



UNIVERSIDAD DON VASCO A.C.

Incorporación No. 8727 - 15

a la Universidad Nacional Autónoma de México.

Escuela de Ingeniería Civil

DISEÑO DEL PROYECTO GEOMÉTRICO Y DEL PAVIMENTO RÍGIDO PARA EL CAMINO "CAMELINAS", EN TARETAN, MICH.

Tesis

que para obtener el título de

Ingeniero Civil

Presenta:

María Guadalupe Morales Aguilar

Asesor:

I.C. José Antonio Sánchez Corza.

Uruapan, Michoacán, 11 de Abril del 2014



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS

En el presente trabajo de tesis primeramente quiero agradecer a Dios por bendecirme para llegar hasta donde he llegado dándome fe y fuerza para hacer realidad este sueño.

A mis padres, con todo mi cariño y mi amor por ser las personas que hicieron todo en la vida para que yo pudiera lograr mis sueños, por motivarme y darme la mano cuando sentía que el camino se terminaba, a ustedes por siempre mi corazón y mi agradecimiento.

Este trabajo se lo dedico a mis hermanos que siempre han estado en las buenas y malas experiencias. De la misma forma quiero agradecer a mi amiga Cindy por su valiosa colaboración en el presente proyecto pero sobre todo por su amistad.

Quiero agradecer a la Universidad Don Vasco por permitirme una formación universitaria de calidad que brindará las bases para desempeñar un buen papel en el ámbito profesional.

También quiero agradecer a todos y cada uno de mis profesores que durante mi carrera profesional aportaron sus conocimientos, su experiencia, su paciencia y motivación para conducirnos hacia el éxito, principalmente a mis profesores de investigación, los ingenieros Sandra Natalia, Anastasio, Joaquín, José Antonio y al licenciado Juan Luis, quienes con su visión crítica en muchos aspectos de la vida cotidiana, sus consejos, pero sobre todo su rectitud como personal docente nos ayudan a formarnos como personas e investigadores.

Agradezco a todas las personas que colaboraron en la realización de ésta investigación de una u otra forma, poniendo su granito de arena para llevarla a buen termino.

ÍNDICE

Introducción.

Antecedentes. . . . .	. 1
Planteamiento del problema. . . . .	. 3
Objetivo. . . . .	. 4
Pregunta de investigación. . . . .	. 4
Justificación. . . . .	. 5
Marco de referencia. . . . .	. 6

Capítulo 1.- Proyecto Geométrico.

1.1. Concepto de proyecto geométrico. . . . .	. 8
1.2. Elección de ruta. . . . .	. 8
1.3. Metodología del anteproyecto. . . . .	. 9
1.4. Elementos del proyecto geométrico. . . . .	.11
1.4.1. Velocidad de proyecto. . . . .	.11
1.4.2. Vehículo de proyecto. . . . .	.12
1.4.3. Alineamiento vertical. . . . .	.12
1.4.4. Alineamiento horizontal. . . . .	.14
1.4.5. Acotamientos. . . . .	.18
1.4.6. Sección transversal de una obra vial. . . . .	.18
1.5. Drenaje en vías terrestres. . . . .	.19

1.5.1. Clasificación de drenajes. . . . .	.20
1.5.2. Drenaje longitudinal. . . . .	.21
1.5.3. Alcantarillas. . . . .	.27
1.5.4. Funcionamiento del drenaje. . . . .	.35

Capítulo 2.- Pavimento Rígido.

2.1. Concepto de pavimento. . . . .	.36
2.2. Clasificación de los pavimentos. . . . .	.36
2.3. Generalidades del concreto hidráulico. . . . .	.40
2.4. Mecánica de suelo. . . . .	.42
2.4.1. Concepto de suelo. . . . .	.42
2.4.2. Granulometría en suelos. . . . .	.43
2.4.3. Compactación. . . . .	.47
2.5. Elementos del pavimento rígido. . . . .	.51
2.5.1. Juntas de los pavimentos rígidos.. . . .	.51
2.5.2. Juntas longitudinales. . . . .	.52
2.5.3. Juntas transversales. . . . .	.54
2.5.4. Curado del concreto.. . . .	.57
2.5.5. Dosificación del concreto. . . . .	.58
2.5.6. Relación agua-cemento. . . . .	.58
2.5.7. Consistencia.. . . .	.59

2.5.8. Proporción de los agregados.	.60
2.5.9. Cantidad de materiales.	.62
2.5.10. Módulo de elasticidad del concreto.	.64
2.6. Método de diseño.	.65
2.6.1 Método de la PCA.	.65
2.6.2. Método AASHTO para pavimentos rígidos.	.72
2.7. Cargas por tránsito.	.77

Capítulo 3.- Resumen de macro y microlocalización.

3.1. Generalidades.	.80
3.2. Marco histórico y entorno geográfico.	.84
3.3. Características físicas.	.85
3.4. Flora y fauna.	.87
3.5. Actividad económica.	.88
3.6. Aspectos sociales.	.89
3.7. Características físicas del camino "Camelinas".	.90
3.8. Instrumentos de recopilación de datos.	100

Capítulo 4.- Metodología de la investigación.

4.1. Método científico.	101
4.1.1 Método matemático.	102

4.2. Enfoque de la investigación.	103
4.2.1. Alcance de la investigación.. . . .	105
4.3. Tipos de diseño de la investigación.	106
4.3.1. Investigación transeccional.	107
4.4. Instrumentos de recopilación de datos.	108
4.5. Descripción del proceso de investigación.	109

Capítulo 5.- Análisis e interpretación de resultados.

5.1. Aforo vehicular.	111
5.2. Normativa en la construcción de caminos en el municipio de Taretan Michoacán.	112
5.2.1. Tipos de clasificación.	113
5.2.2. Vehículos del proyecto.	114
5.2.3. Velocidad del proyecto.	117
5.2.4. Distancia de visibilidad.	118
5.2.5. Pendiente.	119
5.2.6. Banquetas.	120
5.2.7. Topes.. . . .	120
5.2.8. Diseño de la losa de pavimento.	122
5.2.9. Especificaciones técnicas constructivas.. . . .	124
5.3. Topografía.	125
5.4. Estudio de geotecnia.	130

5.4.1 Estratigrafía del sitio.	130
5.4.2. Reportes de los estudios y pruebas realizadas a las muestras obtenidas.	131
5.4.3. Conclusiones, recomendaciones y observaciones generales. .	133
5.4.4. Reporte fotográfico.	134
5.5. Diseño de pavimento.	142
5.5.1. Módulo de resistencia.	142
5.5.2. Gráficas de diseño.	143
5.5.3. Calculo de diseño de los elementos de pavimento.	148
5.5.4. Interpretación de resultados.	152
Conclusiones.	153
Bibliografía..	158

Anexos

INTRODUCCIÓN

Antecedentes.

El ser humano existe sobre la tierra cuando menos desde hace unos 100 000 años, según estudios de restos humanos y reliquias arqueológicas. Surgiendo a su vez la formación de tribus nómadas en busca de alimentos, vestido y casa, formando vías de tipo peatonal (veredas) para deambular por los diferentes caminos. Hace aproximadamente 10 000 años el ser humano comenzó a fijar lugares de residencia abandonando el comportamiento nómada.

La finalidad de los caminos antes mencionados cambió para tomar fines religiosos, comerciales y de conquista.

Más tarde, con la invención de la rueda, en Mesopotamia, surge la necesidad de construir superficies de rodamiento que hicieran posible el tránsito de entonces. Pero como bien es sabido el hombre ha buscado siempre implementar rapidez y comodidad a sus actividades, por ello se acondicionaron los caminos con aportaciones de espartanos y fenicios.

Cabe citar que los primeros caminos construidos científicamente fueron realizados por los romanos, tales como la mundialmente famosa Vía Appia de Roma y otros puntos de Europa, África y Asia, para extender sus dominios.

Particularmente en México, el mayor auge de éste tipo de caminos aparece con las civilizaciones maya y azteca.

Actualmente se podría pensar que las vías de comunicación no constituyen mayor novedad o dudar de la carencia de innovación en materia de construcción de los mismos debido a la familiaridad con la que se observan; sin embargo, hoy por

hoy éstos representan un papel fundamental dentro del desarrollo socio-económico de cualquier nación.

Ahora bien, con los antecedentes ya mencionados y las necesidades existentes en las comunidades actuales, florece la elaboración del presente proyecto, en el entendido de que “un pavimento rígido puede definirse como la capa o conjunto de capas de materiales seleccionados que reciben en forma directa las cargas de tránsito y las transmiten a las capas inferiores, distribuyéndolas con uniformidad.” (Olivera; 1986: 6).

Cabe mencionar que para la elaboración de cualquier tipo de vía terrestre es imprescindible la realización previa de un proyecto geométrico que se determina tomando en cuenta pendientes longitudinales y transversales del terreno, tipo y densidad del drenaje natural, formación de rocas y suelos, fallas estructurales, etcétera, datos que se pueden obtener exitosamente en México de planos y fotografías a escala del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).

En la búsqueda de información de diferentes fuentes principalmente en la biblioteca de la Universidad Don Vasco A.C. se encontraron tesis de proyectos afines al tema en cuestión, tales como:

La tesis del ahora Ingeniero Omar Medina Martínez, titulada Diseño del proyecto geométrico de la carretera “El capulín”, del tramo km 0+000 al km 2+740, en el municipio de Zitácuaro, Michoacán, en el año del 2011, cuyo objetivo fue el diseño idóneo del proyecto geométrico del tramo antes mencionado, concluyéndolo de forma satisfactoria.

El ingeniero Cristian Pérez Sepúlveda, realizó una tesis en el año 2001, basada en el diseño del pavimento rígido para el boulevard industrial, del km 9+800 al 10+900 de la ciudad de Uruapan, Michoacán, donde la finalidad del diseño del pavimento rígido fue realizada con éxito.

Otra tesis consultada fue la del ingeniero Dorian Vladimir HernándezBáez en el año 2008, titulada alternativa de proyecto geométrico de la denominada “Curva del diablo” en la carretera Carapan-Playa Azul, tramo Carapan-Uruapan km 65+000 al 66+160, finalizando con la propuesta de una alternativa a la solución de un problema común que existe en la región.

Planteamiento del problema.

En el presente proyecto se pretende analizar, ¿Cuál es el mejor diseño en cuanto al proyecto geométrico y de pavimento rígido se refiere para la camino “Camelinas”, en la comunidad de Taretan, Michoacán?, ya que el camino actual se encuentra provisto de terracería en condiciones inseguras para que cumpla con el funcionamiento destinado.

Cabe señalar que las condiciones de este camino han colaborado en el surgimiento de accidentes y perdidas tanto económicas como en ocasiones humanas, debido a que es utilizado frecuentemente por los transportistas de caña de azúcar que proveen la materia prima del ingenio azucarero Lázaro Cárdenas, ubicado en esta comunidad.

Es por ello que la realización adecuada de este proyecto es de vital importancia pues brindará seguridad y eficacia a los habitantes de la localidad.

Objetivo.

En la investigación actual se plante un objetivo general, así como diversos objetivos particulares que se mencionaran a continuación:

Objetivo general:

Diseñar el proyecto geométrico y el pavimento rígido para el camino “Camelinas”, en Taretan, Michoacán.

Objetivos particulares:

1. Conceptualizar el proyecto geométrico.
2. Indicar la importancia del aforo vehicular.
3. Determinar el contexto social y ambiental del proyecto.
4. Determinar las características geométricas del terreno.
5. Definir el término de pavimento rígido.
6. Evaluar las propiedades del suelo en estudio.
7. Adecuar el tipo de pavimento rígido al proyecto.

Pregunta de investigación.

Durante el proceso de investigación y realización de este proyecto han de surgir diversos cuestionamientos que organizados jerárquicamente se resumen en la siguiente: ¿Cuál es el diseño idóneo para el proyecto geométrico y el pavimento rígido para la camino “Camelinas”, en Taretan, Michoacán?

Preguntas particulares:

1. ¿Qué es un proyecto geométrico?
2. ¿Qué es un pavimento rígido?
3. ¿Cómo es la topografía del lugar?

4. ¿Qué tipo de vehículos transitan con mayor frecuencia por la camino “Camelinas”, en Taretan, Michoacán?
5. ¿Qué aportación tendrá el proyecto en la comunidad?
6. ¿Qué adecuaciones necesita el proyecto para satisfacer el contexto socio-económico de la comunidad?

Justificación.

La presente investigación tiene como finalidad aportar una solución a un problema real existente en la comunidad de Taretan, Michoacán, ya que de llevarse a cabo beneficiará de forma directa e indirecta a la sociedad, puesto que la industria azucarera representa la principal fuente de empleo para los habitantes y el hecho de que este camino sea un importante acceso para los transportistas y brinde la seguridad y objetivos deseados, reducirá considerablemente los obstáculos para un mejor desarrollo socio-económico de la comunidad y la región en general.

No obstante, es un aporte significativo al material académico de consulta para las presentes y futuras generaciones de la carrera de ingeniería civil, en la Universidad Don Vasco A.C. o en otras instituciones de la región.

De forma general para fines científicos, este proyecto podrá ser de gran utilidad, sin dejar de mencionar que cada problema es único y la forma de atacarlo dependerá del contexto de la problemática.

Marco de referencia.

El proyecto “ título” tiene como ubicación el municipio de Taretan Michoacán, cabecera municipal que se encuentra prácticamente en el centro del estado, fundada hace 472 años aproximadamente , sus coordenadas geográficas son: 19.28074°latitud Norte , 101.87199 longitud Oeste, con climas cálidos durante en día y de templados a semifríos durante la noche y la mañana. Lluvias durante los meses de mayo a octubre, con algunas cabañuelas en diciembre, altura de 1130 msnm, rica en vegetación y afloramientos de agua (manantiales), fauna donde predominan arácnidos, reptiles y aves de muy diversas especies. En cuanto a su topografía, es un lugar con relieves que van desde grandes llanos y pendientes muy pronunciadas, suelos rocosos, de arcillas arenosas, arcillas limosas, tepetates y suelos finos.

Taretan, es un pueblo basado económicamente hablando, en la producción de guayaba, mango, zarzamora y caña de azúcar, ésta última constituye aproximadamente un 65% de la economía, para su explotación cuenta dentro de la localidad con un ingenio productor de caña de azúcar, melaza, jugo de caña y abono destinado a los mismos plantíos de caña. Otro campo laboral que ha cobrado fuerza en la localidad es la producción de guayaba, para ello se cuenta con 3 empaques de guayaba dispuestos en puntos estratégicos de la comunidad.

La cultura de Taretan tiene fundamentos bien arraigados al catolicismo con la presencia de una iglesia a San Ildefonso y diversas capillas, a la virgen de Fátima, San Judas Tadeo, entre algunas. Amplia gastronomía desde antojitos mexicanos hasta la presencia de nieves, pan y frutos representativos de la región y sus

alrededores. Costumbres y tradicionales fiestas que han ido pasando de generación en generación, una de las más conocidas la fiesta de San Isidro que se festeja realizando carreras de caballos y peleas de gallos en el mes de julio, una tradición muy joven pero no por eso menos importante es la expo feria de la caña que tiene lugar en el mes de marzo, torneos deportivos y eventos culturales periódicamente.

En cuanto a su infraestructura, es un pueblo que conserva aún enormes casas de adobe, de fachadas rústicas, casas de madera y techos de lámina de cartón, algunas caminos adoquinadas, pero principalmente a base de concreto hidráulico, algunas otras son caminos de terracería, monumentos, palacio de gobierno, plaza representativa que consta de un quiosco, bancas y fuentes, misma que ha sufrido sólo una remodelación en toda su historia.

CAPÍTULO 1

PROYECTO GEOMÉTRICO

En este primer capítulo se abordará el tema del proyecto geométrico, así como los elementos de mayor jerarquía que lo componen, enfocados al desarrollo y la óptima elección de los procedimientos que forman parte del proyecto.

1.1. Concepto de proyecto geométrico.

Con base en lo mencionado por Olivera (1991), el proyecto geométrico es un conjunto de elementos físicos determinados a través de diferentes estudios, donde intervienen disciplinas tales como la topografía, fotogrametría, meteorología, etcétera, que brindan las condiciones para llevar a cabo el desarrollo de obras viales desde su proceso de construcción, operación y conservación de la misma.

1.2. Elección de ruta.

De acuerdo con Olivera (2006), para llevar a cabo un proyecto de vías terrestres la elección de la ruta, “es la franja de la corteza terrestre donde se construirá una vía terrestre, y su ancho es variable, pues es amplia al principio del proyecto y sólo tiene el ancho del derecho de vía al final del trabajo.” (Olivera; 2006:25). Ésta juega un papel determinante, puesto que un error en el proceso constructivo puede tener solución económica que no impactará de forma extraordinaria a la obra, caso contrario, un error en la etapa de la elección de la ruta, en la que intervienen diferentes disciplinas, tendría repercusiones sumamente difíciles de reparar.

En la etapa de elección de ruta se hace una recopilación estricta de todos los datos físicos, geográficos, meteorológicos y topográficos de la zona, haciendo uso de diferentes fuentes y servicios, uno de los más utilizados en nuestro país es el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), a fin de tener en cuenta todos y cada uno de los factores que puedan inferir directa o indirectamente en la construcción y operación de la estructura. Con estos datos se pueden intuir, proponer y determinar diversas alternativas para el proyecto ya que brindan información elemental como pendientes, tipos de suelo, plegamientos, bancos de material, zonas pantanosas o propensas a inundación, etcétera.

Una vez elegida la ruta, éste proceso deberá estar respaldado con una memoria descriptiva que brinde información de todos los estudios y análisis realizados, incluyendo invariablemente el análisis económico, justificando con las bases técnicas y económicas que fueron tomadas en cuenta para la elección de ruta y de la forma de ejecución que se autorizó por profesionales de la rama.

1.3. Metodología del anteproyecto.

De acuerdo con Olivera (2006), el anteproyecto y el proyecto definitivo se pueden realizar tomando como base dos diferentes métodos; uno de ellos, el más tradicional, consiste en brigadas terrestres de localización y de mayor modernidad es el método fotogramétrico. La elección de uno de los procedimientos antes mencionado dependerá principalmente de las condiciones topográficas y meteorológicas del lugar en cuestión, que otorguen la mayor cantidad de información con fundamentos técnicos.

Se procede así a llevar a cabo una serie de pasos que constituyen la metodología del anteproyecto:

- a) Con la alternativa autorizada previamente se traza una poligonal abierta, a fin de hacerlas coincidir y se realiza un dibujo a escala.
- b) Realizar topografía del lugar a cada 100 metros ambos lados del camino.
- c) Se debe trazar una “línea a pelo de tierra”, denominada así, a una línea quebrada de cortos segmentos y una pendiente promedio menor a los 0.5 %.
- d) La línea antes mencionada ha de enderezarse con tangentes suficientes a fin de trazar curvas con un grado de curvatura razonable y apegada a proyecto, sin dejar pasar en ningún momento la parte eficiente de la obra. Cabe mencionar que la distancia mínima entre una curva y otra debe ser al menos de 30 metros para albergar las espirales y distancias de transición.
- e) Para el proyecto horizontal se deberá cadenar, regularmente a cada 20 metros, hasta el primer PI (Punto de Inflexión) y medir la subtangente hacia un lado y otro del PI para encontrar los puntos inicial y final, y se continúa el cadenamiento hasta el siguiente PI.
- f) Parte fundamental de todo proyecto es la economía, uno de los elementos que pueden generar ahorros significativos es el proceso de movimiento de tierras, para ello se debe elaborar un perfil de la línea a proyectar, registrando las elevaciones de cada estación (a cada 20 m), analizar los volúmenes de corte y terraplén y de ser necesario hacer modificaciones para conseguir que se compensen uno con otro y evitar gastos excesivos de acarreo y compra de material.

1.4. Elementos del proyecto geométrico.

Para llevar a buen fin la elaboración de un proyecto de esta índole, según Olivera (2006), se requiere el análisis de diferentes factores tales como los alineamientos de las pendientes longitudinales y transversales del terreno, bombeo, estudios del contexto de la obra, etcétera, que faciliten determinar las características físicas de la estructura, su composiciones y velocidad de proyecto (entre algunas) para cumplir con las exigencias de la ciudadanía teniendo siempre presente fundamento de una obra eficiente y eficaz.

1.4.1. Velocidad de proyecto.

De acuerdo a lo expuesto por Wright (1993), la velocidad de proyecto debe ser un proceso en el que intervienen diversos factores tales como el tipo de topografía, tipo de carretera, el tipo de tránsito, las necesidades de los usuarios, el tipo de vehículos que conforma el tránsito, generando cambios de velocidades y que deben ser señalados por dispositivos de control apropiados. Para regular la determinación de los factores antes mencionados se debe tomar en cuenta un parámetro denominado velocidad máxima del proyecto, “la velocidad máxima segura que puede mantenerse en un tramo dado de la carretera cuando las condiciones son tan favorables que las características de proyecto son las que determinan esa velocidad.” (Wright; 1993:238)

1.4.2. Vehículo de proyecto.

De manera lógica es sabido que la anchura de un auto determinará la amplitud de un carril. La AASHTO recomienda además realizar pruebas a diversos tipos de vehículos.

1.4.3. Alineamiento vertical.

Como cita Olivera (2006), define al alineamiento vertical como la trayectoria de la línea del camino sobre un plano vertical, dicho elemento está constituido por tangentes y curvas verticales. Con respecto a las tangentes verticales, éstas se componen por la longitud que presenten, así como también por su pendiente, no obstante, es imprescindible olvidar el punto de inflexión vertical, pues es determinante en la prolongación de la curva tanto hacia adelante como hacia atrás, de acuerdo a la tangente.

Existen tres tipos de pendientes de tangentes verticales: “mínima, gobernadora y máxima. La mínima se requiere para asegurar el drenaje de la corona del camino y se especifica de 0.5%. La pendiente gobernadora, en teoría, se puede mantener en forma indefinida a lo largo de todo el trazo. La pendiente máxima es la mayor que se puede usar en un proyecto”. (Olivera; 2006:27). Es importante mencionar que en un proyecto la combinación de pendientes existirá, debido a que se busca que el tiempo de recorrido sea el menor posible.

Con referencia a las curvas verticales, éstas se hacen presentes principalmente en el paso de una tangente vertical a otra, la curva que satisface esta característica es la parábola, que se puede presentar en columpio o en cresta, tal como se muestra en la Fig. 1.1

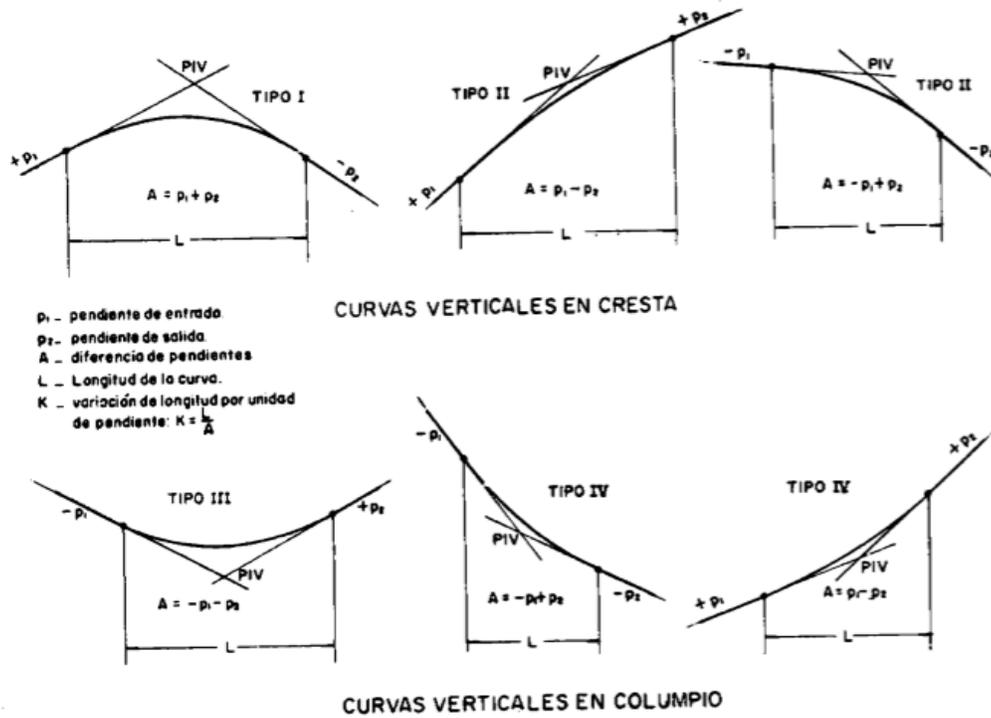


Fig.1.1.- Tipos de curvas verticales

Fuente: Manual de Proyecto Geométrico SCT;1991:299

En cuestiones hidrológicas es significativa dicha curva, debido a que la longitud de ésta debe garantizar el buen funcionamiento del drenaje. Para un manejo práctico, en cuestiones de cálculo se recomienda utilizar estaciones a cada 20 metros y además que el principio de curva coincida en una estación.

1.4.4. Alineamiento horizontal.

Retomando lo dicho por Olivera (2006), el alineamiento horizontal es la representación de la trayectoria de una vía terrestre con base a un plano horizontal. Con respecto a sus elementos se encuentran las tangentes y curvas horizontales. Las tangentes de este alineamiento están comprendidas por longitud, que hace referencia a la distancia del fin de la curva anterior con el inicio de la siguiente, y por distancia que es el rumbo.

En teoría, la longitud mínima que debe tener una tangente es aquella en donde el cambio de pendiente, curvatura y ancho de la corona se realicen con un buen funcionamiento, aunque en máximas longitudes la distancia no es precisa, es por ello, que es necesario estudios previos del lugar para determinar la longitud, evitando accidentes.

En cuestiones generales, la relación de la curva con la aceleración centrífuga, nos indica el cambio de dirección del vehículo de una tangente a otra, así como también el grado de curvatura que tendrá, dichos grados se encuentran en las normas de proyecto geométrico para carreteras de la SCT conforme al tipo de camino que se tiene.

VELOCIDAD		40			50			60			70			80			90			100			
Gc	Rc	Ac	Sc	Le	Ac	Sc	Le	Ac	Sc	Le	Ac	Sc	Le	Ac	Sc	Le	Ac	Sc	Le	Ac	Sc	Le	
0° 15'	4583,63	20	2	22	20	2	28	20	2	34	20	2	39	20	2	45	20	2	50	30	2	56	
0° 30'	2291,84	20	2	22	20	2	28	20	2	34	20	2	39	20	2	45	20	2	50	30	2	56	
0° 45'	1527,89	20	2	22	20	2	28	20	2	34	20	2	39	20	2,4	45	20	2,8	50	40	3,5	56	
1 00	1645,92	20	2	22	30	2	28	30	2	34	30	2,5	39	30	3	45	40	3,6	50	40	4,6	56	
1 15	916,74	30	2	22	30	2	28	30	2,3	34	40	3	39	40	3,7	45	40	4,5	50	50	5,2	56	
1 30	763,94	30	2	22	30	2	28	40	2,8	34	40	3,6	39	40	4,4	45	50	5,3	50	50	6,5	56	
1 45	654,81	30	2	22	30	2,2	28	40	3,2	34	40	4,1	39	50	4	45	50	6	50	60	7,3	58	
2 00	572,96	30	2	22	40	2,5	28	40	3,6	34	50	4,6	39	50	5,7	45	50	6,8	50	60	8,1	65	
2 15	509,3	30	2	22	40	2,8	28	40	4	34	50	5,1	39	50	6,2	45	60	7,4	53	60	8,7	70	
2 30	458,37	40	2,1	22	40	3,1	28	50	4,4	34	50	5,5	39	60	6,7	45	60	7,9	57	70	9,3	74	
2 40	416,7	40	2,3	22	40	3,4	28	50	4,7	34	50	6	39	60	7,2	46	60	8,4	60	70	9,6	77	
3 00	381,97	40	2,5	22	50	3,7	28	50	5,1	34	60	6,4	39	60	7,7	49	70	8,8	63	70	9,9	79	
3 15	352,59	40	2,7	22	50	3,9	28	50	5,4	34	60	6,8	39	60	8,1	52	70	9,2	66	80	10	80	
3 30	327,4	40	2,9	22	50	4,2	28	50	5,7	34	60	7,1	40	70	8,5	54	70	9,6	69				
3 45	305,58	50	3,1	22	50	4,4	28	60	6	34	60	7,5	42	70	8,8	56	70	9,8	71				
4 00	286,48	50	3,3	22	50	4,7	28	60	6,3	34	60	7,8	44	70	9,1	58	80	9,9	71				
4 15	269,63	50	3,4	22	60	4,9	28	60	6,6	34	70	8,1	45	70	9,4	60	80	10	72				
4 30	254,65	50	3,6	22	60	5,1	28	60	6,9	34	70	8,4	47	80	9,6	61							
4 45	241,25	50	3,8	22	60	5,4	28	60	7,1	34	70	8,7	49	80	9,8	63							
5 00	229,18	50	3,9	22	60	5,6	28	70	7,4	36	70	8,9	50	80	9,9	63							
5 30	208,35	60	4,2	22	60	6	28	70	7,8	37	80	9,3	52	90	10	64							
6 00	190,99	60	4,5	22	70	6,3	28	70	8,2	39	80	9,6	54										
6 30	176,29	60	4,8	22	70	6,7	28	80	8,6	41	90	9,8	55										
7 00	163,7	70	5,1	22	70	7	28	80	8,9	43	90	9,9	55										
7 30	152,79	70	5,3	22	80	7,3	29	90	9,1	44	90	10	56										
8 00	143,24	70	5,6	22	80	7,6	30	90	9,4	45													
8 30	134,81	80	5,8	22	80	7,9	32	90	9,6	46													
9 00	127,32	80	6,1	22	90	8,2	33	100	9,7	47													
9 30	120,62	80	6,3	22	90	8,4	34	100	9,8	47													
10 00	114,59	90	6,5	22	100	8,6	35	100	9,9	48													
11 00	104,17	90	6,9	22	100	9	36	110	10	48													
12 00	95,49	100	7,3	23	110	9,3	37																
13 00	88,15	100	7,6	24	110	9,6	38																
14 00	81,85	110	7,9	25	120	9,8	39																
15 00	76,39	110	8,2	26	120	9,9	40																
16 00	71,62	120	8,5	27	130	10	40																
17 00	67,41	120	8,7	28	140	10	40																
18 00	63,66	130	8,9	28																			
19 00	60,31	130	9,1	29																			
20 00	57,3	140	9,2	29																			
21 00	54,57	140	9,4	30																			
22 00	52,09	150	9,5	30																			
23 00	49,82	150	9,6	31																			
24 00	47,75	160	9,7	31																			
25 00	45,84	160	9,8	31																			
26 00	44,07	170	9,9	32																			
27 00	42,44	170	9,9	32																			
28 00	40,93	180	10	32																			
29 00	39,51	190	10	32																			
30 00	38,2	190	10	32																			

Ac Ampliación de la calzada y la corona, en cm.

Sc Sobreelevación, en porcentaje.

Le Longitud de la transición, en metros.

(debajo de la línea gruesa se emplearán espirales de transición y arriba se usarán transiciones mixtas).

NOTA. Para grados de curvatura no previstos en la tabla, Ac, Sc y Le se obtienen por interpolación lineal.

Tabla 1.1.-Sobreelevaciones y transiciones de tipo C.

Fuente:Olivera; 2006:36.

De acuerdo con lo mencionado en el Manual de Proyecto Geométrico de la SCT, una curva horizontal simple corresponde a la unión de dos tangentes unidas entre sí por una curva circular, mismas que definen a las curvas existentes en el presente proyecto y cuya composición se menciona en este apartado.

Grado de curvatura: Ángulo subtendido por un arco de 20 metros.

$$G_c = \frac{1145.92}{R_c}$$

Radio de Curvatura: Radio de la curva circular.

$$R_c = \frac{1145.92}{G_c}$$

Angulo Central: Ángulo subtendido por la curva circular. En curvas circulares simples es igual a la deflexión de las tangentes.

