. El dato del TPD se obtiene de contadores especiales de tránsito o por cualquier otro método de conteo.
  - El TPDC solo incluye camiones de seis llantas y unidades simples o combinaciones de tres ejes o más. Como no se incluyen paneles, pick ups, o algún otro camión de dos ejes y cuatro llantas, el número permisible de camiones de todo tipo, tiene que ser mayor que el TPDC tabulado para calles.

Para poder realizar un diseño de vía o carretera, se analizan los diversos factores y las limitaciones de los vehículos y usuarios como elementos de la corriente de tránsito. Se investigan la velocidad, el volumen y la densidad, el

origen y el destino del movimiento, la capacidad de las vía y carreteras, etc. Así se ponen en evidencia la influencia de la capacidad y limitaciones de la vía.

Los pavimentos se proyectan para que resistan determinado número de cargas durante su vida útil. El tránsito está compuesto por vehículos de diferente peso y número de ejes y a los efectos de cálculo, se los transforma en un número equivalente de ejes tipo de 80 KN con el nombre de ESALs (Carga de eje simple equivalente).

Figura 7. **Distribución de carga**



Fuente: Análisis de la sobrecarga de los automotores. p. 9.

### **3.1. Normas y tipos de vehículos pesados**

Las normas, tipos y pesos de vehículos automotores y sus combinaciones vienen regidos por reglamento actual para Guatemala, el cual hace referencia en consejos de ministros que textualmente dice así:



## REGLAMENTO PARA EL CONTROL DE PESOS Y DIMENSIONES DE VEHICULOS AUTOMOTORES Y SUS COMBINACIONES

**Artículo 1º.** Únicamente se permitirá circular en las carreteras del país a los vehículos automotores o combinaciones de éstos que llenen los requisitos establecidos por el presente Reglamento.

**Artículo 2º.** Para los efectos de aplicación de las disposiciones del presente Reglamento se establecen las siguientes definiciones:

Vehículo automotor: Significa todo el vehículo provisto de un dispositivo mecánico de autopropulsión, utilizado normalmente para el transporte de personas o mercancías por carretera y que no marchen sobre rieles o conectado a un conductor eléctrico.

Tractor o cabezal: Es el vehículo automotor destinado a soportar y halar un semiremolque.

Semiremolque: Es el vehículo que carece de eje delantero que descansa la parte frontal de su peso, en un tractor o cabezal que está destinado a ser halado.

Remolque: Es el vehículo que soporta la totalidad de su peso sobre sus propios ejes y que no está destinado a ser halado por un vehículo automotor.

Vehículo articulado: Es el compuesto por un tractor o cabezal y un semiremolque.

Combinación de vehículos: Es un vehículo articulado con un remolque o camión con un remolque.

Rueda de doble ancho: Es aquella cuyo ancho sea mayor de 38 centímetros.

Eje simple: Es el eje que está compuesto por dos ruedas, una en cada extremo del eje.

Eje simple de Rueda Doble: Es el que está compuesto de cuatro ruedas de igual medida de fabricación, dos ruedas en cada extremo del eje; o una rueda doble ancho en cada extremo del eje.

Eje doble (Tándem): Es el conjunto de dos ejes simples de ruedas dobles, con una separación de centros comprendida entre 1.00 y 2.45 metros.

Eje doble (Tándem) Tipo A: Es aquel que dispone de un mecanismo que transfiere a uno de sus ejes no menos del 40% de los pesos que soporta el conjunto.

Eje doble (Tándem) Tipo B: Es aquel que no dispone de un mecanismo de transferencia.

Eje triple: Es el conjunto de tres ejes simples de rueda doble con una separación de sus centros comprendida entre 1.00 y 2.45 metros.

Eje triple tipo A: Es aquel que dispone de un mecanismo que transfiere como mínimo el 28% del peso total del conjunto a cada uno de los ejes.

Eje triple tipo B: Es aquel que no dispone de un mecanismo de transferencia.

Peso bruto vehicular (PBV): Es la suma del peso del vehículo o combinación de vehículos y la carga que el mismo transporta, incluido el peso del conductor y cualesquiera otras personas transportadas al mismo tiempo.

Acoplamiento: Mecanismo de conexión que une el vehículo tractor con el vehículo remolcado.

**Artículo 3º.** Abreviaturas y definiciones de vehículos tipo:

C-2: Es un camión o autobús, consiste en un automotor con eje simple (eje direccional) y un eje de rueda doble (eje de tracción).

C-3: Es un camión o autobús, consistente en un automotor con eje simple (eje direccional) y un eje doble o tándem (eje de tracción).

C-4: Es un camión o autobús, consistente en un automotor con eje simple (eje direccional) y un eje triple (eje de tracción).

T-2: Es un tractor o cabezal con un eje simple (eje direccional) y un eje simple de rueda doble (eje de tracción).

T-3: Es un tractor o cabezal con eje simple (eje direccional) y un eje doble o tándem (eje de tracción).

S-1: Es un semirremolque con un eje trasero simple de rueda doble.

S-2: Es un semirremolque con un eje trasero doble (tándem).

S-3: Es un semirremolque con un eje trasero triple.

R-2: Es un remolque con un eje delantero simple o de rueda doble y un eje trasero simple o de rueda doble.

R-3: Es un remolque con un eje delantero simple o de rueda doble y un eje trasero doble (tándem).

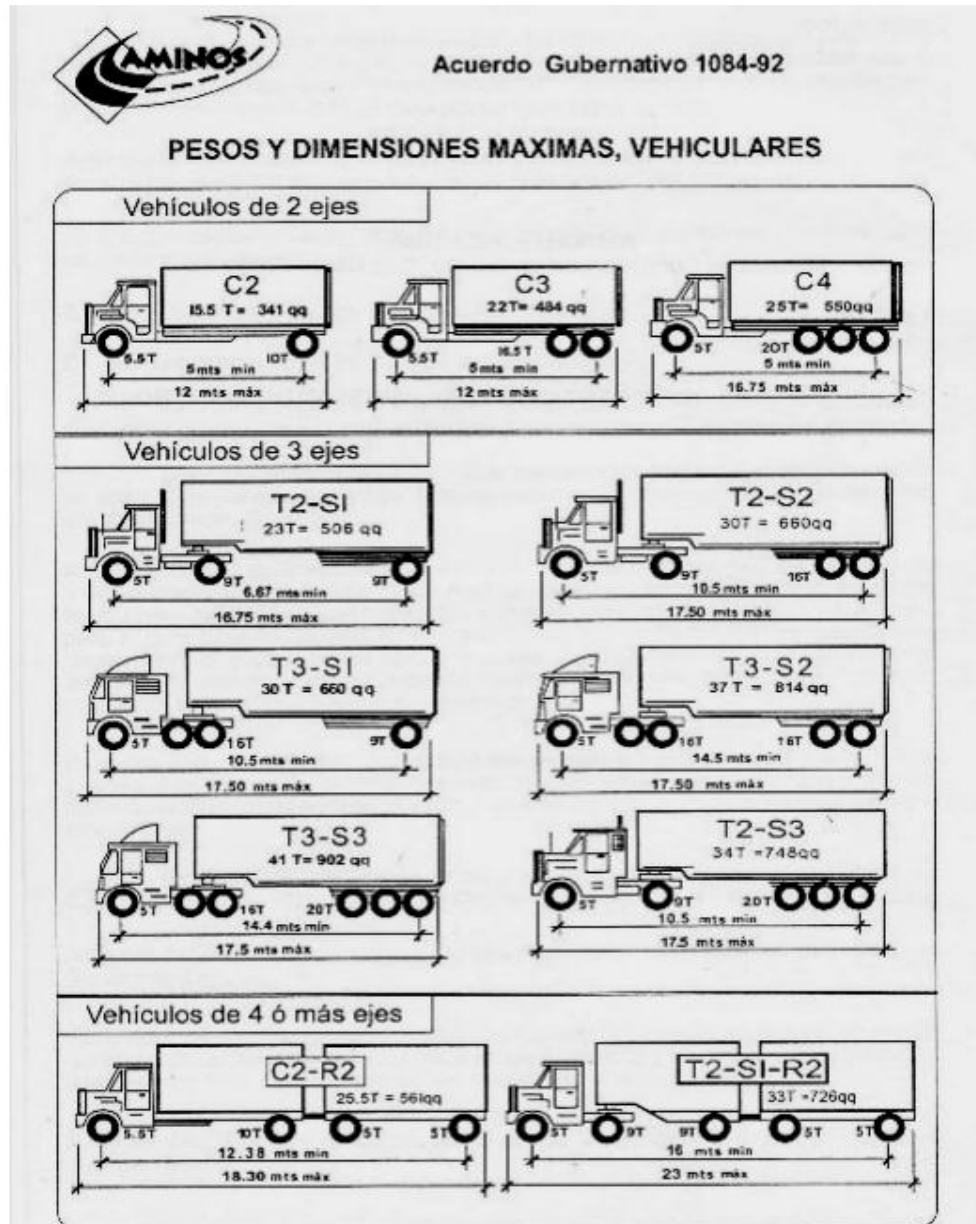
R-4: Es un remolque con dos ejes de rueda doble o tándem en cada uno de sus extremos.

**Artículo 4º.** Los vehículos y combinaciones no deberán exceder el peso bruto vehicular que señalen sus fabricantes y el artículo 5º. De este Reglamento.

**Artículo 5º.** Pesos y Dimensiones:

Se permitirá una variación hasta el 8% del peso por eje indicado en los tipos de vehículos C2 y C3 y el 5% para los otros tipos de vehículos, siempre que el peso bruto vehicular no exceda del peso máximo autorizado en este Reglamento.

Figura 8. Pesos y dimensiones máximas



Fuente: Dirección General de Caminos, DGC. Reglamento para el control de pesos y dimensiones de vehículos automotores y sus combinaciones. p.19.

Se permitirá que vehículos o combinaciones de vehículos circulen por carreteras con un peso bruto vehicular hasta los indicados en la siguiente tabla:

Tabla XII. **Separación de ejes más distantes**

VEHÍCULO	SEPARACIÓN MÍNIMA ENTRE EJES MÁS DISTANTES (METROS)	PESO TOTAL AUTORIZADO (KILOGRAMOS)
C-2		15 500
C-3	5,00	22 000
C-3 Rueda de doble ancho	5,00	26 000
C-4	5,00	25 000
T2-S1	6,67	23 000
T2-S2	10,5	30000
T2-S3	10,5	34 000
T3-S1	10,0	30 000
T3-S2	14,40	37 000
T3-S3	14,40	41 000
C2-R2 (remol.C/rueda sencilla)	12,38	25 500
C2-R2 (remol. C/rueda sencilla y rueda doble)	12,38	27 500
C2-R2 (remol.C/rueda doble)	12,38	29 500
C3-R2 (remol.C/rueda sencilla)	14,40	32 000
C3-R2 (remol.C/rueda sencilla y rueda doble)	14,40	34 000
C3-R2 (remol.C/rueda doble)	14,40	36 000
C3-R3 (remol.C/rueda sencilla)	14,40	37 000
C3-R3 (remol.C/rueda sencilla y rueda doble)	16,00	39 000
T2-S1R2 (remol.C/ rueda sencilla)	16,00	32 000
T2-S1R2 (remol.C/rueda sencilla y rueda doble)	16,00	35 500
T2-S1R2 (remol.C/rueda doble)	16,00	38 000
T3-S1R2 (remol.C/rueda sencilla)	16,00	40 000
T3S1R2 (remol.C/rueda sencilla y rueda doble)	16,00	42 500
T3-S1R2 (remol.C/rueda doble)	16,00	45 000
T3-S1-R4 (remol.C/ejes tandem)	16,00	50 000
T3-S2-R2 (remol.C/rueda sencilla)	16,00	47 000
T3-S2-R2 (remol.C/rueda sencilla y rueda doble)	16,00	49 500
T3-S2-R2 (remol.C/rueda doble)	16,00	52 000
T3-S2-R4 (rémol C/ejes tándem)	16,00	57 000

Fuente: Reglamento para el control de pesos y dimensiones de vehículos automotores y sus combinaciones. p. 6.

- Pesos máximos autorizados por eje para remolques:

#### Combinados con Vehículos Tipo C2 y C3

- Eje sencillo rueda simple 5 000 kilogramos
- Eje sencillo rueda doble 7 000 kilogramos
- Eje tándem 10 000 kilogramos

#### Combinados con Vehículos Tipo T-S-R

- Eje sencillo rueda simple 5 000 kilogramos
  - Eje sencillo rueda doble 7 000 kilogramos
  - Ejes Tándem 10 000 kilogramos
  - Eje de rueda de doble ancho 10 000 kilogramos
- El vehículo o combinación de vehículos cuyas separaciones entre ejes sea menor que la indicaba anteriormente, su peso máximo permisible se calculará por medio de la fórmula:

$$W=1,000(LN+2.5N+5.5) \\ N1$$

En donde:

L= separación entre ejes más distantes, en metros

N= número de ejes simples, (para vehículos de más de 5 ejes se usará N=5).

La fórmula anterior, también se aplicará para determinar el peso máximo permisible de cualquier grupo de dos o más ejes consecutivos, salvo lo ya previsto para el eje doble (tándem) y el eje triple.

- No se permitirá la circulación de vehículos o combinaciones de vehículos, cuya separación entre ejes más distantes sea inferior a las siguientes:

Tabla XIII. **Separación de ejes mínima**

TIPO DE VEHICULOS	LONGITUD PERMISIBLE P/CIRCULACIÓN (METROS)
C-2	2,40
C-3	3,00
C-4	3,50
T2-S1	6,00
T2-S2	8,00
T2-S3	8,50
T3-S1	8,00
T3-S2	9,00
T3-S3	9,50
C2-R2	10,50
C3-R2	12,50
C3-R3	14,00
T2-S1-R2	14,00
T3-S1-R2	14,00
T3-S2-R2	14,00
T3-S2-R4	14,00
T3-S1-R4	14,00

Fuente: Reglamento para el control de pesos y dimensiones de vehículos automotores y sus combinaciones. p. 7.



Tabla XIV. Dimensiones máximas permitidas

TIPO DE VEHICULO MAXIMA	LONGITUD (METROS)	TOTAL
C-2 .....		12,00
C-3 .....		12,00
C-4 .....		16,75
T2-S1 .....		16,75
T2-S2 .....		17,50
T2-S3 .....		17,50
T3-S1 .....		17,50
T3-S2 .....		18,45
T3-S3 .....		18,45
C2-R2.....		18,30
C3-R2.....		18,30
C3-R3.....		18,30
T2-S1-R2.....		23,00
T3-S1-R2.....		23,00
T3-S1-R4 .....		23,00
T3-S2-R2.....		23,00
T3-S2-R4.....		23,00
Otras Combinaciones.....		18,30

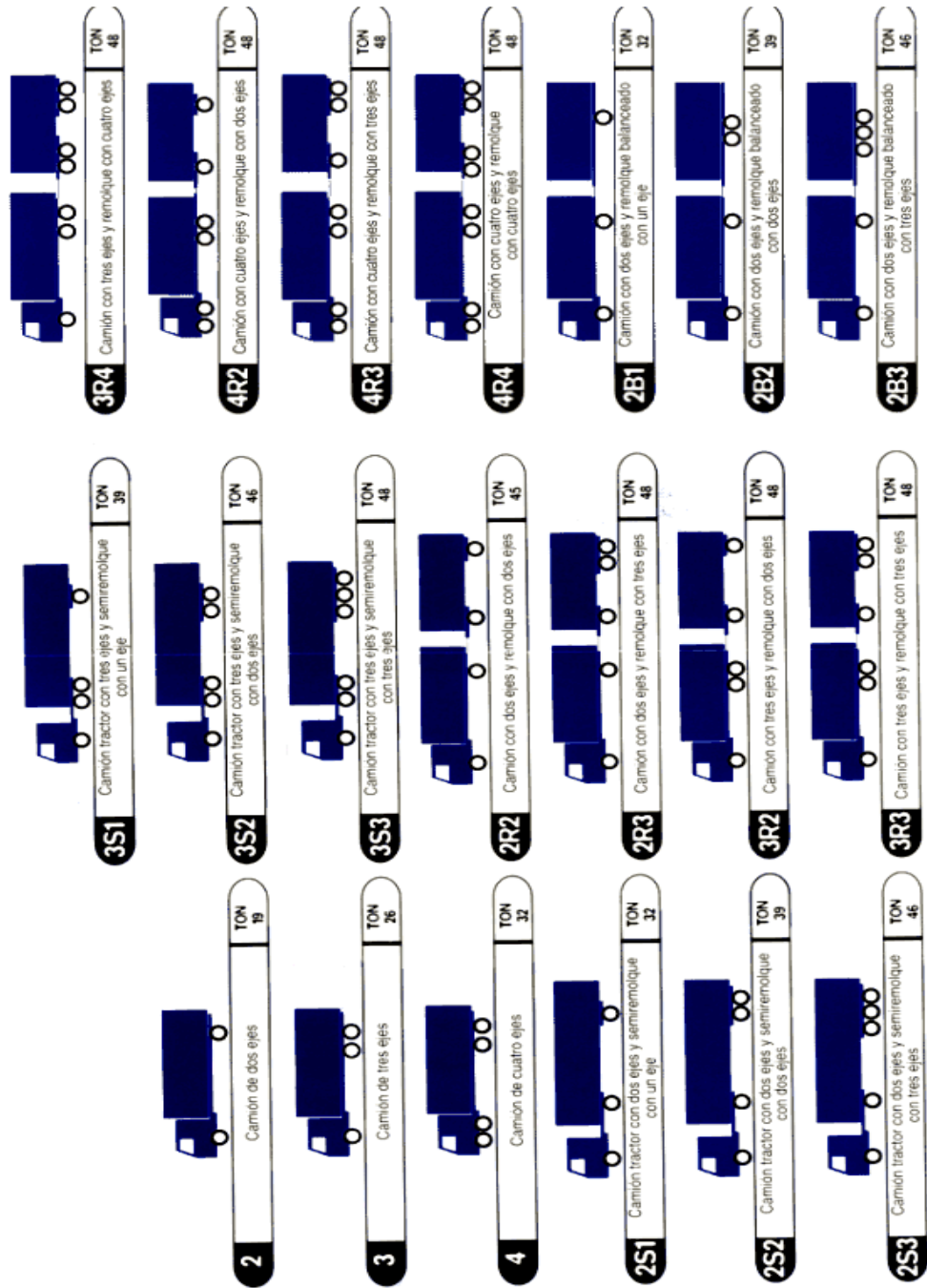
Fuente: Reglamento para el control de pesos y dimensiones de vehículos automotores y sus combinaciones. p. 8.

Ancho.....2,60 metros  
 Alto.....4,15 metros

- En los vehículos tipo C2 y C3 se permitirá que la carga sobresalga del vehículo un metro hacia delante y/o hacia atrás. En los otros tipos de vehículos también se permitirá lo anterior, siempre que no exceda la longitud total máxima permitida a cada tipo de vehículo.

- En caso de desperfectos mecánicos, un vehículo de los previstos en el presente reglamento, podrá remolcar a otro; siempre que al así hacerlo, no sobrepase la combinación de ambos, la longitud total de 22 metros, debiéndose utilizar en el remolque equipos adecuados que mantengan la seguridad del tránsito. En tal situación se le aplicarán los correspondientes pesos por eje a cada uno de los vehículos.
- Además de las limitaciones indicadas anteriormente, el peso total de cualquier vehículo o combinación de vehículos, no deberá ser mayor que el calculado en una relación de 182 kilogramos por caballo de fuerza al embrague o su equivalente en caballos de fuerza del motor.
- Todo remolque o semiremolque, incluyendo cualquier carga que contenga, no deberá excederse en una longitud total que incluya el bumper trasero de 13,75 metros.

Figura 9. Tipos de transporte por ejes



Fuente: Transporte, Tipos por: Dexi Argüelles, p.125.

### **3.2. Factores equivalentes de carga**

El Método AASHTO tiene sus orígenes en el AASHO Road Test, como fuente primaria de los datos utilizados para considerar políticas de transporte y diseño estructural de caminos.

El concepto de convertir un tránsito mixto en un número de ESALs de 80 KN fue desarrollado en el Road Test de la AASHO, en este ensayo se cargaron pavimentos similares con diferentes configuraciones de ejes y cargas para analizar el daño producido.

Así el factor equivalente de carga o LEF es un valor numérico que expresa la relación entre la pérdida de serviciabilidad causada por una dada carga de un tipo de eje y la producida por el eje estándar de 80 KN en el mismo eje.

Entre los términos que definen los principales conceptos utilizados en el Método AASHTO, sobresalen los siguientes:

- Eje de Carga Simple Equivalente, en inglés: Equivalent Single Axial Load, ESAL, surgido del AASHO Road Test, a través del análisis del gran volumen de datos recopilados entre 1958 y 1961.
- Número Estructural, en inglés: Structural Number SN, es definido por AASHTO como un número abstracto que representa la resistencia estructural de un pavimento, para una combinación dada de las características de materiales, ESAL, Pt y condiciones ambientales.

- Factor Equivalente de Carga, en inglés: Load Equivalent Factor, LEF, es un valor numérico que expresa la relación entre la pérdida de serviciabilidad, causada por una carga dada de un tipo de eje y la producida por el eje estándar de 18 000 libras (80 kN o 8,16 t).
- Índice de Serviciabilidad Final del Pavimento,  $P_t$ , es un número abstracto que para un pavimento viejo con señales de deterioro oscila entre 2,0 y 3,0. El Índice de Serviciabilidad Inicial del Pavimento nuevo,  $P_o$ , generalmente se encuentra entre 4,0 y 5,0, siendo la variación entre  $P_o$  y  $P_t$  conocida como pérdida de la serviciabilidad para la cual fue diseñado.
- La siguiente fórmula permite conocer el valor de un eje con carga conocida en términos de eje equivalente de 18 kips.

Figura 10. Aplicación de carga por eje

$$\frac{W_x}{W_{18}} = \left[ \frac{L_{18} + L_{2s}}{L_x + L_{2x}} \right]^{4.79} \left[ \frac{10^{G/\beta_x}}{10^{G/\beta_{18}}} \right] [L_{2x}]^{4.33}$$

W = Aplicación de carga por eje

L<sub>x</sub> = Factor equivalente de carga bajo evaluación (kips)

L<sub>18</sub> = 18 (valor estándar de carga en kips)

L<sub>1</sub> = 1 (código configuración de ejes simple)

L<sub>2</sub> = 2 (código configuración de ejes tandem o doble)

L<sub>3</sub> = 3 (código configuración de ejes triple)

1 = single axle

2 = tandem axle

3 = triple axle (added in the 1986 AASHTO Guide)

x = axle load equivalency factor being evaluated

s = code for standard axle = 1 (single axle)

$$G = \log \left( \frac{4.2 - p_t}{4.2 - 1.5} \right) \quad \text{a function of the ratio of loss in serviceability at time, } t, \text{ to the potential loss taken at a point where } p_t = 1.5$$

P<sub>t</sub> = "terminal" [serviceability index](#) (point at which the pavement is considered to be at the end of its useful life)

Fuente: American Association of State Highway and Transportation Officials. A Policy on Geometric Design of Highways and Streets.p. 905.

El valor de los ejes equivalentes acumulados para un período de diseño determinado sirve para determinar la duración de la estructura de pavimento, ya que los diferentes tipos de las mismas tienen una duración que depende de la intensidad de su uso y los cuidados que se tengan en el control de cargas y mantenimiento. En buenas condiciones se puede lograr el Índice de Serviciabilidad final de diseño.

En el presente trabajo se consideran para el cálculo de ESAL que todo el TPDA de vehículos pesados lleva carga completa. Al asumir que todos los viajes son cargados se refleja un mayor valor de ESAL, el aplicar esta carga se considera como un factor de seguridad en el diseño del pavimento.

Las diferentes cargas actuantes sobre un pavimento producen diferentes tensiones y deformaciones en el mismo. Además, variados espesores de pavimentos y materiales responden de distinta manera a una misma carga.

Como diferentes cargas producen diferentes tensiones y deformaciones en el pavimento, las fallas serán distintas. Para tener en cuenta esta diferencia, el tránsito es reducido a un número equivalente de ejes de una determinada carga, que producirán el mismo daño que toda la composición del tránsito. Esta carga tipo según AASHO es de 80 kN, 18 Kips o 8.16 toneladas por eje, la conversión se hace a través de los factores equivalentes de carga LEF.

En las siguientes tablas se muestra el cálculo efectuado para determinar el ESAL para un período de diseño de 10 años en la estación de conteo 1 a partir del tránsito promedio diario anual proyectado para el 2012, obtenido por medio de los conteos de tránsito (columna A), el cual al ser multiplicado por el factor de crecimiento, Growing Factor (columna B), de la fórmula de la AASHTO que considera "n" como número de años y "g" como tasa anual crecimiento, también se muestra como se obtiene el tránsito proyectado a un período de 10 años, multiplicando el valor TPDA por los 365 días del año y dicho valor a su vez multiplicado por los factores de crecimiento (columna C), de distribución por pista o carril, L.D. (columna E), equivalentes por eje (columna F) y de camión (columna G) permite conocer el valor ESAL para ese período de diseño (columna I).

