



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

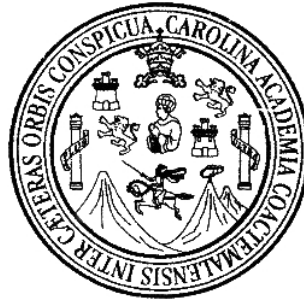
**ESTUDIO Y DISEÑO DE CARRETERA PAVIMENTADA EN CAMINO QUE COMUNICA A  
ALDEA EL TEOCINTE, STA. CRUZ NARANJO CON ALDEA EL SALITRE, STA. ROSA  
DE LIMA, DEPTO. DE SANTA ROSA.**

Jaime Adolfo Monterroso Caravantes

Asesorado por el Ing. Manuel Alfredo Arrivillaga Ochaeta

Guatemala, noviembre de 2008.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTUDIO Y DISEÑO DE CARRETERA PAVIMENTADA EN CAMINO QUE COMUNICA A  
ALDEA EL TEOCINTE, STA. CRUZ NARANJO CON ALDEA EL SALITRE, STA. ROSA  
DE LIMA, DEPTO. DE SANTA ROSA.**

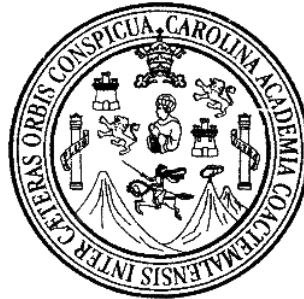
TRABAJO DE GRADUACIÓN  
PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR:

**JAIME ADOLFO MONTERROSO CARAVANTES**  
ASESORADO POR EL ING. MANUEL ALFREDO ARRIVILLAGA  
OCHAETA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE  
**INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2008.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO:	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I:	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II:	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III:	Ing. Miguel A. Dávila Calderón
VOCAL IV:	Br. Milton De León Bran
VOCAL V:	Br. Isaac Sultán Mejía
SECRETARIA:	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXÁMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO:	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR:	Ing. Silvio José Rodríguez Serrano
EXAMINADOR:	Ing. Manuel Alfredo Arrivillaga Ochaeta
EXAMINADOR:	Ing. Alejandro Castañón López
SECRETARIA:	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**ESTUDIO Y DISEÑO DE CARRETERA PAVIMENTADA EN CAMINO QUE  
COMUNICA A ALDEA EL TEOCINTE (STA. CRUZ NARANJO) CON  
ALDEA EL SALITRE (STA. ROSA DE LIMA), DEPTO. DE SANTA ROSA,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 4 de agosto de 2004.

Jaime Adolfo Monterroso Caravantes



Guatemala, 9 de octubre de 2008.  
REF.EPS.D.926.10.08.

Inga. Norma Ileana Sarmiento Zeceña de Serrano  
Directora Unidad de EPS  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimada Ingeniera Sarmiento Zeceña.

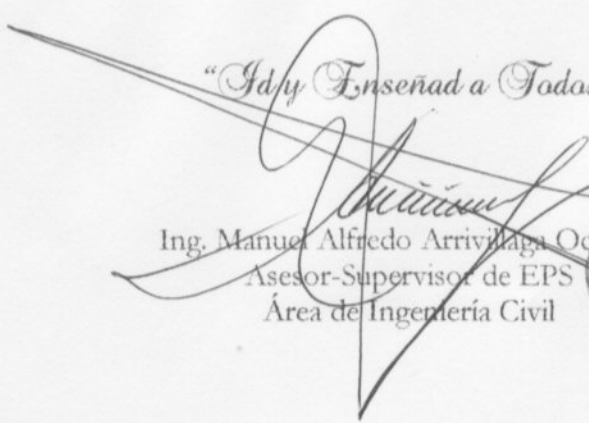
Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **JAIME ADOLFO MONTERROSO CARAVANTES** de la Carrera de Ingeniería Civil, con carné No. **9119271**, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **“ESTUDIO Y DISEÑO DE CARRETERA PAVIMENTADA EN CAMINO QUE COMUNICA A ALDEA EL TEOCINTE (SANTA CRUZ NARANJO) CON ALDEA EL SALITRE (SANTA ROSA DE LIMA), DEPARTAMENTO DE SANTA ROSA”**.

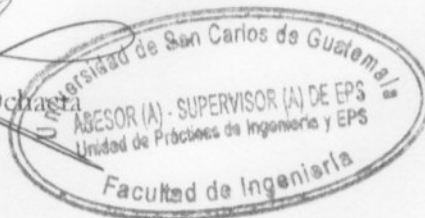
En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

*“Idry Enseñad a Todos”*

  
Ing. Manuel Alfredo Arrivillaga Ochoa  
Asesor-Supervisor de EPS  
Área de Ingeniería Civil



c.c. Archivo  
MAAO/ra



Guatemala, 9 de octubre de 2008.  
REF.EPS.D.926.10.08.

Ing. Sydney Alexander Samuels Milson  
Director Escuela de Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimado Ingeniero Samuels Milson.

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **"ESTUDIO Y DISEÑO DE CARRETERA PAVIMENTADA EN CAMINO QUE COMUNICA A ALDEA EL TEOCINTE (SANTA CRUZ NARANJO) CON ALDEA EL SALITRE (SANTA ROSA DE LIMA), DEPARTAMENTO DE SANTA ROSA"** que fue desarrollado por el estudiante universitario **JAIME ADOLFO MONTERROSO CARAVANTES**, quien fue debidamente asesorado y supervisado por el **Ingeniero Manuel Alfredo Arrivillaga Ochaeta**.

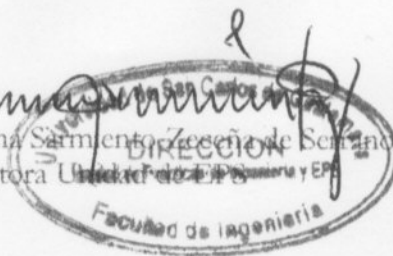
Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor -Supervisor de EPS, en mi calidad de Directora apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

*"Id y Enseñad a Todos"*

Inga. Norma Ileana Sarmiento Zaccaro de Sarmiento  
Directora Unidad de EPS



NISZ/ra



Guatemala,  
3 de noviembre de 2008

FACULTAD DE INGENIERIA

Ingeniero  
Sydney Alexander Samuels Milson  
Director Escuela Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos

Estimado Ingeniero Samuels.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **ESTUDIO Y DISEÑO DE CARRETERA PAVIMENTADA EN CAMINO QUE COMUNICA A ALDEA EL TEOCINTE (SANTA CRUZ NARANJO) CON ALDEA EL SALITRE (SANTA ROSA DE LIMA), DEPARTAMENTO DE SANTA ROSA**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Jaime Adolfo Monterroso Caravantes, quien contó con la asesoría del Ing. Manuel Alfredo Arrivillaga Ochaeta .

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. Armando Fuentes Roca  
Revisor por el Área de Topografía y Transporte



FACULTAD DE INGENIERIA  
DEPARTAMENTO  
DE  
TRANSPORTES  
USAC

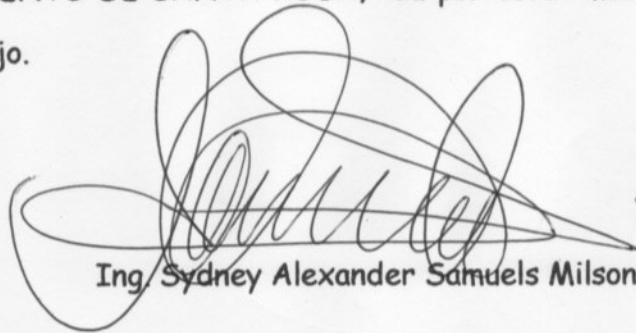
/bbdeb.





FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Manuel Alfredo Arrivillaga Ochaeta y de la Directora de la Unidad de E.P.S. Inga. Norma Ileana Sarmiento Zeceña, al trabajo de graduación del estudiante Jaime Adolfo Monterroso Caravantes, titulado ESTUDIO Y DISEÑO DE CARRETERA PAVIMENTADA EN CAMINO QUE COMUNICA A ALDEA EL TEOCINTE, SANTA CRUZ NARANJO, CON ALDEA EL SALITRE, SANTA ROSA DE LIMA, DEPARTAMENTO DE SANTA ROSA, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

  
Ing. Sydney Alexander Samuels Milson



Guatemala, noviembre 2008.

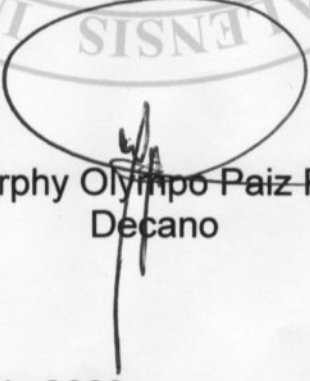
/bbdeb.





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: **ESTUDIO Y DISEÑO DE CARRETERA PAVIMENTADA EN CAMINO QUE COMUNICA A ALDEA EL TEOCINTE, STA. CRUZ NARANJO CON ALDEA EL SALITRE, STA. ROSA DE LIMA, DEPTO. DE SANTA ROSA**, presentado por el estudiante universitario, **Jaime Adolfo Monterroso Caravantes** autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

  
Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
Decano



Guatemala, noviembre de 2008

# ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
GLOSARIO	XII
RESÚMEN	XVI
OBJETIVOS	XVII
INTRODUCCIÓN	XVIII
<b>1. IDENTIFICACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA</b>	<b>1</b>
1.1 Aspectos geográficos	1
1.1.1 Localización del municipio	1
1.1.2 Su definición política	1
1.1.3 Clima	2
1.1.4 Geología	3
1.1.5 Hidrografía	3
1.1.6 Zonas de vida	7
1.1.7 Vías de comunicación	7
1.2 Caracterización socioeconómica del área de influencia	7
1.2.1 Información general	7
1.2.2 Economía y producción	10
1.2.3 Organización social	12
<b>2. ESTUDIO DE MERCADO</b>	<b>13</b>
2.1 Generalidades	13

2.2	Definición de oferta	13
2.3	Definición de demanda	14
2.4	La encuesta realizada y sus resultados	14
2.4.1	Resultados	16
2.4.2	Análisis de resultados	19
2.5	La demanda y su proyección	21
2.6	Estadística de los municipios del departamento de Santa Rosa.	25
<b>3.</b>	<b>BASES QUE RIGEN EL DISEÑO DE CARRETERAS</b>	<b>27</b>
3.1	Generalidades	27
3.2	Evaluación de impacto ambiental	28
3.3	Criterios determinantes para el diseño de las carreteras	30
3.3.1	Los vehículos de diseño	31
3.3.2	Los volúmenes de tránsito	32
3.3.3	Las velocidades	35
3.4	Diseño geométrico del alineamiento horizontal	36
3.4.1	Curva horizontal y peralte	37
3.4.2	Factor máximo de fricción lateral y el peralte	38
3.4.3	Radios mínimos y sus correspondientes grados máximos de curva	39
3.4.4	Curvas horizontales de transición	40
3.4.5	Simbología y cálculo para los elementos de la curva circular horizontal	45
3.4.6	Sobreanchos en curvas	46

3.4.7	Criterios aplicables al diseño del alineamiento horizontal	47
<b>3.5</b>	<b>Diseño geométrico del alineamiento vertical</b>	<b>49</b>
3.5.1	Tipos de terrenos	49
3.5.2	Curvas verticales	52
3.5.2.1	Diseño de curvas verticales convexas	52
3.5.2.2	Diseño de curvas verticales cóncavas	53
3.5.3	Criterios para el diseño del alineamiento vertical	57
<b>3.6</b>	<b>Diseño estructural del pavimento</b>	<b>58</b>
3.6.1	Elementos que integran los pavimentos	59
3.6.1.1	Sub-rasante	59
3.6.1.2	Sub-base	60
3.6.1.3	Superficie de rodadura de concreto hidráulico	60
3.6.2	Selección de las variables de diseño	61
3.6.3	Criterios de diseño	62
3.6.4	Características de los materiales	63
3.6.5	Cálculo de cargas equivalentes de ejes estándar, ESAL	64
3.6.6	Cálculo de ejes estándar equivalentes de diseño, ESAL	66
3.6.7	Propiedades físico-mecánicas de los suelos para carreteras	70
3.6.8	Clasificación de los suelos	70
3.6.9	Ensayos de suelos	72
3.6.9.1	Valor soporte California (CBR, AASHTO T-193)	72
3.6.9.2	Valor de resistencia HVEEM (valor R, AASHTO T-246)	73

3.6.9.3	Ensayo de plato de carga (valor k, AASHTO T-222)	74
3.6.9.4	Penetración dinámica PR con cono	74
3.6.9.5	Módulo de resiliencia ( $M_r$ , AASHTO T-294)	75
3.6.9.6	Módulo de reacción ( $M_k$ , k) para pavimentos rígidos	76
3.6.10	Diseño de espesores para pavimentos rígidos por el método AASHTO	78
3.6.10.1	Desviación normal estándar, $Z_r$	80
3.6.10.2	Error estándar combinado, $S_o$	80
3.6.10.3	Variación del índice de serviciabilidad, $\Delta PSI$	82
3.6.10.4	Resistencia a la flexotracción del concreto (módulo de rotura, $M_r$ o $f_r$ )	82
3.6.10.5	Coefficiente de drenaje, $C_d$	83
3.6.10.6	Coefficiente de transmisión de carga, J	85
3.6.10.7	Módulo de elasticidad del concreto, $E_c$	86
3.6.10.8	Módulo de reacción de subrasante, k	86
<b>4.</b>	<b>EVALUACIÓN TÉCNICA DE INGENIERÍA</b>	<b>89</b>
4.1	Generalidades	89
4.2	Reconocimiento del área	89
4.3	Levantamiento topográfico	90
4.3.1	Descripción de la simbología y abreviaturas	91
4.3.2	Formulas y cálculos de la libreta de topografía	93
4.3.3	Representación gráfica de la topografía	94
4.4	Diseño geométrico horizontal	98
4.4.1	Diseño de las tangentes horizontales	98
4.4.2	Diseño de las curvas horizontales	99

<b>4.5</b>	<b>Diseño geométrico vertical</b>	<b>102</b>
4.5.1	Diseño de las tangentes verticales	102
4.5.2	Diseño de las curvas verticales	102
<b>4.6</b>	<b>Secciones transversales y movimiento de tierras</b>	<b>108</b>
4.6.1	Generación de las secciones transversales	108
4.6.2	Cálculo y generación de las tablas de movimiento de tierras	109
4.6.3	Modelo matemático para el cálculo del movimiento de tierras	110
<b>4.7</b>	<b>Diseño estructural del pavimento</b>	<b>111</b>
4.7.1	Número previsto de ejes equivalentes de 8.2Tn, ESAL	112
4.7.2	Desviación estándar ( $Z_r$ ) y su error estándar combinado ( $S_o$ )	113
4.7.3	Espesor de pavimento de concreto hidráulico, D	113
4.7.4	Diferencia entre los índices de servicio inicial ( $P_o$ ) y final ( $P_t$ ), $\Delta PSI$	115
4.7.5	Resistencia media del concreto (en MPa) a flexotracción a los 28 días (método de carga en los tercios de la luz), $M_r$	115
4.7.6	Coefficiente de drenaje, $C_d$	115
4.7.7	Coefficiente de transmisión de carga, J	115
4.7.8	Módulo de elasticidad del concreto, $E_c$	116
4.7.9	Módulo de reacción de la subrasante, k	116
<b>4.8</b>	<b>Evaluación de impacto ambiental</b>	<b>119</b>
4.8.1	El abanico total de los impactos	119

4.8.2	Cuantificación y medición de estos impactos	119
4.8.3	Procedimientos a aplicar para evitar, mitigar y compensar por los impactos negativos	120
	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>123</b>
	<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>125</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>127</b>
	<b>APÉNDICE</b>	<b>129</b>



# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1	Ubicación del municipio de Santa Cruz Naranjo	2
2	Mapa climático del departamento de Santa Rosa	4
3	Mapa geológico del departamento de Santa Rosa	5
4	Mapa de cuencas hidrográficas del departamento de Santa Rosa	6
5	Principales vías de comunicación de Santa Rosa	8
6	Mapa de zonas de vida Holdridge	9
7	Mapa de uso de la tierra	11
8	Escuela primaria de aldea Agua Blanca	12
9	Modelo de encuesta realizada para el EPS	15
10	Escolaridad de los encuestados, en aldea El Teocinte	16
11	Otros proyectos importantes, en aldea El Teocinte	18
12	Proyección poblacional en el período 1,981 – 2,030	24
13	Componentes de las curvas horizontales circulares	44
14	Controles de diseño de curvas convexas	55
15	Controles de diseño de curvas cóncavas	56
16	Esquema del comportamiento de pavimentos flexibles y rígidos	59
17	Factores de equivalencia de carga	68
18	Correlación aproximada entre la clasificación de los suelos y los diferentes ensayos	77
19	Nomograma para la resolución de la ecuación para diseño de espesores de pavimento	79

20	Planta de la línea de Preliminar Localizada, generada en EXCEL	96
21	Perfil de la línea de Preliminar Localizada, generada en EXCEL	97
22	Diseño del alineamiento horizontal	98
23	Diseño del alineamiento horizontal	99
24	Diseño del alineamiento vertical	103
25	Muestra de plano: Planta y Perfil	106
26	Muestra de plano: Secciones Transversales	107
27	Sección típica para tramo poblado	108
28	Sección típica para carretera abierta	109
29	Muestra de plano: Índice general y registro de curvas horizontales y verticales	114
30	Correlación entre el CBR de las muestras y otros valores	117
31	Diseño del espesor del pavimento por el método AASHTO	118

## TABLAS

I	Resultados: Datos de la comunidad y de los entrevistados, en aldea El Teocinte	16
II	Resultados: Opinión de los encuestados respecto a los proyectos presentados, en aldea El Teocinte	17
III	Resultados: Orden prioritario de los proyectos necesarios, en aldea El Teocinte	19
IV	Población de Santa Cruz Naranjo en los últimos 3 censos nacionales	22
V	Censo vehicular en aldea El Teocinte y su proyección	23
VI	Distribución por sexo, grupos de edad y área.	25
VII	Estandarización y clasificación de los vehículos de diseño	32
VIII	Distribución porcentual de los vehículos de diseño	34
IX	Valores máximos típicos para peralte y fricción lateral	38
X	Peralte recomendado, mínimas longitudes de transición y deltas mínimos	41
XI	Longitudes de desarrollo del peralte en carreteras de dos carriles	42
XII	Radios mínimos y grados máximos de curvas horizontales para distintas velocidades de diseño	43
XIII	Simbología para elementos de la curva circular horizontal	45
XIV	Cálculo para los principales componentes de la curva circular	45
XV	Sobrecanchos en carreteras de dos carriles	48
XVI	Clasificación de los terrenos en función de sus pendientes naturales	50
XVII	Pendientes máximas y mínimas por tipo de carreteras	51
XVIII	Valores de K, para la curva vertical	57

<b>XIX</b>	Clasificación funcional de las carreteras regionales, volúmenes de tránsito y número de carriles	58
<b>XX</b>	Límite de peso por eje	66
<b>XXI</b>	Factores de crecimiento de tránsito según tasa de crecimiento poblacional	67
<b>XXII</b>	Factores de equivalencia de carga resumidos	69
<b>XXIII</b>	Normas AASHTO y ASTM para ensayos de suelos	76
<b>XXIV</b>	Valores de $Z_r$ en función de la confiabilidad, $R$	81
<b>XXV</b>	Niveles de confiabilidad $R$ , en función del tipo de carretera	81
<b>XXVI</b>	Confiabilidad y factores de seguridad recomendados	82
<b>XXVII</b>	Módulo de rotura para concretos de densidad normal	83
<b>XXVIII</b>	Calidad de drenaje	84
<b>XXIX</b>	Valores de coeficiente de drenaje, $C_d$	84
<b>XXX</b>	Valores de coeficiente de transmisión de carga, $J$	85
<b>XXXI</b>	Correlación entre la resistencia a la compresión ( $f'_c$ ) y el modulo de elasticidad ( $E_c$ ) del concreto	86
<b>XXXII</b>	Valores típicos de resistencia de algunos suelos	87
<b>XXXIII</b>	Efectos de la subrasante granular sobre los valores de $k$	87
<b>XXXIV</b>	Página 1 de 27 de la libreta de topografía	92
<b>XXXV</b>	Página 1 de la memoria de cálculo para curvas horizontales	100
<b>XXXVI</b>	Página 2 de la memoria de cálculo para curvas horizontales	101
<b>XXXVII</b>	Página 1 de la memoria de cálculo para curvas verticales	104
<b>XXXVIII</b>	Página 2 de la memoria de cálculo para curvas verticales	105
<b>XXXIX</b>	Resultados de las fórmulas de movimiento de tierras	110
<b>XL</b>	Resultados del programa para el movimiento de tierras	111

<b>XLI</b>	Proyección y determinación del TPDA durante el período de diseño	112
<b>XLII</b>	Distribución del tránsito respecto a carretera colectora rural	113



## GLOSARIO

<b>AASHTO</b>	<i>American Associations of State Highway and Transportation Officials</i> o sea Asociación Americana de Autoridades Estatales de Carreteras y Transporte.
<b>ACI</b>	<i>American Concrete Institute</i> , o sea Instituto Americano del Concreto.
<b>ANSI</b>	<i>American National Standard Institute</i> , o sea Instituto Nacional Americano de Estándares.
<b>ASTM</b>	<i>American Society for Testing Materials</i> , o sea Sociedad Americana para el Ensayo de Materiales.
<b>CBR</b>	<i>California Bearing Ratio</i> , o sea Valor Soporte California.
<b>COVIAL</b>	Unidad Ejecutora de Conservación Vial, Guatemala.
<b>ESAL</b>	<i>Equivalent Standard Axial Load</i> , o sea Carga Estándar de Ejes Equivalentes.
<b>IP</b>	Índice Plástico.
<b>IRI</b>	<i>International Roughness Index</i> , o sea Índice Internacional de Rugosidad.
<b>LEF</b>	<i>Load Equivalent Factor</i> , o sea factor equivalente de carga.
<b>LP</b>	Límite Plástico.
<b>LL</b>	Límite Líquido.
<b>M<sub>k</sub>, k</b>	Módulo de Reacción de terreno de fundación.
<b>MCIV</b>	Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda, Guatemala.
<b>Mr</b>	Módulo de Resiliencia.
<b>PCA</b>	<i>Portland Cement Association</i> , o sea Asociación del Cemento Pórtland.
<b>SIECA</b>	Secretaría de Integración Económica Centroamericana.
<b>SN</b>	<i>Structural Number</i> o sea Número Estructural.
<b>TPDA</b>	Tránsito Promedio Diario Anual.



**DEFINICIONES.** Cuando los siguientes términos aparezcan en el contenido de éste documento o sean usados en las especificaciones, planos y/o documentos del contrato, tienen las siguientes interpretaciones:

**Acera o**

**Banqueta.** Orilla de la calle, generalmente enlosada, reservada a los transeúntes. También orilla de otra vía pública, sita junto al paramento de las casas.

**Agregado.** Un material granular duro de composición mineralógica como la arena, la grava, la escoria, o la roca triturada, usado para ser mezclado en diferentes tamaños.

**Alcantarilla.** Cualquier estructura por debajo de la subrasante de una carretera u otras obras viales, con el objeto de evacuar las aguas superficiales y profundas.

**Balasto.** Una capa superficial de material selecto consistiendo por lo general de material granular natural o agregado triturado, que se coloca sobre la subrasante terminada de una carretera, con el objeto de protegerla y que sirva de superficie de rodadura, para permitir el libre tránsito durante todas las épocas del año.

**Banco de**

**materiales.** El lugar aprobado por la DGC para la extracción de materiales naturales satisfactorios, a usarse en la construcción de obras de drenaje, estructuras y capas del pavimento y de balasto. Excluyendo la construcción de terraplenes.

**Base.** Es la capa de espesor diseñado, constituyente de la estructura del pavimento, destinada fundamentalmente a distribuir y transmitir las cargas originadas por el tránsito, a las capas subyacentes y sobre la cual se coloca la carpeta de rodadura.

**Bombeo.** Pendiente lateral dada a la sección típica en tangente horizontal. Esta se mide a partir de la corona y se mide en porcentajes, típicamente entre el 2% y el 4%. El bombeo principalmente facilita el escurrimiento de agua hacia las cunetas.

**Carpeta de**

**rodadura.** La parte superior de un pavimento, por lo general de pavimento bituminoso o rígido, que sostiene directamente la circulación vehicular.

**Carretera,**

**Calle o camino.** Un calificativo general que designa una vía pública para fines de tránsito de vehículo, y que incluye la extensión total comprendida dentro del derecho de vía.

**Corte.** Actividad de excavación con el fin de definir la geometría de la sección transversal que aparece en planos. También así se denomina al volumen de suelo excavado en ésta actividad.

**Deflexión** El desplazamiento vertical temporal de un pavimento proveniente de la aplicación de cargas de las ruedas de los vehículos.

**Derecho**

**de vía.** El área de terreno que el Gobierno suministra para ser usada en la construcción de la carretera, sus estructuras, anexos y futuras ampliaciones.

**Especificaciones.** Genéricamente son las normas generales y técnicas de construcción escritas para un proyecto en particular. Además son las Disposiciones Especiales y cualquier otro documento que se emita, ya sea antes o durante la ejecución de una obra en particular.

**Hombro o**

**berma.** Las áreas de la carretera, contiguas y paralelas a la carpeta o superficie de rodadura, que sirven de confinamiento a la capa de base y de la zona de estacionamiento accidental de vehículos.

- Mantenimiento.** Conjunto de tareas de limpieza, reemplazo y reparación que se realizan de manera regular y ordenada en una carretera, para asegurar su buen funcionamiento y la prolongación de su vida de servicio, al máximo compatible con las previsiones de diseño y construcción de la obra.
- Pavimento** La estructura integral de las capas de subrasante, sub-base, base y carpeta colocado en cima de la rasante y destinada a sostener las cargas vehiculares.
- Proyecto** El conjunto de planos, especificaciones, disposiciones especiales y apéndices, a los que debe ajustarse la ejecución de una obra.
- Rasante** El trazo vertical que determina el nivel superior, sobre la línea central, que se proyecta construir a lo largo de la carretera. Muestra la elevación y la pendiente del trazo proyectado.
- Relleno** Actividad de relleno de suelo con el fin de definir la geometría de la sección transversal que aparece en planos. También así se denomina al volumen de suelo necesario para cumplir con esta sección.
- Renglón de trabajo** Un rubro específicamente descrito, para el cual se fija un precio unitario.
- Rugosidad.** La desviación vertical del perfil de un pavimento de su forma tal como fue diseñado y que resulta en incomodidades en el manejo del vehículo. Por lo general, la rugosidad se mide para fines de mantenimiento vial por medio de IRI.
- Subrasante.** El área sobre la que se construyen las capas de sub-base, de base, de superficie y los hombros. Se representa gráficamente en los planos por medio de una línea que es el eje longitudinal central de la carretera.

## RESUMEN

Este trabajo de graduación consiste en la planificación y diseño final del tramo carretero sobre el camino que comunica a aldea El Teocinte del municipio de Santa Cruz Naranjo con aldea El Salitre del municipio de Santa Rosa de Lima, ambos del departamento de Santa Rosa.

En el capítulo uno se presenta la identificación del área de influencia, presentándose una descripción de los aspectos geofísicos del departamento de Santa Rosa y algunas particularidades del municipio de Santa Cruz Naranjo, pues fue para ésta municipalidad para la que se realizó la planificación y diseño. El otro aspecto que aquí se representa es el socioeconómico, donde se tratan las actividades productivas del municipio en cuestión y su definición política. A continuación el capítulo dos presenta el estudio de mercado que se realizó con el fin de determinar las necesidades reales de las comunidades del municipio. En la primera parte de éste capítulo se detallan los resultados de la encuesta realizada en las principales aldeas; se analizan los resultados y se elige el proyecto a planificar. En la segunda parte del capítulo se analiza la demanda actual y futura, basada en datos estadísticos del INE, tanto municipales como departamentales.

En el capítulo tres se hace una amplia referencia a las principales normas que rigen el diseño de una carretera pavimentada, desde su concepción, categorización, expectativas, evaluación de impacto ambiental, diseño geométrico horizontal y vertical, mecánica de los suelos y diseño estructural del pavimento.

El cuarto y último capítulo presenta la memoria de cálculo para el diseño de la carretera. Se detalla la obtención de los datos de campo, cálculo de topografía, introducción de datos, diseño horizontal, vertical, secciones transversales y movimiento de tierras en LAND DESKTOP; además el diseño estructural y la generación de planos.



## OBJETIVOS

### GENERAL:

Realizar el diseño y la planificación del tramo carretero con pavimento rígido que une la aldea El Teocinte, Santa Cruz Naranjo con aldea El Salitre, Santa Rosa de Lima, del departamento de Santa Rosa.

### ESPECÍFICOS:

- 1 Que con la planificación de éste proyecto y su posterior ejecución, poder llevar desarrollo a las comunidades del interior del país y así lograr procurar un mejor futuro y un mejor país para las generaciones presentes y futuras.
- 2 Aportar nuestro esfuerzo como estudiantes, como Facultad de Ingeniería y como Universidad de San Carlos de Guatemala. Dejando con él un legado y un precedente importantes a las siguientes generaciones de estudiantes de ingenieros. Logrando también poner en un lugar protagónico a nuestra casa de estudios superiores.
- 3 Analizar y determinar cuál es el diseño más apropiado para éste proyecto. Ya sea por su topografía, sus aspectos socioeconómicos, por la capacidad de la población y municipalidad de dar mantenimiento al tramo, por su costo inicial, etc.





## INTRODUCCIÓN

Tradicionalmente las carreteras pavimentadas han sido definidas de varias maneras, según la profesión de quien formula la definición. Pero en pocas oportunidades se les da el carácter de servicio público, que es la razón fundamental para que ellas existan. Una definición podría ser: *una carretera pavimentada es una estructura que tiene como objetivo facilitar y garantizar una superficie continua y adecuada para la circulación de las personas y de los vehículos con sus mercancías; mejorando la calidad de vida de quienes habitan una zona o región específica.*

En esta definición se aprecian dos conceptos fundamentales. El primero es que la carretera pavimentada es una estructura que, como los edificios, merecen y deben aplicársele los principios de la Ingeniería para su correcta construcción, utilización y mantenimiento. El otro concepto es que los pavimentos tienen, además de su función física de servir como soporte del tráfico, la de mejorar la calidad de vida, por lo cual se asemejan en cuanto a su función a los servicios de agua potable, alcantarillado, electricidad y otra obra de servicio público.

Por lo anterior, las carreteras y mejor aún, la red vial urbana y rural se deben concebir con un claro sentido social, buscando obtener los máximos beneficios a partir de las inversiones realizadas; propósito fundamental de las obras públicas. Y es aquí donde el concepto de inversión implica que éste tipo de obras no se puede dejar al destino como un gasto, sino que es necesario administrar los pavimentos, especialmente debido a que requieren de una inversión inicial alta y porque, a pesar de ser un servicio público, por ella no se cobra (por el servicio prestado), al menos de manera directa, como si se hace por el agua potable o la energía eléctrica.



# 1. IDENTIFICACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.

## 1.1 Aspectos geográficos.

### 1.1.1 Localización del municipio.

El municipio de Santa Cruz Naranjo se encuentra ubicado al norte del Departamento de Santa Rosa. Se encuentra delimitado al norte con el municipio de Santa Rosa de Lima con el río Las Cañas de por medio, al este con el municipio de Nueva Santa Rosa, al sur con el municipio de Barberena (los anteriores pertenecientes al Depto. de Santa Rosa) y al oeste con el municipio de Fraijanes, Depto. de Guatemala.

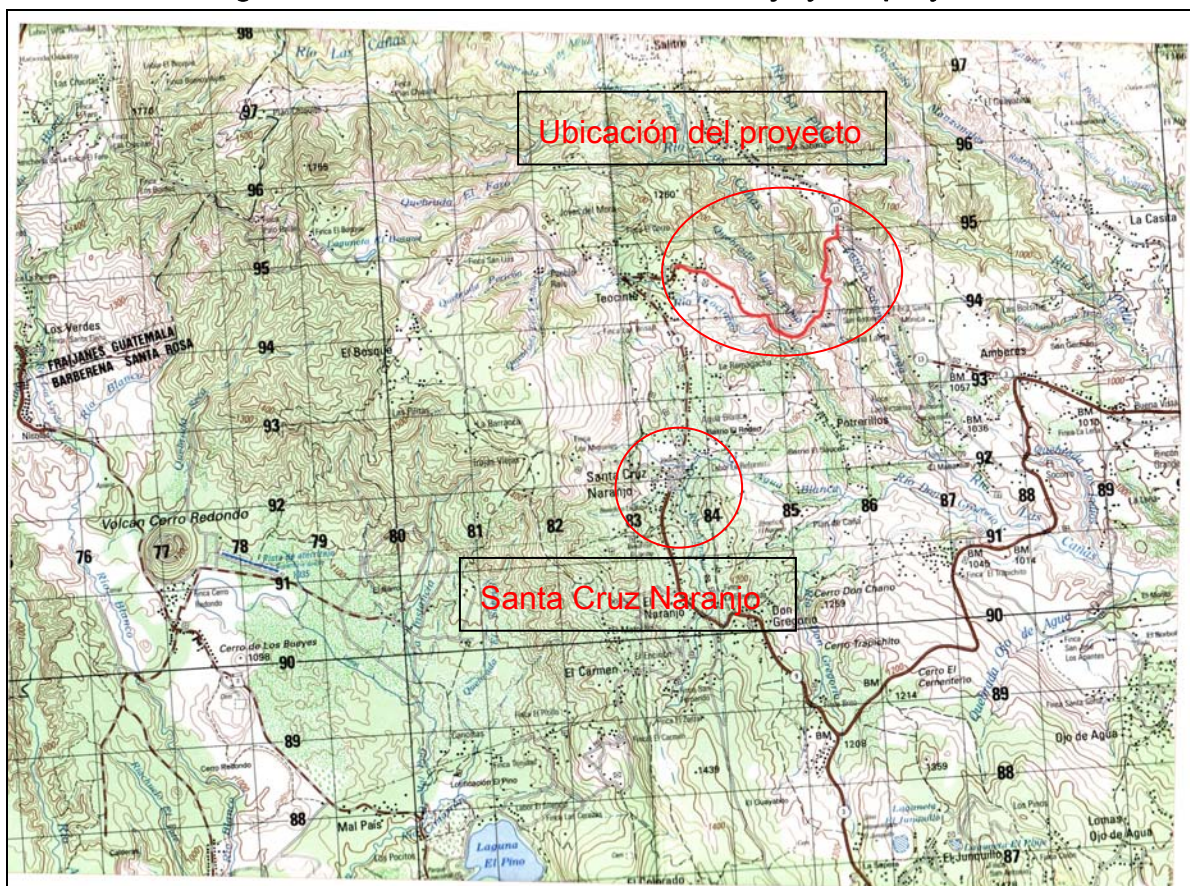
De acuerdo al Instituto Geográfico Nacional (IGN), la cabecera municipal del municipio de Santa Cruz Naranjo, se encuentra ubicada en las siguientes coordenadas geográficas: **Latitud... 14°23'06"** y **Longitud... 90°22'15"**; su altura referida sobre el nivel del mar (SNM) es de 1,170m ubicada frente a la iglesia católica.

La extensión territorial de éste municipio es relativamente pequeña, de apenas 97Km cuadrados enclavados en una topografía muy irregular que va desde bajíos a 1,000m SNM en las cercanías a aldea Potrerillos y río Las Cañas; hasta altitudes de 1,755m SNM cerca de los límites con el municipio de Fraijanes (Guatemala); donde no existen ni valles ni praderas característicos. La cabecera municipal dista 12Km de la ciudad de Barberena, 22 de la de Cuilapa (cabecera departamental) y 66 de Guatemala capital.

### 1.1.2 Su definición política.

Jurisdiccionalmente pertenecen a éste municipio 6 aldeas: El Teocinte, El Naranjo, El Bosque, El Carmen, Don Gregorio y Potrerillos. Los 11 caseríos son: La Barranca, Joyas del Morro, Guayabales, Plan Chiquito, El Matocho, Agua Blanca, El Calvario, Llano de la Cruz, Plan de la Caña y El Naranjito. Las 28 principales fincas son: Las Brisas, La Esmeralda, San Fernando, San Luís, Las Mercedes, El Carmen, El Naranjito, Las Joyas, Playa Linda, Buena Vista, Cerro Alto, Las Margaritas, Palo Galán, El Llanito, Los Portales, El Bosque, El Trapichito, El Zarzal, Los Padilla, El Silencio, Brito, Palo Blanco y La Reformita.

Fig. 1 – Ubicación de Santa Cruz Naranjo y del proyecto.



Fuente: Instituto Geográfico Nacional (IGN).

### **1.1.3 Clima.**

De acuerdo a la clasificación Thornthwaite, el área urbana del municipio y sus alrededores se ubica en la clase semi-cálida, en el que ocurren variaciones en la temperatura de 25 a 34 grados centígrados, el invierno se considera benigno, siendo la vegetación predominante los bosques húmedos y las fincas cafeteras. Fig. 2.

### **1.1.4 Geología.**

De acuerdo a la clasificación realizada por el Instituto Nacional de Estadística (INE), en el suelo del municipio aparecen tres tipos: Qv, Qp y Tv. Principalmente designados como suelos cuaternarios. Fig. 3.

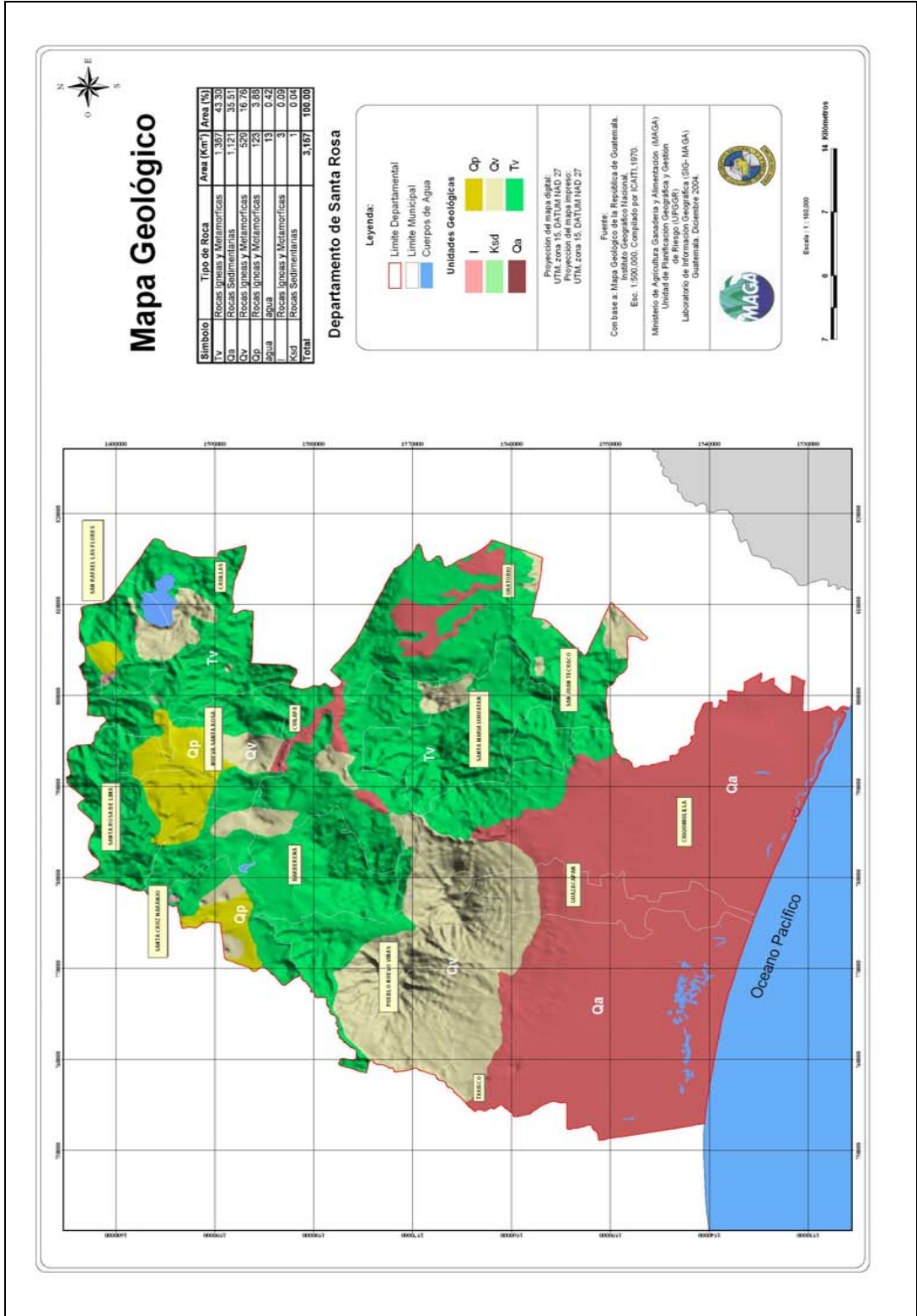
### **1.1.5 Hidrografía.**

El sistema hidrográfico de Guatemala está compuesto principalmente por tres regiones, las cuales son: la cuenca del Océano Pacífico, la del Atlántico nor/oriental y la del Golfo de México. El municipio de Santa Cruz Naranjo se ubica completamente en la región del Pacífico, particularmente dentro de la cuenca del río Los Esclavos el cual nace con el nombre de Río Grande en jurisdicción del municipio de Mataquescuintla (Jalapa); en su curso recibe afluentes de otros ríos y riachuelos como San Antonio, Los Achiotés, Pinula, Molino, Margaritas y Las Cañas -que sirve de límite municipal entre Santa Cruz Naranjo y Santa Rosa de Lima-. También comparten con el municipio de Barberena al lago de El Pino. Fig. 4.