Longitud de Curva: Longitud del arco entre PC y PT.

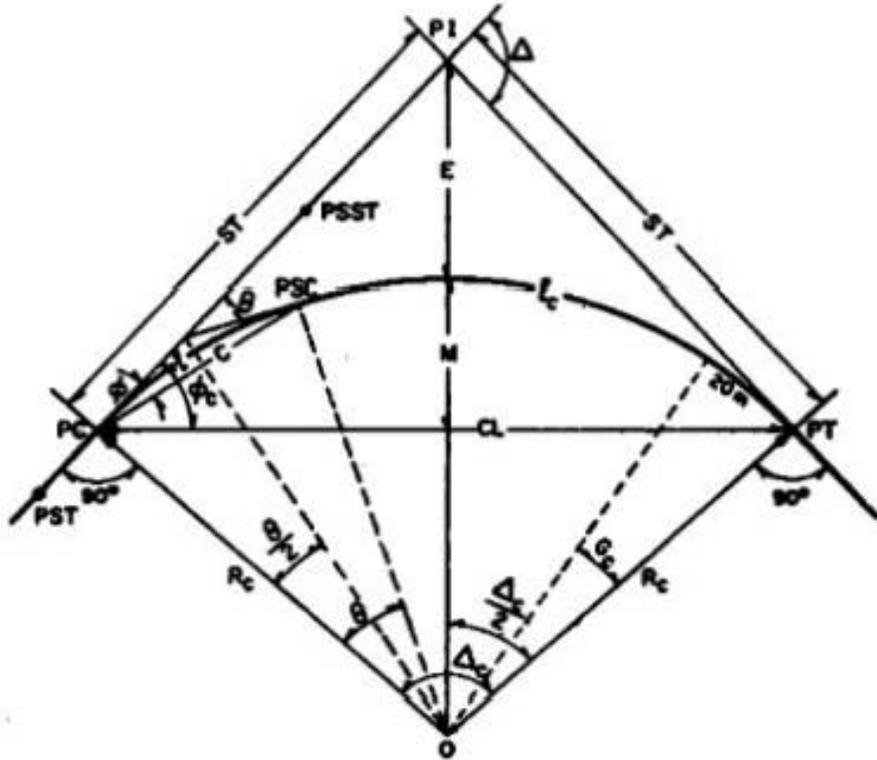
$$I_c = \frac{\pi \Delta_c}{180^\circ} R_c$$

Subtangente: Distancia entre PI y PC o PT, medida sobre la prolongación de las tangentes.

$$ST = R_c \tan \frac{\Delta_c}{2}$$

Externa: Es la distancia mínima entre el PI y la curva.

$$E = R_c \sec \frac{\Delta_c}{2} - R_c$$



- PI** Punto de intersección de la prolongación de las tangentes
PC Punto en donde comienza la curva circular simple
PT Punto en donde termina la curva circular simple
PST Punto sobre tangente
PSST Punto sobre subtangente
PSC Punto sobre la curva circular
O Centro de la curva circular
- Δ Angulo de deflexión de las tangentes
 Δ_c Angulo central de la curva circular
 θ Angulo de deflexión a un PSC
 ϕ Angulo de una cuerda cualquiera
 ϕ_c Angulo de la cuerda larga
 G_c Grado de curvatura de la curva circular
- R_c Radio de la curva circular
ST Subtangente
E Externo
M Ordenada media
C Cuerda
CL Cuerda larga
 l Longitud de un arco
 l_c Longitud de la curva circular

Fig. 1.2.- Elementos de la curva circular simple

Fuente: Manual de Proyecto Geométrico SCT;1991:299

1.4.5. Acotamientos.

Como cita Wright (1993), la anchura que representa a los acotamientos está directamente relacionada con el ancho que vaya a tener el carril; por ello, la construcción de éstos debe garantizar un funcionamiento idóneo y seguro para el usuario, siendo prioridad evitar los accidentes al propiciar que los conductores puedan manejar más cerca de la orilla del pavimento y de tal manera puedan salir.

Por ende, a mayor sea el tránsito en la vía mayor será la necesidad de acotamientos. La pendiente que se necesita en dicho elemento debe ser mayor a la del pavimento, que dependerá de la calidad y cobertura que se deseen. En carreteras de alta velocidad se recomienda un ancho de 3.66 metros o en su defecto doce pies. El costo está en función del ancho del acotamiento, pues en zonas montañosas o de baja velocidad las medidas disminuyen a seis u ochos pies aproximadamente 1.8 a 2.4 metros. No obstante, conocidas las condiciones, deberá plantearse la mejor solución tanto económica como de funcionalidad.

1.4.6. Sección transversal de una obra vial.

Como refiere Olivera (2006), la sección transversal de una obra vial es un corte con respecto a un plano normal y vertical al centro de línea del alineamiento horizontal, la cual nos permite apreciar el dimensionamiento de los elementos del proyecto. Es importante señalar que el proyecto geométrico de cualquier vía terrestre parte de la subrasante, que nos indica el fin de la terracería y el comienzo del nivel.

Partiendo de las características de los elementos del proyecto geométrico, se tiene la subcorona conformada por el ancho y la pendiente transversal. En tangentes horizontales, la pendiente tiene como finalidad desplazar de manera rápida todo el

agua que se presente en la zona. La sección transversal en las curvas horizontales es la sobreelevación, teniendo como objetivo minorar la fuerza centrífuga y la fricción que se pudiera presentar en la vía sobre los vehículos, sin olvidar el buen funcionamiento del drenaje. La ampliación que requiere la sobreelevación depende del grado de curvatura que se presente, cabe mencionar que dicha ampliación se presenta afuera de la curva.

1.5. Drenaje en vías terrestres.

De acuerdo con Olivera (2006), el drenaje es una parte esencial en lo que a proyección y construcción de caminos se refiere, es sabido que de acuerdo a las condiciones topográficas de cada zona el agua de lluvia busca salida cuando termina de infiltrarse y por efecto de la gravedad forma cuencas y escurrideros naturales; sin embargo, una vez que el hombre con diversos objetivos transforma la topografía natural a su conveniencia interrumpe estos escurrideros transformando la forma en que el agua atraviesa por cada lugar.

El agua como recurso indispensable de vida representa un enorme problema en los caminos porque genera, entre otros, uno de los fenómenos más temidos por el proyectista y el constructor, la socavación, que provoca inestabilidad en los taludes, deslave en las orillas de la cimentación debilitando la firmeza de la misma y llevándola en ocasiones a volcar, y en el peor de los casos al colapso. Ante la gravedad de esta situación surge desde hace décadas el drenaje artificial, cuya función primordial es la de captar, conducir y alejar del camino el agua lo más pronto posible canalizándola a puntos estratégicos sin que cause daños a la estructura.

Para realizar el estudio del drenaje se debe partir desde la elección de ruta, para buscar terrenos con los que el problema que causa el agua sea el menor posible para evitar gastos innecesarios en la conservación del camino. Desafortunadamente en la mayoría de los casos no se tiene la libertad de elegir una ruta que cuente con todas las condiciones ideales, es por eso que una vez que se tiene la ruta se debe trabajar en el desarrollo de una propuesta que satisfaga las necesidades de drenaje, de alineamientos y acortando distancias en la medida de lo posible, quizás haciendo uso de las condiciones favorables y también las desfavorables que ofrezca el panorama.

En las laderas, por ejemplo, las cuencas y escurrideros podrán estar bien definidos y no por ello garantizan un funcionamiento correcto porque mientras más marcados están los taludes más desprendimiento de material y, por consecuencia, azolve de las cuencas generan, caso contrario a terrenos muy planos donde las cuencas y escurrideros nos están perfectamente definidos, lo que causa problemas de drenaje.

Con base en lo mencionado por Olivera (2006), se pueden evitar defectos en las etapas de construcción y operación del camino si desde el momento en que va a elegirse la ruta se dispone de suficiente información para conocer los antecedentes del lugar y definir la forma correcta de atacar las problemáticas que se puedan presentar.

1.5.1. Clasificación de drenajes.

De conformidad con Olivera (2006), los drenajes se pueden clasificar de acuerdo a la función que se le asignará. El drenaje artificial, es aquel que su

clasificación está en relación al escurrimiento del agua, es decir, si el fluido se infiltra en una de las capas de la corteza terrestre se denomina subterráneo y si su trayecto va sobre la superficie le conoce como superficial y se encuentra de manera longitudinal y transversal, dependiendo del eje del camino.

Con respecto al drenaje longitudinal, éstos se sitúan paralelos al eje de la vía y tiene como finalidad retener los escurrimientos que puedan existir en una obra, evitando cualquier anomalía que pudiera causar. Las cunetas, contracunetas, canales de encauzamiento y bordillos son algunos tipos de ejemplos de este tipo de drenaje. Ahora bien, el drenaje transversal ayuda a que el agua pase lo más rápido posible de un lado a otro del camino, obstruyéndola de la corona mediante tubos, sifones invertidos, vados, puentes, bóvedas, lavaderos, o bien, el bombeo de la corona.

Existe otro tipo de drenaje que parte del longitudinal, ya que se vio la necesidad de clasificarlos una vez más debido a la magnitud que éste puede presentar, es decir, en mayor y menor. El mayor es aquel que tiene por necesidad presentar obras de un grado mayor a seis metros y son conocidas en la práctica como puentes, por efecto, el drenaje menor hace referencia a obras de menor claro como las alcantarillas.

1.5.2. Drenaje longitudinal.

Para evitar daños ocasionados por el agua en los caminos se diseña un sistema de drenaje longitudinal para alejar el agua rápidamente de la superficie de rodamiento, haciendo uso de elementos de apoyo tales como: cunetas, contracunetas, canales de encauzamiento, bombeo y vados, y así encausarla a

donde el proyectista considere oportuno, basándose siempre en fundamentos técnicos.

Cunetas.

En el entendido de que las cunetas no son otra cosa, sino zanjas que se encuentran dispuestas en los costados del camino y con la finalidad de conducir en agua pluvial y alejarla del camino, según Olivera (2006) las características de las mismas deben diseñarse en base al flujo de la sección por drenar. De forma estandarizada y en base a estudios y la experiencia hoy en día se consideran suficientes las medidas que se muestran en la **Fig. 1.3** sujetas por supuesto a cambios correspondientes al material en que se encuentren y la altura de precipitación de la región.

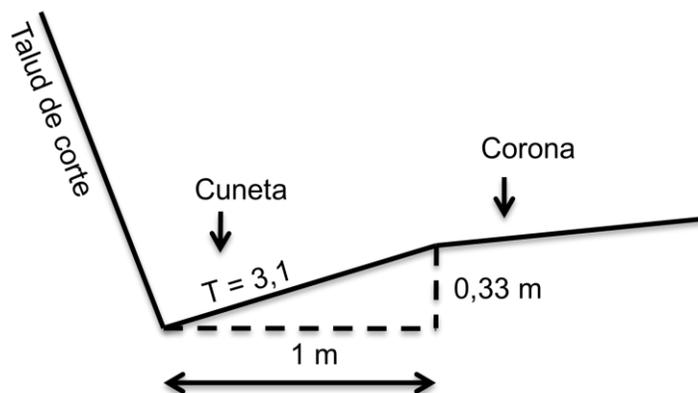


Fig. 1.3.-Sección típica de una cuneta.

Fuente:Olivera; 2006:50.

La longitud de las cunetas no deberá exceder los 250 m, en caso de que se exceda esta cantidad, han de construirse otro tipo de obras que permitan reducir el

caudal y evitar daños. En cuanto a las secciones que se usan para la elaboración de las cunetas se encuentran triangulares, trapezoidales, incluso rectangulares, siendo las primeras las de uso más común por la facilidad que representan al momento de darles mantenimiento con equipo mecánico.

Los cambios de pendiente en las diferentes secciones del camino contribuyen de manera importante al azolve de las cunetas, para reducir ese efecto se proponen transiciones como las que se muestran en la Fig. 1.4 haciendo de desarenadores, haciendo modificaciones del fondo, etc.

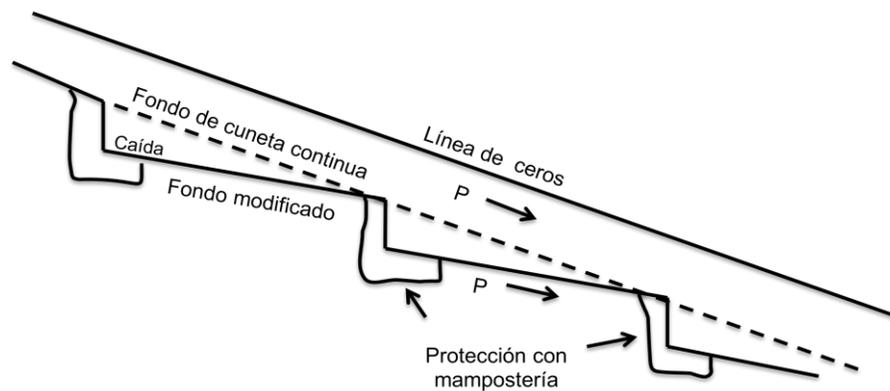


Fig. 1. 4.-Cuneta escalonada longitudinalmente para evitar erosión en el fondo cuando la pendiente del camino es fuerte.

Fuente:Olivera; 2006:50.

Con base en lo expuesto por Olivera (2006), el tipo de suelo es determinante el diseño de las cunetas, puesto que de éste depende las velocidades de diseño que tendrá la cuneta para reducir el arrastre de material en la sección de este tipo de drenaje, para cada material se considera una velocidad promedio que debe adquirir el caudal, y la forma de controlarlo será con el uso de las pendientes correctas. Para ello se muestra a continuación la Tabla 1.2.

Material	Velocidad m/s	Material	Velocidad m/s
Arena fina	0,45	Pizarra suave	2
Arcilla arenosa	0,5	Tepetate	2
Arcilla ordinaria	0,85	Grava gruesa	3,5
Arcilla firme	1,25	Zampeado	3,4-4,5
Grava fina	2	Concreto	4,5-7,5

Tabla. 1.2.-Tabla de velocidades del agua a las cuales se erosionan diferentes materiales.

Fuente:Olivera; 2006:52.

Por todo lo antes mencionado, se puede concluir que se debe tener especial atención en las secciones, pendientes y longitudes con que se diseñan las cunetas porque son la base fundamental del drenaje longitudinal de un camino que a su vez repercute en un correcto diseño, construcción y operación del mismo para conseguir que permanezca en condiciones óptimas de servicio durante el tiempo para el que fue estipulado en el proyecto.

Contracunetas.

Con la finalidad de evitar que el agua que escurre de las laderas de los cortes erosionen los taludes e incrementen el caudal de las cunetas se diseñan zanjas aguas arriba para desviar el escurrimiento y dirigirlo a cañadas o niveles bajos del terreno que se encuentren próximos, a estas zanjas se les conoce como contracunetas. Si estas obras funcionaran de forma adecuada, en el lugar correcto y

elaboradas con los materiales óptimos serían de gran utilidad para respaldar de alguna forma a las cunetas, ayudándoles a desviar las aguas pluviales pero debido a que frecuentemente las contracunetas no cuentan con las características requeridas son poco utilizadas porque lejos de cumplir su misión desestabilizan los cortes y provocan fallas en los taludes.

Retomando la idea de que la intención de construir un camino es para que funcione correctamente en cualquier época del año debe ponerse especial atención a estas obras, las contracunetas deben diseñarse sin dejar de lado los aspectos siguientes:

- a) Tomar en cuenta la geología, topografía y vegetación del terreno.
- b) Tener siempre presente que la idea de construir una contracuneta es ayudar a la cuneta con el caudal que alejara del camino.
- c) Generalmente son de sección trapezoidal, con 0,8 metros en la plantilla y 0,5 metros de profundidad.
- d) Cuando se construyen las contracunetas y éstas resultan contraproducentes se deberá impermeabilizar en suelo y de ser necesario cancelarlas relleno con materiales.
- e) Cuando se coloquen se debe informar la ubicación exacta a los responsables de operación y mantenimiento del camino.

Canales de encauzamiento.

Las cunetas y contracunetas son los auxiliares principales del drenaje longitudinal, no obstante algunos proyectos se suscitan en situaciones características, un terreno muy plano, puede ser un claro ejemplo. Según Olivera

(2006) en terrenos de esta índole donde los caudales no se encuentran bien definidos se puede hacer uso de un canal de encauzamiento cuya finalidad es captar el agua antes de que ésta llegue a la estructura.

El agua que los canales de encauzamiento interceptan es desviada hacia puntos previamente determinados donde el agua ya no cause daño. Desde el punto de vista económico el material que se extrae con la construcción del canal se puede usar para terraplenar y darle así un uso posterior.

Bombeo.

De acuerdo con Olivera (2006), se refiere a la pendiente transversal que se le otorga a un camino en su forma transversal para que no almacene de ninguna forma agua en su sección y que esta pueda penetrar a las terracerías porque las ablandaría y puede provocar fragilidad en la capa de revestimiento. En el centro el bombeo se hace del centro a los hombros, en curvas horizontales se apoya de la sobreelevación de la curva, que no es otra cosa sino la inclinación que se implementa para contrarrestar la fuerza centrífuga que ocasiona la curva, estos elementos se aplicarán antes del revestimiento.

Vados.

Existen situaciones peculiares, donde las metodologías antes mencionadas no resultan eficientes para solucionar la presencia de agua en un camino, cuando el agua cruza directamente una parte del camino con una corriente torrencial ya sea efímera o permanente formando un pequeño tirante hidráulico y que bloquea el paso de vehículos, cuando estas eventualidades se presentan hay una solución; la

construcción de vados, consisten en estructuras superficiales sobre el camino que permiten que el tirante que forma la corriente continúe su cauce sin ocasionar daños.

1.5.3. Alcantarillas.

“Las alcantarillas son estructuras transversales de forma diversa cuya funciones es conducir y desalojar, con la mayor rapidez posible, el agua de las hondonadas y las partes más bajas del terreno (thalwegs) que atraviesan el camino. Por la forma de su sección y el material de que están construidas, estas estructuras de drenaje menor se clasifican en tubos, bóvedas, losas sobre estribos y cajones. Las alcantarillas están siempre alojadas en el cuerpo de la terracería.” (Olivera; 2006:56)

Retomando lo dicho por Olivera (2006), la diferencia que existe de este elemento con relación a los vados, es el régimen hidráulico, ya que en las alcantarillas el cauce se reduce y por ende, la velocidad aumenta debido a las cunetas y contracunetas que se encuentran en la obra, permitiendo que haya un mayor volumen de agua.

Cualquier tipo de alcantarillas puede presentar una mejor calidad en cuanto a la funcionalidad mediante aleros, que se encuentran en la entrada y salida con forma de muro de contención, el cual provoca un cambio en el régimen del terreno. Es importante mencionar que para la colocación de éstos es imprescindible olvidar la relación del talud.

En general, los aleros no solamente tienen como función el régimen hidráulico, sino sirven de referencia para instalar las alcantarillas, pues éstas se colocan en su parte más distante, pero debido a que no todos los suelos presentan las mismas

características, es por ello, que hay excepción de esta colocación en aquellos que sean sumamente erosivos, para éstos es necesario que exista un zampeado entre los aleros de entrada y salida, así mismo se instalará un dentellón en cada parte extrema pero con la característica de que éste se coloque a una distancia mayor que la que pueda socavar el agua.

En cambio, en terrenos con pendientes transversales altas, es fundamental la realización de una cimentación en forma escalonada con una distancia entre uno y dos metros a lo largo de la alcantarilla, de tal manera poder colocar sobre ésta los estribos tanto de bóvedas como de losas, por el entendido que dichas estructuras serán de concreto hidráulico debido a la presencia de agua en ellas.

Sin embargo, cualquier tipo de alcantarilla deben tener las mismas características básicas, es decir, el terraplén debe presentar capas de compactación de entre 15 a 20 centímetros de espesor, en tuberías el espesor mínimo es de 0.60 metros y en bóvedas de 1 metro.

Como ya se ha mencionado anteriormente, existen varios tipos de alcantarillas entre los que destacan, tubos, bóvedas, losas sobre estribos y cajones, para lo cual, es necesario conocer a detalle su estructura y funcionamiento para poder elegir la correcta en el proyecto.

Tubos.

Los tubos son un tipo de alcantarilla, su forma más usual es circular, para que éste tenga una funcionalidad adecuada necesita un terraplén como ya se ha dicho de por lo menos 0.60 metros.

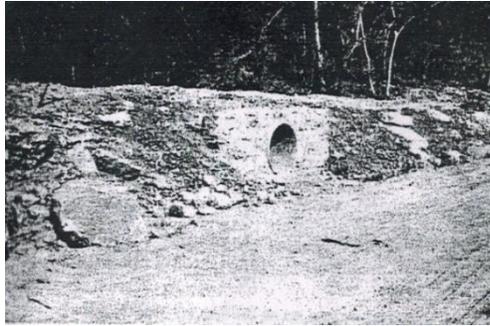


Fig. 1.5.- Alcantarilla de tubo en un camino de construcción.

Fuente: Olivera; 2006: 57.

Como éste tipo de alcantarilla está sujeto a varias fuerzas como de fricción, el concreto que se utiliza no es simple sino reforzado, la ventaja que ofrece en cuestión económica es que es factible utilizar mampostería de baja calidad y en ocasiones mortero.

Bóvedas.

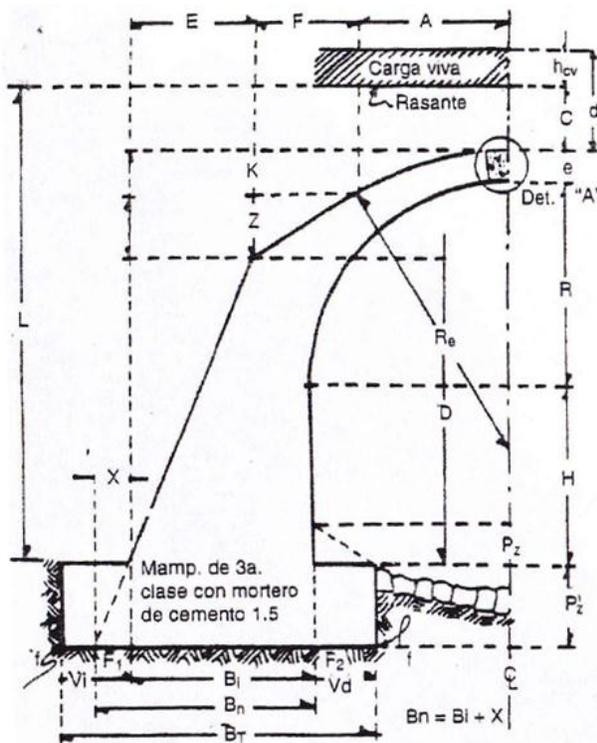
Su sección interna está compuesta por tres partes: “el piso, dos paredes verticales que son las caras interiores de los estribos y, sobre éstas, un arco circular de medio punto o rebajado que es el intradós de un arco estructural de sección variable con un mínimo espesor en la clave.” (Olivera; 2006:57)



Fig. 1.6.- Alcantarilla de bóveda.

Fuente: Olivera; 2006: 59.

Al igual que los tubos, ésta estructura puede llevarse a cabo con mampostería de tercera y mortero de cemento. En cuestiones constructiva según Olivera (2006), un molde de madera es un factor importante ya que se utiliza tanto en el arco como para colar la clave, ésta requiere concreto simple de $f'c = 100 \text{ kg/cm}^2$. Para unir el arco se utilizan juntas radiales y debe tener un ancho medio mínimo de 35 centímetros. Si se decide utilizar concreto simple se deberá descimbrar a los 14 días de colada la clave, construyendo después el terraplén.



Nomenclatura:

- d** = Espesor del colchón sobre la clave más la carga viva traducida.
- c** = Espesor real del colchón sobre la clave, en m.
- h_{cv}** = Carga viva de camión (H15 – s12 o H20 – s16), traducida en espesor del colchón considerando un peso volumétrico de 1600 kg/m^3 , en m.
- R** = Radio del intradós, en m.
- R_e** = Radio del extradós, en m.
- e** = Espesor de la clave, en cm.
- B_T** = Ancho total del cimientado, en cm.
- V_i, V_d** = Escalones del cimientado, en cm.
- P_z** = Peralte del cimientado, en cm.
- f** = Esfuerzo unitario de compresión en el desplante del cimientado, kg/cm^2 .
- F_1, F_2** = Esfuerzos unitarios en el desplante, cuando se eliminan escalones kg/cm^2 .
- V** = Volumen de mampostería m^3/m .

CLAVE DE CONCRETO SIMPLE $f_c = 100 \text{ kg/cm}^2$



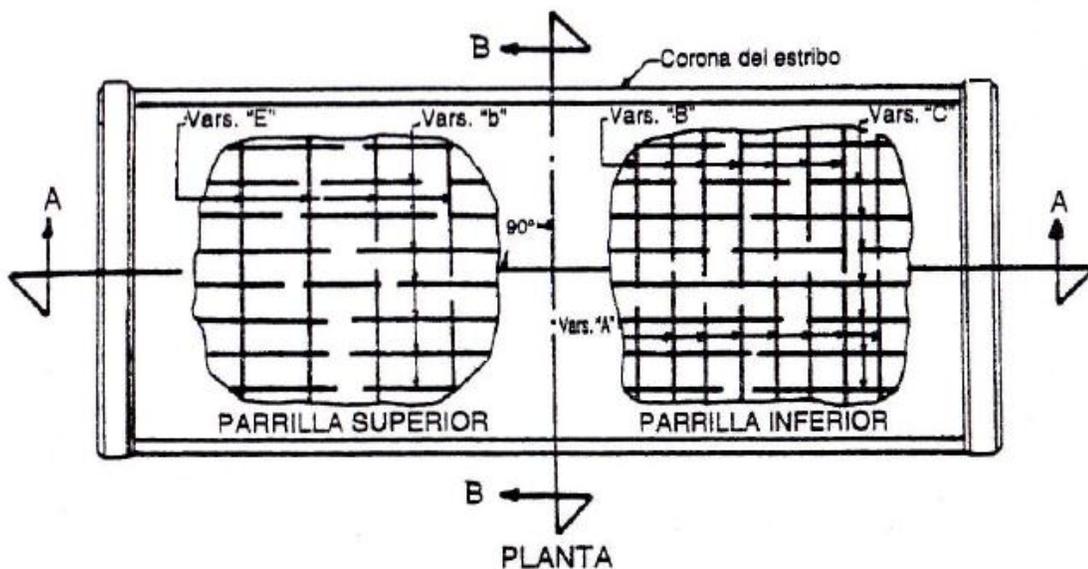
Fig. 1.7.- Nomenclatura para el proyecto de bóvedas.

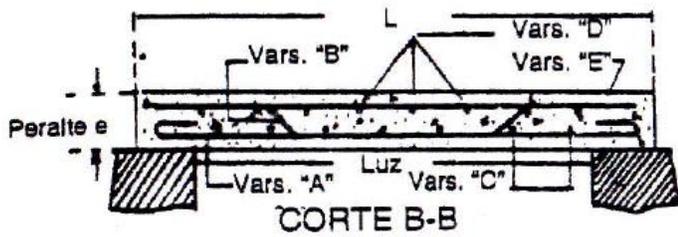
Fuente: Olivera; 2006: 58.

Una cuestión particular en terrenos rocosos son dentellones y zampeado del piso, los cuales ayudan a evitar la erosión existente en el suelo. Debido a que este tipo de alcantarilla posee muros, se entiende que existirá empuje hidrostático, sin embargo si se coloca en el respaldo de los estribos una capa aproximadamente de 30 centímetros de espesor de material graduado se podrá aminorar dicho efecto. Para determinar la curva granulométrica se necesita una muestra representativa.

Losas sobre estribos.

Es aquella que se encuentra entre dos muros de mampostería de tercera y mortero de cemento, apoyándose en una losa de concreto reforzado. Para fines de construcción el descimbrado se hará a los 21 días, para suelos erosivos la colocación del terraplén, el zampeado del piso, dentellones y el efecto del empuje hidrostático, se harán de acuerdo a la siguiente figura:

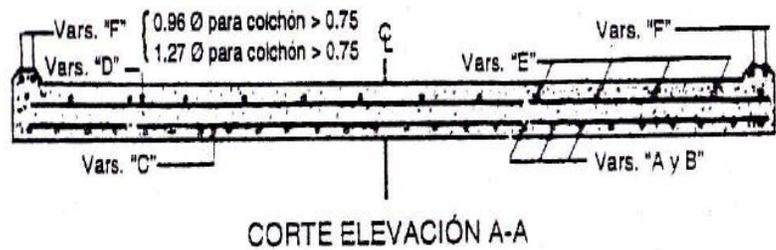




LISTA DE VARILLAS	
DESIG.	CROQUIS
Varillas "A"	
Varillas "B"	
Varillas "C"	
Varillas "D"	
Varillas "E"	
Varillas "F"	

GANCHOS Y EMPALMES					PESO VARILLAS
Soldadura 0.3 a 0.6					
∅	α	β	δ	b	kg/m
0.95	5.7	13	8	19	0.566
1.27	7.6	17	10	25	0.997
1.59	9.5	21	11	32	1.566
1.91	11.4	26	12	36	2.262
2.22	13.3	30	13	45	3.066
2.54	15.2	34	14	51	4.003
2.86	17.1	39	15	57	5.075
3.18	19.1	43	16	64	6.265

Dimensiones en cm



Carga viva: H20-s16 o H15-s12

NOTAS: Esta nomenclatura regirá en el proyecto tipo de losas para alcantarilla.

Adaptación. Para luces de 1.00 a 4.00 se recomiendan losas de concreto $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$ y para mayores, de $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$. En losas con sólo armado en parrilla inferior, los extremos de las varillas "B" se recibirán en una varilla "C" ya incluida en la tabla correspondiente. Las varillas "A" son las únicas que llevan ganchos.

Materiales: Losas y guarniciones de concreto de $f'c = 150$ o 200 kg/cm^2 , con revenimiento de 10.

Cubicaciones: El volumen del concreto se determinará al multiplicar la longitud de la alcantarilla por el volumen por metro lineal y al agregar el que corresponda a las guarniciones.

Fig. 1.8.- Nomenclatura para el proyecto de losas.

Fuente: Olivera; 2006: 61.

Cajones.

Por último, se tienen los cajones, que son estructuras en forma rectangular donde sus elementos como piso, paredes y techos son de concreto reforzado, una cuestión particular de éstas estructuras son el cuidado especial que se necesita al construirla y el hecho de que funciona como un marco rígido que hace un equilibrio en el elemento. Sus elementos geométricos son de bajo peso pero con superficie amplia.