Tabla XV. TPDA tramo carretero

**TRANSITO MENSUAL**

Mes	liviano	pick-up	C-2	C-3	C-4	T3-S2	T3-S3	Microbuses	buses	TOTAL
enero	30070	29543	10323	1209	248	8463	465	3317	1116	84754
febrero	30320	29743	10558	1449	463	8700	706	3538	1336	86813
marzo	30623	30041	10664	1463	468	8787	713	3573	1349	87682
abril	30401	29868	10437	1222	251	8556	470	3353	1128	85686
mayo	30010	29484	10302	1207	248	8446	464	3310	1114	84584
junio	30040	29513	10313	1208	248	8455	465	3314	1115	84669
julio	30461	29927	10457	1225	251	8573	471	3360	1131	85856
agosto	30311	29779	10406	1219	250	8531	469	3344	1125	85432
septiembre	29679	29159	10189	1193	245	8353	459	3274	1101	83652
octubre	29649	29129	10178	1192	245	8345	458	3271	1100	83567
noviembre	30521	29986	10478	1227	252	8590	472	3367	1133	86025
diciembre	30671	30134	10529	1233	253	8632	474	3383	1138	86449
<b>TOTAL</b>	<b>362756</b>	<b>356307</b>	<b>124834</b>	<b>15047</b>	<b>3420</b>	<b>102430</b>	<b>6086</b>	<b>40404</b>	<b>13887</b>	<b>1025171</b>
<b>TPDA</b>	<b>994</b>	<b>976</b>	<b>342</b>	<b>41</b>	<b>9</b>	<b>281</b>	<b>17</b>	<b>111</b>	<b>38</b>	<b>2809</b>

tasas ponderadas de Crecimiento Promedio Anual

12,8%	8,7%	3,5%	3,8%	2,9%	2,7%	2,00%	4,5%	4,00%
-------	------	------	------	------	------	-------	------	-------

Fuente: elaboración propia.



Tabla XVI. Volumen diario de tránsito

Proyección del TPDA al año 2022 utilizando datos de 2012 (periodo n=10años)

No.	Tipo de Vehículo	TPDA 2012	% tipo de Vehículo	Tasa de crecimiento anual (g)	TPDA 2022	TPDA 2022 Vehículos Pesados
1	Vehículo liviano	994	35.4%	12.80%	9668320.00	
2	Pick-up	976	34.7%	8.70%	11055724.00	
3	C2	342	12.2%	3.50%	2817591.00	10.08
4	C3	41	1.5%	3.80%	378063.16	1.35
5	C4	9	0.3%	2.90%	70231.03	0.25
6	T3-S2	281	10.0%	2.70%	2355196.30	8.43
7	T3-S3	17	0.6%	2.00%	148920.00	0.53
8	Microbuses	111	4.0%	4.50%	1035383.33	
9	Buses	38	1.4%	4.00%	398762.50	1.43
TPDA		2,809	100.0%		27928191.32	6168764.49

FACTOR DE DISTRIBUCIÓN POR DIRECCIÓN O SENTIDO (DD) 0.5

FACTOR DE DISTRIBUCIÓN POR PISTA O CARRIL (LD) 1

FACTOR DE CAMIÓN (TRUCK FACTOR, TF) 1

FACTOR DE CRECIMIENTO (GROWING FACTOR, GF)

formula AASHTO

$$GF = \frac{(1+g)^n - 1}{g}$$

n: numero de años

g: tasa anual de crecimiento

$$GF = \frac{(1+15,9)^{10} - 1}{15,9}$$

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. Factores equivalentes por eje (AASHTO)

	Eje 1	Eje 2	Eje 3	F.E. TOTAL
liviano	0.0001	0.0001		0.0002
pick-up	0.0011	0.0018		0.0029
C-2	0.222	2.09		2.312
C-3	0.222	1.38		1.602
C-4	0.1084	1.274	1.274	2.6564
T3-S2	0.1084	1.274	1.274	2.6564
T3-S3	0.1084	1.274	1.274	2.6564
Microbuses	0.0011	0.0018		0.0029
buses	0.3005	0.207		0.5075

Pt= 2.5  
NE= 4.0

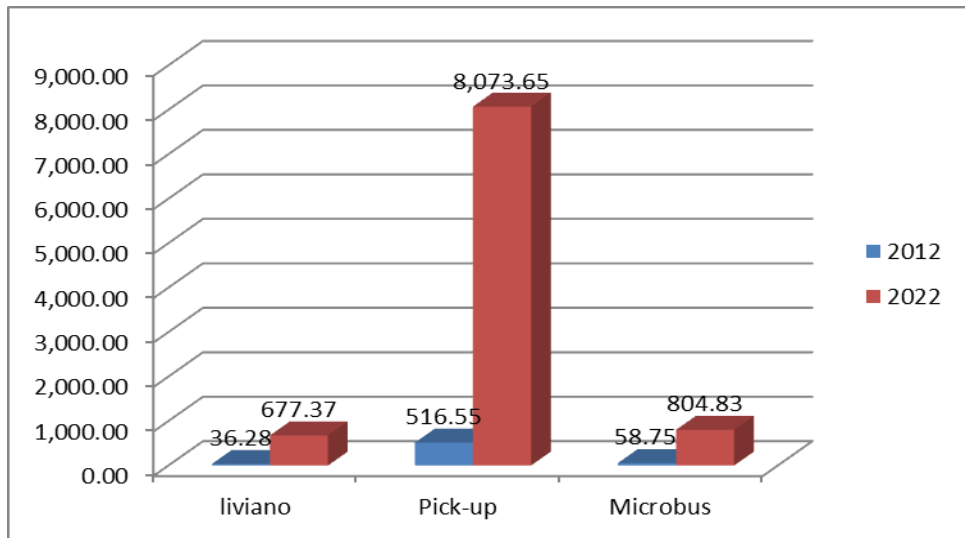
No.	A	B	C=A*B*365	D	E	F	G	A*365*D*E*F*G	C*D*E*F*G	% ESALS	% Tipo de Vehículo		
Tipo de Vehículo	TPDA 2012	Tasa de crecimiento anual (g)	Factor de Crecimiento	TPDA 2012	D/D	L.D.	Factor equivalente	Factor Camion	ESAL 2012	ESAL 2012			
1	Vehículo liviano	994	0.13	18.67	673662.70	0.50	1.00	1.00	0.00	36.28	677.37	0.002%	35.40%
2	Pick-up	976	0.09	15.63	556803.120	0.50	1.00	1.00	0.00	516.55	8073.65	0.029%	34.70%
3	C2	342	0.04	13.71	1711419.30	0.50	11.00	1.00	2.31	158738.28	21762407.82	90.586%	12.20%
4	C3	41	0.04	12.89	192898.85	0.50	1.00	1.00	1.60	11986.97	154511.98	0.684%	1.50%
5	C4	9	0.03	11.72	38500.20	0.50	1.00	1.00	2.66	4363.14	51135.97	0.249%	0.30%
6	T3-S2	281	0.03	12.60	1292319.00	0.50	1.00	1.00	2.66	136226.83	1716458.10	7.770%	10.00%
7	T3-S3	17	0.02	10.50	65152.50	0.50	1.00	1.00	2.66	8241.48	86535.55	0.470%	0.60%
8	Microbuses	111	0.05	13.70	555055.50	0.50	1.00	1.00	0.00	58.75	804.83	0.003%	4.00%
9	Buses	38	0.04	12.00	166440.00	0.50	1.00	1.00	0.51	3519.51	42234.15	0.209%	1.40%
		728								1751676.21	23813283.56	100.00%	100.00%
										99.96%	99.95%		

TOTALS PARA PERIODO DE DISEÑO DE 10 AÑOS  
PORCENTAJE ESAL VEHICULOS PESADOS

Fuente: elaboración propia.

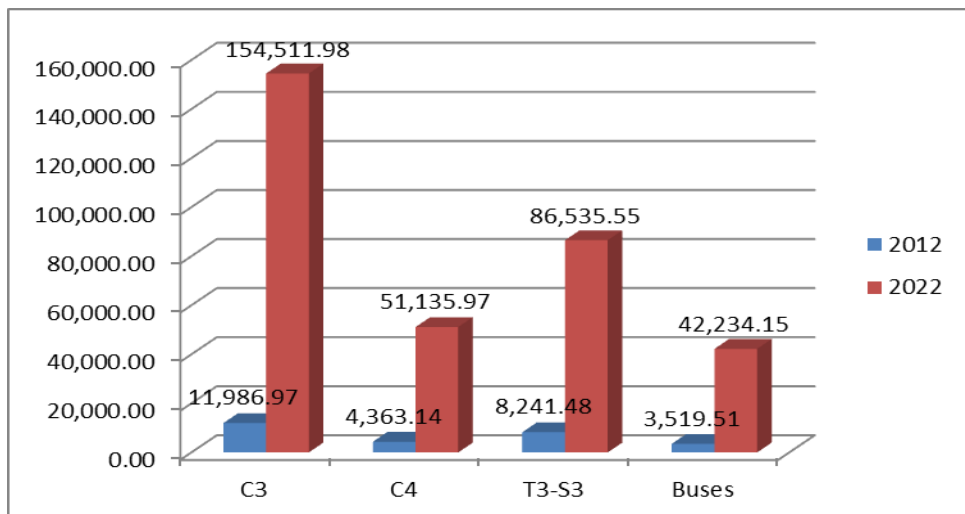
Gráficas de análisis comparativo de ESALs 2012-2022

Figura 11. Comparación de vehículos livianos



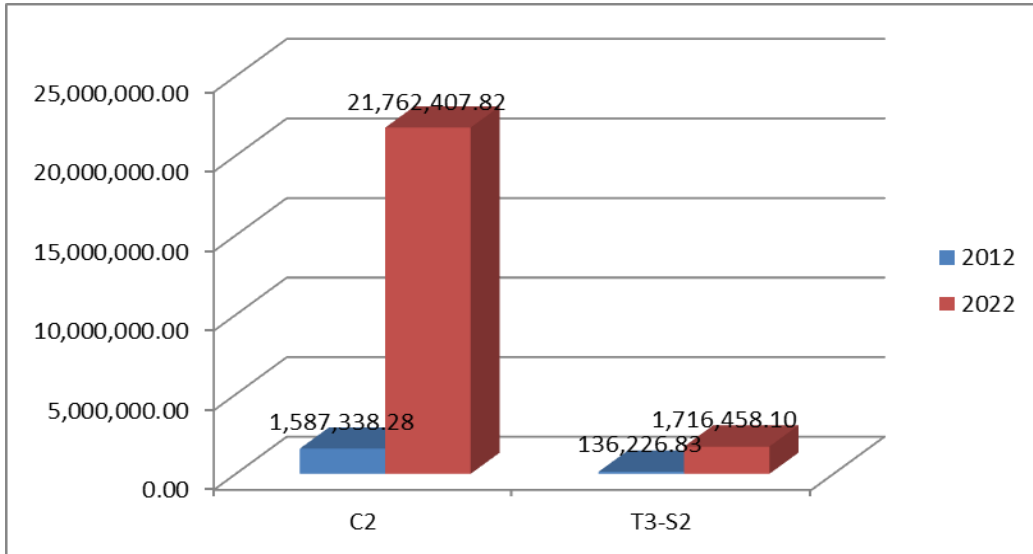
Fuente: elaboración propia.

Figura 12. Comparación de vehículos con más de 2 ejes



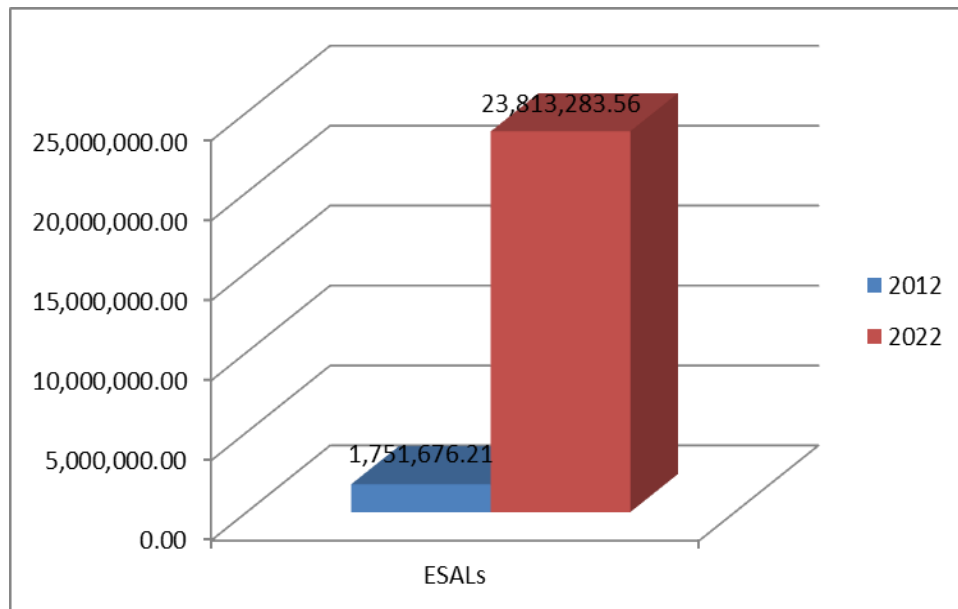
Fuente: elaboración propia.

Figura 13. **Comparación de transporte de mayor aumento de ESALs**



Fuente: elaboración propia.

Figura 14. **Comparación total de aumento de ESALs**



Fuente: elaboración propia.

En las gráficas anteriores resalta la diferencia del comportamiento entre ESAL actual y el de 10 años después; para los primeros 10 años se muestran diferencias al oscilar en un rango de 650 a 20 millones de ESALs, lo que indica un crecimiento de más de 12 veces del ESAL en un lapso de 10 años, debido a la tasa de crecimiento vehicular. Esto indica un mayor desgaste del pavimento, que requerirá una mayor inversión en mantenimiento en el período de 10 a 20 años.

Si bien el valor de ESAL es resultado directo de la cantidad de vehículos pesados, se observa que el porcentaje del transporte pesado tiene rangos de 99,95% a 99,96%, indicando lo anterior la carga del transporte pesado pese a ser menor del 30% del TPDA, es causante del 99,95% de los ejes equivalentes de 18 000 libras, por lo que mientras mayor sea el porcentaje de transporte pesado mayor será el valor ESAL, no importando si el tránsito liviano se incrementa ya que éste no incide con la misma proporción sobre dicho valor.

La incidencia del incremento de la carga sobre el valor ESAL es en proporción geométrica, ya que el valor de la sobre carga medida  $C_m$  sobre la permitida  $C_p$ , se incrementa a la 4ª potencia, el espesor o NE aportado por el pavimento existente no varía a lo largo del tiempo, el comportamiento del espesor o NE entre 2012 y 2022 se tomó como lineal y no hay otros factores externos que incidan sobre el comportamiento de las variables analizadas.

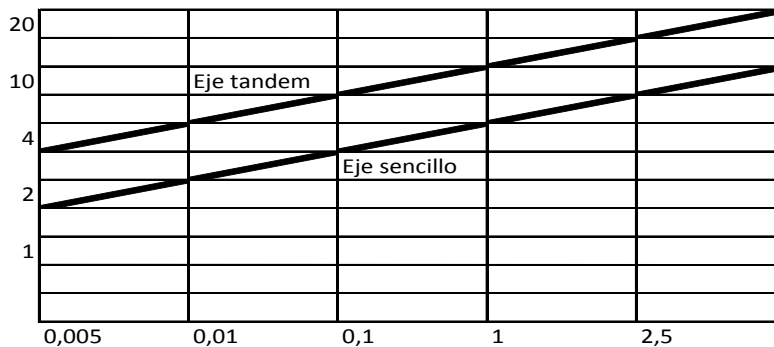
### 3.3. Problemas de deterioro por sobrecarga

Los impactos del tráfico de carga, igual que los que se generan en el de automóviles y autobuses, afectan tanto a los propios vehículos como a su entorno. La congestión que resulta de los flujos vehiculares en aumento, reduce la velocidad de los vehículos a la vez que se generan emisiones que dañan la salud y el medio ambiente.

Mientras que la congestión y las emisiones contaminantes son típicos efectos negativos del tránsito de automotores que combinan costos privados y sociales, los retrasos en la entrega de mercadería y el daño al camino, son impactos negativos del autotransporte de carga. Los camiones de carga disminuyen su velocidad a medida que más toneladas llevan, lo que aumenta sus tiempos de recorrido.

El daño estructural producido por las cargas aumenta rápidamente al aumentar la carga por eje. A este respecto, la información de la gráfica de Equivalencias es incluyente, ya que un eje sencillo provoca el mismo deterioro que 12 tandems que pesan lo mismo que él.

Figura 15. **Equivalencias**



Fuente: elaboración propia.

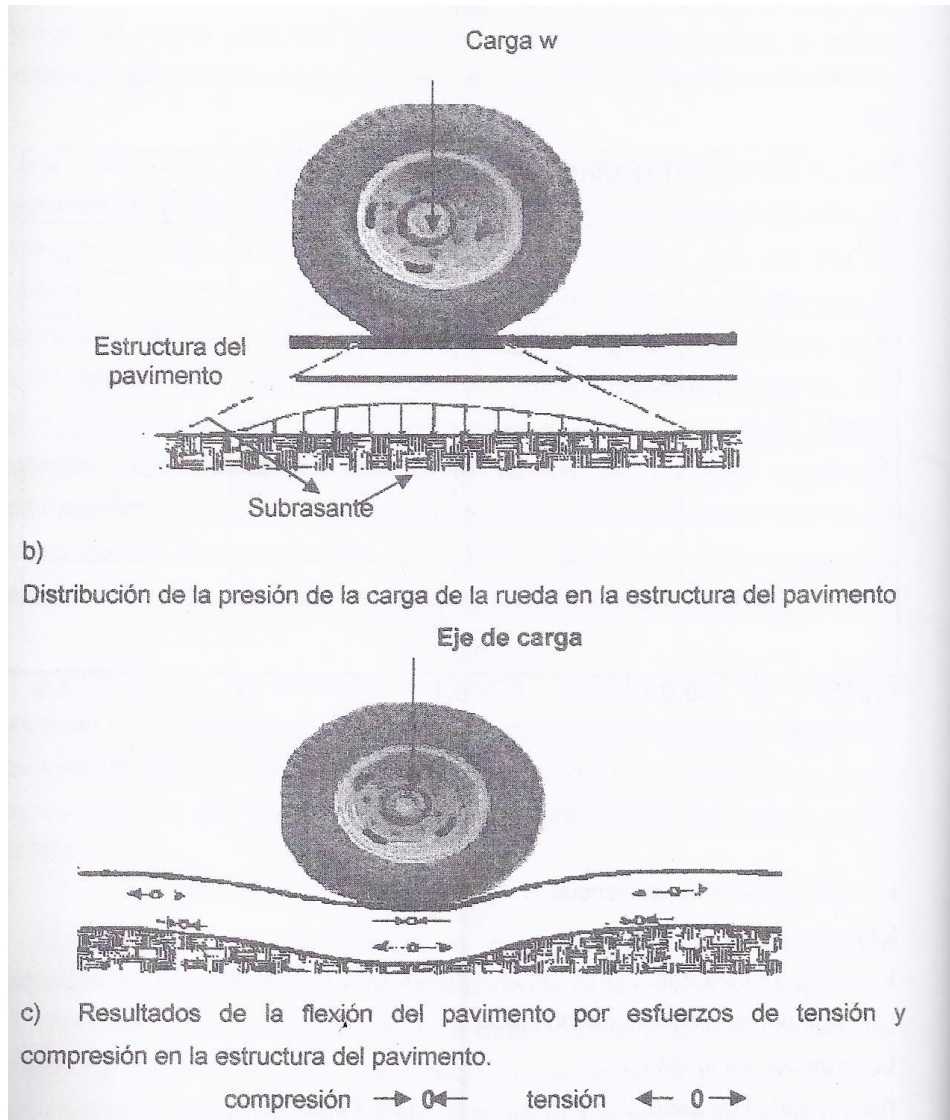
Se denomina eje Tándem al elemento constituido por dos ejes articulados al vehículo por dispositivos comunes, separados por una distancia menor a 2,4 metros. Estos reparten la carga, en partes iguales, sobre los dos ejes. Los ejes de este tipo pueden ser motrices, portantes o combinados.

En ella, se representan resultados de la prueba AASHTO, mostrando el coeficiente de equivalencias de cargas en ejes sencillos y ejes tándem que tengan el mismo peso, de manera que un eje sencillo provoca el mismo deterioro que 12 tándem que pesan lo mismo que él.

La vida útil de la estructura de los pavimentos está relacionada con el número de ejes equivalentes al de diseño que pasaran sobre él, y la teoría de diseño de los mismos establece un número de estos que los rompen, una vez que se conocen datos sobre la resistencia del material de soporte o fundación de la estructura vial (suelo). Una forma de medición de esta capacidad de soporte es el CBR del material de subrasante, el cual una vez conocido, permite diseñar los elementos estructurales del pavimento como lo son: subbase, base y carpeta, cuyo espesor estará en función de los ejes repetitivos, equivalentes a la carga de diseño que se prevé, que podrán pasar sobre un cierto período denominado vida útil.

El arreglo de las llantas, incluye en la súper posición de los esfuerzos inducidos y el área de contacto de estas, depende de la presión de inflado y de la intensidad de las cargas. El área de contacto determina la profundidad a que se transmiten los esfuerzos de la carga, que aumentan con el área; a la vez, los arreglos de llantas con gran área de contacto, suelen producir estados de esfuerzos más uniformes, que los que tienen cargas más concentradas.

Figura 16. **Carga por llanta en el suelo**



Fuente: Dirección General de Caminos, departamento de ingeniería de tránsito. Análisis de la sobrecarga de los vehículos automotores. p. 27.

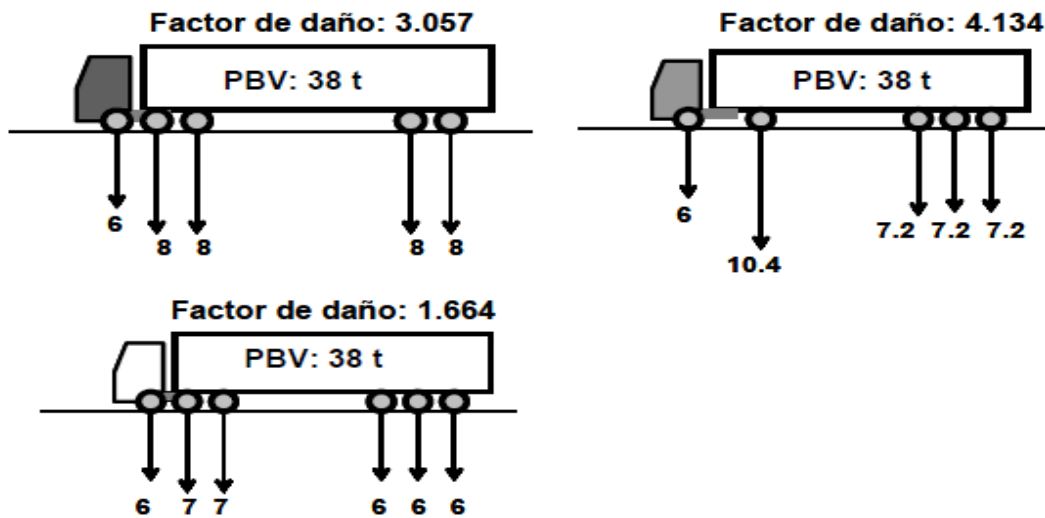


La ventaja de mover carga en vehículos con más ejes resulta evidente una vez que los cálculos de ESALs son desplegados. En la siguiente figura se ilustra las diferencias en factores de daño (ESALs) entre un camión articulado de cinco ejes y uno de seis ejes, ambos moviendo la misma carga de 38 t.

El camión de cinco ejes aparece en dos configuraciones; primero, con tándem doble para los ejes 2+3 y 4+5, y luego con un tándem triple en los ejes 3+4+5.

En comparación con el camión de seis ejes, las dos configuraciones de cinco ejes mostradas tienen factores de daño mayores por 84 y 148% respectivamente.

Figura17. Ejes de diferente carga



Fuente: Civic Trust, 1990. p.185.

De esta manera, la relevancia de tener la carga distribuida en la plataforma de la manera más homogénea posible resulta clara. Lo que se ha expuesto demuestra que el sobrepeso ocurre no solamente en el PBV, sino también en ejes (o grupos de ejes) individuales.

### **3.4. Soluciones al problema**

- Planificar la ampliación de la carretera y la habilitación de vías alternas que permitan absorber el crecimiento del transporte pesado, ya que de no satisfacer el valor ESAL que éste implica, mediante la estructura de pavimento adecuada, se deteriorará afectando la industria del país y la generación de empleo.
- El aumento del transporte de carga implica incrementos en los costos de mantenimiento y rehabilitación del pavimento, con frecuencias mayores de reparación que causan molestias y atrasos a los conductores. La construcción de un ferrocarril de permitirá mover la carga en tiempos establecidos mejorando la seguridad de la carretera y disminuyendo su gasto de mantenimiento.
- Dada la incidencia del transporte pesado sobre los ESAL, se debe vigilar este tipo de transporte para que no exceda las cargas permitidas y proponiendo soluciones viables de infraestructura para hacer frente a su crecimiento, pues los gastos de mantenimiento y reconstrucción de la carretera se incrementan con el ESAL.

Los accidentes viales pueden evitarse de cuatro maneras principales:

- Ingeniería vial
- Cumpliendo la ley
- Motivación por medio de campañas de publicidad
- Educación con la adquisición y utilización del conocimiento vial

#### Ingeniería vial

El error humano es el principal factor causal en los accidentes viales. Sin embargo, las medidas de la ingeniería vial en planificación de mejoras, como señales de tránsito, pasos peatonales para el cruce de calles, trazo de intersecciones y un diseño apto para cada tramo carretero, puede normar el comportamiento del usuario de las carreteras; de esta manera es menos factible que se produzcan errores.

#### Cumpliendo la ley

Los accidentes pueden reducirse por medio de la aplicación de la ley, para ser efectiva la policía de tránsito necesita estar bien equipada e informada y ser capaz de responder en forma rápida y segura, en el momento de cualquier incidente relacionado con el tráfico.

La policía vial debe ser el ente rector en las carreteras y necesita el respeto de los usuarios de los caminos y dar un buen ejemplo a través de programas de educación vial en general.

## Motivación

La motivación es el factor de la publicidad que fomenta y educa a los usuarios de caminos, con el propósito de motivarlos a cambiar su comportamiento para reducir accidentes. Existen muchos canales, a través de los cuales puede darse, por ejemplo, periódicos, radio, televisión, etc. Estos medios son utilizados para promover campañas de seguridad vial dirigida a un área problemática seleccionada.