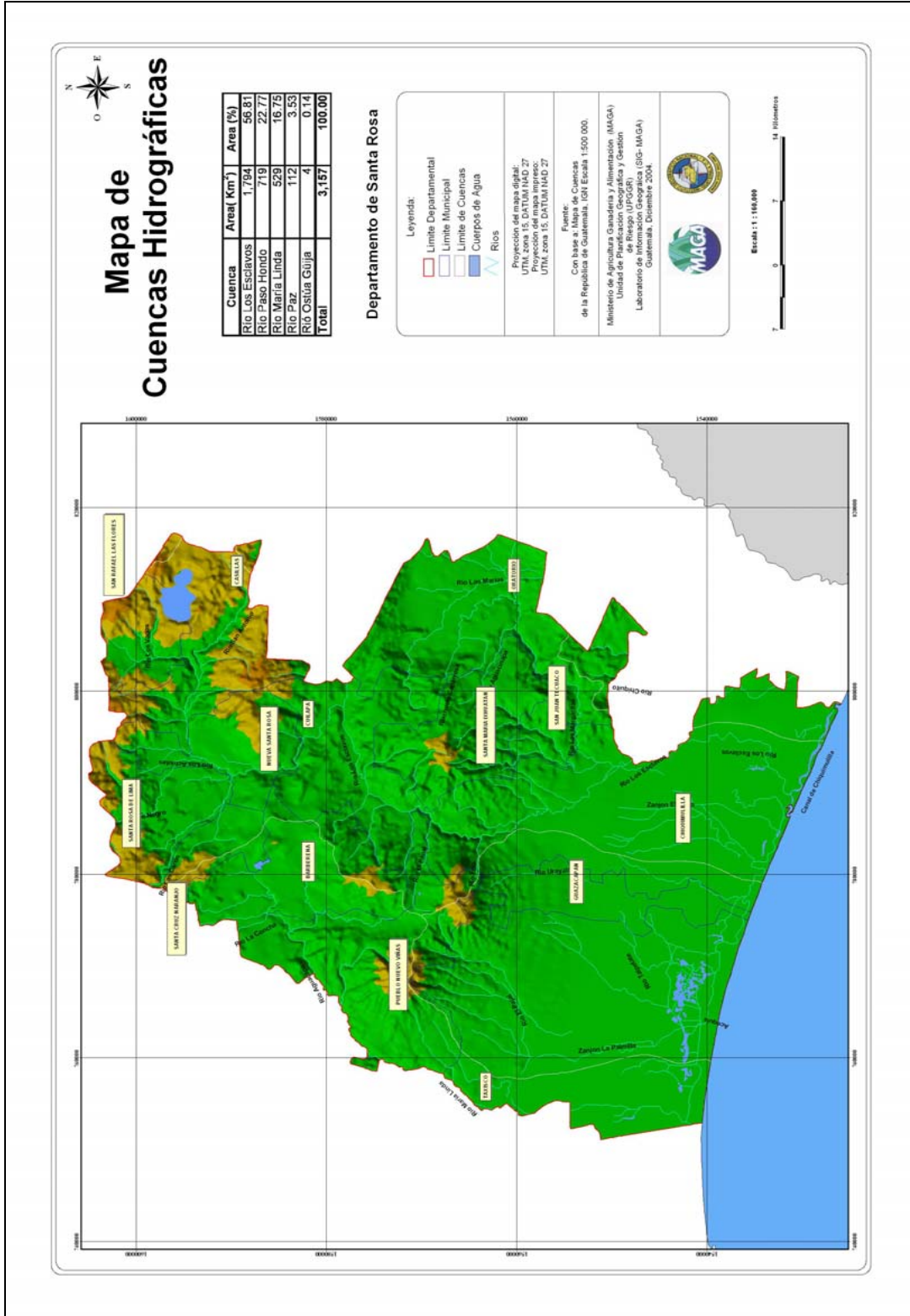


Fig. 3 – Mapa geológico del departamento de Santa Rosa.



Fuente: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación.

Fig. 4 – Mapa de cuencas del departamento de Santa Rosa.



Fuente: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación.



### **1.1.6 Zonas de vida.**

Se le llama zona de vida a la unidad climática natural en que se agrupan diferentes asociaciones correspondientes a determinados ámbitos de temperatura, precipitación y humedad. Se basa en el sistema de clasificación de HODRIDGE. El municipio de Santa Cruz Naranjo y sus comunidades se ubican casi en su totalidad, según ésta clasificación, en la zona bh-S(t) denominada bosque húmedo subtropical templado; el cual cubre desde Joyabaj (Quiché) hasta la meseta central, pasando por San Raymundo (Guatemala), sureste de Santa Cruz Naranjo, parte norte de Jutiapa, sur de Jalapa y Chiquimula; parte de Zacapa e Izabal. La parte sur se encuentra dentro de una zona de clasificación bmh-S(c) que significa bosque muy húmedo subtropical cálido; ésta zona cubre cerca del 50% del departamento de Santa Rosa. Ver figura 6.

### **1.1.7 Vías de comunicación terrestres.**

El departamento de Santa Rosa que aunque posee gran cantidad de caminos y carreteras, la mayoría de éstos son rústicos y carreteras no pavimentadas. Las principales carreteras pavimentadas son la CA-1 oriente, la CA-2 oriente y la RD-9, ésta última comunica a partir de la CA-1 a la altura de la ciudad de Barberena, a todos los municipios del norte del departamento, incluyendo el municipio de Santa Cruz Naranjo dentro del cual atraviesa la RD-3 Sta. Rosa.

## **1.2 Caracterización socioeconómica del área de influencia.**

### **1.2.1 Información general.**

La población del municipio de Santa Cruz Naranjo según censo del año 2,002 asciende a 11,241 habitantes integrados en 2,752 viviendas que promedian 4.08 habitantes por vivienda o familia. Aproximadamente un 85%

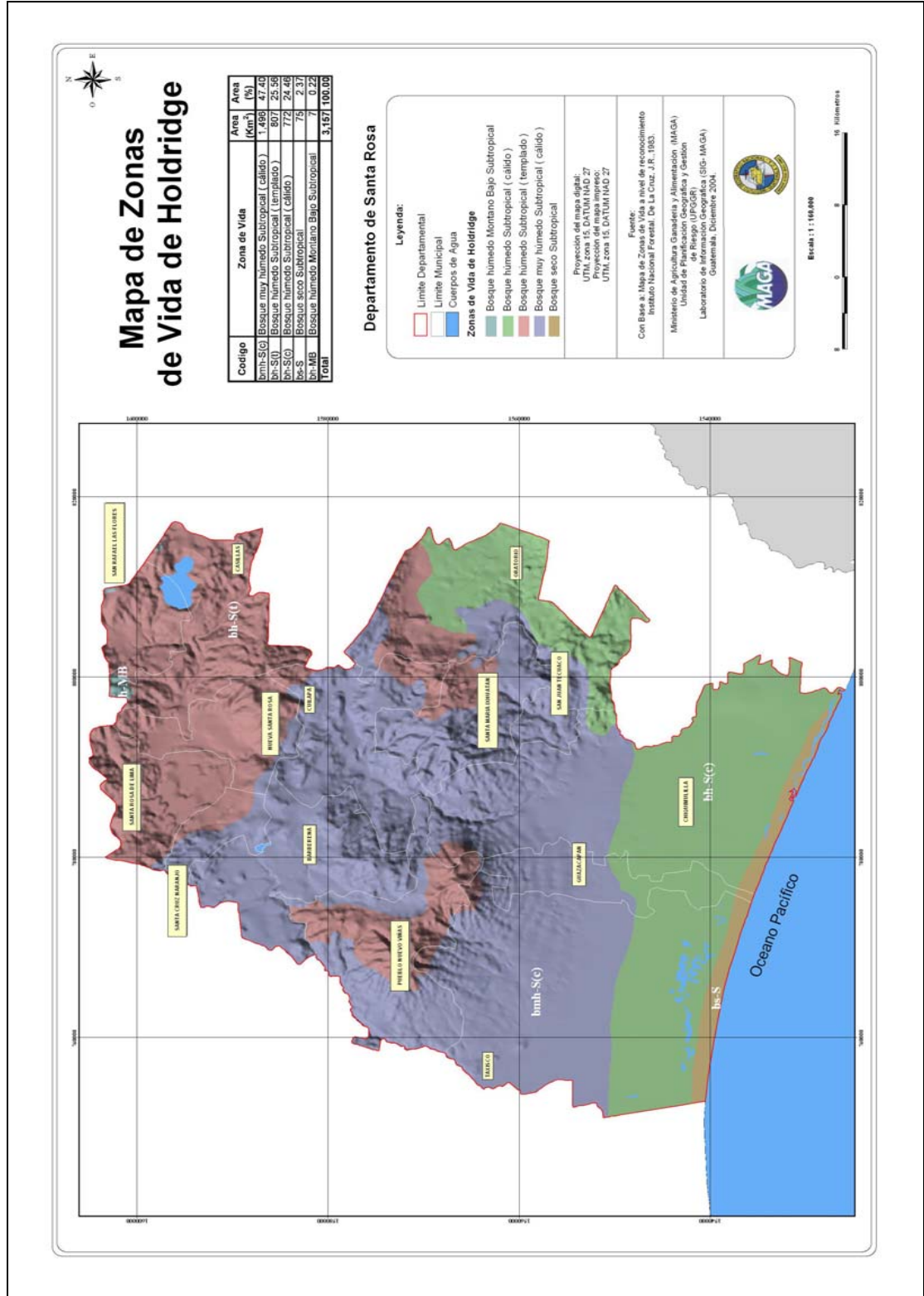
de la población profesa la religión católica contra un 15% la evangélica. Actualmente tanto el nombre oficial del municipio como su cabecera municipal es el de Santa Cruz Naranjo, pero antiguamente se le conoció como Santa Cruz Epaminondas. Fue establecido como municipio por Acuerdo Gubernativo del 2 de junio de 1,910. La población de Santa Cruz Naranjo es pequeña; sin embargo, cuenta en la actualidad con todos los servicios públicos: Agua entubada, energía eléctrica, drenajes y calles pavimentadas. Aunque muchos de éstos servicios escasean en las aldeas y comunidades más lejanas.

Fig. 5 – Principales vías de comunicación de Santa Rosa.



Fuente: Instituto Nacional de Estadística.

Fig. 6 – Mapa de zonas de vida del departamento de Santa Rosa.



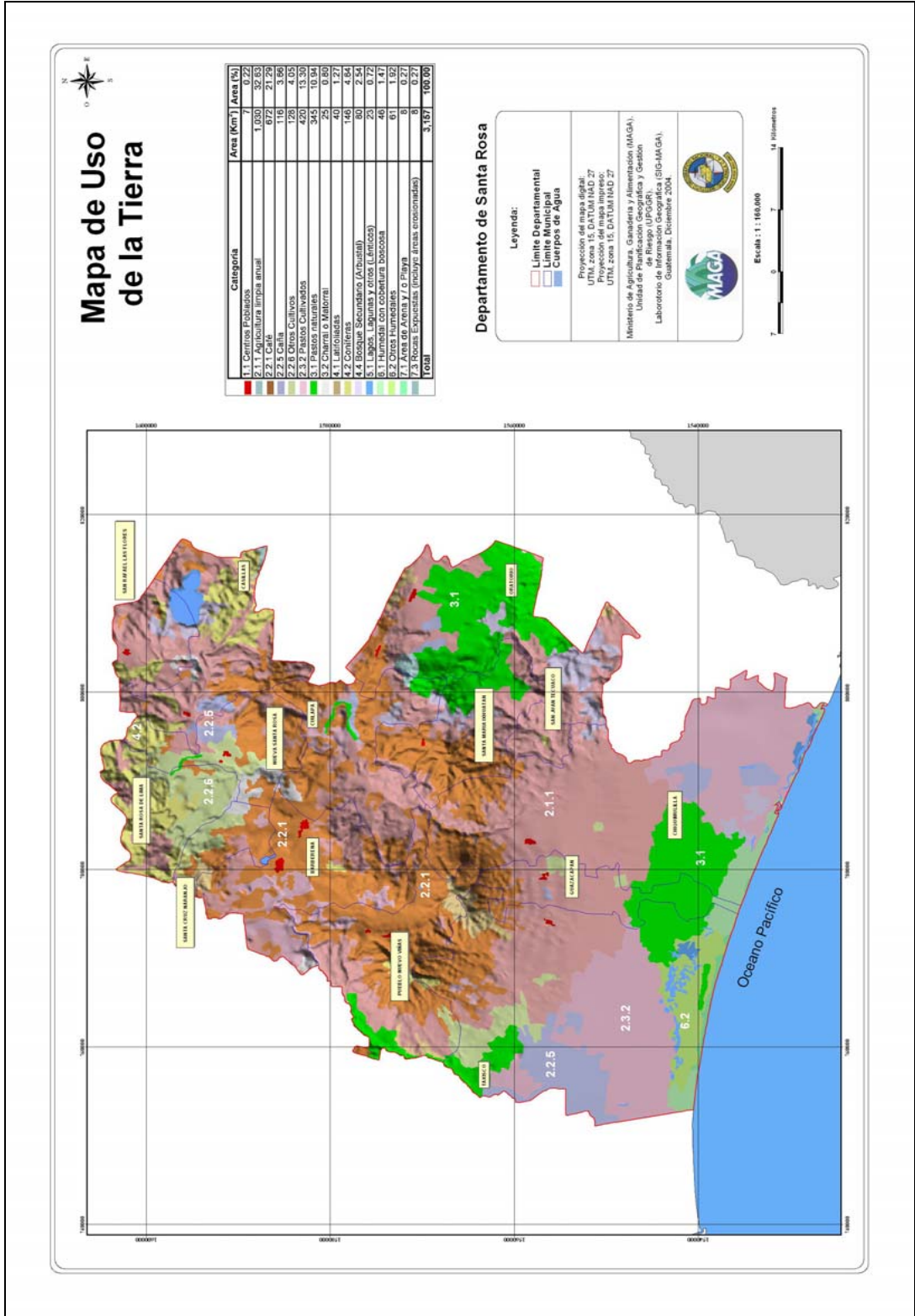
Fuente: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación.

### **1.2.2 Economía y producción.**

La principal actividad económica es el cultivo de café que lo demuestra en sus 28 fincas registradas en ANACAFE; culturalmente se observa una entrega y dedicación casi absoluta a éste cultivo; para lo cual se han construido muchos beneficios que procesan en grano maduro y producen pergamino o grano oro. Además del café también se cultiva en menores cantidades el maíz, frijol, legumbres, frutas y otros de menor cuantía.

La actividad pecuaria también ha tenido cierto auge en los últimos años, representándose ésta actividad en la crianza de ganado vacuno, caballar, caprino, porcino, avícola y hasta piscicultura. También existen pequeñas industrias aún en crecimiento como la de calzado, textiles y otras manualidades de tipo agroindustrial, por lo que se ha organizado una cooperativa en la aldea El Teocinte. Al presente muchos jóvenes viajan a trabajar a fábricas de textiles (maquilas) a la ciudad capital, también lo hacen albañiles y de servicios domésticos.

Fig. 7 – Mapa de uso de la tierra del departamento de Santa Rosa.



Fuente: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación.

### 1.2.3 Organización Social.

El municipio de Santa Cruz Naranjo se organiza principalmente a partir de su Municipalidad, la cual presta los servicios del Registro Civil, Tesorería, Oficina Municipal de Planificación, Relaciones Públicas, ambulancia municipal y es la que coordina la organización de los COCODE (Consejos Comunitarios de Desarrollo).

Cuenta con Centros de Salud en la cabecera municipal y en las aldeas de El Teocinte, El Potrerillo y El Carmen. Posee Escuelas de Educación Primaria en la cabecera municipal y todas las aldeas y caseríos; Institutos de educación básica en la cabecera municipal y en aldea Don Gregorio; no posee establecimientos para niveles diversificado ni universitario.

Como acceso a la justicia posee el Juzgado de Paz el que está organizado por un Juez, un Secretario, un Oficial 1ro., un Oficial 2do. y un Auxiliar de Mantenimiento; la Sub-Jefatura de la PNC cuenta con 4 agentes y un auto/patrulla. Existen dos cooperativas agrícolas, la *2 de Julio* en la cabecera municipal y *El Bosque* en aldea El Bosque, ésta última fundada por unos curas italianos con la idea de exportar café de primera a Europa.



Fig. 8 – Escuela primaria de aldea Agua Blanca.

Fuente: Propia.

## 2. ESTUDIO DE MERCADO

### 2.1 Generalidades.

El primer paso para estudiar el mercado es el determinar las necesidades, carencias y prioridades de los pobladores de todas las comunidades del municipio de Santa Cruz Naranjo, y una manera eficaz para conseguir éste objetivo es la realización de una encuesta sencilla con lo que luego de tabular la información nos indicará lo que a opinión de las personas son sus principales carencias de infraestructura y servicios. Sin embargo, luego de analizar la información de las comunidades debemos considerar que la mayoría de las personas desconoce sus verdaderas necesidades en una escala de prioridades; éste es el punto donde el criterio profesional basado en la observación y análisis se debe aplicar para poder indagar la verdadera escala de necesidades de cada comunidad. Seguidamente se realizará un perfil a cinco proyectos potenciales para todo el municipio, y que, presentados éstos a las autoridades encargadas del trámite o patrocinio del proyecto, en éste caso el Alcalde y su Concejo municipal, además para éste caso en particular, al Asesor de EPS; para llegar a definir el proyecto al cual en definitiva se le hará el estudio y diseño.

La encuesta realizada parte de un listado de proyectos-hipótesis planteados por las autoridades municipales.

### 2.2 Definición de oferta.

En este tema se trata de estudiar el grado de atención que se le haya dado a las necesidades en estudio, tratando de determinar:

- ✓ Volúmenes de servicio que se hayan ofrecido con anterioridad.
- ✓ Capacidad económica de las entidades y personas individuales y/o jurídicas involucradas en el financiamiento del proyecto.

### **2.3 Definición de demanda.**

Para éste tipo de proyectos de servicio social el estudio de demanda debe ser realizado para una comunidad, área o estrato de población bien definidos. En tal sentido se busca:...

- ✓ Determinar la demanda actual y potencial en función de los beneficiarios directos e indirectos.
- ✓ Determinar la demanda futura del proyecto, proyectando la población presente de acuerdo a los años considerados para el período de diseño.
- ✓ Indicar las características de la población demandante: edad, sexo, población urbana o rural, situación socioeconómica, disposición de pago, actitud hacia el proyecto, disposición de participación.

No necesariamente todos los elementos enumerados, aunque pueden agregarse otros del mismo tipo.


### **2.4 La encuesta realizada y sus resultados.**

Con el objetivo de determinar las necesidades y prioridades de la población con respecto a obras de servicio público se realizó una encuesta. A continuación se presentan los datos ya tabulados obtenidos de la encuesta realizada en las principales comunidades del municipio y el resultado final...



Fig. 9 – Modelo de encuesta realizada para el EPS.

**ENCUESTA PARA DETERMINAR LAS NECESIDADES Y PRIORIDADES DE LA POBLACION EN EL MUNICIPIO DE SANTA CRUZ NARANJO, CON RESPECTO A OBRAS DE SERVICIO PÚBLICO.**



Referencia al proyecto: *Abastecimiento de agua potable por bombeo "El Teocinte"*

Datos de la comunidad.  
Nombre: El Teocinte

Distancia hacia la cabecera municipal:  Km, Tipo de camino: pavimento reg.

Actividad economica principal: Cultivo de café, maiz y frijol

Datos Personales.  
Nombre: Marfa Julia Rustrian

Edad:  años Género:  M  F Nivel escolar: 0  30 60 B D

Su actividad principal: Ama de casa

1) Conocía usted de este proyecto:  SI  NO    2) Cree que Ud. se beneficiaría:  SI  NO

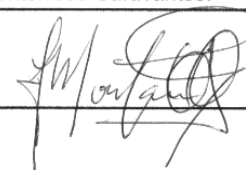
3) Cuál cree que sería el principal beneficio del proyecto: Mejoramiento del actual

4) Qué otros proyectos se necesitan por aquí: AP  DREN  ESC CAM PAV  C/SALD

5) Ordenar por prioridad los anteriores tipos de proyectos: 1 Drenaje  
2 Agua Potable                      3 Mejorar servicio en el sald.  
4 Pavimentar calle                      5 Mejorar la escuela

6) Específicamente, qué proyecto solicitaría Ud. para su comunidad: Drenaje con planta de tratamiento.

Encuesta realizada por: Jaime Adolfo Monterroso Caravantes.

f: 

Fuente: Propia.

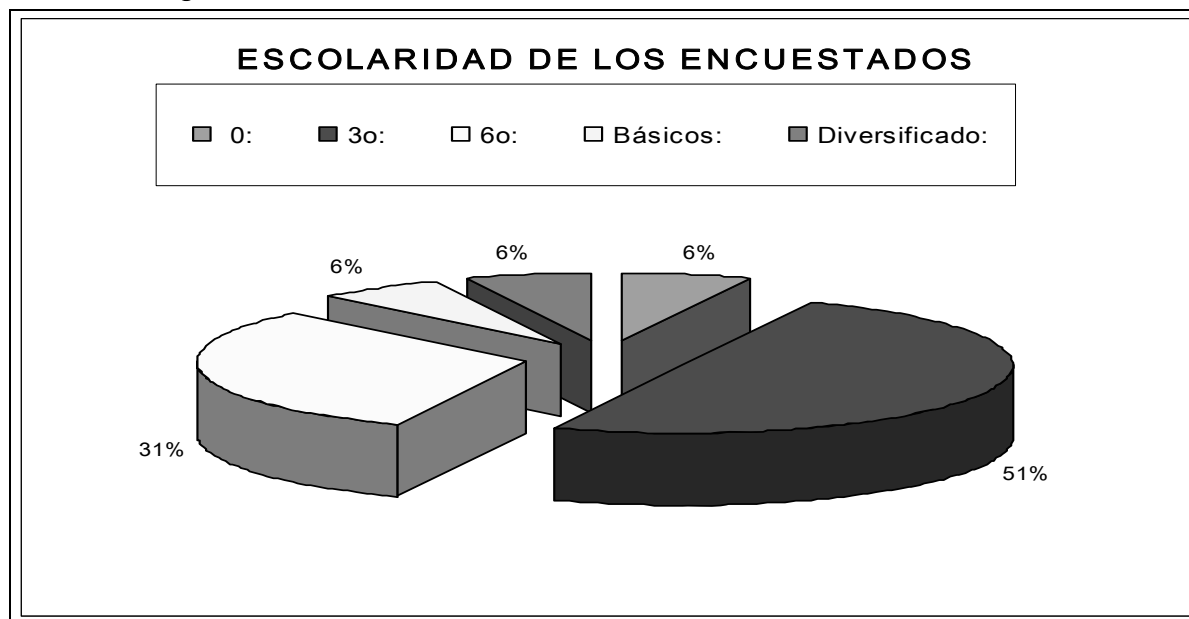
## 2.4.1 Resultados.

Tabla I – Datos de la comunidad y de los entrevistados en aldea El Teocinte.

<b>Datos de la comunidad:</b>				
Comunidad:	<b>Aldea El Teocinte.</b>			
Distancia hacia la cabecera municipal:	<b>3.5 Km pavimentado.</b>			
Actividad económica principal:	<b>Cultivo de café.</b>			
<b>Datos de los entrevistados:</b>				
Edad promedio:	38.25 años			
<i>Nivel escolar:</i>	0:	6.25%	Género masculino:	12.50%
	3o:	50.00%		Género femenino:
	6o:	31.25%	100.00%	
	Básicos:	6.25%		
	Diversificado:	6.25%		
	100.00%			

Fuente: Propia.

Fig. 10 – Escolaridad de los encuestados en aldea El Teocinte.



Fuente: Propia.

**Tabla II – Resultados: Opinión de los encuestados respecto a los proyectos presentados en aldea El Teocinte.**

Referencia al proyecto: *Abastecimiento de agua por bombeo aldea El Teocinte.*

Pregunta 1: ¿Había oído usted mencionar éste proyecto?	
Si:	75.00%
No:	25.00%
	100.00%
Pregunta 2: ¿Cree usted que personalmente se beneficiaría del proyecto?	
Si:	100.00%
No:	0.00%
	100.00%
Pregunta 3: ¿Cuál cree que sea el principal beneficio de éste proyecto?	
Regularidad en el servicio:	25.00%
Aseo en el hogar:	37.50%
Higiene personal:	37.50%
	100.00%

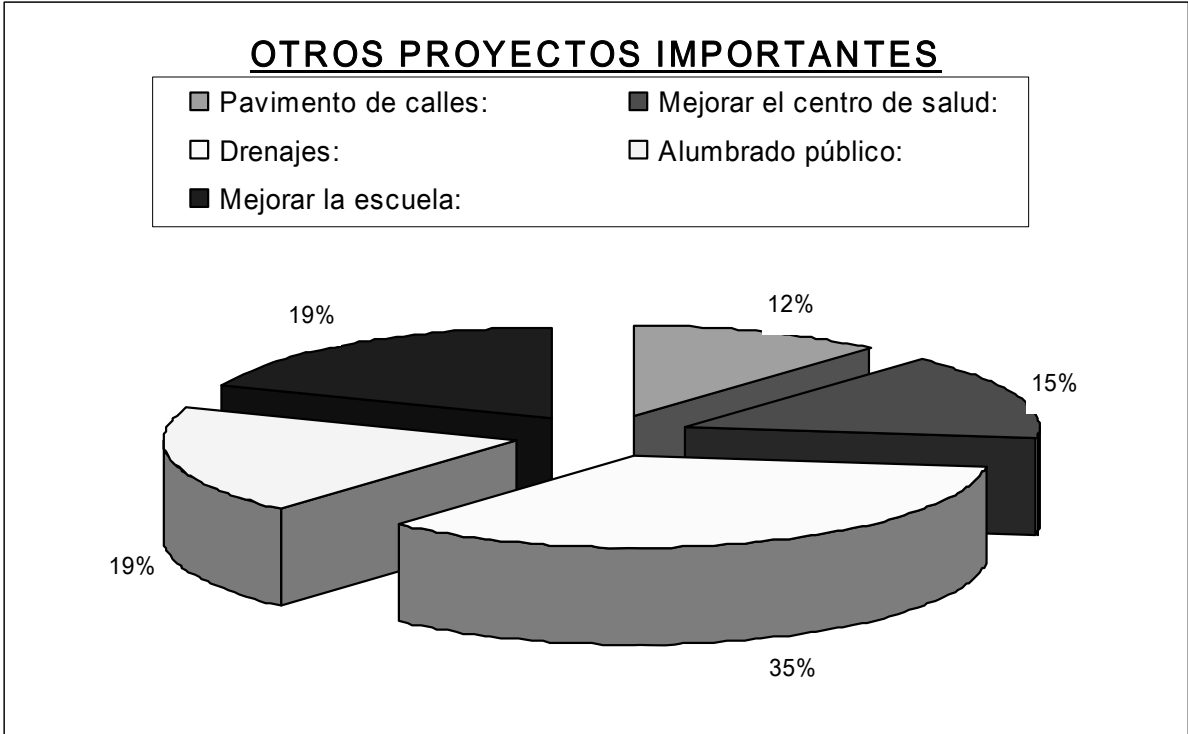
Referencia al proyecto: *Carretera de El Teocinte a 1a. Sabana (Sta. Rosa de Lima)*

Pregunta 1: ¿Había oído usted mencionar éste proyecto?	
Si:	87.50%
No:	12.50%
	100.00%
Pregunta 2: ¿Cree usted que personalmente se beneficiaría del proyecto?	
Si:	83.33%
No:	16.67%
	100.00%

Pregunta 3: ¿Cuál cree que sea el principal beneficio de éste proyecto?	
Menor distancia hacia la ciudad capital:	25.00%
Disminuir el polvo en el aire:	37.50%
Mejorar la comunicación entre poblaciones de otros municipios:	37.50%
	100.00%

Pregunta 4: Mencione otros dos proyectos que se necesiten aquí:	
Pavimento de calles:	11.54%
Mejorar el centro de salud:	15.38%
Drenajes:	34.62%
Alumbrado público:	19.23%
Mejorar la escuela:	19.23%
	100.00%

Fig. 11 – Otros proyectos importantes en aldea El Teocinte.



Fuente: Propia.

**Tabla III – Resultados: Orden prioritario de los proyectos necesarios en aldea El Teocinte.**

Pregunta 5: Orden prioritario de los proyectos:		
Orden	Descripción	Preferencia
1	Introducción y/o mejoramiento de Agua Potable	25.62%
2	Construcción de carretera	16.53%
3	Sistema de alcantarillado sanitario	14.88%
4	Mejoramiento o construcción de escuela	14.05%
5	Mejoramiento del centro de salud	11.57%
6	Mas alumbrado público	8.26%
7	Construcción de Instituto Básico	4.96%
8	Pavimentación de calles	2.48%
9	Mejorar instalaciones deportivas	1.65%
		100.00%

Pregunta 6: ¿Específicamente, qué proyecto solicitaría formalmente para beneficio de su comunidad?		
	Introducción y/o mejoramiento de Agua Potable	50.00%
	Construcción de carretera	11.11%
	Mejoramiento o construcción de escuela	16.67%
	Sistema de alcantarillado sanitario	22.22%
		100.00%

#### **2.4.2 Análisis de resultados.**

Aunque anteriormente sólo se presentaron los datos de las dos principales aldeas del municipio, la encuesta se realizó también en el cantón Llano de la Cruz de la cabecera municipal, aldea El Potrerillo y aldea Don Gregorio.

A los 5 proyectos que se les realizó un perfil preliminar son:

- ✓ 1) Tramo carretero que una el casco urbano con la carretera existente entre Sta. Rosa de Lima y Fraijanes.
- ✓ 2) Introducción de agua potable para la aldea El Teocinte.
- ✓ 3) Introducción de agua potable para la aldea El Carmen.
- ✓ 4) Alcantarillado sanitario para la aldea El Carmen.
- ✓ 5) Pavimentación de camino entre Llano de la Cruz y El Bosque.

Luego de tabulados y analizados los datos obtenidos se consultó a las autoridades municipales y junto con el Ingeniero Asesor nos decidimos que por su importancia, magnitud e impacto que el proyecto causaría, el indicado fue nombrado oficialmente *“ESTUDIO Y DISEÑO DE CARRETERA PAVIMENTADA EN CAMINO QUE COMUNICA A ALDEA EL TEOCINTE, STA. CRUZ NARANJO, CON ALDEA EL SALITRE, STA. ROSA DE LIMA, DEPTO. DE SANTA ROSA”*; en referencia al primer inciso de la anterior lista.

Ya definido el proyecto a realizar, éste se analizará bajo las directrices de un estudio de mercado. Básicamente un estudio de mercado consiste en el análisis de oferta y demanda, donde la relación debe de estar lo más equilibrada posible. Aplicando éste principio, más ampliamente utilizado en asuntos económicos que a los proyectos sociales de Ingeniería Civil; resulta en un análisis socioeconómico y demográfico donde aplicando dichos preceptos (por medio de datos estadísticos ya conocidos de las poblaciones que representan nuestra área de influencia), y proyectándolos a una cantidad de tiempo razonable en relación a cambios predecibles y a la durabilidad de la infraestructura con un moderado mantenimiento, comúnmente 20 años, denominándose éste para efectos técnicos como *período de diseño*.

Entonces, resulta que el estudio de mercado es el aspecto más importante a considerar para iniciar un diseño de Ingeniería Civil, pues sin éste se asumirían demasiados riesgos en la aplicación de criterios de

diseño, arriesgando el proyecto a quedar *sub-diseñado* en el caso de que no llegue ya sea estructuralmente o en capacidad de servicio al período de diseño; o *súper-diseñado* en el caso de que sobrepase ya sea estructuralmente o en capacidad de servicio al período de diseño. En el primero de los casos la deficiencia en el diseño radica en que a un tiempo menor al período de diseño, el proyecto se encuentre demasiado deteriorado debido a la carente calidad estructural y/o que su capacidad de dar el servicio para el cual fue creado sea deficiente.

En el segundo caso la deficiencia reside en el aspecto económico, pues un proyecto súper-diseñado es más o mucho más caro que uno hecho aproximadamente a la medida. Y se dice aproximadamente pues aunque los crecimientos futuros de las poblaciones en todos sus aspectos, están basados en datos estadísticos, además de algunas hipótesis de criterio técnico; realmente ninguna técnica puede ser suficientemente fiable para predecir el futuro.

Por lo tanto, nuestra oferta está representada por el proyecto que debe de estar a la medida de nuestra demanda que es nuestra población presente proyectada al futuro.

## **2.5 La demanda y su proyección.**

Nuestra demanda directa está representada por las poblaciones más cercanas al proyecto, por lo que son las que verán los beneficios que éste provocará, no sólo en aspecto geográfico, sino también cronológico pues es en éstas poblaciones donde el cambio se sentirá más rápidamente. Éstas comunidades son las aldeas El Teocinte y Agua Blanca por parte del municipio de Santa Cruz Naranjo y aldeas El Salitre y Primera Sabana del lado del municipio de Santa Rosa de Lima.

Según datos del Instituto Nacional de Estadística (INE), la aldea el Teocinte contaba con aproximadamente 550 familias en el año 2,002 que equivalen, según

datos del censo habitacional del mismo año (4.08 habitantes por vivienda) a 2,244 personas. Una variable importante a considerar para el diseño del tramo carretero es la cantidad de autos y de qué tipo existen en la aldea y en las comunidades cercanas; sin embargo, se intentó en la SAT obtener éste dato, pero no fue posible que brindaran tal información, por lo se realizó un muestreo de una manzana que correspondió a 38 familias con lo cual se puede aproximar tal dato.

Considerando la ecuación de crecimiento geométrico poblacional...

$$Pf = Po \times (1 + r)^n ; \text{ en donde...}$$

- ✓  $Pf$  = Población futura,
- ✓  $Po$  = Población inicial (relativa),
- ✓  $r$  = Razón o tasa de crecimiento anual y
- ✓  $n$  = número de años (relativos). Entonces...

Tomando los datos de los censos de 1,981, 1,994 y 2,002 para obtener la tasa media geométrica de crecimiento poblacional anual para el municipio de Santa Cruz Naranjo, para poder aplicarla al crecimiento vehicular. Éstos son:

**Tabla IV – Población de Santa Cruz Naranjo en los últimos 3 censos nacionales.**

Año	Población
1,981	7,235
1,994	8,964
2,002	11,650

Fuente: Instituto Nacional de Estadística (INE).

Se grafican éstos puntos y se genera una línea de tendencia exponencial en EXCEL, se muestra la ecuación de la curva y se extiende por alrededor de 25 años debido a que seguramente el proyecto se diseñe a 20 años y probablemente



se empiece a ejecutar dentro de los próximos 5 años, por lo que un límite máximo en el año 2,030 es un buen estimado.

La ecuación de la línea de tendencia es de la forma  $Pf = C_1 \times e^{xt}$ ; donde  $C_1$  y  $x$  son constantes y  $t$  es la variable independiente que representa el año en cuestión y su dominio es  $1,981 \leq t \leq 2,030$ . Ésta ecuación hay que transformarla a otra de la forma como la anteriormente presentada.

Según la ecuación de la línea de tendencia  $C_1=7.060 \times 10^{-16}$  y  $x=2.209 \times 10^{-2}$ . Sustituyendo  $t$  por 2,005 se obtiene un valor  $Pf=12,047.1579$ , y si se convierte éste valor en el valor de  $P_0$  se obtiene la ecuación característica de crecimiento geométrico poblacional, a partir del año 2,005, para el municipio de Santa Cruz Naranjo que es...

$$Pf = 12,047.1579 \times (1.02233)^{(n-2,005)} ;$$

De donde resulta que la tasa de crecimiento geométrico es  $r=2.233\%$ .

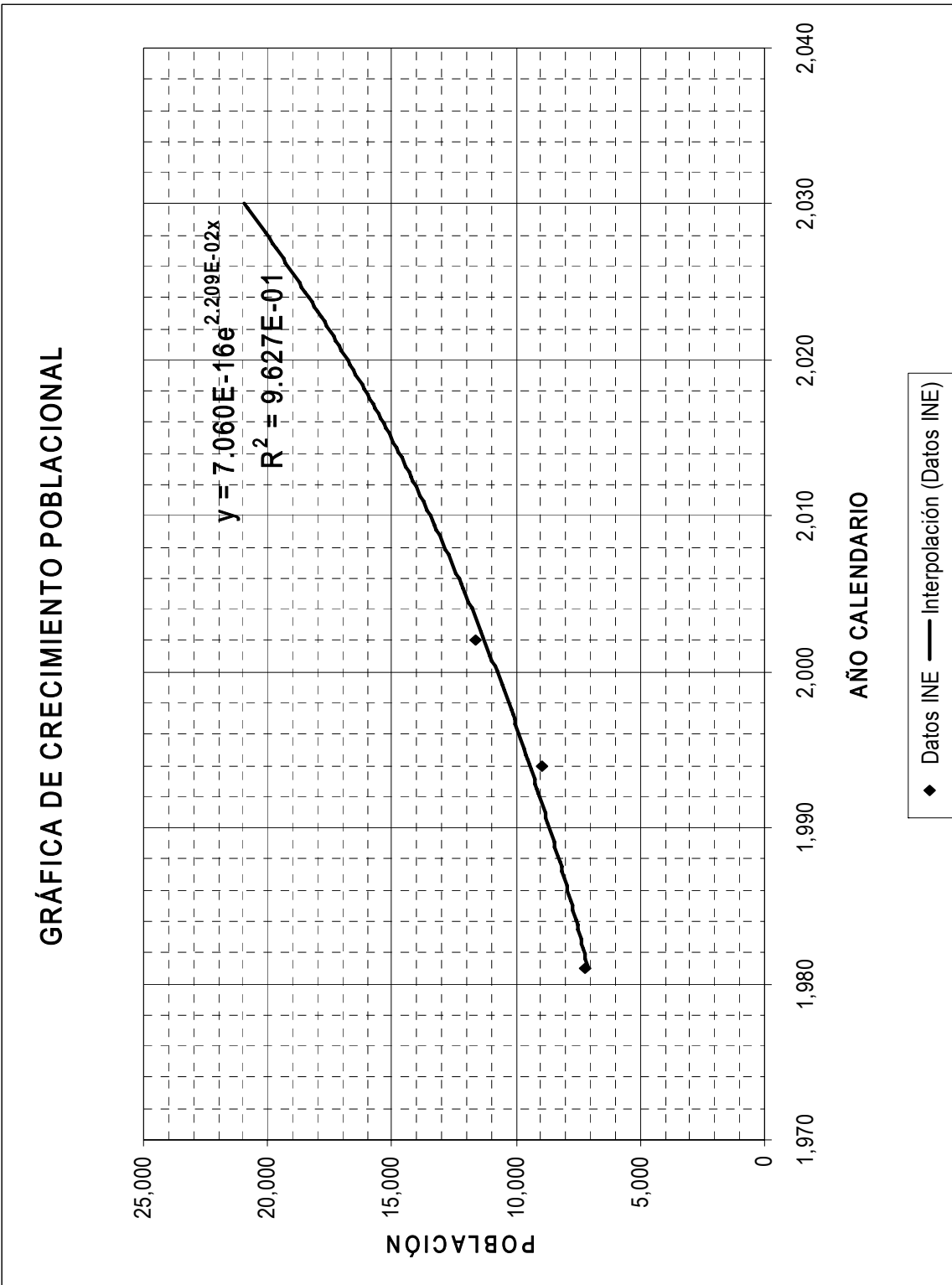
Si ésta tasa de crecimiento se aplica en general para las poblaciones conjuntas de Aldeas El Teocinte, El Naranjo, Potrerillos, Agua Blanca y Don Gregorio, además del casco urbano de Santa Cruz Naranjo; que son las poblaciones principalmente beneficiarias de tal proyecto resultaría en valores casi triplicados.

**Tabla V – Censo vehicular en aldea El Teocinte y su proyección.**

Tipo vehículo	Presente		Teocinte	Municipio
	38 fam	575 fam	2,030	2,030
>10Tn	2	30	89	270
Hasta 10Tn	3	45	133	400
Livianos y pick ups	7	106	313	940

Fuente: Propia.