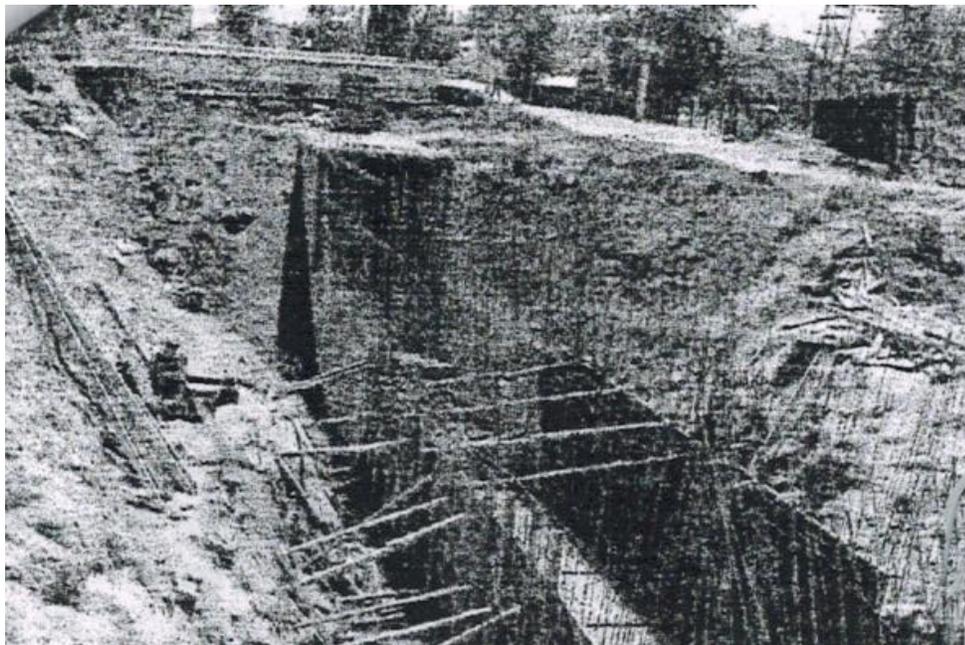
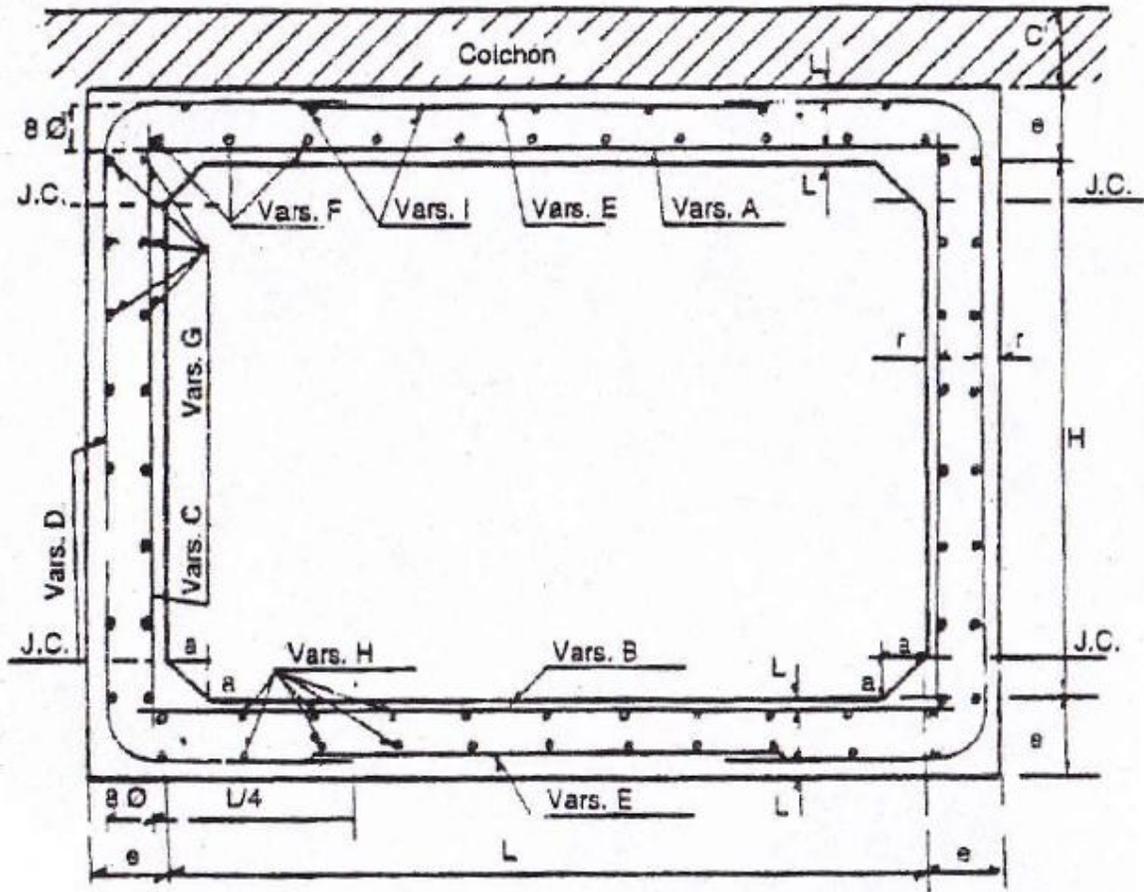


Fig. 1.9.- Alcantarilla de cajón.

Fuente: Olivera; 2006: 62.



NOMENCLATURA:

- L = Espacio libre horizontal, en m.
- H = Espacio libre vertical, en m.
- C = Espesor de relleno sobre la alcantarilla, en m.
- e = Espesor de losas y muros, en cm.
- f = Esfuerzo unitario en el desplante producido por las cargas, en kg/cm².
- Vol. = Volumen del concreto del cajón, en m³/m
- Φ = Diámetro de la varilla de refuerzo, en cm.
- P = Cantidad de acero de refuerzo, kg/m³.
- F_c = Esfuerzo unitario de ruptura del concreto a compresión a los 28 días de edad, en kg/cm².
- 8 Φ = Radio de la curva del refuerzo.
- a = Lado de la cartela.
- J.C. = Junta de colado.
- r = Recubrimiento, medido desde el eje de refuerzo principal.

NOTAS: Los elementos geométricos de un cajón que no aparezcan en las tablas podrán obtenerse mediante la interpolación lineal de los valores inmediatamente próximos al caso por resolver. Los espaciamientos y las longitudes de las varillas están expresados en cm. Estas notas se complementan con las del proyecto c - I.

Fig. 1.10.- Nomenclatura para el proyecto de alcantarillas de cajón.

Fuente: Olivera; 2006: 62.

1.5.4. Funcionamiento del drenaje.

Es esencial dividir el drenaje a cada 5 kilómetros, con el objeto de dar observaciones de dicha división, para ello se requiere de un proyecto de cada alcantarilla con las mismas separaciones, efectuándose un resumen, el cual consta de las siguientes características:

- a) Se describen todas las obras de drenaje que se utilizaron en cada tramo, es decir, localización, área drenada, coeficiente, área hidráulica de la obra y dimensiones recomendadas.
- b) Una vez obtenido el problema, se da paso a un resumen de solución, el cual nos dice, cómo se rectificó el cauce, cómo se canalizaron los escurrimiento y mediante que obra se llevó a cabo, etcétera.
- c) Como todo proyecto al final se colocan todos los planos constructivos utilizados, la memoria de cálculo y un croquis del drenaje sobre el eje del camino.

CAPÍTULO 2

PAVIMENTO RÍGIDO

En el presente capítulo se abordará el tema de pavimento rígido, así como los elementos que lo componen, enfocados al desarrollo y la óptima elección de los procedimientos que forman parte del proyecto.

2.1. Concepto de pavimento.

Con base en lo mencionado por Olivera (2006) un pavimento se puede interpretar como la superficie de rodamiento de un camino, la cual es encargada de transmitir, las cargas que ejercen el tipo y volumen de tránsito, a los estratos inferiores. Ésta superficie se conforma de varias capas de materiales seleccionados en base a sus propiedades físicas y químicas para satisfacer las exigencias de la estructura. Tomando en cuenta todos y cada uno de los fenómenos que puedan afectar a la obra y ocasionarle bajas en su rendimiento, elevación en su costo de construcción y operación obedeciendo siempre a las especificaciones y reglamentos correspondientes y por supuesto a un factor económico.

2.2. Clasificación de los pavimentos.

Como hace referencia Olivares (2006), existen dos tipos de pavimentos: rígidos y de asfalto. Los pavimentos de asfalto son aquellos que proporcionan una carpeta flexible, ubicada en la parte superior de la capa de rodamiento, la cual está constituida de materiales pétreos y productos asfálticos. Dichos materiales se encuentran en ríos, arroyos o en rocas, por lo general, es necesario el cribado o

triturado para poder ser utilizados. Es importante mencionar que la calidad, dureza, adherencia, forma, granulometría, entre otros, de estos materiales es simplemente indispensable, especialmente la granulometría, ya que es la esencia del acabado, es decir, al haber un cambio en ésta por consiguiente habrá una deformación en la superficie a revestir.

Lógicamente este tipo de pavimento está compuesto por asfalto, es por ello, que una cantidad adecuada de éste puede prevenir una oxidación y pérdida de resistencia al no soportar el peso de los vehículos, ésta última, por lo general, aparece por partículas de forma de aguja, ya que suelen triturarse con facilidad y por ende pierden la estabilidad, es por ello, la necesidad de un espesor suficiente y con las características óptimas para que pueda combatir los efectos del intemperismo y de resistencia.

Debido a la exigencia de pavimentos con calidad, a continuación se muestran las características que deben tener los productos asfálticos:

Cemento asfáltico.

El cemento asfáltico, proviene del petróleo y al tener una temperatura normal su estado es sólido y con un color café oscuro, debido a esto es necesario calentarlo en una planta por la temperatura tan alta que se necesita alcanzar, aproximadamente de 140 °C, dándose así el proceso de mezclado con los materiales pétreos. Las especificaciones que se deben tomar en cuenta se encuentran en la Tabla 2.1.

Características	Cemento asfáltico			
	Núm. 3	Núm. 6	Núm. 7	Núm. 8
Penetración, 100 g 5 s, 25° C, grados	180-200	80-100	60-70	40-50
Viscosidad Saybolt-Furol: A 135°C, s, mínimo	60	85	100	120
Punto de inflamación (copa abierta de Cleveland), °C mínimo	220	232	232	232
Punto de reblandecimiento, °C	37-43	45-52	48-56	52-60
Ductilidad, 25°C, cm, mínimo	60	100	100	100
Solubilidad en tetracloruro de carbono, por ciento, mínimo	99.5	99.5	99.5	99.5
Prueba de la película delgada, 50 cm ³ , 5 h, 163°C:				
Penetración retenida, por ciento, mínimo	40	50	54	58
Pérdida por calentamiento, por ciento, máximo	1.4	1.0	0.8	0.8

Tabla.2.1.- Especificaciones para cementos asfálticos.

Fuente: Olivera; 2006: 186.

Rebajados asfálticos.

Gracias a este producto, el asfalto puede trabajarse a temperaturas menores. En teoría, los rebajados asfálticos se realizan disolviendo el concreto asfáltico en gasolina, tractolina, diesel o aceite. La cantidad de cemento que se utilice varía dependiendo a la finalidad que se desea, por ello de la existencia de cinco tipos de cada uno de los rebajados, es decir, cinco tipos de rebajados de gasolina, cinco de tractolina y así sucesivamente.

Emulsiones asfálticas.

Sin la existencia de este tipo de productos no es posible la mezcla de materiales pétreos húmedos, debido a que la adherencia natural de éstos sólo se da cuando están secos, hoy en día, no es un problema gracias a este producto, que además nos permite una variedad en la humedad y fraguados de acuerdo a la cantidad de cemento asfáltico que se coloque. Por último, en México los tipos de pavimentos asfálticos más utilizados son: Por riesgo, mezclas en el lugar y concretos asfálticos.

En lo que respecta a los pavimentos rígidos, según Olivera (2006), están constituidos principalmente por una losa de concreto hidráulico y una sub-base, que se encuentran por encima de la subrasante, como se muestra en la figura 2.1.

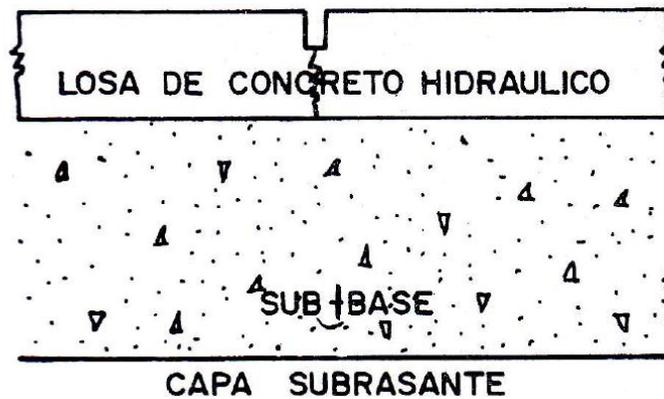


Fig.2.1.- Esquema de las capas que forman un pavimento rígido, construido sobre la capa subrasante.

Fuente: Olivera; 2006: 311.

Los procesos constructivos anteriormente eran muy simples debido a que colocaban directamente la losa en la subrasante, dando lugar a un sinnúmero de pavimentos con fallas, dichas fallas se encontraban a las orillas. “Al investigar el fenómeno, se encontró que la causa había sido lo que se ha llamado “fenómeno de bombeo”, el cual consiste en el ascenso de materiales finos y húmedos hacia la superficie de rodamiento a través de las juntas, en virtud de la deformación y recuperación de las losas en las orillas, paso de vehículos.” (Olivera; 2006:311)

Desde entonces se tiene la necesidad de colocar primero la sub-base, es decir, un material granular con un espesor adecuado y calculado con respecto a la

losa de concreto. Y de tal manera evitar alguna anomalía, ya que el 80% de las fallas en los pavimentos se deben a ésta cuestión.

2.3. Generalidades del concreto hidráulico.

Entre los tipos de pavimento se encuentran los ya mencionados pavimentos rígidos y flexibles, en este apartado del capítulo número 2 se mencionaran las generalidades de mayor importancia para su estudio y facilidad de manejo. Los pavimentos rígidos distan en gran medida de los pavimentos flexibles, presentando elevada resistencia a la flexión, pero a su vez una gran desventaja en cuanto a complicaciones por temperatura se refiere.

Los principales esfuerzos a los que se sujetan los pavimentos rígidos según Crespo (1996) son:

- Esfuerzos abrasivos causados por las llantas de los vehículos.
- Esfuerzos directos de compresión y acortamiento causados por las cargas de las ruedas.
- Esfuerzos de compresión y tensión causados por la expansión y contracción del concreto, por efectos de los cambios de temperatura.

Una vez mencionados los esfuerzos e inconvenientes que representa el uso de un pavimento rígido, se deben tomar en cuenta factores que coadyuven al mejor funcionamiento del mismo, tales como:

- Volumen, tipo y peso del tránsito a servir en la actualidad y en un futuro previsible.
- Valor relativo de soporte y características de la subrasante.

- Clima de la región.
- Resistencia y calidad del concreto a emplear.

Sin olvidar el objetivo principal de una obra, eficiente y eficaz, deben tomarse en cuenta los factores antes mencionados, de no hacerlo se verá reflejado en la rentabilidad, vida útil y el correcto funcionamiento del camino. Retomando lo dicho por Crespo (1996) la obra no debe llevar más de lo que requiere pero tampoco menos para no incrementar gastos innecesarios.

Por otro lado, los estudios acerca del tránsito que ha de actuar en el camino y el volumen del mismo representan la certeza de poder determinar con bases técnicas el tipo de materiales, el número y el ancho de carriles, señalamientos, velocidad de proyecto, etc., que permitan un diseño idóneo del proyecto. Para prever el tránsito y volumen futuros se requieren estudios socioeconómicos de la zona en estudio a fin de que el proyecto tenga una vida útil lo más prolongada posible y que en el futuro no se presenten circunstancias que influyan en altos costos de mantenimiento y/o reparación.

Como se mencionó anteriormente la flexión es el principal reto del proyectista cuando se define por un pavimento rígido, para una losa de espesor uniforme, por ejemplo, se presenta el momento crítico en la esquina correspondiente al ángulo que se forma entre un borde exterior y una junta, este efecto se puede observar en la fig. 2.2.

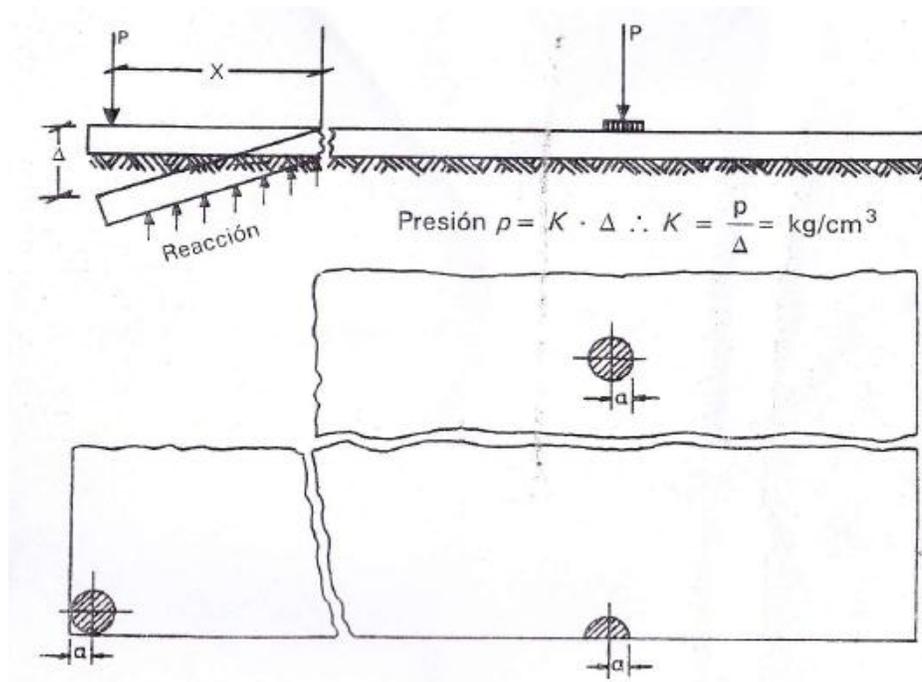


Fig. 2.2.- Punto crítico de una losa de espesor uniforme.

Fuente: Crespo; 1996:349.

2.4. Mecánica de suelo.

La Mecánica de suelo es un factor indispensable en cuanto al análisis del mismo, ya que ésta sugiere una relación de las propiedades que posee, trayendo así las características que puede o debe tener la superestructura y con ello tener la certeza de que la obra no presentará ninguna anomalía en el transcurso de su uso.

2.4.1. Concepto de suelo.

Es usual tomar el concepto de suelo como un conjunto de partículas ya sean orgánicas o inorgánicas, las cuales no se encuentran en conexo con alguna organización. Retomando la dicho por Badillo (2004), se sabe que en efecto dicho

concepto engloba una descrita organización y que además sus características no son constantes, es decir, con respecto al sentido vertical éstas sufren cambios más notorios que en la proyección horizontal.

En términos generales, el suelo tiene una gama abundante de perspectivas en cuanto a su uso, debido a que su interpretación puede cambiar dependiendo del interés de los diferentes profesantes. Un ejemplo conciso de lo anterior, con respecto a la Agronomía y a la Ingeniería es que su significado para la primera ocupación se aplica a la parte superior de la corteza, la cual es capaz de brindar vegetación, siendo esta una definición demasiado limitada para la Ingeniería. Ahora bien para la Geología, es todo aquella materia que se encuentra expuesta al medio ambiente y con contenido de materiales orgánicos, haciendo un análisis a la Ingeniería dicho análisis resulta incompleto debido a la falta de estudio en cuanto a los materiales transportados no intemperizados.

En teoría, el suelo representa desde un relleno de desperdicio hasta areniscas parcialmente cementadas, el agua como tal, es un elemento de vital importancia, ya que brinda características mecánicas y por ende es necesario integrarla como componente esencial del suelo.

2.4.2. Granulometría en suelos.

Como menciona Juárez (2004), anteriormente se tenía la creencia de que las propiedades mecánicas de los suelos solo tenían relación con su distribución en cuanto a tamaños, por ello para la los ingenieros era sumamente preocupante la

buscada de algún método para determinar dichas distribuciones. Hoy en día, se cree que con una vasta experiencia se puede deducir las propiedades del suelo según su granulometría pero desgraciadamente no es suficiente.

Exclusivamente para aquellos suelos, en los cuales su granulometría se determina por mallas, la asignación de tamaños da referencia a las posibles propiedades físicas que posee el material, es decir, en aquellos que tengan un suelo grueso bien graduados con una variedad de tamaños provee un comportamiento más benigno que en suelos con granulometría semejante.

“Más aún en esos suelos gruesos, ha de señalarse, según ya se dijo, que el comportamiento mecánico e hidráulico está principalmente definido por la compacidad de los granos y su orientación, características que destruye, por la manera de realizarse, la prueba de granulometría, de modo que en sus resultados finales se ha tenido que perder toda huella de aquellas propiedades tan decisivas.” (Juárez; 2004:97). Lo cual constituye a un desarrollo de un método como tal que represente una forma de no alterar el material, sin embargo dicho método al parecer Badillo (2004), hasta hoy no se ha podido encontrar y además no se podrá descubrir jamás.

Con relación a los suelos finos en estado inalterado, el tema de la granulometría no es necesario, debido a que sus propiedades provienen de su historia geológica, sin embargo el ingeniero debe tener un amplitud de este tema, debido a que tiene una posición muy importante en la literatura técnica, ya que de lo

contrario se tienen ingenieros con conocimientos limitados, que por ende aplican análisis sin fundamentos lo cual conduce a conclusiones o ideas inadmisibles.

Sistemas de clasificación de suelos basados en criterios de granulometría.

Con base en lo mencionado por Juárez (2004), el tamaño de los agregados que componen al suelo, como parte de una organización bien definida, representa un parámetro que hace posible su clasificación, hoy en día con los avances de la tecnología en materia de cribado ésta tarea se ha tornado más sencilla de llevar a cabo con ayuda de curvas granulométricas, haciendo posible una clasificación más específica, inclusive en cuestión de materiales finos con las nuevas técnicas de análisis de suspensiones. Se destacan de esta manera algunas clasificaciones que se muestran a continuación:

a) Clasificación Internacional.

Otra basada en Suecia.

Tamaño en mm

2.0	0.2	0.02	0.002	0.0002
Arena gruesa	Arena fina	Limo	Arcilla	Ultra – Arcilla (coloides)

Tabla. 2.2.- Clasificación Internacional.

Fuente: Juárez; 2004:101.

b) Clasificación M.I.T.

Propuesta por G. Gilboy y adoptada por el Massachusetts Institute of Technology.

Tamaño en mm

2.0	0.6	0.2	0.06	0.02	0.006	0.002	0.0006	0.0002
Gruesa	Media	Fina	Gruoso	Medio	Fino	Gruesa	Media	Fina (coloides)
ARENA			LIMO			ARCILLA		

Tabla. 2.3.-Clasificación M.I.T.

Fuente: Juárez; 2004:102.

c) La siguiente clasificación, utilizada a partir de 1936 en Alemania, está basada en una proposición original de Kopecky.

MATERIAL	CARACTERISTICA	TAMAÑO mm
Piedra	-----	Mayor de 70 mm
Grava	Gruesa	30 a 70
	Media	5 a 30
	Fina	2 a 5
Arena	Gruesa	1 a 2
	Media	0.2 a 1
	Fina	0.1 a 0.2
Polvo	Grueso	0.05 A 0.1
	Fino	0.02 a 0.05
Limo	Grueso	0.006 a 0.002
	Fino	0.002 a 0.006

Arcilla	Gruesa	0.0006 a 0.002
	Fina	0.0002 a 0.0006
Ultra - Arcilla	-----	0.00002 a 0.0002

Tabla. 2.4.-Clasificación de Kopecky.

Fuente: Juárez; 2004:102.

Después de la clasificación “Ultra – Arcilla” las partículas constituyen disoluciones y ya no se sedimentan.

Con base en la experiencia con el uso de las diversas tablas de clasificación se ha caído en contradicciones y errores, debido a que en cada una se hacen especificaciones diferentes en cuanto a tamaño y nombre de los componentes del suelo. Inclusive con el uso de los nombres de las arcillas y limos, puesto que se llegó en determinado momento que las propiedades de comportamiento y resistencia dependían del tamaño del material, cayendo en un error de acuerdo a estudios más recientes que afirman que el nombre de “arcilla” y “limo” sólo representan un tipo de suelo y no una clasificación de tamaño.

2.4.3. Compactación.

Como cita Juárez (2004), explica que la compactación es un mejoramiento a base de material artificial al suelo por medio de elementos mecánicos. Su importancia radica en el aumento circunstancia de la resistencia del suelo, además

de una disminución en las deformaciones al aplicarle carga al mismo, debido a la ausencia de vacíos. En teoría, la compactación se realiza en rellenos artificiales, como es en cortinas de presas, diques, terraplenes, entre otros, pero en ocasiones también puede consolidarse el terreno natural, como son las cimentaciones.

Para conocer el método idóneo de compactación será influencia en el tipo de suelo que se presente en una edificación, es decir, en suelos friccionantes se utiliza los elementos vibratorios y en cuanto a suelos plásticos la carga estática es la adecuada. Afortunadamente en campo se pueden definir los equipos a utilizar, ya que hoy en día existen una variedad de ellos en el mercado. La capacidad que deben tener los equipos en campo se verán reflejados en ciertos factores, los más importantes son: el grado de humedad que tenga el suelo y la energía con que se compacte.

“El establecimiento de una prueba simple de compactación en el laboratorio cubre, principalmente, dos finalidades. Por un lado disponer de muestras de suelo compactadas teóricamente con las condiciones de campo, a fin de investigar sus propiedades mecánicas para conseguir datos firmes de proyecto; por otro lado, es necesario poder controlar el trabajo de campo, con vistas a tener la seguridad de que el equipo usado está trabajando efectivamente en las condiciones previstas en el proyecto.” (Juárez; 2004:576)

En general, el procedimiento de la compactación, comienza en tomar muestras del suelo y éstas se llevan al laboratorio en donde se estipula las condiciones que se deben de prever para la consolidación, y de esta manera elegir la

que garantice seguridad y por supuesto una economía razonable. Sin olvidar el equipo idóneo al compactar, por último, es necesario verificar que el suelo compactado cumple con las características de diseño.

Pruebas de compactación.

En la actualidad existe un sinnúmero de condiciones de compactación teóricas de laboratorio, las cuales fueron creadas para cumplir con los diferentes factores que el suelo pueda tener. El primer método que surge, es el R.R. Proctor, conocido actualmente por Prueba Proctor Estándar o AASHTO (American Association of State Highway Officials), la cual consiste en compactar el suelo por medio de tres capas, que se encuentran dentro de un molde, mediante golpes. Generalmente el molde tiene forma cilíndrica de $1/30 \text{ pie}^3$, de 10.2 centímetros de diámetro y 11.7 centímetros de altura, y se coloca en una base de metal que se atornilla. Con respecto al pisón que se utiliza es de 2.5 kilogramos de peso y los golpes se hacen dejando caer el pisón desde una altura de 30.5 centímetros, aproximadamente son 25 golpes. Juárez (2004) menciona que con los datos anteriores la energía específica de compactación es de 6 kg cm/cm^3 , que se calculó con la fórmula siguiente:

$$E_e = \frac{NnWh}{V}$$

Donde:

E_e = Energía específica,

N = Número de golpes por capa.

n = Número de capas de suelo.

W = Peso del pisón.

h = Altura de caída libre del pisón.

V = Volumen del suelo compactado.

Con este tipo de método se confirma que el contenido de humedad es un factor fundamental para obtener una compactación ideal, es decir, a mayor contenido de humedad inicial llamada “óptima” las compactaciones que resultan son mejores que en suelos donde hay un grado de humedad menor. Lo anterior se debe a la capilaridad que poseen el agua, o sea, a bajos contenidos de humedad el líquido se encuentra en forma capilar, la cual produce grumos que son muy difíciles desintegrar y por ende la compactación resulta muy deficiente. En caso contrario, el agua no presenta dicho fenómeno trayendo una compactación razonable.

A continuación se presenta una gráfica que señala por medio de curvas los pesos específicos de suelos arcillosos-arenosos.

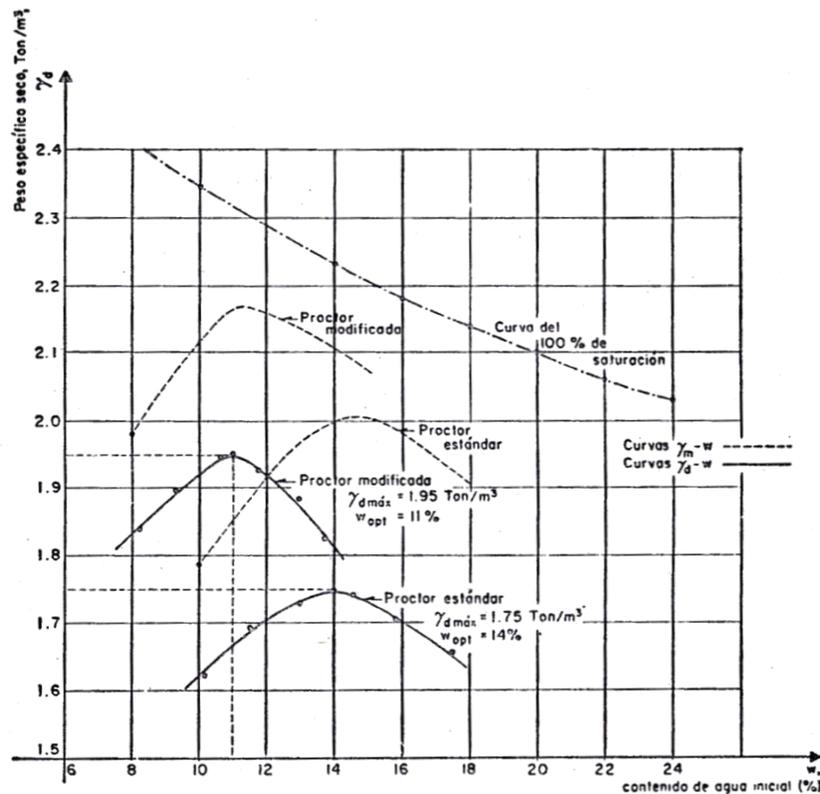


Fig. 2.3.- Curvas de compactación en Pruebas ProctorEstándar.

Fuente: Juárez; 2004:578.

2.5. Elementos del pavimento rígido.

El pavimento rígido consta de diversos elementos que tienen funciones determinadas para hacer cumplir el correcto funcionamiento del mismo, así como su óptima duración en el transcurso del tiempo.

2.5.1. Juntas de los pavimentos rígidos.

De acuerdo con lo mencionado por Crespo (1996), dentro del comportamiento de los pavimentos rígidos destaca un fenómeno de suma importancia en el diseño de los caminos, la contracción y dilatación del con concreto, éstos provocan fallas en forma de grietas que llevan a la fractura la superficie de rodamiento repercutiendo de

manera importante en el incremento de gastos por conservación o reparación de la obra, caso contrario, si el proyectista considera el implemento de las juntas en lugares estratégicos determinados en base a la normatividad vigente evitará gastos innecesarios y una mejor funcionalidad del camino.

2.5.2. Juntas longitudinales.

Las juntas longitudinales que se pueden observar en la fig. 2.4 se ubican de manera paralela al sentido del camino, es común observarlas dividiendo los carriles de circulación, su finalidad primordial es la de permitir a las losas ligeros movimientos presentados de forma habitual en los pavimentos de concreto hidráulico debido a las deformaciones que presenta por efecto de la temperatura o esfuerzos extraordinarios de losa.

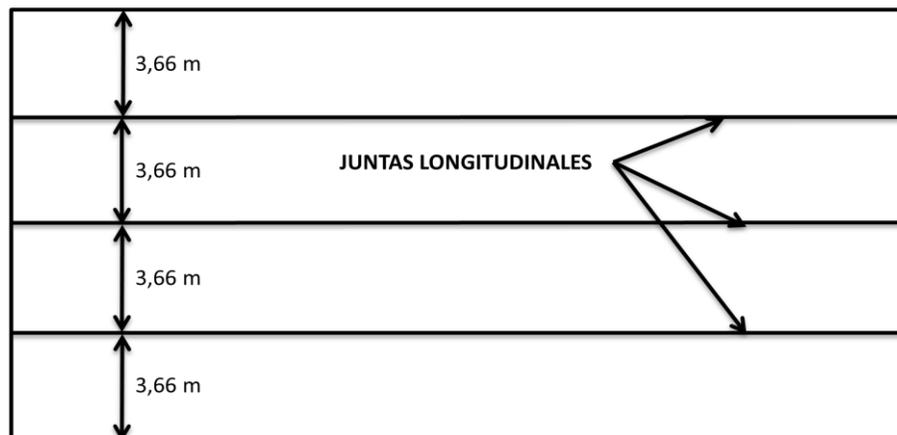


Fig. 2.4.- Juntas longitudinales.

Fuente: Crespo; 1996: 364

Con base en lo mencionado por Crespo (1996) en el uso de las juntas longitudinales existen dos tipos principales, uno de ellos el tipo macho – hembra que se muestra en la siguiente figura.