## Educación vial

Los accidentes viales pueden evitarse adquiriendo y utilizando conocimiento sobre la materia. Se reconoce que los programas de educación para la seguridad vial deberían estar desarrollados y estructurados en forma gradual los maestros necesitan ser capacitados sobre que es vialidad y como enseñar esta materia. Tales programas necesitan ser relevantes en cada país en vías de desarrollo, en particular, aunque los principios fundamentales de la educación para la seguridad vial se encuentren implícitos en toda buena práctica.

La ingeniería, el cumplimiento, la motivación y la educación constituyen el marco de trabajo, dentro del cual un equipo de seguridad vial tiene los elementos para coordinar e integrar una amplia gama en relación con la seguridad vial.

## CONCLUSIONES

1. Debido a que los proyectos viales conllevan grandes beneficios sociales y desarrollo a las poblaciones, estos se deben ejecutar con la mejor calidad posible, cumpliendo las pruebas de laboratorio y especificaciones contractuales.
2. La resistencia mecánica a la compresión es una propiedad física que es obtenida por ensayos de laboratorio, para que un lote de adoquines o piedras pueda ser certificado para un uso determinado, pero no es la única característica que debe de ser certificada, la resistencia a la flexión en el caso del adoquín, el porcentaje de absorción y la resistencia a la abrasión son propiedades que influyen en el correcto funcionamiento de los elementos estructurales en mención.
3. Dado el análisis antes hecho se pudo concluir que a pesar de las ventajas que presenta el adoquín en precio, colocación, remplazo y mantenimiento, la carga de tráfico pesado en el lugar es tan alta que incrementa los ESALs, por tanto es más rentable el empedrado, ya que la resistencia que este ofrece ante la carga vehicular dará mayor durabilidad al tramo carretero.
4. La topografía del terreno marca el mejor método de pavimento a utilizar, así como también, el conteo de tráfico pesado realizado en el lugar.

5. La inversión pública y privada en construcción y mantenimiento preventivo de la infraestructura del transporte, es necesaria para tener y mantener el nivel de serviciabilidad vial adecuado y no provocar incrementos en los costos de los usuarios y el transporte de carga.
  
6. El esfuerzo mínimo que debe resistir un adoquín se ha establecido según la categorización de vías para diseños de urbanizaciones, ya que el adoquín es un elemento de pavimentación de uso recomendado para vías de tránsito medio, tránsito liviano y peatonal, en tránsito pesado es preferible el uso del empedrado y en el mejor de los casos carpetas de rodadura de asfalto o de concreto fundido en obra.

## RECOMENDACIONES

1. Dada la incidencia del transporte pesado, se debe de vigilar este tipo de transporte para que no exceda las cargas permitidas y proponiendo soluciones viables de infraestructura para hacer frente a su crecimiento.
2. Para minimizar los gastos de mantenimiento y reconstrucción de la carretera se recomienda una Estación de Control de Pesos, para regular el sobrecargo de los vehículos.
3. Planificar la ampliación de la carretera y la habilitación de vías alternas que permitan absorber el crecimiento del transporte pesado, ya que de no satisfacer el valor ESAL que éste implica, mediante la estructura de pavimento adecuada, se deteriorará afectando la industria del país y la generación de empleo.
4. Los resultados de los ensayos de laboratorio pueden verse afectados por el mal manejo del equipo de laboratorio por lo que se requiere una gran precisión por los técnicos de laboratorio.
5. Contratar mano de obra local en la ejecución del proyecto, para así generar fuentes de empleo en el lugar, con lo que se beneficiaran por tener empleo y una vía de comunicación adecuada para comercializar productos.





## BIBLIOGRAFÍA

1. Adoquinado: *pavimentos de piedra, adoquines de granito Stone*. [en línea]<<http://paving.stones.trasnacional.com/d/adoquinado/index.php>> [Consulta: 25 de mayo de 2012].
2. American Association of State Highway and Transportation Officials. *A policy on geometric design of highways and streets*. USA: AASHTO, 2001. 905 p.
3. *Biblioteca del Ingeniero Civil*. México: Ciencia y Técnica, 1990. 278 p.
4. CORONADO ITURBIDE, Jorge et al. *Manual centroamericano para Diseño de Pavimentos*. Guatemala: Secretaría de Integración Económica Centroamericana, 2002. 228 p.
5. Dirección General de Caminos. *Reglamento para el control de pesos y Dimensiones de Vehículos Automotores y sus Combinaciones*. Guatemala: DGC. 1992. 16 p.
6. RUANO PAZ, Marco Antonio. *Instructivo para pavimentación con adoquines de concreto en áreas rurales*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. 1996. 83 p.

7. SAMAYOA SORIA, Otto Vinicio. *Análisis de las sobrecargas de los vehículos automotores sobre la red vial nacional*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1989. 64 p.

## APÉNDICES

Extracción de Muestras de testigos de piedra para ensayo a compresión en el Centro de Investigaciones de Ingeniería, CII de la Universidad de San Carlos de Guatemala.



Fuente: CII, USAC.



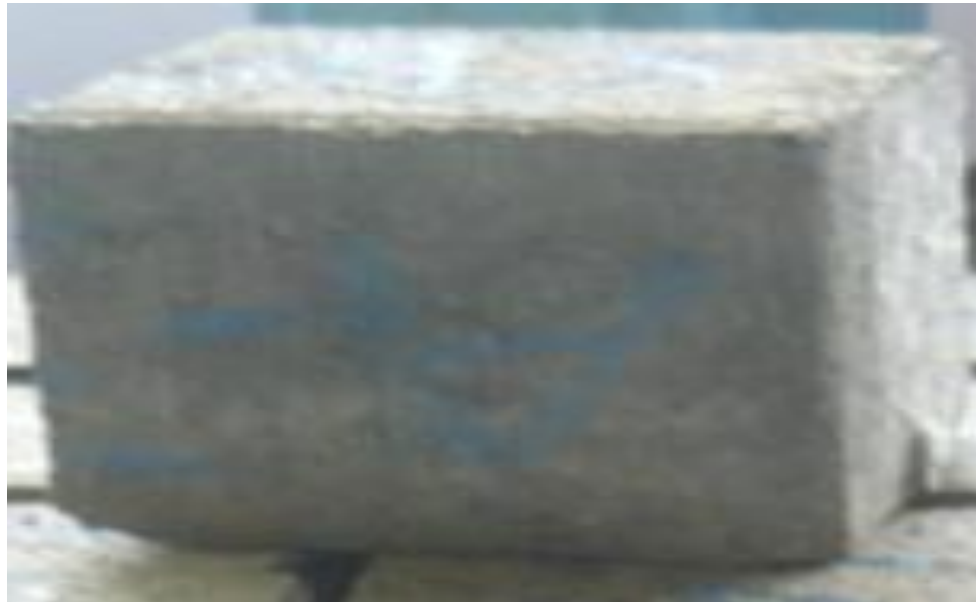
Fuente: CII, USAC.

Extracción de testigos de piedra bola, para ensayar a compresión.



Fuente: CII, USAC.

Corte de adoquín en forma de cubo para ensayo de compresión.

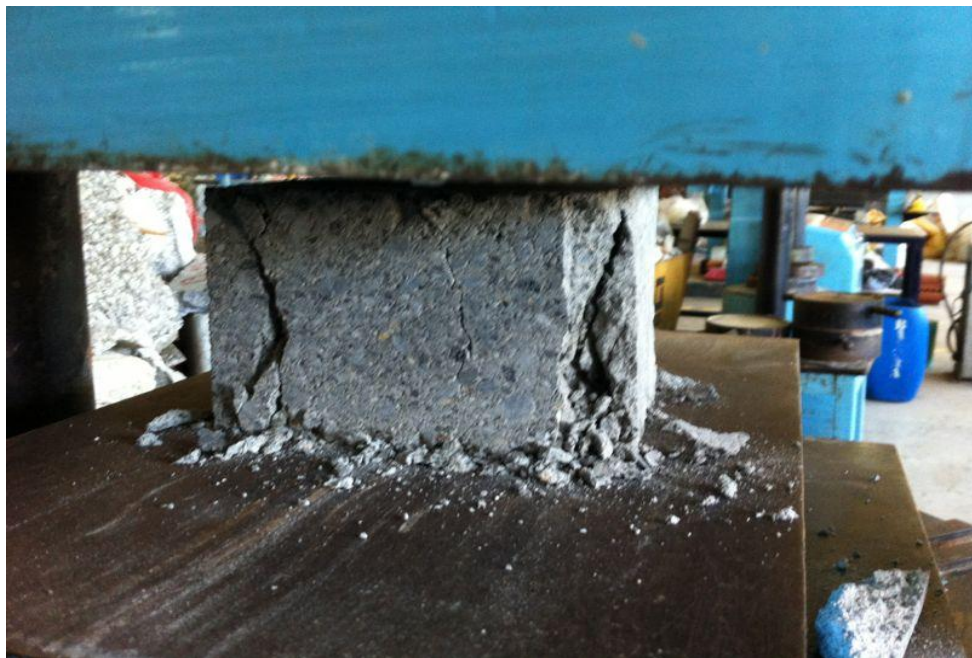


Fuente: CII, USAC.

Ensayo de compresión de adoquín, en el Centro de Investigaciones de Ingeniería, CII de la Universidad de San Carlos de Guatemala.



Fuente: CII, USAC.



Fuente: CII, USAC.

Ensayo a flexión de adoquín, en el Centro de Investigaciones de Ingeniería, CII de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

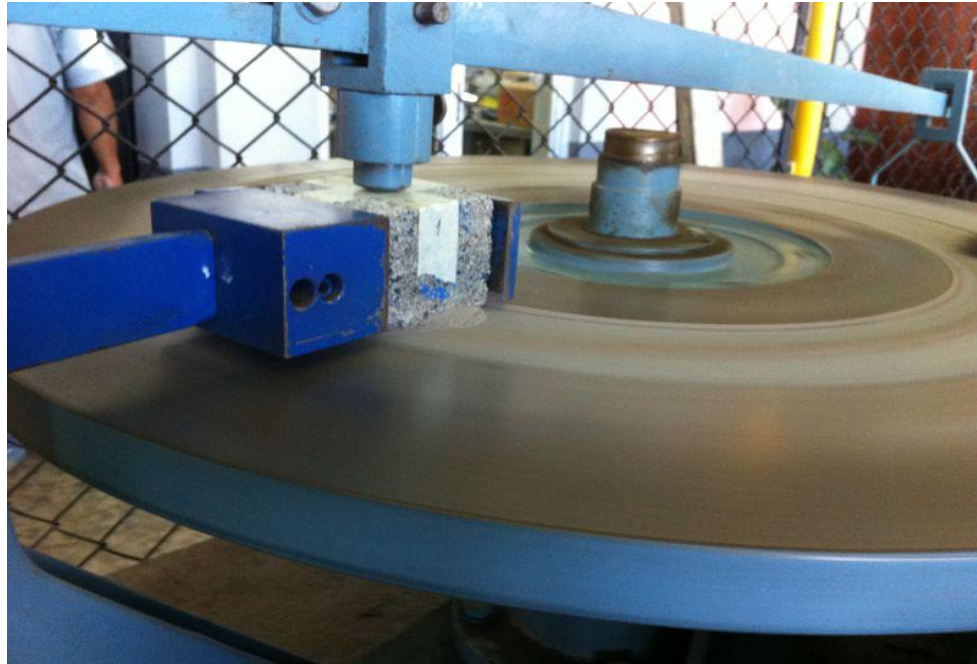


Fuente: CII, USAC.

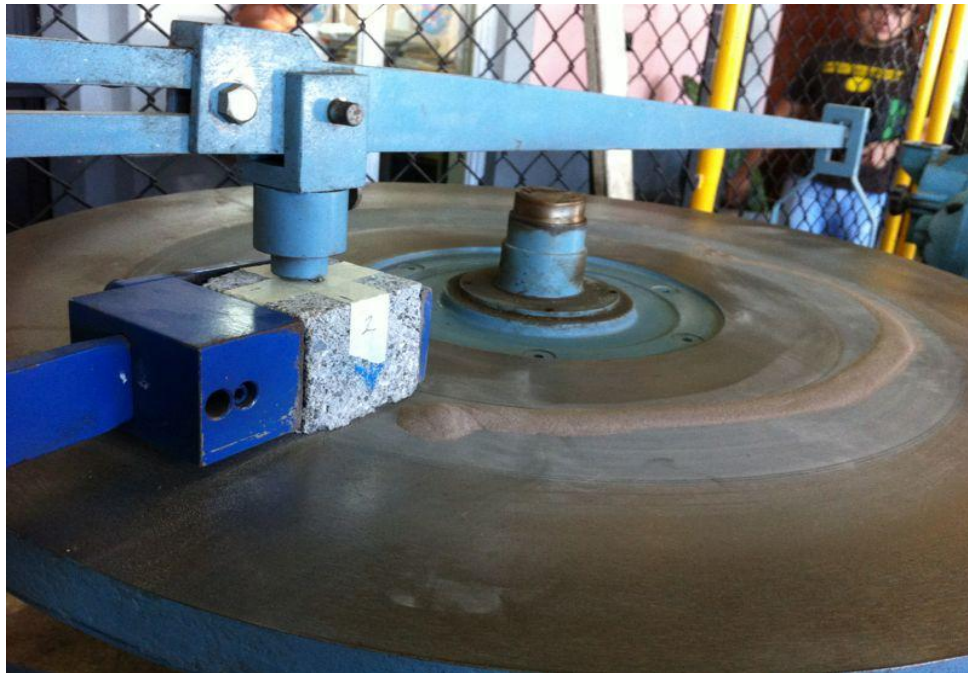


Fuente: CII, USAC.

Ensayo de Desgaste de Adoquín, en el Centro de Investigaciones de Ingeniería,  
CII de la Universidad de San Carlos de Guatemala.



Fuente: CII, USAC.



Fuente: CII, USAC.



CONTEO MANUAL Y CLASIFICACIÓN DE VEHÍCULOS

PUNTO DE CONTEO:

1+100

KM:

183+000

ESTACIÓN No.

1%

CÓDIGO RUTA:

TRAMO CARRETERO:

FECHA DEL CONTEO:

19-ago-12

SENTIDO:

Momostenango-Santa Lucia la Reforma

RESUMEN Y HORARIO DEL CONTEO DE TRNASITO CLASIFICADO

CLASIFICACIÓN DE VEHÍCULOS	6:00 - 7:00	7:00 - 8:00	8:00 - 9:00	9:00 - 10:00	10:00 - 11:00	11:00 - 12:00	12:00 - 13:00	13:00 - 14:00	14:00 - 15:00	15:00 - 16:00	16:00 - 17:00	17:00 - 18:00	TOTAL
1	77	83	73	69	64	68	78	78	61	108	107	104	970
2	80	61	80	69	75	75	73	78	66	99	115	82	953
3	30	50	25	30	27	19	18	29	28	18	22	37	333
4	1	4	3	5	1	1	3	6	2	1	3	9	39
5	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	2	3	8
6	13	11	8	12	8	15	25	30	23	22	35	71	273
7	1	0	1	1	0	0	1	6	0	1	1	3	15
8	5	12	6	7	5	9	13	6	14	7	7	16	107
9	1	3	5	3	3	2	1	1	2	6	5	4	36
10	2	2	0	1	0	0	2	1	1	0	2	2	13
11 OTROS:	36	46	15	25	26	23	27	35	25	22	15	29	324
TOTAL DE VEHÍCULOS	258	357	270	259	229	225	210	269	240	271	279	263	3130
VL= 2075	OBSERVACIONES:												
VP= 1055													
VT= 3130													
PERCENTUALES	% LIV.	66,29%	% PESADO	33,71%									

Por este medio certifico que la información contenida en el presente formulario fue tomada en forma fidedigna y con la técnica establecida para el aforo vehicular

Nombre Ingeniero:

Herman Lang

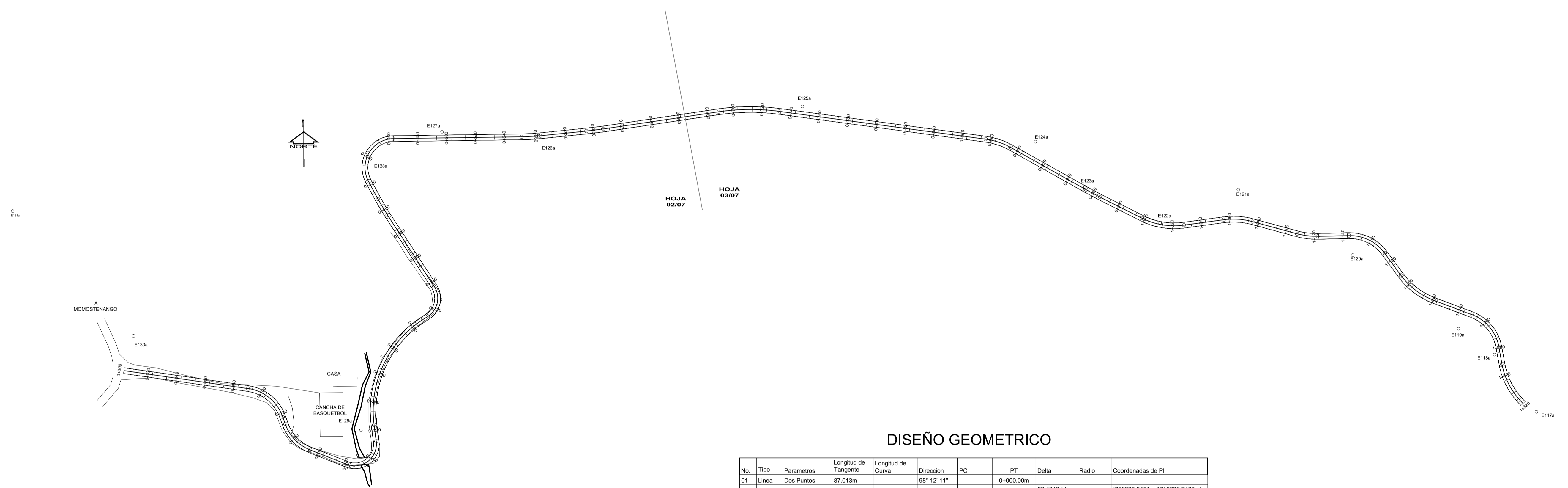
**Rowland Herman Lang González**  
Ingeniero Civil  
Colegiado 4404

1.- Vehículo liviano  
2.- Pick-up  
3.- C-2, C-3, C-4  
4.- T3-S2, T3-S3  
5.- Microbuses  
6.- Buses  
7.- T3-S2-R4  
8.- Otros

Guatemala, 19 / 08 / 2012

**TABLA DE SIMBOLOGIA**

	UBICACION DE DRENAJES EN PLANTA
	UBICACION DE DRENAJES EN PERFIL
0+560	DISUBANCIA ACUMULADA DE ORIGEN
PT	PRINCIPIO DE TANGENTE
PC	PRINCIPIO DE CURVA HORIZONTAL
DELTA	DEFLEXION
LG	LONGITUD DE CURVA HORIZONTAL
ST	SUBTANGENTE
RADIO	RADIO DE LA CURVA HORIZONTAL
PC	PRINCIPIO DE CURVA HORIZONTAL
PT	PRINCIPIO DE TANGENTE HORIZONTAL
PIV	PUNTO DE INFLEXION VERTICAL
PCV	PRINCIPIO DE CURVA VERTICAL
PTV	PRINCIPIO DE TANGENTE VERTICAL
-7.50%	PORCENTAJE DE PENDIENTE DE RASANTE
	UBICACION DE PUNTO DE INFLEXION VERTICAL (PIV)
	EJE DE DISEÑO



**DISEÑO GEOMETRICO**

No.	Tipo	Parametros	Longitud de Tangente	Longitud de Curva	Direccion	PC	PT	Delta	Radio	Coordenadas de PI	
01	Linea	Dos Puntos	67.013m		98° 12' 11"	0+000.00m	0+087.01m	62.4346 (d)	30.000m	(756929.5451m,1713932.7499m)	
02	Curva	Radio		32.691m	160° 38' 15"	0+124.75m	0+150.49m	49.1565 (d)	30.000m	(756941.7952m,1713897.8908m)	
03	Linea	Dos Puntos	5.047m	25.738m	111° 28' 52"	0+177.83m	0+208.98m	118.9863 (d)	15.000m	(757003.6919m,1713873.5327m)	
04	Curva	Radio		31.151m	352° 29' 41"	0+220.46m	0+305.31m	64.8231 (d)	75.000m	(756992.6472m,1713957.3658m)	
05	Linea	Dos Puntos	11.482m	84.853m	57° 19' 04"	0+309.29m	0+332.99m	90.5140 (d)	15.000m	(757048.8168m,1713993.4014m)	
06	Curva	Radio		23.697m	326° 48' 14"	0+392.21m	0+404.96m	4.8722 (d)	150.000m	(757004.6142m,1714060.9601m)	
07	Linea	Dos Puntos	14.000m	41.020m	331° 40' 34"	0+418.96m	0+459.98m	117.5144 (d)	20.000m	(756979.3020m,1714107.9230m)	
08	Curva	Radio		12.755m	89° 11' 26"	0+548.87m	0+561.87m	4.9637 (d)	150.000m	(757107.6472m,1714109.7366m)	
09	Linea	Dos Puntos	88.888m	12.995m	84° 13' 36"	0+593.90m	0+605.66m	2.6952 (d)	250.000m	(757151.8404m,1714114.2047m)	
10	Curva	Radio		11.760m	81° 31' 53"	0+686.61m	0+728.90m	16.1538 (d)	150.000m	(757258.7780m,1714130.1266m)	
11	Linea	Dos Puntos	80.949m	42.290m	97° 41' 07"	0+873.19m	0+891.98m	21.5313 (d)	50.000m	(757432.2817m,1714106.7135m)	
12	Curva	Radio		144.283m	119° 13' 00"	0+951.39m	0+962.31m	2.5022 (d)	250.000m	(757497.2020m,1714070.4061m)	
13	Linea	Dos Puntos	59.416m	10.918m	116° 42' 52"	0+994.79m	1+024.86m	34.4510 (d)	50.000m	(757544.9427m,1714046.3800m)	
14	Curva	Radio		32.484m	82° 15' 48"	1+052.73m	1+072.79m	22.9828 (d)	50.000m	(757597.9961m,1714053.5876m)	
15	Linea	Dos Puntos	27.874m	20.056m	105° 14' 46"	1+104.86m	1+119.25m	16.4916 (d)	50.000m	(757645.7371m,1714040.5753m)	
16	Curva	Radio		32.072m	14.392m	88° 45' 17"	1+140.98m	1+169.78m	55.0081 (d)	30.000m	(757690.3185m,1714041.5444m)
17	Linea	Dos Puntos	21.726m	28.802m	143° 45' 46"	1+188.73m	1+217.75m	33.2589 (d)	50.000m	(757719.5821m,1714001.6152m)	
18	Curva	Radio		18.951m	29.024m	110° 30' 14"	1+245.65m	1+276.73m	59.3627 (d)	30.000m	(757775.7103m,1713980.6254m)
19	Linea	Dos Puntos	27.892m	31.062m	169° 52' 00"	1+288.27m	1+316.22m	32.0275 (d)	50.000m	(757783.2747m,1713938.3019m)	
20	Curva	Radio		11.545m	27.949m	137° 50' 21"	1+320.00m				
21	Linea	Dos Puntos	11.545m	3.673m							

PLANTA  
ESCALA 1:1,000

PROYECTO: ANALISIS COMPARATIVO DEL PAVIMENTO: EMPEDRADO Y ADOSADO DE CAMINOS RURALES Y SU COMPORTAMIENTO ANTE EL TRAFICO PESADO EN EL TRAMO MOMOSTENANGO - SANTA LUCIA LA REFORMA, TOTONICAPAN