Fig. 12 – Proyección poblacional en el período 1,981–2,030.



Fuente: INE e interpolación propia.

2.6 Estadística de los municipios del departamento de Santa Rosa.

Tabla VI – Distribución por sexo, grupos de edad y área.

Depto/municipio	población	Sexo		Grupos de edad (en años cumplidos)						Área	
		hombres	mujeres	0 a 6	7 a 14	15 a 17	18 a 59	60 a 64	65 o más	urbana	rural
Santa Rosa	301,370	150,190	151,180	60,223	65,603	20,129	132,590	6,629	16,196	105,061	196,309
Cullapa	30,951	15,444	15,507	6,020	6,498	2,038	14,329	600	1,466	14,028	16,923
Barberena	38,912	19,199	19,713	7,705	8,234	2,524	18,018	723	1,708	24,085	14,827
Santa Rosa de Lima	14,823	7,290	7,533	3,020	3,236	991	6,341	371	864	4,394	10,429
Casillas	20,400	10,129	10,271	4,377	4,678	1,386	8,534	400	1,025	5,987	14,413
San Rafael Las Flores	9,078	4,614	4,464	2,085	1,991	562	3,752	215	473	2,427	6,651
Oratorio	19,550	9,854	9,696	3,884	4,507	1,317	8,418	412	1,012	7,561	11,989
San Juan Tecuaco	7,895	4,000	3,895	1,829	1,919	556	3,046	159	386	2,120	5,775
Chiquimullilla	43,623	21,706	21,917	8,274	9,400	3,016	19,485	1,034	2,414	12,001	31,622
Taxisco	22,620	11,347	11,273	4,220	4,838	1,497	10,011	550	1,504	6,080	16,540
Santa María Ixhuatán	19,480	9,769	9,711	4,077	4,395	1,398	8,193	413	1,004	3,456	16,024
Guazacapan	13,979	6,938	7,041	2,606	2,993	910	6,281	335	854	6,629	7,350
Santa Cruz Naranjo	11,241	5,608	5,633	2,140	2,318	735	5,088	268	692	4,295	6,946
Pueblo Nuevo Viñas	20,165	10,338	9,827	4,205	4,387	1,296	8,634	484	1,159	3,767	16,398
Nueva Santa Rosa	28,653	13,954	14,699	5,781	6,209	1,903	12,460	665	1,635	8,231	20,422

Fuente: Instituto Nacional de Estadística (INE), censo 2,002.



### 3. BASES QUE RIGEN EL DISEÑO DE CARRETERAS

#### 3.1 Generalidades.

El diseño de la mayoría de las estructuras está regido por especificaciones o normas. Aun si éstas no gobiernan el diseño, el proyectista las tomará como una guía. No importa cuantas estructuras haya diseñado, es imposible que el proyectista haya encontrado toda situación posible, por lo mismo al recurrir a las especificaciones se usa el mejor material de que se dispone. Las especificaciones de Ingeniería son desarrolladas por varias organizaciones y contienen las opiniones más valiosas sobre la buena práctica de la Ingeniería Civil.

Las autoridades municipales, estatales y universidades, han establecido códigos de control de la construcción; éstos códigos que en realidad son reglamentos, especifican las cargas de diseño, esfuerzos, tipos de estructura, calidad de los materiales y otros factores; varían a veces considerablemente de un lugar a otro, hecho que origina cierta confusión entre los proyectistas. Algunas organizaciones publican prácticas que se recomiendan para uso regional o nacional; sus especificaciones no son legalmente obligatorias, a menos que estén contenidas en el código de edificación local o formen parte de un contrato en particular. Entre esas organizaciones están la AISC, la AASHTO, ACI, ASTM, etcétera de origen estadounidense, las especificaciones de la SIECA de cobertura regional y DGC nacional; éstas últimas dos, que ciertamente son adaptaciones de las primeras, son las que principalmente se deben considerar para Guatemala.

Para el presente estudio se tomaron en cuenta varias normas y/o reglamentos de diseño para pavimentos de concreto entre ellos los de la *American Association of State Highway and Transportation Officials* (ASHTO, USA), *Pórtland Cement Institute* (PCI, USA), Dirección General de Caminos (DGC, Guatemala), Instituto Chileno del Cemento y del Hormigón (ICCH) y la Secretaria

de Integración Económica para Centroamérica (SIECA). El diseño final consta de una mezcla de éstas normas pero aplicables en criterio lo mejor posible para éste proyecto en particular.

La Secretaría de Integración *Económica* Centroamericana, SIECA, suscribió en 1,999, *la modernización y armonización de normas técnicas aplicables a las carreteras regionales y al transporte por dichas carreteras en Centroamérica*.

El desarrollo de éste *plan* de trabajo se resume en los siguientes temas relacionados con las carreteras y el transporte a través de ellas:

- ✓ Actualización del Acuerdo Centroamericano sobre Circulación por Carreteras: énfasis en lo relativo al control de pesos y dimensiones de vehículos automotores.
- ✓ Actualización del Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras.
- ✓ Manual Centroamericano de Especificaciones para la Construcción de Carreteras y Puentes Regionales.
- ✓ Actualización del Acuerdo Centroamericano sobre Señales Viales Uniformes.
- ✓ Manual Centroamericano de Especificaciones para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales.

### **3.2 Evaluación de impacto ambiental.**

Durante el proceso de diseño geométrico de las carreteras, al igual que en todas las etapas de su desarrollo y puesta en operación, es importante identificar los potenciales impactos ambientales del proyecto y adoptar las disposiciones necesarias para evitar y mitigar sus efectos negativos, hasta donde ello sea posible.

*El más sofisticado diseño geométrico de una carretera puede ser desestimado si, en el análisis de sus elementos justificativos, no se incorporan paralelamente los componentes ambientales de su impacto en el medio natural y social.* Una deficiente administración ambiental del proyecto, genera una percepción negativa del mismo, creando un mal contexto para el desarrollo de

futuras carreteras: se generan retrasos y elevaciones en los costos y se adoptan, como consecuencia, soluciones de compromiso que dejan lugar para muy escasas satisfacciones entre los proyectistas y los usuarios. Es muy bien sabido que por todos sus positivos efectos, las carreteras pueden generar también impactos negativos en las comunidades aledañas y en el ambiente natural. Las personas pueden ser afectadas indirectamente por el proyecto, mediante la alteración de su modo de vida, la pérdida de los lazos comunitarios, el incremento del ruido, la contaminación y la mayor generación de accidentes viales. Alteraciones en el ambiente natural pueden incluir erosión del suelo, cambios en las corrientes de agua y en el nivel freático, modificaciones en la vida animal y vegetal. Como agentes de cambio, las carreteras alteran el balance existente entre la gente y su ambiente natural. Para lograr un desarrollo sostenible durante el diseño de una carretera, *hay que conciliar sus innegables aportes positivos con su costo sobre el ambiente*. Éste cambio de óptica involucra tres aspectos fundamentales.

- ✓ En primer lugar, está la identificación del abanico total de los impactos de la carretera sobre el ambiente natural y social dentro de su zona de influencia directa.
- ✓ En segundo lugar, está la cuantificación y medición de éstos impactos, bajo procedimientos que en ciertos casos no están suficientemente desarrollados, como decir la medición del efecto sobre la salud de la contaminación del aire por las emisiones tóxicas de los vehículos.
- ✓ En tercero y último lugar, están los procedimientos a aplicar para evitar, mitigar y compensar por esos efectos negativos, que en balance deben ser minimizados frente a los beneficios de la apertura o el mejoramiento de una determinada obra vial.

El término de evaluación ambiental se aplica al riguroso análisis de los impactos de las alternativas de desarrollo de una carretera. La evaluación ambiental no es una actividad aislada a ejecutar en un momento del tiempo, debe verse antes bien como un proceso continuo que está integrado en el ciclo del

proyecto durante la planificación, el diseño, la construcción, el mantenimiento y la operación de la carretera. Los costos de un estudio de impacto ambiental completo se estiman en el rango de 5 a 10 por ciento de los costos de preparación de los proyectos. Un estudio más limitado o plan de acción para analizar determinados impactos se conoce como un plan de mitigación o plan de manejo ambiental.

Mediante un proceso de tamizado, se identifica la magnitud potencial de los impactos y la profundidad de los estudios requeridos, mientras que el alcance considera la categoría de impactos, el área afectada y la duración de los impactos, para establecer los límites o el rango de los factores ambientales a estudiar.

### **3.3 Criterios determinantes para el diseño de las carreteras.**

Los usuarios de las carreteras (1), los vehículos que circulan por ellas (2), las carreteras mismas (3) y los controles que se aplican para normar su operación (4), son los cuatro elementos básicos que interactúan y se relacionan entre sí para determinar las características del tránsito. La capacidad, a su vez, puede ser limitada por aspectos adversos de su entorno, relacionados con interferencia de peatones, frecuencia de intersecciones, condiciones del terreno y factores climáticos que afectan la visibilidad, disminuyendo la velocidad y las condiciones físicas y anímicas de los conductores. *Tan importante como ofertar mediante un buen diseño la capacidad requerida de una carretera, es brindarla en condiciones de óptima seguridad y eficiencia en los costos de operación de los vehículos.* El tema de la seguridad vial, en particular, no ha merecido en Centroamérica la atención debida, razón por la cual se ha optado por plantear algunas recomendaciones al respecto en las medidas de mitigación del inciso anterior. En referencia de éste tema y para relevar su significación, puede mencionarse que se ha estimado que más de 300,000 personas mueren en el mundo y entre 10 y 15 millones resultan lesionadas en un año, como producto de accidentes de tránsito.



### 3.3.1 Los vehículos de diseño.

Los vehículos de diseño son los vehículos automotores predominantes y de mayores exigencias en el tránsito que se desplaza por las carreteras regionales, por lo que al tipificar las dimensiones, pesos y características de operación de cada uno de ellos, se brinda al diseñador los controles y elementos a los que se deben ajustar los diseños para posibilitar y facilitar su circulación irrestricta. La tipología de los vehículos automotores que circulan por las carreteras regionales de Centroamérica admite que, en primer término, se ubiquen en un extremo *los vehículos livianos* que son los más numerosos en la corriente vehicular; mientras que los *vehículos pesados*, en el otro extremo de la clasificación, no admiten una sola representación, sino que requieren ser desglosados para su correcta identificación como elementos condicionantes de algunos aspectos del diseño geométrico de las carreteras. En ésta categoría se encuentran los autobuses junto a una diversidad de vehículos pesados para el transporte de mercancías, que es preciso particularizar en cuanto a sus características.

Destacan en Centroamérica la presencia relativamente importante del camión tipo T3, que corresponde a un camión de tres ejes, uno delantero y dos ejes en tándem atrás, utilizado con preferencia para el acarreo de mercancías a distancias cortas y medianas. En términos de carga transportada por las carreteras regionales, su participación es, sin embargo, bastante limitada, por consiguiente menos significativa que la aportada por la combinación vehicular identificada como T3-S2, que consiste en la integración operativa de una unidad de tracción o cabezal de tres ejes, acoplado con un semi-remolque de dos ejes en tándem.

Aunque su presencia es en la actualidad bastante reducida, es posible que la combinación tipo T3-S3, o sea la combinación del mismo cabezal

anterior con un semi-remolque de tres ejes, pudiera en el futuro llegar a ser importante para el transporte por carreteras en Centroamérica.

En correspondencia con la simbología que utiliza la AASHTO en su manual de diseño geométrico, cabría seleccionar cinco vehículos tipo para el diseño de las carreteras regionales.

Entre paréntesis se presentan las dimensiones de los vehículos similares de diseño que utiliza la Secretaría de Comunicaciones y Transporte de México y que se identifican como DE-335, DE610 y DE-15253, en correspondencia con los tipos P, SU y WB-15, respectivamente.

**Tabla VII – Estandarización y clasificación de los vehículos de diseño.**

<b>DIMENSIONES DE LOS VEHÍCULOS DE DISEÑO (METROS)</b>						
	<b>P</b>	<b>BUS</b>	<b>SU</b>	<b>WB-15</b>	<b>WB-19</b>	<b>WB-20</b>
<b>Altura</b>	1.3(1.3)	4.1	4.1(4.1)	4.1(4.1)	4.1	4.1
<b>Ancho</b>	2.1(2.1)	2.6	2.6(2.6)	2.6(2.6)	2.6	2.6
<b>Longitud</b>	5.8(5.8)	12.1	9.1(9.2)	16.7 (16.8)	21.0	22.5
<b>Voladizo Delantero</b>	0.9(0.9)	2.1	1.2(1.2)	0.9(0.9)	1.2	1.2
<b>Voladizo Trasero</b>	1.5(1.5)	2.4	1.8(1.8)	0.6(0.6)	0.9	0.9
<b>Distancia entre Ejes Extremos, WB1</b>	3.4(3.4)	7.6	6.1(6.1)	6.1(6.1)	6.1	6.1
<b>Distancia entre Ejes Extremos, WB2</b>				9.1(9.2)	12.8	14.3

Fuente: AASHTO, A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 1994. p. 21

Fuente: Manual del diseño geométrico de carreteras, SIECA.

### 3.3.2 Los volúmenes de tránsito.

El buen diseño de una carretera solamente puede lograrse si se dispone de la adecuada información sobre la intensidad del movimiento vehicular que la utiliza y la utilizará hasta el término del período seleccionado de diseño, sea que se trate de una nueva carretera o de una carretera existente que se propone reconstruir o ampliar. La medición de los volúmenes del flujo vehicular se obtiene normalmente y a veces de manera

sistemática, por medios mecánicos y/o manuales, a través de conteos o aforos volumétricos del tránsito en las propias carreteras.

**a) El Tránsito Promedio Diario Anual, TPDA.** Se define como el volumen total de vehículos que pasan por un punto o sección de una carretera en un período de tiempo determinado, que es mayor a un día y menor o igual a un año, dividido por el número de días comprendido en dicho período de medición. Tratándose de un promedio simple, el TPDA no refleja las variaciones extremas que, por el límite superior, pueden llegar a duplicar los volúmenes promedios del tránsito en algunas carreteras. No obstante, se ha tomado el TPDA como un indicador numérico para diseño, tanto por constituir una medida característica de la circulación de vehículos, como por su facilidad de obtención. Constituye así el TPDA un indicador muy valioso de la cantidad de vehículos de diferentes tipos (livianos y pesados) y funciones (transporte de personas y de mercancías).

**b) La composición del tránsito.** Dependiendo del tipo de servicio y la localización de una carretera, es indispensable tomar en debida cuenta que los vehículos pesados; pueden llegar a alcanzar una incidencia significativa en la composición del flujo vehicular, influenciando según su relevancia porcentual, en forma más o menos determinante, el diseño geométrico de las carreteras y los espesores de los pavimentos. El efecto de un camión sobre las operaciones del tránsito es a menudo equivalente al de varios automóviles, siendo mayor la relación a medida que son mayores las pendientes y menores las distancias de visibilidad disponibles. En la categoría de vehículos pesados se sitúan los camiones con peso bruto total de 4 toneladas métricas o más y los vehículos que presentan llantas dobles en el eje trasero. El tránsito pesado, por ejemplo, representa el 14 por

ciento del tránsito total proyectado en las carreteras troncales y en las colectoras de Nicaragua.

c) **Las proyecciones de la demanda del tránsito.** En las carreteras regionales se recomienda adoptar un *período de proyección de veinte (20) años* como la base para el diseño, aunque igualmente se acepta que para proyectos de reconstrucción o rehabilitación de las carreteras se puede reducir dicho horizonte a un máximo de diez años. La utilización de períodos mayores de veinte años no parece justificada, particularmente en la región centroamericana, por las dificultades de prever los cambios posibles a tan largo plazo en el uso del suelo y realizar proyecciones confiables sobre la situación socio-económica de la población, dentro de la zona de influencia del proyecto.

**Tabla VIII – Distribución porcentual de los vehículos de diseño.**

**Composición Porcentual del Tránsito en las Carreteras de Nicaragua**

	Tipo de Carreteras		
	Troncal %	Colectora %	Vecinal Estratégica %
Automóviles	44	42	28
Pick-ups	36	39	57
Autobuses	3	3	2
C. Livianos	7	6	9
C. Medianos	6	7	3
C. Pesados	1	1	0
Articulados	3	2	1

Ref.: MTI, Plan Nacional de Transporte, PNT-2000, Nicaragua

Fuente: Manual centroamericano para el diseño geométrico de carreteras, SIECA.

### 3.3.3 Las velocidades.

La velocidad en una carretera guarda directa relación de dependencia de cuatro factores distintos, a los que particularizan al conductor y su vehículo, que son:

- ✓ Las características físicas de dicha carretera,
- ✓ Las condiciones climáticas en su entorno,
- ✓ La presencia o interferencia entre vehículos en la corriente del tránsito y
- ✓ Los límites vigentes de velocidad, sean éstos de carácter legal o relacionado con el empleo de los dispositivos usuales para el control del flujo vehicular.

La mayoría de las corrientes de tránsito registran en su comportamiento variaciones de velocidades que se ubican dentro de una distribución estadística normal, esto es, que la mayoría de los valores ocurren dentro de un rango central, con muy pocos valores ubicados en los rangos extremos de arriba y de debajo de la distribución.

El diseño, en todo caso, busca satisfacer razonablemente los requerimientos de los usuarios en lo relativo a velocidades, bajo condiciones de seguridad y economía en las operaciones. En la práctica vial se hace referencia usualmente a tres tipos de velocidades, la de operación, la de diseño y la de ruedo.

**a) Velocidad de operación:** Es la máxima velocidad a la cual un conductor puede viajar por una carretera dada, bajo condiciones climáticas favorables y las condiciones prevalecientes del tránsito, sin que en ningún momento se excedan los límites de seguridad que determina la velocidad de diseño, sección por sección, de dicha carretera.

**b) Velocidad de diseño:** También conocida como velocidad directriz, es la máxima velocidad que, en condiciones de seguridad, puede ser mantenida

en una determinada sección de una carretera, cuando las condiciones son tan favorables como para hacer prevalecer las características del diseño utilizado. En principio, las carreteras deben diseñarse para las mayores velocidades que sean compatibles con los niveles deseados de seguridad vial, movilidad y eficiencia. La velocidad de diseño debe ser consistente con la velocidad que espera el conductor promedio.

En la selección de una adecuada velocidad de diseño para una carretera en particular, debe darse especial consideración a los siguientes aspectos:

- ✓ Distribuciones de las velocidades,
- ✓ Tendencias de las velocidades,
- ✓ Tipo de área: Rural o urbana,
- ✓ Condiciones del terreno: Plano, ondulado o montañoso,
- ✓ Volúmenes de tránsito,
- ✓ Consistencias en el diseño de carreteras similares o complementarias,
- ✓ Condiciones ambientales.

### **3.4 Diseño geométrico del alineamiento horizontal.**

El diseño geométrico debe realizarse tomando en cuenta factores o variables basadas en condiciones topográficas, estadísticas socioeconómicas y de mercado potencial, por ejemplo...

- ✓ Principales actividades agropecuarias de la región cercana a tramo carretero,
- ✓ Limitaciones topográficas y geológicas,
- ✓ Principales actividades industriales de dicha región,
- ✓ Vocación turística en ambos lados del tramo carretero,
- ✓ Propensión de servir de vía alterna para poblados cercanos,
- ✓ Proporción de vehículos pesados existentes en la región, etc., etc.

Todo esto proyectado sobre el período de diseño. Teniendo presente que la mayoría de éstos elementos son basados en observación y criterio profesional.

Luego de haber definido el tipo y capacidad de nuestra carretera se procederá al diseño geométrico en sí de la carretera contemplando para ello las principales normas a nivel local y/o regional.

### 3.4.1 Curva horizontal y peralte.

En el diseño de curvas horizontales se deben considerar dos casos:

- ✓ **Tangente seguida por curva horizontal.** En ésta situación, las fuerzas centrífugas actúan en contra de la operación segura de los vehículos cuando entran y circulan por la curva.
- ✓ **Alineamiento compuesto de tangente y curva horizontal y vertical.** Gobiernan el diseño factores como el efecto de las fuerzas centrípetas y centrífugas, el movimiento lento de los vehículos pesados cuando ascienden las pendientes y las altas velocidades cuando bajan.

Para dar seguridad y economía a la operación del tránsito, se han introducido factores limitantes en los métodos de diseño del alineamiento horizontal, como el radio mínimo de curva o grado máximo de curva, la tasa de sobre-elevación máxima (peralte máximo), los factores de fricción y las longitudes de transición mínima cuando se pasa de una tangente a una curva. La expresión matemática desarrollada para tomar en cuenta éstos factores y la velocidad de diseño, es la siguiente:

$$e + f = \frac{V^2}{127 \times R}; \text{ en donde...}$$

e: Tasa de sobre-elevación en fracción decimal,

f: Factor de fricción lateral, que es la fuerza de fricción dividida por la masa perpendicular al pavimento,

V: Velocidad de diseño, en Km/hr, y

R: Radio de curva, en metros.

### 3.4.2 Factor máximo de fricción lateral y el peralte.

El factor de fricción lateral depende de las condiciones de las llantas de los vehículos, el tipo y estado de la superficie de rodamiento y de la velocidad del vehículo, mientras que la sobre-elevación ó peralte depende de las condiciones climáticas, tipo de área y las condiciones del terreno. Por las condiciones variables existentes entre países, algunos han registrado factores de fricción lateral diferentes, aún para condiciones similares de composición del pavimento, debido a diferencias en la textura del pavimento, condiciones climáticas y diferencias en la manufactura de las llantas utilizadas. Los valores máximos de fricción lateral para pavimentos de concreto húmedo han variado de 0.50 a 30Km/hr hasta 0.35 a 100Km/hr.

Para seleccionar el máximo factor de fricción lateral para uso en diseño, el principal control es el sentimiento de falta de comodidad que experimentan los conductores cuando transitan una curva a una velocidad determinada. Ésta sensación del conductor está relacionada con la fuerza centrífuga ( $V^2/127R$ ), que al mismo tiempo se combina con la resistencia al deslizamiento que se requiere para efectuar la maniobra.

**Tabla IX – Valores máximos típicos para ‘e’ y ‘f’.**

País	e	f	Velocidad de diseño, Km/h	Tipo de carreteras
Gran Bretaña	0.06	0.15	100	Especiales
	0.07	0.10	120	Autopistas
Estados Unidos	0.08	0.14	80	Rurales
	0.12	0.10	110	Rurales principales
Alemania	0.06	0.04	160	Autobahn-t/ plano
		0.10	100	Autobahn-t/montañoso
Malasia	0.10	0.15	95	Camino rural
Honduras	0.04	0.18	30	Rurales



	0.10	0.13	100	Autopistas suburbanas
El Salvador	0.04	0.17	30	Urbanas rurales
	0.10	0.11	110	Autopistas s/urbanas-rurales

Fuente: Manual centroamericano para el diseño geométrico de carreteras de la SIECA.

### 3.4.3 Radios mínimos y sus correspondientes grados máximos de curva.

Los radios mínimos son los valores límites de la curvatura para una velocidad de diseño dada, que se relacionan con la sobre-elevación máxima y la máxima fricción lateral escogida para diseño. Un vehículo se sale de control en una curva porque el peralte de la curva no es suficiente para contrarrestar la velocidad, o porque la fricción lateral entre las ruedas y el pavimento es insuficiente. El uso de radios más reducidos solamente puede lograrse a costas de incómodas tasas de sobre-elevación o apostando a coeficientes de fricción lateral que pueden no estar garantizados por la adherencia de las llantas con la superficie de rodamiento de la carretera. Una vez establecido el máximo factor de sobre-elevación, los radios mínimos de curvatura horizontal se pueden calcular utilizando la fórmula siguiente:

$$R = \frac{V^2}{127 \times (e + f)} ; \text{ en donde...}$$

R, e, f y V tienen los mismos significados que en la fórmula anterior pues es la misma ordenada de diferente manera.

El grado de curva, **D** (G en algunos textos), es el ángulo sustentado en el centro de un círculo de radio **R** por un arco de 20 metros. Para Centroamérica, que se rige por el sistema métrico, se utiliza la siguiente expresión...

$$D_{20} = \frac{1,145.92}{R} ;$$

Utilizando los valores recomendados para el factor de fricción ( $f$ ) y la tasa de peralte, se ha preparado cuadros donde se presentan los radios mínimos y grados máximos de curvatura para diferentes velocidades de diseño, aplicando la fórmula para  $D_{20}$ . Ver cuadro 3.04.

#### **3.4.4 Curvas horizontales de transición.**

Para dar seguridad al recorrido de los vehículos desde una sección en tangente a una curva horizontal circular, los conductores desarrollan a su manera una curva que podría denominarse de transición. En los nuevos diseños se ha vuelto práctica común intercalar una curva de transición. El requerimiento especial de una curva de transición consiste en que su radio de curvatura pueda decrecer gradualmente desde el infinito en la tangente que se conecta con la espiral (TE) hasta el final de la espiral en su enlace con la curva circular (EC). En la situación de salida de la curva circular hacia la espiral (CE), se produce el desarrollo inverso hasta el contacto de la espiral con la tangente (ET). Ésta condición produce un incremento y decremento gradual de la aceleración radial, que es bastante deseable en diseño.

Se han utilizado la parábola cúbica, la lemniscata y la clotoide en el diseño de curvas de transición, siendo ésta última, también conocida como espiral de Euler, la más aceptada en el diseño de carreteras.

Ésta longitud de transición es la longitud de la carretera en la cual se cambia de la sección con pendientes transversales normales que corresponde a una sección en tangente, a una sección con pendiente peraltada en un sólo sentido y su punto inferior hacia el interior de la curva. Igualmente, la curva de transición ofrece una distancia apropiada de transición para la construcción de los peraltes y sobreechornos exigidos por la curva circular.

Tabla X – Peralte recomendado, mínimas longitudes de transición y deltas mínimos.

VELOCIDAD G°	30			40			50			60			70			80			90			100			110			120			
	Db=27	1:125	Δ	Db=30	1:140	Δ	Db=33	1:155	Δ	Db=37	1:170	Δ	Db=40	1:185	Δ	Db=43	1:200	Δ	Db=46	1:215	Δ	Db=50	1:230	Δ	Db=53	1:245	Δ	Db=56	1:260	Δ	
1*	1,145.92	BN 17 0°51'		BN 23 1°09'		BN 28 1°24'		BN 34 1°42'		BN 40 1°57'		BN 46 2°15'		BN 52 2°30'		BN 58 2°48'		BN 64 3°06'		BN 70 3°24'		BN 76 3°42'		BN 82 3°59'		BN 88 4°17'		BN 94 4°35'		BN 100 4°53'	
2*	572.96	BN 17 1°42'		BN 23 2°18'		BN 28 2°48'		BN 34 3°18'		BN 40 3°48'		BN 46 4°18'		BN 52 4°48'		BN 58 5°18'		BN 64 5°48'		BN 70 6°18'		BN 76 6°48'		BN 82 7°18'		BN 88 7°48'		BN 94 8°18'		BN 100 8°48'	
3*	381.97	BN 17 2°33'		BN 23 3°27'		BN 28 4°12'		BN 34 4°57'		BN 40 5°42'		BN 46 6°27'		BN 52 7°12'		BN 58 7°57'		BN 64 8°42'		BN 70 9°27'		BN 76 10°12'		BN 82 10°57'		BN 88 11°42'		BN 94 12°27'		BN 100 13°12'	
4*	286.48	BN 17 3°24'		BN 23 4°36'		BN 28 5°36'		BN 34 6°36'		BN 40 7°36'		BN 46 8°36'		BN 52 9°36'		BN 58 10°36'		BN 64 11°36'		BN 70 12°36'		BN 76 13°36'		BN 82 14°36'		BN 88 15°36'		BN 94 16°36'		BN 100 17°36'	
5*	229.18	BN 17 4°15'		BN 23 5°45'		BN 28 7°00'		BN 34 8°15'		BN 40 9°30'		BN 46 10°45'		BN 52 12°00'		BN 58 13°15'		BN 64 14°30'		BN 70 15°45'		BN 76 17°00'		BN 82 18°15'		BN 88 19°30'		BN 94 20°45'		BN 100 22°00'	
6*	190.99	BN 17 5°06'		BN 23 6°54'		BN 28 8°36'		BN 34 10°18'		BN 40 12°00'		BN 46 13°42'		BN 52 15°24'		BN 58 17°06'		BN 64 18°48'		BN 70 20°30'		BN 76 22°12'		BN 82 23°54'		BN 88 25°36'		BN 94 27°18'		BN 100 29°00'	
7*	163.70	BN 17 5°57'		BN 23 8°24'		BN 28 10°00'		BN 34 11°36'		BN 40 13°12'		BN 46 14°48'		BN 52 16°24'		BN 58 18°06'		BN 64 19°42'		BN 70 21°30'		BN 76 23°12'		BN 82 24°54'		BN 88 26°36'		BN 94 28°18'		BN 100 30°00'	
8*	143.24	BN 17 6°48'		BN 23 10°00'		BN 28 12°00'		BN 34 14°00'		BN 40 18°00'		BN 46 22°00'		BN 52 26°00'		BN 58 30°00'		BN 64 34°00'		BN 70 38°00'		BN 76 42°00'		BN 82 46°00'		BN 88 50°00'		BN 94 54°00'		BN 100 58°00'	
9*	127.32	BN 17 7°39'		BN 23 12°36'		BN 28 16°36'		BN 34 20°36'		BN 40 24°36'		BN 46 28°36'		BN 52 32°36'		BN 58 36°36'		BN 64 40°36'		BN 70 44°36'		BN 76 48°36'		BN 82 52°36'		BN 88 56°36'		BN 94 60°36'		BN 100 64°36'	
10*	114.59	BN 17 8°30'		BN 23 15°30'		BN 28 20°30'		BN 34 25°30'		BN 40 30°30'		BN 46 35°30'		BN 52 40°30'		BN 58 45°30'		BN 64 50°30'		BN 70 55°30'		BN 76 60°30'		BN 82 65°30'		BN 88 70°30'		BN 94 75°30'		BN 100 80°30'	
11*	104.17	BN 17 9°21'		BN 23 18°21'		BN 28 24°21'		BN 34 30°21'		BN 40 36°21'		BN 46 42°21'		BN 52 48°21'		BN 58 54°21'		BN 64 60°21'		BN 70 66°21'		BN 76 72°21'		BN 82 78°21'		BN 88 84°21'		BN 94 90°21'		BN 100 96°21'	
12*	95.49	BN 17 11°24'		BN 23 22°24'		BN 28 29°24'		BN 34 36°24'		BN 40 43°24'		BN 46 50°24'		BN 52 57°24'		BN 58 64°24'		BN 64 71°24'		BN 70 78°24'		BN 76 85°24'		BN 82 92°24'		BN 88 99°24'		BN 94 106°24'		BN 100 113°24'	
13*	88.15	BN 17 13°00'		BN 23 26°00'		BN 28 34°00'		BN 34 42°00'		BN 40 50°00'		BN 46 58°00'		BN 52 66°00'		BN 58 74°00'		BN 64 82°00'		BN 70 90°00'		BN 76 98°00'		BN 82 106°00'		BN 88 114°00'		BN 94 122°00'		BN 100 130°00'	
14*	81.85	BN 17 15°24'		BN 23 30°24'		BN 28 39°24'		BN 34 48°24'		BN 40 57°24'		BN 46 66°24'		BN 52 75°24'		BN 58 84°24'		BN 64 93°24'		BN 70 102°24'		BN 76 111°24'		BN 82 120°24'		BN 88 129°24'		BN 94 138°24'		BN 100 147°24'	
15*	76.39	BN 17 17°15'		BN 23 34°15'		BN 28 44°15'		BN 34 54°15'		BN 40 64°15'		BN 46 74°15'		BN 52 84°15'		BN 58 94°15'		BN 64 104°15'		BN 70 114°15'		BN 76 124°15'		BN 82 134°15'		BN 88 144°15'		BN 94 154°15'		BN 100 164°15'	
16*	71.62	BN 17 20°00'		BN 23 39°00'		BN 28 49°00'		BN 34 59°00'		BN 40 69°00'		BN 46 79°00'		BN 52 89°00'		BN 58 99°00'		BN 64 109°00'		BN 70 119°00'		BN 76 129°00'		BN 82 139°00'		BN 88 149°00'		BN 94 159°00'		BN 100 169°00'	
17*	67.41	BN 17 22°06'		BN 23 42°06'		BN 28 52°06'		BN 34 62°06'		BN 40 72°06'		BN 46 82°06'		BN 52 92°06'		BN 58 102°06'		BN 64 112°06'		BN 70 122°06'		BN 76 132°06'		BN 82 142°06'		BN 88 152°06'		BN 94 162°06'		BN 100 172°06'	
18*	63.66	BN 17 24°18'		BN 23 45°18'		BN 28 55°18'		BN 34 65°18'		BN 40 75°18'		BN 46 85°18'		BN 52 95°18'		BN 58 105°18'		BN 64 115°18'		BN 70 125°18'		BN 76 135°18'		BN 82 145°18'		BN 88 155°18'		BN 94 165°18'		BN 100 175°18'	
19*	60.31	BN 17 27°33'		BN 23 48°33'		BN 28 58°33'		BN 34 68°33'		BN 40 78°33'		BN 46 88°33'		BN 52 98°33'		BN 58 108°33'		BN 64 118°33'		BN 70 128°33'		BN 76 138°33'		BN 82 148°33'		BN 88 158°33'		BN 94 168°33'		BN 100 178°33'	
20*	57.30	BN 17 30°00'		BN 23 51°00'		BN 28 61°00'		BN 34 71°00'		BN 40 81°00'		BN 46 91°00'		BN 52 101°00'		BN 58 111°00'		BN 64 121°00'		BN 70 131°00'		BN 76 141°00'		BN 82 151°00'		BN 88 161°00'		BN 94 171°00'		BN 100 181°00'	
21*	54.57	BN 17 33°36'		BN 23 54°36'		BN 28 64°36'		BN 34 74°36'		BN 40 84°36'		BN 46 94°36'		BN 52 104°36'		BN 58 114°36'		BN 64 124°36'		BN 70 134°36'		BN 76 144°36'		BN 82 154°36'		BN 88 164°36'		BN 94 174°36'		BN 100 184°36'	
22*	52.09	BN 17 37°12'		BN 23 57°12'		BN 28 67°12'		BN 34 77°12'		BN 40 87°12'		BN 46 97°12'		BN 52 107°12'		BN 58 117°12'		BN 64 127°12'		BN 70 137°12'		BN 76 147°12'		BN 82 157°12'		BN 88 167°12'		BN 94 177°12'		BN 100 187°12'	
23*	49.82	BN 17 40°06'		BN 23 60°06'		BN 28 70°06'		BN 34 80°06'		BN 40 90°06'		BN 46 100°06'		BN 52 110°06'		BN 58 120°06'		BN 64 130°06'		BN 70 140°06'		BN 76 150°06'		BN 82 160°06'		BN 88 170°06'		BN 94 180°06'		BN 100 190°06'	
24*	47.75	BN 17 42°00'		BN 23 62°00'		BN 28 72°00'		BN 34 82°00'		BN 40 92°00'		BN 46 102°00'		BN 52 112°00'		BN 58 122°00'		BN 64 132°00'		BN 70 142°00'		BN 76 152°00'		BN 82 162°00'		BN 88 172°00'		BN 94 182°00'		BN 100 192°00'	
25*	45.84	BN 17 45°00'		BN 23 65°00'		BN 28 75°00'		BN 34 85°00'		BN 40 95°00'		BN 46 105°00'		BN 52 115°00'		BN 58 125°00'		BN 64 135°00'		BN 70 145°00'		BN 76 155°00'		BN 82 165°00'		BN 88 175°00'		BN 94 185°00'		BN 100 195°00'	
26*	44.07	BN 17 48°06'		BN 23 68°06'		BN 28 78°06'		BN 34 88°06'		BN 40 98°06'		BN 46 108°06'		BN 52 118°06'		BN 58 128°06'		BN 64 138°06'		BN 70 148°06'		BN 76 158°06'		BN 82 168°06'		BN 88 178°06'		BN 94 188°06'		BN 100 198°06'	
27*	42.44	BN 17 51°00'		BN 23 71°00'		BN 28 81°00'		BN 34 91°00'		BN 40 101°00'		BN 46 111°00'		BN 52 121°00'		BN 58 131°00'		BN 64 141°00'		BN 70 151°00'		BN 76 161°00'		BN 82 171°00'		BN 88 181°00'		BN 94 191°00'		BN 100 201°00'	
28*	40.93	BN 17 54°12'		BN 23 74°12'		BN 28 84°12'		BN 34 94°12'		BN 40 104°12'		BN 46 114°12'		BN 52 124°12'		BN 58 134°12'		BN 64 144°12'		BN 70 154°12'		BN 76 164°12'		BN 82 174°12'		BN 88 184°12'		BN 94 194°12'		BN 100 204°12'	
29*	39.51	BN 17 57°33'		BN 23 77°33'		BN 28 87°33'		BN 34 97°33'		BN 40 107°33'		BN 46 117°33'		BN 52 127°33'		BN 58 137°33'		BN 64 147°33'		BN 70 157°33'		BN 76 167°33'		BN 82 177°33'		BN 88 187°33'		BN 94 197°33'		BN 100 207°33'	
30*	38.20	BN 17 60°00'		BN 23 80°00'		BN 28 90°00'		BN 34 100°00'		BN 40 110°00'		BN 46 120°00'		BN 52 130°00'		BN 58 140°00'		BN 64 150°00'		BN 70 160°00'		BN 76 170°00'		BN 82 180°00'		BN 88 190°00'		BN 94 200°00'		BN 100 210°00'	
31*	36.97	BN 17 63°33'		BN 23 83°33'		BN 28 93°33'		BN 34 103°33'		BN 40 113°33'		BN 46 123°33'		BN 52 133°33'		BN 58 143°33'		BN 64 153°33'		BN 70 163°33'		BN 76 173°33'		BN 82 183°33'		BN 88 193°33'		BN 94 203°33'		BN 100 213°33'	
32*	35.81	BN 17 67°00'		BN 23 87°00'		BN 28 97°00'		BN 34 107°00'		BN 40 117°00'		BN 46 127°00'		BN 52 137°00'		BN 58 147°00'		BN 64 157°00'		BN 70 167°00'		BN 76 177°00'		BN 82 187°00'		BN 88 197°00'		BN 94 207°00'		BN 100 217°00'	
33*	34.73	BN 17 70°18'		BN 23 90°18'		BN 28 100°18'		BN 34 110°18'		BN 40 120°18'		BN 46 130°18'		BN 52 140°18'		BN 58 150°18'		BN 64 160°18'		BN 70 170°18'		BN 76 180°18'		BN 82 190°18'		BN 88 200°18'		BN 94 210°18'		BN 100 220°18'	
34*	33.70	BN 17 73°24'		BN 23 93°24'		BN 28 103°24'		BN 34 113°24'		BN 40 123°24'		BN 46 133°24'		BN 52 143°24'		BN 58 153°24'		BN 64 163°24'		BN 70 173°24'		BN 76 183°24'		BN 82 193°24'		BN 88 203°24'		BN 94 213°24'		BN 100 223°24'	
35*	32.74	BN 17 76°48'		BN 23 96°48'		BN 28 106°4																									

Una observación muy valiosa y de índole práctica, es que el control para el cálculo de la transición no depende de la exactitud de la aplicación de la fórmula, sino de la longitud requerida para el desarrollo del peralte máximo entre la tangente y la curva circular.

**Tabla XI – Longitudes de desarrollo de la sobre-elevación en carreteras de dos carriles, en metros.**

Peralte	Longitud de Transición y Velocidades de Diseño Km/h							
	40	50	60	70	80	90	100	110
	<b>Carriles de 3.60 metros</b>							
0.02	25	30	35	40	50	55	60	65
0.04	25	30	35	40	50	55	60	65
0.06	35	35	40	40	50	55	60	65
0.08	45	45	50	55	60	60	65	70
0.10	55	55	60	65	75	75	80	85
0.12	65	65	75	80	90	90	95	105
	<b>Carriles de 3.00 metros</b>							
0.02	25	30	35	40	50	55	60	65
0.04	25	30	35	40	50	55	60	65
0.06	30	30	35	40	50	55	60	65
0.08	35	40	40	45	50	55	60	65
0.10	45	45	50	55	60	65	70	75
0.12	55	55	60	65	75	75	80	85

Fuente: AASHTO, A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 1994, p. 179

Las cifras de diseño incluidas en estos cuadros han sido calculadas para carriles de 3.60m, pero son recomendadas para su aplicación también en anchos menores. Estas cifras corresponden a carreteras de dos carriles. Cuando se trate de tres y cuatro carriles sin mediana, hay que multiplicar respectivamente las cifras por 1.2 y 1.5.

En curvas con radio circular de 1,500m o más, *no se necesitan transiciones*, se pasa directamente de la tangente a la alineación circular.

Tabla XII – Radios mínimos y grados máximos de curvas horizontales para distintas velocidades de diseño.