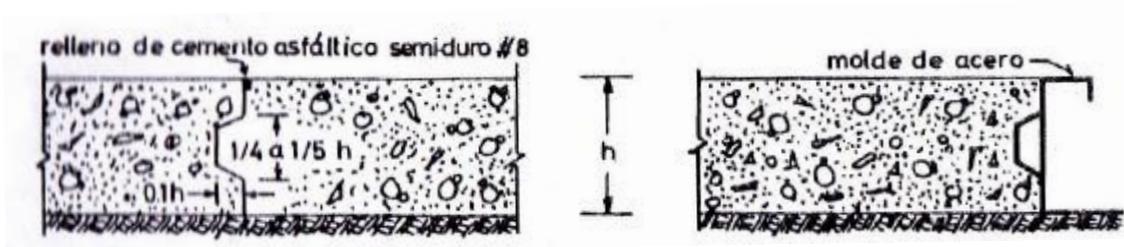


Fig. 2.5.- Juntas longitudinales tipo macho y hembra.

Fuente: Crespo; 1996: 364

Otra opción de construcción de junta es la que señala que no se requiere la aplicación de dos losas diferentes para cada sentido, sino pavimentar en una sola exhibición el ancho que suman los dos carriles y dividirla casi de inmediato mediante una ranura para formar así, la junta longitudinal en el camino, quedando como se muestra en la siguiente fig. 2.6.

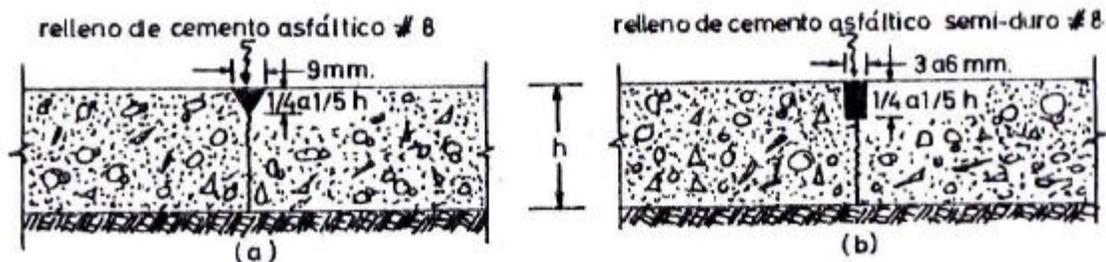


Fig. 2.6.- Juntas longitudinales de plano debilitado

Fuente: Crespo; 1996:365

El procedimiento usado para la elaboración de las juntas antes mencionadas tiene diferentes procedimientos de construcción, la mostrada en el inciso (a) por ejemplo consiste en la introducción en el lugar de la ranura de una pieza de acero y la del ejemplo (b) puede seguir en mismo procedimiento o con el uso de una tabla de madera, para éste último caso debe ponerse atención en aceitar la pieza de madera a fin de evitar que se hinche por efecto de la humedad y ocasione una ranura de mayor tamaño a la requerida que también puede resultar contraproducente. De la misma forma para la construcción de juntas con el modelo macho – hembra se recomienda el uso de moldes de acero.

2.5.3. Juntas transversales.

Los caminos a base de pavimento rígido presentan un esfuerzo generado por la contracción y alabeo de las losas, una vez mencionadas las juntas longitudinales es momento de hacer hincapié en las juntas transversales, éstas son de suma importancia puesto que evitan de manera importante el agrietamiento de la estructura vial, las hay de tres tipos; de contracción, de construcción y de dilatación.

Según Crespo (1996), las juntas de contracción, como su nombre lo dice son diseñadas para contrarrestar los agrietamientos ocasionados por la disminución relativa de las losas, su construcción es muy similar a la de las juntas longitudinales. La contracción de una losa se puede ver cortada por la fricción entre la losa y el terreno, ocasionado en gran medida si hay errores en el vaciado del concreto, debido a lo anterior debe calcularse el espacio que debe librar el espacio de una junta con

respecto a la otra, llamada esparcimiento L, ver fig. 2.7, y para ello se usará la fórmula siguiente:

$$S_2 = \frac{L}{a * h * 2 * f * \gamma} = \frac{L * \gamma * f}{2}$$

Donde:

a = Ancho de la losa; m

h = Espesor de la losa; m

L = Longitud de la losa; m

f = Coeficiente de fricción entre el suelo y el concreto, y varía de 0.5 a 2.5, usualmente 2.

γ = Peso volumétrico del concreto en t/m³

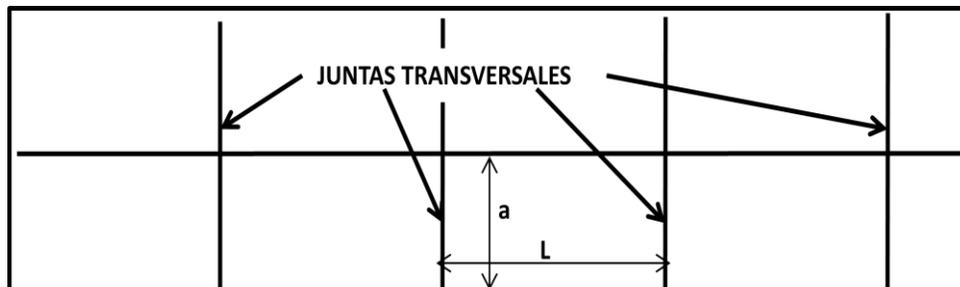


Fig. 2.7.- Juntas transversales

Fuente: Crespo; 1996: 366

Por medio de los cálculos estructurales correspondientes se puede conocer el valor del esfuerzo de tensión del concreto y con la fórmula anterior obtener la distancia adecuada para la colocación de las juntas de contracción. Existen materiales recomendados, tales como granito triturado, gravas calizas, etcétera para la construcción de este tipo de juntas; sin embargo, el papel fundamental en el correcto funcionamiento de las mismas, radica en la base o subrasante del suelo antes de colar el concreto, debiendo ser lo más lisa posible. Un pavimento rígido sin juntas presenta agrietamientos como el mostrado en la fig. 2.8.



Fig. 2.8.- Agrietamiento de un pavimento rígido sin juntas.

Fuente: Crespo; 1996:367

2.5.4. Curado del concreto.

De acuerdo con lo escrito por Crespo (1996), además de un diseño estructural que cumpla con los requerimientos de un proyecto, debe ponerse especial atención a la práctica de los diseños elaborados en gabinete, factores como la calidad requerida en materiales, el correcto proporcionamiento de los componentes de un concreto hidráulico y un curado apropiado. Éste último juega un papel determinante en el comportamiento y el cumplimiento de las resistencias para las que fue diseñado.

El curado del concreto no es otra cosa, que la conservación de la humedad una vez que se ha colado, es sabido que al momento de preparar las mezclas de concreto éste contiene gran cantidad de agua, sin embargo, en el proceso de fraguado (endurecimiento) la pierde prácticamente en su totalidad por efecto de la evaporación, es por ello que se han desarrollado diferentes técnicas y productos que permitan al concreto mantener la humedad óptima que le permita alcanzar su madurez (a los 28 días) en buenas condiciones de hidratación y así pueda poseer las características requeridas.

Algunos procedimientos son el rociado, la inundación, riegos impermeabilizantes, por mencionar algunos. Es importante mencionar que cuando se utiliza el rociado como método de hidratación para el concreto es más recomendable un rociado quizás fino pero constante que grandes aplicaciones de agua con periodos prolongados de secado. En cuanto al curado por inundación, utilizado con frecuencia en losas es importante que toda la estructura quede cubierta por una capa de agua.

Al paso del tiempo y dadas diferentes circunstancias se han desarrollado productos de mayor tecnología para cumplir con el cometido en cuestión. Tales como aditivos, productos químicos de impregnación, mantas fibrosas, papel impermeable que por supuesto tienen una metodología para su aplicación tomando en cuenta el factor más importante en este proceso, la temperatura, formas y dimensiones de la estructura.

2.5.5. Dosificación del concreto.

De común acuerdo con lo mencionado por Crespo (1996), las porciones adecuadas le darán al concreto la calidad requerida, en cuanto a consistencia y manejabilidad se refiere, mientras está en proceso de colocación y de resistencia y comportamiento cuando ha llegado a su madurez, dando lugar a gráficas, tablas de información, etcétera, que con base a la experiencia se han ido perfeccionando cada día.

2.5.6. Relación agua-cemento.

Como señala Crespo (1996), el factor de la relación agua-cemento, es de vital importancia en el proyecto, específicamente en aquellos realizados de concreto debido a que dicho factor indica la resistencia a compresión o flexión que debe poseer el material a un tiempo de 28 días. Afortunadamente existen gráficas, de las cuales se puede obtener dicha relación, siempre y cuando los materiales pétreos y la

forma de construcción sean de buena calidad y los que se hayan indicado en el diseño del proyecto.

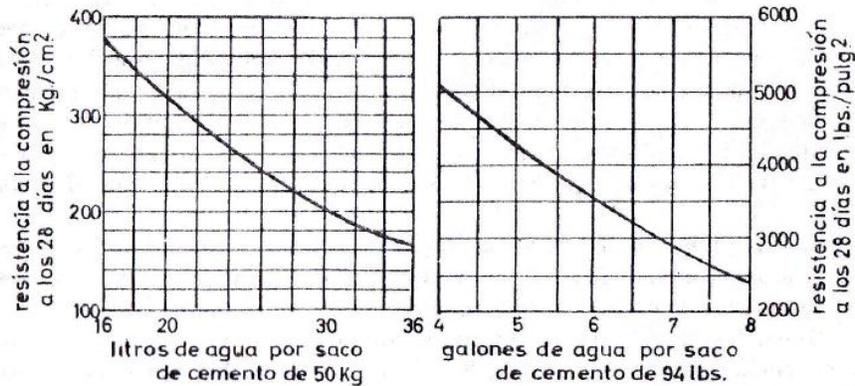


Fig. 2.9.- Relación agua-cemento.

Fuente: Crespo; 1996:379.

2.5.7. Consistencia.

En general, la consistencia de la mezcla se describe por medio de la naturaleza de la obra deseada. Para poder medirla es necesaria la prueba de revenimiento conocida como A.S.T.M. designación C-143-52.

De acuerdo con Crespo (1996), existen diferentes tipos de revenimientos, (mostrados en la tabla), que éstos a su vez se clasifican en base a la función a que serán destinados.

TIPO DE OBRA	REVENIMIENTO EN CM
Pavimentos.....	Máximo 7 Mínimo 5
Losas y vigas.....	Máximo 15 Mínimo 7
Cimientos armados.....	Máximo 12 Mínimo 5
Cimientos simples.....	Máximo 10 Mínimo 2
Columnas.....	Máximo 15 Mínimo 7

Tabla. 2.5.- Tipos de revenimiento.

Fuente: Crespo; 1996:380.

Sin olvidar la limitación en vibradores, es decir, si en el proyecto se utilizan vibradores para el concreto pueden tomarse los valores pero solamente un 60% de ellos.

2.5.8. Proporción de los agregados.

“Aún en las obras pequeñas deberían medirse los agregados por peso, sin embargo, como ello no es posible en muchísimos casos, se presentará la dosificación por volúmenes empleando como unidad de medida para el cemento el saco, ya sea de 50 kilogramos con 33 litros ($.033 \text{ m}^3$) o de 94 litros con un pie cúbico ($.0283 \text{ m}^3$) de capacidad.” (Crespo; 1996:380)

Es conveniente utilizar sacos completos, cuando se sacan los materiales por volúmenes, ya que con ello se utiliza el valor exactamente que viene de fábrica, así como también por cuestiones de economía, es recomendable utilizar agregados pétreos de gran tamaño para que el cemento no sea el que cubra más espacio sino al contrario.

Una vez conocido el revenimiento, el tamaño del material pétreo y la relación agua-cemento, es factible conocer la proporción inicial de la mezcla y ésta se percibe en la tabla siguiente:

Litros de agua por saco de cemento de 50 kg.	Galones de agua por saco de cemento de 94 lbs.	Revenimiento en centímetros.	Relaciones en volumen de cemento, arena y grava.	
			Tamaño máximo de la grava de 2.5 cm.	Tamaño máximo de la grava de 5 cm.
24	5.5	1 a 3	1: 2: 3	1: 2: 3.5
		7 a 10	1: 2.75: 2.5	1: 1.75: 3
		12 a 17	1: 1.5: 2	1: 1.5: 2.5
27	6	1 a 3	1: 2.25: 3.25	1: 2.25: 3.75
		7 a 10	1: 2: 3	1: 2: 3.5
		12 a 17	1: 1.75: 2.5	1: 1.75: 3
30	6.75	1 a 3	1: 2.5: 3.5	1: 2.5: 4
		7 a 10	1: 2.25: 3.25	1: 2.25: 3.75
		12 a 17	1: 2: 3:	1: 2: 3.5
33	7.5	1 a 3	1: 3: 4	1: 3: 4.75
		7 a 10	1: 2.5: 3.75	1: 2.5: 4.25
		12 a 17	1: 2.25: 3.5	1: 2.25: 3.75

Tabla. 2.6.- Proporción inicial.

Fuente: Crespo; 1996:381.

Afortunadamente se puede encontrar un sinnúmero de consistencia alterando la proporción inicial pero para ello es necesario modificar la relación agua-cemento y la cantidad de agregados pétreos. Es indispensable conocer el volumen de los materiales pétreos, especialmente de la arena, ya que debido a la humedad que existe en la superficie el tamaño de ésta aumenta, es por ello que se considera una

corrección en la mezcla o a su vez en términos prácticos se agrega más cantidad de arena en la mezcla.

Debido a la necesidad de dicha corrección se realizó una gráfica, en la cual se exhibe el volumen que puede tener la arena de acuerdo a la humedad que exista en el sitio.

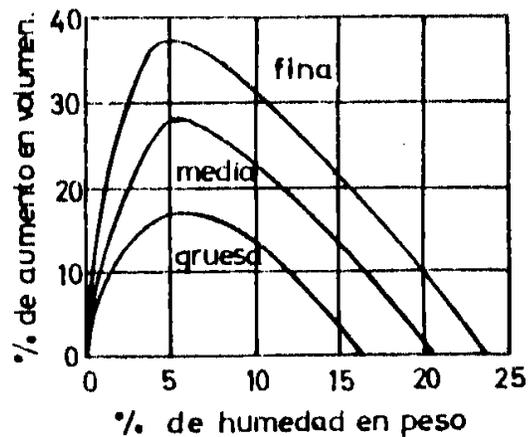


Fig. 2.10.- Volumen de arena.

Fuente: Crespo; 1996:382.

2.5.9. Cantidades de materiales.

Ahora bien, para encontrar las cantidades de los materiales es necesario tener conocimiento de la tabla siguiente que tiene relación con el volumen de concreto a emplear.

Proporciones volumétricas	Tam. Máximo pulgadas	lt. De agua por saco de cemento	Cemento en Kgs	Arena en m ³	Grava en m ³	Resistencia a los 28 días kg/cm ²
1 : 1 1/2: 1 1/2	3/4	22	532	0.527	0.527	288
	1 1/2	21	526	0.521	0.521	303
1 : 1 1/2: 2	3/4	23	480	0.465	0.634	270
	1 1/2	23	472	0.468	0.623	270
1 : 1 1/2: 2 1/2	3/4	25	434	0.43	0.716	245
	1 1/2	25	423	0.419	0.698	245
1 : 1 1/2: 3	3/4	26	400	0.396	0.792	230
	1 1/2	26	390	0.386	0.773	230
1; 2: 2	3/4	28	418	0.552	0.572	205
	1 1/2	27	412	0.544	0.544	217
1 : 2 1/2: 2 1/2	3/4	29	388	0.512	0.64	195
	1 1/2	29	381	0.503	0.629	195
1; 2: 3	3/4	30	362	0.478	0.717	185
	1 1/2	30	353	0.466	0.699	185
	3	28	350	0.462	0.693	205
	6	28	336	0.444	0.665	205
1; 2: 3 1/2	3/4	32	334	0.441	0.772	164
	1 1/2	32	325	0.429	0.75	164
	3	30	325	0.429	0.751	185
	6	29	312	0.412	0.721	195
1; 2: 4	3/4	34	313	0.413	0.827	147
	1 1/2	34	305	0.403	0.805	147
	3	31	302	0.399	0.777	174
	6	30	291	0.384	0.778	185
1; 2: 5	3	33	267	0.353	0.881	156
	6	32	256	0.339	0.844	164
1 : 2 1/2: 2 1/2	3/4	33	351	0.579	0.579	156
	1 1/2	33	345	0.569	0.569	156
1 : 2 1/2: 3	3/4	35	327	0.54	0.648	140
	1 1/2	34	320	0.528	0.634	147
1 : 2 1/2: 3 1/2	3/4	36	307	0.507	0.79	132
	1 1/2	36	300	0.495	0.693	132
	3	34	297	0.49	0.686	147
	6	34	284	0.469	0.656	147
1 : 2 1/2: 4	3/4	38	287	0.747	0.758	118
	1 1/2	38	281	0.464	0.742	118
	3	36	278	0.459	0.734	132
	6	35	267	0.44	0.705	140
1 : 2 1/2: 4 1/2	3	36	264	0.436	0.784	132
	6	36	252	0.416	0.748	132
1 : 2 1/2: 5	3	38	249	0.411	0.822	118
	6	37	237	0.391	0.782	125
1 : 2 1/2: 6	3	40	225	0.371	0.891	105
	6	39	214	0.353	0.848	111
1; 3: 4	3/4	42	266	0.527	0.703	94
	1 1/2	42	262	0.517	0.692	94
1; 3: 4 1/2	3/4	44	252	0.499	0.749	84
	1 1/2	43	247	0.489	0.734	89
	3	41	244	0.483	0.725	100
	6	41	234	0.463	0.695	100
1; 3: 5	3/4	46	240	0.47	0.792	76
	1 1/2	48	234	0.464	0.772	80
	3	42	232	0.459	0.766	94
	6	42	223	0.442	0.736	94
1; 3: 6	3	45	210	0.416	0.832	80
	6	44	200	0.396	0.792	84
1; 3: 7	3	47	191	0.378	0.882	72
	6	46	183	0.362	0.846	76
1; 4: 6	3	54	185	0.488	0.733	49
	6	54	177	0.467	0.701	49
1; 4: 8	3	60	158	0.517	0.834	35
	6	59	149	0.393	0.787	37

Tabla. 2.7.- Cantidad de materiales para un m³ y resistencia a los 28 días.

Fuente: Crespo; 1996:383.

2.5.10. Módulo de elasticidad del concreto.

Retomando lo dicho por Crespo (1996), existen tres fórmulas para encontrar el módulo de elasticidad del concreto:

- a) Fórmula del Comité Europeo del Concreto (CEC): Cargas de poca duración.

$$E_c = 21 \sqrt{f'_c (1 - V)}$$

Donde V es el coeficiente de variación que va de 0.10 a .25, recomendable 0.15.

- b) Fórmula del Instituto Americano del Concreto (ACI): Para peso específico entre 1440 y 2489 kg/m³.

$$E_c = (\gamma_c^{1.5})(.14\sqrt{f'_c})$$

- c) Fórmula del Reglamento de Construcción del Distrito Federal:

$$E_c = 10000\sqrt{f'_c}$$

La tabla que se exhibe a continuación da un resumen de las diferentes fórmulas para determinar el módulo de elasticidad dependiendo de la resistencia del concreto que se tiene:

VALORES DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD "E _c "			
f _c en kg/cm ²	C.E.C	A.C.I	D.F
200	274000	212000	141000
250	306000	236000	158000
300	335000	258000	173000
350	362000	187000	187000

Tabla. 2.8.-Módulo de elasticidad.

Fuente: Crespo; 1996:384.

2.6. Método de diseño.

Existen varios tipos de métodos para el diseño de un pavimento rígido, por ello la diferenciación entre cada uno de ellos es de vital importancia, ya que dependiendo de sus características y de que éstas se acoplen al proyecto es la determinación del método a utilizar.

2.6.1. Método de la PCA.

Como hace referencia la SOP (1993), el método de la PCA fue expuesto en el año de 1966. Pero fue hasta 1984 donde se publicó una nueva versión, debido a la falta de elementos que poseía. Los aspectos adicionados son los siguientes:

- Modos de falla por fatiga no tradicionales, como es la erosión.
- Concreto sin refuerzo, es decir, la sub-base.
- Acotamientos de concreto.

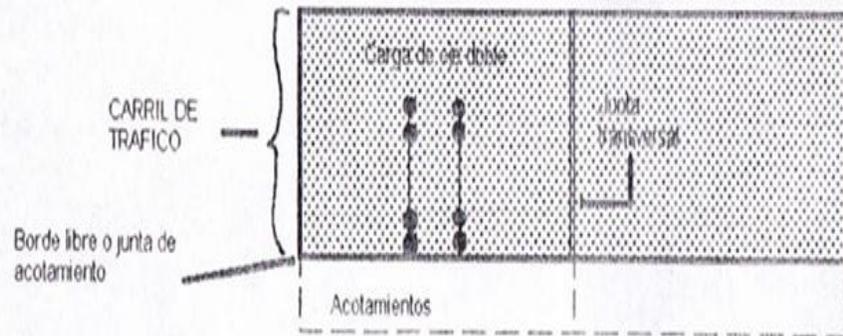
- Pavimentos sin mecanismo de transferencia de cargas en las juntas transversales.

Es importante saber que el desarrollo de este método se basa principalmente en la resistencia del pavimento con relación a la carga que se le asigne, así como los aspectos ambientales a los que está sometido. En él se hace un análisis de campo y de gabinete, es decir, se compara las cargas que se presentan en el pavimento con la resistencia de diseño obtenida, conocida como relación de esfuerzos. Una vez obtenida dicha relación, se busca el número de repeticiones que se permiten para un cierto rango de cargas y una vez más se hace una comparación con el número de repeticiones que se esperaba. Teniendo en cuenta que existe un rango de tolerancia, el cual no debe exceder del 100%.

Existen dos tipos de criterios de diseño para este método, los cuales se describen a continuación:

- Criterio por fatiga: Se basa principalmente en tener a la estructura equilibrada, o sea, mantener todos sus esfuerzos existentes dentro de los límites permisibles.
- Criterio de erosión: Se enfoca básicamente en las zonas más críticas del pavimento, es decir, en las orillas y esquinas, no solamente evita la deflexión en las partes mencionadas anteriormente sino que evita a la fracturación en las juntas.

Para un mejor enfoque de lo anterior, a continuación se muestran figuras describiendo de forma gráfica los criterios mencionados:



$$Dr = \sum_{i=1}^m \frac{n_i}{N_i}$$

Dr = relación del daño acumulado en el período de diseño

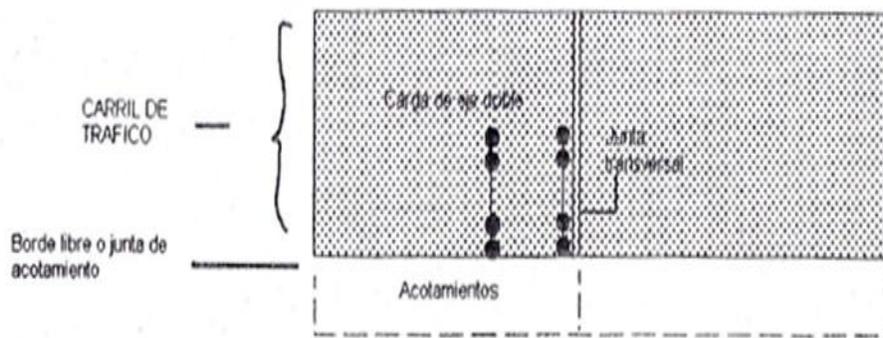
m = total de grupos de carga

n_i = número pronosticado de repeticiones del grupo de tráfico (cargas) "i"

N_i = número de repeticiones de carga permisibles del grupo de carga "i"

Fig. 2.11.- Análisis por fatiga.

Fuente: SOP; 1993:133.



El método correlaciona:

Proporción de trabajo ————— Comportamiento

$$\frac{p \cdot w}{\text{Longitud del área deformada}}$$

p: presión en la interfase de la losa - superficie de apoyo
w: deflexión en la esquina

$$\text{Log } N = 14.524 - 6.777 (C_1 P - 9.0)^{0.103}$$

N = número de repeticiones permisibles para un índice de servicio presente de 3.0

$$P = \text{proporción de trabajo o potencia} = 268.7 \frac{p^2}{h \cdot k^{0.73}}$$

p = presión sobre el apoyo de la esquina de la losa, en libras/pulgada cuadrada

p = kw = caso de cimentación líquida (Winkler)

h = espesor de la losa en pulgadas

k = módulo de reacción del apoyo, en lb/pulg³

C₁ = factor de ajuste, 1 para subbases sin tratar y 0.9 para subbases estabilizadas.

$$\text{La ecuación del daño por erosión es} = \text{Daño por erosión, (\%)} = 100 \sum_{i=1}^m \frac{C_2 n_i}{N_i}$$

C₂ = 0.06 pavimentos sin acotamientos

C₂ = 0.94 pavimentos con acotamientos sujetos

Fig. 2.12.- Análisis de erosión.

Fuente: SOP; 1993:134.

Como ya se mencionó previamente, las zonas críticas que se presentan en un pavimento con juntas: son en la esquina y orilla, por ello con ayuda de la figura

anterior se describirán a detalle los esfuerzos que producen cuando la carga es colocada como lo indica (ver Fig. 2.12.)

Afortunadamente existe la posibilidad de reducir dichos esfuerzos, mediante la construcción de acotamientos, ya que lo que se busca al reducirlos es tener un espesor menor, lo cual beneficia al proyecto económicamente. Existen tablas de los diferentes tipos de acotamientos que se pueden colocar como se muestra:

Espesor losa cm	k-Módulo de reacción sub-rasante (kg/cm ³)													
	2		4		6		8		10		15		20+	
	Eje simple	Eje Tándem	Eje simple	Eje Tándem	Eje simple	Eje Tándem	Eje simple	Eje Tándem	Eje simple	Eje Tándem	Eje simple	Eje Tándem	Eje simple	Eje Tándem
12	43	35,6	37,8	30,1	35,1	28,1	33,1	26,8	31,7	25,7	29,1	24,3	27,4	23,5
13	38,4	32,3	33,8	27,3	31,4	25,3	29,7	24	28,4	23	26,1	21,6	24,6	20,8
14	34,6	29,6	30,5	24,9	28,3	22,9	26,8	21,6	25,6	20,87	23,7	19,4	22,3	18,5
15	31,4	27,2	27,7	22,9	25,7	20,9	24,4	19,7	23,3	18,8	21,6	17,5	20,4	16,7
16	28,7	25,2	25,3	21,2	23,5	19,3	22,3	18,1	21,3	17,3	19,7	16	18,7	15,2
17	26,3	23,5	23,3	19,7	21,6	17,9	20,5	16,7	19,6	16	18,1	14,7	17,2	13,9
18	24,3	22	21,5	18,4	19,9	16,6	18,9	15,5	18,1	14,8	16,8	13,6	15,9	12,8
19	22,5	20,7	19,9	17,2	18,5	15,6	17,5	14,5	16,8	13,8	15,6	12,6	14,8	11,9
20	21	1,5	18,5	16,2	17,2	14,6	16,4	13,6	15,6	12,9	14,5	11,87	13,8	11,1
21	19,6	18,5	17,3	15,3	16,1	13,8	15,2	12,9	14,6	12,2	13,6	11,1	12,8	10,4
22	18,3	17,5	16,2	14,5	15	13,1	14,2	12,2	13,7	11,5	12,8	10,5	12	9,8
23	17,2	16,7	15,2	13,8	14,1	12,4	13,3	11,5	12,8	10,9	12	9,9	11,3	9,2
24	16,2	15,9	14,3	13,1	13,3	11,8	12,5	11	12,1	10,4	11,3	9,4	10,7	8,8
25	15,3	15,2	13,5	12,5	12,6	11,2	11,9	10,5	11,4	9,9	10,7	8,9	10,14	8,3
26	14,5	14,5	12,8	12	11,9	10,7	11,3	10	10,8	9,4	10,1	8,5	9,5	8
27	13,8	13,9	12,1	11,5	11,3	10,3	10,7	9,5	10,3	9	9,5	8,1	9	7,6
28	13,1	13,4	11,5	11	10,7	9,9	10,2	9,1	9,8	8,6	9	7,8	8,6	7,3
29	12,5	12,9	11	10,6	10,2	9,5	9,7	8,8	9,3	8,3	8,6	7,5	8,2	6,9
30	11,9	12,4	10,5	10,2	9,7	9,8	9,2	8,5	8,9	8	8,2	7,2	7,8	6,6
31	11,3	12	10	9,9	9,3	8,8	8,8	8,1	8,4	7,7	7,8	6,9	7,4	6,4
32	10,9	11,6	9,6	9,5	8,9	8,5	8,4	7,8	8	7,4	7,5	6,7	7,1	6,2
33	10,4	11,2	9,2	9,2	8,5	8,2	8	7,6	7,7	7,1	7,2	6,4	6,8	6
34	10	10,8	8,8	8,9	8,1	7,9	7,7	7,3	7,3	6,9	6,9	6,2	6,6	5,8

Tabla. 2.9.- Esfuerzo equivalente (kg/cm²) acotamiento sin pavimentar.

Fuente: SOP; 1993:135.

Espesor	k-Módulo de reacción sub-rasante (kg/cm ³)													
	2		4		6		8		10		15		20+	
	Eje	Eje	Eje	Eje	Eje	Eje	Eje	Eje	Eje	Eje	Eje	Eje	Eje	Eje
losa	simple	Tándem	simple	Tándem	simple	Tándem	simple	Tándem	simple	Tándem	simple	Tándem	simple	Tándem
cm	simple	Tándem	simple	Tándem	simple	Tándem	simple	Tándem	simple	Tándem	simple	Tándem	simple	Tándem
12	33,6	28,2	29,5	24,6	27,4	23,1	26	22,2	24,9	21,6	23,1	20,8	21,9	20,4
13	30,2	25,6	26,6	22,2	24,7	20,87	23,4	19,9	22,5	19,4	20,9	18,6	19,9	18,1
14	27,4	23,4	24,1	20,2	22,4	18,9	21,3	18	20,5	17,5	19,1	16,7	18,2	16,2
15	25	21,5	22	18,5	20,5	17,2	19,5	16,4	18,8	15,9	17,5	15,1	16,7	14,6
16	22,9	19,9	20,2	17,1	18,8	15,8	18	15,1	17,3	14,6	16,1	13,8	15,5	13,3
17	21,1	18,5	18,6	15,8	17,4	14,6	16,6	13,9	16	13,4	14,9	12,6	14,3	12,1
18	19,6	17,2	17,3	14,7	16,1	13,5	15,4	12,9	14,8	12,4	13,9	11,6	13,3	11,2
19	18,2	16,2	16,1	13,8	15	12,7	14,3	12	13,8	11,6	12,9	10,7	12,4	1,4
20	17	15,2	15	12,9	14	11,9	13,4	11,3	12,8	10	12,1	10,1	11,6	9,7
21	15,9	14,4	14	12,2	13,1	11,2	12,6	10,6	12,1	10,2	11,3	9,5	10,9	9,1
22	14,9	13,6	13,2	11,5	12,3	10,6	11,87	10	11,4	9,6	10,7	8,9	10,2	8,6
23	14	12,9	12,4	10,9	11,6	10	11,1	9,5	10	9,1	10,1	8,4	9,7	8,1
24	13,2	12,3	11,7	10,4	11	9,5	10,5	9	10,1	8,6	9,5	8	9,1	7,6
25	12,5	11,8	11,1	9,9	10,4	9,1	9,9	8,5	9,6	8,2	9	7,6	8,7	7,3
26	11,9	11,2	10,5	9,5	9,8	8,7	9,4	8,1	9,1	7,8	8,6	7,2	8,2	6,9
27	11,3	10,8	10	9,1	9,3	8,3	8,9	7,8	8,6	7,4	8,1	6,9	7,8	6,6
28	10,7	10,3	9,5	8,7	8,9	7,9	8,5	7,4	8,2	7,1	7,8	6,6	7,5	6,3
29	10,2	9,9	9,1	8,4	8,5	7,6	8,1	7,1	7,8	6,8	7,4	6,3	7,1	6
30	9,8	9,5	8,7	8,1	8,1	7,3	7,7	6,9	7,5	6,6	7,1	6,1	6,8	5,8
31	9,3	9,2	8,3	7,8	7,7	7,1	7,4	6,6	7,2	6,3	6,8	5,8	6,5	5,5
32	9	8,9	7,9	7,5	7,4	6,8	7,1	6,4	6,8	6,1	6,5	5,6	6,1	5,3
33	8,6	8,6	7,6	7,2	7,1	6,6	6,8	6	6,6	5,9	6,2	5,4	6	5,1
34	8,3	8,3	7,3	7	6,9	6,3	6,6	5,9	6,3	5,7	6	5,2	5,7	4,9

Tabla. 2.10.-Esfuerzo equivalente (kg/cm²) acotamiento pavimentado.