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERIA

CONTIENE: PLANTA GENERAL  
TRAMO 0+000.00 A 1+320.00

ESCALA: INDICADA DIBUJO: CESAR ALEJANDRO MORALES FOLGAR FECHA: SEPTIEMBRE 2012

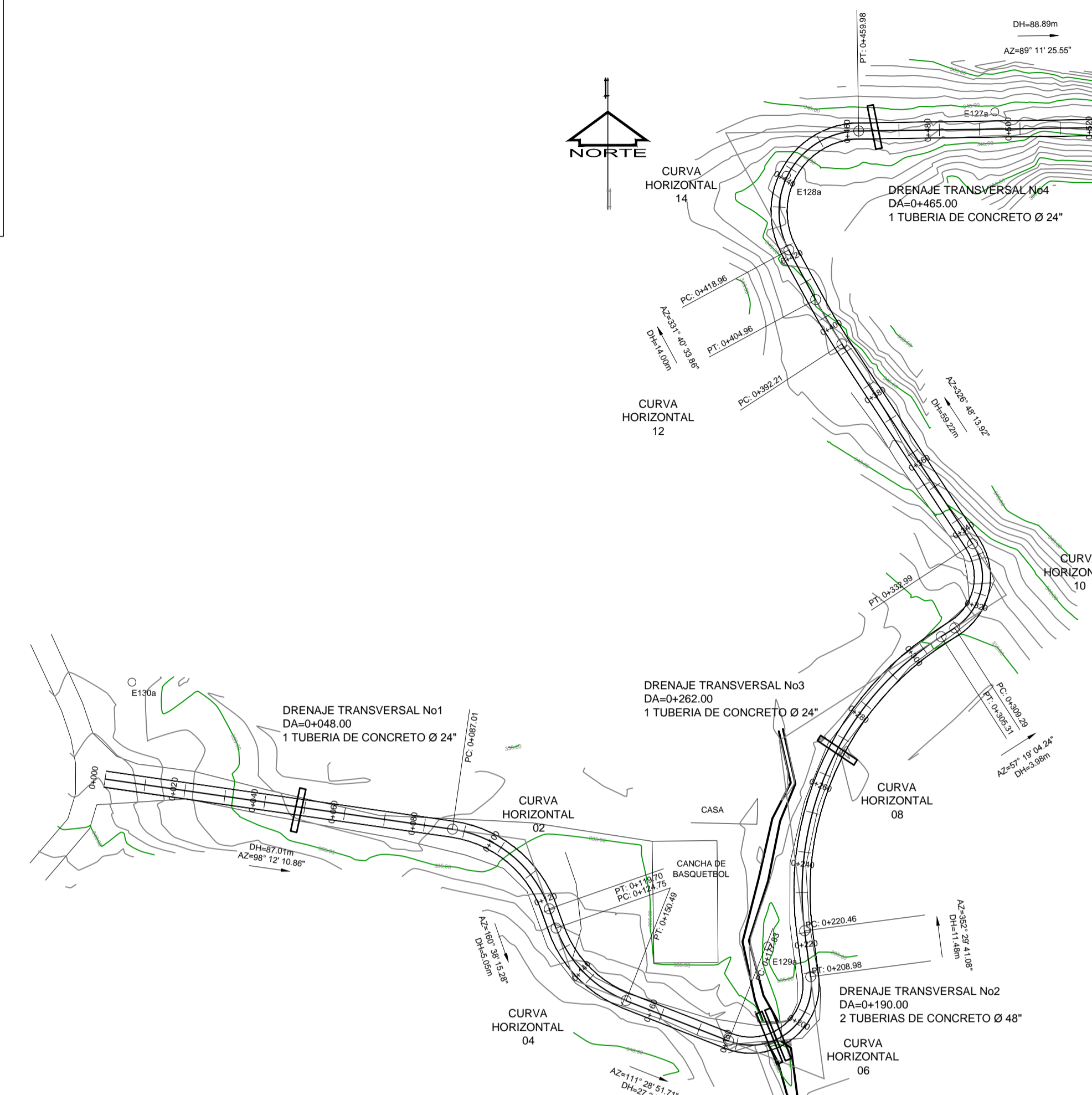
LUGAR: MOMOSTENANGO TONONICAPAN TOPOGRAFIA: CESAR ALEJANDRO MORALES FOLGAR ASESOR: ING ROWLAND HERMAN LANG GONZALEZ PROPIETARIO:

No. 01/07

Yo, Sr. ALCALDE MUNICIPAL

**TABLA DE SIMBOLOGIA**

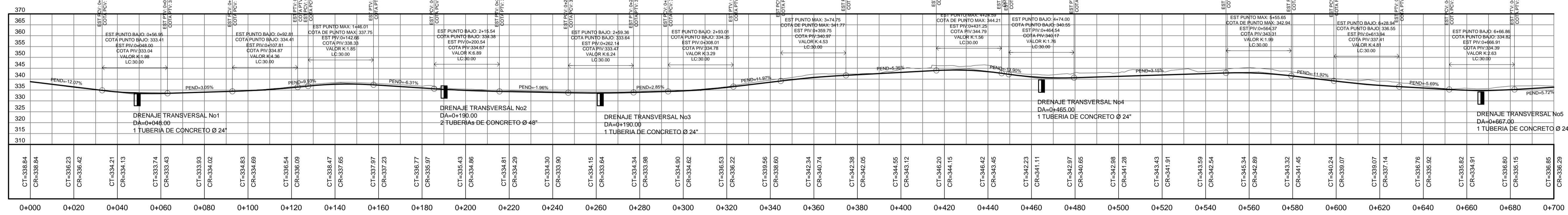
	UBICACION DE DRENAJES EN PLANTA
	UBICACION DE DRENAJES EN PERFIL
0+560	DISYUNCIÓN ACUMULADA DE ORIGEN
PT	PRINCIPIO DE TANGENTE
PC	PRINCIPIO DE CURVA HORIZONTAL
LC	DEFLEXION
ST	LONGITUD DE CURVA HORIZONTAL
RADIO	RADIO DE LA CURVA HORIZONTAL
PC	PRINCIPIO DE CURVA HORIZONTAL
PT	PRINCIPIO DE TANGENTE HORIZONTAL
PIV	PUNTO DE INFLEXION VERTICAL
PCV	PRINCIPIO DE CURVA VERTICAL
PTV	PRINCIPIO DE TANGENTE VERTICAL
-7.50%	PORCENTAJE DE PENDIENTE DE RASANTE
	UBICACION DE PUNTO DE INFLEXION VERTICAL (PIV)
	EJE DE DISEÑO



**PLANTA**  
ESCALA 1:1,000

**DISEÑO GEOMETRICO**

No.	Tipo	Parametros	Longitud de Tangente	Longitud de Curva	Direccion	PC	PT	Delta	Radio	Coordenadas de PI
01	Linea	Dos Puntos	87.013m		98° 12' 11"	0+000.00m	0+119.70m	62.4346 (d)	30.000m	(756929.5451m, 1713932.7499m)
02	Curva	Radio	5.047m	32.691m	160° 38' 15"	0+087.01m	0+150.49m	49.1565 (d)	30.000m	(756941.7952m, 1713897.8908m)
03	Linea	Dos Puntos	27.338m		111° 28' 52"	0+177.83m	0+208.98m	118.9863 (d)	15.000m	(757003.6919m, 1713873.5327m)
04	Curva	Radio	11.482m	31.151m	352° 29' 41"	0+220.46m	0+305.31m	64.8231 (d)	75.000m	(756992.6472m, 1713957.3658m)
05	Linea	Dos Puntos	3.982m		57° 19' 04"	0+309.29m	0+332.99m	90.5140 (d)	15.000m	(757048.8168m, 1713993.4014m)
06	Curva	Radio	23.697m	23.697m	0+392.21m	0+404.96m	4.8722 (d)	150.000m		(757004.6142m, 1714060.9601m)
07	Linea	Dos Puntos	59.218m		326° 48' 14"	0+418.96m	0+459.98m	117.5144 (d)	20.000m	(756979.3020m, 1714107.9230m)
08	Curva	Radio	88.888m	41.020m	89° 11' 26"	0+548.87m	0+561.87m	4.9637 (d)	150.000m	(757107.6472m, 1714109.7366m)
09	Linea	Dos Puntos	12.995m		84° 13' 36"	0+593.90m	0+605.66m	2.6952 (d)	250.000m	(757151.8404m, 1714114.2047m)
10	Curva	Radio	32.036m	11.760m						



**PERFIL**

ESCALA HORIZONTAL 1:1,000  
ESCALA VERTICAL 1:500

PROYECTO: ANALISIS COMPARATIVO DEL PAVIMENTO EMPEDRADO Y ADOSADO DE CAMINOS RURALES Y SU COMPORTAMIENTO ANTE EL TRAFICO PESADO EN EL TRAMO MOMOSTENANGO - SANTA LUCIA LA REFORMA, TOTONICAPAN

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERIA

CONTIENE: **DISEÑO GEOMETRICO Y ALTIMETRICO**  
**PLANTA Y PERFIL**  
**TRAMO 0+000.00 A 0+666.00**

ESCALA: INDICADA DIBUJO: CESAR ALEJANDRO MORALES FOLGAR FECHA: SEPTIEMBRE 2012

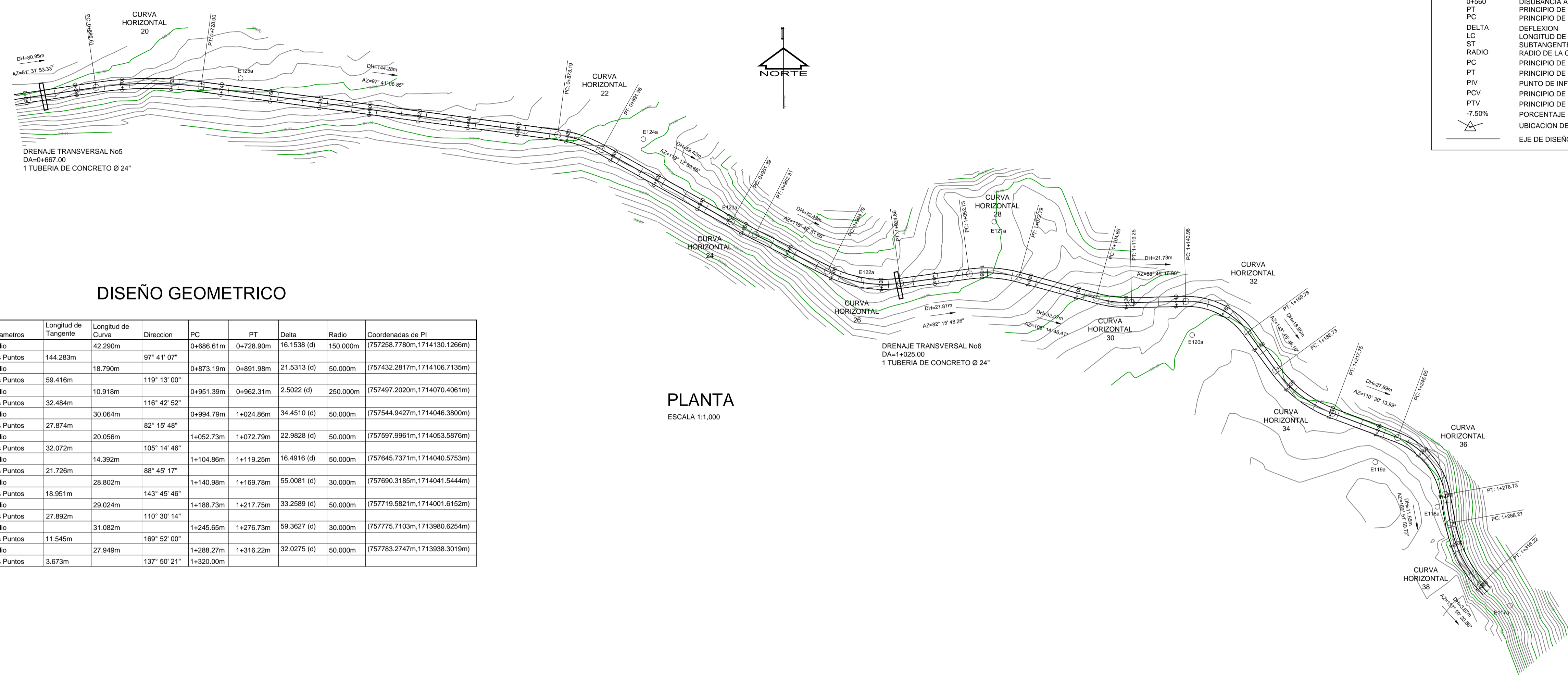
LUGAR: MOMOSTENANGO TOTONICAPAN TOPOGRAFIA: CESAR ALEJANDRO MORALES FOLGAR ASESOR: ING ROWLAND HERMAN LANG GONZALEZ PROPIETARIO:

02 / 07

V. B. ALCALDE MUNICIPAL

**TABLA DE SIMBOLOGIA**

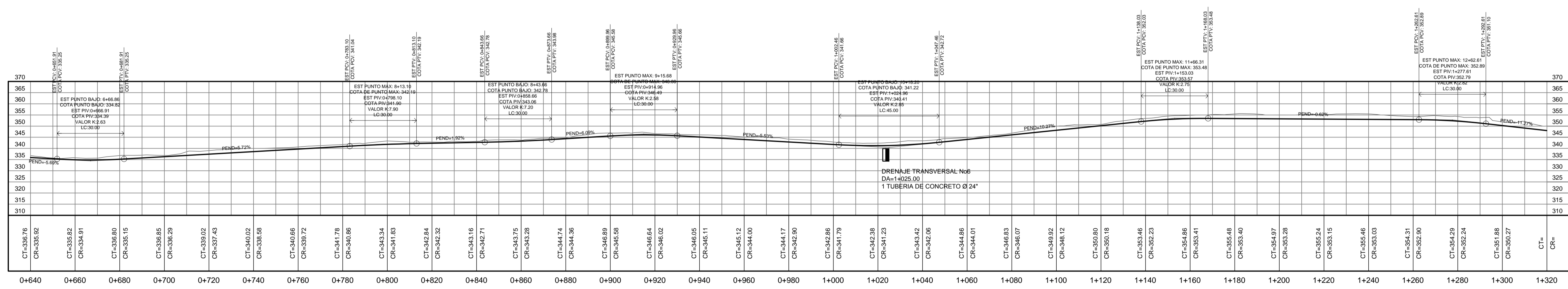
	UBICACION DE DRENAJES EN PLANTA
	UBICACION DE DRENAJES EN PERFIL
0+560	DISUBANCIA ACUMULADA DE ORIGEN
PT	PRINCIPIO DE TANGENTE
PC	PRINCIPIO DE CURVA HORIZONTAL
DELTA	DEFLEXION
LC	LONGITUD DE CURVA HORIZONTAL
ST	SUBTANGENTE
RADIO	RADIO DE LA CURVA HORIZONTAL
PC	PRINCIPIO DE CURVA HORIZONTAL
PT	PRINCIPIO DE TANGENTE HORIZONTAL
PIV	PUNTO DE INFLEXION VERTICAL
PCV	PRINCIPIO DE CURVA VERTICAL
PTV	PRINCIPIO DE TANGENTE VERTICAL
-7.50%	PORCENTAJE DE PENDIENTE DE RASANTE
	UBICACION DE PUNTO DE INFLEXION VERTICAL (PIV)
	EJE DE DISEÑO



**DISEÑO GEOMETRICO**

No.	Tipo	Parametros	Longitud de Tangente	Longitud de Curva	Direccion	PC	PT	Delta	Radio	Coordenadas de PI
20	Curva	Radio	42.290m			0+686.61m	0+728.90m	16.1538 (d)	150.000m	(757258.7780m, 1714130.1260m)
21	Linea	Dos Puntos	144.283m		97° 41' 07"					
22	Curva	Radio	18.790m			0+873.19m	0+891.98m	21.5313 (d)	50.000m	(757432.2817m, 1714106.7135m)
23	Linea	Dos Puntos	59.416m		119° 13' 00"					
24	Curva	Radio	10.918m			0+951.39m	0+962.31m	2.5022 (d)	250.000m	(757497.2020m, 1714070.4061m)
25	Linea	Dos Puntos	32.484m		116° 42' 52"					
26	Curva	Radio	30.064m			0+994.79m	1+024.86m	34.4510 (d)	50.000m	(757544.9427m, 1714046.3800m)
27	Linea	Dos Puntos	27.874m		82° 15' 48"					
28	Curva	Radio	20.056m			1+052.73m	1+072.79m	22.9828 (d)	50.000m	(757597.9961m, 1714053.5876m)
29	Linea	Dos Puntos	32.072m		105° 14' 46"					
30	Curva	Radio	14.392m			1+104.88m	1+119.25m	16.4916 (d)	50.000m	(757645.7371m, 1714040.5753m)
31	Linea	Dos Puntos	21.726m		88° 45' 17"					
32	Curva	Radio	28.802m			1+140.98m	1+169.78m	55.0081 (d)	30.000m	(757690.3185m, 1714041.5444m)
33	Linea	Dos Puntos	18.951m		143° 45' 46"					
34	Curva	Radio	29.024m			1+188.73m	1+217.75m	33.2589 (d)	50.000m	(757719.5821m, 1714001.6152m)
35	Linea	Dos Puntos	27.892m		110° 30' 14"					
36	Curva	Radio	31.082m			1+245.65m	1+276.73m	59.3627 (d)	30.000m	(757775.7103m, 1713980.6254m)
37	Linea	Dos Puntos	11.545m		169° 52' 00"					
38	Curva	Radio	27.949m			1+288.27m	1+316.22m	32.0275 (d)	50.000m	(757783.2747m, 1713938.3019m)
39	Linea	Dos Puntos	3.673m		137° 50' 21"					

**PLANTA**  
ESCALA 1:1,000



**PERFIL**  
ESCALA HORIZONTAL 1:1,000  
ESCALA VERTICAL 1:500

PROYECTO: ANALISIS COMPARATIVO DEL PAVIMENTO: EMPEDRADO Y ADOSADO DE CAMINOS RURALES Y SU COMPORTAMIENTO ANTE EL TRAFICO PESADO EN EL TRAMO MOMOSTENANGO - SANTA LUCIA LA REFORMA, TOTONICAPAN