Velocidad de Diseño( Km/h)	Factor de Fricción Máxima	Paralte máximo 4%				Paralte máximo 6%			
		Radio (m)		Grado de Curva		Radio (m)		Grado de Curva	
		Calculado	Recomendado	Calculado	Recomendado	Calculado	Recomendado	Calculado	Recomendado
30	0.17	33.7	35	32° 44'	30.8	30	38° 12'		
40	0.17	60.0	60	19° 06'	54.8	55	20° 50'		
50	0.16	98.4	100	11° 28'	89.5	90	12° 44'		
60	0.15	149.2	150	7° 24'	135.0	135	8° 29'		
70	0.14	214.3	215	5° 20'	192.9	195	5° 53'		
80	0.14	280.0	280	4° 05'	252.0	250	4° 35'		
90	0.13	375.2	375	3° 04'	335.7	335	3° 25'		
100	0.12	492.1	490	2° 20'	437.4	435	2° 38'		
110	0.11	635.2	635	1° 48'	560.4	560	2° 03'		
120	0.09	872.2	870	1° 19'	755.9	775	1° 29'		

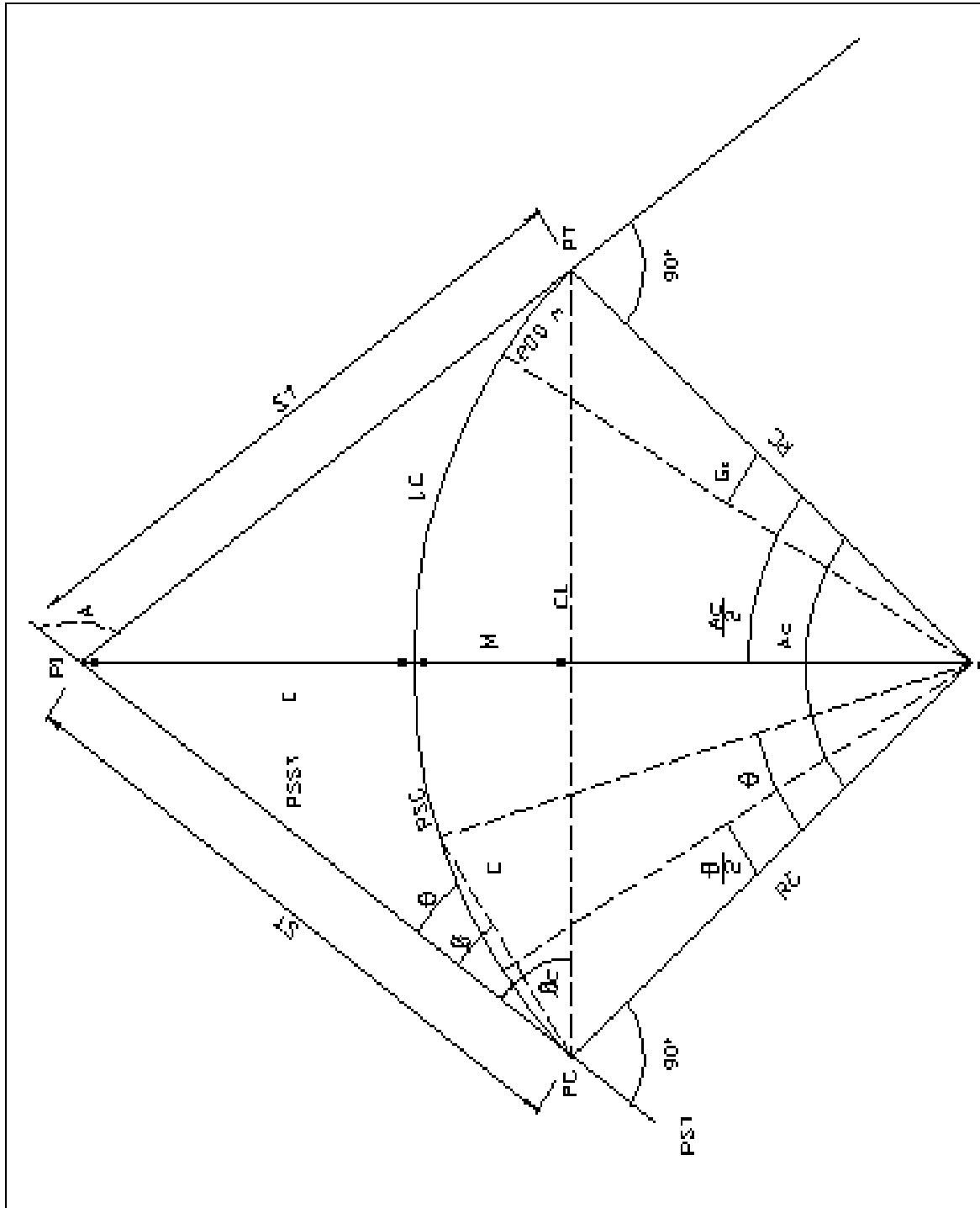
  

Velocidad de Diseño( Km/h)	Factor de Fricción Máxima	Paralte máximo 8%				Paralte máximo 10%			
		Radio (m)		Grado de Curva		Radio (m)		Grado de Curva	
		Calculado	Recomendado	Calculado	Recomendado	Calculado	Recomendado	Calculado	Recomendado
30	0.17	28.3	30	38° 12'	26.2	25	45° 50'		
40	0.17	50.4	50	22° 55'	46.7	45	25° 28'		
50	0.16	82.0	80	14° 19'	75.7	75	15° 17'		
60	0.15	123.2	120	9° 33'	113.4	115	9° 58'		
70	0.14	175.4	175	6° 33'	160.8	160	7° 10'		
80	0.14	229.1	230	4° 59'	210.0	210	5° 27'		
90	0.13	303.7	305	3° 46'	277.3	275	4° 10'		
100	0.12	393.7	395	2° 54'	357.9	360	3° 11'		
110	0.11	501.5	500	2° 17'	453.7	455	2° 31'		
120	0.09	667.0	665	1° 43'	596.8	595	1° 56'		

Fuente: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 1994, p. 156

Nota: Cifras redondeadas para radios y grados recomendados

Fig. 13 – Componentes de las curvas horizontales circulares.



Fuente: <http://www.construaprende.com>.

### 3.4.5 Simbología y cálculo para los elementos de la curva circular horizontal.

Tabla XIII – Simbología para los elementos de la curva circular.

<b>PI:</b> Punto de intersección de tangentes.	<b>∅:</b> Ángulo a una cuerda para un PSC.
<b>PC:</b> Punto de inicio de curva circular.	<b>∅c:</b> Ángulo de la cuerda larga, CL.
<b>PT:</b> Punto de tangencia o salida de curva circular.	<b>Gc:</b> Grado de curvatura.
<b>O:</b> Origen del radio de la curva circular.	<b>Rc:</b> Radio de la curva circular.
<b>A:</b> Ángulo de deflexión entre tangentes.	<b>St:</b> Subtangente.
<b>Ac:</b> Ángulo central del arco circular.	<b>E:</b> External.
<b>PSC:</b> Punto sobre la curva.	<b>M:</b> Ordenada media.
<b>Δ:</b> Ángulo interior para un PSC.	<b>CL:</b> Cuerda larga.
<b>Lc:</b> Longitud de curva circular.	<b>C:</b> Cuerda hacia un PSC.

Fuente: <http://www.construaprende.com>

Tabla XIV – Cálculo para los principales componentes de la curva circular.

$Rc = \frac{1,145.92}{Gc}$	$Lc = Ac \times r \times \frac{\pi}{180}$
$St = Rc \times tg\left(\frac{Ac}{2}\right)$	$C = 2 \times Rc \times sen\left(\frac{\theta}{2}\right)$
$E = Rc \times \left[ \sec\left(\frac{Ac}{2}\right) - 1 \right]$	$CL = 2 \times Rc \times sen\left(\frac{Ac}{2}\right)$
$PC = PI - St$	$PT = PC + Lc$

Fuente: <http://www.construaprende.com>

### **3.4.6 Sobreanchos en curvas.**

Los sobreanchos se diseñan siempre en las curvas horizontales de radios pequeños, combinados con carriles angostos, para facilitar las maniobras de los vehículos en forma eficiente, segura, cómoda y económica. Los sobreanchos son necesarios para acomodar la menor curva que describe el eje trasero de un vehículo pesado y para compensar la dificultad que enfrenta el conductor al tratar de ubicarse en el centro de su carril de circulación. En las carreteras modernas con carriles de 3.6m y buen alineamiento, la necesidad de sobreanchos en curvas se ha disminuido a pesar de las velocidades. Para establecer el sobreancho en curvas deben tomarse en cuenta las siguientes consideraciones:

- a) En curvas circulares sin transición, el sobreancho total debe aplicarse en la parte interior de la calzada. El borde externo y la línea central deben mantenerse como arcos concéntricos.
  
- b) Cuando existen curvas de transición, el sobreancho se divide igualmente entre el borde interno y externo de la curva, aunque también se puede aplicar totalmente en la parte interna de la calzada. (En ambos casos, la marca de la línea central debe colocarse entre los bordes de la sección de la carretera ensanchada).
  
- c) El ancho extra debe efectuarse sobre la longitud total de transición y siempre debe desarrollarse en proporción uniforme, nunca abruptamente, para asegurarse que todo el ancho de los carriles modificados sean efectivamente utilizados. Los cambios en el ancho normalmente pueden efectuarse en longitudes comprendidas entre 30 y 60m.



Una de las expresiones empíricas más utilizadas para calcular el sobreancho en las curvas horizontales es la siguiente:

$$S = n \times \left[ R - \sqrt{R^2 - L^2} \right] + 0.1 \times \frac{V}{\sqrt{R}}; \text{ en donde...}$$

S: Valor sobreancho, en m,

n: Número de carriles de la superficie de rodamiento,

L: Longitud entre el eje frontal y posterior del vehículo de diseño, en m,  
normalmente L=8,

R: Radio de curvatura, en m, y

V: Velocidad de diseño de la carretera, en Km/hr.

En la definición del sobreancho en curvas se debe tomar en consideración lo siguiente:

- ✓ Sobreanchos menores de 0.60m no son necesarios en las curvas.
- ✓ En carreteras de tres carriles los sobreanchos mostrados en el cuadro siguiente deben afectarse por un factor de 1.5 y en carreteras de cuatro carriles multiplicar las cifras del cuadro por 2.
- ✓ Los sobreanchos calculados por ésta fórmula arrojan valores mayores que los de las tablas de la AASHTO, mostrados en la tabla 3.09, por lo que deben tomarse como provistos de un margen de seguridad.

### 3.4.7 Criterios aplicables al diseño del alineamiento horizontal.

- a) En primer lugar, se debe procurar que el alineamiento horizontal sea tan directo como lo permita la topografía. Un trazado que se acomoda al terreno natural es preferible a otro que con largas tangentes acorta las distancias y mejora las visibilidades, pero eleva excesivamente el movimiento de tierra con profundos cortes y elevados terraplenes. Los

efectos de la construcción de una carretera deben minimizarse, preservando las pendientes.

Tabla XV – Sobreebanco para carreteras de dos carriles.

Ancho Calzada	7.2 metros							6.6 metros							6.0 metros							
Radio de Curva (m)	Velocidad de diseño (Km/h)							Velocidad de diseño (Km/h)							Velocidad de diseño (Km/h)							
	50	60	70	80	90	100	110	50	60	70	80	90	100	110	50	60	70	80	90	100	110	
1500	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.6	
1000	0	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.5	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.6	
750	0	0	0.1	0.1	0.1	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8	
500	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	1.0	1.0	1.1	1.1	
400	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5		0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9	0.9	1.0	1.0	1.1	1.1			
300	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5			0.6	0.7	0.7	0.8	0.8			0.9	1.0	1.0	1.1				
250	0.4	0.5	0.5	0.6				0.7	0.8	0.8	0.9				1.0	1.1	1.1	1.2				
200	0.6	0.7	0.8					0.9	1.0	1.1					1.2	1.3	1.3	1.4				
150	0.7	0.8						1.0	1.1						1.3	1.4						
140	0.7	0.8						1.0	1.1						1.3	1.4						
130	0.7	0.8						1.0	1.1						1.3	1.4						
120	0.7	0.8						1.0	1.1						1.3	1.4						
110	0.7							1.0							1.3							
100	0.8							1.1							1.4							
90	0.8							1.1							1.4							
80	1							1.3							1.6							
70	1.1							1.4							1.7							

Fuente: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 1994, p. 217.

Fuente secundaria: Manual centroamericano para el diseño geométrico de carreteras, SIECA.

- b) En segundo lugar, debe evitarse el uso de curvas con los radios mínimos de diseño, excepto en las condiciones más críticas que plantee el desarrollo del proyecto. El ángulo central de cada curva debe ser tan reducido y los radios tan amplios como lo permita el terreno. Las curvas cerradas no deben proyectarse al extremo de tangentes de gran longitud, evitándose así cambios abruptos.

- c) A menos que las condiciones topográficas lo impongan, debe evitarse el uso de curvas en el mismo sentido con una tangente corta entre ellas. Fuera de su mala apariencia, los conductores no esperan que se presenten curvas cortas y sucesivas en el mismo sentido. Es preferible la introducción de una curva compuesta o de curvas de transición espiral.

### **3.5 Diseño geométrico del alineamiento vertical.**

#### **3.5.1 Tipos de terrenos.**

El alineamiento vertical de una carretera está ligado y depende de la configuración topográfica del terreno donde se localice la obra. Se compone de líneas rectas y curvas parabólicas en el plano vertical; identificándose las pendientes ascendentes con signo positivo (+), y las descendentes con signo negativo (-), expresadas en porcentajes. Aparte de consideraciones estéticas, costos de construcción, comodidad y economía en los costos de operación de los vehículos, deben tomarse en cuenta los siguientes factores:

- ✓ Visibilidad y accidentalidad,
- ✓ Composición del tránsito,
- ✓ Relación entre la velocidad y sus engranajes de cambio en la operación del vehículo.

Por consideraciones económicas se aceptan pendientes mayores a las ideales. Ver tabla XVI.

**Tabla XVI – Clasificación de los terrenos en función de las pendientes naturales.**

<b>Tipo de Terreno</b>	<b>Rangos de Pendientes (%)</b>
Llano o plano	$G \leq 5$
Ondulado	$5 > G \leq 15$
Montañoso	$15 > G \geq 30$

G= Pendiente

Fuente: Manual centroamericano para el diseño geométrico de carreteras, SIECA.

La AASHTO identifica las tres categorías generales de terreno del cuadro anterior, en la forma que se describe seguidamente...

a) **Terreno plano** es aquel en el cual se dan condiciones topográficas favorables para los levantamientos de campo, el diseño horizontal y vertical, la construcción y reconstrucción de las obras viales, facilitándose el mantenimiento y la segura, cómoda y económica operación de los vehículos. Las distancias de visibilidad en el alineamiento horizontal y vertical pueden lograrse sin mayores dificultades.

b) **El terreno ondulado** presenta frecuentes pendientes de subida y bajada y, ocasionalmente, ofrece algunas dificultades y restricciones en el alineamiento horizontal y vertical de las carreteras.

c) El último tipo se identifica como **terreno montañoso**, el cual ofrece dificultades y altos costos en la construcción por la frecuencia de cortes y rellenos, que se requieren para lograr alineamientos horizontales y verticales aceptables. Las pendientes longitudinales y transversales son frecuentes en éste tipo de terreno.

Las pendientes de las carreteras ya construidas tienen una influencia muy relevante en la operación de los vehículos que circulan por ellas. En

los automóviles livianos las pendientes de subida hasta del 5 por ciento, no tienen influencia apreciable en su velocidad. En pendientes de subida mayores, la velocidad decrece progresivamente, y en las de bajada estos vehículos livianos sufren un relativo aumento. Ver tabla XVII.

En vehículos pesados, la influencia de las pendientes es bastante significativa por el atraso que produce a otros vehículos, especialmente en carreteras con altos o significativos volúmenes de tránsito, ya que la velocidad de estos vehículos se reduce tanto en subida, como en bajada.

**Tabla XVII – Pendientes máximas y mínimas por tipo de carretera.**

Clasificación Funcional	Tipo de Terreno	Velocidad de Diseño (Km/h) y Pendiente Máxima (%)						Pendiente Mínima (%)
		32	48	64	80	96	112	
AR Autopistas Regionales	Plano	-	-	-	4	3	3	0.5 con predominio del drenaje
	Ondulado	-	-	-	5	4	4	
	Montañoso	-	-	-	6	6	5	
TS Troncales Suburbanas	Plano	-	8	7	6	5	-	0.5 con predominio del drenaje
	Ondulado	-	9	8	7	6	-	
	Montañoso	-	11	10	9	8	-	
TR Troncales Rurales	Plano	-	-	5	4	3	3	0.5 con predominio del drenaje
	Ondulado	-	-	6	5	4	4	
	Montañoso	-	-	8	7	6	5	
CS Colectoras Suburbanas	Plano	9	9	9	7	6	5	0.3 – 0.5
	Ondulado	12	11	10	8	7	6	
	Montañoso	14	12	12	10	9	7	
CR Colectoras Rurales	Plano	-	7	7	6	5	-	0.5
	Ondulado	11	10	9	8	6	-	
	Montañoso	16	14	12	10	-	-	

Fuente: ITE, *Geometric Design and Operational Considerations for Trucks*, 1992.

### 3.5.2 Curvas verticales.

En términos generales existen curvas verticales en crestas o convexas y en columpio o cóncavas.

Las primeras se diseñan de acuerdo a la más amplia distancia de visibilidad para la velocidad de diseño y las otras conforme a la distancia que alcanzan a iluminar los faros del vehículo de diseño. De aplicación sencilla, las curvas verticales deben contribuir a la estética del trazado, ser

confortables en su operación y facilitar las operaciones de drenaje de la carretera.

La configuración parabólica de éstas curvas es la más frecuentemente utilizada.

**3.5.2.1 Diseño de curvas verticales convexas:** Existen dos condiciones para diseñar éste tipo de curvas: La primera considera que la longitud de la curva (L) es mayor que la distancia de visibilidad (S) y la segunda se presenta cuando L es menor que S. En el primer caso se aplica la siguiente expresión para calcular la longitud mínima (L) de curva vertical:

$$L = \frac{G \times S^2}{200} \times (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2; \text{ en donde...}$$

*G*: Diferencia algebraica de pendientes (%),

*S*: Distancia de visibilidad, en m,

*h<sub>1</sub>*: Altura del ojo del conductor, en m y

*h<sub>2</sub>*: Altura del objeto, en m.

Reemplazando en ésta fórmula la altura del ojo del conductor  $h_1=1.07\text{m}$  y del objeto  $h_2=0.15\text{m}$ , la ecuación para diseño es la siguiente:

$$L = \frac{G \times S^2}{404};$$

Cuando L es menor que S, la expresión matemática es la siguiente:

$$L = 2 \times S - \frac{404}{G};$$

Estos términos tienen igual significado que los anteriores. Se abrevian las operaciones al tomar en cuenta que la distancia de visibilidad es constante para una velocidad de diseño dada; entonces, L puede ser

relacionada con la diferencia algebraica de pendientes por medio de un factor denominado K, que en sí identifica la curva. La longitud de la curva vertical utilizando el factor K es:

$$L = K \times G;$$

**3.5.2.2 Diseño de curvas verticales cóncavas:** Se han identificado los siguientes cuatro criterios para usarse en el cálculo de las longitudes de curvas en columpios.

- ✓ El primero se basa en la distancia iluminada por los faros delanteros del vehículo,
- ✓ El segundo toma en cuenta básicamente una sensación subjetiva de comodidad en la conducción, cuando el vehículo cambia de dirección en el alineamiento vertical,
- ✓ El tercero considera requerimientos de drenaje, y
- ✓ El último se basa en consideraciones estéticas.

Se presentan dos casos a considerar en el **primer criterio**, dependiendo si la distancia iluminada por los faros del vehículo es mayor o no que la longitud de la curva. Cuando la longitud de curva, L, es mayor que la distancia de visibilidad iluminada, S, se utiliza la fórmula que sigue:

$$L = \frac{G \times S^2}{120 + 3.5 \times S}; \text{ en donde...}$$

L: Longitud mínima de curva vertical en columpio, en m,

S: Distancia de visibilidad iluminada por los faros del vehículo, en m y

G: Diferencia algebraica entre pendientes de la curva, en %.

Cuando L es menor que S la fórmula utilizada es la siguiente:

$$L = 2 \times S - \frac{120 + 3.5 \times S}{G};$$

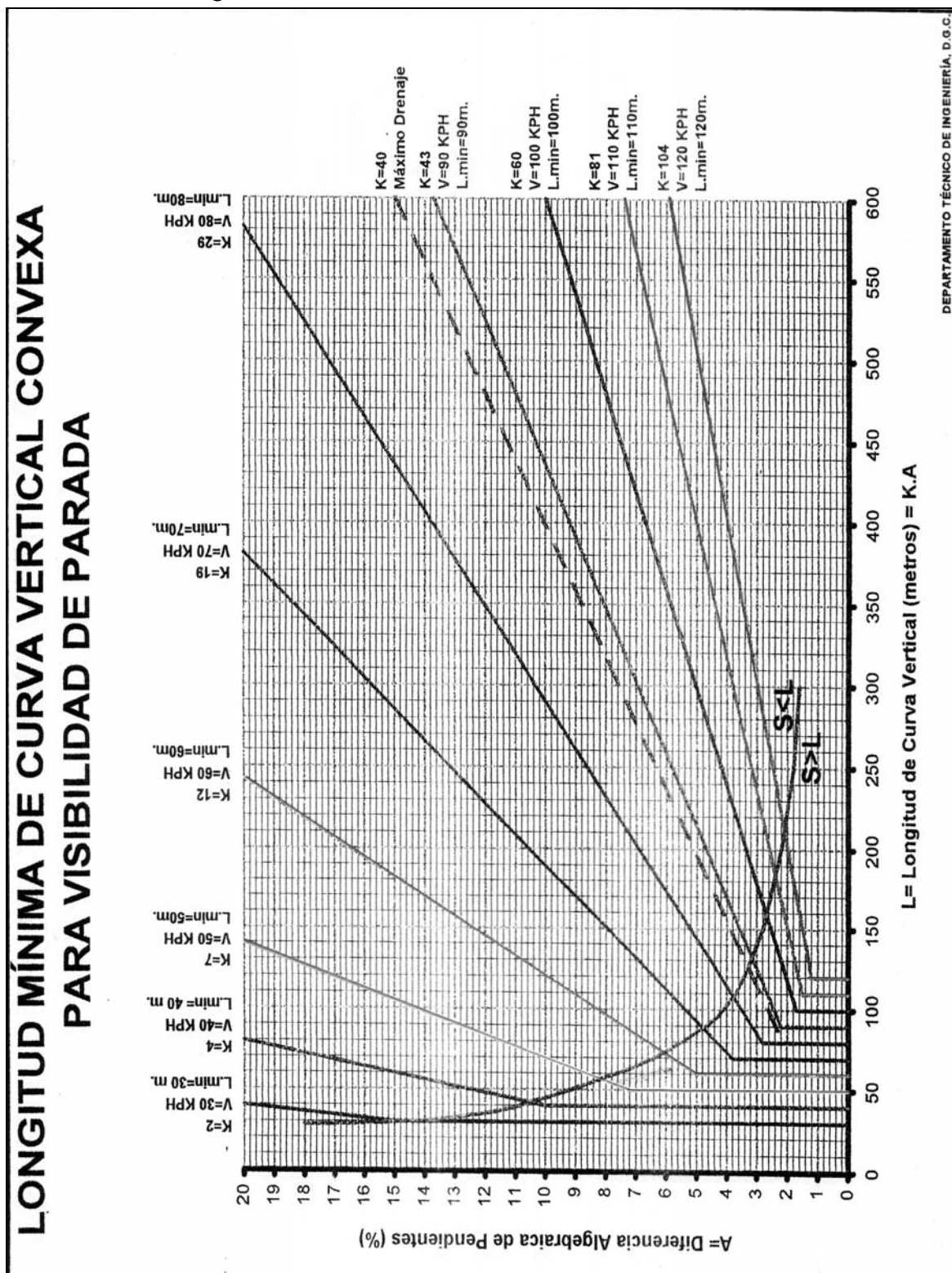
Estos términos tienen igual significado que los anteriores.

Se considera una altura de los faros de 0.6 metros y un ángulo de 1° de divergencia de los rayos de luz. En el desarrollo de las fórmulas de éste criterio y para su aplicación en diseño, se recomienda utilizar los rangos de distancias de visibilidad de parada, que sean aproximadamente iguales a la distancia iluminada por los faros de los vehículos cuando viajan a la velocidad de diseño. Por lo que luego de sustituir los valores constantes, de nuevo resulta una expresión de la forma...

$$L = K \times G.$$

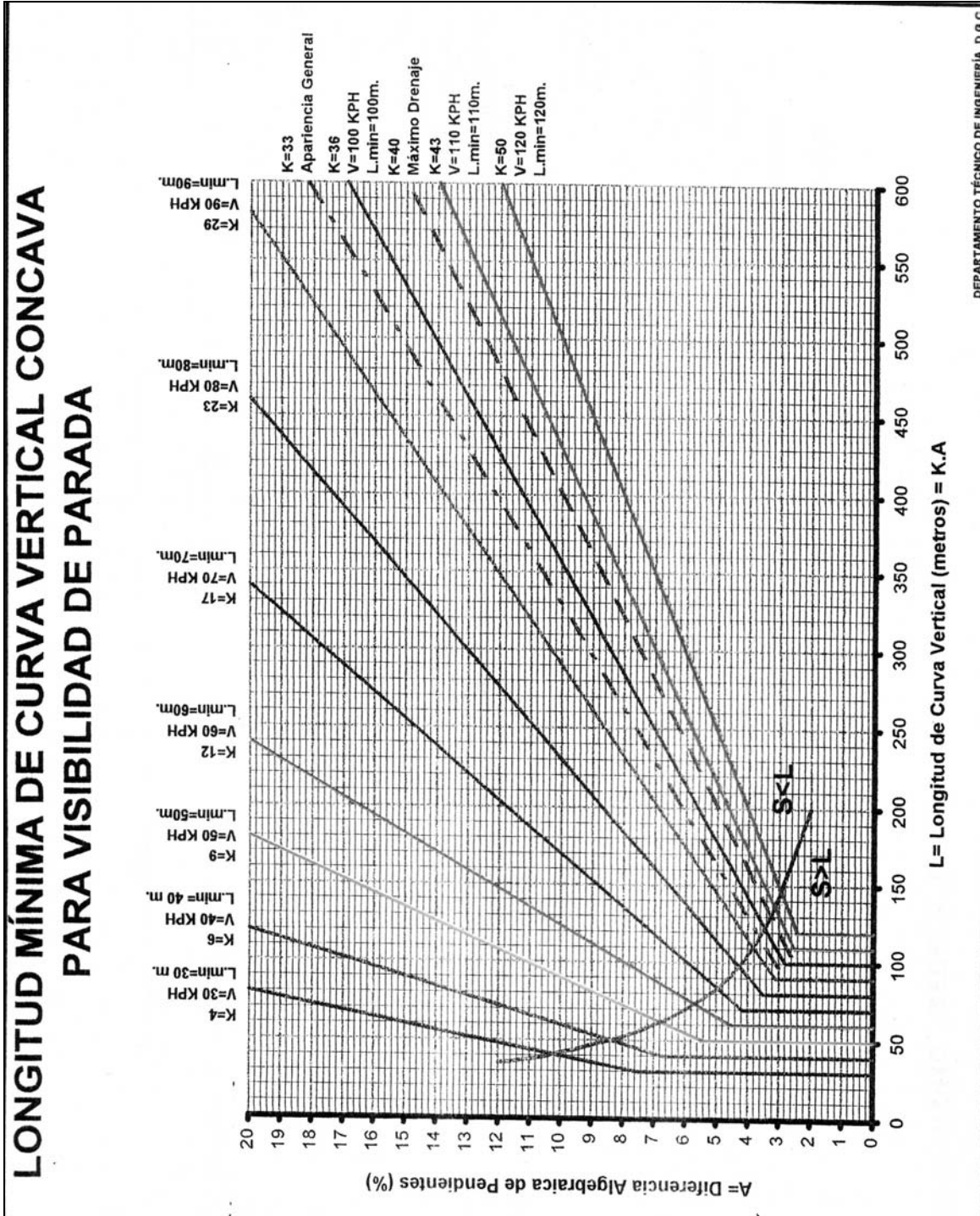


Fig. 14 – Controles de diseño de curvas convexas.



Fuente: Departamento técnico de Ingeniería, DGC.

Fig. 15 – Controles de diseño de curvas cóncavas.



Fuente: Departamento técnico de Ingeniería, DGC.

Tabla XVIII – Valores de K

Velocidad, Km/hr	Cóncava	Convexa
10	1	0
20	2	1
25	3	1.5
30	4	2
40	6	4
50	9	7
60	12	12
70	17	19
80	23	29
90	29	43
100	39	60

Fuente: Departamento técnico de Ingeniería, DGC.

### 3.5.3 Criterios para el diseño del alineamiento vertical.

La AASHTO presenta algunos consejos valiosos en torno al diseño del alineamiento vertical, de donde cabe entresacar algunos relevantes para la práctica vial centroamericana:

- ✓ Las curvas verticales en columpio deben evitarse en secciones en corte, a menos que existan facilidades para las soluciones de drenaje.
- ✓ En pendientes positivas largas, puede ser preferible colocar las pendientes mayores al pie de la pendiente y aliviarlas hacia el final o, alternativamente, intercalar pendientes suaves por cortas distancias para facilitar el ascenso. Los alineamientos ondulados, que involucran longitudes sustanciales de pendientes que generan mucho momentum, pueden ser indeseables en el caso de vehículos pesados, sobre todo

cuando una pendiente positiva adelante no contribuye a la moderación de dicha velocidad.

### 3.6 Diseño estructural del pavimento.

Es necesario analizar fundamentalmente la problemática que representa el comportamiento de los pavimentos debido al tránsito, ya que éste se incrementa conforme el desarrollo tecnológico y crecimiento demográfico, lo que trae a su vez mayor cantidad de repetición de ejes y cargas.

Es necesario tener conocimiento sobre el tránsito, medio ambiente y condiciones de la subrasante para la cantidad de vehículos que circula en las carreteras, adicionalmente la calidad de materiales y especificaciones o normas de construcción son requeridas para mejorar el rendimiento de ellas por muchos períodos de tiempo.

El método o técnica más utilizada en Centroamérica para el diseño de estructuras de pavimento con capas finales de rodadura tanto asfálticas como de concreto hidráulico, siempre se refiere a la AASHTO; en éste método, la información requerida en las ecuaciones de diseño incluye: la carga por eje, la configuración del mismo, así como el número de aplicaciones o paso de éste eje sobre la superficie de pavimento. Los pavimentos se diseñan en función del efecto del daño que produce el paso de un eje con una carga y para que resistan un determinado número de cargas aplicadas durante su vida útil.

**Tabla XIX – Clasificación funcional de las carreteras regionales, volúmenes de tránsito y número de carriles.**

TPDA	> 20,000		20,000 – 10,000		10,000–3,000		3,000 - 500	
	C	S	C	S	C	S	C	S
AR – Autopistas Regionales	6 – 8	Pav.	4 – 6	Pav.				
TS – Troncales Suburbanas	4	Pav.	2 - 4	Pav.	2	Pav.		
TR – Troncales Rurales	4	Pav.	2 – 4	Pav.	2	Pav.		
CS – Colectoras Suburbanas			2 - 4	Pav.	2	Pav.	2	Pav.
CR – Colectoras Rurales					2	Pav.	2	Pav.

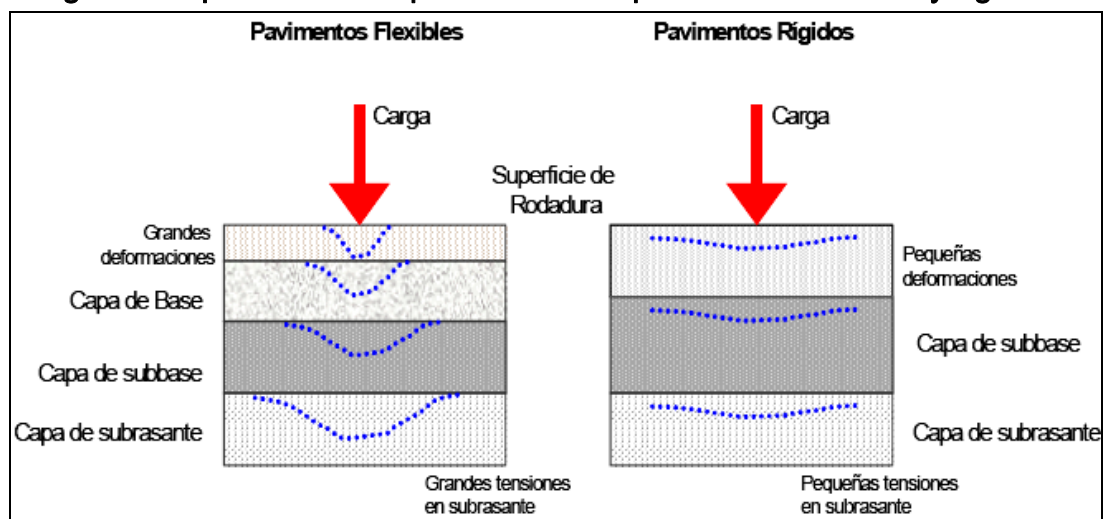
Fuente: Manual centroamericano para el diseño de pavimentos, SIECA.

...donde: TPDA: Tránsito promedio diario anual; C: Número de carriles; S: Superficie de rodadura y Pav.: pavimentadas.

### 3.6.1 Elementos que integran los pavimentos.

Los pavimentos se dividen en flexibles y rígidos. El comportamiento de los mismos al aplicarles cargas es muy diferente, tal como puede verse en la figura siguiente,

Fig. 16- Esquema del comportamiento de pavimentos flexibles y rígidos.



Fuente: Manual centroamericano para el diseño de pavimentos, SIECA.

En un pavimento rígido, debido a la consistencia de la superficie de rodadura, se produce una buena distribución de las cargas, dando como resultado tensiones muy bajas en la subrasante. Lo contrario sucede en un pavimento flexible, la superficie de rodadura al tener menos rigidez, se deforma más y se producen mayores tensiones en la subrasante.

**3.6.1.1 Subrasante.** Es la capa de terreno de una carretera que soporta la estructura del pavimento y que se extiende hasta una profundidad que no afecte la carga de diseño que corresponde al

tránsito previsto. Ésta capa puede estar formada en corte o relleno y una vez compactada debe tener las secciones transversales y pendientes especificadas en los planos finales de diseño. El espesor de pavimento dependerá en gran parte de la calidad de la subrasante, por lo que ésta debe cumplir con los requisitos de resistencia, incompresibilidad e inmunidad a la expansión y contracción por efectos de la humedad.

**3.6.1.2 Sub-base.** Es la capa de pavimento que tiene como función distribuir y transmitir las cargas ocasionadas por el tránsito, a la subrasante, y es la capa sobre la cual se coloca la capa de rodadura. Las sub-bases especificadas son las siguientes:

- ✓ **Sub-base granular:** Material constituido por grava de buena calidad, mezclada con material de relleno o bien por una combinación de piedra o grava, con arena y suelo, en su estado natural. Su estabilidad dependerá de la graduación de las partículas, su forma, densidad relativa, fricción interna y cohesión, y todas estas propiedades dependerán de la proporción de finos con respecto al agregado grueso.
- ✓ **Sub-base estabilizada:** Es la capa formada por la combinación de piedra o grava trituradas, combinadas con material de relleno, mezclados con materiales o productos estabilizadores como cal, cemento, asfalto u otro; preparada y construida aplicando técnicas de estabilización, para mejorar sus condiciones de estabilidad y resistencia.

**3.6.1.3 Superficie de rodadura de concreto hidráulico.** Es la capa superior de la estructura de pavimento, construida con concreto hidráulico, por lo que debido a su rigidez y alto módulo de elasticidad,

basan su capacidad portante en la losa, más que en la capacidad de la subrasante, dado que no usan capa de base. En general, se puede indicar que el concreto hidráulico distribuye mejor las cargas hacia el suelo. Los pavimentos rígidos pueden dividirse en tres tipos:

- ✓ **Concreto hidráulico simple.** No contiene armadura en la losa y el espaciamiento entre juntas es pequeño (entre 2.50 a 4.50m). Las juntas pueden o no tener dispositivos de transferencia de cargas (dovelas).
- ✓ **Concreto hidráulico reforzado.** Tienen espaciamientos mayores entre juntas (entre 6.10 y 36.60m) y llevan armadura distribuida en la losa a efecto de controlar y mantener cerradas las fisuras de contracción.
- ✓ **Concreto hidráulico continuamente reforzado.** Tiene armadura continua longitudinal y no tiene juntas transversales, excepto juntas de construcción. La armadura transversal es opcional en éste caso. Éstos pavimentos tienen más armadura que las juntas armadas y el objetivo de ésta armadura es mantener un espaciamiento adecuado entre fisuras y que éstas permanezcan cerradas.

### 3.6.2 Selección de las variables de diseño.

Las propiedades de la subrasante, características de los materiales, importancia del tránsito, factores de medio ambiente y otro tipo de variables, son las que intervienen en el diseño de estructuras de pavimento. Muchas veces, para caminos y calles de menor importancia, la información no está disponible o actualizada, por lo que es necesario recabarla.

Algunos valores de diseño están especificados y pueden variar con el tipo de carretera ó nivel de tránsito. Para tránsito pesado se han seleccionado valores más conservadores con resultado de espesores

mayores. Por ejemplo, un valor de esfuerzo de diseño para la subrasante, puede resultar bajo para un tránsito pesado pero aceptable para un tráfico liviano.

### **3.6.3 Criterios de diseño.**

En los procedimientos de diseño, la estructura de un pavimento es considerada como un sistema de capas múltiples y los materiales de cada una de las capas se caracterizan por su propio Módulo de Elasticidad.

La evaluación de tránsito está dada por la repetición de una carga en un eje simple equivalente de 80KN (18,000Lb) aplicada al pavimento en un conjunto de dos juegos de llantas dobles. Éste procedimiento puede ser usado para el diseño de pavimentos compuestos de varias combinaciones de superficies, bases y sub-bases. La subrasante que es la capa más baja de la estructura de pavimento, se asume infinita en el sentido vertical y horizontal; las otras capas de espesor finito son asumidas finitas en dirección horizontal. En la superficie de contacto entre las capas se asume que existe una completa continuidad o adherencia.

Las cargas colocadas sobre la superficie de un pavimento producen dos esfuerzos que son críticos para propósitos de diseño; un esfuerzo horizontal de tensión  $\epsilon_t$  (terminología del Instituto del Asfalto) en la parte de abajo de la capa de superficie y el esfuerzo de compresión vertical  $\epsilon_c$  actuando sobre la superficie de la subrasante. Si el esfuerzo de tensión horizontal es excesivo, pueden resultar grietas en la capa de rodadura. Si la fuerza vertical de compresión es excesiva, resultarán deformaciones permanentes en la estructura de pavimento debido a la sobre carga en la subrasante. Una excesiva deformación de las capas solamente debe ser controlada por los requisitos de las propiedades de los materiales.



### 3.6.4 Características de los Materiales.

Todos los materiales están caracterizados por el *Módulo de Elasticidad*; llamado *Módulo Dinámico* en mezclas asfálticas y *Módulo de Resiliencia* para los materiales granulares sin tratar y los materiales de los suelos. Cuando se utiliza cemento como material estabilizador es conveniente saber la cantidad máxima a utilizar, ya que una cantidad alta de cemento, hace que el conjunto obtenga valores altos de resistencia mecánica, pero también contracciones fuertes que se traducen en agrietamientos. Al utilizar otro tipo de estabilizadores: cal, bitúmenes, puzolanas, químicos, etc. también es necesario efectuar pruebas de laboratorio para analizar cuales son las limitantes de uso de cada producto.

Otras ventajas que se obtienen con los productos estabilizadores, es que puede utilizar más de uno a la vez, lo que redundaría en beneficio del material estabilizado, por el hecho de obtener en la mezcla mejores características de comportamiento, como son: resistencia en poco tiempo, impermeabilidad, reducción en los límites de consistencia, grietas muy pequeñas, etc. Por ejemplo, un material de base que es necesario colocar en un área húmeda o con lluvias frecuentes, se puede utilizar una parte de cemento y otra de cal, lo que permitirá obtener una mezcla con una resistencia inicial adecuada pero sin agrietarse por efecto del cemento, pero la cal le seguirá incrementando su resistencia, aparte de las otras ventajas ya mencionadas. También es factible el uso de cemento con emulsión asfáltica para mejorar las condiciones de una base, mejorando su capacidad soporte y por ende su módulo de resiliencia; además de obtener un material que soporta en mejor forma los efectos de la humedad.

En general se puede concluir, que cuando no se cuenta con suelos adecuados para la estructura del pavimento (subrasantes, sub-bases y bases) que cumplan con las exigencias ó especificaciones, y que económicamente sea posible recurrir al uso de productos estabilizadores,

es conveniente que los materiales de cada una de las capas ya estabilizadas estén acorde con la capacidad de esfuerzo de las otras capas contiguas, ya que no es conveniente que una capa sea rígida y una superior flexible o que una capa impermeable quede bajo una permeable.