Fuente: SOP; 1993:136.

Pavimentos de concreto con refuerzo continuo, PCRC.

En este tipo de pavimento el distanciamiento de los agrietamientos transversales es de aproximadamente de 1 a 3 metros, pero generalmente se colocan a 1.2 metros y 1.5 metros. Al igual que el pavimento con juntas las zonas críticas se ubican en los bordes y esquinas.

Crespo (1996), realizó un análisis comparativo con respecto al pavimento con juntas, obteniendo los siguientes resultados: Con respecto a las orillas si se tiene espacios grandes en los agrietamientos, los esfuerzos son de la misma densidad que en el pavimento de juntas, sin embargo si la separación es menor, los esfuerzos son menores. De acuerdo en las esquinas, si se cuentan con espacios grandes en cuestión a la grieta las deflexiones que se presentan son iguales, y en caso contrario las deflexiones son mayores. Por ello se recomienda que la separación no tenga una diferencia significativa en cuanto a los diferentes tipos de pavimentos existentes.

Posiciones críticas de camiones.

“Sólo un pequeño porcentaje de los camiones circula estrictamente en las inmediaciones de los bordes del carril extremo de un camino. Normalmente las llantas externas pasan a una cierta distancia de las orillas del carril. En el método de la PCA se consideran, en base a estudios, distancias del orden de 60 centímetros en pavimentos sin acotamientos pavimentados.” (SOP; 1993:380)

Los estudios muestran que el alejamiento de la carga de los bordes produce una reducción en los esfuerzos, desgraciadamente al obtener dichos esfuerzos no es

posible poder modificarlos, sin embargo con la ayuda de gráficas las posibilidades aumentan significativamente.

Se mostró en este método de diseño que tan sólo el 6% del tráfico pesado en la línea de circulación representa la misma magnitud de deterioro que el total de vehículos en circulación.

En general, los factores de diseño que influyen en este método son los siguientes:

- Tránsito.
- Resistencia de diseño del concreto.
- Módulo de reacción de la subrasante.
- Tipo de acotamiento y juntas transversales.
- Si el acotamiento está o no pavimentado.
- Si existen pasajuntas.
- Periodos de diseño.
- Criterio de fatiga.
- Criterio por erosión.

2.6.2. Método AASHTO para pavimentos rígidos.

Con base en lo mencionado por la SOP (1993), además del método PCA, existe un método avalado por la American Association of State Officials, AASHTO, ambos han sido de constante aplicación y respaldan muchos de los diseños actuales,

en materia de pavimentos rígidos en los Estados Unidos de América, México y muchos otros países. En Europa por ejemplo es aplicable con secciones normalizadas (de catálogo) tomando en cuenta los tipos de tránsito, propiedades de los suelos en que ha de elaborarse el camino, y naturalmente en el tipo y características de los materiales utilizados desde el mejoramiento de suelo hasta la pavimentación.

Descripción del método.

Como todo descubrimiento y comprobación de hipótesis, el método en cuestión tiene su historia, sus inicios datan del año 1951 con la planeación de la prueba de Ottawa III a cargo de la HighwayResearchBoard, NationalAcademy of Sciences, NationalReserch Council, Washington 25, D.C. misma que se realizó hacia el año 1956 vía tramos, arrojando resultados experimentales con el objetivo de obtener relaciones y correlaciones entre el comportamiento de los pavimentos con sus respectivos criterios de diseño. Respetando al cien por ciento las condiciones de tránsito, las superficies de rodamiento fueron las siguientes:

- Carpetas asfálticas.
- Losas de concreto hidráulico sin reforzar.
- Losas de concreto reforzadas de manera continúa.

La prueba consistió en la construcción de seis circuitos cerrados en sus extremos, cuatro de ellos con una longitud de cinco kilómetros y los dos restantes más cortos uno de los cuales se analizó sin el efecto de tránsito para poder conocer

exclusivamente los efectos del medio ambiente en cada sección de la superficie de rodamiento.

En los demás circuitos se hicieron pruebas con pasadas de camiones con características y geometrías conocidas, en cuanto al suelo las bases y sub-bases se elaboraron con materiales conocidos y controlados en cuanto a proporcionamiento y características se refiere, variando de acuerdo a las características deseadas en cada circuito, en caso de los pavimentos rígidos las losas se “tiraron” directamente sobre la rasante. Las observaciones de los circuitos duraron de 1958 a 1960 realizado informes especiales a partir de los datos obtenidos para cada caso.

De acuerdo con SOP (1993), otro fenómeno digno de señalar consiste en que para diferentes espesores de bases y sub-bases se observaron fallas aun cuando el peso y el acomodo de los ejes era el mismo, las repeticiones del proyecto fueron de 1'114,000, pero pavimentos flexibles de 7.5 cm y 20 cm fallaron a las 141 y 624 mil, respectivamente y otras de ellas se comportaron de manera más favorable.

El análisis de todos los circuitos elaborados con fin de prueba, se relacionaron con sus respectivas condiciones de servicio, con base en las características esperadas y las características presentadas; para evaluar lo anterior, se optó por un parámetro que va de 0 a 5 como una escala determinada CPS (Calificación Presente de Servicio) a fin de catalogar a los pavimentos que presentasen el número más alto de la escala, como pavimentos de excelente calidad. Así pues, se pudo conocer de forma más clara el Índice Presente de Servicio (IPS) que constituye la influencia de las propiedades físicas y mecánicas de las capas que conforman el pavimento. De la

misma forma se pudo evaluar el Índice de servicio en secciones de concreto hidráulico reforzado y simple, arrojando como dato, que éstas últimas no presentan gran diferencia en cuanto a su comportamiento.

Para el caso de los pavimentos rígidos se determinó la Ecuación de la AASHTO:

$$\log_{10}(W) = Z_R * M_{rm} + 7.35 * \log_{10}(D + 1) - 0.06 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.5 - 1.5} \right]}{1 + \frac{1.624 * 10^7}{(D + 1)^{8.46}}}$$

$$+ (4.22 - 0.32 * Pt) * \log_{10} \left[\frac{M_{rm} * C_d * (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 + J \left[\frac{D^{0.75} - 18.42}{0.25} \right] \left(\frac{E_c}{K} \right)} \right]$$

Misma que se resuelve por medio de un nomograma, como el que se muestra en la fig. 2.12, observando las fechas de elaboración de estas pruebas, es correcto suponer que hoy en día existen métodos computarizados para realizar este tipo de análisis considerando los mismos aspectos fundamentales de los 60's, que hacen referencia, por supuesto, al comportamiento de los pavimentos desde el punto de vista de tres aspectos diferentes, mencionados a continuación:

- a) Funcional
- b) Estructural
- c) Seguridad.

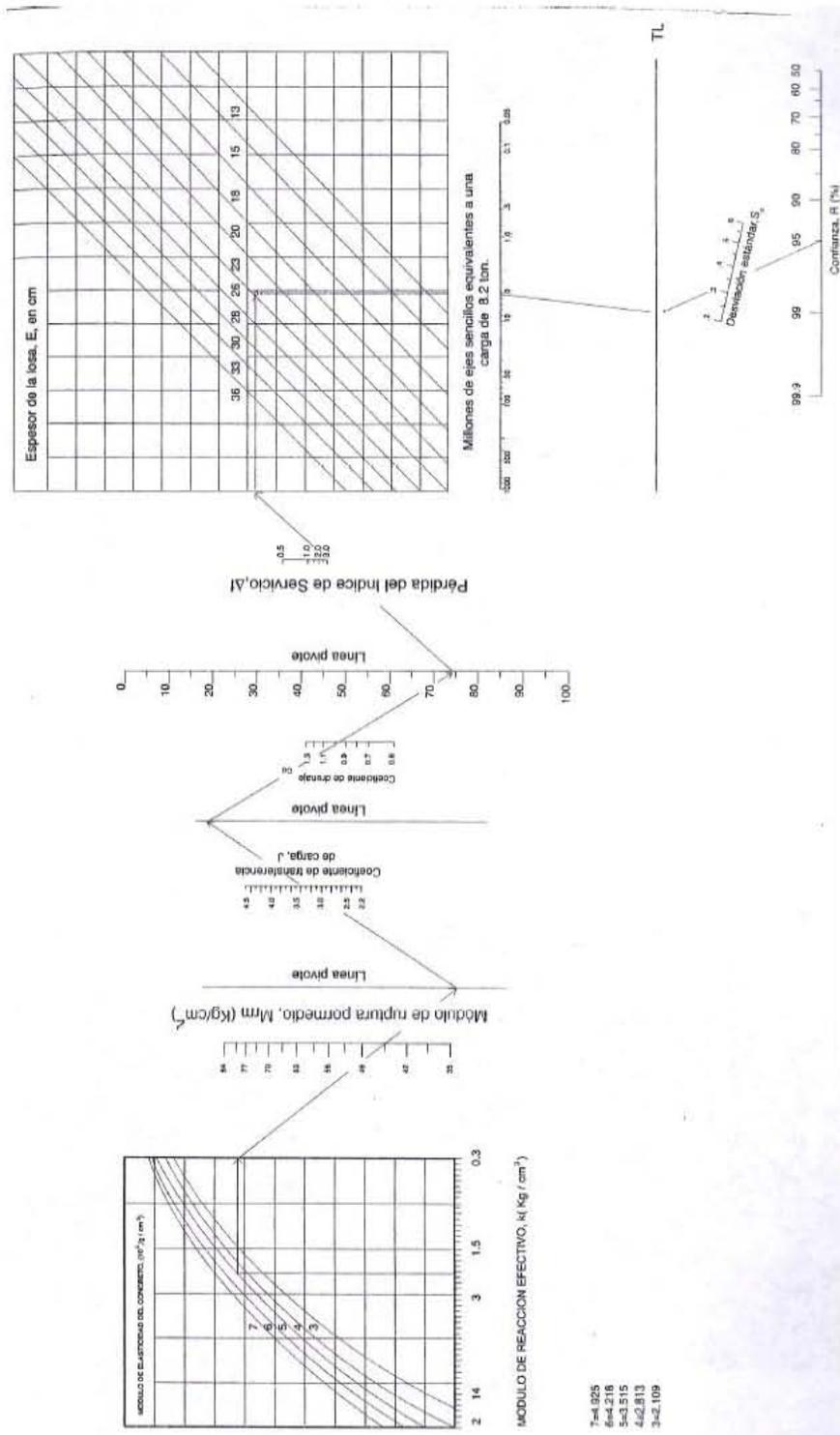


Fig. 2.13.- Nomograma de diseño para pavimentos rígidos

Fuente: SOP; 1993:138.

2.7. Cargas por tránsito.

Sin duda, uno de los factores determinantes en el diseño de pavimentos, en cualesquiera de sus presentaciones, son las cargas por tránsito que el proyecto poseerá, señalando de manera indistinta la configuración de los vehículos, así como la distribución e intensidad de las cargas que éstas ocasionarán a la superficie de rodamiento. De acuerdo con la Secretaría de Obras Públicas (1993) los efectos de los vehículos en el proyecto se pueden considerar de tres formas:

Transito fijo

Con base en este criterio, toda la distribución se limita a cargas de llanta sencilla, la cual determina el espesor del pavimento, enfocándose principalmente al empleo en aeropuertos o carreteras de tránsito muy pesado y de bajo volumen. Se diseña para la carga más pesada que se puede prever que si bien no ha de emplearse de forma rutinaria es necesario para transformar las cargas por disposiciones variables de las llantas a cargas sencillas que no afecte la superficie de rodamiento.

Vehículo fijo

Para determinar el espesor de pavimento se toma en cuenta las repeticiones de carga de un vehículo estándar o la carga por eje de peso nominal, usualmente 8.2 toneladas (18 kips). De este modo, en situaciones que no cumplen con estas características, son modificadas a través de factores de carga por eje equivalentes, FCEE. Una vez que los ejes han sido normalizados se les denomina ESAL's, por las siglas en inglés (Equivalent Single Axis Loads). Este criterio se ha vuelto muy

popular en México debido a la gran variedad de vehículos existentes en cada región, pudiendo así, estandarizar en términos de ejes normalizados (ESAL's) los efectos de los ejes reales.

Vehículo y tráfico variables

Con este enfoque los vehículos y las variables de carga se toman en cuenta de forma individual para evaluar los efectos que causarán al proyecto, agrupando cargas y variables similares en grupos para sumarlos y poder determinar las consecuencias de cada grupo en situaciones determinadas tales como esfuerzos, deformaciones y deflexiones. Utilizando instrumentos electrónicos determinados se realizan ensayos con diferentes solicitaciones a niveles de carga en el pavimento. Una vez analizadas las respuestas se pueden emplear los criterios de diseño más adecuado para un óptimo aprovechamiento del espacio y los materiales.

Análisis de daño, concepto general

Para racionalizar más la distribución de tránsito, desde el punto de vista de la variación de las condiciones de apoyo se asignan periodos por año suponiendo un cierto número de vehículos con características definidas. En lo general los períodos se dividen en 24 estaciones, cada una con 24 grupos de cargas. La AASHTO, propone hacer ajustes mensuales al módulo, basándose principalmente en los registros de precipitaciones pluviales, y por consecuencia, en las variaciones periódicas de resistencia de los suelos.

Para los pavimentos rígidos se asocia el daño por fatiga con el agrietamiento para definirlo en términos de agrietamiento. Durante la vida útil de proyecto pueden

considerarse propiedades de resistencia para cada estación o periodo tomando en cuenta el deterioro y los trabajos de reparación o mantenimiento. Para el caso de pavimentos de concreto hidráulico es de vital importancia tomar en cuenta el número de repeticiones en base a proyecto y aforo vehicular, pues es un factor determinante en la determinación de los desgastes sufridos por la superficie de rodamiento.

CAPÍTULO 3

RESUMEN DE MACRO Y MICROLOCALIZACION.

En el presente capítulo se abordará el tema de resumen de macro y microlocalización, en el cual se hará alusión al contexto físico del proyecto en cuestión, así como las características que determinan y diferencian al municipio, además de los aspectos de la economía, topografía, hidrología, flora, fauna, entre otros factores que ayudarán a entender el entorno físico y socio-económico donde ha de desarrollarse el proyecto.

3.1. Generalidades.

El presente proyecto está ubicado en la República Mexicana, los 1 964 375 km² que aproximadamente ocupa el territorio de la República se sitúan, casi por partes iguales, al norte y sur del Trópico de Cáncer. México se ubica en una zona de transición climática, con condiciones de aridez en el norte, cálidos húmedos y subhúmedos en el sur y de climas templados o fríos en las regiones elevadas. El territorio mexicano es uno de los más complejos en características geológicas y de los más ricos en variedad de paisajes.

La gran diversidad de formas que presenta el relieve de México, hace que sea uno de los países del mundo con mayor número de características y variedades topográficas contrastantes y heterogéneas, y poseedor de un gran potencial en recursos naturales. Las diversas conformaciones topográficas desempeñan un papel importante en las actividades económicas y sociales del país, puesto que influyen en las características climáticas, en el tipo de suelos y en la vegetación; éstos, a su vez,

inciden en las actividades agrícolas, ganaderas, forestales e industriales, así como en los asentamientos humanos.

Particularmente el proyecto está ubicado en el estado de Michoacán, cuyo nombre proviene de Michámacuan (en castellano: lugar de pescadores), localizado en la parte oeste de la República Mexicana, el cual se sitúa entre los ríos Lerma y Balsas, el Lago de Chápala, así como el Océano Pacífico, forma parte del Eje Neovolcánico y la Sierra Madre del Sur. Como se muestra en la imagen 3.1.



Imagen 3.1.- Michoacán en la República Mexicana.

Fuente: www.google.com.

Michoacán colinda al norte con el estado de Jalisco, Guanajuato y Querétaro de Arteaga; al este con Querétaro de Arteaga, México y Guerrero; al sur con Guerrero y el Océano Pacífico; al oeste con el Océano Pacífico, Colima y Jalisco. La superficie territorial del estado de Michoacán es de 59 928 km², lo que representa un 3% de todo México; cuenta con una población aproximada de 3 985 667 habitantes. Tiene un relieve muy accidentado, por lo que sus climas son muy variados: templado con lluvias todo el año, templado con lluvias en verano, cálido con lluvias en verano y cálido con lluvias escasas durante el año. Ver imagen 3.2.



Imagen 3.2.-Michoacán y su relieve.

Fuente: www.google.com.

La flora del estado de Michoacán es muy variada, presenta bosques mixtos de pino, encino, fresno, oyamel, parota, ceiba, mango, guaje, tepemezquite, palma, chirimoya, zapote y guanábana entre otros. Su fauna está compuesta por: Paloma, codorniz, tordo, urraca, coyote, tlacuache, zorra, tejón, mapache, zorrillo, venado, conejo, pato, armadillo, ardilla, liebre, lince, cacomixtle, comadreja, gato montés, águila, cuervo, gavilán, perico, boa, faisán, además de carpa, mojarra, nutria, langosta, tiburón y tonina entre otros.

Sus principales lagos son el lago Cuitzeo, el lago de Pátzcuaro, el lago de Zirahuén y una parte del lago de Chapala. Su río más importante es el río Lerma, el cual nace en el Estado de México y abastece a la presa de Tepuxtec para regar las tierras del valle de Maravatío y producir energía hidroeléctrica. Le siguen en importancia el río Balsas y el río Cupatitzio, el cual alimenta las caídas de agua de La Tzaráracua.(liga a Uruapán). Tiene manantiales como Camécuaro, géiser de aguas geotérmicas como el de Ixtlán de los Hervores o los Azufres; además de ciénegas como la de Zacapu.

La capital del estado de Michoacán es Morelia, que antiguamente era llamada Valladolid ubicada a 220 metro sobre el nivel del mar, ésta cuenta con 113 municipios y su economía depende principalmente de la agricultura; entre sus cultivos destacan el aguacate, garbanzo, limón, ajonjolí, sorgo y fresa, por mencionar algunos. Sin embargo es Taretan Michoacán, donde se sitúa el estudio motivo de esta investigación.

3.2. Marco histórico y entorno geográfico.

Taretan es una palabra chichimeca que significa sembrera, es una población prehispánica, habitada por tarascos antes de la conquista española. A mediados del siglo XVI se llevó a cabo la evangelización del lugar y se supone que el encargado de la misma fue fray Juan Bautista de Moya, por ser el evangelizador de la tierra caliente de Michoacán.

Se localiza al oeste del estado de Michoacán, en las coordenadas 19°20' de latitud norte y 101°55' de longitud oeste, a una altura de 1, 130 metros sobre el nivel del mar. Limita al norte con Ziracuaretiro, al este con Santa Clara del Cobre y Ario de Rosales, al sur con Nuevo Urecho y Gabriel Zamora, y al oeste con Uruapan. Su distancia a la capital del Estado es de 158 km por la vía a Uruapan, ver figura 3.2.

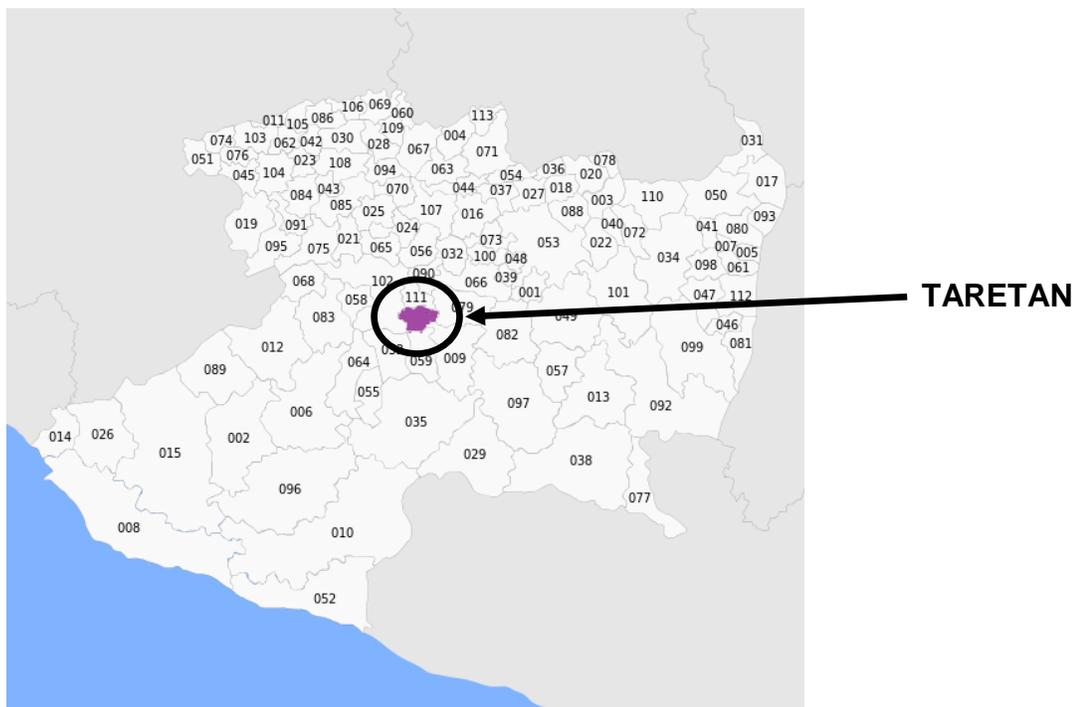


Imagen 3.3.- Ubicación de Taretan en el estado de Michoacán.

Fuente: www.google.com.



Imagen 3.4.- Ubicación del tramo en estudio dentro del municipio.

Fuente: www.google.com

3.3. Características físicas.

El municipio de Taretan cuenta con un área de 185.23 km², misma que representa el 0.31% del territorio total del estado, es un municipio distintivo del oeste de Michoacán, se caracteriza por rasgos y características orográficas que sobresalen en la región, algunas zonas montañosas importantes que conforman parte del sistema conocido como sistema volcánico transversal, entre las principales elevaciones destacan la Sierra de Santa Clara, los cerros de La Cruz, Cobrero,

Hornos, Mesa de García, Mesa de Exhacienda, Palma, San Joaquín, Pelón y Guayabo y la Planicie del Llanito.

Respecto a la hidrografía en el municipio, se cuenta con características y gran capacidad en cuanto a los recursos hidrológicos establecidos por los grados de precipitación pluvial, extensa cantidad de manantiales, ríos, y almacenamiento con que cuenta, aun cuando las condiciones de niveles freáticos no son muy superficiales.

De acuerdo con estudios meteorológicos Taretan es caracterizado por tener precipitaciones en los meses de junio a septiembre, de esta forma la precipitación pluvial anual de 1, 560 milímetros.

Cabe destacar la importancia de los ríos que constituyen su hidrografía como son Acámbaro. Paso del Reloj, El Guayabo y Hoyo del Aire, y por arroyos y manantiales de agua fría.

En cuestiones del clima Taretan se caracteriza por sus peculiares cambios de clima que oscilan entre los 14. 4 a 29. 66 ° centígrados.

En el territorio municipal se cuenta con tipos de suelos que datan de los períodos cenozoico, terciario y eoceno, corresponden principalmente a los del tipo podzólico. Su uso es primordialmente forestal y en proporción semejante están dedicados a la actividad agrícola y ganadera. La variedad de suelos incluye desde arcillas de color rojo, suelos arenosos hasta rocosos.

3.4. Flora y fauna.

La flora existente en el municipio es abundante y variada sobresalen especies forestales de zapote, tepeguaje, cirián, parota y guaje. Cabe destacar que La superficie forestal maderable está ocupada por pino y encino, la no maderable, por matorrales de distintas especies. En cuestión de vegetación arbustiva también se tiene una gran variedad como es el zacatón, jara, diversidad de té, plantas medicinales, silvestres y de ornato, tales como flores de camelina, diversas especies de rosas, tulipanes y anturios. También existe una gran cantidad de vegetación que se ha cultivado, tales como el guayabo, mango, caña de azúcar, zarzamora, ciruela, lima y mamey.

En relación a la fauna debido al ecosistema predominantes que es el bosque tropical sobresalen especies como la zorra, zorrillos, ratas, tejón, coyote, conejo, liebre, golondrina, güilota, pato y aguililla. Anfibios y reptiles como las lagartijas, iguanas y víboras de diversas especies. Existen además distintas clases de aves tales como palomas, colibríes, búhos, codornices, así como depredadores como los gavilanes, zopilotes y cuervos.

3.5. Actividad económica.

En el municipio la economía se basa primordialmente en la actividad agropecuaria como parte del sector primario siendo sus principales cultivos: la caña de azúcar, mango, guayaba y otras frutas. Con respecto a la ganadería, ésta representa la segunda actividad más importante en la estructura económica del municipio, concentrando gran parte de la población a actividades relacionadas con la misma, se cría principalmente ganado: bovino, caprino, aves y caballar. Representando estos dos sectores hasta el 51% de su actividad económica. La industria representa una actividad importante, a partir de la instalación del Ingenio Lázaro Cárdenas donde se lleva a cabo la producción de azúcar, con la cual permite el desarrollo de la región ya que de su derrama económica se benefician directamente 2,300 productores de caña, más de 200 familias de obreros y 60 de empleados. Representando el 25% de su actividad económica. En cuanto al turismo de paisajes naturales.

En el comercio existen pequeños y medianos comercios como son: tiendas de ropa, calzado, papelerías y mueblerías. Representando el 6% de su actividad económica. Por último los servicios en la cabecera municipal se encuentran hoteles y restaurantes.

3.6. Aspectos Sociales.

Las diferentes fiestas en Taretan celebradas a lo largo del año son una muy buena oportunidad de conocer muchos más lugares con encanto dentro del pueblo y que serán una muy buena experiencia. Algunos ejemplos de las antes mencionadas son:

- Como parte de un pueblo con creencias católicas muy arraigadas se celebra en el mes de enero la fiesta del pueblo en honor al Santo San Ildefonso, festejando con una instalación de una feria típica del lugar con participación conjunta de la iglesia, el H. Ayuntamiento y la población en general.
- En el mes de febrero se celebra en el Llanito la feria de la caña, ésta consta de siete días feriados, en los cuales se presentan eventos socio-culturales, deportivos y artísticos.
- La fiesta de “las carreras” es sin duda el evento más importante del municipio, en honor al Santo San Santiago, con la realización de carreras de caballos que representan una importante derrama económica año tras año en el pueblo.
- Cabe mencionar que de la misma forma que en muchos lugares no solo del estado sino de la República Mexicana en este municipio no pasan desapercibidas fiestas como el día de muertos, navidad, 15 de septiembre, 20 de noviembre, entre otras.

Es importante destacar que las fiestas más importantes y ya antes mencionadas se llevan a cabo en el Llanito, que también es el punto de partida del

presente proyecto, y como acceso a ellas es de gran importancia para la población en general su realización.

3.7. Características físicas del camino “Las Camelinas”.

El camino presenta un estado de terracería con notables deterioros por efecto de la precipitación y el tránsito continuo de vehículos pesados, de ahí que se determina una problemática en materia de pavimentación de los caminos rurales en este municipio, aunado al insuficiente mantenimiento y conservación de las vías circundantes del municipio. Además puede verse también la vegetación y el tipo de suelo que se presenta en el municipio de Taretan a causa de su clima e hidrografía, ver imagen 3.5 y 3.6



Imagen 3.5.- Deterioro por precipitación.

Fuente: propia.



Imagen 3.6.- Vegetación y tipo de suelo del camino.

Fuente: propia.

En el entendido de que las cunetas no son otra cosa, sino zanjas que se encuentran dispuestas en los costados del camino y con la finalidad de conducir en agua pluvial y alejarla del camino, las características de las mismas deben diseñarse en base al flujo de la sección por drenar, necesidad fundamental en este proyecto ya que se ha observado un notable deterioro por la ausencia de las mismas.



Imagen 3.7.- Propuesta de posicionamiento para cunetas.

Fuente: propia.

Motivos antes mencionados están provocando en el camino socavaciones importantes, las cuales deben de tomarse en cuenta en el diseño del proyecto a fin de lograr la estabilidad que el camino necesita.



Imagen 3.8.- Socavaciones del camino.

Fuente: propia.

Se hizo un recorrido del tramo en estudio, obteniendo fotografías, en las que se muestran las curvas (tanto verticales como horizontales) existentes en él, las cuales son un factor determinante en el proyecto geométrico, dando por entendido la necesidad de éste



Imagen 3.9.- Curvas existentes en el camino.

Fuente: propia.



Imagen 3.10.- Curvas existentes en el camino.

Fuente: propia.

Ya sea con fines turísticos, recreativos o de trabajo este camino es transitado por diferentes tipos de vehículos que van desde camiones de caña (los más comunes) hasta carros sencillos, como se puede apreciar en la imagen siguiente.



Imagen 3.11.- Vehículo para transporte de caña.

Fuente: propia.



Imagen 3.12.- Vehículo pick up.

Fuente: propia.



Imagen 3.13.- Vehículo normal.

Fuente: propia.

De manera lógica es sabido que la anchura de un auto determinará la amplitud de un carril. En el caso de este proyecto y del tipo de vehículos que transitan por el se propone un ancho mínimo de 5 metros, dando por entendido que es un camino de poco tránsito y de baja velocidad, es decir, de tipo C.

La anchura que representa a los acotamientos está directamente relacionada con el ancho que vaya a tener el carril; por ello, la construcción de éstos debe garantizar un funcionamiento idóneo y seguro para el usuario, siendo prioridad evitar los accidentes al propiciar que los conductores puedan manejar más cerca de la orilla del pavimento y de tal manera puedan salir.

La pendiente que se necesita en dicho elemento debe ser mayor a la del pavimento ya existente, que dependerá de la calidad y cobertura que se deseen. Ancho del acotamiento aproximadamente 0.5 metros, debido a las características antes mencionadas del camino



Imagen 3.14.- Dimensionamiento del camino.

Fuente: propia.



Imagen 3.15.- Dimensionamiento del camino.

Fuente: propia.

Es de suma importancia tomar en cuenta las estructuras que ya existen a lo largo del camino motivo de este proyecto, el más importante es el jardín de niños Melchor Ocampo que se ve afectado por el material que arrastrado con el agua de lluvia, generalmente gravilla con diferente granulometría, ocasionando daños tanto a la estructura, a los vehículos que transitan por dicho camino y a los usuarios del mismo. Ver imagen 3.16



Imagen 3.15.- Entrada del jardín de niños Melchor Ocampo.

Fuente: propia.

3.8. Instrumentos de recopilación de datos.

Para el desarrollo del presente proyecto se usaron diversos instrumentos tanto informáticos como de operación manual, que brindan las herramientas básicas en materia de manipulación de información teórica y contable necesaria para llevarlo a buen fin entre los que destacan:

Excel.- Se utiliza básicamente en el manejo de información contable por medio de sus múltiples funciones matemáticas, financieras y estadísticas, que permiten trabajar con hojas de cálculo para facilitar dichas operaciones.

Autocad.- Es un software de diseño asistido por computadora para dibujo en dos y tres dimensiones. Es reconocido y utilizado a nivel internacional debido a sus amplias capacidades de edición, que hacen posible el dibujo digital de planos de edificios o la recreación de imágenes en 3D.

Civilcad.- Como parte de las múltiples herramientas del programa Autocad, es ampliamente utilizado en el ámbito de ingeniería civil para facilitar tareas acordes al proyecto geométrico y elaboración de perfiles topográficos, curva-masa, curvas de nivel, etcétera.