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**  
FACULTAD DE INGENIERIA

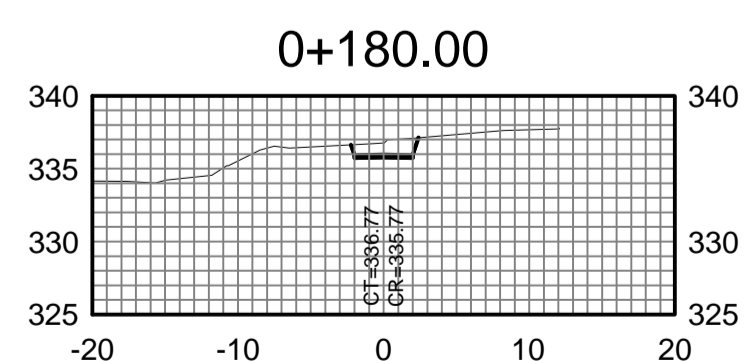
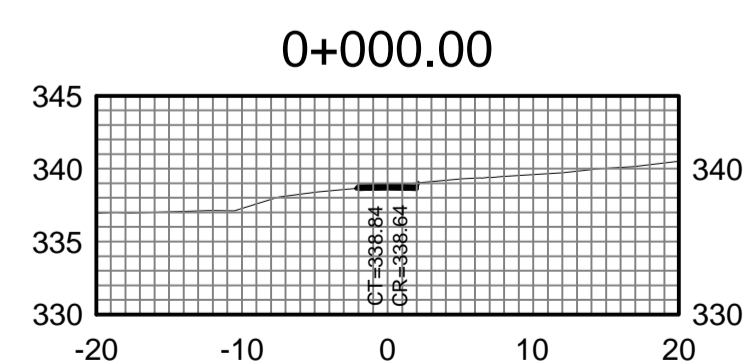
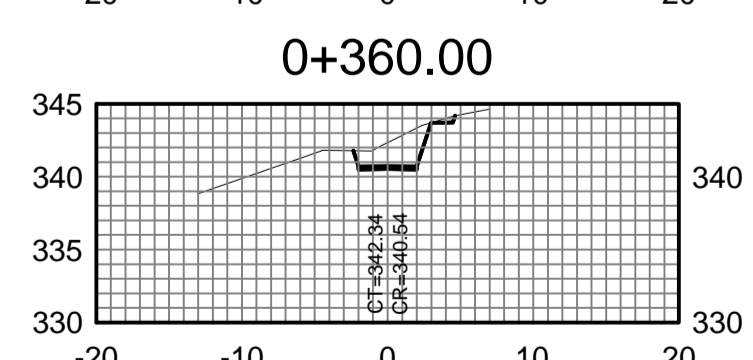
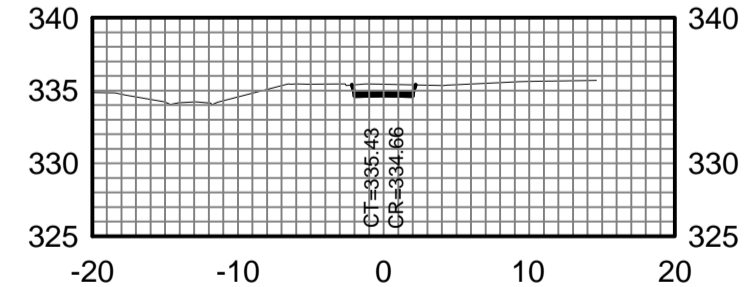
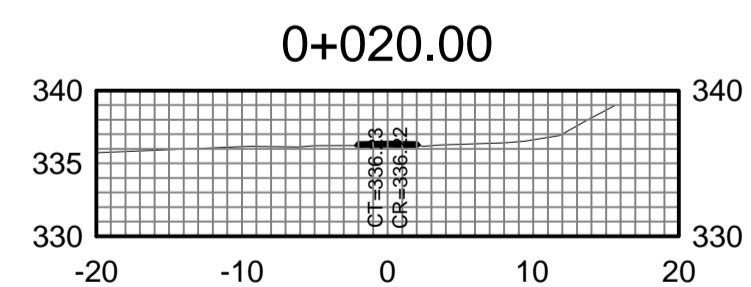
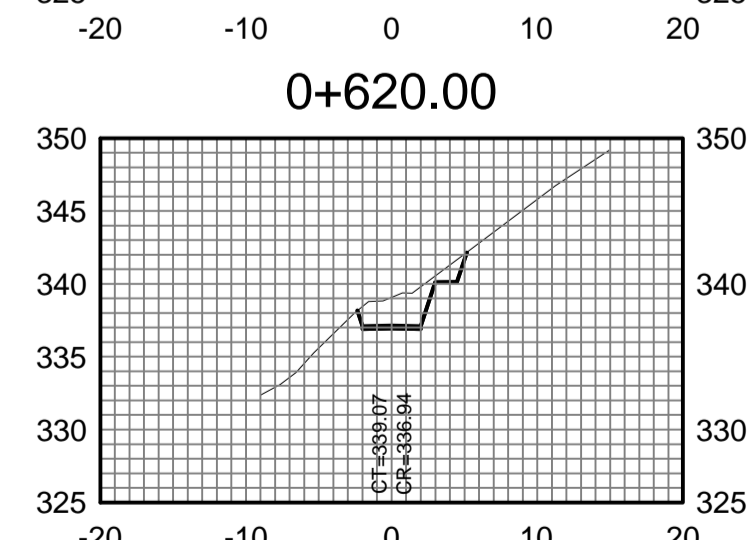
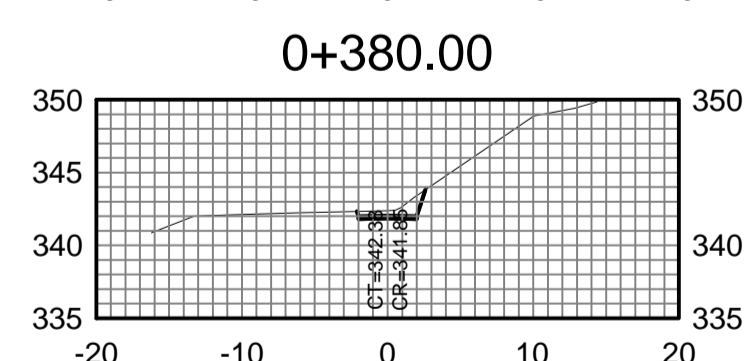
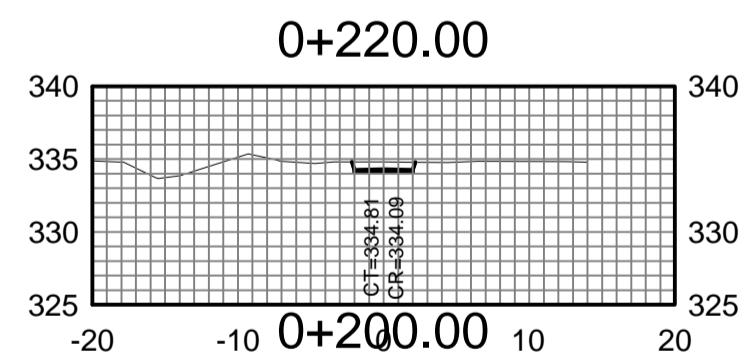
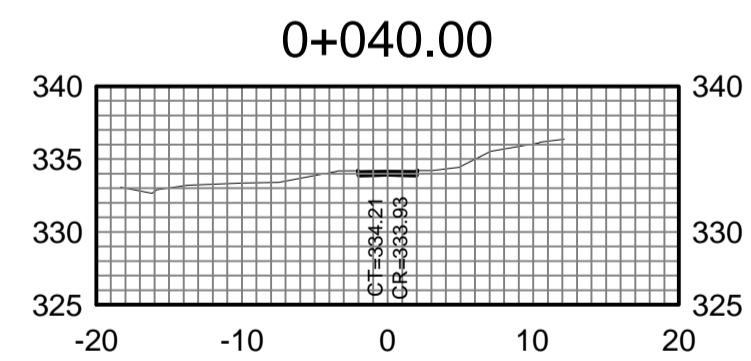
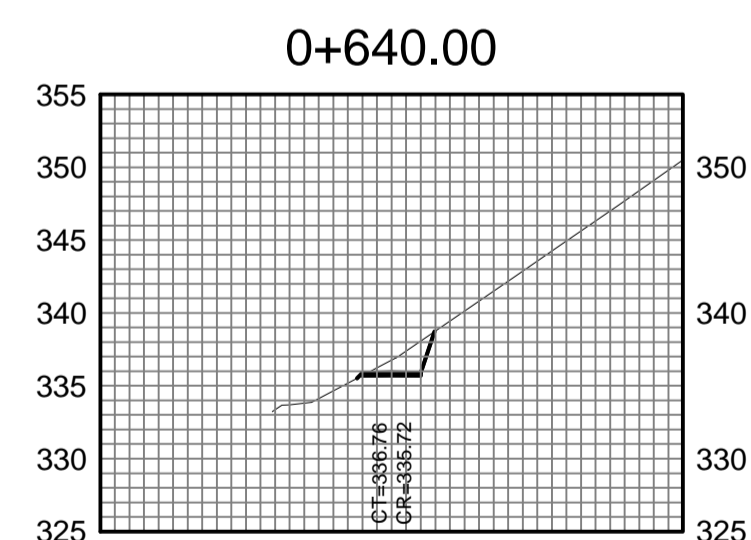
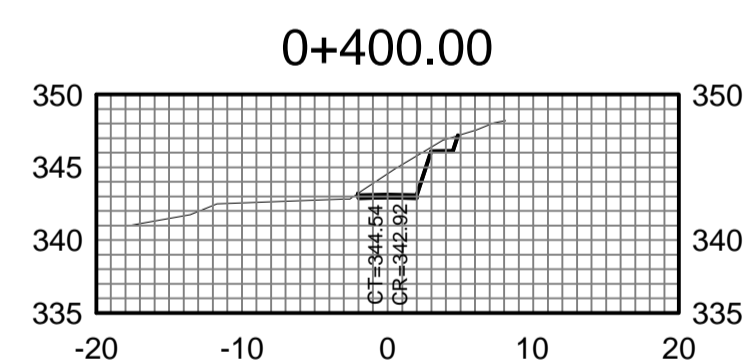
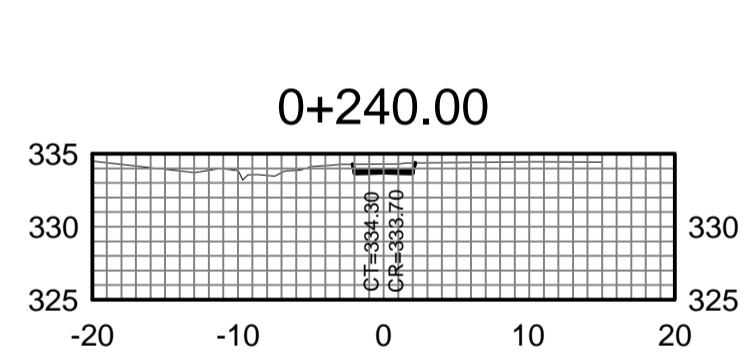
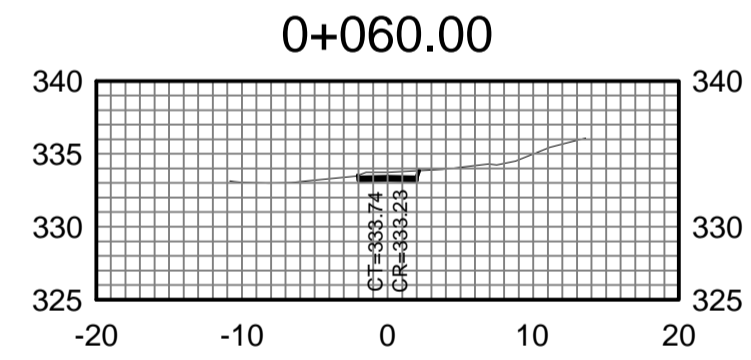
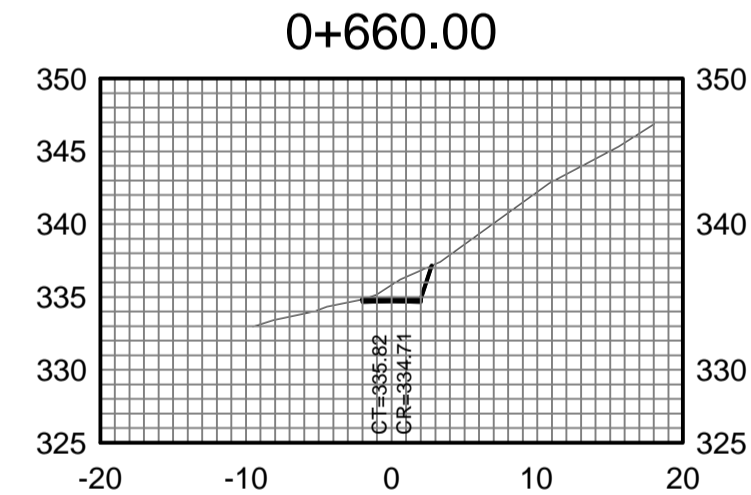
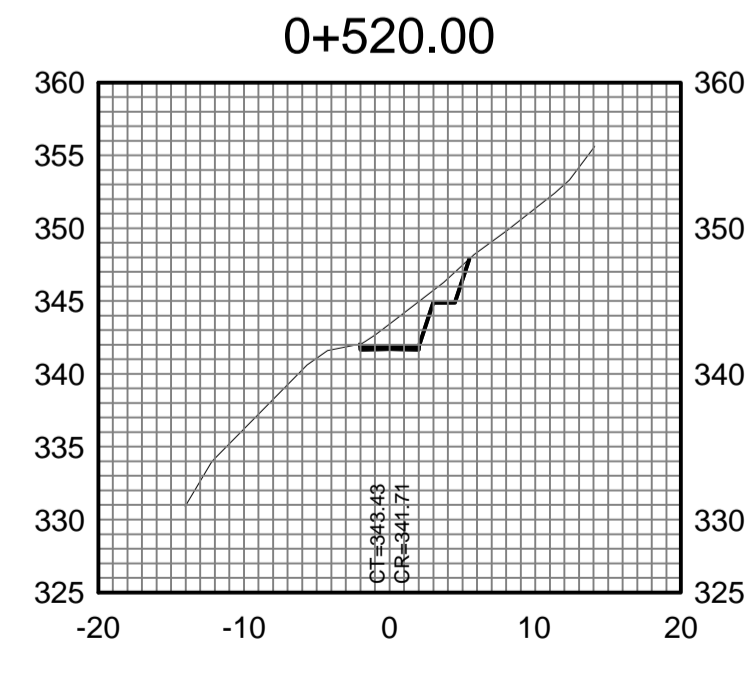
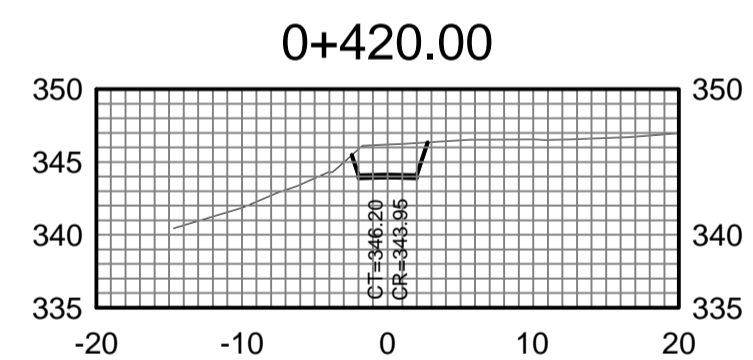
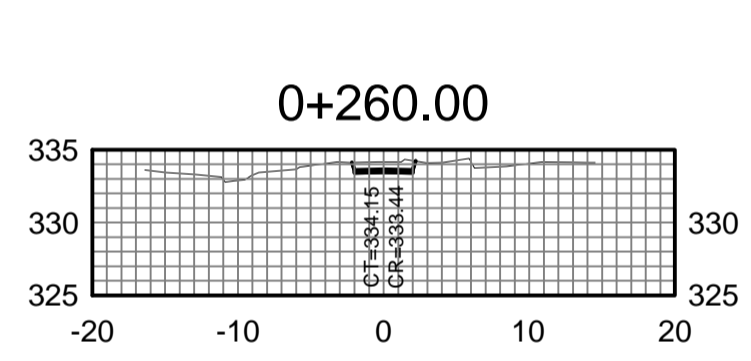
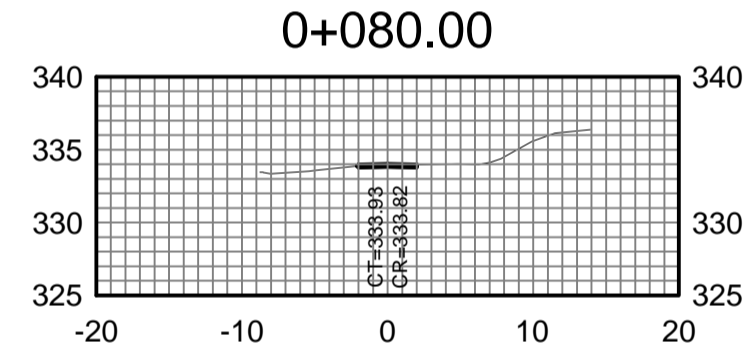
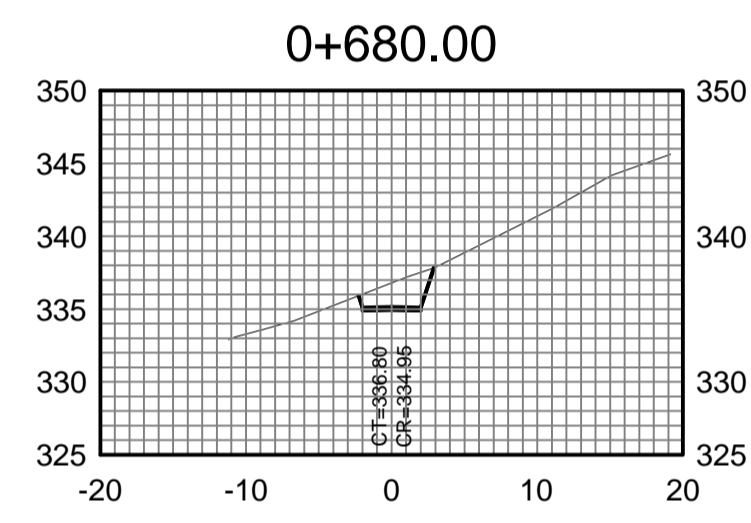
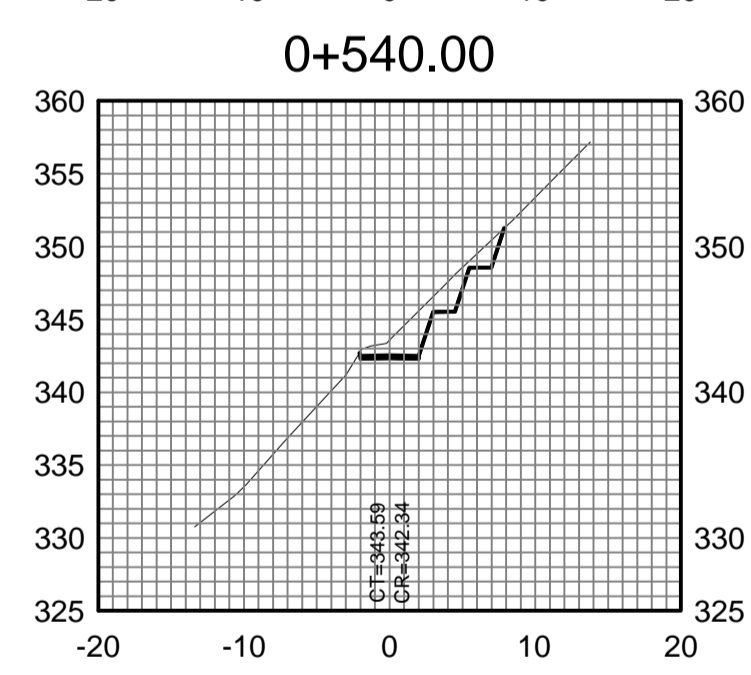
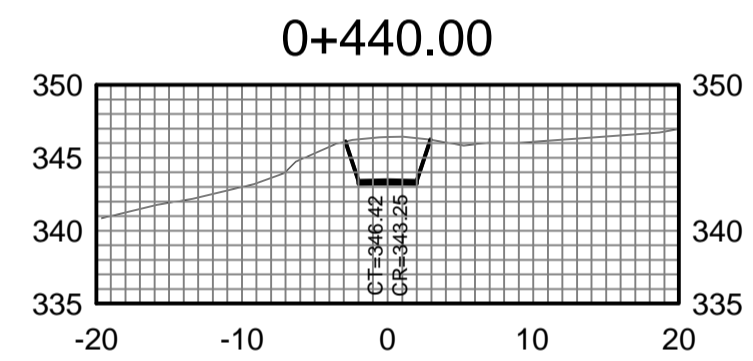
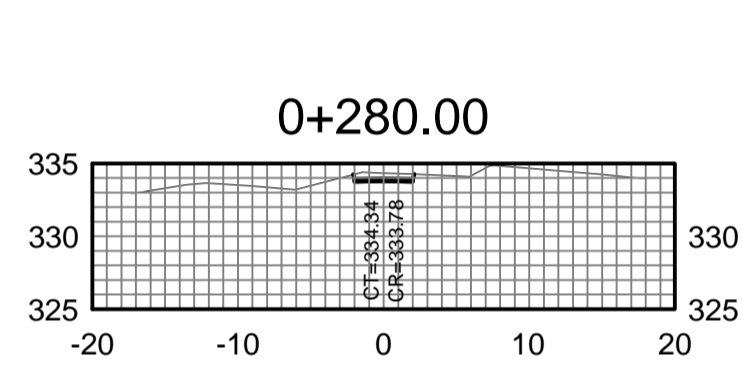
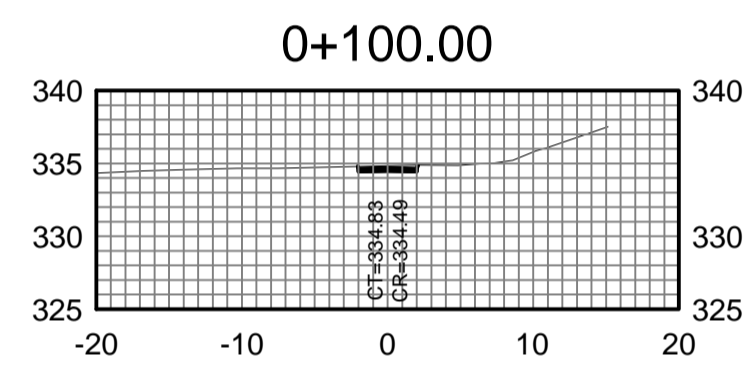
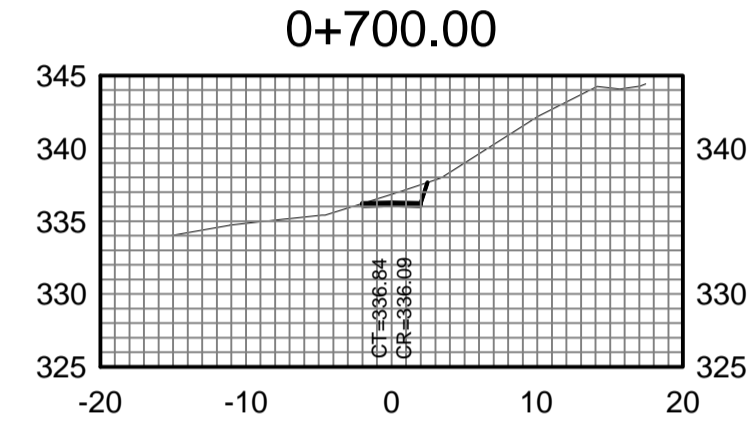
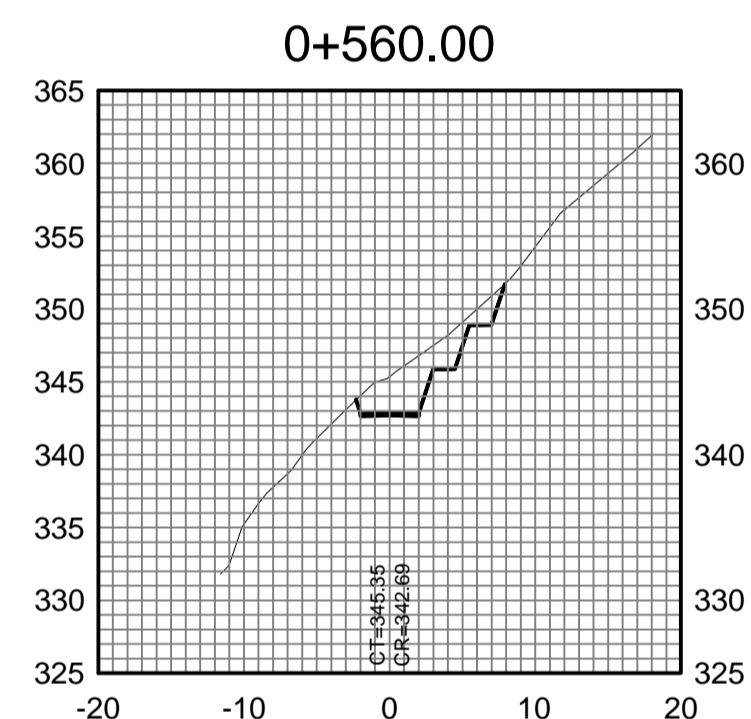
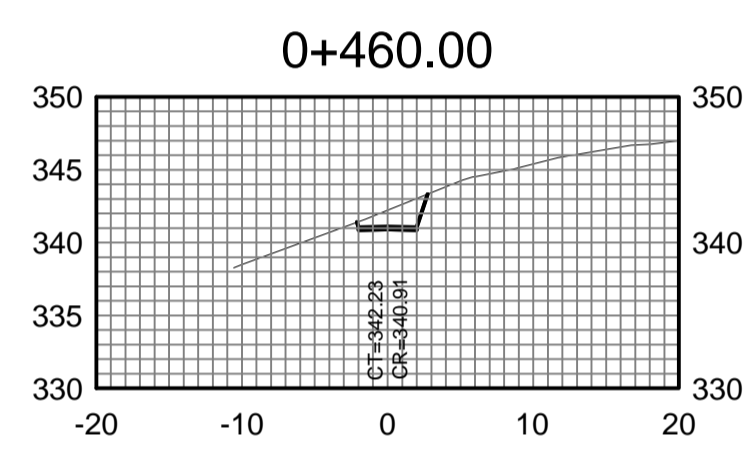
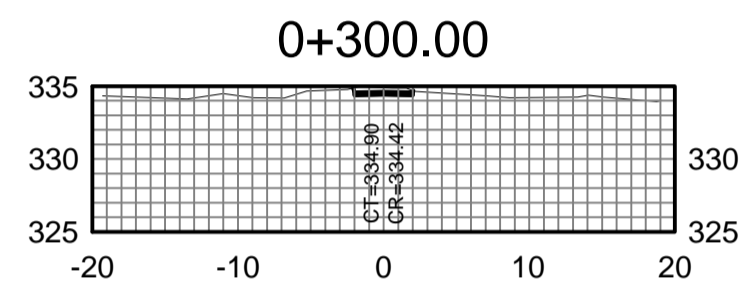
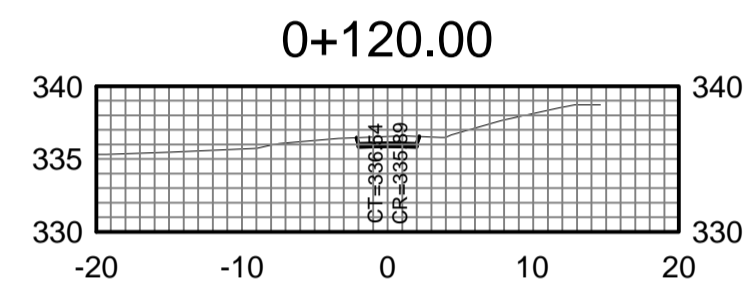
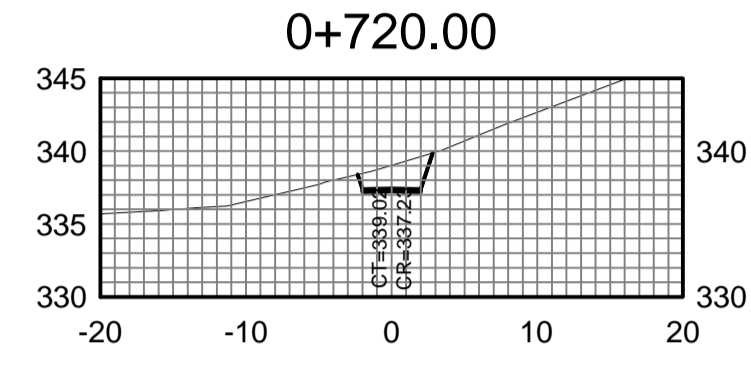
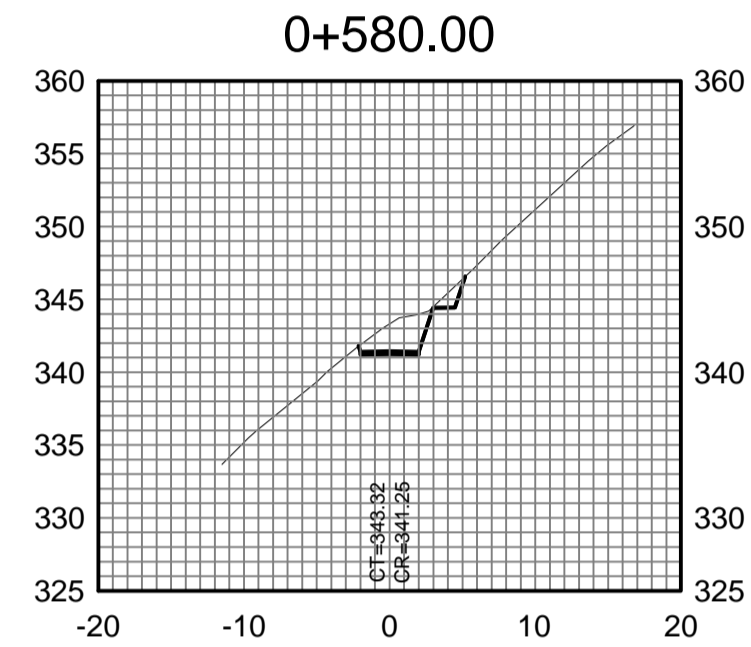
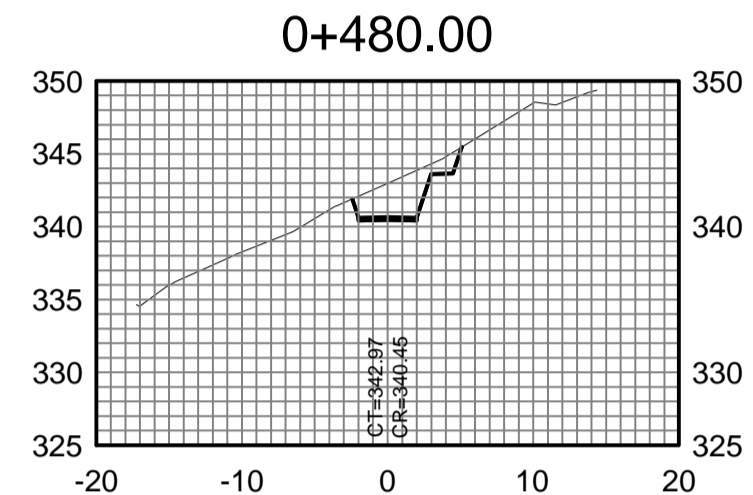
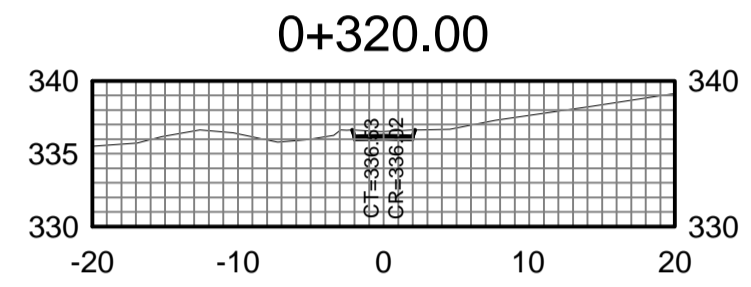
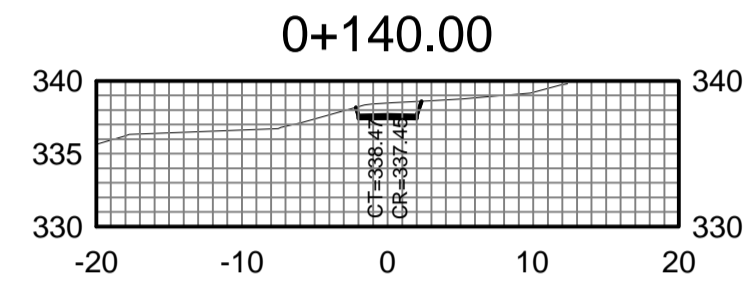
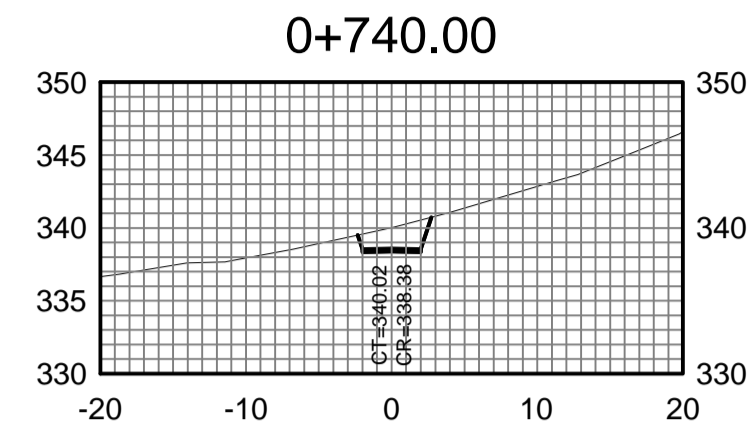
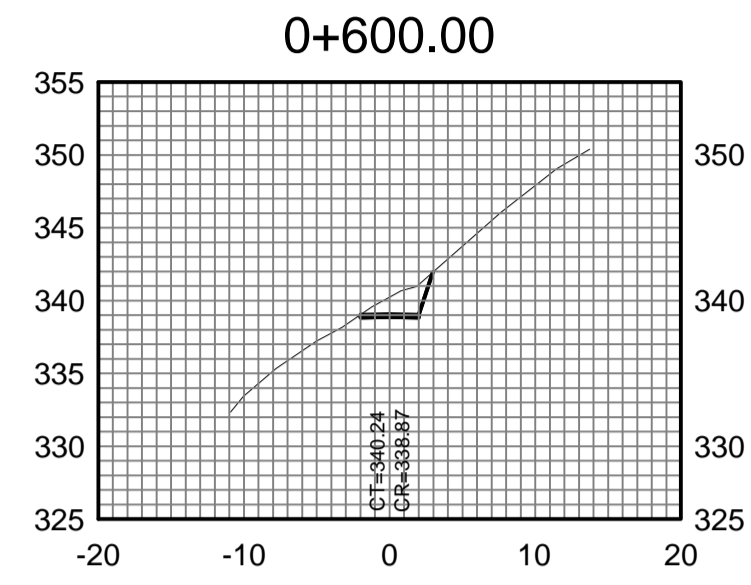
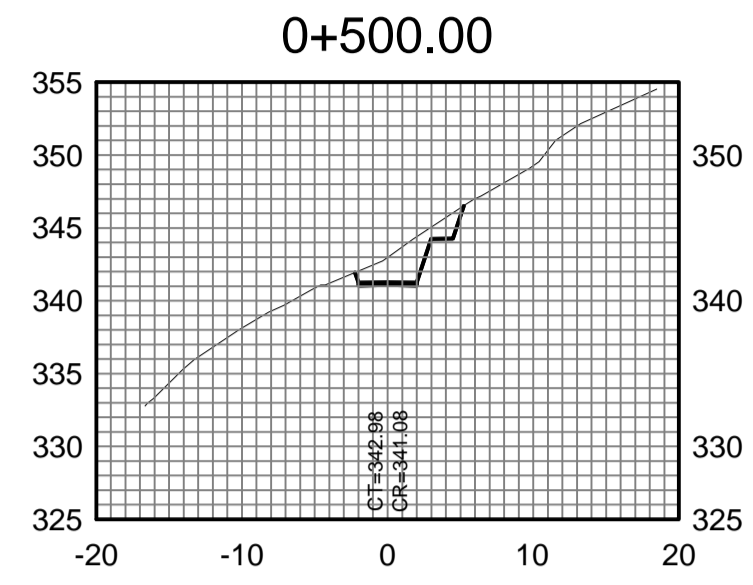
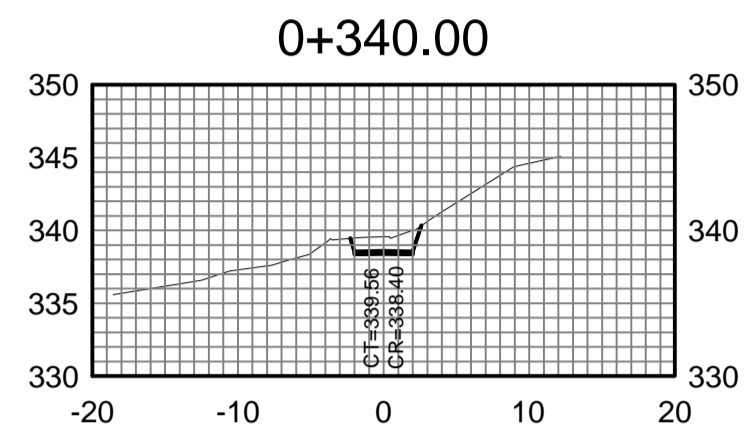
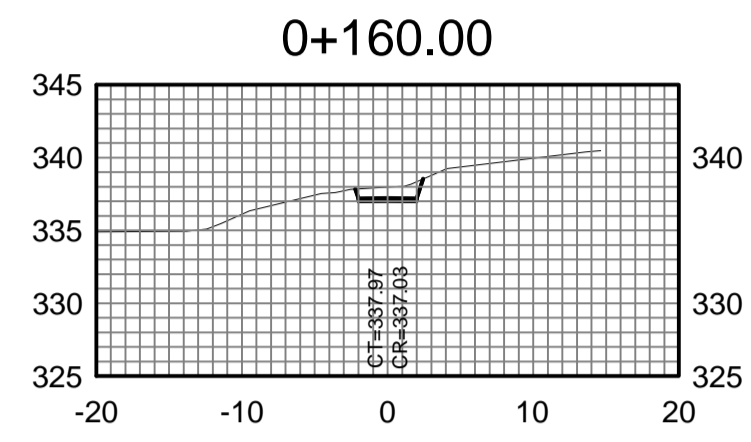
CONTIENE: **DISEÑO GEOMETRICO Y ALTIMETRICO**  
**PLANTA Y PERFIL**  
**TRAMO 0+666.00 A 1+320.00**