### 3.6.5 Cálculo de cargas equivalentes de ejes estándar, ESAL.

Las diferentes cargas que actúan sobre un pavimento producen a su vez diferentes tensiones y deformaciones en el mismo; los diferentes espesores de pavimentos y diferentes materiales, responden en igual forma: *de diferente manera a igual carga*. Como éstas cargas producen diferentes tensiones y deformaciones en el pavimento, las fallas tendrán que ser distintas. Para tomar en cuenta ésta diferencia, el volumen de tránsito se transforma en un número equivalente de ejes de una determinada carga, que a su vez producirá el mismo daño que toda la composición de tránsito mixto de los vehículos. Ésta carga uniformizada según AASHO es de 80KN (18KIP) y la conversión se hace a través de los Factores Equivalentes de Carga **LEF** (*Load Equivalent Factor*). El proceso de convertir un tránsito mixto en un número de **ESAL** de 80KN fue desarrollado por el *Road Test* de AASHTO. Para éste ensayo se cargaron pavimentos similares con diferentes configuraciones de ejes y cargas, para analizar el daño que produjeron.

El *índice de serviciabilidad* de un pavimento, es el valor que indica el grado de confort que tiene la superficie para el desplazamiento normal de un vehículo; a un pavimento en perfecto estado se le asigna un valor de serviciabilidad inicial que depende del diseño del pavimento y de la calidad de la construcción de 5 (Perfecto); y un pavimento en franco deterioro o con un índice de serviciabilidad final que depende de la categoría del camino y al criterio del proyectista, con un valor de 0 (Pésimas condiciones). A la diferencia entre estos dos valores se le conoce como la pérdida de

serviciabilidad (PSI) o sea el índice de serviciabilidad presente (*Present Serviciability Index*).

Los valores recomendados, según el tipo de pavimento son los siguientes:

Índice de serviciabilidad inicial:

**Po = 4.5**, para pavimentos rígidos y

**Po = 4.2**, para pavimentos flexibles

Índice de serviciabilidad final:

**Pt = 2.5 o más**, para caminos muy importantes y

**Pt = 2.0**, para caminos de tránsito menor

El índice de serviciabilidad de un pavimento, es un valor de apreciación con el cual se valúan las condiciones de deterioro o confort de la superficie de rodadura de un pavimento; actualmente para medir éste deterioro se utiliza el IRI, Índice Internacional de Rugosidad (International Roughness Index).

Por lo anteriormente expuesto, el Factor Equivalente de Carga (**LEF**), es el valor numérico que expresa la relación entre la pérdida de serviciabilidad causada por la carga *ESAL* y la producida por un eje estándar en el mismo tramo.

$$LEF = \frac{ESAL}{\#80KN}; \text{ en donde...}$$

- ✓ **ESAL**: No. de ESAL de 80KN que producen una pérdida de serviciabilidad y
- ✓ **#80KN**: No. de ejes de 80KN que producen la misma pérdida de serviciabilidad.

Como cada tipo de pavimento responde de manera diferente a una carga; los LEF también cambian en función del tipo de pavimento. Por lo que, los pavimentos rígidos y flexibles tienen diferentes LEF.

### 3.6.6 Cálculo de ejes estándar equivalentes de diseño, ESAL.

Para la determinación y cálculo de los ejes equivalentes se requiere el uso de factores de camión para cada clase particular de vehículo, principalmente para camiones pesados. Esto debe hacerse usando los pesos límites de cada vehículo conforme se establece en la tabla 3-20.

Tabla XX – Límite de peso por eje.

Tipo de Vehículo	Tipo de eje del tractor				Tipo de eje del semiremolque			Total Toneladas
	Eje simple direccional	Eje de tracción			Eje de arrastre			
		Eje Simple	Doble rueda	Triple rueda	Eje Simple	Doble rueda	Triple rueda	
C2	5.00	10.00					15.00	
C3	5.00		18.50				21.50	
C4	5.00			20.00			25.00	
T2-S1	5.00	9.00			9.00		23.00	
T2-S2	5.00	9.00				18.00	30.00	
T2-S3	5.00	9.00				20.00	34.00	
T3-S1	5.00		18.00		9.00		30.00	
T3-S2	5.00		18.00			18.00	37.00	
T3-S3	5.00		18.00			20.00	41.00	
Otros	---	---	---	---	---	---	Variable	

Fuente: Manual centroamericano para el diseño de pavimentos, SIECA.

Seguidamente en la tabla 3.21, se tiene el porcentaje de la tasa anual de crecimiento vehicular, que se usará y el período de diseño de la estructura de pavimento, lo que nos da el factor de crecimiento de tránsito. Hay que tener presente que el porcentaje de la tasa anual de crecimiento de vehículos, se puede cambiar utilizando diferentes porcentajes, dependiendo del tipo de vehículo que se considere que va a aumentar o disminuir más que los otros.

Tabla XXI - Factores de crecimiento de tránsito, según tasa de crecimiento poblacional (g).

Período de análisis (años)	Factor sin Crecimiento	Tasa de crecimiento anual ( g ) (en %)						
		2	4	5	6	7	8	10
1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
2	2.0	2.02	2.04	2.05	2.06	2.07	2.08	2.10
3	3.0	3.06	3.12	3.15	3.18	3.21	3.25	3.31
4	4.0	4.12	4.25	4.31	4.37	4.44	4.51	4.64
5	5.0	5.20	5.42	5.53	5.64	5.75	5.87	6.11
6	6.0	6.31	6.63	6.80	6.98	7.15	7.34	7.72
7	7.0	7.43	7.90	8.14	8.39	8.65	8.92	9.49
8	8.0	8.58	9.21	9.55	9.90	10.26	10.64	11.44
9	9.0	9.75	10.58	11.03	11.49	11.98	12.49	13.58
10	10.0	10.95	12.01	12.58	13.18	13.82	14.49	15.94
11	11.0	12.17	13.49	14.21	14.97	15.78	16.65	18.53
12	12.0	13.41	15.03	15.92	16.87	17.89	18.98	21.38
13	13.0	14.68	16.63	17.71	18.88	20.14	21.50	24.52
14	14.0	15.97	18.29	19.16	21.01	22.55	24.21	27.97
15	15.0	17.29	20.02	21.58	23.28	25.13	27.15	31.77
16	16.0	18.64	21.82	23.66	25.67	27.89	30.32	35.95
17	17.0	20.01	23.70	25.84	28.21	30.84	33.75	40.55
18	18.0	21.41	25.65	28.13	30.91	34.00	37.45	45.60
19	19.0	22.84	27.67	30.54	33.76	37.38	41.45	51.16
20	20.0	24.30	29.78	33.06	36.79	41.00	45.76	57.28
25	25.0	32.03	41.65	47.73	54.86	63.25	73.11	98.35
30	30.0	40.57	56.08	66.44	79.06	94.46	113.28	164.49
35	35.0	49.99	73.65	90.32	111.43	138.24	172.32	271.02

Fuente: Manual centroamericano para el diseño de pavimentos, SIECA.

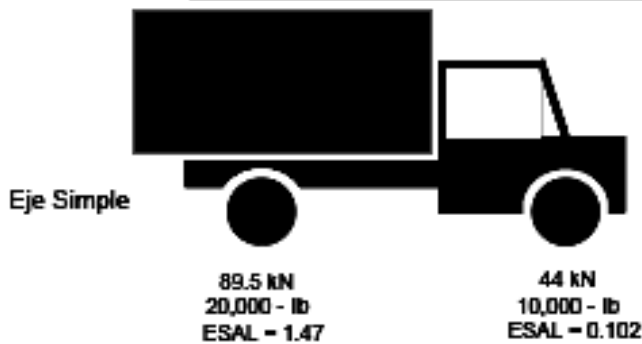
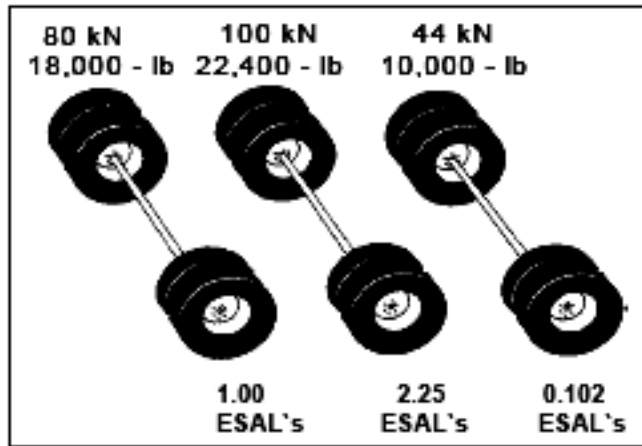
A continuación se usa la hoja de trabajo HT-01 para el cálculo de ESAL, en la cual se describen los valores particulares del factor de camión en función del factor de carga equivalente.

**HOJA DE TRABAJO HT-01 (AASHTO)**  
**EJEMPLO PARA CÁLCULO DEL FACTOR DE CARGA EQUIVALENTE.**

**Fig. 17 – Factores de equivalencia de carga.**

SN=4, Índice de Serviciabilidad final = 2.5

Ejes simples.



<b>Peso Bruto</b>
133.5 kN
30,000 - lb
<b>Factor de Camión</b>
1.572

**Eje Tandem**



<b>Peso Bruto</b>
239.3 kN
74,000 - lb
<b>Factor de Camión</b>
1.876

Fuente: Manual centroamericano para el diseño de pavimentos, SIECA.

Tabla XXII – Factores de equivalencia de cargas (LEF) resumidos. Para pavimentos rígidos.

Cargas por eje		Factores equivalentes de carga		
kN	Lbs	Eje simple	Eje tándem	Eje tridem
4.45	1,000	0.00002		
8.9	2,000	0.00018		
17.8	4,000	0.00209	0.0003	
26.7	6,000	0.01043	0.001	0.0003
35.6	8,000	0.0343	0.003	0.001
44.5	10,000	0.0877	0.007	0.002
53.4	12,000	0.189	0.014	0.003
62.3	14,000	0.360	0.027	0.006
71.2	16,000	0.623	0.047	0.011
80.0	18,000	1.000	0.077	0.017
89.0	20,000	1.51	0.121	0.027
97.9	22,000	2.18	0.180	0.040
106.8	24,000	3.03	0.260	0.057
115.6	26,000	4.09	0.364	0.080
124.5	28,000	5.39	0.495	0.109
133.4	30,000	6.97	0.658	0.145
142.3	32,000	8.88	0.857	0.191
151.2	34,000	11.18	1.095	0.246
160.1	36,000	13.93	1.38	0.313
169.0	38,000	17.20	1.70	0.393
178.0	40,000	21.08	2.08	0.487
187.0	42,000	25.64	2.51	0.597
195.7	44,000	31.00	3.00	0.723
204.5	46,000	37.24	3.55	0.868
213.5	48,000	44.50	4.17	1.033
222.4	50,000	52.88	4.86	1.22
231.3	52,000		5.63	1.43
240.2	54,000		6.47	1.66
249.0	56,000		7.41	1.91
258.0	58,000		8.45	2.20
267.0	60,000		9.59	2.51
275.8	62,000		10.84	2.85
284.5	64,000		12.22	3.22
293.5	66,000		13.73	3.62
302.5	68,000		15.38	4.05
311.5	70,000		17.19	4.52
320.0	72,000		19.16	5.03
329.0	74,000		21.32	5.57
338.0	76,000		23.66	6.15
347.0	78,000		26.22	6.78
356.0	80,000		29.0	7.45
364.7	82,000		32.0	8.2
373.6	84,000		35.3	8.9
382.5	86,000		38.8	9.8
391.4	88,000		42.6	10.6

Fuente: Manual centroamericano para el diseño de pavimentos, SIECA.

### 3.6.7 Propiedades físico-mecánicas de los suelos para carreteras.

Estas propiedades de los suelos son las variables más importantes que se deben considerar al momento de diseñar una estructura de pavimento. Las propiedades físicas se mantienen invariables aunque se sometan a tratamientos tales como homogenización, compactación, etc.; sin embargo, ambas propiedades cambian cuando se realizan en ellos procedimientos de estabilización, a través de mezclas con otro materiales (cemento, cal, puzolanas, etc.) o mezclas con químicos.

Para conocer las propiedades de los suelos en un proyecto, es necesario tomar muestras en todo el desarrollo del mismo (calicatas), posteriormente en el laboratorio se determinarán sus propiedades:

- ✓ Granulometría,
- ✓ Límites de Atterberg (líquido e índice plástico),
- ✓ Valor Soporte (CBR),
- ✓ Densidad (Proctor) y
- ✓ Humedad contenida.

Con los datos obtenidos, se elabora un perfil estratigráfico en el cual se detallan los distintos tipos de suelos y su profundidad.

### 3.6.8 Clasificación de suelos.

La clasificación de suelos es el indicador de las propiedades físico-mecánicas que poseen. La clasificación que mejor describe y determina las propiedades de un suelo a usarse como subrasante es la de AASHTO M-145; las primeras variables son: la granulometría y la plasticidad. En términos generales, un suelo conforme a su granulometría se clasifica así:

- ✓ **Grava:** de un tamaño menor a 76.2mm (3") hasta tamiz No. 10 (2mm),
- ✓ **Arena Gruesa:** de un tamaño menor a 2mm hasta tamiz No. 40 (0.425mm),



- ✓ **Arena Fina:** de un tamaño menor a 0.425mm hasta tamiz No. 200 (0.075mm) y
- ✓ **Limos y Arcillas:** tamaños menores de 0.075mm.

Conforme AASHTO, un suelo fino es el que tiene más del 35% que pasa el tamiz No. 200 (0.075mm), los cuales se clasifican como A-4, A-5, A-6 o A-7. Dos suelos considerados finos que tengan granulometrías similares, pueden llegar a tener propiedades mecánicas diferentes dependiendo de su plasticidad, cualidad que se analiza en el suelo que pasa el tamiz No. 40; dichas propiedades de plasticidad, se analizan conforme las pruebas de límites de Atterberg, las cuales son:

- ✓ **Límite Líquido o LL:** Es el estado de un suelo, cuando pasa de un estado plástico a un estado semilíquido.
- ✓ **Límite Plástico o LP:** Es la frontera entre el estado plástico y el semisólido de un suelo.
- ✓ **Índice Plástico o IP:** es la diferencia entre LL y LP, que nos indica la plasticidad del material.

*De lo descrito anteriormente, se concluye que para los suelos gruesos, la propiedad más importante es la granulometría y para los suelos finos son los límites de Atterberg.*

La relación entre la humedad y la densidad de un suelo compactado, es una situación muy importante que se requiere al analizar la mecánica del mismo. Para el efecto se desarrollaron los ensayos Proctor, AASHTO T-99 (estándar) y T-180 (modificado) y son los que permiten determinar la humedad óptima en la cual el suelo llega a su densidad máxima y a su vez alcanza sus mejores propiedades mecánicas. El valor de ésta humedad óptima depende directamente de la cantidad de energía de compactación a

la que se ha sometido el suelo; al ser mayor la energía de compactación, la humedad óptima será menor y la densidad seca será mayor.

### 3.6.9 Ensayos de suelos.

Existen diferentes métodos para medir la resistencia de los suelos de la subrasante que han sido sometidos a cargas dinámicas de tránsito, entre los cuales están los siguientes:

- ✓ Relación de Valor Soporte de California (CBR: California Bearing Ratio),
- ✓ Valor de resistencia Hveem (Valor R),
- ✓ Ensayo de plato de carga (Valor k),
- ✓ Penetración dinámica con cono,
- ✓ Módulo de resiliencia (Mr) para pavimentos flexibles y
- ✓ Módulo de reacción (Mk) para pavimentos rígidos

**3.6.9.1 Valor soporte California (CBR, AASHTO T-193).** En éste ensayo se mide la resistencia que opone un suelo a la penetración de un pistón de 3plg<sup>2</sup> de área en una muestra de suelo de 6plg (15cm) de diámetro y 5plg (12.5cm) de altura, a una velocidad de 12.7mm/min (0.5plg/min). La fuerza necesaria para que el pistón penetre dentro del suelo se mide a determinados intervalos de penetración; éstas fuerzas medidas, se comparan con las que se necesitan para producir iguales penetraciones en una muestra que sirve de patrón, la cual es piedra partida bien graduada; la definición del CBR es:

$$\text{CBR} = \frac{\text{(Fuerza necesaria p/una penetración de 1" en un suelo)}}{\text{(Fuerza necesaria p/una penetración de 1" en la muestra patrón)}}$$

Relación que nos da un valor que se indica en porcentaje, el cual puede ser muy variable dependiendo de los suelos analizados; 2 a 4%

en arcillas plásticas hasta un 70% o más en materiales granulares de buena calidad.

Todos los suelos, tanto finos como gruesos o sus mezclas, se compactan a diferentes contenidos de humedad tanto arriba como bajo de su humedad óptima. Las muestras elaboradas bajo éstos procedimientos, se sumergen en agua durante un período mínimo de 96 horas, antes de proceder a su ensayo, con el objeto de simular las condiciones de saturación a las cuales van a estar sometidos los suelos como la subrasante de una carretera, y en ésta forma, obtener los CBR de los suelos bajo las condiciones más críticas. En el ensayo y en inmersión, se colocan pesos sobre las muestras, con el objeto de simular las cargas tanto vehiculares, como de la estructura del pavimento. El método del CBR para diseño de pavimentos, fue uno de los primeros en utilizarse y se basa principalmente en que a menor valor de CBR de la subrasante es necesario colocar mayores espesores en la estructura de pavimento para protegerlo de la frecuencia de las cargas de tránsito.

**3.6.9.2 Valor de resistencia HVEEM (valor R, AASHTO T-246).** Éste ensayo consiste en preparar una muestra cilíndrica de 4" de diámetro y 2.5" de alto envuelta en una membrana y sometida a carga vertical sobre la sección completa de la muestra a una presión dada; con esto se mide la presión horizontal resultante, que es la que sirve para calcular el valor R, para lo cual se utiliza la siguiente fórmula:

$$R = 100 - \frac{100}{\frac{2.5 \times (P_x - 1)}{D - Ph} + 1}; \text{ en donde...}$$

✓  $P_x$  = Carga vertical aplicada,

- ✓ Ph= Presión horizontal en el manómetro y
- ✓ D= Desplazamiento horizontal de la muestra, registrado por el número de vueltas de la manivela para pasar de Ph a 7Kg/cm<sup>2</sup> (100Lb/plg<sup>2</sup>).

**3.6.9.3 Ensayo de plato de carga (Valor k, AASHTO T-222).** Éste ensayo consiste en cargar un plato y medir la presión necesaria para producir una determinada deformación en el suelo. *k* es el cociente de dividir la presión (*p*) aplicada entre de la deformación ( $\Delta$ ) producida en el suelo, resultando la ecuación...

$$k = \frac{P}{\Delta};$$

El valor *k* está en función del plato de carga, ya que los de diámetro igual a 91.4cm (36") se usan para pavimentos rígidos y los de 30.5cm o 45.7cm (12" a 18") para pavimentos flexibles.

**3.6.9.4 Penetración dinámica PR con cono.** Éste ensayo sirve para medir en el terreno, la resistencia que tienen los materiales, tanto de estructuras de pavimento como de subrasantes. La operación consiste en hacer penetrar el cono dentro del pavimento o suelo, haciendo que una carga concentrada que funciona como martillo se deje caer repetidamente y se registre la penetración obtenida en cada caída en mm/golpe, denominado cada valor como tasa de penetración dinámica, *PR* (Penetration Rate).

El *CBR* está relacionado con *PR* en la siguiente forma:

$$CBR = \frac{405.3}{PR^{1.259}}; \text{ para conos a } 60^\circ \text{ y}$$

$$CBR = 2.2 - 0.71 \times \log(DPC)^{1.3}; \text{ para conos a } 30^\circ,$$

en donde...

- ✓ PR: tasa de penetración en mm/golpe y
- ✓ DCP: tasa de penetración en plg/golpe.

**3.6.9.5 Módulo de resiliencia (Mr, AASHTO T-294).** Este ensayo se desarrolló con el objeto de analizar la propiedad que tienen los materiales de comportarse bajo cargas dinámicas como las ruedas de tránsito. Una rueda al moverse transmite fuerzas dinámicas a todas las capas de pavimento incluyendo a la subrasante y como reacción a éstas fuerzas, cada capa del pavimento se deforma; el resultado de dichas fuerzas de reacción varía desde un valor muy bajo hasta su máximo, en un período muy breve, ya que está en función de la velocidad y peso del vehículo.

Este ensayo no es destructivo de la muestra, ya que éstas no fallan durante el análisis. Dichas muestras son de forma cilíndrica y se colocan en una cámara triaxial, la cual permite ejercer innumerables presiones de confinamiento a la muestra. Con un dispositivo especial es posible aplicar cargas pulsantes de diferente magnitud y duración. En dicho ensayo se registra la deformación sufrida por la muestra.

Como no es fácil tener el equipo adecuado para llevar a cabo éste tipo de pruebas, se han establecido factores de correlación entre el Módulo de resiliencia (Mr) y la prueba del CBR (AASHTO T-193); los valores obtenidos son bastante aproximados; sin embargo, para obtener resultados más precisos es necesario llevar a cabo la prueba del Módulo de Resiliencia (Mr) de la subrasante.

Para calcular el módulo de resiliencia a partir del CBR se han desarrollado las siguientes fórmulas empíricas:

$$MR = 10.3 \times CBR; \text{ en MPa y}$$

$$MR = 1,500 \times CBR; \text{ en PSI.}$$

**3.6.9.6 Módulo de reacción (Mk, k) para pavimentos rígidos.** El módulo de reacción de la subrasante, sirve para el diseño de pavimentos rígidos. Es conveniente asumir combinaciones de los diferentes datos necesarios para el cálculo del módulo de reacción de la subrasante, los cuales deberán ser considerados como sigue:

- ✓ Tipo de sub-bases con resistencias y valores del módulo,
- ✓ Espesor de la sub-base,
- ✓ Pérdida de soporte (LS),
- ✓ Profundidad a la fundación rígida y
- ✓ Espesor estimado de la losa.

Los valores que se obtienen en éstos ensayos de laboratorio, han sido correlacionados con los ensayos de CBR, según se muestra en la siguiente figura 18.

**Tabla XXIII – Normas AASHTO y ASTM para ensayos de suelos.**

Prueba	Uso	AASHTO	ASTM
Límite líquido	Clasificación	T-89	D-4318
Límite plástico	Clasificación	T-90	D-4318
Granulometría	Clasificación	T-88	D-422
Compactación	Relación humedad – densidad	T-180	D-1557
CBR	Básico para diseño de espesores	T-193	D-1883
Valor R	Básico para diseño de espesores	T-190	D-2844
Equivalente de arena	Clasificación	T-176	C-293-79
Pasa tamiz No. 200	Clasificación	T-11 y T-27	C-117-89 y C-136-84
Módulo de resiliencia (Mr)	básico para diseño de espesores	Se utiliza el método MS-1 del propio Instituto de Asfalto.	

Fuente: Manual centroamericano para el diseño de pavimentos, SIECA.



### 3.6.10 Diseño de espesores para pavimentos rígidos por el método AASHTO.

Para el diseño de espesores de pavimentos rígidos, son reconocidos internacionalmente dos tipos de métodos, los cuales son los siguientes:

- ✓ Método de AASHTO y
- ✓ Método del PCA.

Para el método AASHTO la fórmula de diseño es:

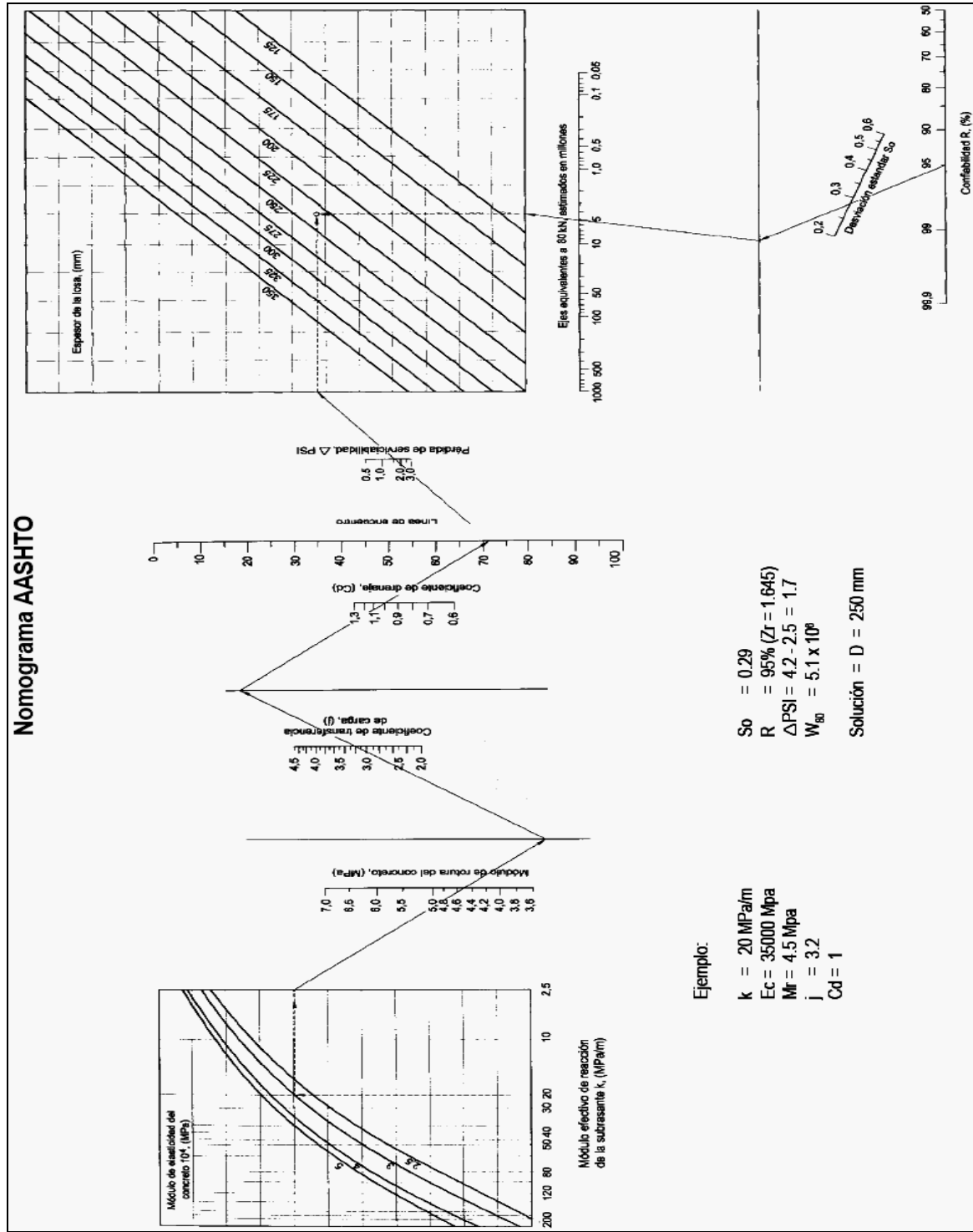
$$\text{Log}_{10} W_{82} = Z_r S_o + 7.35 \text{Log}_{10} (D + 25.4) - 10.39 + \frac{\text{Log}_{10} \left( \frac{\Delta \text{PSI}}{4.5-1.5} \right)}{1 + \frac{1.25 \times 10^{19}}{(D + 25.4)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32P_t) \times \text{Log}_{10} \left( \frac{M_r C_{dx} (0.09D^{0.75} - 1.132)}{1.51 \times J \left( 0.09D^{0.75} - \frac{7.38}{(E_c/k)^{0.25}} \right)} \right)$$

En donde...

- ✓  $W_{82}$ : Número previsto de ejes equivalentes de 8.2 toneladas métricas, a lo largo del período de diseño,
- ✓  $Z_r$ : Desviación normal estándar,
- ✓  $S_o$ : Error estándar combinado en la predicción del tránsito y en la variación del comportamiento esperado del pavimento,
- ✓  $D$ : Espesor de pavimento de concreto, en milímetros,
- ✓  $\Delta \text{PSI}$  = Diferencia entre los índices de servicio inicial y final,
- ✓  $P_t$ : Índice de serviciabilidad o servicio final,
- ✓  $M_r$ : Resistencia media del concreto (en MPa) a flexotracción a los 28 días (método de carga en los tercios de la luz),
- ✓  $C_d$ : Coeficiente de drenaje,
- ✓  $J$ : Coeficiente de transmisión de cargas en las juntas,
- ✓  $E_c$ : Módulo de elasticidad del concreto, en MPa y
- ✓  $k$  = Módulo de reacción, dado en MPa/m de la superficie (base, sub-base o subrasante) en la que se apoya el pavimento de concreto.



Fig. 19 – Nomograma para la resolución de la ecuación para diseño de espesores de pavimentos rígidos de la AASHTO.



Fuente: Manual centroamericano para el diseño de pavimentos, SIECA.

Para facilitar la utilización y resolución de la ecuación, se utiliza un nomograma, representado en la Fig. 19. Conjuntamente a continuación se definen algunas variables que aún no se han descrito.

**3.6.10.1 Desviación normal estándar,  $Z_r$ :** Ésta variable define que, para un conjunto de variables (espesor de las capas, características de los materiales, condiciones de drenaje, tránsito, etc.) que intervienen en un pavimento; sigue una ley de distribución normal con una media  $Mt$  y una desviación típica  $So$  y por medio de la tabla XXIV con dicha distribución se obtiene el valor de  $Z_r$  en función de un nivel de confiabilidad  $R$ , de forma que exista una posibilidad de que  $1-R /100$  del tránsito realmente soportado sea inferior a  $Z_r \times So$ .

**3.6.10.2 Error estándar combinado,  $So$ :** Como lo indicado anteriormente, éste valor representa la desviación estándar conjunta, e incluye la desviación estándar de la ley de predicción del tránsito en el período de diseño con la desviación estándar de la ley de predicción del comportamiento del pavimento, es decir, el número de ejes que puede soportar un pavimento hasta que su índice de serviciabilidad descienda por debajo de un determinado  $P_t$ .

Se recomienda utilizar para  $So$  valores comprendidos dentro de los intervalos siguientes:

- ✓ Para pavimentos rígidos 0.30 - 0.40,
- ✓ En construcción nueva 0.35 y
- ✓ En sobre-capas 0.40.

El producto de  $Z_r \times So$  efectivamente es un factor de seguridad que se aplica a la estimación del tránsito de una carretera; ésta misma recomienda que el factor de seguridad esté en función del tránsito que circula sobre el carril de diseño.

Tabla XXIV – Valores de  $Z_r$  en función de la confiabilidad  $R$ .

Confiabilidad $R$ , %	Desviación normal estándar $Z_r$
50	-0.000
60	-0.253
70	-0.524
75	-0.674
80	-0.841
85	-1.037
90	-1.282
91	-1.340
92	-1.405
93	-1.476
94	-1.555
95	-1.645
96	-1.751
97	-1.881
98	-2.054
99	-2.327
99.9	-3.090
99.99	-3.750

Fuente: Guía para Diseño de Estructuras de pavimentos, AASHTO, 1,993

Los niveles de confiabilidad  $R$  carretera pueden ser:

Tabla XXV – Niveles de confiabilidad  $R$ , en función del tipo de  
carretera.

Tipo de carretera	Niveles de confiabilidad $R$	
	Suburbanas	Rurales
<b>Autopista Regional</b>	<b>85 – 99.9</b>	<b>80 – 99.9</b>
<b>Troncales</b>	<b>80 - 99</b>	<b>75 – 95</b>
<b>Colectoras</b>	<b>80 - 95</b>	<b>50 - 80</b>

Fuente: Manual Centroamericano de Normas Para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, SIECA, 2,001

Tabla XXVI - Confiabilidad y factores de seguridad recomendados.

Tránsito esperado en el carril de diseño en millones de ejes equivalentes	Confiabilidad R	Z <sub>r</sub>	S <sub>o</sub>	Factor de Seguridad F.S.
<5	50	0.000	0.35	1.00
5 – 15	50 – 60	0.000-0.253	0.35	1.00 – 1.23
15 – 30	60 – 70	0.253 – 0.524	0.35	1.23 – 1.83
30 – 50	70 – 75	0.524 – 0.674	0.34	1.51 – 1.70
50 – 70	75 – 80	0.674 – 0.841	0.32	1.64 – 1.86
70 – 90	80 – 85	0.841 – 1.037	0.30	1.79 – 2.05

Fuente: Diseño, Construcción y Mantenimiento de pavimentos de concreto, Londoño, Cipriano, 2,001.

**3.6.10.3 Variación del índice de serviciabilidad, ΔPSI:** La diferencia entre el índice de serviciabilidad inicial y el índice de serviciabilidad final es  $\Delta PSI = P_o - P_t$ . El procedimiento se describe a detalle en el inciso 3.7.5.

**3.6.10.4 Resistencia a la flexotracción del concreto (módulo de rotura, Mr o fr):** Este valor se utiliza en el diseño, bajo el criterio de la fatiga que sufren los materiales por el paso de las cargas impuestas por los vehículos pesados, que tienden a producir agrietamiento en el pavimento. La deformación que se produce en el pavimento de concreto por efecto de las cargas, hace que las losas estén sometidas a esfuerzos de tensión y compresión.

La relación existente entre las deformaciones debido a las cargas y los esfuerzos de compresión es muy baja, empero, la relación entre la tensión y la flexión son mayores, situación que afecta el espesor de la losa.

Para éste parámetro el *Código de Diseño de Hormigón Estructural (ACI 318-99)* del American Concrete Institute, define el módulo de ruptura así...

$$f_r = 0.7\sqrt{f'_c};$$

...en MPa y dentro de los límites  $0.10f'_c \leq f_r \leq 0.15f'_c$

Algunos valores calculados para concretos de densidad normal ( $\sim 2.4\text{T/m}^3$ ) se presentan en la siguiente tabla,

**Tabla XXVII – Módulo de rotura para concretos de densidad normal.**

Resistencia a la compresión simple, $f'_c$			Módulo de rotura, $M_r$ o $f_r$ ( $0.10f'_c \leq f_r \leq 0.15f'_c$ )			
PSI	Kg/cm <sup>2</sup>	MPa	PSI	Kg/cm <sup>2</sup>	MPa	Corregido
3,000.00	211.36	20.73	450.00	31.70	3.19	3.11
3,250.00	228.98	22.46	480.01	33.82	3.32	3.32
3,500.00	246.59	24.19	498.13	35.10	3.44	3.44
3,750.00	264.21	25.92	515.61	36.33	3.56	3.56
4,000.00	281.82	27.65	532.52	37.52	3.68	3.68
4,250.00	299.43	29.37	548.91	38.67	3.79	3.79
4,500.00	317.05	31.10	564.83	39.79	3.90	3.90
4,750.00	334.66	32.83	580.30	40.89	4.01	4.01
5,000.00	352.27	34.56	595.38	41.95	4.12	4.12
5,250.00	369.89	36.29	610.08	42.98	4.22	4.22
5,500.00	387.50	38.01	624.44	43.99	4.32	4.32
5,750.00	405.11	39.74	638.47	44.98	4.41	4.41
6,000.00	422.73	41.47	652.21	45.95	4.51	4.51

Fuente: Calculado a partir de las fórmulas del ACI 318-99.

**3.6.10.5 Coeficiente de drenaje  $C_d$ :** El valor del coeficiente de drenaje está dado por dos variables que son:

- ✓ La calidad del drenaje, que viene determinado por el tiempo que tarda el agua infiltrada en ser evacuada de la estructura del pavimento y...

- ✓ Exposición a la saturación, que es el porcentaje de tiempo durante el año en que un pavimento está expuesto a niveles de humedad que se aproximan a la saturación. Éste porcentaje depende de la precipitación media anual y de las condiciones de drenaje.

**Tabla XXVIII – Calidad del drenaje.**

<b>Calidad del drenaje</b>	<b>Tiempo en que tarda el agua en ser evacuada</b>
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Mediano	1 semana
Malo	1 mes
Muy malo	el agua no evacua

Fuente: Guía Para Diseño de Estructuras de Pavimentos, AASHTO, 1,993

Combinando todas las variables que intervienen para llegar a determinar el coeficiente de drenaje  $C_d$ , se obtienen los valores de la siguiente tabla:

**Tabla XXIX – Valores de coeficiente de drenaje  $C_d$ .**

<b>Calidad del Drenaje</b>	<b>Porcentaje del tiempo en que la estructura del pavimento esta expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación</b>			
	<b>Menos del 1%</b>	<b>1% - 5%</b>	<b>5% - 25%</b>	<b>más del 25%</b>
Excelente	1.25 – 1.20	1.20 – 1.15	1.15 – 1.10	1.10
Bueno	1.20 – 1.15	1.15 – 1.10	1.10 – 1.00	1.00
Mediano	1.15 – 1.10	1.10 – 1.00	1.00 – 0.90	0.90
Malo	1.10 – 1.00	1.00 – 0.90	0.90 – 0.80	0.80
Muy malo	1.00 – 0.90	0.90 – 0.80	0.80 – 0.70	0.70

Fuente: Guía Para Diseño de Estructuras de Pavimentos, AASHTO, 1,993

**3.6.10.6 Coeficiente de transmisión de carga, J:** Éste factor se utiliza para tomar en cuenta la capacidad del pavimento de concreto de transmitir las cargas a través de los extremos de las losas (juntas o grietas), su valor depende de varios factores, tales como: Tipo de

pavimento (en masa, reforzando en las juntas, de armadura continua, etc.); el tipo de borde u hombro (de asfalto o de concreto unida al pavimento principal).

**Tabla XXX – Valores de coeficiente de transmisión de carga, J.**

	hombro			
	Elemento de transmisión de carga			
	Concreto asfáltico		Concreto hidráulico	
Tipo de pavimento	si	no	si	no
No reforzado o reforzado con juntas	3.2	3.8 – 4.4	2.5 – 3.1	3.6 – 4.2
Reforzado continuo	2.9 – 3.2	-----	2.3 – 2.9	-----

Fuente: Guía Para Diseño de Estructuras de Pavimentos, AASHTO, 1,993

Se considera un pavimento rígido confinado, cuando los extremos de las losas tienen elementos de la misma rigidez que ella, para el caso un hombro de concreto confina la parte principal de la carretera y el coeficiente de transmisión de carga tiende a ser menor, por lo tanto la losa también será de menor espesor. Un hombro de asfalto tiene menor rigidez que la parte principal de la carretera y se considera semi-confinada, por lo que al ser mayor el coeficiente de transmisión de carga el espesor de la losa aumenta. Dentro de cada intervalo de variación que se ve en la tabla, es recomendable utilizar el valor más alto cuando menor sea el Módulo de reacción de la subrasante  $k$ , también cuando sea más elevado el coeficiente de dilatación térmica del concreto y mayores las variaciones de temperatura ambiente.

En casos de carreteras de poco tránsito, en que el volumen de camiones sea reducido, entonces se pueden utilizar los valores más bajos de J, ya que habrá menos pérdida del efecto de fricción entre los agregados.

**3.6.10.7 Módulo de elasticidad del concreto,  $E_c$ :** El Módulo de elasticidad del concreto se puede determinar conforme el procedimiento descrito en la norma ASTM C-469, o correlacionarlo con otras características del material como es la resistencia a la compresión. En algunos códigos se indica que para cargas instantáneas, el valor del módulo de elasticidad se puede considerar conforme las ecuaciones de la siguiente tabla:

**Tabla XXXI - Correlación entre la resistencia a la compresión ( $f_c$ ) y el módulo de elasticidad ( $E_c$ ).**

<b>Tipo de agregado y origen</b>	<b>Módulo de Elasticidad <math>E_c</math>, Mpa</b>	<b>Módulo de Elasticidad <math>E_c</math>, Kg/cm<sup>2</sup></b>
Grueso – Ígneo	$E_c = 5,500 \times (f_c)^{1/2}$	$E_c = 17,000 \times (f_c)^{1/2}$
Grueso - Metamórfico	$E_c = 4,700 \times (f_c)^{1/2}$	$E_c = 15,000 \times (f_c)^{1/2}$
Grueso – Sedimentario	$E_c = 3,600 \times (f_c)^{1/2}$	$E_c = 11,500 \times (f_c)^{1/2}$
Sin Información	$E_c = 3,900 \times (f_c)^{1/2}$	$E_c = 12,500 \times (f_c)^{1/2}$

Fuente: Guía Para Diseño de Estructuras de Pavimentos, AASHTO, 1,993

En donde...

- ✓  $f_c$ : Resistencia a compresión del concreto a los 28 días en MPa o en Kg/cm<sup>2</sup> para obtener  $E_c$  en Mpa o kg/cm<sup>2</sup> respectivamente.

**3.6.10.8 Módulo de reacción de subrasante,  $k$ :** El Módulo de reacción de la superficie en que se apoya el pavimento de concreto o módulo efectivo de la subrasante, es el valor de la capacidad soporte del suelo, la cual depende del módulo de resiliencia ( $MR$ ) de la subrasante y sub-base, así como el módulo de elasticidad de la sub-base. Para la determinación del módulo de elasticidad de la sub-base, es factible la correlación con el uso de otros parámetros, tales como: CBR y valor R (ver tabla XXXII). Es recomendable que el Módulo de elasticidad de la sub-base no sea mayor de 4 veces del valor de la subrasante.