Word.- En cuanto al manejo de información en forma de textos profesionales o sencillos, este programa juega un papel fundamental en la elaboración de este proyecto, procesando toda la información de ésta índole.

Estación total.- Aparato electro-óptico que se utiliza en topografía, el cual se basa en determinar distancias a través de un teodolito con tecnología electrónica.

CAPÍTULO 4

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.

En el entendido de que la metodología es un conjunto de procedimientos y caminos que conducen al entendimiento e investigación de un tema, en este caso, de carácter científico. Se abordarán en el presente capítulo los métodos utilizados, los enfoques de la investigación, procedimientos, instrumentos utilizados, además de una descripción detallada de la realización de lo antes mencionado, con el principal objetivo de brindar fundamentos técnicos y científicos al presente proyecto.

4.1. Método científico.

De acuerdo a lo que señala Mendieta (1992), el método científico es inductivo, es decir, es aquel que se encarga básicamente de observar sucesos para después buscarles una solución que el hombre aún no ha descubierto. Su desarrollo no suele ser rápido, debido a que depende de la preparación académica del investigador. Para dar inicio a este método, el autor comienza con posibilidades o hipótesis, siendo esto el cimiento del apartado. Sin embargo, dicha posibilidad debe estar fundamentada en teorías válidas y de esta manera relacionarla con lo desconocido de una forma lógica, por consecuencia el investigador crea su visión en la hipótesis modificándola de acuerdo a los criterios descubiertos en el trayecto de su investigación.

A continuación se da a conocer la secuencia que debe poseer este método de acuerdo con Mendieta (1992):

- a) Conocimiento profundo de campo científico.
- b) Observaciones de ciertas manifestaciones relacionadas con aspectos desconocidos.
- c) Formulación de la hipótesis o supuesto teórico que se acepta como válido pero que requiere la prueba para su aceptación cabal.
- d) Aplicación de los métodos idóneos. Observación lenta de casos particulares y registro de los mismos.
- e) Estudio de los constantes y variantes.
- f) Dilucidar el proceso con análisis u síntesis.
- g) Conclusiones al cerrarse la etapa exploratoria.
- h) Etapa de experimentación y nuevo ajuste.
- i) Formulación de leyes o fabricación de materiales o informe de los descubrimientos.
- j) Informe oficial en el mundo científico de los resultados obtenidos.

4.1.1. Método matemático.

Con base en lo mencionado por Mendieta (1992), siendo la cantidad la principal noción captada por el hombre, el método matemático o cuantitativo resulta ser el más usado en muchas áreas de la ciencia, al hacer referencia a espacios,

valores económicos, capacidades, fechas y demás, se convierte a su vez en un método que es capaz de brindar una comparación de diferentes factores con algunos parámetros o estadísticas, de tal forma que permite hacer afirmaciones, negaciones, comprobar hipótesis en diversos ámbitos, etcétera. Encontrando de esta manera ejemplos cualesquiera en la vida cotidiana, tales como recetas médicas, dosificaciones en medicamentos, distribuciones poblacionales, capacidades de recipientes, atenuantes para penas judiciales, por ello que se puede concluir que el método matemático es utilizado, no solo en la ciencia numérica sino en cualquiera que haga referencia a cantidades, cualquiera que sea su uso.

4.2. Enfoque de la investigación.

De conformidad con Hernández y cols. (2010), con el paso del tiempo, en la ciencia han emergido diferentes corrientes como son: el empirismo, materialismo, positivismo, estructuralismo, entre otros, ocasionando que las respuestas ante los cuestionamientos sean numerosas. “Sin embargo, y debido a las diferentes premisas que las sustentan, desde el siglo pasado tales corrientes se han “polarizado” en dos aproximaciones principales para indagar: el enfoque cuantitativo y el enfoque cualitativo de la investigación.” (Hernández y cols.; 2010:4)

En teoría, dichos enfoques se pueden deducir a tener características similares como las siguientes:

- a) Llevan a cabo la observación y evaluación de fenómenos.

- b) Establecen suposiciones o ideas como consecuencia de la observación y evaluación realizadas.
- c) Demuestran el grado en que las suposiciones o ideas tienen fundamento.
- d) Revisan tales suposiciones o ideas sobre la base de las pruebas o del análisis.
- e) Proponen nuevas observaciones y evaluaciones para esclarecer, modificar y fundamentar las suposiciones e ideas; o incluso para generar otras.

Existen diferencias que hacen más inteligible el enfoque cuantitativo y cualitativo respectivamente, a continuación se mencionan algunas de mayor jerarquía:

El punto de partida por ejemplo para el enfoque cuantitativo es una realidad por conocer, contraste con una realidad que descubrir, construir e interpretar en el segundo enfoque.

La realidad a estudiar del enfoque cuantitativo es una realidad objetiva única, mientras que la del enfoque cualitativo incluye diferentes realidades construidas en la investigación, mismas que varían en su forma y contenido entre individuos, grupos y culturas.

En el enfoque cuantitativo la realidad no cambia, sin importar las observaciones y mediciones a que sea sometida. En el enfoque cualitativo si cambia de acuerdo a las observaciones y la recolección de datos.

La objetividad del enfoque cualitativo admite la subjetividad, mientras que el enfoque cualitativo busca ser objetivo en todo momento.

Las metas de la investigación del método cualitativo son describir, comprender e interpretar fenómenos a través de percepciones y significados, en el enfoque cuantitativo se pretende generar y probar teorías a partir de descripción, explicación y predicción de fenómenos.

La lógica del enfoque cuantitativo es puramente deductiva, que va de lo general a lo particular, en el enfoque cualitativo la lógica es inductiva, va de lo particular a lo general.

Con base en lo mencionado anteriormente, se puede deducir que el enfoque que se ajusta mejor al estudio en cuestión es el cuantitativo, debido a que en el proyecto no se tiene como finalidad cambiar una realidad existente con observaciones y/o estudios, sino simplemente describir la realidad con una lógica deductiva y probando teorías con métodos previamente comprobados.

4.2.1. Alcance de la investigación.

Como cita Hernández y cols. (2010), el alcance de la investigación, es un apartado de vital importancia, pues define cómo va a estar compuesto el estudio con respecto a las causas que podrían presentarse en su trayecto. Sus características, diseño y procedimiento dependerán del estudio del alcance exploratorio, descriptivo, correlacional o explicativo.

Los estudios de carácter exploratorio, es aquel donde no existe un conocimiento vasto del tema, trayendo así un sinfín de cuestionamiento del

mismo. Los estudios de alcance descriptivo, su objetivo básicamente es de recopilar todas las propiedades y características de un proceso sin importarle si trabajan conjuntamente o no. Por otra parte, los estudios correlacionales, como su nombre lo dice su propósito es establecer una relación entre dos o más variables. Por último, los estudios explicativos, su función es determinar a detalle el proceso, es decir, por qué ocurre y cómo se presenta.

En lo que refiere a este proyecto, se utiliza un estudio de alcance descriptivo, ya que en él se puede obtener la información necesaria al dar las propiedades del fenómeno en estudio, siendo básicamente lo que se requiere para su realización, debido a que solamente se tomarán las características del suelo para determinar el dimensionamiento adecuado del pavimento.

4.3. Tipos de diseño de la investigación.

De acuerdo con Hernández (2010), hace referencia a aquellas investigaciones donde no es la finalidad el cambiar el comportamiento de una variable con respecto a otra, sino analizarla en el contexto que ha de desarrollarse, sea cual éste sea. Para ello se debe solo observar, analizar y dar fundamentos técnicos a la investigación en pie, afín de no inferir de forma alguna en el desarrollo natural de la misma.

En un estudio no experimental no se generan realidades a partir de la manipulación de organismos o variables bajo condiciones a conveniencia o determinadas, información o procedimientos; caso contrario, en un experimento donde el investigador constituye una nueva realidad haciendo afirmaciones y la

comprobación de algunas hipótesis bajo determinadas circunstancias. Un procedimiento no experimental resulta un parteaguas en cuanto a los estudios cuantitativos, se puede decir que en un diseño experimental en investigador debe realizar pruebas a muestras representativas de una población, con grupos de diferentes características o géneros que le permitan demostrar una hipótesis con bases científicas. Un diseño no experimental bastaría con la recopilación de información y estadísticas, pero se convertiría a su vez en un enfoque descriptivo que se base primordialmente en la observación de un fenómeno.

Indagando más en el diseño no experimental que ha de aplicarse en el presente proyecto, se puede concluir que éste tiene alcances iniciales y finales, correlacionales y explicativos, es sistemática y empírica donde no se interviene de manera directa en las variables porque éstas ya han sucedido, es decir, se analizan una vez desarrolladas en su contexto natural.

Una vez entendido el enfoque de cada diseño se ha optado por utilizar el no experimental debido a que el presente proyecto será de esta índole al no manipular las variables que intervienen en el desarrollo del mismo haciendo uso de procedimientos ya existentes y adaptándolos solamente a las circunstancias y solicitudes del proyecto en estudio.

4.3.1. Investigación transeccional.

Con respecto a Hernández y cols. (2010), la investigación transeccional describe básicamente las variables que existen en el proceso en momento único en

el tiempo. Se clasifica de la siguiente manera: descriptivos, exploratorios y correlacionales-causales.

No obstante, se utiliza el diseño transeccional descriptivo, debido a que esta misma será su función dentro del proyecto, haciendo mención del comportamiento de las diferentes variables que intervienen en un momento determinado dentro del desarrollo.

4.4. Instrumentos de recopilación de datos.

Para el desarrollo del presente proyecto se usaron diversos instrumentos tanto informáticos como de operación manual, que brindan las herramientas básicas en materia de manipulación de información teórica y contable necesaria para llevarlo a buen fin entre los que destacan:

Excel.- Se utiliza básicamente en el manejo de información contable por medio de sus múltiples funciones matemáticas, financieras y estadísticas, que permiten trabajar con hojas de cálculo para facilitar dichas operaciones.

Autocad.- Es un software de diseño asistido por computadora para dibujo en dos y tres dimensiones. Es reconocido y utilizado a nivel internacional debido a sus amplias capacidades de edición, que hacen posible el dibujo digital de planos de edificios o la recreación de imágenes en 3D.

Civilcad.- Como parte de las múltiples herramientas del programa Autocad, es ampliamente utilizado en el ámbito de ingeniería civil para facilitar tareas acordes al

proyecto geométrico y elaboración de perfiles topográficos, curva-masa, curvas de nivel, etcétera.

Word.- En cuanto al manejo de información en forma de textos profesionales o sencillos, este programa juega un papel fundamental en la elaboración de este proyecto, procesando toda la información de ésta índole.

Estación total.- Aparato electro-óptico que se utiliza en topografía, el cual se basa en determinar distancias a través de un teodolito con tecnología electrónica.

4.5. Descripción del proceso de investigación.

Haciendo uso y adeptos de los métodos mencionados anteriormente en el presente capítulo se realizó el desarrollo de la presente investigación, misma que se presentará a continuación.

Se realizó un análisis de las rutas más necesarias para la población de Taretan Michoacán, luego de estudiar las diferentes variables de la sociedad en cuanto a su economía y necesidades se concluyó que en la actualidad es necesario mejorar las rutas de acceso a la fruta que representa la base de la economía en la región, la caña de azúcar, misma que es procesada en el ingenio azucarero que se encuentra en la localidad antes mencionada, una de éstas rutas es la que se encuentra por la parte sureste del estado y que presenta problemas en lo que se conoce como camino “Camelinas”.

Una vez elegido el lugar donde ha de concentrarse el presente proyecto se ha buscado toda la información necesaria que brinde bases sólidas a la elaboración del mismo, haciendo uso de fuentes fidedignas que muestran teorías, criterios y datos estadísticos previamente comprobados y aceptados por parte de expertos en la rama. La información consultada se encuentra desglosada en los capítulos 1 y 2 de la presente investigación en materia de elaboración de proyectos geométricos y diseño de pavimentos.

Con la información dispuesta en libros de diferentes autores se procederá a realizar el trabajo práctico, iniciando con el reconocimiento del sitio en cuestión, conociendo sus características físicas, topográficas y climáticas, así como sus limitaciones y diversas especificaciones. Se procede a hacer un levantamiento topográfico de manera formal para realizar los planos y curvas de nivel correspondientes que faciliten el trabajo de cálculo y diseño del proyecto.

Con la información proyectada de forma digital haciendo uso del programa AUTOCAD se realizarán los procedimientos de diseño para obtener el diseño idóneo del proyecto.

CAPÍTULO 5

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

En el presente capítulo se abordará el tema de análisis e interpretación de resultados, es decir, se mostrarán los cálculos que fueron necesarios llevar a cabo, así como los resultados obtenidos del aforo vehicular, la normativa, pruebas de laboratorio, levantamiento topográfico, la alternativa del método de diseño del pavimento por la cual se optó y por último el diseño del proyecto en estudio.

5.1. Aforo vehicular.

Al estudiar el aforo vehicular que presenta el camino, se puede comprobar que actualmente dicha vía no tiene la capacidad de un tránsito de vehículos adecuado ni con la fluidez necesaria que se requiere en la zona, es por ello, que por primera instancia se realizó un análisis del flujo que existe en él, trayendo como característica un tipo de vehículos pick up, camionetas doble rodado, coches normales, sin embargo el transporte que más transita son camiones pesados, especialmente los de caña, debido a que dicho camino es el acceso principal para el arribo de los camiones al Ingenio llamado “Lázaro Cárdenas”, por ende, a continuación se muestran dos tablas las cuales representan el flujo vehicular durante la temporada de producción de caña y, por consiguiente, cuando no existe dicha temporada, teniendo en cuenta que se tomará como referencia el aforo más desfavorable que se presenta, evidentemente es durante la producción de caña.

DESARROLLO DE AFORO										
TIPO	LUNES	MARTES	MIER.	JUEVES	VIERNES	SABADO	TOTAL	DIA	HORA	%
AP	9	8	8	7	10	6	288	48	4	27
AC	6	4	6	5	8	7	216	36	3	20
C3	5	5	7	4	9	6	216	36	3	20
C2	2	1	2	2	3	2	72	12	1	6.7
T2-S2	8	8	7	6	10	9	288	48	4	27
HORARIO	9-10 am	10-11am	1-2pm	3-4pm	2-3pm	11-12am	TDPA= 180			100

Tabla 5.1.- Aforo vehicular.

Fuente: propia.

5.2. Normativa en la construcción de caminos en el municipio de Taretan Michoacán.

En el presente apartado se hará mención de la normativa que regula la construcción de calles y caminos dentro del municipio que ha servido como contexto al proyecto en cuestión.

En primera instancia se recurrió al H Ayuntamiento del municipio con las autoridades correspondientes en la rama de obras públicas, en materia de normativa que rija la construcción de las calles, caminos y carreteras que atraviesan el municipio de Taretan el H. Ayuntamiento carece lamentablemente de información; sin embargo y en base a las observaciones realizadas se observó que en la población se

cuenta primordialmente con calles y caminos del tipo de concreto hidráulico así como adoquinadas y algunas con la combinación de ambas, de igual forma se encontró que las carreteras circunvecinas al municipio están elaboradas a base de pavimento asfáltico y algunas terracerías.

Debido a lo anterior se procedió directamente a la búsqueda de información dentro de la página oficial de SEDESOL, con la finalidad de conservar la homogenización de las tendencias en el municipio y no faltar a las normas actuales en el estado, dentro de la información encontrada se mencionan a continuación puntos de vital importancia en la materia.

5.2.1. Tipos de clasificación.

En México existen varias clasificaciones de las vialidades, de ellas, la más utilizada a nivel urbano considera una combinación de parámetros cuantificables objetivamente, como su ancho de sección, su número de carriles, la presencia o no de camellón, los volúmenes vehiculares que soportan y su función dentro de la estructura vial. De acuerdo con lo anterior, clasifica a las vías en:

- Primarias
- Secundarias
- Locales
- Accesos a colonias

5.2.2. Vehículos del proyecto.

El vehículo de proyecto es un automotor seleccionado con las dimensiones y características operacionales usadas para determinar ciertas características de proyecto para vialidades, tales como ancho de la vía sobre tangentes y curvas, radios de curvatura horizontal y alineamiento vertical.

La selección de un vehículo de proyecto tiene un importante punto de apoyo en la ejecución y costo de la vía. El uso de vehículos de proyecto más grandes implica instalaciones con mejor circulación y características de seguridad, mientras que el uso de un vehículo de proyecto más pequeño da por resultado costos menores en cuanto a construcción e impacto al medio ambiente.

A continuación se presentan tablas, las cuales describen la cantidad de vehículos que aproximadamente transitan en las diferentes clasificaciones de las vías.

CLASE DE VIALIDAD	VEHICULO DE PROYECTO
Regional	DE1525
Subregional	DE1525 (*)
Primaria	DE1525 (*)
Secundaria	DE610 o DE1220
Local	DE610

Tabla 5.2.- Vehículo de proyecto por nivel funcional de vialidad

Fuente: Manual de diseño geométrico de vialidades.

TIPO DE VEHICULO		Núm. de Ejes	ESQUEMAS		
			PERFIL	PLANTA	
VEHICULOS LIGEROS	Automoviles	2			Ap
	Camionetas				Ap
VEHICULOS PESADOS	Autobuses	2			B
	Camiones	2			C2
					C3
		3			T2 - S1
					T2 - S2
					T3 - S2
		5			T2 - S1 R2

Tabla 5.3.- Clasificación de vehículos.

Fuente: Manual de proyecto geométrico de carreteras SCT.

CARACTERISTICAS			VEHICULO DE PROYECTO							
			DE - 335	DE - 450	DE - 610	DE - 1220	DE - 1525			
D	Longitud total del vehiculo	L	580	730	915	1525	1675			
I	Distancia entre ejes extremos del vehiculo	DE	335	450	610	1220	1575			
M	Distancia entre ejes extremos del tractor	DET	—	—	—	397	915			
E	Distancia entre ejes del semiremorque	DES	—	—	—	762	610			
N	Vuelo delantero	Vd	92	100	122	122	92			
S	Vuelo trasero	Vt	153	180	183	183	61			
I	Distancia entre ejes tandem tractor	Tt	—	—	—	—	122			
O	Distancia entre ejes tandem semiremorque	Ts	—	—	—	122	122			
N	Distancia entre ejes inferiores tractor	Dt	—	—	—	379	488			
E	Dist. entre ejes interiores tractor y semiremorque	Ds	—	—	—	701	793			
S	Ancho total del vehiculo	A	214	244	259	259	259			
	Entrevia del vehiculo	EV	183	244	259	259	259			
E	Altura total del vehiculo	Ht	167	214-412	214-412	214-412	214-412			
N	Altura de los ejes del conductor	Hc	114	114	114	114	114			
	Altura de los faros delanteros	Hf	61	61	61	61	61			
cms.	Altura de los faros traseros	Ht	61	61	61	61	61			
Angulo de desviación del haz de luz de los faros			1°	1°	1°	1°	1°			
Radio de giro minimo (cm)			Rg	732	1040	1281	1220	1372		
PESO TOTAL (Kg)		Vehiculo vacio	Wv	2500	4000	7000	11000	14000		
		Vehiculo cargado	Wc	5000	10000	17000	25000	30000		
Relación Peso/Potencia (Kg/ HP)			WoP	45	90	120	180	180		
VEHICULOS REPRESENTADOS POR EL DE PROYECTO			Ap y Ac	C2	B.- C3	T2 - S1	T3 - S2			
						T2 - S2	OTROS			
PORCENTAJE DE VEHICULOS DEL TIPO INDICADO CUYA DISTANCIA ENTRE EJES EXTREMOS (DE) ES MENOR QUE LA DEL VEHICULO DEL PROYECTO			Ap y Ac	99	100	100	100	100		
			C2	30	90	99	100	100		
			C3	10	75	99	100	100		
			T2 - S1	0	0	1	80	99		
			T2 - S2	0	0	1	93	78	100	98
			T3 - S2	0	0	1	18	90		
PORCENTAJE DE VEHICULOS DEL TIPO INDICADO CUYA RELACION PESO/POTENCIA ES MENOR QUE LA DEL VEHICULO DEL PROYECTO			Ap y Ac	98	100	100	100	100		
			C2	62	98	100	100	100		
			C3	20	82	100	100	100		
			T2 - S1	6	85	100	100	100		
			T2 - S2	6	42	98	98	98		
			T3 - S2	2	35	80	80	80		

Tabla 5.4.- Características de vehículos del proyecto.

Fuente: Manual de proyecto geométrico de carreteras SCT.

5.2.3. Velocidad del proyecto.

La velocidad de proyecto debe ser un proceso en el que intervienen diversos factores tales como el tipo de topografía, tipo de carretera, el tipo de tránsito, las necesidades de los usuarios, el tipo de vehículos que conforma el tránsito, generando cambios de velocidades y que deben ser señalados por dispositivos de control apropiados. Para regular la determinación de los factores antes mencionados se debe tomar en cuenta un parámetro denominado velocidad máxima del proyecto, “la velocidad máxima segura que puede mantenerse en un tramo dado de la carretera cuando las condiciones son tan favorables que las características de proyecto son las que determinan esa velocidad. La tabla que se muestra indica la velocidad adecuada para su topografía.

Clase	<u>Topografía</u>		
	Plano	Lomerío	Montaña
Regional	110	90	80
Subregional	90	80	70
Primaria (Centro)	50-65	50-65	50-65
Primaria (Periferia)	65-80	60-75	55-70
Secundaria	30-65	30-60	30-55
Local	30-50	30-50	30-50

Tabla 5.5.- Velocidad del proyecto por nivel funcional de la vialidad.

Fuente:Manual de diseño geométrico de vialidades.

5.2.4. Distancia de visibilidad.

La distancia de visibilidad es la longitud visible de la vía para el conductor. La distancia mínima visible disponible en una vía debe ser suficientemente larga para permitirle al vehículo viajar a la velocidad de proyecto y parar antes de alcanzar un objeto estacionado en su ruta. La distancia de visibilidad, en cada punto a lo largo de la vía, debe ser por lo menos la requerida para un operador por abajo del promedio o para que un vehículo pare en esta distancia.

La distancia de visibilidad de parada es la suma de dos distancias: la distancia recorrida por el vehículo desde el instante que el conductor ve un objeto necesitando parar aplicando los frenos y, la distancia requerida para detener el vehículo desde el instante que se empiezan a aplicar los frenos; se refiere a una distancia de reacción de los frenos y, la distancia de frenado, respectivamente. Basado en estudios de los hábitos de los conductores, se usa en este manual un tiempo de reacción de frenos de 2.5 segundos.

Velocidad de Proyecto	Tiempo de Reacción	Distancia	Coef. de Fricción	Distancia de Frenado	Distancia de Visibilidad de Parada
Km/hr	Seg.	M		m	m
30	2.5	20.8	0.400	8.86	29.7
40	2.5	27.8	0.380	16.58	44.4
50	2.5	34.7	0.360	27.34	62.1
60	2.5	41.7	0.340	41.69	83.4
70	2.5	48.6	0.325	59.36	108.0
80	2.5	55.6	0.310	81.28	136.8
90	2.5	62.5	0.305	104.56	167.1
100	2.5	69.4	0.300	131.23	200.7
110	2.5	76.4	0.295	161.48	237.9

Tabla 5.6.- Distancia de visibilidad de parada.

Fuente:Manual de diseño geométrico de vialidades.

5.2.5. Pendiente.

Es necesario considerar qué tipo de pendiente se debe colocar para de tal forma el proyecto cumpla con los objetivos mencionados en el inicio del desarrollo del proyecto, por ello a continuación se presentan las pendientes máximas utilizadas.

Clase Funcional	Velocidad de Proyecto Km/h	Pendiente Máxima (%)					
		Plano		Lomerío		Montañoso	
		a	b	a	b	A	b
Regional	80	6.0	5.0	7.0	6.0	8.0	7.0
	90	5.0	4.0	6.0	5.0	7.0	6.0
	100	4.0	3.0	5.0	4.0	6.0	5.0
	110	4.0	3.0	5.0	4.0	6.0	5.0
Subregional	70	7.5	6.5	9.0	8.0	10.0	9.0
	80	6.5	5.5	8.0	7.0	9.0	8.0
	90	5.5	4.5	7.0	6.0	8.0	7.0
Primaria	50	9.0	8.0	10.5	9.5	12.0	11.0
	60	8.5	7.5	10.0	9.1	11.5	10.5
	70	8.0	7.0	9.5	8.5	11.0	10.0
	80	7.0	6.0	9.0	8.0	10.0	9.0
Secundaria	30	12.0	11.0	13.5	12.5	15.0	14.0
	40	11.0	10.0	12.5	11.5	14.0	13.0
	50	10.0	9.0	11.0	10.0	13.0	12.0
	60	9.0	8.0	10.5	9.5	12.0	11.0
Local	30	12.0	11.0	14.0	13.0	16.0	15.0
	40	11.0	10.0	13.0	12.0	15.0	14.0
	50	10.0	9.0	12.0	11.0	14.0	13.0

Tabla 5.7.- Pendientes máximas.

Fuente:Manual de diseño geométrico de vialidades.

5.2.6. Banquetas.

A continuación se enlistan los anchos mínimos y deseables de banquetas, de acuerdo con la zona urbana de que se trate:

Zona	Mínimo	Deseable
Centro	1.5m	2.0m o más
Subcentro	1.2m	1.75m
Áreas periféricas y suburbanas	1.0m	1.5m

Tabla 5.8- Ancho de banquetas.

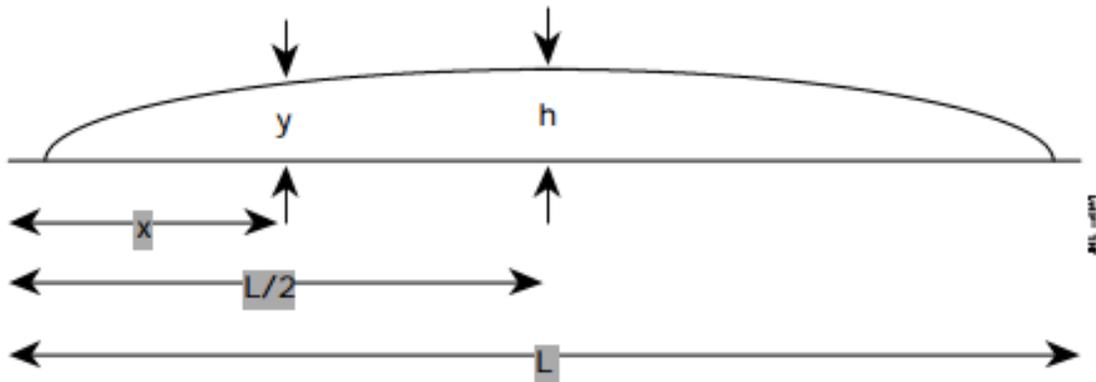
Fuente:Manual de diseño geométrico de vialidades.

5.2.7. Topes.

Los topes son sólo para ser usados como control de velocidad en vialidades locales. El diseño, análisis y evaluación de los dispositivos para el control del tránsito, difieren dependiendo de si son aplicados con el propósito de controlar la velocidad o el cruce. Los dispositivos para el control de la velocidad del tránsito o los aspectos geométricos, se instalan con el propósito específico de reducir la velocidad del vehículo en un tramo del arroyo.

Estos incluyen las señales de alto, semáforos, estrechamientos del arroyo, así como una variedad de obstáculos físicos construidos dentro del arroyo, que incluyen topes, boyas y vibradores. El propósito es llevar a los vehículos a una parada total o parcial en varios puntos; en teoría, esto evitará el exceso de velocidad.

En seguida se muestran las especificaciones que debe llevar un diseño de tope:



L= 3.6 m h= 100 m		L= 2 m h= 65 m		L= 1.6 m h= 60 mm	
x (metros)	y (mm)	x (metros)	y (mm)	x (metros)	y (mm)
0	0	0	0	0	0
0.1	10.80247	0.1	12.35	0.1	14.0625
0.2	20.98765	0.2	23.4	0.2	26.25
0.3	30.55556	0.3	33.15	0.3	36.5625
0.4	39.50617	0.4	41.6	0.4	45
0.6	55.55556	0.6	54.6	0.6	56.25
0.8	69.1358	0.8	62.4	0.8	60
1	80.24691	1	65	1	56.25
1.2	88.88889	1.2	62.4	1.2	45
1.4	95.06173	1.4	54.6	1.3	36.5625
1.6	98.76543	1.6	41.6	1.4	26.25
1.8	100	1.7	33.15	1.5	10.0625
2	98.76543	1.8	23.4	1.6	0
2.2	95.06173	1.9	12.35		
2.4	88.88889	2	0		

Tabla 5.9.- Diseño de topes.

Fuente:Manual de diseño geométrico de vialidades.

5.2.8. Diseño de la losa del pavimento.

La losa de un pavimento de hormigón es un elemento estructural que puede y debe ser diseñado para soportar cargas de tránsito previsto. Para que el pavimento de hormigón rinda un servicio satisfactorio e económico durante los años de vida asignada requiere:

- Valor soporte de la sub-rasante razonablemente uniforme.
- Eliminación de bombeo cuando la calidad del suelo de la sub-rasante lo exija mediante la construcción de una sub-base.
- Distribución adecuada de las juntas.
- Resistencia estructural adecuada para las solicitaciones a que estará expuesto.

Para facilitar el cálculo y verificar el espesor adoptado puede emplearse a los valores de la tabla siguiente.

DIMENSIONAMIENTO:

- Módulo de rotura del Hormigón = 45 (Kg/cm²)
- Módulo de reacción de la sub-rasante = 2,8 (Kg/cm³)
- Factor de Seguridad F.S. = 1,2
- Módulo de reacción combinado = 3,6 (Kg/cm³)

EJE SIMPLE Ton .	Nº DE REPETICIONES
13	80
12	70
11	60
10	50
9	95

EJE TANDEM Ton.	Nº DE REPETICIONES
23	4
22	6
21	8
20	10
19	20

Tabla 5.10.- Repeticiones recomendadas de acuerdo al eje.

Fuente: www.Ingeniería civil.com.

5.2.9. Especificaciones técnicas constructivas.

En este apartado se da un enlistado de las especificaciones mínimas que deben de cumplir los pavimentos.

Elemento		Tipo de Pavimento		
		Flexible	Rígido	Adoquines
Sub-rasante		95 % de compactación: Suelos Granulares - Proctor Modificado Suelos Cohesivos - Proctor Estándar		
		Espesor compactado: ≥ 250 mm – Vías locales y colectoras ≥ 300 mm – Vías arteriales y expresas		
Sub-base		CBR ≥ 40 %	CBR ≥ 30 %	
Base		CBR ≥ 80 %	N.A.*	CBR ≥ 80%
Imprimación/capa de apoyo		Penetración de la Imprimación ≥ 5 mm	N.A.*	Cama de arena fina, de espesor comprendido entre 25 y 40 mm.
Espesor de la capa de rodadura	Vías locales	≥ 50 mm	≥ 150 mm	≥ 60 mm
	Vías colectoras	≥ 60 mm		≥ 80 mm
	Vías arteriales	≥ 70 mm		NR**
	Vías expresas	≥ 80 mm	≥ 200 mm	NR**
Material		Concreto asfáltico ***	MR ≥ 34 Kg/cm ² (3,4 MPa)	f _c ≥ 380 Kg/cm ² (38 MPa)

Notas: * N.A.: No aplicable; ** N.R.: No Recomendable; *** El concreto asfáltico debe ser hecho preferentemente con mezcla en caliente. Donde el Proyecto considere mezclas en frío, estas deben ser hechas con asfalto emulsificado.

Tabla 5.11.- Especificaciones de los pavimentos.

Fuente: www.Ingeniería civil.com.