ESCALA: INDICADA DIBUJO: CESAR ALEJANDRO MORALES FOLGAR FECHA: SEPTIEMBRE 2012

LUGAR: MOMOSTENANGO TOYONICAPAN TOPOGRAFIA: CESAR ALEJANDRO MORALES FOLGAR ASESOR: ING ROWLAND HERMAN LANG GONZALEZ PROPIETARIO:

03 / 07

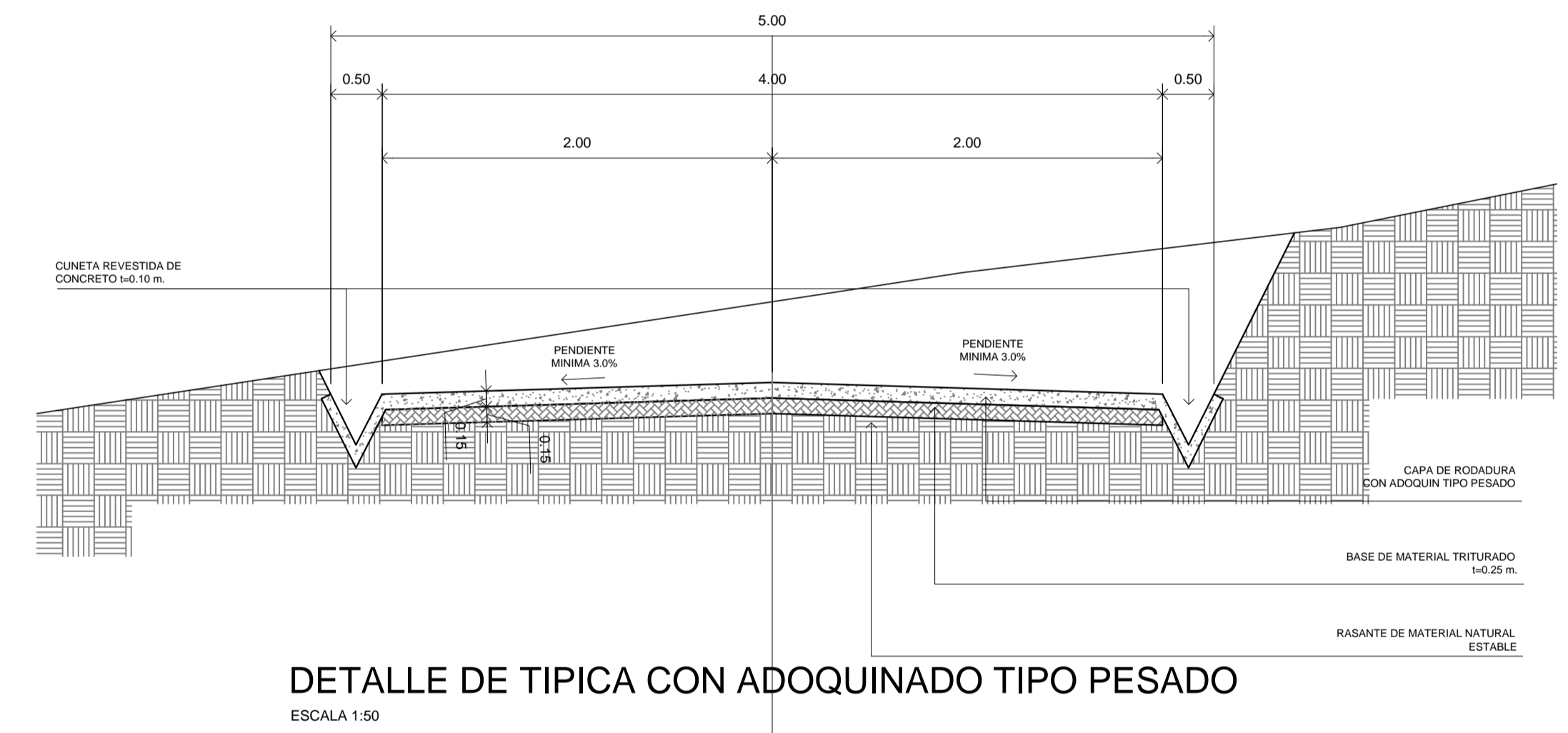
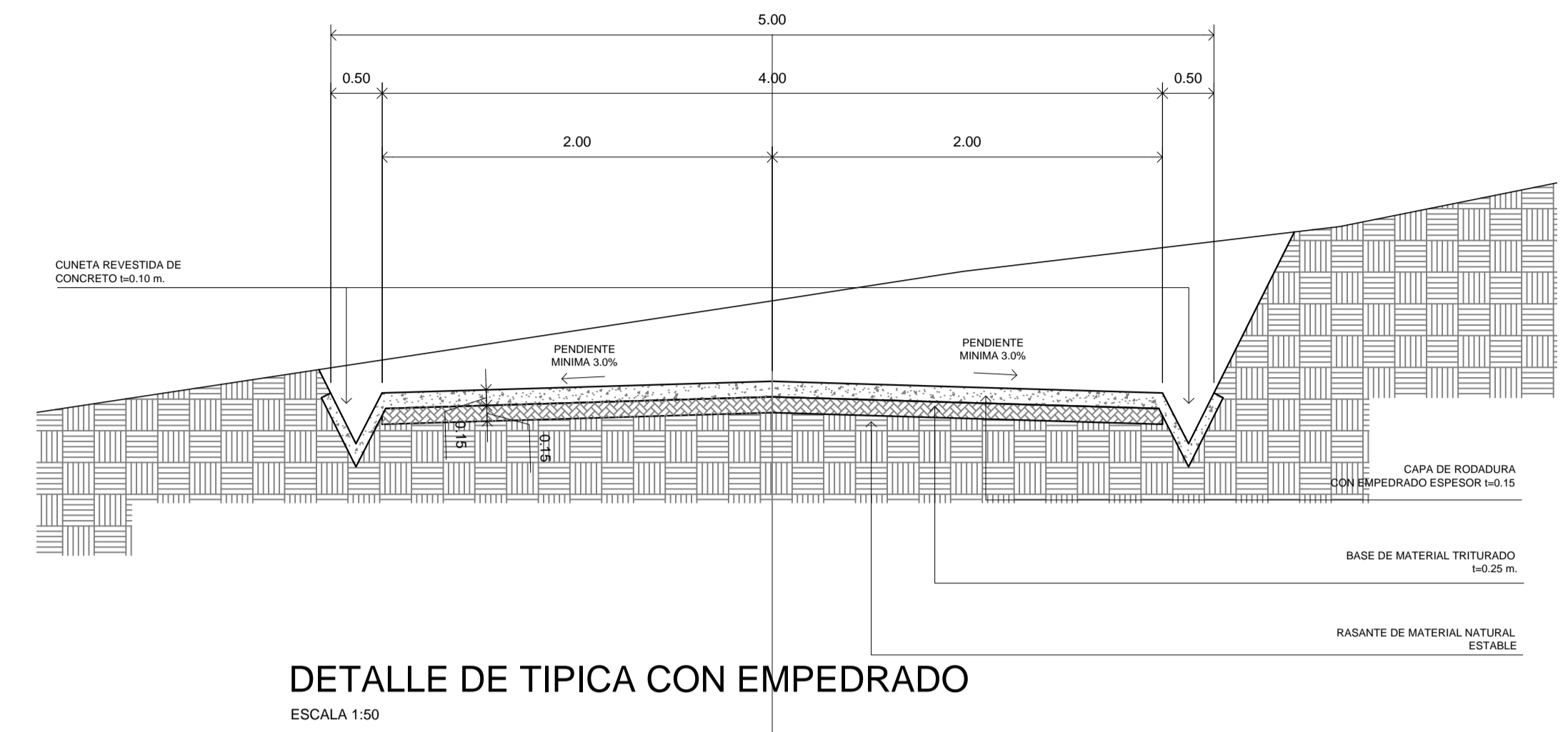
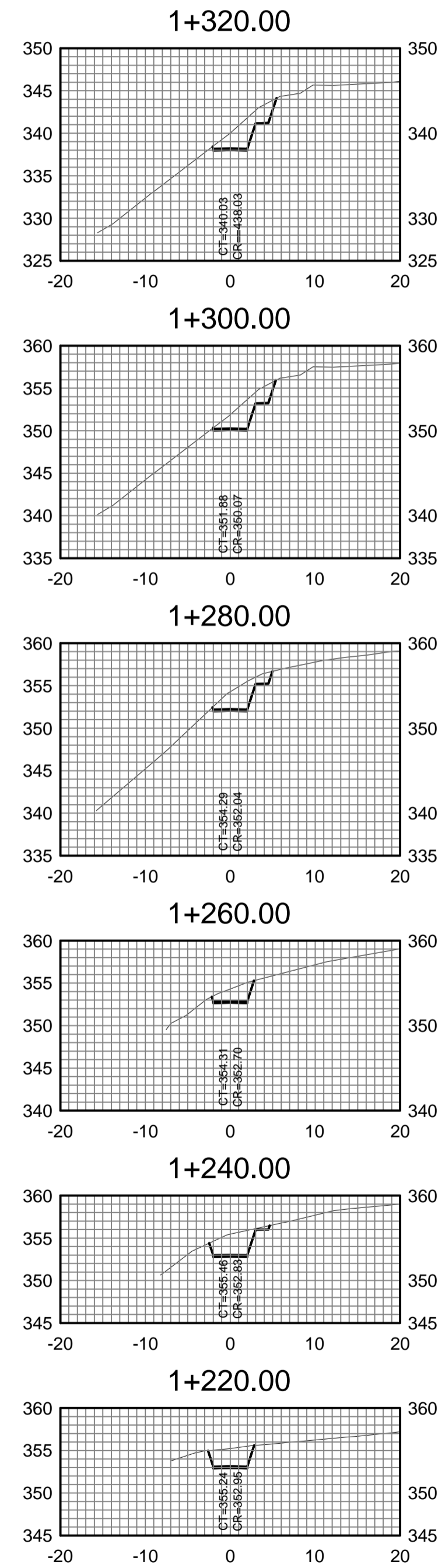
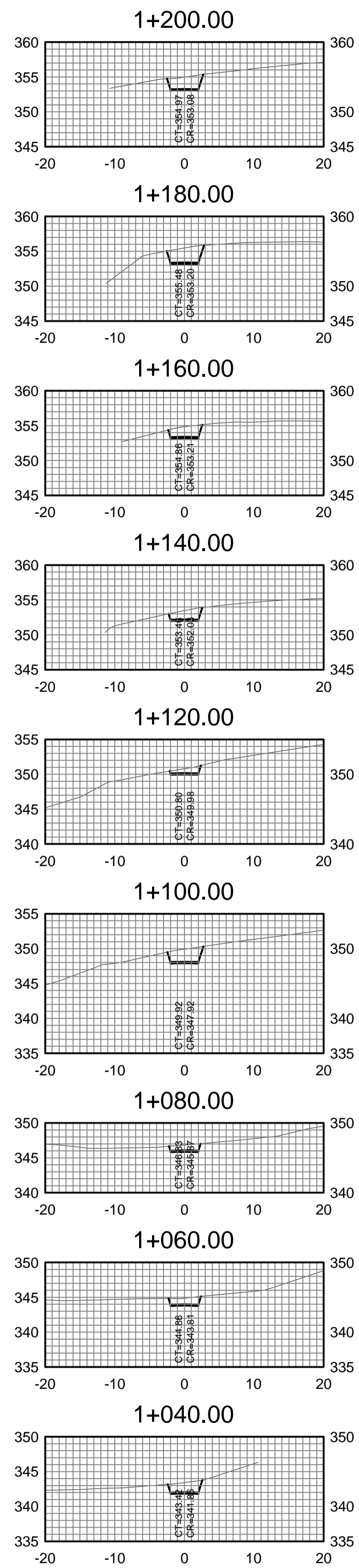
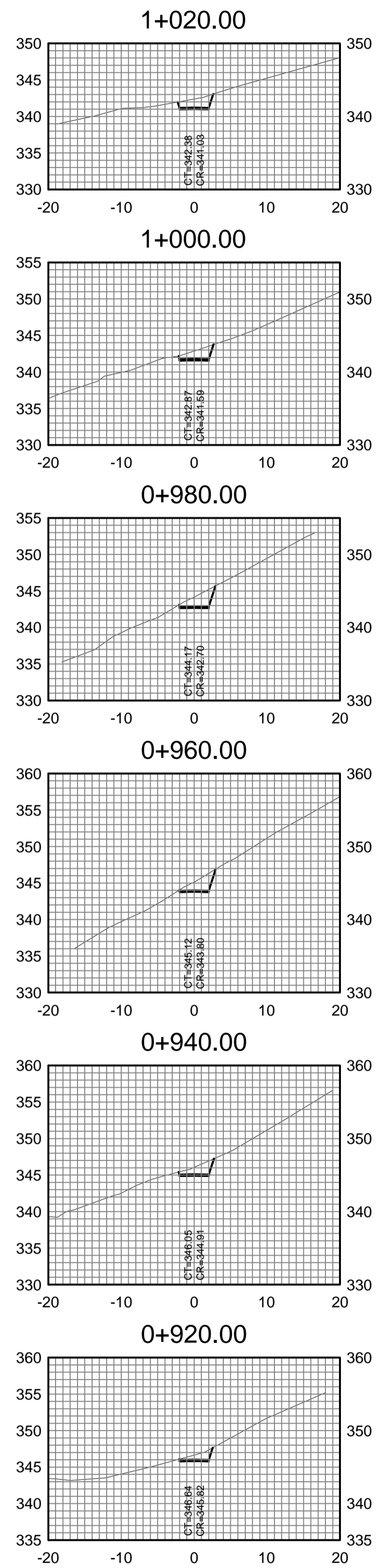
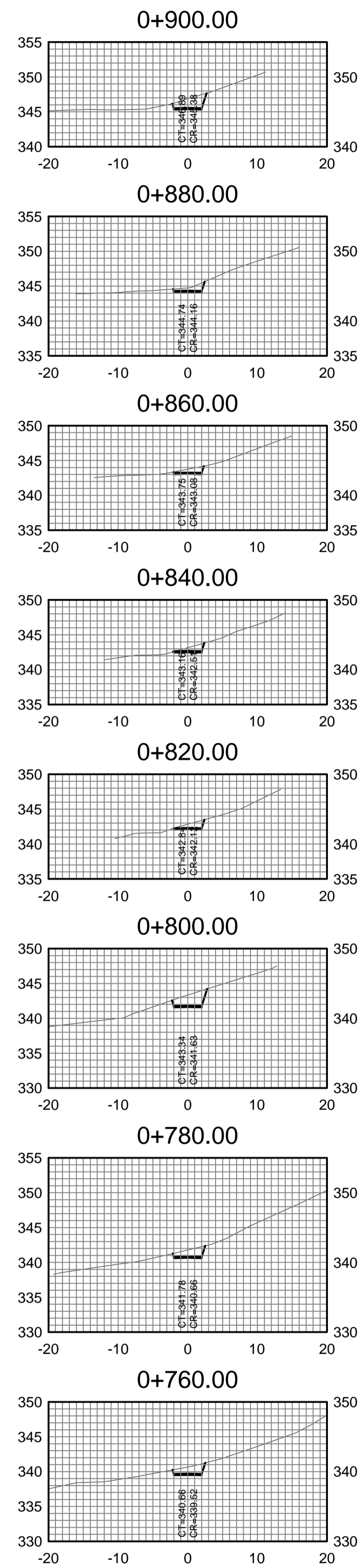
No. 001  
ALCALDE MUNICIPAL



**SECCIONES TRANSVERSALES**

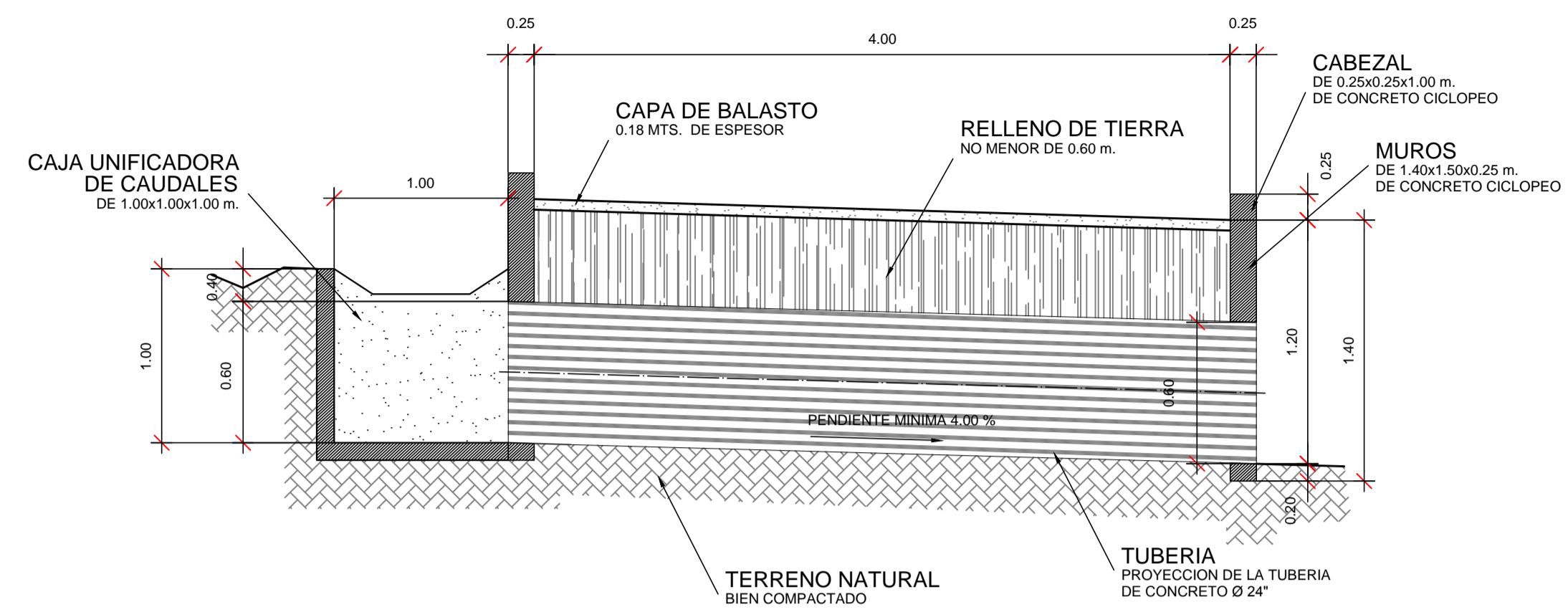
ESCALA HORIZONTAL 1:500  
ESCALA VERTICAL 1:500

PROYECTO: ANALISIS COMPARATIVO DEL PAVIMENTO: EMPEDRADO Y ADOSADO DE CAMINOS RURALES Y SU COMPORTAMIENTO ANTE EL TRAFICO PESADO EN EL TRAMO MOMOSTENANGO - SANTA LUCIA LA REFORMA, TOTONICAPAN			
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA FACULTAD DE INGENIERIA		04 / 07	
ESCALA: INDICADA	DIBUJO: CESAR ALEJANDRO MORALES FOLGAR	FECHA: SEPTIEMBRE 2012	
LUGAR: MOMOSTENANGO TOTONICAPAN	TOPOGRAFIA: CESAR ALEJANDRO MORALES FOLGAR	ASESOR: ING ROWLAND HERMAN LANG GONZALEZ	PROPIETARIO:



SECCIONES TRANSVERSALES  
ESCALA HORIZONTAL 1:500  
ESCALA VERTICAL 1:500

PROYECTO: ANALISIS COMPARATIVO DEL PAVIMENTO: EMPEDRADO Y ADOQUINADO DE CAMINOS RURALES Y SU COMPORTAMIENTO ANTE EL TRAFICO PESADO EN EL TRAMO MOMOSTENANGO - SANTA LUCIA LA REFORMA, TOTONICAPAN			
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA FACULTAD DE INGENIERIA		05 / 07	
CONTIENE: SECCIONES TRANSVERSALES TRAMO 0+760.00 A 1+320.00			
ESCALA:	DIBUJO:	FECHA:	PROPIETARIO:
INDICADA	CESAR ALEJANDRO MORALES FOLGAR	SEPTIEMBRE 2012	
LUGAR:	TOPOGRAFIA:	ASESOR:	
MOMOSTENANGO TOTONICAPAN	CESAR ALEJANDRO MORALES FOLGAR	ING ROWLAND HERMAN LANG GONZALEZ	
No. 86 ALCALDE MUNICIPAL			