Las sub-bases incrementan la capacidad soporte del pavimento, situación que se aprovecha con el objeto de poder reducir el espesor de la losa. En la tabla XXXIII se puede observar como se incrementa el valor de  $k$  al colocar una sub-base granular.

**Tabla XXXII – Valores típicos de  $k$  y  $E$ .**

Tipo de suelo	Calidad de la sub-rasante	$k$ , KPa/cm	Módulo de elasticidad dinámico $E$	$k$ , Kg/cm <sup>3</sup>
Limos y arcillas de alta	Muy baja	135-270	6.9-13.11	<3
Suelos finos de baja	Baja	270-405	13.1-20.0	3-5.5
Arenas poco limosas/arcillosas mal graduadas	Media	405-594	20-30	5.5-12
Gravas, arenas bien graduadas y mezclas de arena y grava con pocos	Alta	594-675	30-33.5	>12

Fuente: Diseño de pavimentos del PCI.

**Tabla XXXIII - valor  $k$  afectado por sub-base granular.**

Valor de $k$ para subrasante		Valor de $k$ para subbase							
		100 mm		150 mm		225 mm		300 mm	
Mpa/m	Lb/pulg <sup>3</sup>	Mpa/m	Lb/pulg <sup>3</sup>	Mpa/m	Lb/pulg <sup>3</sup>	Mpa/m	Lb/pulg <sup>3</sup>	Mpa/m	Lb/pulg <sup>3</sup>
20	73	23	85	26	96	35	117	38	140
40	147	45	165	49	180	57	210	66	245
60	220	64	235	66	245	76	280	90	330
80	295	87	320	90	330	100	370	117	430

Fuente: Guía Para Diseño de Estructuras de Pavimentos, AASHTO, 1,993



## 4. EVALUACIÓN TÉCNICA DE INGENIERÍA

### 4.1 Generalidades.

Basado en datos socioeconómicos y el estudio de mercado se define el diseño de la CARRETERA QUE UNE A LAS ALDEAS TEOCINTE (SANTA CRUZ NARANJO) CON ALDEA EL SALITRE (SANTA ROSA DE LIMA), SANTA ROSA; como típica “E” según la clasificación de la Dirección General de Caminos de la república de Guatemala. Ésta típica es la de más baja categoría que posee carpeta de rodadura pavimentada empero, es la adecuada para éste tipo de terreno que es muy montañoso, con pendientes elevadas, clasificada como colectora rural por su nivel de tránsito -según la clasificación de la SIECA- y a su vez cumple con las premisas básicas de Ingeniería que es la opción que cumple los exigencias presentes y futuras a un costo razonable de inversión.

### 4.2 Reconocimiento del área.

Luego de haber definido el proyecto para realizar su diseño, se procede como paso inicial a hacer un reconocimiento del camino y de sus alrededores; con lo que se definieron e identificaron algunos aspectos como:

- ✓ Condiciones colindantes,
- ✓ Tipo de terreno según las pendientes presentadas,
- ✓ Tipos de suelos y geología,
- ✓ Estado de los drenajes transversales,
- ✓ Escorrentías superficiales aún no controladas,
- ✓ Actividad agraria y pecuaria de los alrededores y
- ✓ Tipo de topografía a realizar y su programación.

### 4.3 Levantamiento topográfico.

El tipo de levantamiento topográfico se definió para una *preliminar localizada*, tipo de levantamiento recomendado y clasificado así por la DGC para caminos existentes denominados localmente como caminos *de herradura*, los cuales se pretenden mejorar, tal es el caso que se presenta para éste camino el cual se encuentra en un abandono parcial y que a partir de éste estudio de pretende mejorar y pavimentar.

Para éste caso se realizó un levantamiento taquimétrico con conservación de azimut para una poligonal abierta; se llevaron datos para planimetría y altimetría al mismo tiempo. Éste tipo de levantamiento tiene una precisión mínima del 99.9% o sea que el error es igual o menor al 1‰, que es bastante preciso.

En cada estación se colocaron trompos de madera, normalmente en la orilla derecha o izquierda del camino para no dificultar el tránsito, y como parte de la sección transversal en ese estacionamiento. Se seccionó el terreno en cada estación y también, donde la vista lo permitía se realizaron secciones radiadas para ahorrar tiempo y poder dejar los estacionamientos lo más separado posible uno de otro, normalmente 40m a 80m entre ellos. Se dejaron bancos de marca nivelados al inicio, a cada 500m aproximadamente y al final; donde no había algún monumento fijo para éste fin se fundieron bases de concreto cercanas al camino pero fuera del área de construcción.

El equipo utilizado para éste levantamiento fue el siguiente:

- ✓ Teodolito SOKIA DT-6,
- ✓ Trípode,
- ✓ Brújula,
- ✓ 2 plomadas,
- ✓ Cinta métrica para definir la línea central y
- ✓ Trompos de madera, clavos, pintura, machetes, etc.

Además de mi persona, el personal que asistió ésta labor fue patrocinado por la municipalidad de Santa Cruz Naranjo, los que aunque no fueron las mismas

personal durante el tiempo que duró ésta actividad; desempeñaron las labores siguientes...

- ✓ Cadenero primero: Don Miguel Ángel Hernández, encargado de colocar las estaciones, dar plomo y vista de estadal en éstas.
- ✓ 2 peones: diferentes personas, encargadas de dar vista de plomada atrás, chapear, dar vista de estadal en las secciones y labores varias.
- ✓ Ingeniero Topógrafo: Jaime Monterroso (mi persona), encargado de coordinar el levantamiento, llevar la libreta además del traslado del aparato, trípode y libreta.

Aunque la presentación y el cálculo de ésta libreta fue realizada con el software EXCEL 2003, se describirá a continuación el procedimiento de cálculo utilizado para programar la hoja electrónica:

#### **4.3.1 Descripción de la simbología y abreviaturas.**

- ✓ Est: Estación topográfica de levantamiento: normalmente enumeradas de E0, E1, etc.,
- ✓ hi: altura de instrumento; distancia medida desde el nivel del suelo hasta el eje del telescopio del aparato,
- ✓ PO: punto observado; puede ser una estación o una radiación,
- ✓ Azimut: ángulo horizontal medido en sentido de las agujas del reloj en donde el 0 se ubica en el norte magnético momentáneo. Medido en grados (dividen la circunferencia en 360°),
- ✓ Zennit: o ángulo zenital es el ángulo vertical medido a partir del 0 que se ubica verticalmente hacia arriba y 90° es la horizontal,
- ✓ hm: hilo medio; es el número observado en el estadal o colocado en el hilo medio del telescopio agrede, y que es la altura relativa desde el suelo en el punto donde se ubica el estadal,
- ✓  $\Delta$ hi: delta de hilos, es la distancia medida en cm entre el hilo superior y el inferior del telescopio del teodolito,

Tabla XXXIV – Página 1 de 27 de la libreta de topografía.

Est	hi	PO	Azimut			Zenit			Δhi	Hm'	Hm	Anotaciones	DH	Parciales			Totales		
			G°	min	sec	G°	min	sec						y	x	Av (z)	Y	X	Z
		E0																	
E-0	157.5	BM1	287°	36'	0"	89°	19'	0"	17.30	144.6	145.0	BM-00, Pav	17.298			1,017.076	978.456	500.387	
157.5	157.5	1.0.1	120°	20'	0"	90°	47'	30"	28.05	145.1	145.0	BM-1, Poste	28.045	-16.488	6.230	1,022.306	961.968	500.718	
	157.5	D0.1	136°	13'	20"	91°	57'	0"	28.30	145.2	145.0	Cerco	28.267	24.205	-14.163	1,002.913	1,002.661	500.124	
	157.5	E-1	128°	24'	0"	91°	4'	0"	27.50	144.8	145.0	OB	27.490	19.910	-20.066	997.011	998.366	499.560	
E-1	154.5	D1.1	124°	27'	40"	89°	50'	0"	24.80	141.1	141.0	LC-INICIO	24.800	21.544	-17.076	1,000.000	1,000.000	500.000	
154.5	154.5	D1.2	128°	15'	30"	90°	35'	20"	25.20	141.8	142.0	C&B	25.197	20.448	-15.602	985.967	1,020.448	500.207	
	154.5	1.1.1	112°	0'	0"	89°	18'	30"	24.20	141.5	142.0	C&C	24.196	19.786	-9.064	984.398	1,019.786	499.866	
	154.5	E-2	119°	53'	0"	89°	36'	20"	24.60	141.7	142.0	C&C	24.599	22.435	-12.266	990.936	1,022.435	500.417	
E-2	154.5	1.2.1	108°	9'	20"	89°	47'	30"	27.80	141.5	142.0	C&C	27.800	26.416	-8.662	979.082	1,047.744	500.521	
154.5	154.5	D2.1	122°	31'	15"	90°	4'	40"	28.60	141.9	142.0	Pared	28.600	24.115	-15.376	972.369	1,045.444	500.381	
	154.5	E-3	115°	11'	0"	89°	54'	0"	28.35	141.6	142.0	LC	28.350	25.655	-12.063	975.681	1,046.984	500.469	
E-3	162.0	1.3.1	104°	23'	0"	91°	56'	0"	26.40	149.7	150.0	Cuneta	26.370	25.543	-6.551	969.130	1,072.527	499.699	
162.0	162.0	D3.1	118°	5'	40"	91°	36'	30"	26.70	150.9	151.0	Cerco	26.679	23.535	-12.564	963.117	1,070.519	499.830	
	162.0	E-4	110°	32'	10"	91°	58'	30"	26.20	149.6	150.0	C	26.189	24.506	-9.180	966.501	1,071.489	499.687	
E-4	162.5	1.4.1	106°	31'	10"	92°	1'	40"	50.10	149.6	150.0	Cuneta	50.037	47.972	-14.228	952.273	1,119.461	498.040	
162.5	162.5	D4.1	112°	50'	10"	92°	12'	0"	49.50	162.7	163.0	OC	49.427	45.563	-19.182	947.319	1,117.042	497.783	
	162.5	E-5	109°	14'	0"	92°	0'	0"	49.50	162.8	163.0	LC	49.440	46.680	-16.286	950.215	1,118.170	497.955	
E-5	154.5	1.5.1	104°	24'	0"	92°	0'	0"	50.50	154.7	155.0	Cuneta	50.438	48.854	-12.544	937.671	1,167.024	496.189	
154.5	154.5	D5.1	110°	47'	20"	91°	14'	0"	50.00	154.6	155.0	Poste	49.977	46.723	-17.738	932.477	1,164.893	496.874	
	154.5	E-6	107°	26'	0"	91°	13'	30"	50.30	154.4	154.0	LC	50.277	47.968	-15.063	935.152	1,166.137	496.885	
E-6	155.5	D6.1	109°	45'	20"	92°	52'	20"	50.50	155.3	155.0	Banqueta	50.373	47.408	-17.027	918.125	1,213.546	494.363	
155.5	155.5	E-7	104°	39'	30"	93°	18'	0"	49.40	155.3	155.0	LC	49.236	47.634	-12.459	922.693	1,213.771	494.051	
E-7	151.5	R7.1	279°	29'	10"	86°	38'	20"	45.90	151.2	151.0	Callejón-D1	45.742	-45.117	7.539	930.231	1,168.654	496.742	
151.5	151.5	R7.2	212°	35'	10"	88°	6'	20"	5.10	138.2	138.0	Callejón-D2	5.084	-2.744	-4.292	918.400	1,211.027	494.355	
	151.5	R7.3	347°	29'	20"	86°	35'	0"	5.15	138.4	138.0	Callejón-D3	5.132	-1.112	5.010	927.702	1,212.659	494.492	
	151.5	1.7.1	15°	44'	5"	86°	59'	15"	4.55	138.6	139.0	OC&Pared	4.537	1.230	4.367	927.060	1,215.002	494.415	
151.5	17.2		96°	37'	50"	91°	41'	10"	36.70	151.9	152.0	C&C	35.669	35.437	-3.500	919.193	1,249.268	492.996	
	151.5	D7.1	108°	34'	30"	92°	20'	40"	33.40	151.3	151.0	Cerco	33.344	31.607	-10.622	912.071	1,245.378	492.691	
	151.5	E-8	102°	39'	0"	92°	35'	20"	34.00	151.4	151.0	LC	33.931	33.107	-7.431	915.262	1,246.878	492.522	
E-8	156.0	1.8.1	120°	5'	0"	91°	20'	20"	26.00	155.8	156.0	Poste	25.986	22.486	-13.026	902.236	1,269.364	491.915	
156.0	156.0	D8.1	134°	4'	20"	90°	52'	0"	25.30	155.9	156.0	OC-cerco	25.294	18.173	-17.694	897.668	1,265.051	492.139	
	156.0	E-9	127°	13'	55"	91°	16'	50"	26.25	155.4	155.0	LC	26.237	20.890	-15.874	893.387	1,267.768	491.945	

Fuente: Propia.

- ✓ Observaciones: breve descripción o clave que hace referencia al punto observado,
- ✓ Azm rad y Zen rad: ángulos horizontal y vertical respectivamente convertidos en radianes, que es la unidad angular que reconoce EXCEL,
- ✓ DH: distancia horizontal, en metros,
- ✓ y, x, z: conversión a coordenadas cartesianas parciales o relativas, en metros,
- ✓ Y, X, Z: coordenadas cartesianas totales,
- ✓ Pie, Cor: pie de talud y corona de talud respectivamente,
- ✓ oc.i, oc.d, Lc: orilla izquierda de camino, orilla derecha de camino y línea central, respectivamente,
- ✓ cd, ci: cerco derecho y cerco izquierdo, respectivamente,
- ✓ BM#: banco de marca enumerado #,
- ✓ R(E#).#: radiación # relativa a la estación E#.

#### 4.3.2 Fórmulas y cálculos de la libreta de topografía.

a. **Distancia horizontal, DH:** La fórmula trigonométrica utilizada en taquimetría es la siguiente...

$$DH = \Delta hi \times \text{seno}^2(\theta_v); \text{ donde...}$$

- ✓  $\theta_v$ : ángulo cenital en radianes.

b. **Coordenadas parciales:** La transformación de coordenadas polares topográficas en rectangulares se hacen con las siguientes fórmulas...

- ✓  $y = DH \times \cos \text{eno}(\theta)$ ,

- ✓  $x = DH \times \text{seno}(\theta)$ , y

- ✓  $z = \Delta v = \Delta hi \times \text{seno}(\theta_v) \times \cos \text{eno}(\theta_v) + \frac{hi - hm}{100} = \frac{DH}{\tan(\theta_v)} + \frac{hi - hm}{100}$

c. **Coordenadas totales:** La coordenada total de un punto específico ubicado en el espacio superficial se calcula sumando la coordenada parcial del punto con la coordenada total de la estación que lo generó, así...

✓  $Y_{\text{punto}} = Y_{\text{EST}} + y_{\text{punto}},$

✓  $X_{\text{punto}} = X_{\text{EST}} + x_{\text{punto}},$

✓  $Z_{\text{punto}} = Z_{\text{EST}} + z_{\text{punto}},$

#### 4.3.3 Representación gráfica de la topografía:

La representación en planos de Ingeniería Civil se hace ubicando gráficamente los puntos topográficos en 2D, únicamente con las coordenadas Y y X. Luego se rotula cercano a cada punto su descripción o clave y su cota de elevación. Seguidamente se interpolan las cotas de números enteros múltiplos de 2 (a criterio) para con ello trazar las curvas de nivel.

Éste proceso se resume generando y corriendo un *batch file* para el programa LAND DESKTOP, en el cual se introducen las coordenadas totales y su descripción. Los datos de topografía introducidos a éste *batch file* se generan directamente en la hoja electrónica de EXCEL en donde se calculó la topografía; se copia y pegan las coordenadas directamente.

✓ **Fragmento del batch file en cuestión y breve descripción de los comandos;**

Units meter dms {define el sistema de unidades}

Ap on {Auto point, inicializa la enumeración en la base de datos}

Traverse off {desconecta la función de trazado de polígono}

Ditto on {repetición automática de comando}

Nez {define el sistema de ingreso de coordenadas}

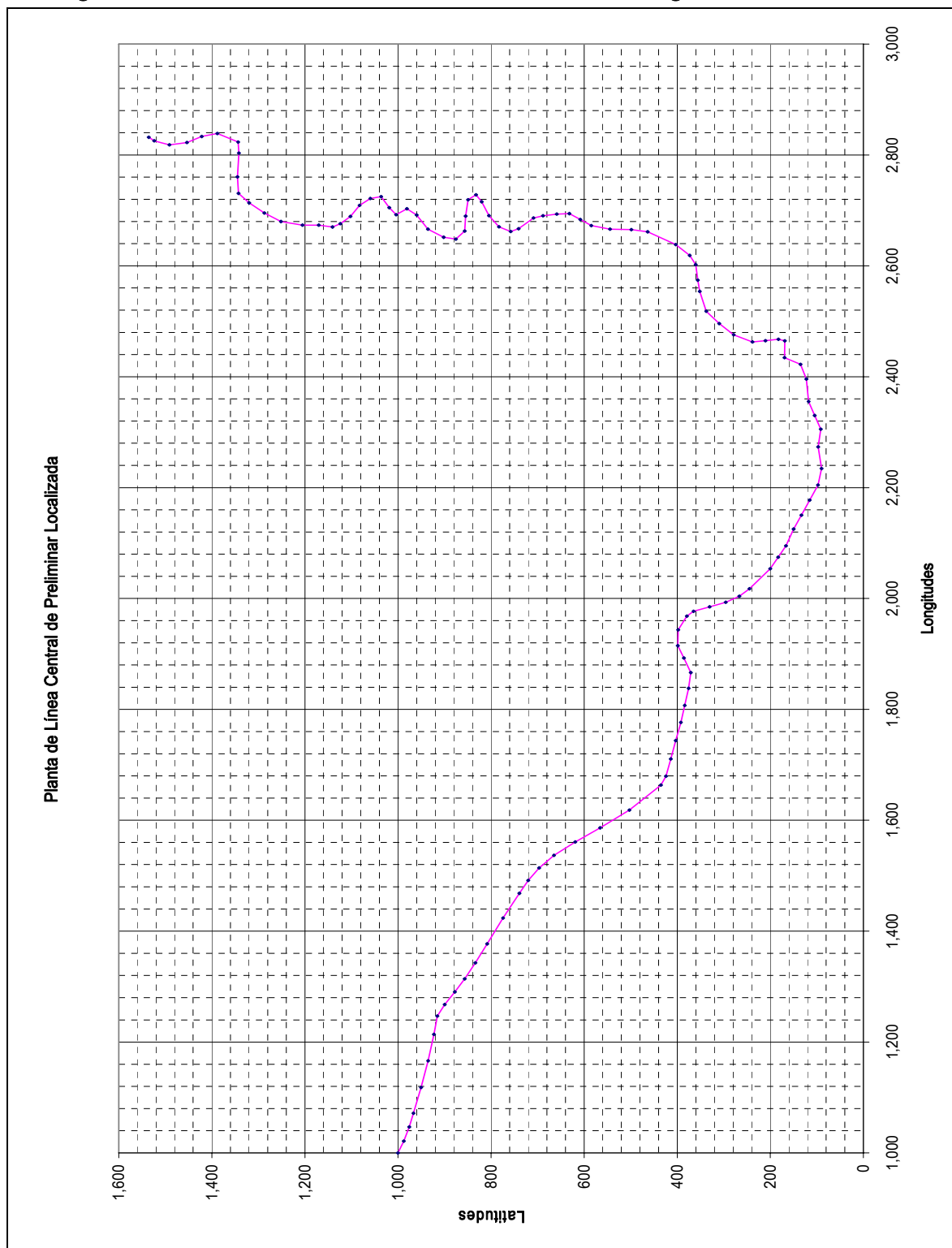
1017.076 978.456 500.387 E0/Pav

1022.306 961.968 500.718 R0.1/BM-1,Poste



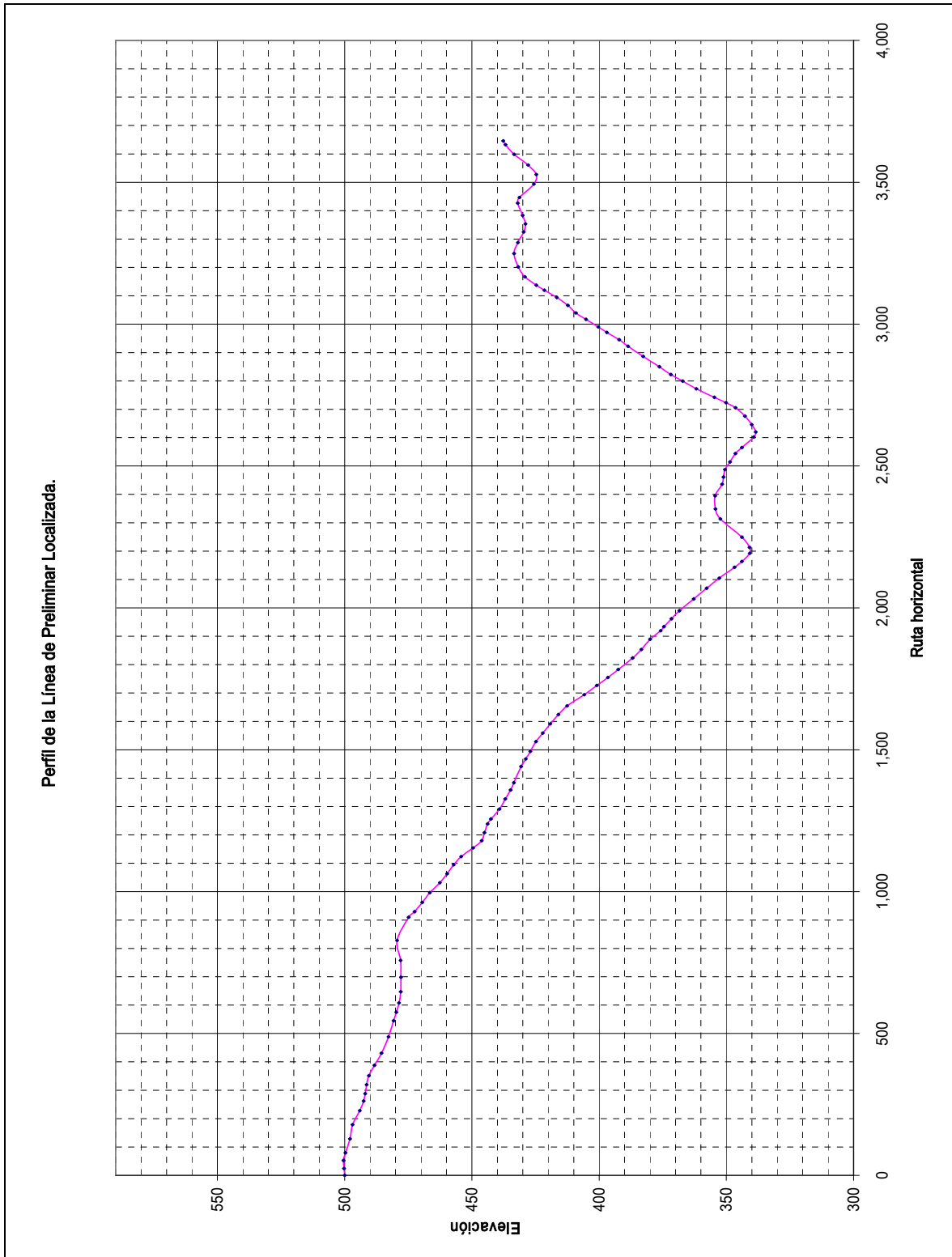
1002.913 1002.661 500.124 R0.2/Cerco  
997.011 998.366 499.55 R0.3/OB  
1000 1000 500 E1/LC-INICIO  
985.967 1020.448 500.207 R1.1/OC  
984.398 1019.786 499.866 R1.2/C&B  
990.936 1022.435 500.417 R1.3/C&C  
987.744 1021.328 500.295 E2/LC  
979.082 1047.744 500.521 R2.1/C&C  
972.369 1045.444 500.381 R2.2/Pared  
975.681 1046.984 500.469 E3/LC  
969.13 1072.527 499.699 R3.1/Cuneta  
963.117 1070.519 499.83 R3.2/Cerco  
966.501 1071.489 499.687 E4/LC  
952.273 1119.461 498.04 R4.1/Cuneta  
947.319 1117.042 497.783 R4.2/OC  
950.215 1118.17 497.955 E5/LC  
937.671 1167.024 496.189 R5.1/Cuneta  
932.477 1164.893 496.874 R5.2/Poste  
935.152 1166.137 496.885 E6/LC  
918.125 1213.546 494.363 R6.1/Banqueta  
922.693 1213.771 494.051 E7/LC  
930.231 1168.654 496.742 R7.1/Callejón-D1  
918.4 1211.027 494.355 R7.2/Callejón-D2  
927.702 1212.659 494.492 R7.3/Callejón-D3  
927.06 1215.002 494.415 R7.4/OC&Pared  
919.193 1249.268 492.996 R7.5/C&C  
912.07 1245.38 492.69 R7.6/crc.d  
915.26 1246.88 492.52 E-8/lc  
902.24 1269.36 491.91 R8.1/pst.i

Fig. 20 – Planta de la línea de Preliminar Localizada, generada en EXCEL.



Fuente: Propia.

Fig. 21 – Perfil de la línea de Preliminar Localizada, generada en EXCEL.



Fuente: Propia.

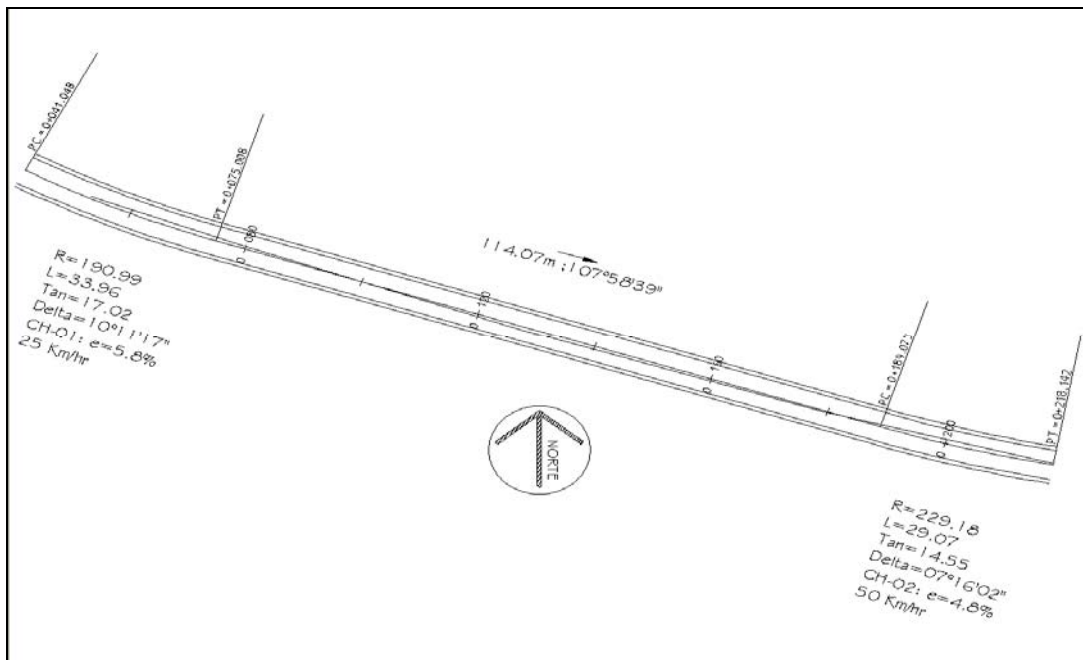
#### 4.4 Diseño geométrico horizontal.

Para éste caso en particular que es un camino existente, la línea de preliminar prácticamente define nuestro diseño final de tangentes con algunas pocas modificaciones.

##### 4.4.1 Diseño de las tangentes horizontales.

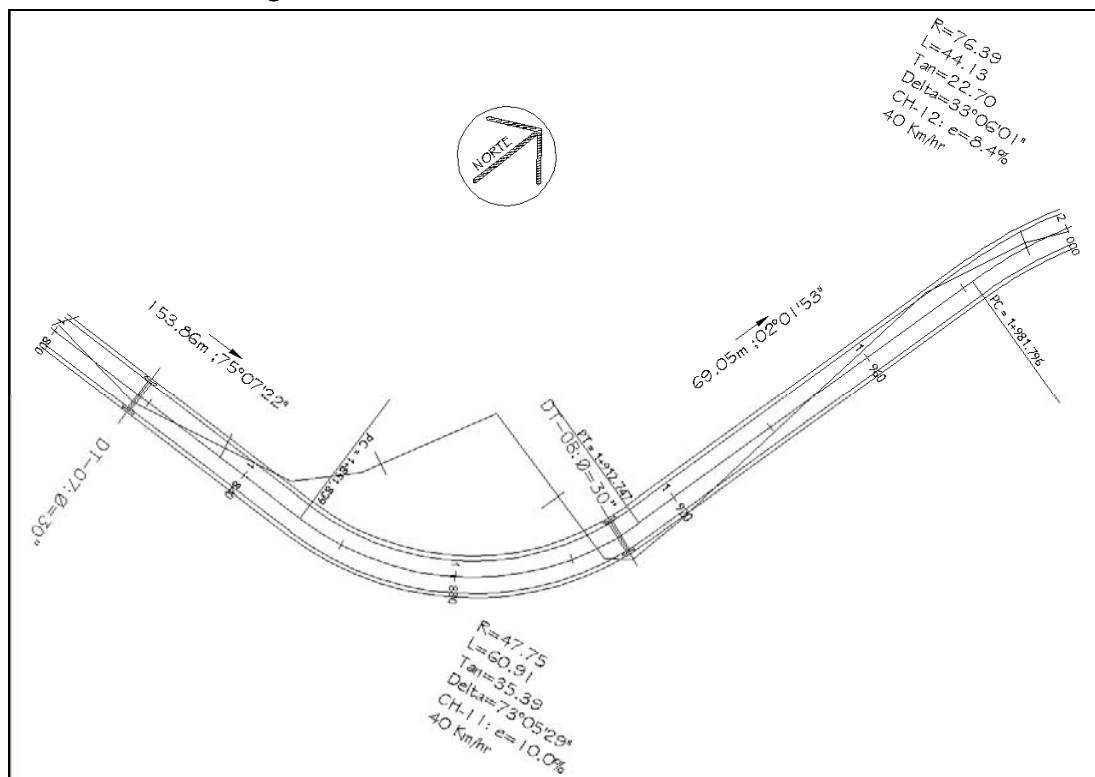
Observando nuestra línea de preliminar localizada (en Land Desktop) conectada de punto a punto sobre la línea central (Lc) de las secciones del camino se trazaron tangentes lo más largas que fueron posible, cuidando no separarse sustancialmente de la Lc existente. Seguidamente se midieron los deltas o deflexiones angulares de éstas tangentes y se consultaron las tablas de diseño para definir la velocidad (des) de diseño prudente (tes) a elegir para el proyecto. Donde existían puntos de quiebre o de ruptura abrupta de nuestros parámetros de diseño, sin remedio, se rediseñó el tramo para hacerlo consecuente.

Fig. 22 – Diseño del alineamiento horizontal.



Fuente: Propia.

Fig. 23 – Diseño del alineamiento horizontal.



Fuente: Propia.

En la figura 22 se observa la forma en que la preliminar define la línea de localización, sin embargo en la figura 23 se observa uno de los pocos casos específicos donde la línea de preliminar no representa la localización, por lo que fue necesario rediseñar substancialmente estos tramos.

#### 4.4.2 Diseño de las curvas horizontales.

Ya definidas nuestras tangentes horizontales de la línea de localización, éstas deben unirse suavemente por medio de curvas horizontales. El ángulo de deflexión que se forma de la unión de dos tangentes se le llama delta angular; con éste valor y la velocidad de diseño para cada tramo en particular se procede a consultar las tablas de diseño de la DGC o la SIECA, para determinar los grados de curvatura o radios mínimos a utilizar en cada curva. Luego de definidos los anteriores valores

se pueden calcular todos los componentes de la curva horizontal necesarios para detallar la geometría de ésta. Como resultado se presenta la libreta final de replanteo de la curva.

A continuación se presenta la muestra de la memoria de cálculo utilizada para las curvas horizontales.

Tabla XXXV – Página 1 de la memoria de cálculo para curvas horizontales.

HOJA DE DISEÑO DE CURVAS HORIZONTALES SIMPLES	
Esquema:	
Donde:	<p><b>Pi:</b> Punto de intersección de tangentes.</p> <p><b>Pc:</b> Punto de curva, donde termina la tangente de entrada e inicia la curva.</p> <p><b>Pt:</b> Punto de tangencia, donde termina la curva e inicia la tangente de salida.</p> <p><b>Cm:</b> Cuerda máxima, distancia horizontal entre el <b>Pc</b> y el <b>Pt</b>.</p> <p><b>R:</b> Radio de curvatura, punto equidistante a cualquier punto de la curva.</p> <p><b>St:</b> Subtangente, distancia entre el <b>Pc</b> y el <b>Pi</b> o entre este y el <b>Pt</b>.</p> <p><b>Δ:</b> Delta angular, diferencia angular entre los azimuts de salida y de entrada.</p> <p><b>OM:</b> Ordenada máxima, distancia máxima entre la <b>CM</b> y la curva en sí.</p> <p><b>E:</b> External, distancia entre el punto de la <b>OM</b> y el <b>Pi</b>.</p> <p><b>G:</b> Grado de curvatura, constante de diseño relacionado con el <b>R</b>.</p> <p><b>Lc:</b> Longitud de curva, distancia entre el <b>Pc</b> y el <b>Pt</b> por la línea central.</p> <p><b>Az ent:</b> Azimut de entrada</p> <p><b>Az sal:</b> Azimut de salida</p>
Relaciones matemáticas:	<p><math>OM = R(1 - \cos(\Delta/2))</math>      <math>R = 3,600/(\pi \cdot G)</math></p> <p><math>Lc = \pi \cdot R \cdot \Delta / 180 = 20 \cdot \Delta / G</math>      <math>St = R \cdot \tan(\Delta/2) = CM / (2 \cdot \cos(\Delta/2))</math></p> <p><math>CM = 2 \cdot St \cdot \cos(\Delta/2) = 2 \cdot R \cdot \sin(\Delta/2)</math>      <math>Pt = Pc + Lc</math></p>

Fuente: Propia.

Tabla XXXVI – Página 2 de la memoria de cálculo para curvas horizontales.

		DISEÑO DE CURVA HORIZONTAL:		CH-07	
<b>Proyecto:</b>	EPS Ing. Civil Jaime Adolfo Monterroso Caravantes. Carné: 91-19271				
<b>Entidad:</b>	Municipalidad de Santa Cruz Naranjo, Santa Rosa				
<b>DATOS</b>					
Estacionamiento del PI:	1,096.491	m (decimal), línea de localización.			
Azimut de entrada:	106.1628	°G (decimal)			
Azimut de salida:	73.2311	°G (decimal)			
Velocidad de diseño:	40	Km/hr			
Grado de curvatura, G:	15	°G (decimal)			
Delta, $\Delta$ :	<b>32.9317</b>	°G (decimal) [32°55'54"]			
<b>CÁLCULO DE LOS ELEMENTOS DE LA CURVA</b>					
<b>R:</b>	76.39	m	<b>E:</b>	3.27	m
<b>Lc:</b>	43.91	m	<b>OM:</b>	3.13	m
<b>St:</b>	22.58	m	<b>Pc:</b>	1,073.91	m
<b>CM:</b>	43.31	m	<b>Pt:</b>	1,117.82	m
<b>TRAZO DE LA CURVA POR EL METODO DE DEFLEXIONES ANGULARES</b>					
No. de puntos dentro de la curva:	5				
Distancia entre puntos	7.32				
Deflexión unitaria por metro de curva, $\Delta_u$	0.88		[0°22'30"]		
<b>Punto observado:</b>					
(Pc) 1:	1,073.910	$\Delta_i/2$ :	0.000	<b><math>Cm_i</math>:</b>	0.00
2	1,081.230	$\Delta_i/2$ :	2.740	<b><math>Cm_i</math>:</b>	7.30
3	1,088.550	$\Delta_i/2$ :	5.490	<b><math>Cm_i</math>:</b>	14.62
4	1,095.870	$\Delta_i/2$ :	8.230	<b><math>Cm_i</math>:</b>	21.87
5	1,103.190	$\Delta_i/2$ :	10.980	<b><math>Cm_i</math>:</b>	29.10
6	1,110.510	$\Delta_i/2$ :	13.720	<b><math>Cm_i</math>:</b>	36.24
(Pt) 7:	1,117.820	$\Delta_i/2$ :	16.470	<b><math>Cm_i</math>:</b>	43.32
		<b>LIBRETA PARA TRAZO DE CURVA:</b>		<b>CH-07</b>	
<b>Caminamiento</b>		<b>Elemento</b>			
<b>(general)</b>	<b>(relativo)</b>	<b>Vertical</b>		<b><math>D_i/2</math></b>	<b><math>Cm_i</math></b>
1+073.91	0+0	<b>OM</b>		0°0'0"	0.00
1+081.23	0+7.3			2°44'24"	7.30
1+088.55	0+14.62			5°29'24"	14.62
1+095.87	0+21.87			8°13'48"	21.87
1+103.19	0+29.1			10°58'48"	29.10
1+110.51	0+36.24			13°43'12"	36.24
1+117.82	0+43.32			<b>Pt</b>	16°28'12"

Fuente: Propia.

## 4.5 Diseño geométrico vertical.

El objetivo es que el trazado final permanezca lo más cercano posible al perfil existente; evitando así demasiados cortes y/o rellenos. Para la realización de ésta labor se debe primeramente generar el perfil de la Línea de Localización del alineamiento horizontal. Normalmente éste perfil se genera con un factor de ampliación vertical de entre 5 y 10 veces respecto a la escala horizontal; en éste caso se utilizó la escala horizontal 1:1,000 y la vertical 1:200 (en los planos).

### 4.5.1 Diseño de las tangentes verticales.

La técnica utilizada para ésta tarea también enmarca algunas premisas las cuales por lo menos son...

- ✓ Se trazan tangentes lo más largas que sean posibles sin despegarse demasiado del perfil natural.
- ✓ Que los puntos de intersección vertical (PIV) queden, en lo posible, fuera de las curvas horizontales.
- ✓ Que la magnitud de las pendientes esté, en lo posible, en el rango aceptable para carreteras colectoras rurales en terreno montañoso, que es de  $\pm(0.5,20)\%$ .

### 4.5.2 Diseño de las curvas verticales.

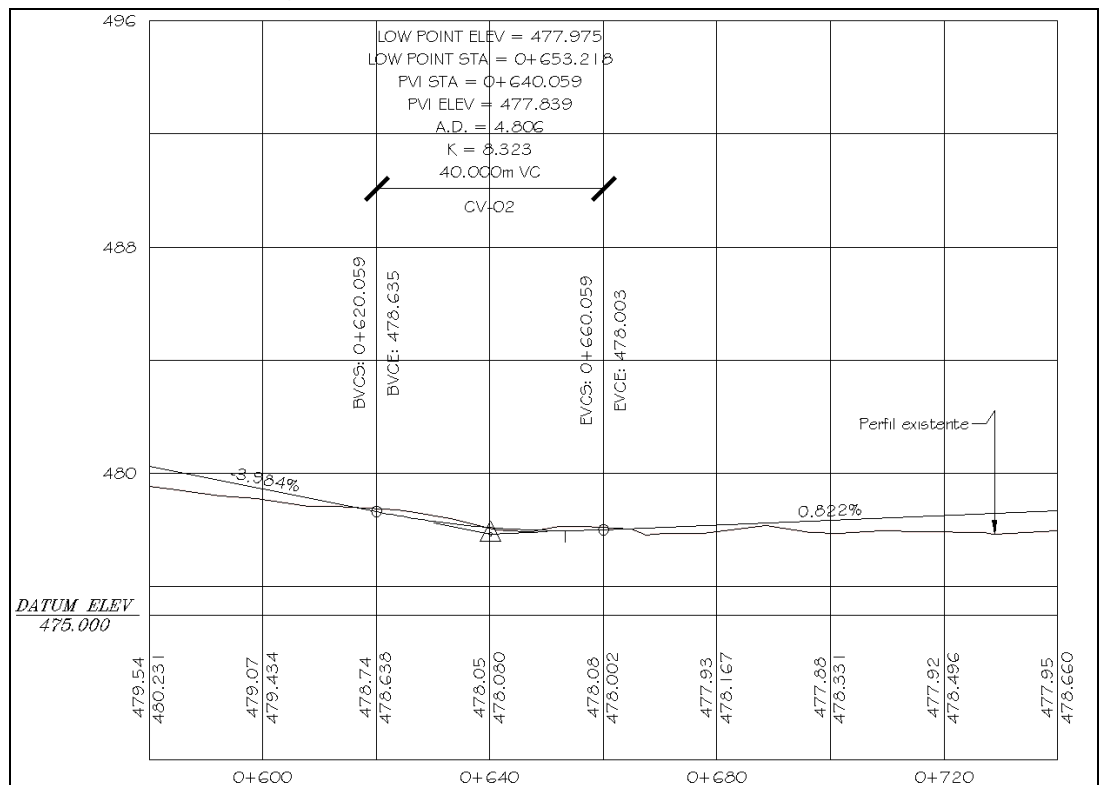
Teniendo ya definidas las tangentes verticales se procede a conectarlas con curvas verticales. En éste caso se utilizaron curvas parabólicas simples o sea de segundo grado; el procedimiento se detalla en el capítulo anterior y se resume de la siguiente manera...