Tipo de Pavimento Elemento		Aceras o Veredas	Pasajes Peatonales	Ciclo vías
		Sub-rasante		95 % de compactación: Suelos Granulares - Proctor Modificado Suelos Cohesivos - Proctor Estándar
Espesor compactado: ≥ 150 mm				
Base		CBR ≥ 30 %	CBR ≥ 60%	
Espesor de la capa de rodadura	Asfáltico	≥ 30 mm		
	Concreto de cemento Portland	≥ 100 mm		
	Adoquines	≥ 40 mm (Se deberán apoyar sobre una cama de arena fina , de espesor comprendido entre 25 y 40 mm)		
Material	Asfáltico	Concreto asfáltico*		
	Concreto de cemento Portland	$f_c \geq 175 \text{ Kg/cm}^2 (17,5 \text{ MPa})$		
	Adoquines	$f_c \geq 320 \text{ Kg/cm}^2 (32 \text{ MPa})$	N.R. **	

* El concreto asfáltico debe ser hecho preferentemente con mezcla en caliente. Donde el Proyecto considere mezclas en frío, estas deben ser hechas con asfalto emulsificado.

** N.R.: No Recomendable.

Tabla 5.12.- Especificaciones de los pavimentos especiales.

Fuente: www.Ingeniería civil.com.

5.3. Topografía.

En el entendido de que la topografía estudia el conjunto de procedimientos para determinar la posición de un punto sobre la superficie terrestre, y que por medio de medidas según los tres elementos del espacio: dos distancias y una elevación o una distancia, una elevación y una dirección en este proyecto y en todos sirve para determinar distancias y elevaciones se tuvo la necesidad de tener total apego en

esta materia por el tipo de proyecto que se estudia, empleando unidades de longitud (en sistema métrico decimal), y para direcciones se emplearon unidades de arco (grados sexagesimales).

Levantamientos

Comúnmente al proceso en que se realizan los trabajos de topografía en campo son los levantamientos, dicho término se utilizará para referirse al conjunto de operaciones que determinan las posiciones de puntos, la mayoría calculan superficies y volúmenes y la representación de medidas tomadas en el campo mediante perfiles y planos topográficos.

Clases de levantamientos

-Topográficos: Por abarcar superficies reducidas se realizan despreciando la curvatura de la tierra sin error apreciable.

-Geodésicos: Son levantamientos en grandes extensiones y se considera la curvatura terrestre.

Los levantamientos topográficos son los más comunes y los que más interesan al presente proyecto. Y para llevar a cabo éste fue necesario hacer uso de algunos aparatos especializados para las labores antes mencionadas, tales como:

-Estación total: Que no es otra cosa sino un teodolito con un distanciómetro y un microprocesador integrado, que mide ángulos y distancias y, calcula coordenadas

polares o rectangulares para el trazo y replanteo. Esta información se graba y procesa con los programas electrónicos integrados o asociados al equipo.

Su funcionamiento consiste en el levantamiento, trazo y replanteo se basa en la triangulación, se establecen dos puntos con coordenadas conocidas o asumidas (Stncoordinate y Back sight), luego se ubica la Estación Total en el ptoStn, y desde este se mira hacia el back sight, marcando la recta base desde donde se tomarán todos los datos posteriores. Finalmente se empieza la observación, de todos los puntos a levantar o trazar.

Generalmente se requiere introducir los datos de altura del instrumento, las coordenadas de la estación y el segundo punto (back sight) en el programa instalado.

El montaje de la estación suele tomar 3 minutos en campo (15 en principiantes), y se realiza del siguiente modo:

- Selección y marcado del punto de control topográfico (pintura roja, marcadores, etc.)
- Montaje y centrado del instrumento, se elegirá un punto con buena visibilidad hacia la mayor cantidad de puntos, ejemplo un cruce de calle.
- Se nivela primero el trípode centrando la burbuja del nivel circular con el manejo de dos patas del mismo, Luego con la base niveladora utilizando los tornillos de nivelación, se comprueba girando el instrumento y verifica cuando la burbuja se mantiene en la misma posición. Se verifica finalmente el punto topográfico y se corrige de ser necesario.
- Otra opción es la nivelación por pantalla, ahorra tiempo al corregir sólo los tornillos.

Partes y accesorios:

- Pantalla
- Radio
- Trípode
- Teclado
- Lente telescopio
- Trípode: estructura sobre la que se fija el aparato en el terreno
- Base niveladora: plataforma que une la Estación Total con el trípode con tres tornillos niveladores y un nivel circular
- Estación Total: aparato en sí mismo posee una lente telescópica con objetivo láser, teclado, pantalla y un procesador interno para cálculo y almacenamiento de datos, además de galones de litio recargables.
- Controlador de campo: Con sistema bluetoo y procesador.
- Prisma u objetivo (target): pieza que se ubica en los bastones sobre los puntos elegidos que al ser observados por la estación capta el láser y se obtienen los datos.
- Bastón porta prisma: bastón metálico con altura ajustable sobre la que se coloca un prisma, posee un nivel circular para ubicarse con precisión en el punto elegido.
- Radio: permite la comunicación en el momento
- Otros accesorios: Brújula, que se usa para orientar la estación hacia el norte magnético.

Finalmente se descargan los datos en la PC, o se supervisan en el momento a distancia, el software más usado es:

AutoCAD: software de diseño asistido por computadora para dibujo en dos y tres dimensiones. Actualmente es desarrollado y comercializado por la empresa Autodesk. El nombre AutoCAD surge como creación de la compañía Autodesk, en que Auto hace referencia a la empresa creadora del software y CAD a Diseño Asistido por Computadora (por sus siglas en inglés) teniendo su primera aparición en 1982.³AutoCAD es un software reconocido a nivel internacional por sus amplias capacidades de edición, que hacen posible el dibujo digital de planos de edificios o la recreación de imágenes en 3D, es uno de los programas más usados por arquitectos, Ingenieros y diseñadores industriales.

Además del software mencionado se hace uso del Civilcad, como herramienta de AutoCAD cubriendo diversas necesidades del profesional de la Ingeniería Civil y Topografía de habla hispana; utilizado por dependencias de gobierno, constructoras y universidades, también se pueden obtener rápidamente perfiles, secciones, curvas de nivel, cálculo de volúmenes en plataformas y vialidades, cuadros de construcción, subdivisión de polígonos.

5.4. Estudio de Geotecnia.

El presente proyecto requiere la realización de un Estudio de Geotecnia, especialmente de un camino, en el cual se pretende llevar a cabo la construcción de un pavimento rígido, ubicado en el camino “Camelinas”, en el municipio de Taretan, Michoacán. Con base en esta necesidad se realizó un pozo a cielo abierto (p.c.a) para la realización de los estudios respectivos de Geotecnia y la toma de muestras para el análisis en laboratorio.

La finalidad primordial del Estudio de Geotecnia, es el de conocer la capacidad de carga que posee el suelo y la profundidad idónea para el desplante de las bases y sub-bases, respetivamente, del proyecto mencionado con anterioridad, de la misma forma hacer alusión a los asentamientos y consolidación que pudieran presentarse en el camino que es motivo del presente informe. Esto coadyuvará a la elección de un sistema adecuado para la construcción.

5.4.1. Estratigrafía del sitio.

Como ya se mencionó, es el único pozo realizado, se ubica en la zona Oeste del camino; en esta exploración se extrajeron muestras tanto alteradas como inalterada para conocer las características mecánicas del suelo para cimentación hasta una profundidad de 2.32 metros.

A continuación se describe la estratigrafía del p.c.a.

0 – 0.20 metros. Con presencia de material de mejoramiento.

0.20 – 2 metros. Relleno con material arcilloso.

2 metros. Fin de la exploración, no se detectó nivel de aguas friáticas (NAF).

De este pozo se adquirió una muestra inalterada a una profundidad de 1.10 metros y dos muestras alteradas del estrato presente.

Una vez analizada la estratigrafía del p.c.a. se procederá a mencionar las pruebas necesarias para conocer las propiedades y características del predio.

5.4.2. Reportes de los estudios y pruebas realizadas a las muestras obtenidas.

Para la obtención de la clasificación y capacidad de carga del suelo donde se pretende desplantar la base y sub-base del camino antes mencionado, se ha llevado a bien las siguientes pruebas de laboratorio:

MUESTRA ALTERADA:

- a) Clasificación del suelo.
- b) Prueba de granulometría por lavado.
- c) Prueba de Límite de Consistencia.
- d) Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

MUESTRA INALTERADA:

- a) Clasificación del suelo.
- b) Prueba de granulometría por lavado.
- c) Prueba de Límite de Consistencia.
- d) Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).
- e) Prueba de Valor Relativo de Soporte.
- f) AASHTO Estándar.

Las pruebas que se realizan para el presente Informe están basadas por los conocimientos adquiridos en la materia de Mecánica de Suelos II, de la escuela de Ingeniería Civil, de la Universidad "Don Vasco" A.C., a cargo del Ing. Anastasio Blanco Simiano, las cuales son estrictamente rigurosas para Estudios Geotécnicos y las más altas normas de calidad.

A continuación se muestra la tabla de concentrados de resultados para el estudio realizado, anexando las gráficas y cálculos correspondientes a las pruebas realizadas del suelo en estudio:

CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL	MUESTRA	1
	ESPESOR DEL ESTRATO ENCONTRADO (CM)	-
	CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	
	PESO VOLUMÉTRICO SECO SUELTO (kg/m ³)	1120.00
	% QUE RETIENE MALLA DE 76.2 mm. (malla 3")	0.00
	% GRAVAS (pasa malla 50.8mm (2") y retenido en malla No. 4)	0.00
	% ARENAS (pasa malla No. 4 y retenido en malla No. 200)	5.25
	% FINOS (pasa malla No. 200)	94.75
	CLASIFICACIÓN GRANULOMÉTRICA	Material Fino
	LIMITES DE CONSISTENCIA	
	LÍMITE LÍQUIDO %	39.50
	LÍMITE PLÁSTICO %	20.50
	INDICE PLÁSTICO %	19.00
	CONTRACCIÓN LINEAL %	3.00
	CLASIFICACIÓN LÍMITES	CL Arcilla de Baja Compresibilidad
	CLASIFICACIÓN SUCS	
	CL	
	AASHTO ESTANDAR.	
	PESO VOLUMÉTRICO SECO MÁXIMO (kg/m ³)	1300.00
	HUMEDAD OPTIMA %	32.00
VALOR RELATIVO DE SOPORTE.		
VALOR RELATIVO DE SOPORTE NO SATURADO %	21.29	
VALOR RELATIVO DE SOPORTE SATURADO 24 HR %	7.58	
EXPANSIÓN % (24 HR SATURADO)	4.00	

Tabla. 5.13.-Tabla de concentrados de resultados.

Fuente: propia.

5.4.3. Conclusiones, recomendaciones y observaciones generales.

De acuerdo al reconocimiento de la zona de estudio y las pruebas necesarias realizadas en el laboratorio de la Universidad “Don Vasco” se determinaron algunos puntos relevantes mencionados a continuación:

- El camino cuenta con un terreno natural clasificación como CL de acuerdo al SUCS.
- Considerando las pruebas realizadas en laboratorio a la muestra inalterada el tipo de suelo en estudio cuenta con un valor relativo de soporte saturado a las 24 horas de 7.58% y no saturado de 21.29% para el diseño del pavimento.
- No se encontró nivel de aguas friáticas (NAF) en la zona de estudio geotécnico.

5.4.4. Reporte fotográfico.



Fig. 5.7.- Prueba de granulometría y límites de Atterberg.

Fuente: propia.



Fig. 5.8.- Prueba de Atterberg.

Fuente: propia.



Fig. 5.9.- Muestra de suelo saturada.

Fuente: propia.



Fig. 5.10.- Rollitos para determinar el límite plástico.

Fuente: propia.



Fig. 5.11.- Muestra de Casagrande para determinar el límite líquido.

Fuente: propia.



Fig. 5.12.- Prueba de granulometría.

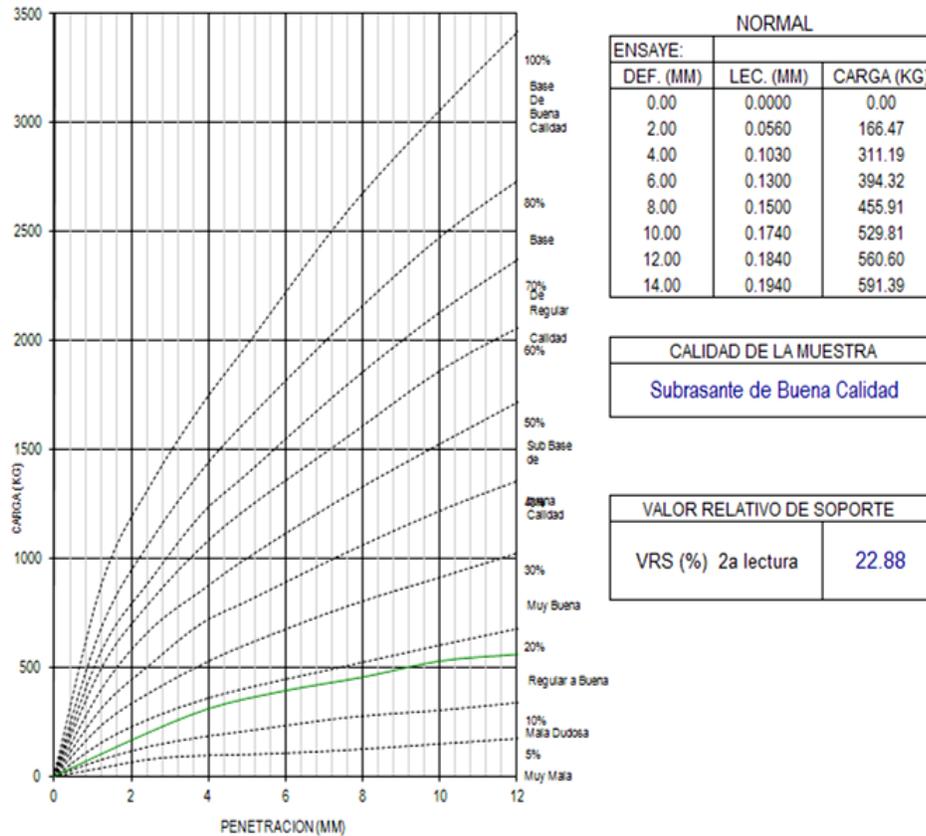
Fuente: propia.

Las pruebas especialmente requeridas para el propósito del diseño de nuestro pavimento son:

VALOR RELATIVO DE SOPORTE (VRS).

El ensaye de Valor Relativo de Soporte o mejor conocido como VRS, corresponde a una prueba que en sus inicios fue realizada por el Departamento de Carreteras del Estado de California, en un suelo, éste se obtiene mediante una prueba de penetración, donde un vástago de 19.4 cm² (3 plg²), de área es inducido a penetrar en un molde con suelo que ha sido compactado, la velocidad de dicha penetración equivale a 0.127 cm/min (0.05 plg/min), haciendo una tabulación de la carga de penetración a cada 0.25 cm (0.1"); La muestra dispuesta para este ensaye está confinada en un molde de acero de 15.2 cm (6") de diámetro, y una altura de 20.30 cm (8"), el suelo se dispone haciendo pasar el material seco por la malla No 1, agregando además, agua en forma gradual hasta obtener una humectación adecuada, posteriormente se pesarán 4 kg de material ya humectado que será colocado en el molde a razón de tres capas, será colocado en una prensa que ejercerá en él una carga equivalente a 140 kg/cm², ésta se aplicará de manera uniforme sobre el material que se encuentra dentro del molde, buscando que tanto la Aashto Estándar y Modificado, igualen las características de Masa Volumétrica Seco Máximo y Humedad óptima, y a continuación aplicar la prueba de penetración nos determine el VRS del suelo en estudio.

Es importante mencionar que los resultados del VRS pueden verse afectados por diversos factores tales como: la textura del suelo, la humedad (que no sea el óptimo) así como las condiciones de compactación.



Gráfica 5.5.- Registro y gráfica de ensaye de VRS (ejemplo).

Fuente: Elaboración propia.

PRUEBA DE PLACA

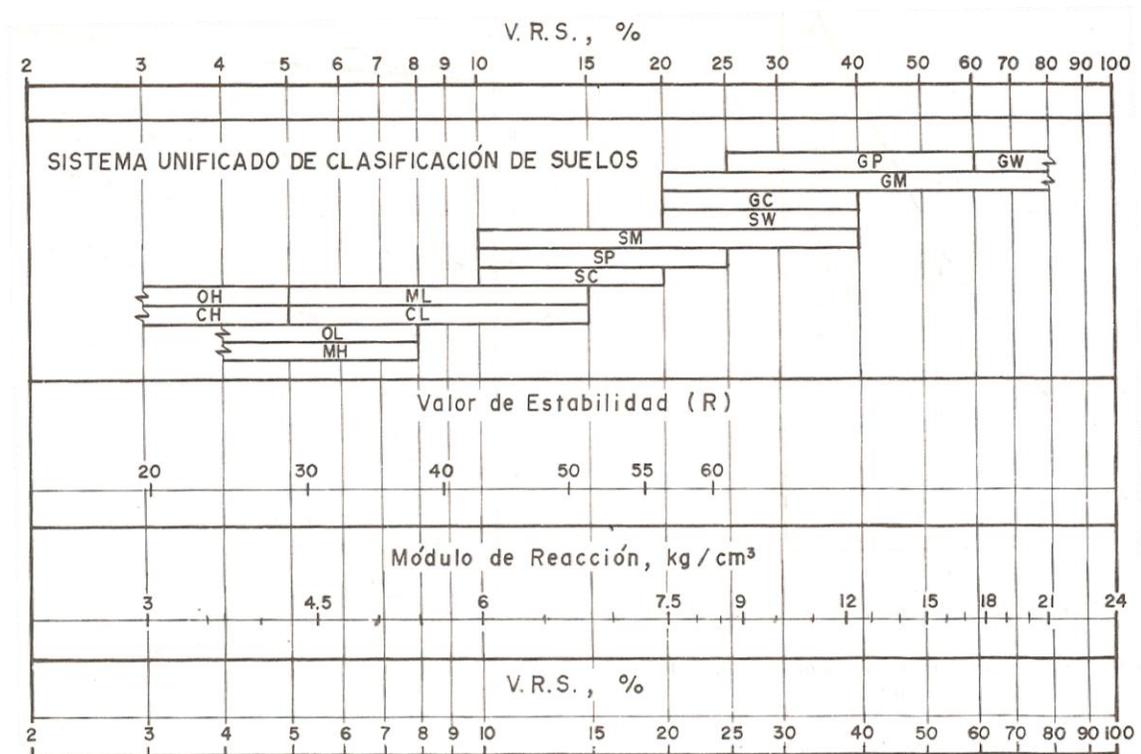
Esta prueba es de suma importancia para determinar la capacidad de cortante que tendrán las capas subrasante, subbase e inclusive del pavimento, corresponde a

colocar sobre el suelo en estudio una placa de acero en forma circular, tabulando las deformaciones que registran las diferentes cargas aplicadas, para diseñar pavimentos rígidos resulta de suma importancia el valor "k" obtenido de un procedimiento estandarizado el cual utiliza una placa de 762 mm (30") de diámetro.

Así pues, se recomienda realizar la prueba de placa en la capa subrasante y realizar un ajuste de resultados a fin de considerar el efecto tanto en la subbase, como en las condiciones de compactación y humedad, debido a que la prueba de placa se realiza sobre la subbase, puede haber resultados no muy confiables, debido a que la profundidad a la que se realiza la prueba no es muy considerable como la que presenta una losa de concreto cargada con un vehículo.

El IMCYC recomienda, "no exceder en ningún caso el valor "k" de la subrasante de 137 MPa/m (500 lb/plg³)" IMCYC, 2002, I-16.

A continuación (tabla 2.8) se muestran algunos valores de "k" para materiales que pueden ser parte de la subrasante.



Gráfica 5.1.- Comparación entre varios índices de resistencia.

Fuente: Rico y Del Castillo; 2002; 212.

Prueba AASHTO.

Con base en las normas de la SCT, ésta prueba hará posible obtener la curva de compactación de un material, con la finalidad de conocer la masa volumétrica seca máxima, así como el grado de humedad óptima.

La prueba mencionada en el párrafo anterior representa como la se mencionó, la posibilidad de conocer la masa volumétrica seca del material o metiéndolo a compactación a diversos niveles de humectación, además de la aplicación de una misma energía de compactación en prueba dinámica, y registrando las determinaciones obtenidas en una gráfica, mismas que servirán para realizar el trazado de una curva de compactación de tal forma que se obtengan los puntos máximos en materia de masa volumétrica seca máxima y humedad.

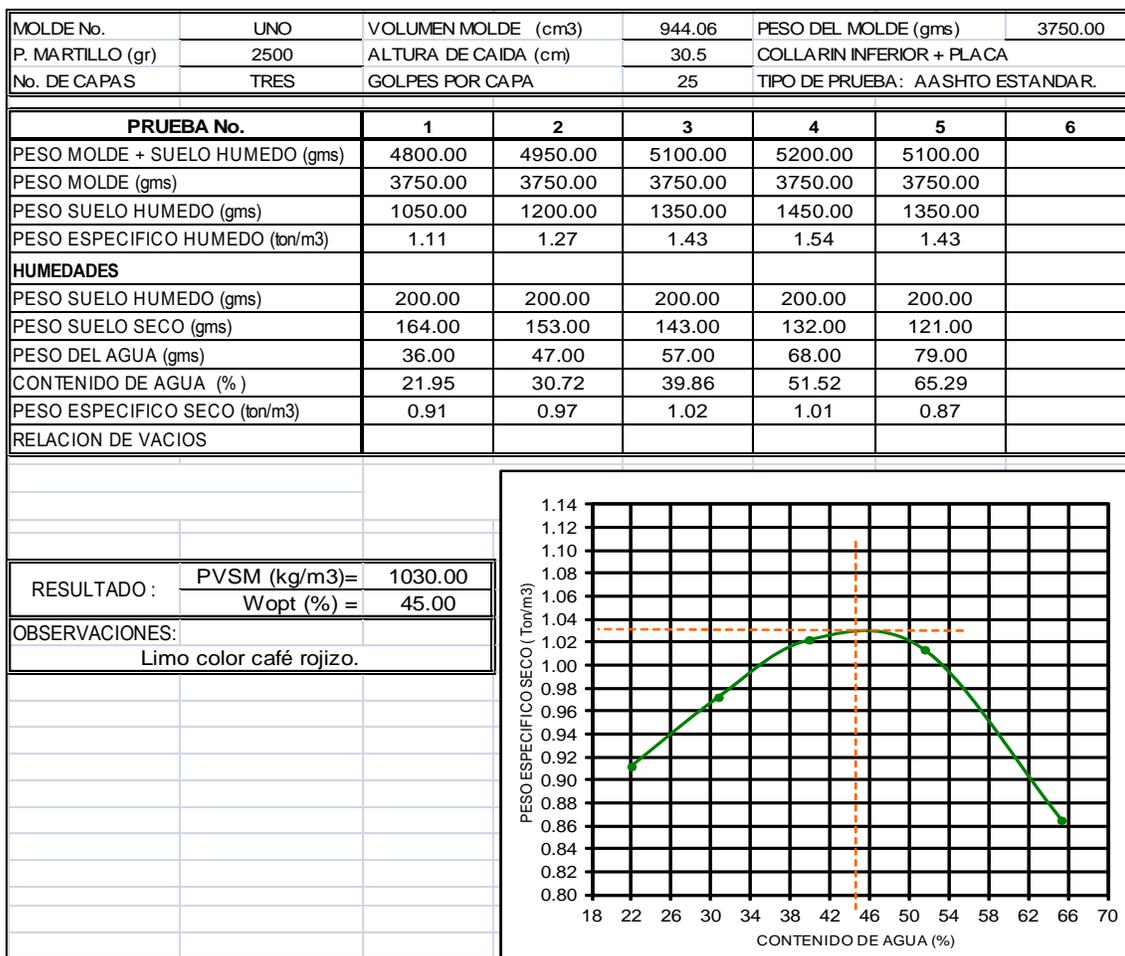


Imagen 5.14.- Registro y cálculo de ensaye Aashto Estándar (EJEMPLO).

Fuente: Elaboración propia.

5.5. Diseño de pavimento.

Como ya se mencionó en el capítulo 2, el método de PCA se basa principalmente en la resistencia del pavimento con relación a la carga que se le asigne, así como los aspectos ambientales a los que está sometido. De esta forma se pretende utilizar este método en el diseño del pavimento rígido del presente proyecto, procedimiento que se presenta a continuación.

5.5.1. Módulo de resistencia.

En los gráficos de diseño que se presentarán en lo consecuente se observaran las características del concreto que intervienen a través del concepto “Modulo de resistencia a la flexión en tensión” (MR), que se expresa como un esfuerzo. La correlación se verá influencia por el tipo de cemento que se utilice, así como la naturaleza de los agregados. En lo general:

$$0.10f'c \leq MR \leq 0.17f'c$$

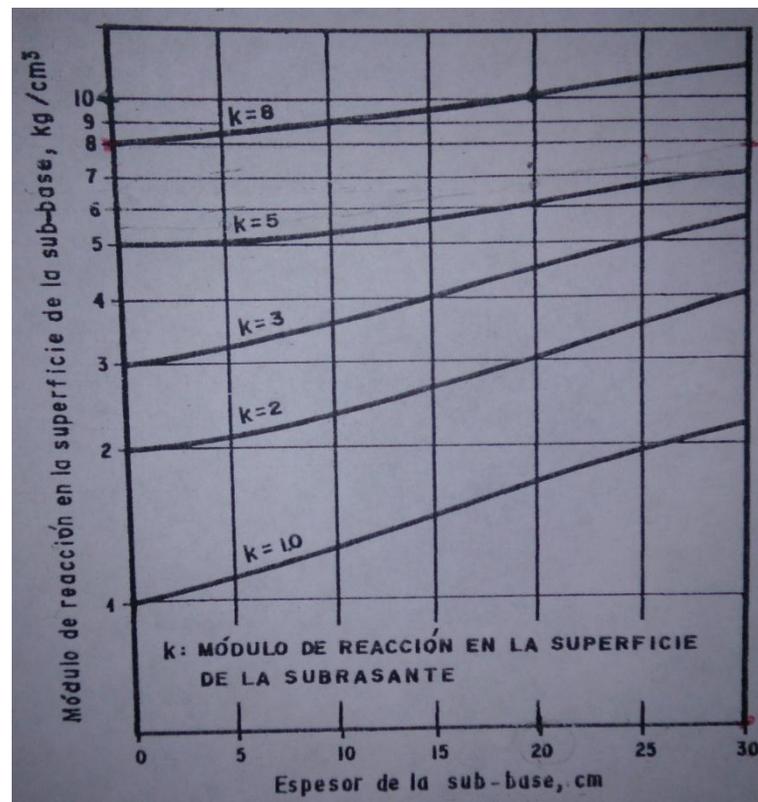
En México parece conveniente utilizar el valor:

$$MR = 0.12f'c$$

MR corresponde a la condición de ruptura; el valor correspondiente que aparece en los gráficos de diseño es el de trabajo, con un factor de seguridad comprendido entre 1.75 y 2 respecto a la ruptura. Los gráficos de diseño están obtenidos considerando un módulo de elasticidad del concreto de 280000 kg/cm²(4X10⁶ lb/plg²) y una relación de Poisson igual a 0.15.

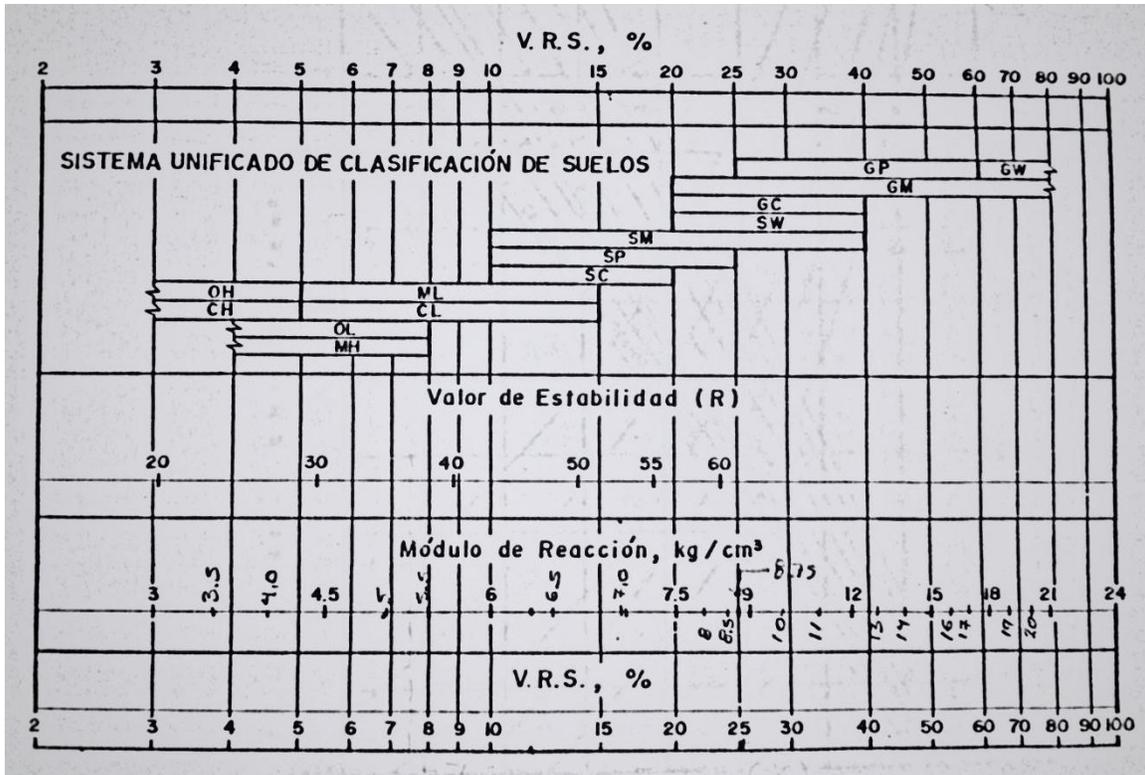
5.5.2. Gráficos de diseño.

Según este criterio el valor de K (módulo de reacción en la superficie de la subrasante), se obtiene dividiendo la presión entre la deflexión. Los pavimentos rígidos poseen una sub-base sobre la subrasante cuyo módulo de reacción se haya calculado de manera que resulta mejorado el apoyo de la losa.



Gráfica. 5.2.- Módulo de reacción en la superficie de la subrasante (K).

Fuente: Rico; 2005:211.



Gráfica. 5.3.- Comparación de índices de resistencia que puede utilizarse en sub-base de pavimentos rígidos.

Fuente: Rico; 2005:211.

Existe la recomendación adicional de afectar la carga de tránsito por un factor de seguridad 1, para carretas y calles con volumen pequeño, debido a la característica mencionada anteriormente cabe mencionar que no se utilizarán pasajuntas en la losa del pavimento.