SECCION TRANSVERSAL DEL DRENAJE TRANSVERSAL

ESCALA 1/30

ESPECIFICACIONES

CARPETA DE RODADURA

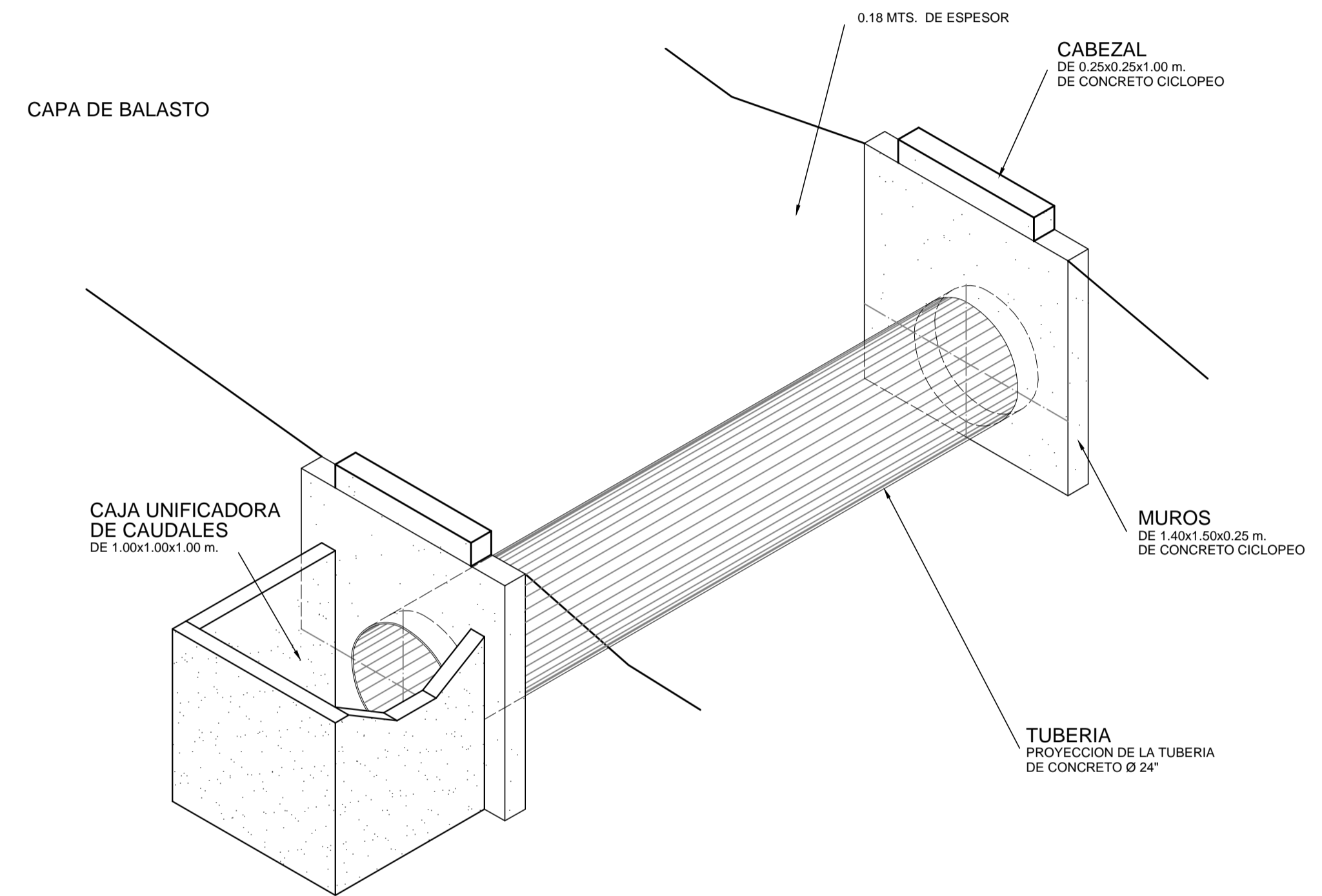
ESTA SERA DE ADOQUIN PARA TRAFICO PESADO O EMPEDREDO

CONCRETO CICLOPEO

SE UTILIZARA 60% DE PIEDRA BOLA DE 0.15 A 0.20 MTS DE DIAMETRO Y 40% DE VOLUMEN DE CONCRETO DE 165 KG/CM2 DE RESISTENCIA

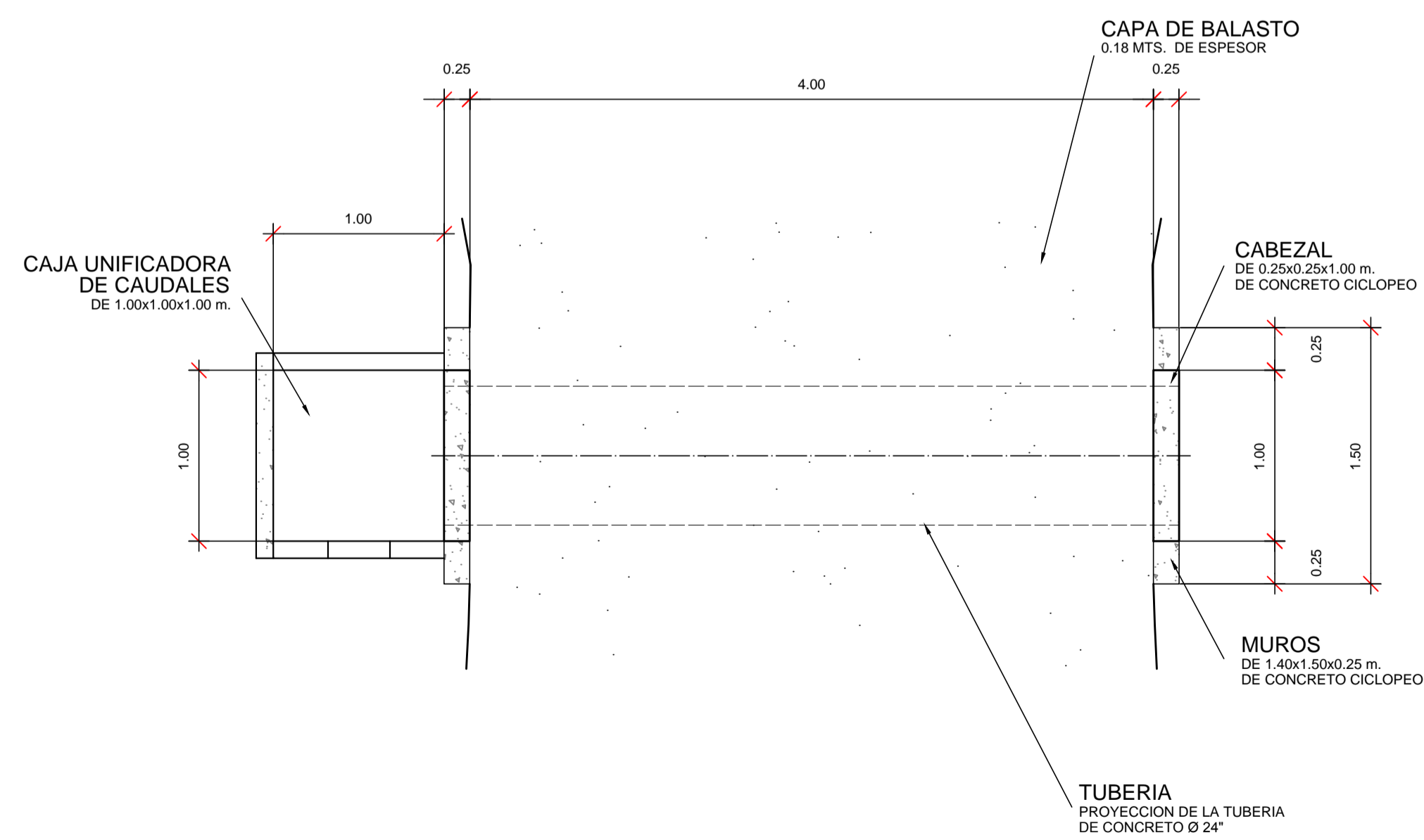
MORTERO

EL MORTERO A UTILIZAR EN EL REVESTIDO SERA PROPORCION 1:3 CONCRETO, ARENA DE RIO CERNIDA



ISOMETRICO DE DRENAJE TRANSVERSAL

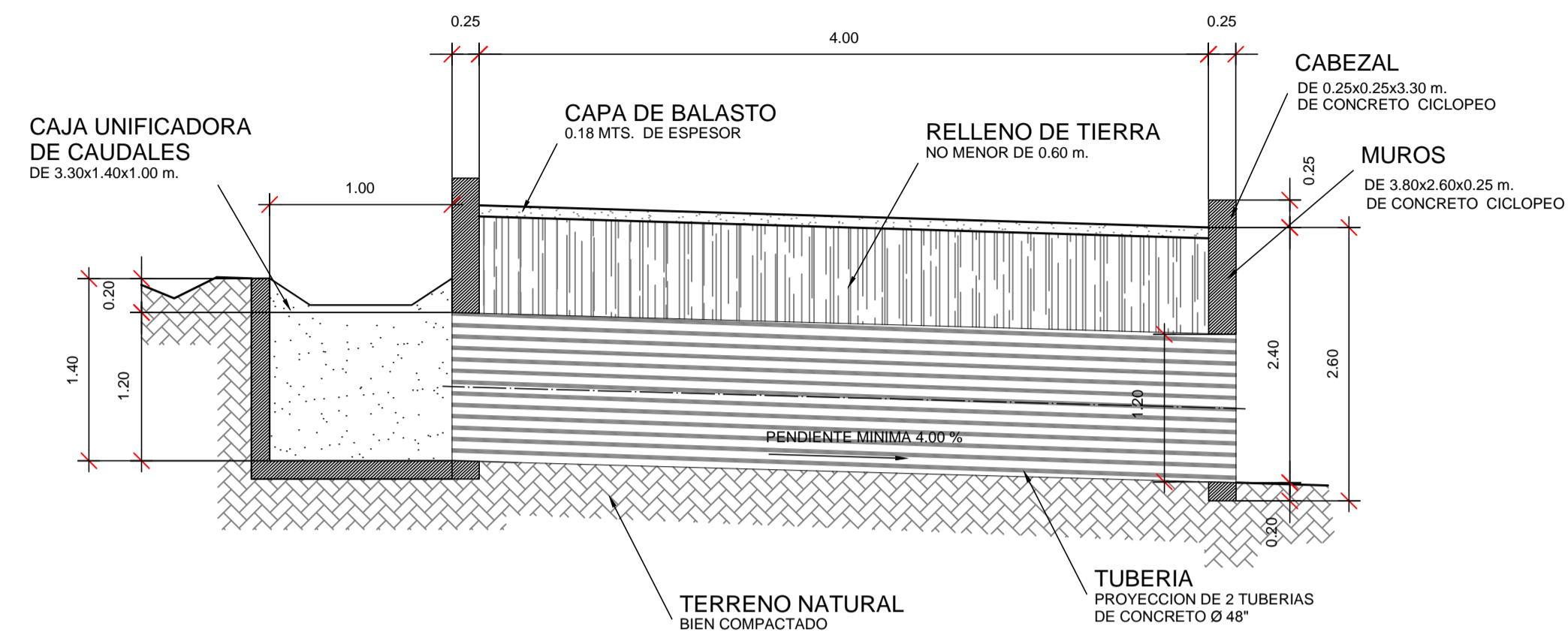
ESCALA 1/30



PLANTA DE DRENAJE TRANSVERSAL

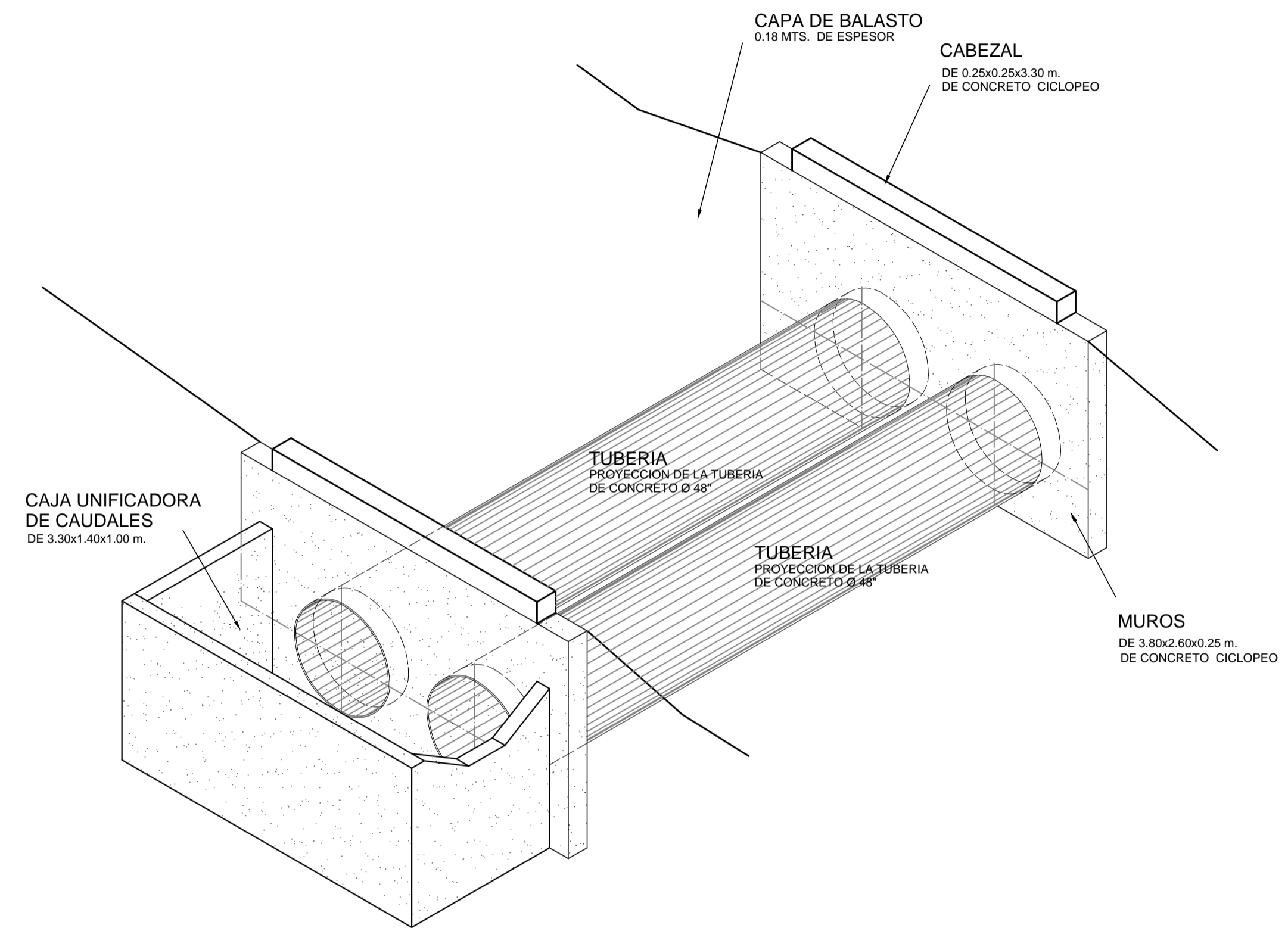
ESCALA 1/30

PROYECTO: ANALISIS COMPARATIVO DEL PAVIMENTO: EMPEDRADO Y ADOQUINADO DE CAMINOS RURALES Y SU COMPORTAMIENTO ANTE EL TRAFICO PESADO EN EL TRAMO MOMOSTENANGO - SANTA LUCIA LA REFORMA, TOTONICAPAN			
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA FACULTAD DE INGENIERIA		CONTIENE: DETALLES DE DRENAJE TRANSVERSAL DE UNA TUBERIA DE CONCRETO DE Ø 24"	
ESCALA: INDICADA	DIBUJO: CESAR ALEJANDRO MORALES FOLGAR	FECHA: SEPTIEMBRE 2012	06 / 07
LUGAR: MOMOSTENANGO TOTONICAPAN	TOPOGRAFIA: CESAR ALEJANDRO MORALES FOLGAR	ASESOR: ING ROWLAND HERMAN LANG GONZALEZ	
PROPETARIO:			16. 86. ALCALDE MUNICIPAL



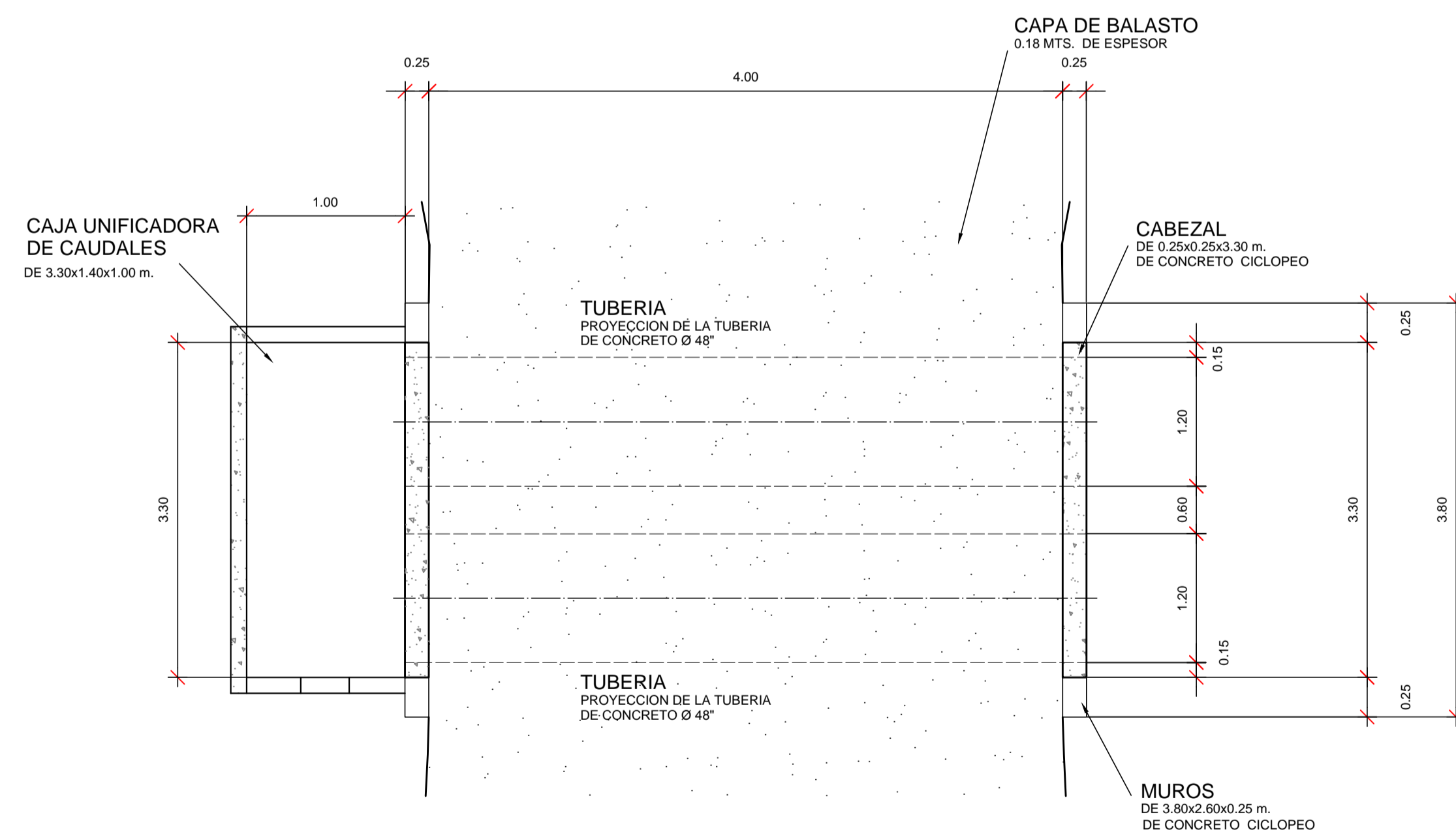
SECCION TRANSVERSAL DEL DRENAJE TRANSVERSAL

ESCALA 1/30



ISOMETRICO DE DRENAJE TRANSVERSAL

ESCALA 1/30



PLANTA DE DRENAJE TRANSVERSAL

ESCALA 1/30

### ESPECIFICACIONES

#### CARPETA DE RODADURA

ESTA SERA DE ADOQUIN PARA TRAFICO PESADO O EMPEDREDO

#### CONCRETO CICLOPEO

SE UTILIZARA 60% DE PIEDRA BOLA DE 0.15 A 0.20 MTS DE DIAMETRO Y 40% DE VOLUMEN DE CONCRETO DE 165 KG/CM2 DE RESISTENCIA

#### MORTERO

EL MORTERO A UTILIZAR EN EL REVESTIDO SERA PROPORCION 1:3 CEMENTO, ARENA DE RIO CERNIDA

PROYECTO: ANALISIS COMPARATIVO DEL PAVIMENTO: EMPEDRADO Y ADOQUINADO DE CAMINOS RURALES Y SU COMPORTAMIENTO ANTE EL TRAFICO PESADO EN EL TRAMO MOMOSTENANGO - SANTA LUCIA LA REFORMA, TOTONICAPAN			
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA FACULTAD DE INGENIERIA		CONTIENE: DETALLES DE DRENAJE TRANSVERSAL DE DOS TUBERIAS DE CONCRETO DE Ø 48"	
ESCALA: INDICADA	DIBUJO: CESAR ALEJANDRO MORALES FOLGAR	FECHA: SEPTIEMBRE 2012	07 / 07
LUGAR: MOMOSTENANGO TOTONICAPAN	TOPOGRAFIA: CESAR ALEJANDRO MORALES FOLGAR	ASESOR: ING ROWLAND HERMAN LANG GONZALEZ	
10. 08. ALCALDE MUNICIPAL			





## ADOQUINES

### 1. DATOS GENERALES

O.T. No.30434, O.T. No. 30628

INFORME No. 755-M

INTERESADO: CESAR ALEJANDRO MORALES FOLGAR, CARNÉ: 200313199  
PROYECTO: TESIS "ANÁLISIS COMPARATIVO DEL PAVIMENTO: EMPEDRADO Y ADOQUINADO DE CAMINOS RURALES Y SU COMPORTAMIENTO ANTE TRAFICO PESADO EN EL TRAMO MOMOSTENANGO-SANTA LUCIA LA REFORMA TOTONICAPAN"

ASUNTO: ENSAYO DE ADOQUINES A FLEXIÓN, COMPRESIÓN Y ABRASIÓN.

PROVEEDOR: \*\*\*\*\*

FECHA: GUATEMALA, 30 DE OCTUBRE DE 2012.

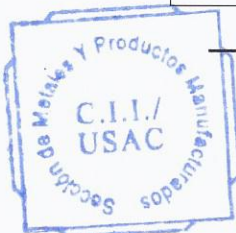
### 2. RESULTADOS ENSAYO

#### COMPRESIÓN

LARGO	GROSOR	BASE	ANCHO	PESO NAT	%ABS	ALTO (cm)	ANCHO (cm)	Area (cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
cm	cm	cm	cm	kg		12.956	13.133	170.151148	30388.56	178.60
24	9.9	22.2	16	9.99	4.74	12.08	12.722	153.68176	25294.71	164.59
24	10	22	16	10.12	5.09	12.885	12.996	167.45346	19274.7	115.10
24	10	22.1	15.9	10.19	5.12	12.457	12.928	161.044096	20663.93	128.31
23.9	10	22.1	16	9.905	6.24	13.333	13.079	174.382307	25757.78	147.71
24	10	22	16	10.185	4.65					

#### FLEXIÓN

LARGO	GROSOR	BASE	ANCHO	PESO NAT	CARGA	%ABS	MODULO RUP
cm	cm	cm	Cm	Kg	kg		kg/cm <sup>2</sup>
24	9.5	22	15.9	10.25	5300	5.69	124.65
23.8	9.5	22	15.7	9.125	2640	7.95	62.88
23.8	9	21.8	15.5	8.72	2500	7.45	67.20
24	9.7	22	15.9	9.985	2500	4.87	56.40
23.9	9.7	22.1	16	10.11	2640	4.61	59.19
24	9.5	22.2	16	10.115	2400	4.14	56.09
23.7	10	22.1	15.8	10.07	2300	4.95	49.13
23.8	9.8	22.1	15.8	9.955	2400	4.02	53.38





## ADOQUINES

### 1. DATOS GENERALES

O.T. No.30434, O.T. No. 30628

INFORME No. 755-M

INTERESADO: CESAR ALEJANDRO MORALES FOLGAR, CARNÉ: 200313199  
 PROYECTO: TESIS "ANÁLISIS COMPARATIVO DEL PAVIMENTO: EMPEDRADO Y ADOQUINADO DE CAMINOS RURALES Y SU COMPORTAMIENTO ANTE TRAFICO PESADO EN EL TRAMO MOMOSTENANGO-SANTA LUCIA LA REFORMA TOTONICAPAN"

ASUNTO: ENSAYO DE ADOQUINES A FLEXIÓN, COMPRESIÓN Y ABRASIÓN.  
 FECHA: GUATEMALA, 30 DE OCTUBRE DE 2012.

### ABRASIÓN

Identificación RODADURA	Inicial	Ensayado	Diferencia $\Delta$ desgaste	ESPECIFICACIONES	
				tipo II y III	tipo I
altura (cm)	5.897	5.388	0.510	0.3	0.34
Área (cm <sup>2</sup> )	52.75	52.75	----	-----	-----
volumen (cm <sup>3</sup> )	311.07	284.17	26.894	15	17
Identificación 2	Inicial	Ensayado	Diferencia $\Delta$ desgaste	ESPECIFICACIONES	
				tipo II y III	tipo I
altura (cm)	6.831	6.535	0.296	0.3	0.34
Área (cm <sup>2</sup> )	52.29	52.29	----	-----	-----
volumen (cm <sup>3</sup> )	357.22	341.76	15.466	15	17
Identificación 3	Inicial	Ensayado	Diferencia $\Delta$ desgaste	ESPECIFICACIONES	
				tipo II y III	tipo I
altura (cm)	6.489	6.063	0.426	0.3	0.34
Área (cm <sup>2</sup> )	51.07	51.07	----	-----	-----
volumen (cm <sup>3</sup> )	331.40	309.63	21.768	15	17

**Observaciones:** muestras proporcionadas por el interesado.  
 Atentamente,

Ing. Pablo Christian De León Rodríguez  
 Jefe de Metales y Productos  
 Manufacturados

/cbr

Vo.Bo. Inga. Telma Maricela Cano Morales  
 DIRECTORA C.I.I.