- ✓ Habiendo ya definido la velocidad de diseño por tramos en el alineamiento horizontal se consultan las tablas para los valores de  $K$  para la longitud de curva vertical. Donde  $K$  es una constante de proporcionalidad mínima y se representa por la fórmula  $K = A/L$ .



- ✓ El programa LAND DESKTOP presenta para el diseño de las curvas un menú gráfico con varias opciones donde una de ellas es la introducción del valor de  $K$ , seguidamente presenta la longitud de curva respectiva para manualmente introducir el valor final de  $L$ , que se elige en un número entero próximo al presentado.

Fig. 24 – Diseño del alineamiento vertical.



Fuente: Propia.

Posteriormente el programa traza la curva en cuestión y se continúa con la siguiente.

- ✓ El método puede ser iterativo hasta encontrar la curva más cercana al perfil natural.
- ✓ Es preferible introducir la longitud en un número entero y obtener un valor de  $K$  con valores decimales que a la inversa; pues con la longitud

se puede controlar y definir mejor el diseño y el replanteo de la curva vertical.

Tabla XXXVII – Página 1 de la memoria de cálculo para curvas verticales.

CALCULO DE CURVAS VERTICALES POR EL MÉTODO DE PARÁBOLA SIMPLE			
(APLICANDO CRITERIO DE SEGURIDAD)			
NOMENCLATURA:			
Lcv:	Longitud de curva vertical (componente horizontal)		
K:	Constante de diseño		
A:	Diferencia algebraica de pendientes porcentuales		
PIV:	Punto de intersección vertical		
OM:	Ordenada Máxima		
PCV:	Punto de curva vertical		
PTV:	Punto de tangencia vertical		
Y:	Corrección vertical en el estacionamiento indicado		
Los valores de K están en función de la velocidad de diseño y si la curva es cóncava o convexa.			
Curva cóncava:		Curva convexa:	
<b>Página 1</b>			
TABLA DE VALORES DE K			
Km/hr			
<b>Velocidad</b>	<b>Cóncava</b>	<b>Convexa</b>	<b>1) Criterio de apariencia (curvas cóncavas):</b>
10	1	0	$K=Lcv/A \geq 30$
20	2	1	
25	3	1.5	(interpolado)
30	4	2	<b>2) Criterio de comodidad (curvas cóncavas):</b>
40	6	4	$K=Lcv/A \geq V^2/395$
50	9	7	
60	12	12	<b>3) Criterio de drenaje:</b>
70	17	19	$K=Lcv/A \leq 43$
80	23	29	
90	29	43	<b>4) Criterio de seguridad:</b>
100	39	60	$Lcv=K \cdot A$
$Y = \frac{OM}{(Lcv/2)^2} \cdot D$ <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; border-radius: 10px;">             Constante para cada curva         </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; border-radius: 10px;">             Variable en cada estacionamiento         </div> </div> $D = [Lcv/2 -  EstPIV - Est(i) ]^2$			

Fuente: Propia.

Tabla XXXVIII – Página 2 de la memoria de cálculo para curvas verticales.

DATOS DE LA CURVA Y DISEÑO:			CV-02		
	Velocidad de diseño:	50	Km/hr		
	Pendiente de entrada:	-3.984%			
	Pendiente de salida:	0.822%			
	Tipo de curva:	cóncava			
	Constante K:	8.323			
	A:	-4.81%			
	LCV (criterio No. 4):	40.00	m		
	LCV corregido:	40.00	m		
	OM=(P2-P1)*Lcv/800=	0.240	m		
	(Lcv/2) <sup>2</sup> =	400.000			
	Y, valor constante=	0.00060			
	Caminamiento horizontal del PIV:	640.059	m		
	Elevación del PIV:	477.839	m		
	PCV:	620.059	m		
	PTV:	660.059	m		
	No. de estacionamientos:	6			
	DH entre estaciones:	8.00	m		
(PCV), 1	Estación:	620.06			
	D= 0.000	Entonces, corrección Y=		0.000	m
2	Estación:	628.06			
	D= 64.000	Entonces, corrección Y=		0.038	m
3	Estación:	636.06			
	D= 256.000	Entonces, corrección Y=		0.154	m
4	Estación:	644.06			
	D= 256.000	Entonces, corrección Y=		0.154	m
5	Estación:	652.06			
	D= 64.000	Entonces, corrección Y=		0.038	m
(PTV), 6	Estación:	660.06			
	D= 0.000	Entonces, corrección Y=		0.000	m
LIBRETA DE SUB-RASANTE CORREGIDA:			CV-02		
Estación		Elemento Vertical	Rasante	Corrección Y, m	Rasante Corregida
0 +	620.06	<del>PCV</del>	478.636	0.000	478.636
0 +	628.06		478.317	0.038	478.356
0 +	636.06	<del>CV-02</del>	477.998	0.154	478.152
0 +	640.06		477.839	0.240	478.079
0 +	644.06	<del>PTV</del>	477.872	0.154	478.026
0 +	652.06		477.938	0.038	477.976
0 +	660.06		478.003	0.000	478.003

Fuente: Propia.

**Fig. 25 – Muestra de plano: Planta y Perfil del proyecto.**

**Fig. 26 – Muestra de plano: Secciones Transversales del proyecto.**

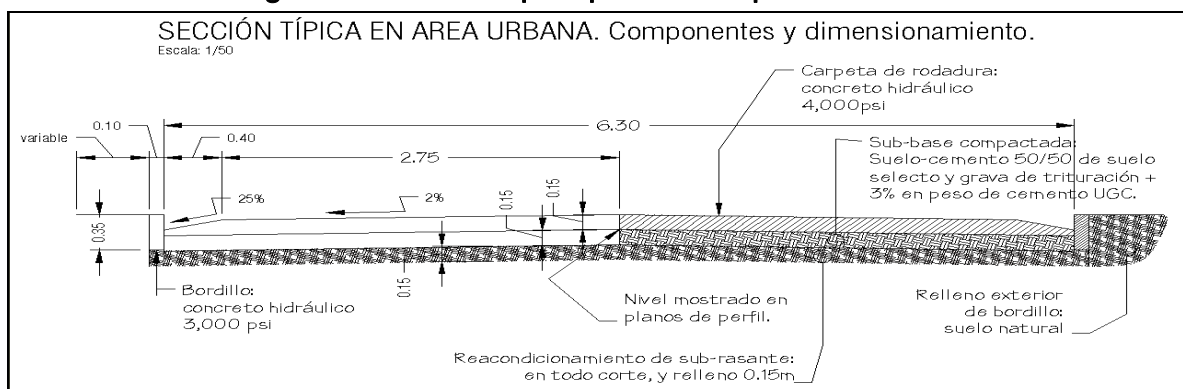
#### 4.6 Secciones transversales y movimiento de tierras.

Ya definidos los alineamientos horizontal y vertical; se generan las secciones transversales correspondientes, a partir de las cuales se calculan las tablas de movimiento de tierras. En realidad la definición del perfil, de las secciones transversales y su movimiento de tierras es un proceso iterativo mediante el cual se trata de balancear lo más posible los cortes y rellenos afectados por un factor de compactación. El fin es procurar que en tramos de 500 metros lineales los cortes superen a los rellenos en un margen de entre el 20% y 40% respecto al corte pues, del material cortado no todo será útil para los rellenos.

##### 4.6.1 Generación de las secciones transversales.

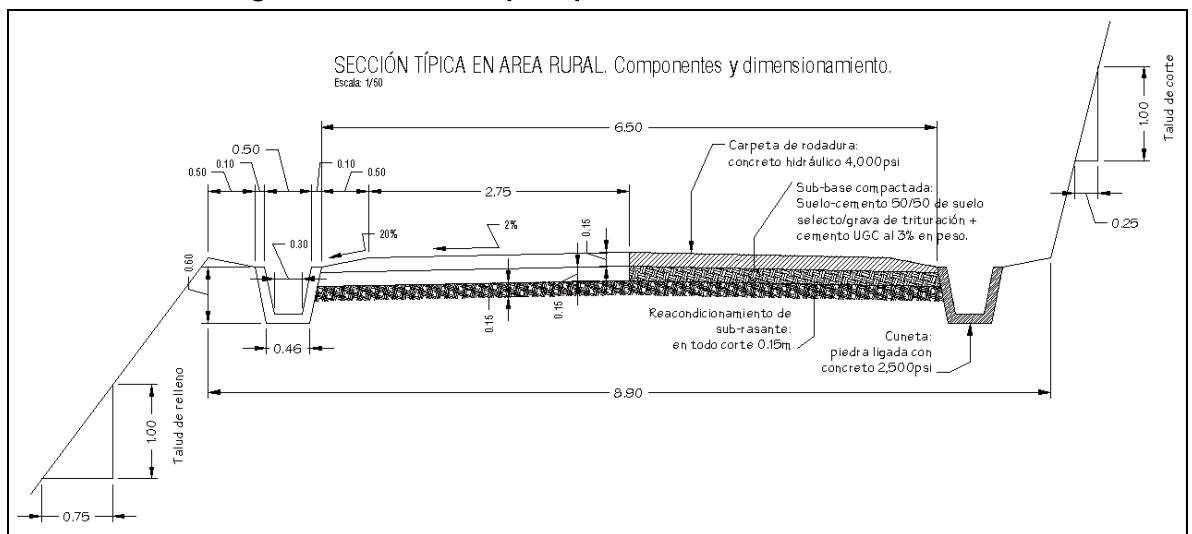
En el programa LAND DESKTOP se carga el último perfil diseñado, en el módulo DESIGNE, en el menú SECTION se elige la sección típica para el proyecto (también se puede tener varias secciones típicas por tramos), con lo cual también es necesario definir las pendientes laterales para los taludes de corte y relleno; se hace correr la sección típica con el alineamiento definidos. Luego de aceptados todos los parámetros sin errores se procede a calcular las tablas de movimiento de tierras. Estando ya de acuerdo con los volúmenes finales de corte y relleno se trazan las secciones trasversales en la pantalla gráfica para su posterior impresión.

**Fig. 27 – Sección Típica para tramo poblado.**



Fuente: Propia.

**Fig. 28 – Sección Típica para carretera abierta.**



Fuente: Propia.

#### 4.6.2 Cálculo y generación de las tablas de movimiento de tierras.

Esta labor se divide en dos fases; la primera es mostrar únicamente en la línea de comandos del programa los resultados de los volúmenes de corte y relleno, sin necesidad de trazar en la pantalla gráfica la tabla. Con esta fase se tiene la opción de que, de no estar de acuerdo con los resultados se puede regresar al perfil de diseño, sección típica, superficie u otro elemento para modificarlo hasta estar de acuerdo con los resultados. En la segunda fase, ya definidos todos los elementos en cuestión ya se pueden trazar la tabla de movimiento de tierras y las secciones transversales en la pantalla gráfica, para poderse agregar a los planos e imprimir.

Es necesario introducir factores de cambios volumétricos y/o desperdicio para el corte y el relleno; para el corte se utilizó 1 y para el relleno 1.25.

La figura 26 muestra el plano 4.12/5 donde se muestran las últimas secciones transversales y las tablas de movimiento de tierras.

#### 4.6.3 Modelo matemático para el cálculo del movimiento de tierras.

El método de cálculo más utilizado por su practicidad es de áreas promedio para el cómputo de los prismoides de volumen de corte y relleno entre dos secciones transversales; las fórmulas son las siguientes...

$$V_{\text{corte}} = d - \frac{Ac_1 + Ac_2}{2}, \text{ y } V_{\text{relleno}} = d - \frac{Ar_1 + Ar_2}{2}; \text{ en donde...}$$

- ✓  $V_{\text{corte}}$  y  $V_{\text{relleno}}$ : Volumen de corte y volumen de relleno, respectivamente,
- ✓  $d$ : distancia entre estaciones o áreas,
- ✓  $Ac_1$  y  $Ac_2$ : Área de corte 1 y área de corte 2, respectivamente, y
- ✓  $Ar_1$  y  $Ar_2$ : Área de relleno 1 y área de relleno 2, respectivamente.

Como ejemplo se calcularán los volúmenes de corte y relleno entre las estaciones 1+920, 1+940 y 1+960.

Entre las estaciones 1+920 y 1+940: Se tienen los valores los siguientes...

$Ac_1=0.889m^2$ ,  $Ac_2=11.817m^2$ ,  $Ar_1=7.554m^2$ ,  $Ar_2=1.256m^2$  y  $d=20m$ ; por lo tanto:

$$V_{\text{corte}} = 20 \times \frac{0.889 + 11.817}{2} = 127.060m^3, \text{ y}$$

$$V_{\text{relleno}} = 20 \times \frac{7.554 + 1.256}{2} = 88.100m^3$$

**Tabla XXXIX – Resultados de las fórmulas.**

					Volúmen	
AC1	AC2	AR1	AR2	d	corte	relleno
0.889	11.817	7.554	1.256	20	127.060	88.100
11.817	15.996	1.256	0.018	20	278.130	12.740

Fuente: Propia.



**Tabla XL – Resultados del programa.**

ESTACIÓN	ÁREAS Metros cuadrados		VOLÚMENES		VOLÚMENES ACUMULADOS Metros Cúbicos	
	CORTE	RELLENO	CORTE	RELLENO	CORTE	RELLENO
1+920	0.889	7.554	106.314	99.092	10678.714	8792.471
1+940	11.817	1.256				
1+960	15.996	0.018	277.074	11.861	10955.788	8804.332
			307.574	0.148	11263.362	8804.480

Fuente: Propia.

Las pequeñas diferencias radican en que las fórmulas consideran el volumen contenido entre dos estacionamientos como prismoides, mientras que el programa utiliza la superficie generada con todas sus interpolaciones intermedias.

#### 4.7 Diseño estructural del pavimento.

Para el diseño estructural del pavimento necesitamos primeramente elegir el método de cálculo respectivo el cual será el método AASHTO, descrito en el capítulo anterior. Para el método AASHTO la fórmula de diseño es:

$$\log_{10} W_{82} = Z_r S_o + 7.35 \log_{10} (D + 25.4) - 10.39 + \frac{\log_{10} \left( \frac{\Delta \text{ PSI}}{4.5-1.5} \right)}{1 + \frac{1.25 \times 10^{19}}{(D + 25.4)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32P_f) \times \log_{10} \left( \frac{M_r C_{dx} (0.09D^{0.75} - 1.132)}{1.51 \times J \left( 0.09D^{0.75} - \frac{7.38}{(E_c/k)^{0.25}} \right)} \right)$$

En donde la definición de las variables se describe en el capítulo anterior.

Previamente debemos definir la clasificación del camino respecto al tráfico previsto o ESAL. Luego se procede a identificar y calcular los parámetros anteriores según se describe en el capítulo anterior; finalmente, para facilitar la utilización y resolución de la ecuación, se utiliza el nomograma AASHTO.

#### 4.7.1 Número previsto de ejes equivalentes de 8.2Tn, ESAL:

Considerando que la estimación presentada en el estudio de mercado del capítulo 2 presenta un estimado TPDA actual de 940 que clasifica ésta carretera como una colectoras rural; sin embargo, a un período de 20 años y una tasa del 2.3% llegará a 1,482 por lo que se calcula en promedio un TPDA=1,192. Además se calculan los demás valores necesarios consultando las tablas respectivas de distribución porcentual de tráfico, cargas por eje y factores de carga equivalentes; con un índice de serviciabilidad final  $P_t=2.0$  y un espesor de losa de 6 pulgadas. El número de ejes por vehículo se consideró como de 1.7 pues el eje delantero es de menor peso que el trasero. De lo anterior se deducen las siguientes tablas...

Tabla XLI – Proyección y determinación del TPDA durante el período de diseño.

Año	TPDA	Año	TPDA
0	940	11	1,208
1	962	12	1,236
2	984	13	1,264
3	1,007	14	1,293
4	1,030	15	1,323
5	1,054	16	1,353
6	1,078	17	1,384
7	1,103	18	1,416
8	1,128	19	1,449
9	1,154	20	1,482
10	1,181		
<b>Total TPDA:</b>			<b>1,192</b>

Fuente: Propia.

**Tabla XLII – Distribución del tránsito respecto a carretera colectora rural.**

Tipo	Porcentaje	Cantidad, TPDA	Carga por eje, KIP	Factor equivalente de carga	ESAL
Sedanes	42	500	2	0.0002	1,243
Pick-ups	39	465	4	0.002	11,541
Autobuses	3	36	16	0.614	274,311
Camiones livianos	6	72	10	0.087	77,736
Camiones medianos	7	83	14	0.353	363,601
Camiones pesados	1	12	18	1	148,920
Camiones articulados	2	24	22	0.319	95,011
<b>Totales</b>	<b>100</b>	<b>1,192</b>			<b>972,363</b>

Fuente: Propia y con referencia a la tabla XIX del capítulo anterior.

#### **4.7.2 Desviación normal estándar ( $Z_r$ ) y su error estándar combinado ( $S_o$ ):**

Éstos son valores estadísticos que relacionan el nivel de confianza ( $R$ ), propuesto en función del valor de ESAL. Se consulta la tabla XXIV en la que para  $ESAL < 5$  millones se obtienen los valores de  $R=75\%$ ,  $Z_r=0.674$ ,  $S_o=0.35$  y Factor de Seguridad asociado,  $FS=1.00$ .

#### **4.7.3 Espesor de pavimento de concreto hidráulico, $D$ :**

Éste es el valor objetivo que se deducirá en el nomograma AASHTO, en milímetros. Éste valor se conjuga con el  $M_r$  y el  $E_c$ ; pues éstos dos son inversamente proporcionales a  $D$ , por lo que de no obtener un valor esperado de  $D$ , se puede modificar los valores de  $M_r$  y  $E_c$  hasta ajustar el valor de  $D$  requerido.

**Fig. 29 – Muestra de plano: Índice general y registro de curvas horizontales y verticales del proyecto.**

#### **4.7.4 Diferencia entre los índices de servicio inicial y final, $\Delta$ PSI:**

Para éste proyecto se asume un  $P_o=4.5$  que se califica 'muy bueno' y un  $P_t=2$  por lo que la diferencia de índices,  $\Delta$ PSI=2.5.

#### **4.7.5 Resistencia media del concreto (en MPa) a flexotracción a los 28 días (método de carga en los tercios de la luz), $M_r$ :**

Este valor representa la fragilidad del concreto no reforzado a soportar momentos. Esta propiedad está directamente relacionada con la resistencia a la compresión simple ( $f'_c$ ) del concreto de la misma edad; según se describe en el capítulo anterior. Ambos valores se deben presentar en MPa. Para éste caso se elige concreto con  $f'_c=24.29$ MPa que según la tabla correspondiente nos proporciona un  $M_r=3.44$ MPa.

#### **4.7.6 Coeficiente de drenaje, $C_d$ :**

Considerando que éste proyecto se estructura en terreno montañoso, que posee una buena cantidad de drenajes transversales, dos ríos y un buen terreno de fundación, se considera 'bueno'. El porcentaje de tiempo en que el suelo colindante se encuentra en condiciones cercanas a la saturación es de entre el 5% y el 25%. Combinando éstos valores y consultando la tabla requerida, el valor apropiado es  $C_d=1.10$ .

#### **4.7.7 Coeficiente de transmisión de cargas en las juntas, $J$ :**

Como éste factor depende de las condiciones de confinamiento en las fronteras y en las juntas de expansión, además si posee acero de refuerzo; entonces el valor asignado será de  $J=3.5$ . Es de hacer notar que un valor alto de  $J$  es malo, mientras que uno bajo por ejemplo de  $J=2.3$  es bueno.

#### 4.7.8 Módulo de elasticidad del concreto, $E_c$ :

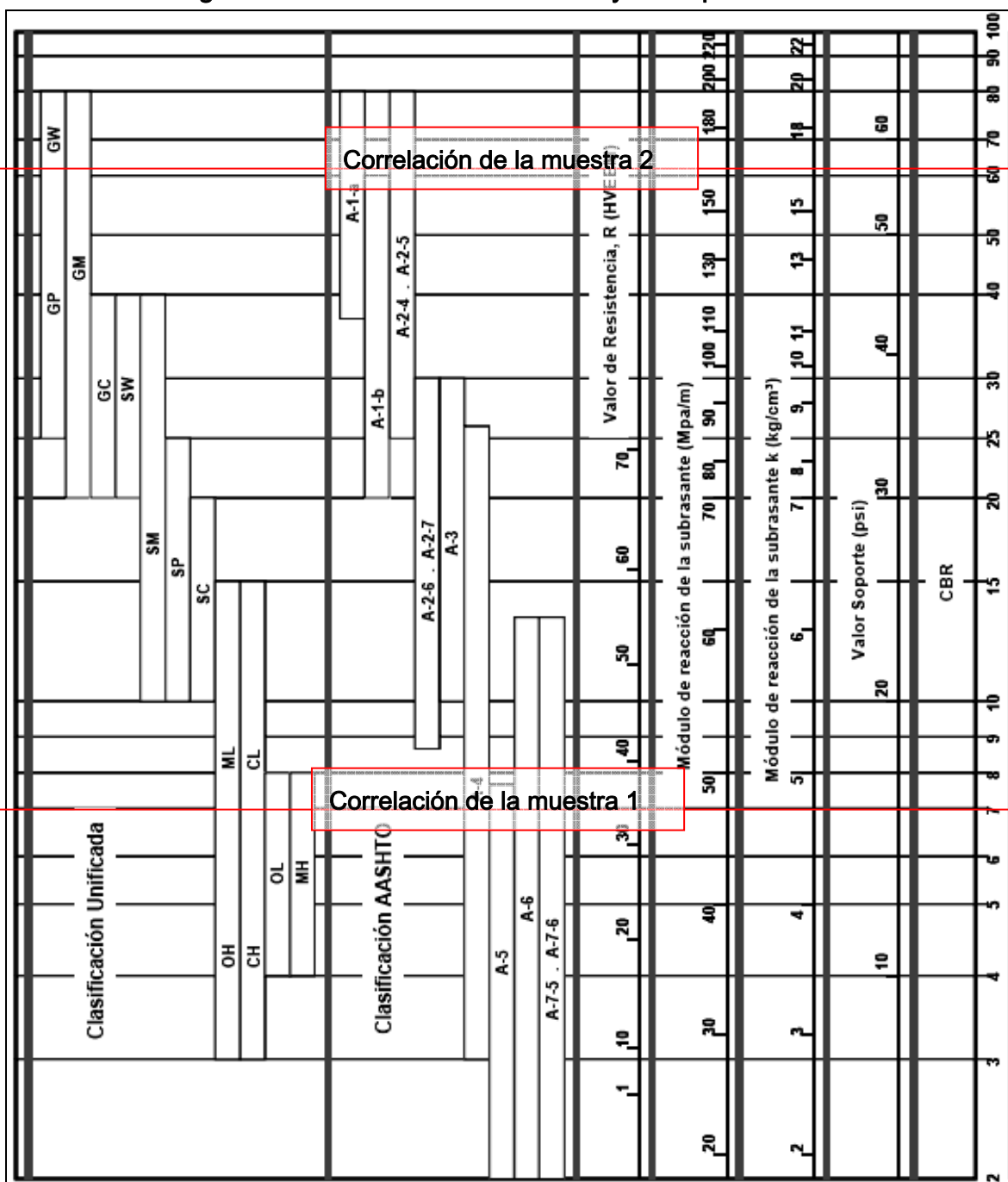
Éste valor está relacionado directamente con la resistencia a la compresión simple ( $f'_c$ ) del concreto de la misma edad. Como ya se eligió un concreto con  $f'_c=25\text{MPa}$  con agregado metamórfico; consultando la tabla respectiva en el capítulo anterior obtenemos un  $E_c=2.35 \times 10^4 \text{MPa}$ .

#### 4.7.9 Módulo de reacción de la subrasante, $k$ :

Para definir el  $k$  apropiado se debe de correlacionar los resultados de laboratorio (APÉNDICE) con las tablas presentadas en el capítulo anterior. El muestreo obtenido del lugar del proyecto, por practicidad se redujo a 2 muestras; una de arcilla limosa que se encuentra al inicio del proyecto y que no cubre más de 400m de longitud y la segunda, una arena limosa, que es una mezcla de tres tomadas en intermedios y final del proyecto; de similares propiedades. El resumen e interpretación de los resultados se presentan a continuación...

- ✓ La muestra uno de aspecto arcilla limosa color café: densidad  $\gamma=1.721\text{T/m}^3$ , humedad óptima  $HO=16.0\%$ ,  $CBR=7.0\%$  relativo al 95% del proctor modificado,  $CBR=15.0\%$  relativo al 99.9% del proctor modificado, límite líquido  $LL=32.2\%$  y límite plástico  $LP=11.8\%$ . Clasificación CSU: CL.
- ✓ La muestra dos de aspecto arena limosa color beige: densidad  $\gamma=1.267\text{T/m}^3$ , humedad óptima  $HO=21.8\%$ ,  $CBR=60.0\%$  relativo al 95% del proctor modificado,  $CBR=80.0\%$  relativo al 99.5% del proctor modificado, límites líquido plástico inexistentes por ser no plástico. Clasificación CSU: SM.
- ✓ Analizando los resultados principalmente del CBR relativo al 95% de compactación se puede observar en referencia al cuadro 3.20 que a la primer muestra le corresponde un  $k=47\text{MPa/m}$  y a la segunda muestra un  $k=160\text{MPa/m}$ .

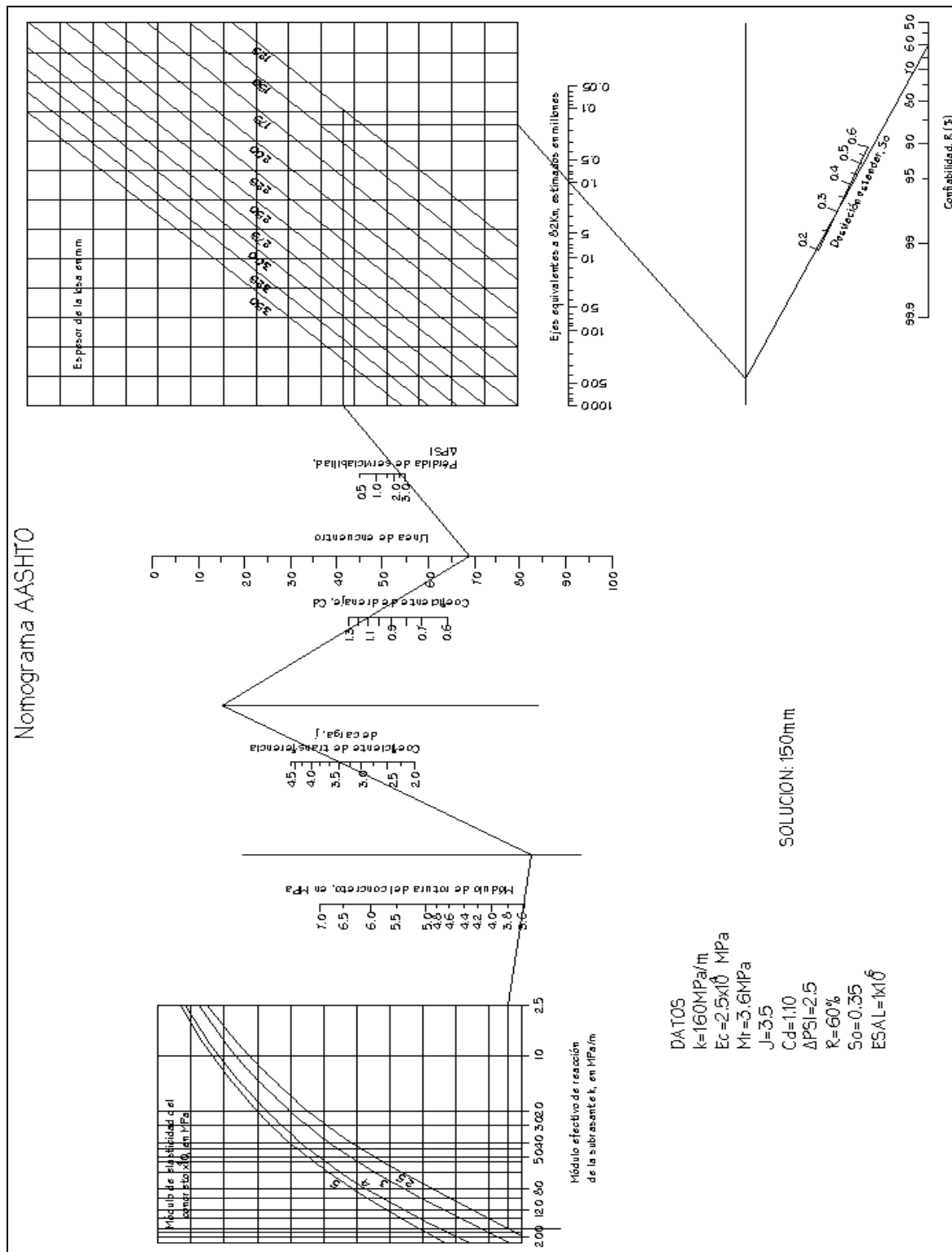
Fig. 30 – Correlación entre el *CBR* y otros parámetros.



Fuente: Propia y referencia a la gráfica 3.20 del capítulo anterior.

Con los anteriores parámetros se procede a determinar el espesor del pavimento utilizando, como ya se indicó, el nomograma.

Fig. 31 - Diseño del espesor del pavimento.



Fuente: Propia.



## 4.8 Evaluación de impacto ambiental.

Para el caso concreto de la carretera objetivo de nuestro estudio se pueden desestimar o minimizar, aunque no eliminar muchos elementos de impacto pues, de hecho el tramo ya existe como *camino de herradura*. Para representar los aspectos fundamentales antes mencionados aplicados a nuestro estudio, asumiremos algunas variables basadas en aspectos generales de rediseño de tramos carreteros y de observaciones dadas directamente en el lugar...

### 4.8.1 El abanico total de los impactos:

Los más importantes impactos de un proyecto carretero sobre el ambiente natural y social, dentro de su zona de influencia directa son: el ruido, el polvo, accidentes y erosión.

### 4.8.2 Cuantificación y medición de éstos impactos.

- ✓ **Ruido:** Factor que cambiará medianamente respecto a las condiciones normales de servicio actuales, pues aunque se espera una mayor afluencia de tránsito vehicular, a la vez se mejorará la superficie de rodadura por una pavimentada que producirá menos ruido de rodamiento de las llantas de los vehículos. También el tiempo que el ruido de un automotor se escuche en un punto específico de la carretera será menor pues su velocidad de diseño es superior a la actual.
- ✓ **Polvo:** El polvo se generará principalmente en la etapa de construcción durante la época seca. En la etapa de servicio éste será mínimo pues la carretera es pavimentada por lo que se mejorará sustancialmente éste aspecto respecto a las condiciones actuales de superficie de balasto; no se descartan casos aislados de algún derrumbe o desborde de alguna quebrada que deje tierra sobre la carpeta de rodadura y que con el viento y/o el paso de los vehículos genera un poco de polvo. Durante la

época seca se pueden esperar algunas polvaredas aisladas levantadas por la corriente de turbulencia del aire que dejan los vehículos pesados.

- ✓ **Accidentes:** Inevitablemente ocurrirán accidentes viales entre automóviles, entre autos y peatones, autos y bicicletas, autos y animales domésticos, y autos y animales silvestres. Incluso podrían suceder accidentes relacionados con derrumbes, hundimientos y árboles caídos. Aunque aquellos donde intervienen las personas tendrán la tendencia a disminuir conforme pasa el tiempo pues éstos necesitan habituarse a la nueva situación de la carretera.
- ✓ **Erosión:** El transporte de suelo será ocasionado principalmente en la etapa de construcción de la carretera debido al movimiento de tierras y al tránsito de maquinaria y camiones de volteo. Ésta erosión disminuirá dramáticamente en la puesta en funcionamiento del proyecto pues la superficie será pavimentada; sin embargo, tanto los taludes de corte como los de relleno del nuevo diseño producirán transporte de material por las lluvias durante el primer invierno, ya que éstos deberán consolidar sus superficies por algún tiempo luego de haberse construido.

#### **4.8.3 Procedimientos a aplicar para evitar, mitigar y compensar por los impactos negativos:**

- ✓ **Para el elemento ruido:** Para éste elemento, en la etapa de construcción se debe especificar que tanto la maquinaria como los vehículos en general posean sus motores y sus sistemas de emisión de gases de escape en perfecto estado; evitar el uso de explosivos y en caso de no ser eludible entonces especificar distancias mínimas respecto a viviendas y actividad pecuaria. Para la puesta en servicio el sonido de los neumáticos al rodar será inevitable, empero éste es relativamente bajo debido a que la carretera es pavimentada.

- ✓ **Para los elementos polvo y erosión:** Los cortes de talud deberán hacerse con las inclinaciones mínimas indicadas en los planos o en su defecto las adecuadas para su estabilidad; los rellenos perfectamente compactados y, en donde el Contratista considere necesario y que el estudio no previó, se podrán construir estructuras de contención de taludes tanto de corte como de relleno para evitar deslizamientos. Respecto a los bancos de materiales, éstos deberán trabajarse en sistema de terrazas estables pues deben quedar seguros luego de su explotación, y se considerará su posterior re-vegetación con especies adecuadas para tal efecto y propias de la región. Para la actividad de movimiento de tierras deberá especificarse que los camiones de transporte se mojen en la parte superior de la carga de suelo y se tapen con lonas adecuadas para el caso. Todos los cauces naturales de ríos y quebradas deberán permanecer libres de material de desperdicio; las quebradas serán dragadas y los botaderos a distancias prudentes de los cuerpos de agua naturales, serán las especificaciones las que definan las distancias mínimas necesarias.
- ✓ **Accidentes de tránsito:** Para evitar o minimizar los efectos de los accidentes se deben colocar obras de protección en las curvas cerradas, principalmente en las ubicadas en pendientes superiores al 10%, debida señalización preventiva y normativa. Donde se considere prioritario para la conservación de la vida de personas y semovientes se podrán colocar túmulos pequeños, vibradores o reductores de velocidad con sus áreas debidamente pintadas con pintura fluorescente para pavimento, colocando su correspondiente señalización preventiva. También cuando el caso lo amerite deberán construirse pasos peatonales, por ejemplo en las cercanías de centros de estudio, iglesias, instalaciones deportivas o similares que congregue personas en áreas y horarios determinados del día.



## CONCLUSIONES

- 1 En este documento de Trabajo Final de Graduación se presenta el desarrollo de la planificación y diseño del proyecto denominado: ESTUDIO Y DISEÑO DE CARRETERA PAVIMENTADA EN CAMINO QUE COMUNICA A ALDEA EL TEOCINTE, STA. CRUZ NARANJO, CON ALDEA EL SALITRE, STA. ROSA DE LIMA, DEPTO. DE SANTA ROSA.
- 2 Teniendo ya la planificación del proyecto carretero y luego de su ejecución física, las poblaciones del municipio de Santa Cruz Naranjo, además de los municipios del norte de Santa Rosa serán beneficiados con una vía alterna más cómoda y rápida para comunicarse entre ellos. Así mismo, las actividades productivas y comerciales se incrementarán alrededor del proyecto.
- 3 Para el desarrollo de este estudio técnico de EPS he puesto gran empeño y esfuerzo; poniendo en práctica los conocimientos adquiridos en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, y con ello se deja al municipio de Santa Cruz Naranjo un trabajo de calidad.
- 4 Respecto al diseño, el pavimento rígido se concluye que es el idóneo para este proyecto, ya que la topografía y geología del lugar son críticos respecto al alto riesgo de derrumbes, corrientes de agua y erosión de suelo. Aunque su costo inicial es relativamente un poco más caro que el pavimento flexible, a través del tiempo se compensa con creces ésta diferencia debido a su alta resistencia a los elementos naturales y a su poco mantenimiento. El diseño geométrico se basó en parámetros de la DCG y SIECA.



## RECOMENDACIONES

- 1 A LA MUNICIPALIDAD DE SANTA CRUZ NARANJO:** Se le exhorta a iniciar las gestiones para conseguir el financiamiento o la solicitud para la ejecución del proyecto; el cual se presenta la planificación en éste documento. Este proyecto revitalizará social y económicamente al municipio.
- 2 A LA OFICINA MUNICIPAL DE PLANIFICACIÓN:** Desarrollar un plan municipal de mantenimiento de carreteras y caminos rurales, pues los caminos actuales están muy descuidados; debe tratarse especialmente el mantenimiento de cunetas y drenajes transversales. El nuevo tramo carretero necesitará mantenimiento preventivo y correctivo.
- 3 RESPECTO AL PUENTE SOBRE EL RÍO LAS CAÑAS:** En el estacionamiento 2+860 el proyecto atraviesa por el puente que divide a los municipios de Santa Cruz Naranjo con Santa Rosa de Lima. Es necesario hacer un estudio de las condiciones de dicho puente, ya que se ve que carece de diseño formal. Por el tráfico que éste tramo soportará ya construido, será necesario diseñarlo bajo la norma HS-20 de la AASHTO.
- 4 A LAS PERSONAS QUE UTILICEN ESTE TRABAJO DE GRADUACIÓN COMO GUÍA DE DISEÑO:** Aunque la Secretaría de Integración Económica de Centroamérica, SIECA, presenta en su manual **NORMAS PARA EL DISEÑO GEOMÉTRICO DE LAS CARRETERAS REGIONALES** algunas tablas para definir las curvas horizontales, éstas son poco prácticas por lo que se adecuan mejor las del Departamento de Ingeniería de la Dirección General de Caminos.

**5 RESPECTO AL ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL:** Si bien, en éste documento se presenta una breve reseña del Estudio de Impacto Ambiental. Deberá hacerse un EIA más detallado y específico respecto a la flora y la fauna, y más que medidas de mitigación; deberá plantearse un plan permanente de manejo del impacto ambiental. Deberá manejarse con especial atención en dicho estudio el fenómeno de erosión del suelo arenolimoso predominante en los alrededores del proyecto. Para el manejo de la cuenca se puede considerar la siembra de pino que se nota que es propia del lugar.



## BIBLIOGRAFÍA

- 1 Dirección General de Caminos. **ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS Y PUENTES**. Ministerio de Comunicaciones Infraestructura y Vivienda. Diciembre 2000.
- 2 Instituto Colombiano de Productores de Cemento, ICPC. **Boletín ICPC**. Revista No. 54: Medellín, julio – septiembre de 1991.
- 3 Valladares, Jorge Alejandro. **GUÍA TEÓRICO-PRÁCTICA PARA EL CURSO DE VÍAS TERRESTRES 1**. Tesis Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. Noviembre de 2001.
- 4 Paz Stubbs, Ana Luisa. **PAVIMENTOS, TIPOS Y USOS**. Tesis Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. Junio de 2000.
- 5 Secretaría de Integración Económica de Centroamérica, SIECA. **MANUAL CENTROAMERICANO PARA DISEÑO DE PAVIMENTOS**. Consejo Sectorial de Ministros de Transporte de Centroamérica. Noviembre de 2002.
- 6 Secretaría de Integración Económica de Centroamérica, SIECA. **NORMAS PARA EL DISEÑO GEOMÉTRICO DE LAS CARRETERAS REGIONALES**. Consejo Sectorial de Ministros de Transporte de Centroamérica. Febrero de 2001.



## APÉNDICE

TABLA RESÚMEN DE RENGLONES DE TRABAJO Y SUS CANTIDADES A EJECUTAR.

Unidades totales a ejecutar:		3.616 Km
<i>Renglón</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Unidad</i>
Movimiento de tierras	28,566.40	m <sup>2</sup>
Drenajes transversales de 9m	18.00	u
Colocación de base	28,566.40	m <sup>2</sup>
Carpeta de rodadura y bordillos	23,504.00	m <sup>2</sup>
Cunetas	2,880.00	ml
Corte y sello de juntas de expansión	13,138.10	ml

### EJEMPLO: RECORTE DE LAS ESPECIFICACIONES ESPECIALES.

#### 4 CARPETA DE RODADURA Y BORDILLOS :

El renglón consiste en el encofrado, hecha de la mezcla, debida colocación, texturización y curado del concreto para formar la carpeta de rodadura monolítica con los bordillos.

**4.1 Formaleteado:** El formaleteado se hará formado rectángulos a un lado de la línea central del camino con el espesor requerido. Se podrán armar en tipo tablero de ajedrez o en un sólo lado del camino, a conveniencia del Contratista pero alterando lo menos posible el tránsito normal del tramo. La madera que se utilice debe de poseer una cara limpia y pulida a la cual se le añadirá una capa de aceite u otro material desencofrante; el desencofrado de una plancha en particular se realizará no antes de pasadas 72hr. Se recomienda utilizar la mayor cantidad de material encofrante metálico.

**4.2 Hecha de la mezcla:** Para la elaboración de la mezcla se contará con concretera mecánica de 1 ó 2 sacos a conveniencia del Contratista; de preferencia camión concretero. La calidad y cuidado de los materiales se hará conforme la División 500 del Libro Azul de la Dirección General de Caminos. En general los materiales deben de ser de buena calidad, estar libres de impurezas; el cemento de tipo 5,000psi de reciente fabricación y correcto almacenamiento. La proporción volumétrica recomendada es la 1:2:2 respecto a cemento, arena, grava; la cantidad de agua depende de algunos factores climáticos y de los áridos a utilizar sin embargo 250L/m<sup>3</sup> es una cantidad razonable si se puede aplicar. La finalidad es conseguir un revenimiento de entre 5cm y 7cm en el cono de Abrahams sin aditivos.

**4.3 Debida colocación:** La mezcla ya hecha se transportará no más de 25m desde el lugar de fabricación al lugar de colocación, en carretillas de mano (sino se contara con equipo de bombeo de concreto), cubetas u otro equivalente. El transporte de distancias mayores produce segregación y/o lechocidad en la mezcla recién hecha generando pérdida de homogeneidad en el elemento de concreto ya terminado. Se utilizará equipo de vibración para concreto para eliminar vacíos internos en éste, el uso de éste equipo debe de hacerse de manera apropiada para no segregar el concreto fresco. Las rastras deben de ser suficientemente rígidas para garantizar la uniformidad superficial de las planchas, como también de aspecto liso/pulido ya sea que éstas sean de madera, metal u otro aceptado por el Supervisor.

**4.4 Texturización:** Éste proceso consiste en que, cuando la superficie está ya uniforme en sus niveles y el concreto aún fresco, por medio de algún método o mecanismo se le agregue textura a la superficie. No se exige un estándar, no obstante se requiere que ésta no quede muy lisa pero tampoco demasiado áspera; la textura adecuada es la del cernido, en pendientes

livianas y la del paso de una escoba (o similar), en pendientes moderadas hasta llegar a ranuras de 3/8" a cada 15cm, en pendientes pronunciadas. En todo caso se le solicitará al Supervisor que apruebe el método que el Contratista sugiera.

- 4.5 Curado del concreto:** Es responsabilidad entera del Contratista velar que su trabajo se conserve para su recepción, la cual se hará 28 días luego de haber terminado el proceso de colocación de la carpeta de rodadura. El curado se hará colocando una capa de *antisol* inmediatamente después de texturizar las planchas, esto protegerá el fraguado durante los primeros 7 días, el proceso podrá repetirse cada 7 días si las condiciones no son favorables, además pueden utilizarse otras técnicas alternativas como mantas húmedas, riego con agua, capas de selecto humedecida periódicamente u otro que al Contratista convenga y apruebe la Supervisión.



# ENSAYO DE CBR: MUESTRA 1.



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



INFORME No.: 209 S.S. O.T. No.: 17948

Interesado: JAIME MONTERROSO CARAVANTES (91-19271) Norma: A.A.S.H.T.O. T-193

Asunto: Ensayo de Razón Soporte California (C.B.R.)

Proyecto: Ejercicio Profesional Supervisado.

Ubicación: Santa Cruz Naranjo, Santa Rosa.

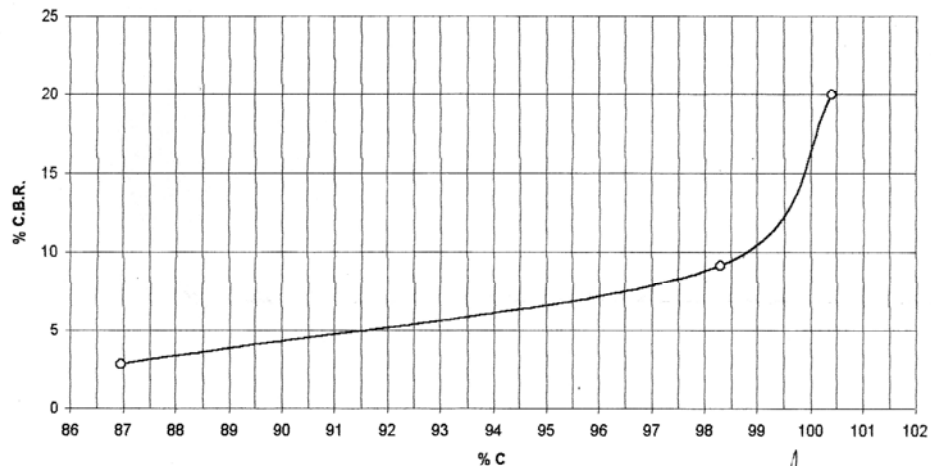
Descripción del suelo: Arcilla arenosa color café.

Muestra No.: 1

Fecha: 21 de septiembre de 2004

PROBETA	GOLPES	A LA COMPACTACION		C (%)	EXPANSION (%)	C.B.R. (%)
		H (%)	$\gamma_d$ kg/m <sup>3</sup>			
1	10	15.4	1496.3	86.96	1.8	2.8
2	30	15.4	1380.9	98.30	1.5	9.1
3	65	15.4	1410.6	100.40	0.9	20.0

**GRAFICA DE % C.B.R.-% DE COMPACTACION**



Atentamente,

Vo. Bo.:

Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz  
DIRECTOR CI/USAC



Ing. Flor de María González Culajay  
Sección Mecánica de Suelos



FACULTAD DE INGENIERIA -USAC  
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12  
Teléfono directo 476-3992. Planta 443-9500 Ext. 1502. FAX: 476-3993  
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Propia.

# ENSAYO DE GRANULOMETRÍA: MUESTRA 1.



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



INFORME No. 210 S.S. O.T. No. 17,948

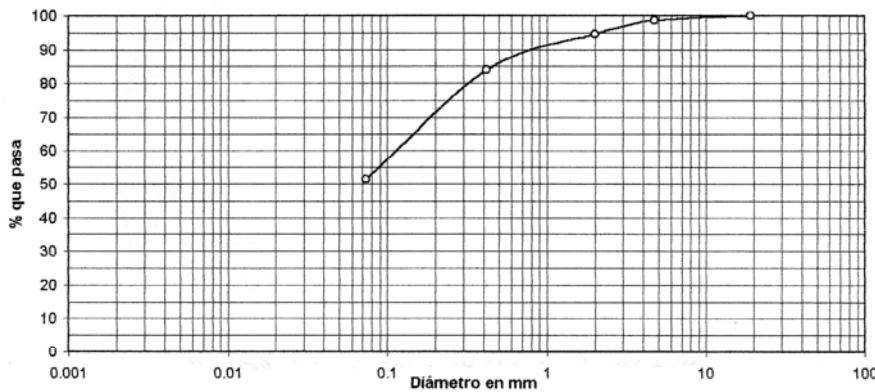
Interesado: JAIME MONTERROSO CARAVANTES (91-19271)  
 Tipo de Ensayo: Análisis Granulométrico, con tamices y lavado previo.  
 Norma: A.A.S.H.T.O. T-27  
 Proyecto: Ejercicio Profesional Supervisado  
 Procedencia: Santa Cruz Naranjo, Santa Rosa.  
 Fecha: 21 de septiembre de 2004  
 Muestra No. 1

Análisis con Tamices:		
Tamiz	Abertura (mm)	% que pasa
3/4"	19.05	100.00
4	4.76	98.64
10	2.00	94.59
40	0.42	83.85
200	0.074	51.33

% de Grava: 1.4  
 % de Arena: 47.3  
 % de Finos: 51.3

Gs:

Análisis por Sedimentación:	
Diámet. mm.	% que pasa



Descripción del suelo: Arcilla arenosa color café.  
 Clasificación: S.C.U.: CL P.R.A.: A-6  
 Observaciones: Muestra tomada por el interesado.

Atentamente,

Vo. Bo.   
 Ing. Francisco Javier Guzmán de La Cruz  
 DIRECTOR CII/USAC.



Inga. Flor de María González Guajay  
 Jefe Sección Mecánica de Suelos



FACULTAD DE INGENIERIA -USAC  
 Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12  
 Teléfono directo 476-3992. Planta 443-9500 Ext. 1502. FAX: 476-3993  
 Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Propia.



# ENSAYO DE LÍMITES DE ATTEMBERG: MUESTRA 1.



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



INFORME No. 211 S.S.

O.T. No. 17,948

Interesado: JAIME MONTERROSO CARAVANTES (91-19271)  
 Proyecto: Ejercicio Profesional Supervisado  
 Asunto: ENSAYO DE LIMITES DE ATTEMBERG  
 Norma: AASHTO T-89 Y T-90

Ubicación: Santa Cruz Naranjo, Santa Rosa.

FECHA: 21 de septiembre de 2004

**RESULTADOS:**

ENSAYO No.	MUESTRA No.	L.L. (%)	I.P. (%)	C.S.U. *	DESCRIPCION DEL SUELO
1	1	32.2	11.8	CL	Arcilla color café.

(\*) C.S.U. = CLASIFICACION SISTEMA UNIFICADO

Observaciones: Muestra tomada por el interesado.

Atentamente,

Vo. Bo.

*Francisco Javier Quiñonez de la Cruz*  
 Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz  
 DIRECTOR CII/USAC



*Inga. Flor de María González Culajay*  
 Inga. Flor de María González Culajay  
 Jefe Sección Mecánica de Suelos



FACULTAD DE INGENIERIA -USAC  
 Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12  
 Teléfono directo 476-3992. Planta 443-9500 Ext. 1502. FAX: 476-3993  
 Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Propia.

## ENSAYO DE COMPACTACIÓN: MUESTRA 2.

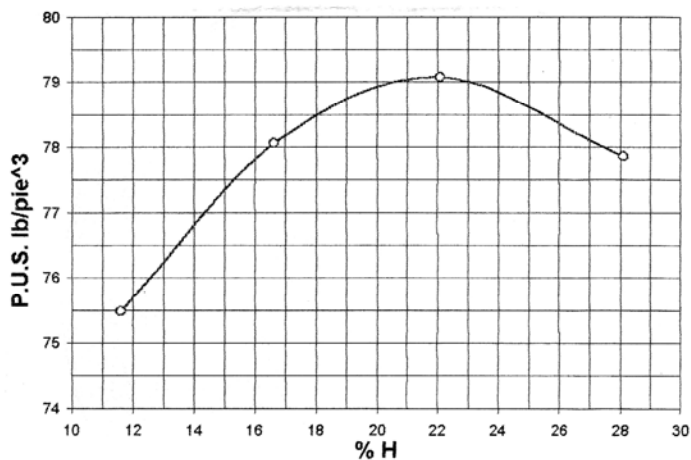


CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



INFORME No.: 212 S.S. O.T. No.: 17948  
Interesado: JAIME MONTERROSO CARAVANTES (91-19271)  
Asunto: ENSAYO DE COMPACTACIÓN. Proctor Estándar: ( ) Norma:  
Proctor Modificado: (X) Norma: A.A.S.T.H.O. T-180  
Proyecto: Ejercicio Profesional Supervisado  
Ubicación: Santa Cruz Naranjo, Santa Rosa.  
Fecha: 21 de septiembre de 2004

GRAFICA DE DENSIDAD SECA-HUMEDAD RELATIVA



Muestra No.: 2  
Descripción del suelo: Arena pómez limosa color beige.  
Densidad seca máxima  $\gamma_d$ : 1.267 t/m<sup>3</sup> 79.1 lb/pe<sup>3</sup>  
Humedad óptima Hop.: 21.8 %  
Observaciones: Muestra proporcionada por el interesado.

Atentamente,

Vo. Bo.:

Ing. Francisco Javier Guzmán de la Cruz  
DIRECTOR CII/USAC



Inga. Flor de María González Culañay  
Jefe Sección Mecánica de Suelos



FACULTAD DE INGENIERIA -USAC  
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12  
Teléfono directo 476-3992. Planta 443-9500 Ext. 1502. FAX: 476-3993  
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Propia.

## ENSAYO DE CBR: MUESTRA 2.



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



INFORME No.: 213 S.S. O.T. No.: 17948

Interesado: JAIME MONTERROSO CARAVANTES (91-19271) Norma: A.A.S.H.T.O. T-193

Asunto: Ensayo de Razón Soporte California (C.B.R.)

Proyecto: Ejercicio Profesional Supervisado

Ubicación: Santa Cruz Naranjo, Santa Rosa

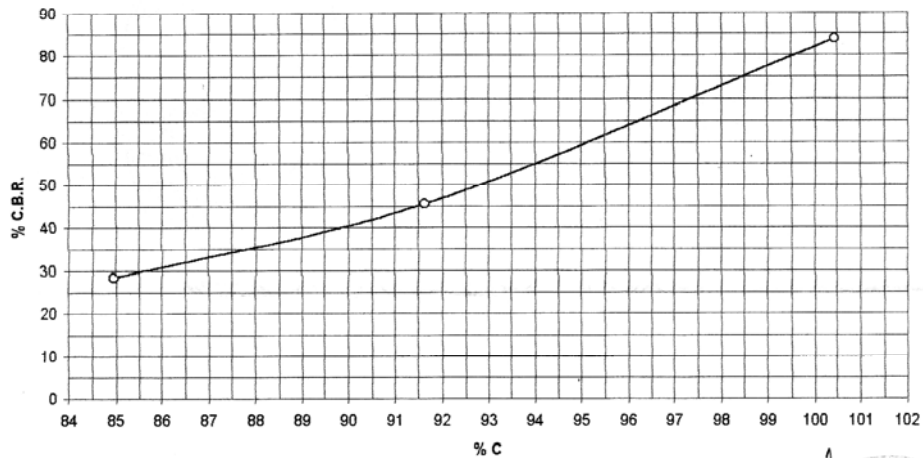
Descripción del suelo: Arena pómez limosa color beige.

Muestra No.: 2

Fecha: 21 de septiembre de 2004

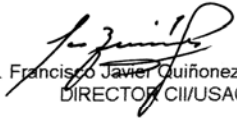
PROBETA No.	GOLPES No.	A LA COMPACTACION		C (%)	EXPANSION (%)	C.B.R. (%)
		H (%)	$\gamma_d$ kg/m <sup>3</sup>			
1	10	22.2	1076.5	84.95	0.0	28.4
2	30	22.2	1161.5	91.64	0.0	45.5
3	65	22.2	1273.6	100.45	0.0	83.8

**GRAFICA DE % C.B.R.-% DE COMPACTACION**



Atentamente,

Vo. Bo.:

  
 Ing. Francisco Javier Quiñonez de Guzmán  
 DIRECTOR CII/USAC



  
 Ing. Flor de María González Cuijaj  
 Sección Mecánica de Suelos



FACULTAD DE INGENIERIA-USAC  
 Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12  
 Teléfono directo 476-3992. Planta 443-9500 Ext. 1502. FAX: 476-3993  
 Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Propia.

## ENSAYO DE GRANULOMETRÍA: MUESTRA 2.



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



INFORME No. 214 S.S.

O.T. No. 17,948

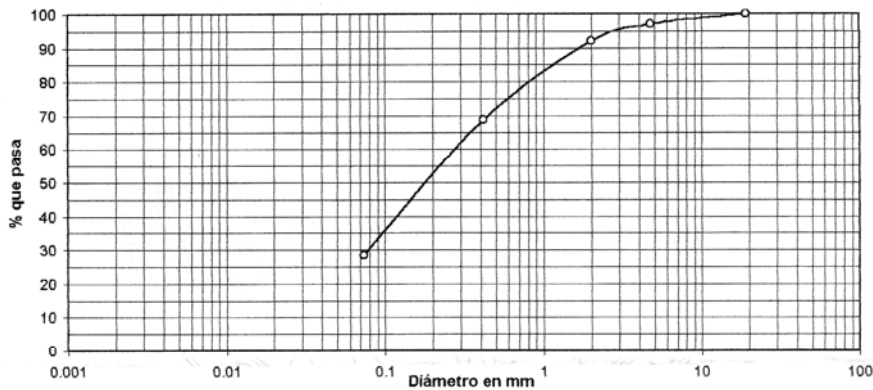
Interesado: JAIME MONTERROSO CARAVANTES (91-19271)  
 Tipo de Ensayo: Análisis Granulométrico, con tamices y lavado previo.  
 Norma: A.A.S.H.T.O. T-27  
 Proyecto: Ejercicio Profesional Supervisado  
 Procedencia: Santa Cruz Naranjo, Santa Rosa.  
 Fecha: 21 de septiembre de 2004  
 Muestra No. 2

Análisis con Tamices:		
Tamiz	Abertura (mm)	% que pasa
3/4"	19.05	100.00
4	4.76	97.05
10	2.00	91.93
40	0.42	68.76
200	0.074	28.35

% de Grava: 2.9  
 % de Arena: 68.7  
 % de Finos: 28.4

Gs:

Análisis por Sedimentación:	
Diámet. mm.	% que pasa



Descripción del suelo: Arena pomez limosa color beige.  
 Clasificación: S.C.U.: SM P.R.A.: A-2-4  
 Observaciones: Muestra tomada por el interesado.

Atentamente,

Vo. Bo.   
 Ing. Francisco Javier Quiñones de La Cruz  
 DIRECTOR CIUSAC.



Inga. Flor de María González Culañay  
 Jefe Sección Mecánica de Suelos



FACULTAD DE INGENIERIA -USAC  
 Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12  
 Teléfono directo 476-3992. Planta 443-9500 Ext. 1502. FAX: 476-3993  
 Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Propia.

## ENSAYO DE LÍMITES DE ATTEMBERG: MUESTRA 2.



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



INFORME No. 215 S.S.

O.T. No. 17,948

Interesado: JAIME MONTERROSO CARAVANTES (91-19271)  
 Proyecto: Ejercicio Profesional Supervisado  
 Asunto: ENSAYO DE LIMITES DE ATTERBERG  
 Norma: AASHTO T-89 Y T-90

Ubicación: Santa Cruz Naranjo, Santa Rosa.

FECHA: 21 de septiembre de 2004

**RESULTADOS:**

ENSAYO No.	MUESTRA No.	L.L. (%)	I.P. (%)	C.S.U. *	DESCRIPCION DEL SUELO
1	2	MATERIAL NO PLASTICO			Arena pómez color beige.

(\*) C.S.U. = CLASIFICACION SISTEMA UNIFICADO

Observaciones: Muestra tomada por el interesado.

Atentamente,

Vo. Bo.

*[Signature]*  
 Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz  
 DIRECTOR CII/USAC



*[Signature]*  
 Inga. Flor de María González Culajay  
 Jefe Sección Mecánica de Suelos



FACULTAD DE INGENIERIA -USAC  
 Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12  
 Teléfono directo 476-3992. Planta 443-9500 Ext. 1502. FAX: 476-3993  
 Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Propia.

**MUESTRA DE TRABAJO NIVELES DE RASANTE. PRIMERA PÁGINA**

						Ancho nominal de carpeta:	5.500	m
	<b>Elemento</b>		<b>Pendiente</b>			<b>Nivel</b>		
<b>Estación</b>	<b>Vertical</b>	<b>Horizontal</b>	<b>Long</b>	<b>Izq</b>	<b>Der</b>	<b>Izq</b>	<b>Lc</b>	<b>Der</b>
0+000	Inicio	Inicio	0.786%	-2.00%	-2.00%	499.945	500.000	499.945
0+020	tan	tan	0.786%	-2.00%	-2.00%	500.102	500.157	500.102
0+040	tan	tan	0.786%	-2.00%	-2.00%	500.259	500.314	500.259
0+041	tan	Pc	0.786%	-2.90%	2.90%	500.243	500.322	500.402
0+057.5	Pcv	Ch1	0.786%	-5.63%	5.63%	500.297	500.452	500.607
0+060	Cv1	Ch1	0.544%	-5.80%	5.80%	500.306	500.466	500.625
0+075.01	Cv1	Pt	-1.123%	-2.90%	2.90%	500.217	500.297	500.377
0+080	Cv1	tan	-3.033%	-2.00%	-2.00%	500.091	500.146	500.091
0+082.5	Ptv	tan	-3.744%	-2.00%	-2.00%	499.997	500.052	499.997
0+100	tan	tan	-3.984%	-2.00%	-2.00%	499.300	499.355	499.300
0+120	tan	tan	-3.984%	-2.00%	-2.00%	498.503	498.558	498.503
0+140	tan	tan	-3.984%	-2.00%	-2.00%	497.706	497.761	497.706
0+160	tan	tan	-3.984%	-2.00%	-2.00%	496.909	496.964	496.909
0+180	tan	tan	-3.984%	-2.00%	-2.00%	496.113	496.168	496.113
0+189.07	tan	Pc	-3.984%	-2.40%	2.40%	495.740	495.806	495.872
0+200	tan	Ch2	-3.984%	-4.80%	4.80%	495.239	495.371	495.503
0+218.14	tan	Pt	-3.984%	-2.40%	2.40%	494.582	494.648	494.714
0+220	tan	tan	-3.984%	-2.00%	-2.00%	494.519	494.574	494.519
0+240	tan	tan	-3.984%	-2.00%	-2.00%	493.722	493.777	493.722
0+244.28	tan	Pc	-3.984%	4.20%	-4.20%	493.722	493.607	493.491
0+260	tan	Ch3	-3.984%	8.40%	-8.40%	493.211	492.980	492.749
0+280	tan	Ch3	-3.984%	7.76%	-7.76%	492.397	492.184	491.970
0+289.97	tan	Pt	-3.984%	4.20%	-4.20%	491.902	491.786	491.671
0+300	tan	tan	-3.984%	-2.00%	-2.00%	491.332	491.387	491.332
0+320	tan	tan	-3.984%	-2.00%	-2.00%	490.535	490.590	490.535
0+330.08	tan	Pc	-3.984%	-2.00%	-2.00%	490.133	490.188	490.133
0+340	tan	Ch4	-3.984%	-2.00%	-2.00%	489.738	489.793	489.738
0+360	tan	Ch4	-3.984%	-2.00%	-2.00%	488.941	488.996	488.941
0+360.59	tan	Pt	-3.984%	-2.00%	-2.00%	488.918	488.973	488.918
0+380	tan	tan	-3.984%	-2.00%	-2.00%	488.145	488.200	488.145
0+400	tan	tan	-3.984%	-2.00%	-2.00%	487.348	487.403	487.348
0+420	tan	tan	-3.984%	-2.00%	-2.00%	486.551	486.606	486.551
0+440	tan	tan	-3.984%	-2.00%	-2.00%	485.754	485.809	485.754
0+460	tan	tan	-3.984%	-2.00%	-2.00%	484.957	485.012	484.957

Fuente: Propia.

## MUESTRA DE INTEGRACIÓN DE PRECIOS UNITARIOS. PRIMERA PÁGINA.

<b>PRESUPUESTO DE CONSTRUCCIÓN</b>						
Proyecto:	<b>CARRETERA PAVIMENTADA EN CAMINO QUE COMUNICA A ALDEA EL TEOCINTE (STA. CRUZ NJO.) CON ALDEA EL SALITRE (STA. ROSA DE LIMA)</b>					
Renglón:	<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>					
Descripción:	En este se contemplan todas las actividades necesarias para realizar los cortes y rellenos necesarios para las geometría mostrada en los planos. Así como también dejar conformada y compactada la subrasante.					
	Datos			Espesores medios		
	Corte:	22,000.00	m <sup>2</sup>	...de corte:	0.770	m
	Relleno:	14,000.00	m <sup>2</sup>	...de relleno:	0.490	m
	Subrasante:	28,566.40	m <sup>2</sup>			
				Unidades a ejecutar:	28,566.40	m <sup>2</sup>
	<b>MANO DE OBRA</b>					
	<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor/U</b>	<b>Costo</b>	
	Bodega y guardiana	15	día	Q 100.00	Q 1,500.00	Q 1,500.00
	<b>MAQUINARIA Y EQUIPO</b>					
	<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor/U</b>	<b>Costo</b>	
	Retroexcavadora	880	hr	Q 300.00	Q 264,000.00	
	Motoniveladora	229	hr	Q 400.00	Q 91,600.00	
	Rodo compactador	229	hr	Q 250.00	Q 57,250.00	
	Regadora	29	día	Q 900.00	Q 26,100.00	
	Transporte liviano	15	día	Q 250.00	Q 3,750.00	Q 442,700.00
	*5% respecto a los materiales				Suma costos directos:	Q 444,200.00
<b>INDIRECTOS</b>		<b>Rubro</b>	<b>%</b>	<b>Sobre</b>	<b>Valor</b>	
		Supervisión	5%	444,200.00	Q 22,210.00	
		Imprevistos	5%	444,200.00	Q 22,210.00	
		Prestaciones laborales	20%	1,500.00	Q 300.00	
		Administración y Oficina	5%	444,200.00	Q 22,210.00	
				Suma Indirectos de Construcción:	Q 66,930.00	
		Utilidad	10%	511,130.00	Q 51,113.00	
		Impuestos	15%	562,243.00	Q 84,336.45	
			Suma Total de Indirectos:	Q 202,379.45		
				Suma Directos + Indirectos:	Q 646,579.45	
Unidad:	El metro cuadrado en planta de sub-rasante				PU:	Q 22.63
				Precio Ajustado de este renglón:	Q 646,457.63	

Fuente: Propia.

## RESÚMENES DE INTEGRACIÓN DE PRECIOS UNITARIOS POR RENGLÓN.

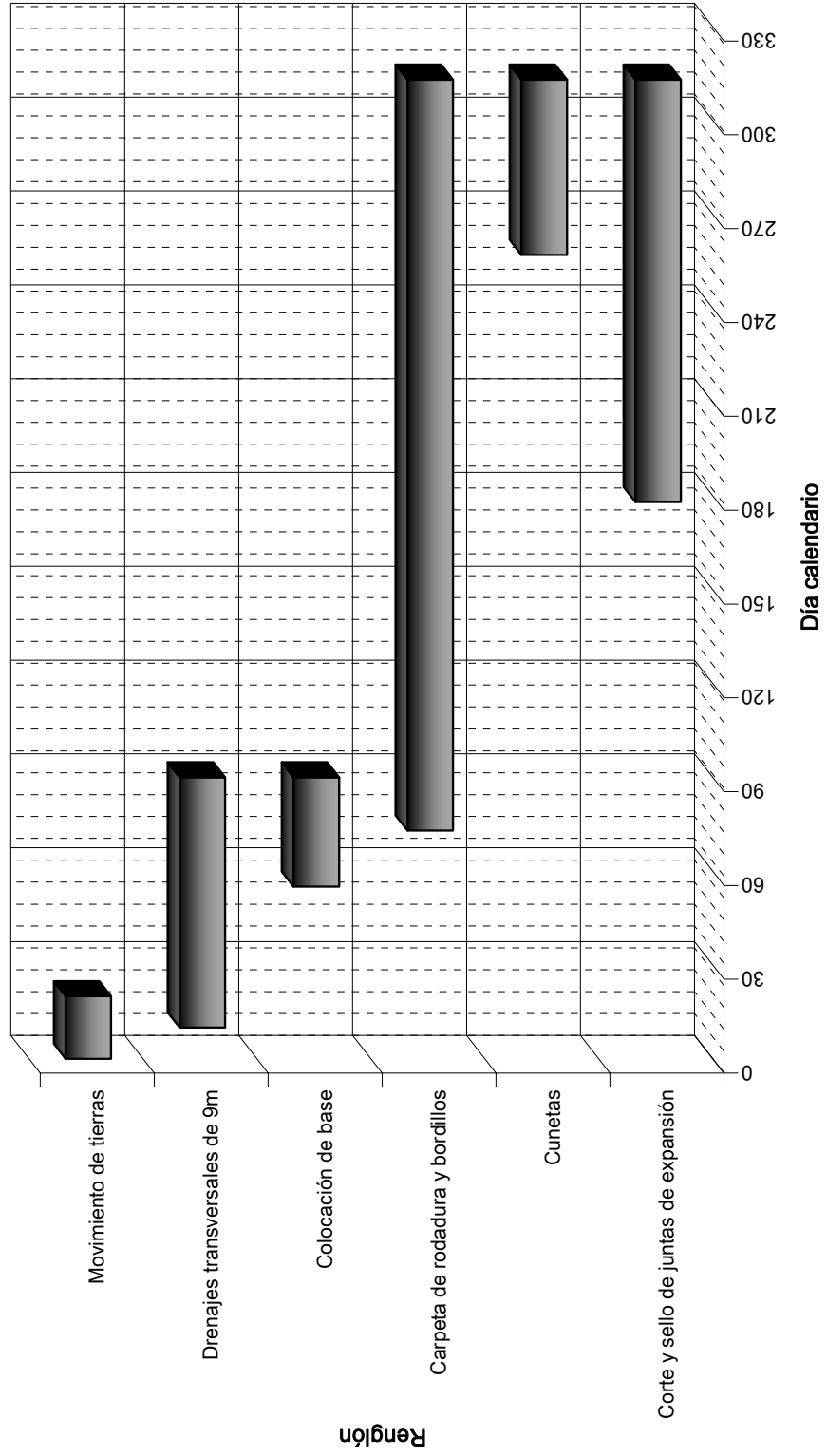
<b>RESUMENES</b>						
<b>RESÚMEN DE PRECIOS UNITARIOS POR RENGLÓN</b>						
Unidades a ejecutar:			3.616	Km del proyecto		
<i>Renglón</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Unidad</i>	<i>PU</i>	<i>S/total</i>	<i>%</i>	
Movimiento de tierras	28,566.40	m <sup>2</sup>	Q 22.63	Q 646,457.63	6.8%	
Drenajes transversales de 9m	18.00	u	Q 14,937.00	Q 268,866.00	2.8%	
Colocación de base	28,566.40	m <sup>2</sup>	Q 27.03	Q 772,149.79	8.2%	
Carpeta de rodadura y bordillos	23,504.00	m <sup>2</sup>	Q 280.37	Q 6,589,816.48	69.6%	
Cunetas	2,880.00	ml	Q 348.89	Q 1,004,803.20	10.6%	
Corte y sello de juntas de expansión	13,138.10	ml	Q 13.80	Q 181,305.78	1.9%	
			Total:	<b>Q 9,463,398.88</b>	<b>100.0%</b>	
			Precio unitario final/m <sup>2</sup> :	<b>Q 2,617,090.40</b>		
<b>RESÚMEN DE INTEGRACIÓN DE PRECIOS POR RENGLÓN</b>						
<i>Renglón</i>	<i>Materiales</i>	<i>MO</i>	<i>M&amp;E</i>	<i>Indirectos</i>	<i>S/T</i>	
Movimiento de tierras	Q -	Q 1,500.00	Q 442,700.00	Q 202,379.45	Q 646,457.63	
Drenajes transversales de 9m	Q 107,538.00	Q 37,194.00	Q 33,618.90	Q 90,515.18	Q 268,866.00	
Colocación de base	Q 347,090.00	Q 2,600.00	Q 181,154.50	Q 241,401.56	Q 772,149.79	
Carpeta de rodadura y bordillos	Q 3,043,015.00	Q 837,866.00	Q 503,190.80	Q 2,205,636.75	Q 6,589,816.48	
Cunetas	Q 385,573.00	Q 182,742.00	Q 90,618.70	Q 345,883.85	Q 1,004,803.20	
Corte y sello de juntas de expansión	Q 46,960.00	Q 33,054.00	Q 38,858.00	Q 62,419.70	Q 181,305.78	
	<b>Q 3,930,176.00</b>	<b>Q 1,094,956.00</b>	<b>Q 1,290,140.90</b>	<b>Q 3,148,236.49</b>	<b>Q 9,463,398.88</b>	
	Porcentajes:	41.5%	11.6%	13.6%	33.3%	100.0%
			Suma de costos directos, M+MO+M&E:	Q 6,315,272.90	66.7%	
			Suma de costos indirectos:	Q 3,148,236.49	33.3%	
<b>RESÚMEN DE INTEGRACIÓN GENERAL DE INDIRECTOS</b>						
<b>INDIRECTOS</b>	<i>Rubro</i>	<i>%</i>	<i>Sobre</i>	<i>Valor</i>		
	Supervisión	5%	Q 315,272.90	Q 315,763.65		
	Imprevistos	5%	Q 315,272.90	Q 315,763.65		
	Prestaciones laborales	20%	1,094,956.00	Q 218,991.20		
	Administración y Oficina	5%	Q 315,272.90	Q 315,763.65		
	Suma Indirectos de Construcción:			Q 1,166,282.15		
	Utilidad	10%	7,481,555.05	Q 748,155.51		
	Impuestos	15%	8,229,710.56	Q 1,234,456.58		
			Suma Total de Indirectos:	Q 3,148,894.24		
				Suma Directos + Indirectos:	Q 9,464,167.14	
Unidad: El kilómetro del proyecto				PU:	Q 2,617,302.86	
				Precio ajustado global:	Q 9,464,167.14	
				Error por redondeo:	0.00812%	

Fuente: Propia.

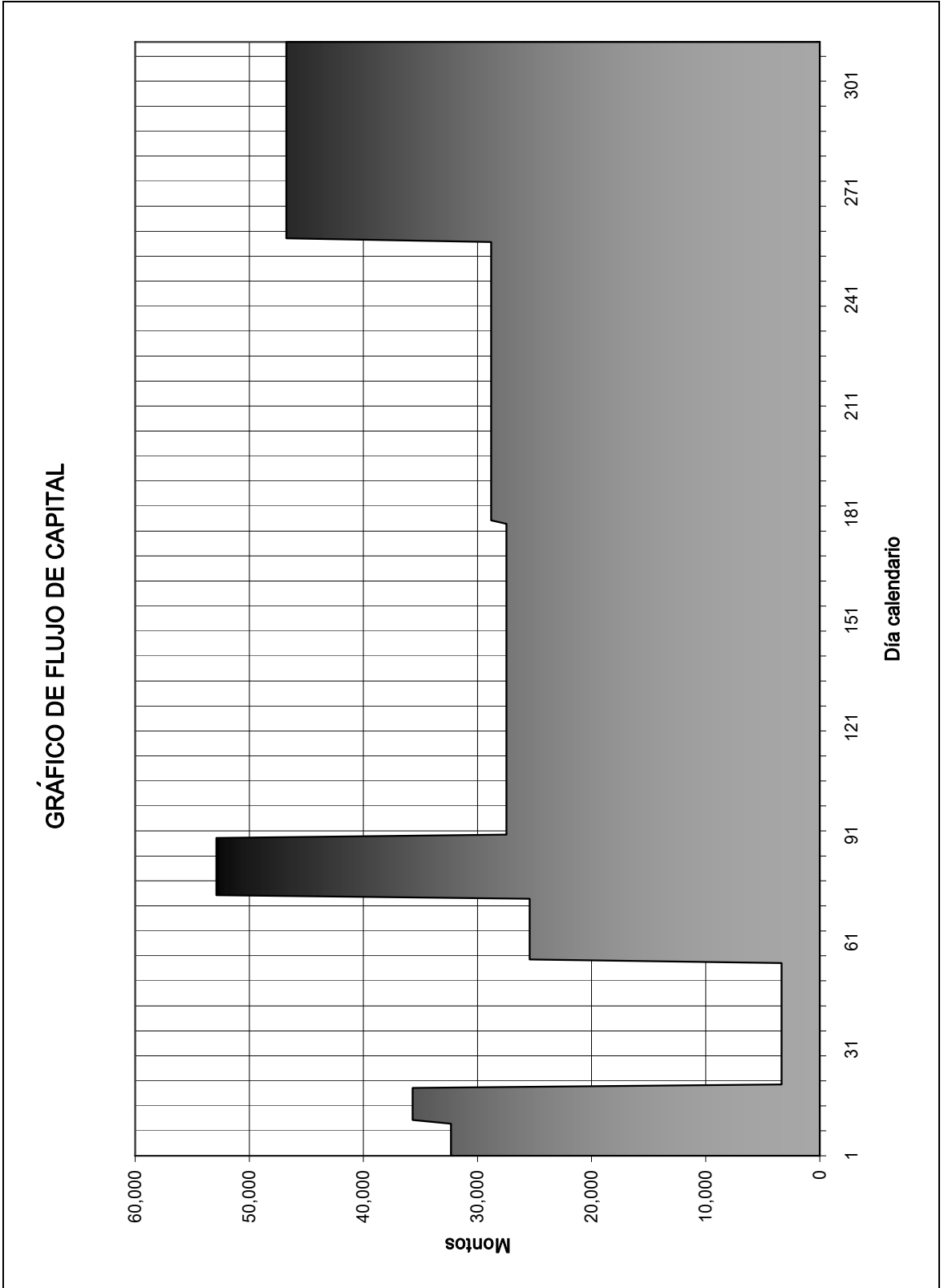


### GRÁFICO DE EJECUCIÓN FÍSICA

Proyecto: CARRETERA PAVIMENTADA EN CAMINO QUE COMUNICA A ALDEA EL TEOCINTE (STA. CRUZ NJO.)  
 CON ALDEA EL SALITRE (STA. ROSA DE LIMA), SANTA ROSA.

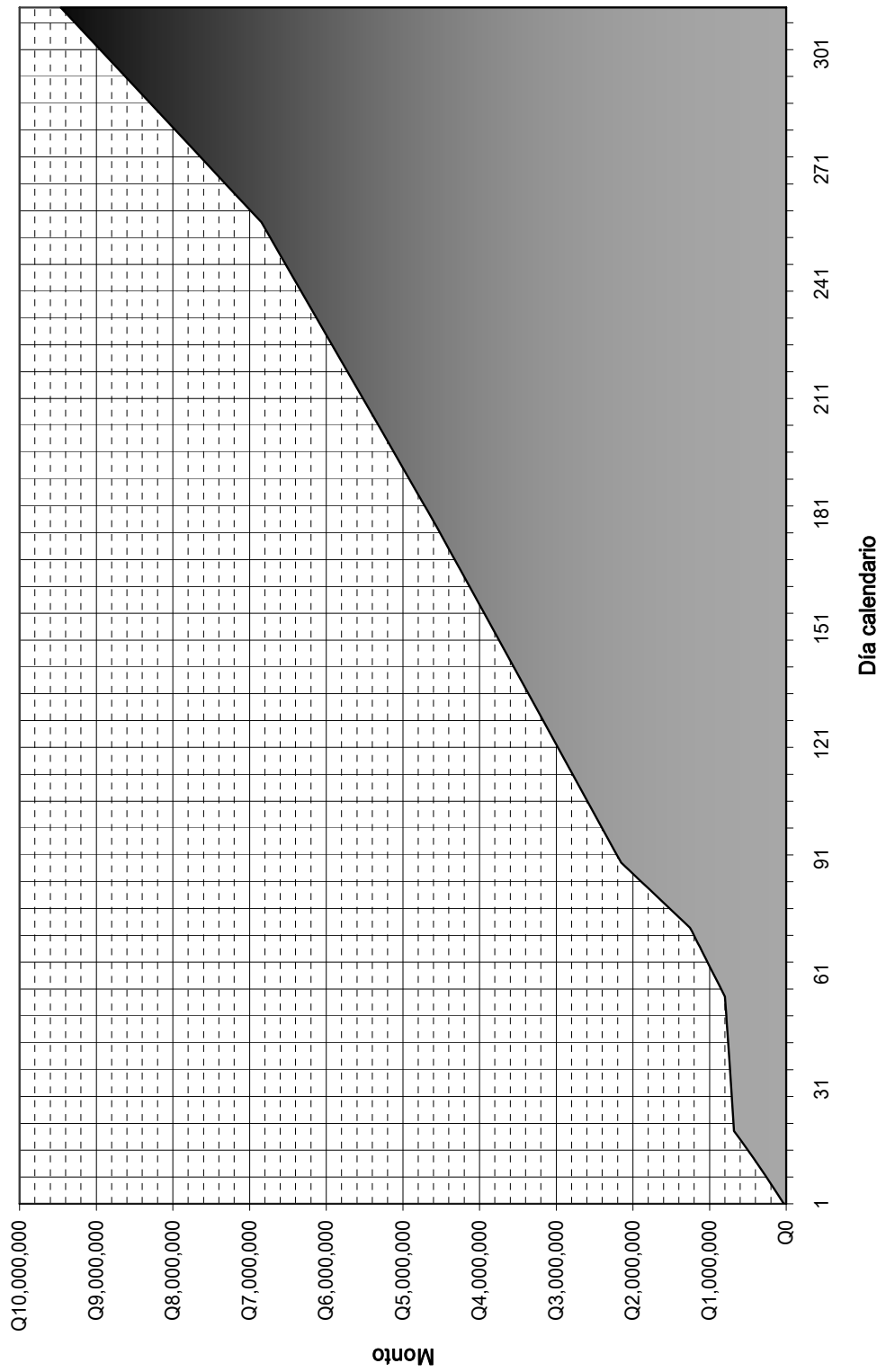


Fuente: Propia.



Fuente: Propia.

### GRÁFICO DE EJECUCIÓN FINANCIERA ACUMULADA



Fuente: Propia.