**RESISTENCIA A COMPRESION DE NUCLEOS DE ROCA  
NORMA ASTM C- 42**

INFORME No. S.C. - 566

O.T. No. **30435**

**INTERESADO:** César Alejandro Morales Folgar Carné No. 200313199  
**PROYECTO:** Tesis "Análisis Comparativo del Pavimento y Adoquinado de Caminos Rurales y su Comportamiento ante tráfico pesado en el tramo Momostenango - Santa Lucía La Reforma Tonicapán."  
**DIRECCION:** Santa Lucía La Reforma, Tonicapán.  
**FECHA:** 1 de octubre de 2012

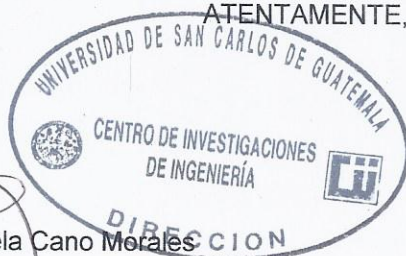
**I.- RESULTADOS**

TESTIGO	Peso g	Diámetro cm	Altura cm	Altura Nivelada	Carga Kg.	Esfuerzo kg/cm <sup>2</sup>	Factor de Corrección	Esfuerzo Corregido kg/cm <sup>2</sup>	Esfuerzo Corregido PSI
1	359.00	4.58	8.90	9.29	17,172	472.79	1	472.79	6724.60
2	357.90	4.58	8.83	9.30	21,576	594.04	1	594.04	8449.22
3	389.80	4.58	8.75	9.14	23,944	659.24	1	659.24	9376.53

**II.- OBSERVACIONES**

- a) Nucleos extraídos de rocas proporcionadas por el interesado.
- b) Norma aplicada ASTM C-42
- c) Nucleos extraídos el 25 de septiembre de 2012.
- d) Los Nucleos fueron ensayados el 26 de septiembre de 2012.

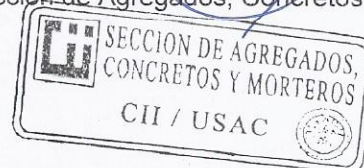
ATENTAMENTE,



Vo. Bo.

Telma Maricela Cano Morales  
Directora CII/USAC

*[Signature]*  
Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jo  
Jefa Sección de Agregados, Concretos y Morteros.

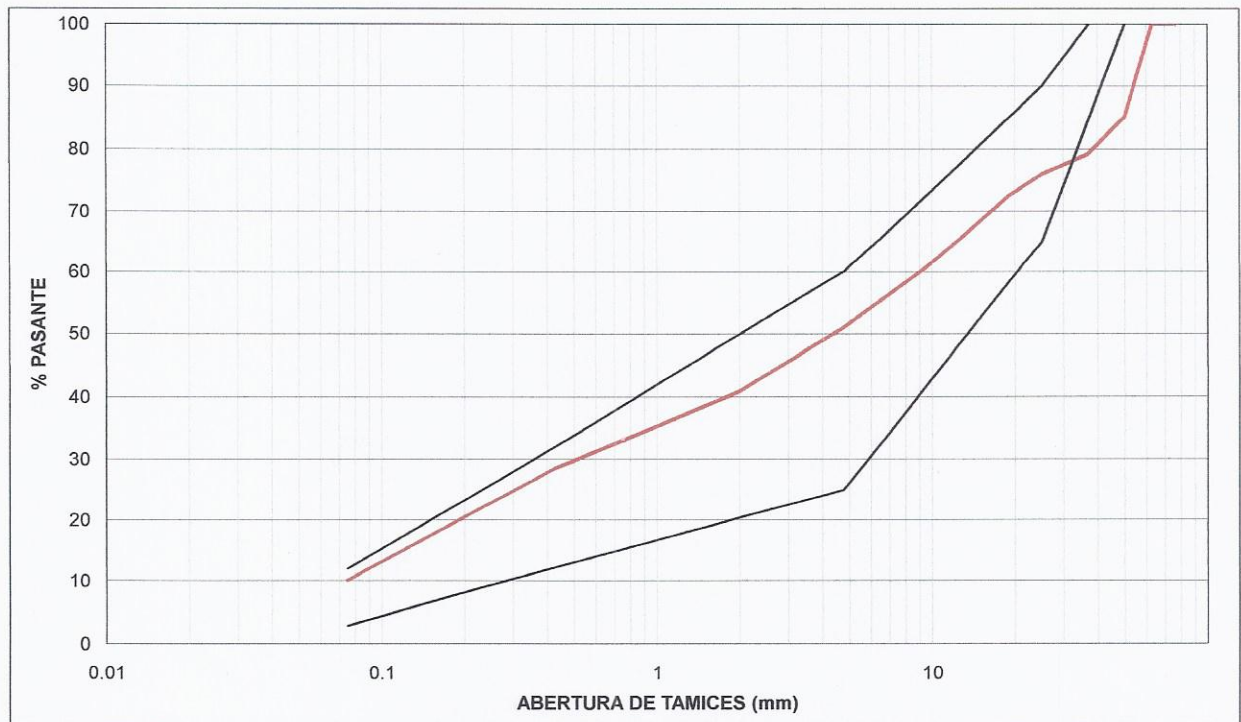


M.C.

Ing. Alvaro Guillermo 6 C, Lote 4 "A", Col. El Recreo Amatitlan, Tel. 5526-7466	<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b>	<b>Asfaltos, Pavimentos y Control de Calidad de Guatemala</b>
	<b>Analisis Granulometrico AASHTO T - 11, T - 27 y T - 37</b>	

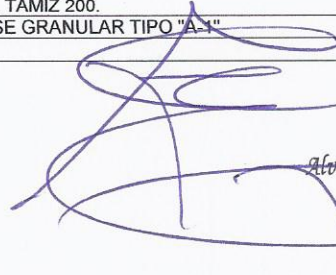
INTERESADO:	<b>CESAR ALEJANDRO MORALES FOLGAR</b>	
PROYECTO:	<b>ADOQUINAMIETO Y EMPEDRADO.</b>	
BANCO:	<b>STA. LUCIA LA REFORMA, MOMOSTENANGO, TOTONICAPAN.</b>	FECHA : <b>AGOSTO 2,012</b>
CLASE DE MATERIAL :	<b>GRAVA Y ARENA CON POCO LIMO, COLOR GRIS.</b>	CAPA: <b>BASE DE EMPEDRADO</b>

Tamices		Pesos Retenidos (gr)	Retenido Parcial (%)	Retenido Acumulado (%)	Material Pasante (%)	Especificaciones % Pasante (min - max)	Descripcion del Material	
Denominación	Abertura (Pulgadas)						TMN:	
3"	76	0.0	0.0	0.0	100.0		2 1/2"	
2 1/2"	63	0.0	0.0	0.0	100.0		Peso Muest.	1796.2 gr.
2"	50	265.8	265.8	14.8	85.2	100	% de Grava:	48.9
1 1/2"	37	371.5	105.7	20.7	79.3		% de Arena:	41.0
1"	25	430.0	58.5	23.9	76.1	65 - 90	% Pasa # 200:	10.1
3/4"	19	492.3	62.3	27.4	72.6		L.L.:	20.0
3/8"	9.5	705.1	212.8	39.3	60.7		L.P.:	N.P.
No. 4	4.75	879.2	174.1	48.9	51.1	25 - 60	I.P.:	N.P.
No. 10	2	1060.3	181.1	59.0	41.0			
No. 40	0.425	1283.0	222.7	71.4	28.6		P.V.S.S.:	106.80 Lb/pie <sup>3</sup>
No. 200	0.075	1614.8	331.8	89.9	10.1	3 - 12	P.V.S.C.:	



**OBSERVACIONES:**

LOS AGREGADOS FUERON LAVADOS POR EL TAMIZ 200.  
LA ESPECIFICACION ES DE MATERIAL DE BASE GRANULAR TIPO "A-1"

  
 Ingeniero Civil  
 Alvaro César Guillermo Estrada  
 Colegiado No. 6171

Ing. Alvaro Guillermo 6 C, Lote 4 "A", Col. El Recreo Amatitlan. Tel. 5526-7466	LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD	Asfaltos, Pavimentos y Control de Calidad de Guatemala
	Limite Liquido y Limite Plastico (Lmites de Consistencia) AASHTO T - 89 y T - 90	

INTERESADO: CESAR ALEJANDRO MORALES FOLGAR	FECHA: AGOSTO 2,012
PROYECTO: ADOQUINAMIETO Y EMPEDRADO.	CAPA: BASE DE EMPEDRADO
BANCO: STA. LUCIA LA REFORMA, MOMOSTENANGO, TOTONICAPAN.	
CLASE DE MATERIAL: GRAVA Y ARENA CON POCO LIMO, COLOR GRIS.	

TARA	PESO TARA	TARA + SUELO HÚMEDO	TARA + SUELO SECO	PESO AGUA	SUELO SECO	CONTENIDO DE AGUA	NUMERO DE GOLPES
No.	grs.	grs.	grs.	grs.	grs.	%	
<b>L I M I T E   L I Q U I D O</b>							
4	13.51	24.32	22.04	2.28	8.53	26.73	2
5	13.56	24.41	22.16	2.25	8.60	26.16	2
6	13.21	21.64	19.86	1.78	6.65	26.77	2
<b>L I M I T E   P L A S T I C O</b>							
<b>NO PRESENTA L.P.</b>							
<b>HUMEDAD PROMEDIO</b>							

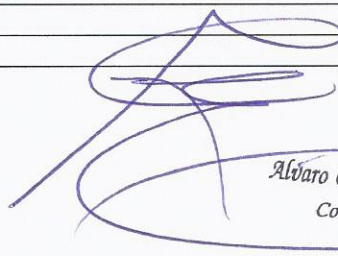


RESUMEN	
Clasificación S.U.C.S.	GP-GM
Clasificación AASHTO	A-1-a
Limite Liquido	20.0
Limite Plastico	N.P.
Indice de Plasticidad	N.P.

**OBSERVACIONES:**

EL MATERIAL UTILIZADO PARA LOS LIMITES DE CONSISTENCIA PASA TAMIZ # 40.

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

  
 Ingeniero Civil  
 Alvaro César Guillermo Estrada  
 Colegiado No. 6171

Ing. Alvaro Guillermo 6 C, Lote 4 "A", Col. El Recreo Amatitlan. Tel. 5526-7466	<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b>	<b>Asfaltos, Pavimentos y Control de Calidad de Guatemala</b>
	<b>Proctor, Relacion Humedad - Densidad AASHTO T-99 ó T-180</b>	

INTERESADO: **CESAR ALEJANDRO MORALES FOLGAR**

PROYECTO: **ADOQUINAMIETO Y EMPEDRADO.**

BANCO: **STA. LUCIA LA REFORMA, MOMOSTENANGO, TOTONICAPAN.**

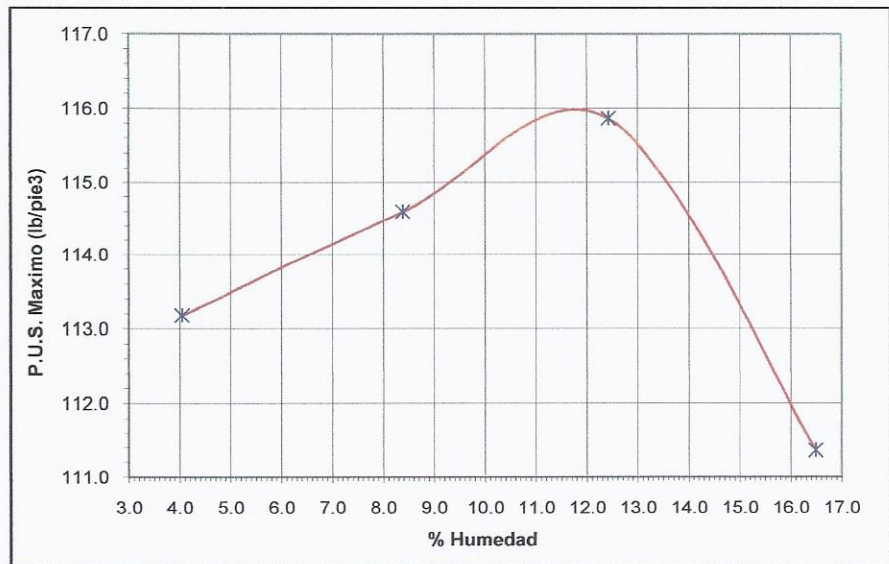
FECHA: **AGOSTO 2,012**

CLASE DE MATERIAL: **GRAVA Y ARENA CON POCO LIMO, COLOR GRIS.**

CAPA: **BASE DE EMPEDRA**

P.B.	TARA	P.N.	VOL. CIL.	P.U.H.	PORCENTAJE DE HUMEDAD							P.U.S.	
					TARRO	P.B.H.	P.B.S.	TARA	DIF.	P.N.S.	% HUM.		
23.03	14.28	8.75	13.46	117.76								4.05	113.18
23.51	14.28	9.23	13.46	124.22	% Humedad Controlado							8.39	114.60
23.96	14.28	9.68	13.46	130.27	Via Estufa							12.43	115.87
23.92	14.28	9.64	13.46	129.74								16.50	111.36


P.U.S. MAX. :	1,856.0	kg/m <sup>3</sup>
P.U.S. MAX. :	116.0	lb/pie <sup>3</sup>
% HUM. OPT. :	11.80	%
TIPO DE PROCTOR : MODIFICADO "B"		
No. DE CILINDRO : P-1		
CANT. DE MAT. : 19.17 lb		
AGUA INICIAL : 267 cc		
SEGUIDO CON : 356.3 cc		



OBSERVACIONES :

**EL FACTOR DE COMPACTACION RESPECTO A SU P.U.S.S. ES DE 7.93 %**

**NO SE REALIZO REEMPLAZO DE MATERIAL RETENIDO EN MALLA 3/4".**

  
 Ingeniero Civil  
 Alvaro César Guillermo Estrada  
 Colegiado No. 6171

Ing. Alvaro Guillermo 6 C, Lote 4 "A", Col. El Recreo Amatitlan. Tel. 5526-7466	<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b>	<b>Asfaltos, Pavimentos y Control de Calidad de Guatemala</b>
	<b>C.B.R. AASHTO T - 193</b>	

INTERESADO:	<b>CESAR ALEJANDRO MORALES FOLGAR</b>	
PROYECTO:	<b>ADOQUINAMIETO Y EMPEDRADO.</b>	
BANCO:	<b>STA. LUCIA LA REFORMA, MOMOSTENANGO, TOTONICAPA</b>	FECHA : <b>AGOSTO 2,012</b>
CLASE DE MATERIAL :	<b>GRAVA Y ARENA CON POCO LIMO, COLOR GRIS.</b>	CAPA <b>BASE DE EMPEDRA</b>

**Densidad Maxima Seca (lb/pie<sup>3</sup>)**                      **116.0**  
**Humedad Optima (%)**                                      **11.8**

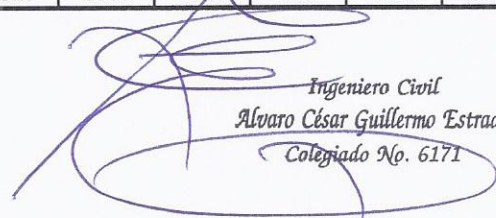
Determinacion del % H. Actual							
Tarro	Tara	P.B.H.	P.B.S.	Dif.	P.N.	% H.	Prom.
1	30.80	57.70	57.50	0.20	26.70	0.75	<b>0.99</b>
2	27.40	52.20	51.90	0.30	24.50	1.22	

<b>Cilindro No.:</b>	<b>C - 1</b>	<b>No. De Capas:</b>	<b>5</b>	<b>No. De Golpes:</b>	<b>10</b>	<b>% de Compactacion:</b>	<b>91.60</b>
P.B.		TARA		P.N.		Capacidad	
24.91		16.01		8.90		0.07434	
Prom.							
Tarro	Tara	P.B.H.	P.B.S.	Dif.	P.N.	% H.	Prom.
1	30.80	62.10	58.50	3.60	27.70	13.00	<b>12.67</b>
2	27.40	55.60	52.50	3.10	25.10	12.35	
Fecha Inmersión:	27/08/2012		Lectura Inmersión:		48.32		<b>Hinchamiento</b> %
Fecha Salida:	31/08/2012		Lectura Salida:		48.62		

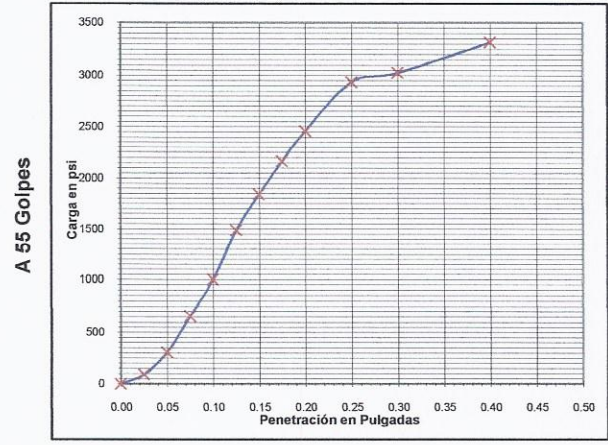
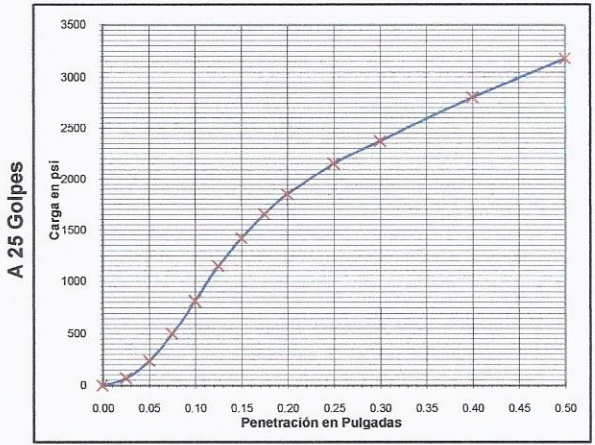
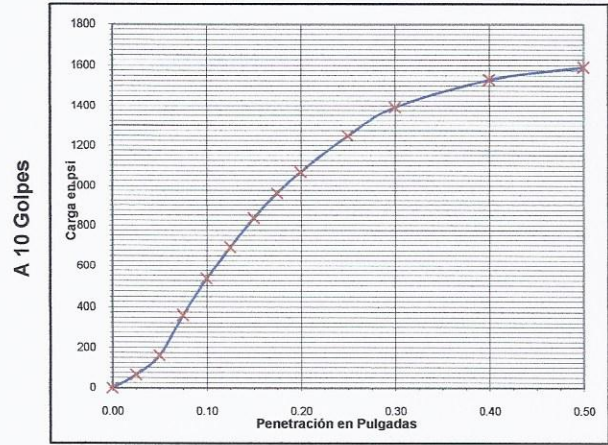
<b>Cilindro No.:</b>	<b>C - 2</b>	<b>No. De Capas:</b>	<b>5</b>	<b>No. De Golpes:</b>	<b>25</b>	<b>% de Compactacion:</b>	<b>93.92</b>
P.B.		TARA		P.N.		Capacidad	
27.20		18.10		9.10		0.07423	
Prom.							
Tarro	Tara	P.B.H.	P.B.S.	Dif.	P.N.	% H.	Prom.
3	27.90	56.40	53.20	3.20	25.30	12.65	<b>12.52</b>
4	30.20	57.40	54.40	3.00	24.20	12.40	
Fecha Inmersión:	27/08/2012		Lectura Inmersión:		45.17		<b>Hinchamiento</b> %
Fecha Salida:	31/08/2012		Lectura Salida:		47.82		

<b>Cilindro No.:</b>	<b>C - 3</b>	<b>No. De Capas:</b>	<b>5</b>	<b>No. De Golpes:</b>	<b>55</b>	<b>% de Compactacion:</b>	<b>95.42</b>
P.B.		TARA		P.N.		Capacidad	
27.38		18.15		9.23		0.074139	
Prom.							
Tarro	Tara	P.B.H.	P.B.S.	Dif.	P.N.	% H.	Prom.
5	28.20	54.30	51.40	2.90	23.20	12.50	<b>12.48</b>
6	31.20	65.50	61.70	3.80	30.50	12.46	
Fecha Inmersión:	27/08/2012		Lectura Inmersión:		28.83		<b>Hinchamiento</b> %
Fecha Salida:	31/08/2012		Lectura Salida:		28.87		

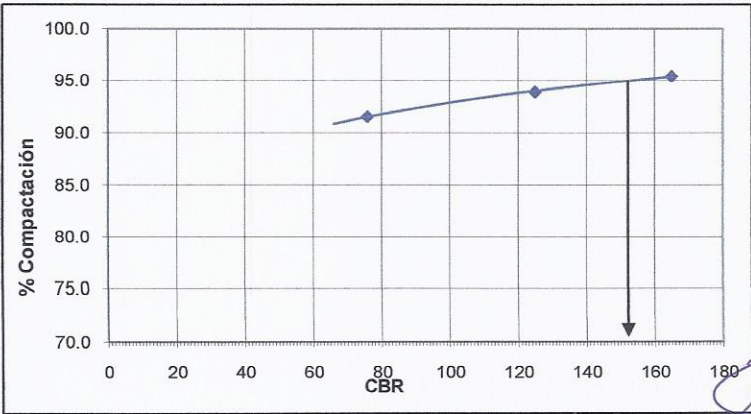
Golpes	Penetracion en Pulgadas											
	0.025	0.050	0.075	0.100	0.125	0.150	0.175	0.200	0.250	0.300	0.400	0.500
10	200	489	1089	1611	2081	2512	2886	3208	3750	4183	4594	4773
25	213	724	1507	2454	3451	4271	4967	5559	6463	7127	8423	9542
55	275	926	1975	3000	4465	5529	6500	7380	8808	9080	9950	

  
 Ingeniero Civil  
 Alvaro César Guillermo Estrada  
 Colegiado No. 6171

<b>INTERESADO:</b> CESAR ALEJANDRO MORALES FOLGAR <b>PROYECTO:</b> ADOQUINAMIENTO Y EMPEDRADO. <b>BANCO:</b> STA. LUCIA LA REFORMA, MOMOSTENANGO, TOTONICAPA <b>CLASE DE MATERIAL:</b> GRAVA Y ARENA CON POCO LIMO, COLOR GRIS.	<b>FECHA:</b> AGOSTO 2,012 <b>CAPA:</b> BASE DE EMPEDRA
--	--



CBR a Diferentes % de Compactación			
% Compactación	<b>91.60</b>	<b>93.92</b>	<b>95.42</b>
Carga C <sub>0.10 cor</sub> (psi)	760	1250	1650
$CBR = (C_{0.10} / 1000) \times 100$			
<b>CBR<sub>cor</sub> (%)</b>	<b>76.0</b>	<b>125.0</b>	<b>165.0</b>



<b>CBR Al 95 % de Compactación</b>
<b>151.0</b>

*Ingeniero Civil*  
*Alvaro César Guillermo Estrada*  
*Colegiado No. 6171*



Ing. Alvaro Guillermo 6 C, Lote 4 "A", Col. El Recreo Amatitlan. Tel. 5526-7466	<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b>	Asfaltos, Pavimentos y Control de Calidad de Guatemala
	<b>DESGASTE DE LOS ANGELES AASHTO T - 96</b>	

INTERESADO:	CESAR ALEJANDRO MORALES FOLGAR		FECHA :	AGOSTO 2,012
PROYECTO:	ADOQUINAMIETO Y EMPEDRADO.		CAPA	PIEDRA BOLA
BANCO:	STA. LUCIA LA REFORMA, MOMOSTENANGO, TOTONICAPAN.			
CLASE DE MATERIAL :	PIEDRA BOLA			

MALLA		PESO DE LOS TAMAÑOS INDICADOS (gr)			
PASA	RETENIDO	GRADO "A" (12)	GRADO "B" (11)	GRADO "C" (8)	GRADO "D" (6)
1 1/2"	1"	1250 ± 25			
1"	3/4"	1250 ± 25			
3/4"	1/2"	1250 ± 10	2500 ± 10		
1/2"	3/8"	1250 ± 10	2500 ± 10		
3/8"	1/4"			2500 ± 10	
1/4"	No. 4			2500 ± 10	
No. 4	No. 8				5000 ± 10
<b>TOTALES</b>		<b>5000 ± 10</b>	<b>5000 ± 10</b>	<b>5000 ± 10</b>	<b>5000 ± 10</b>

PESO DEL MATERIAL RETENIDO EN EL TAMIZ No. 12	4,025.70			
PESO DEL MATERIAL PASANTE POR EL TAMIZ No. 12	974.30			
<b>DESGASTE (%)</b>	<b>19.5</b>			

CARACTERISTICAS FISICAS DEL AGREGADO GRUESO:

AGREGADO COLOR GRIS.

OBSERVACIONES:

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

  
 Ingeniero Civil  
 Alvaro César Guillermo Estrada  
 Colegiado No. 6171

Ing. Alvaro Guillermo 6 C, Lote 4 "A", Col. El Recreo Amatitlan. Tel. 5526-7466	<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b>	Asfaltos, Pavimentos y Control de Calidad de Guatemala
	<b>GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION DE AGREGADOS GRUESOS AASHTO T - 85</b>	

INTERESADO:	<b>CESAR ALEJANDRO MORALES FOLGAR</b>	
PROYECTO:	<b>ADOQUINAMIETO Y EMPEDRADO.</b>	
BANCO:	<b>STA. LUCIA LA REFORMA, MOMOSTENANGO, TOTONICAPAN.</b>	FECHA : <b>AGOSTO 2,012</b>
CLASE DE MATERIAL :	<b>PIEDRA BOLA</b>	CAPA <b>PIEDRA BOLA</b>

**CLASE DE MATERIAL:    PIEDRA BOLA**

### GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION DE AGREGADOS GRUESOS

Pesos en (g)	Ensayo No. 1	Ensayo No. 2	Ensayo No. 3
Peso del Especimen Secado al Horno	700.5		631.4
Peso del Especimen SSS	708.0		639.0
Peso del Especimen Sumergido	448.6		403.2
<b>1. Gravedad Especifica Bulk</b>	2.700		2.678
	<b>2.689</b>		
<b>2. Gravedad Especifica S.S.S.</b>	2.729		2.710
	<b>2.720</b>		
<b>3. Gravedad Especifica Aparente</b>	2.781		2.767
	<b>2.774</b>		
<b>4. Absorción</b>	1.07		1.20
	<b>1.14</b>		

**OBSERVACIONES:**

LOS ENSAYOS SE REALIZARON EN AGUA CLIMATIZADA A 25 °C

---



---



---

  
 Ingeniero Civil  
 Alvaro Cesar Guillermo Estrada  
 Colegiado No. 6171