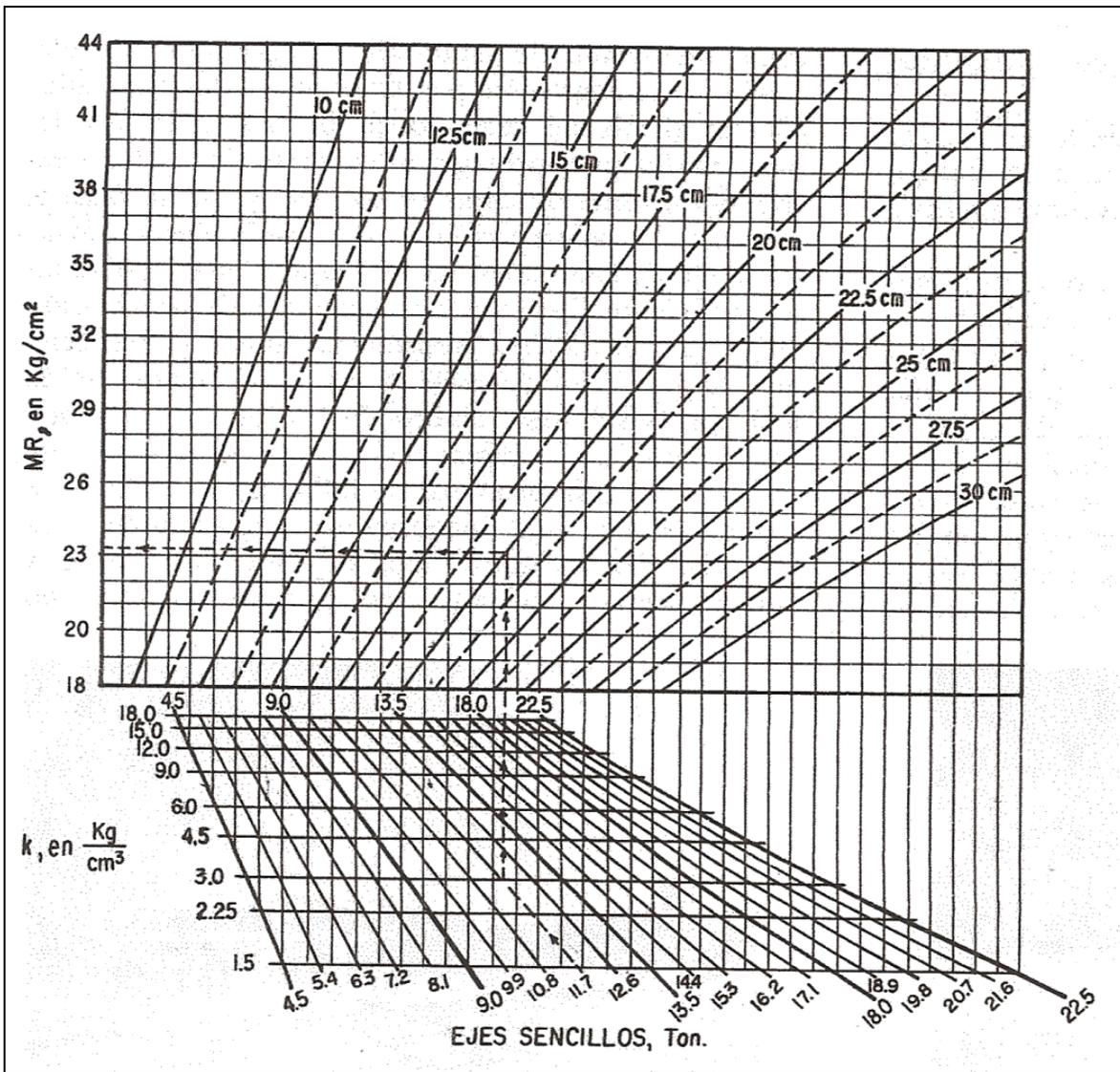
Correlación entre la Relación de Resistencias de un pavimento rígido carretero y el número de repeticiones de la carga correspondiente que se puede soportar sin falla (Ref. 2)

<i>Relación de Resistencias</i>	<i>Número permisible de repeticiones</i>	<i>Relación de Resistencias</i>	<i>Número permisible de repeticiones</i>
0.51	400,000	0.69	2,500
0.52	300,000	0.70	2,000
0.53	240,000	0.71	1,500
0.54	180,000	0.72	1,100
0.55	130,000	0.73	850
0.56	100,000	0.74	650
0.57	75,000	0.75	490
0.58	57,000	0.76	360
0.59	42,000	0.77	270
0.60	32,000	0.78	210
0.61	24,000	0.79	160
0.62	18,000	0.80	120
0.63	14,000	0.81	90
0.64	11,000	0.82	70
0.65	8,000	0.83	50
0.66	6,000	0.84	40
0.67	4,500	0.85	30
0.68	3,500		

Tabla. 5.15.- Correlación entre la relación de resistencia de un pavimento rígido carretero y el número de repeticiones de la carga correspondiente que se puede soportar sin falla.

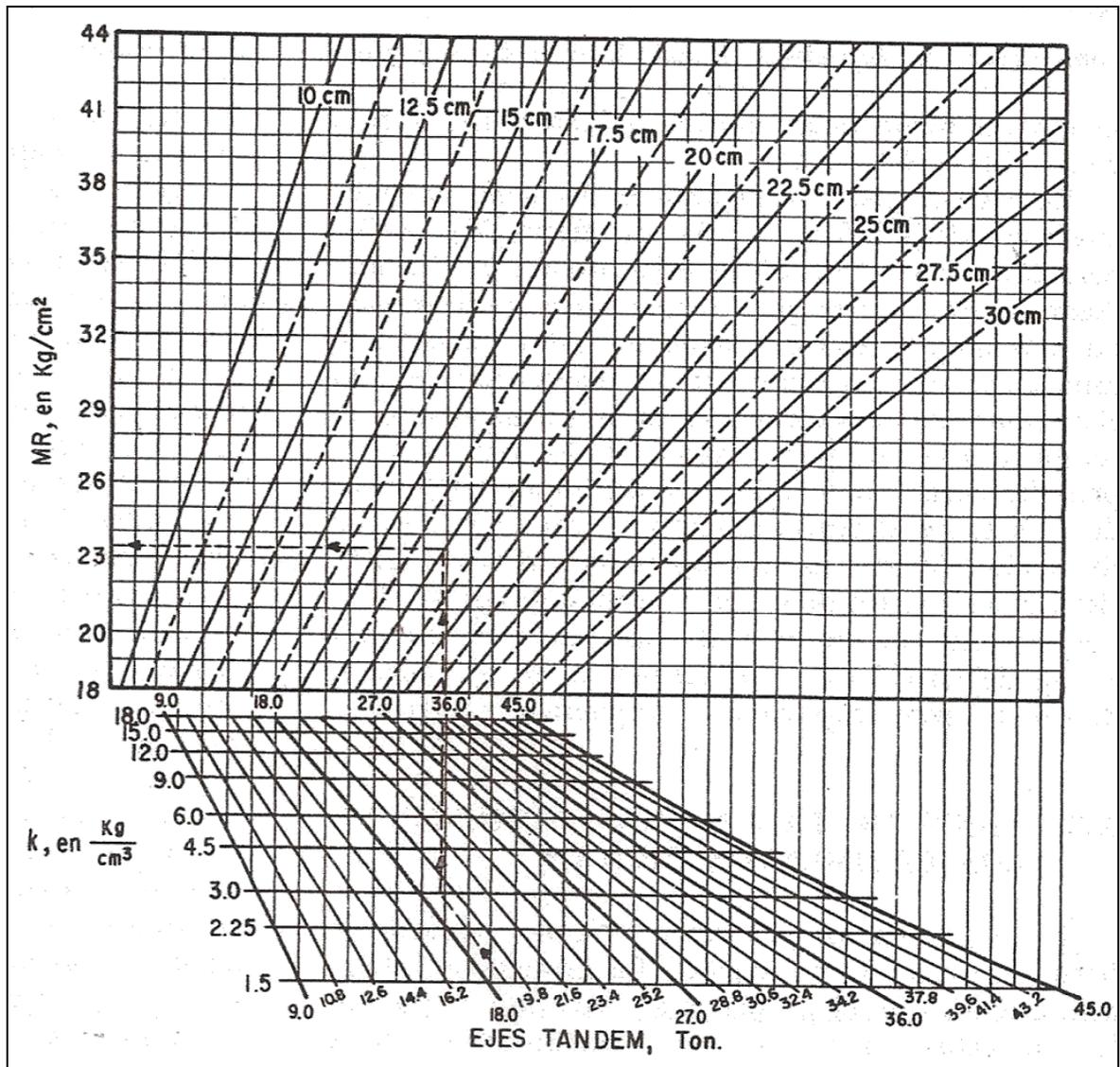
Fuente: Rico; 2005:215.

Una de las principales causas de fallas en los pavimentos rígidos es el inadecuado comportamiento del conjunto estructural losa, sub-base, subrasante y aun terracería y terrenos de cimentación. Generando fallas por bombeo, distorsión general, ruptura de esquinas o bordes, fallas del apoyo y otras del mismo estilo.



Gráfica. 5.4.- Grafica de diseño para cargas en ejes sencillos.

Fuente: Rico; 2005:222.



Gráfica. 5.5.- Gráfica de diseño para cargas en ejes en tandem.

Fuente: Rico; 2005:222.

5.5.3. Cálculo de diseño de los elementos del pavimento.

En el presente apartado se hace mención del desarrollo del diseño del pavimento rígido.

Es importante mencionar que los resultados obtenidos en el presente diseño consideran el cumplimiento de la calidad en los materiales para sub-base mencionados a continuación.

CARACTERÍSTICAS	Valor %	
	$\Sigma \leq 10^6$	$\Sigma > 10^6$
Límite líquido, máximo	30	25
Índice plástico, máximo	10	6
Valor Soporte de California, mínimo	50	60
Equivalente de arena, mínimo	30	40
Desgaste Los Ángeles, máximo	50	40
Grado de compactación, mínimo	100	100

Tabla. 5.16.- Requisitos de calidad de los materiales para sub-bases.

Fuente: SCT; 2011:4.

DATOS GENERALES DEL AFORO DE CAMPO						CALCULO DEL VOLUMEN TOTAL DE VEHICULOS EN LA VIDA DE PROYECTO.					
CLASIFICACIÓN DEL TRÁNSITO EN PORCENTAJE:			DATOS GENERALES			TPDA1	120.0	Tránsito promedio diario anual.	$n =$	20.0	P. de diseño (años).
A =	54.67%	A2 =	17.00%	B2, B3 =	5.00%	TPDA 1 =	120.0	FP =	1.27	Factor de Proyección.	
C2 =	4.33%	C3 =	14.00%	T2 - S1 =	0.00%	TASA CRECIMIENTO ANUAL	1.20%	N =	1.0	Numero de carriles en un sentido.	
T2 - S2 =	2.00%	T3 - S2 =	0.00%	T3 - S3 =	0.00%	PERIODO DE DISEÑO AÑOS	20.0	r =	1.20%	Tasa de crecimiento anual.	
Suma Porcentaje =	97.00%					CP =	16.00%	Porcentaje de vehículos pesados.	$vt = \frac{IDPA (FP)}{N} \left(\frac{Icp}{100} \right) \left(\frac{CCP}{100} \right) (365) (6)$		
						CCP =	1.0	Factor corrección de tránsito en el carril de diseño.				vt =	177,923.92

DETERMINACION DE REPETICIONES ESPERADAS.															
Tipo de Vehículo.	Peso Total (Ton)	Composición de Tránsito	Número de Vehículos	Número de Ejes del Vehículo		Peso de los Ejes. (Ton)			Tipo de Vehículo.	Peso Total (Ton)	Composición de Tránsito	Clasificación de Ejes		Total Ejes C/1000 Vehic	REPETICIONES ESPERADAS
				Delanteros	Traseros	TOTALES	Delanteros	Traseros				Peso Eje	Total Ejes		
EJES SENCILLOS															
A2	2.0	71.7%	86	86	86	172	1.0	1.0	A2	2.0	71.7%	1	172	1433.33	255,024.29
B2	15.5	5.0%	6	6	6	12	5.5	10.0	B2	15.5	5.0%	5.5	30	250.00	44,480.98
C2	15.5	4.3%	5	5	---	5	5.5	---	C2	15.5	4.3%	10	6	50.00	8,896.20
C3	23.0	14.0%	17	17	---	17	5.5	---	C3	23.0	14.0%				
T2-S1	24.5	0.0%	0	0	---	0	5.5	---	T2-S1	24.5	0.0%				
T2-S2	31.5	2.0%	2	2	---	2	5.5	---	T2-S2	31.5	2.0%				
T3-S2	39.0	0.0%	0	0	---	0	5.5	---	T3-S2	39.0	0.0%				
T3-S3	43.0	0.0%	0	0	---	0	5.5	---	T3-S3	43.0	0.0%				
EJES TANDEM															
C2	15.5	4.3%	5	--	5	5	--	18.0	C2	15.5	4.3%	18	26	216.67	38,550.18
C3	23.0	14.0%	17	--	17	17	--	18.0	C3	23.0	14.0%	22.5	0	0.00	0.00
T2-S1	24.5	0.0%	0	0	0	0	18.0	18.0	T2-S1	24.5	0.0%				
T2-S2	31.5	2.0%	2	2	2	4	18.0	18.0	T2-S2	31.5	2.0%				
T3-S2	39.0	0.0%	0	0	0	0	18.0	22.5	T3-S2	39.0	0.0%				
T3-S3	43.0	0.0%	0	0	0	0	18.0	22.5	T3-S3	43.0	0.0%				

CALCULANDO ESPESOR.			
Modulo de Ruptura $\text{kg/cm}^2 =$	40.00	Concreto $f'c \text{ kg/cm}^2 =$	333.33
Factor de seguridad =	1.0	Viabilidad Urbana Principal.	

Determinación de la capacidad portante de la capa de apoyo.

%VRS sat. **7.58** para diseño

Modulo de reacción del TN= 5.25 KG CM3

Obtención del Módulo de reacción de la capa de apoyo "K", utilizando una subbase de buena calidad y espesor (cm):

VRS mínimo de 50%. Módulo de Reacción "k" = **9.00** (modulo mejorado)

20.00

Tom ando en cuenta los datos del tránsito y las propiedades mecánicas del concreto y la capa de apoyo, determinaremos la fatiga consumida, haciendo uso de la tabla de cálculo siguiente:



SUPONIENDO UN ES PESOR DE LOSA DE 17.5 CM.

Peso por Eje	Peso afectado por F.S.	Esfuerzo actuante	Relación de Esfuerzos	Repeticiones permisibles	Porcentaje de Fatiga consumido
EJES SENCILLOS					
1.0	1.0	18.0	0.45	infinitas	0.0%
5.5	5.5	18.0	0.45	infinitas	0.0%
10.0	10.0	19.0	0.48	infinitas	0.0%
EJES TANDEM					
18.0	18.0	20.5	0.51	40,000.00	96.4%
22.5	22.5	25.0	0.63	14,000.00	0.0%

(ton) Mr (kg/cm2) **SUMA = 96%** MENOR AL 100%, OK

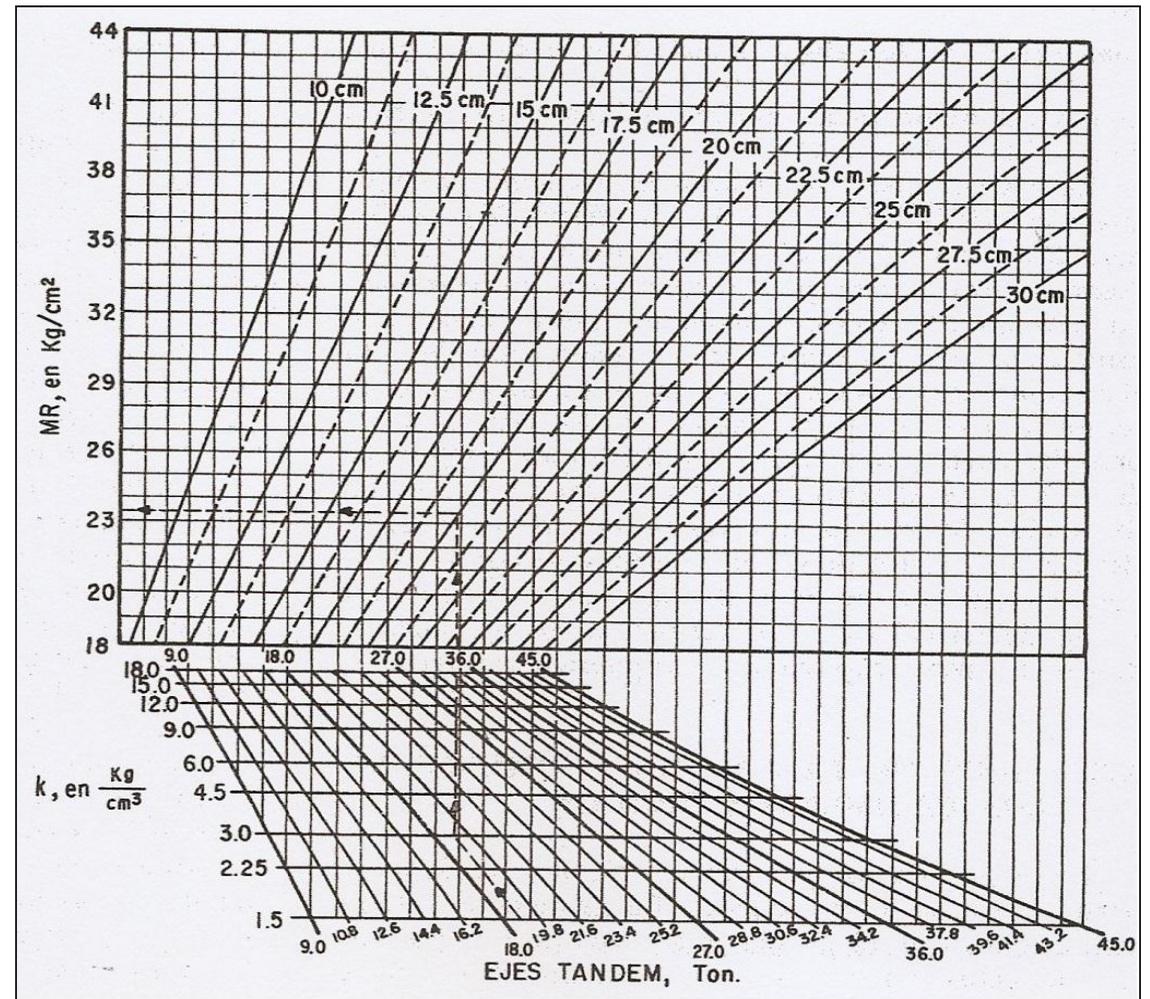
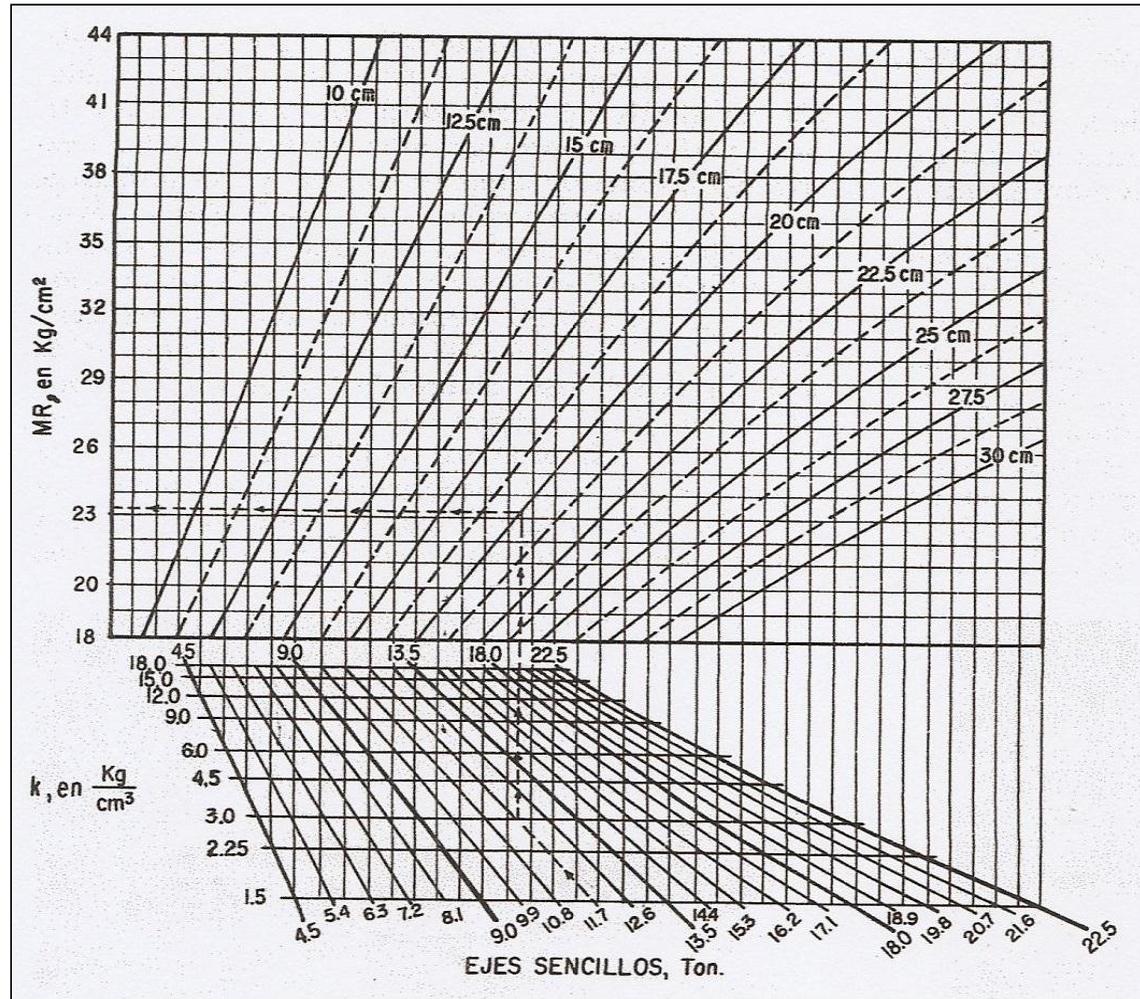
SE CONSTRUIRA UN PAVIMENTO CON ESPESOR DE 17.5 CM DE CONCRETO HIDRÁULICO, M.R. 40, Y SUBBASE DE 20 CM QUE PRESENTE UN V.R.S. MINIMO DE 60%, NO SE UTILIZARAN P ASAJUNTAS Y LOS CORTE S EN LAS LOSAS DE REALIZARAN COMO MINIMO A CADA 20 VECES EL ESPESOR (20*17.5 = 350 CM) EN SENTIDO VERTICAL, EN SE NTIDO HORIZONTAL SE RA CON FORME EL ANCHO (300 CM POR CARRIL M AS ACOTAMIENTO DE 50 C M.).

ESTRUCTURA DE PAVIMENTO P ROPUESTO:

ESPEOR (CM)	ESTRUCTURA DE PAVIMENTO	NOTAS GENERALES.
17.50		CONCRETO HIDRA ULICO MR 40 KG/CM 2
20.00		SUBBASE HID RUALICA VRS MIN 60
-		TERRENO NATU RAL

Correlación entre la Relación de Resistencias de un pavimento rígido carretero y el número de repeticiones de la carga correspondiente que se puede soportar sin falla (Ref. 2)

<i>Relación de Resistencias</i>	<i>Número permisible de repeticiones</i>	<i>Relación de Resistencias</i>	<i>Número permisible de repeticiones</i>
0.51	400,000	0.69	2,500
0.52	300,000	0.70	2,000
0.53	240,000	0.71	1,500
0.54	180,000	0.72	1,100
0.55	130,000	0.73	850
0.56	100,000	0.74	650
0.57	75,000	0.75	490
0.58	57,000	0.76	360
0.59	42,000	0.77	270
0.60	32,000	0.78	210
0.61	24,000	0.79	160
0.62	18,000	0.80	120
0.63	14,000	0.81	90
0.64	11,000	0.82	70
0.65	8,000	0.83	50
0.66	6,000	0.84	40
0.67	4,500	0.85	30
0.68	3,500		



5.5.4. Interpretación de resultados.

La investigación que se ha llevado a cabo en el camino “Camelinas”, del municipio de Taretan, Michoacán, se llevó a cabo el diseño del pavimento rígido obteniendo un espesor total de 40 cm partiendo del terreno natural. La sub-base tendrá un espesor de 20 cm, que trabajando en conjunto de la subrasante tendrá un módulo de reacción de 6.70 con un VSR de 7.58. La losa de concreto hidráulico tendrá un espesor de 20 cm y un $f'c$ de 300 kg/cm^2 , cumpliendo así los requerimientos de la zona de estudio aceptadas para las dimensiones y el volumen de tránsito vehicular.

El objetivo principal de esta investigación pretende encontrar un camino que garantice un tránsito vehicular fluido sin contratiempos ni afectaciones ocasionadas por la temporada de lluvias o algunos otros acontecimientos climáticos. Se pudo observar la presencia de diferentes pendientes y curvas horizontales que ocasionaron la realización del proyecto geométrico mostrado en los planos anexos, al realizar el diseño del camino se respetaron propiedades existentes a fin de evitar desalojos o problemáticas en el desarrollo de la construcción. Cabe mencionar que en los anexos se puede observar de manera clara los cortes y terraplenes que han de realizarse para llevar a cabo la propuesta de la superficie de rodamiento.

Con las observaciones antes mencionadas y sin más preámbulo se da paso a la presentación de las conclusiones del proyecto.

CONCLUSIONES

La principal finalidad al realizar el diseño de un pavimento, en cualquiera de sus modalidades rígido o flexible, es el de determinar las características que han de poseer los materiales a utilizar, así como los espesores indicados que permitan transmitir las cargas de tránsito al suelo.

En el entendido de que los pavimentos son una estructura formada por capas, las principales son tres de diferente espesor; se podrá omitir una capa y disminuir así el costo del pavimento siempre y cuando la capa subrasante sea de buena calidad.

La investigación que se ha llevado a cabo en el camino “Camelinas”, del municipio de Taretan, Michoacán, mismo que sirvió para determinar el diseño del pavimento rígido obteniendo un espesor total de 37.5 cm partiendo del terreno natural. La sub-base tendrá un espesor de 20 cm, que trabajando en conjunto de la subrasante tendrá un módulo de reacción de 6.70 con un VSR de 7.58%. La losa de concreto hidráulico tendrá un espesor de 17.5 cm y un M_r de 40 kg/cm^2 (correspondiente a un $f'c$ de 333.33 kg/cm^2), cumpliendo así los requerimientos de la zona de estudio aceptadas para las dimensiones y el volumen de tránsito vehicular.

El objetivo de la presente investigación fue el de diseñar el proyecto geométrico y el pavimento rígido para la calle “Camelinas”, en Taretan, Michoacán, partiendo de los datos antes mencionados se puede definir que se cumplió exitosamente el objetivo en estudio, como apoyado en el método de la PCA, mismo

que es uno de los procesos de diseño con mayor vigencia y utilización en la rama y de gran aceptación y conocimiento en el ámbito laboral al que pertenece este proyecto.

Se mencionaran a continuación el desarrollo de los principales objetivos particulares que persigue la investigación presente.

1. **Conceptualizar el proyecto geométrico.-** Se logró con ayuda principalmente del levantamiento topográfico, el reconocimiento del terreno, aforo vehicular, aspectos que brindaron las bases para elegir la vía terrestre más adecuada.
2. **Determinar el contexto social y ambiental del proyecto.-** De acuerdo a un reconocimiento socio-económico se logró conocer las principales características del municipio mencionado anteriormente, información que permitió conocer los requerimientos y limitantes para establecer los resultados de esta investigación.
3. **Determinar las características geométricas del terreno.-** La investigación de campo permitió una adecuación de la información y teorías disponibles en la solución de la necesidad del motivo de este proyecto.
4. **Definir el término de pavimento rígido.-** De acuerdo a la información recaudada se determina que los pavimentos rígidos como estructuras poco sensibles a daños de intemperismo o por agentes vehiculares permite considerables ventajas sobre los pavimentos flexibles.
5. **Evaluar las propiedades del suelo en estudio.-** La finalidad primordial del Estudio de Geotecnia, es el de conocer la capacidad de carga que posee el suelo y la profundidad idónea para el desplante de las bases y sub-bases,

respectivamente, del proyecto mencionado con anterioridad, de la misma forma hacer alusión a los asentamientos y consolidación que pudieran presentarse en el camino que es motivo del presente informe. Esto coadyuvara, a la elección de un sistema adecuado para la construcción.

- 6. Adecuar el tipo de pavimento rígido al proyecto.-** Una vez conocidas las propiedades del terreno natural y con ayuda de los métodos existentes, se determinaron las características de las estructura, misma que siendo respetadas han de brindar la satisfacción del proyecto.

Durante el proceso de investigación y realización de este proyecto han de surgir diversos cuestionamientos que organizadas jerárgicamente se resumen en la siguiente: ¿Cuál es el diseño idóneo para el proyecto geométrico y el pavimento rígido para el camino “Camelinas”, en Taretan, Michoacán? , respondiendo a dicho cuestionamiento, a continuación se presentan imágenes tanto del proyecto geométrico como del pavimento rígido más apto para el lugar.

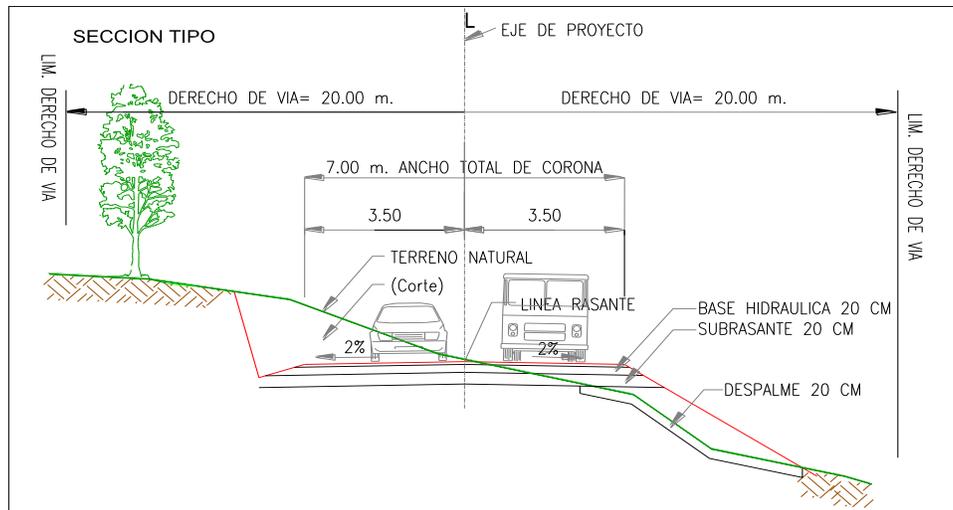


Fig. 5.13.- Corte transversal del diseño del pavimento rígido y proyecto geométrico.

Fuente: propia.

Algunos de los hallazgos más representativos de la presente investigación son los siguientes:

- Anteriormente se tenía la creencia de que las propiedades mecánicas de los suelos solo tenían relación con su distribución en cuanto a tamaños, por ello para la los ingenieros era sumamente preocupante la búsqueda de algún método para determinar dichas distribuciones. Hoy en día, se cree que con una vasta experiencia se puede deducir las propiedades del suelo según su granulometría pero desgraciadamente no es suficiente.
- La Mecánica de suelo es un factor indispensable en cuanto al análisis del mismo, ya que ésta sugiere una relación de las propiedades que posee, trayendo así las características que puede o debe tener la superestructura y con ello tener la certeza de que la obra no presentará ninguna anomalía en el transcurso de su uso.

- Ventajas del pavimento rígido con respecto al asfáltico; el costo de la construcción puede ser muy elevado pero representa una inversión a largo plazo que ahorrara costos mayores por reparación debido a que su extensa vida útil, además de la baja frecuencia de las reparaciones produciendo menos problemática en cuanto a la interrupción del tráfico.
- El curado del concreto no es otra cosa, que la conservación de la humedad una vez que se ha colado, es sabido que al momento de preparar las mezclas de concreto éste contiene gran cantidad de agua, sin embargo, en el proceso de fraguado (endurecimiento) la pierde prácticamente en su totalidad por efecto de la evaporación, es por ello que se han desarrollado diferentes técnicas y productos que permitan al concreto mantener la humedad óptima que le permita alcanzar su madurez (a los 28 días) en buenas condiciones de hidratación y así pueda poseer las características requeridas.

BIBLIOGRAFÍA

Crespo Villalaz, Carlos. (2005)

Vías de comunicación.

Ed. Limusa, México.

Hernández Báez, Dorian Vladimir. (2008)

Alternativa de proyecto geométrico de la denominada “Curva del diablo” en la carretera Carapan-Playa Azul, tramo Carapan-Uruapan km 65+000 al 66+160.

Tesis inédita de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Don Vasco A.C., de Uruapan, Michoacán, México.

Hernández Sampieri, Roberto; Fernández Collado, Carlos; Baptista Lucio, Pilar. (2007)

Metodología de la investigación.

MacGraw-Hill/Interamericana, México.

Juárez Badillo, Eulalio. (1999)

Mecánica de suelos.

Ed. Limusa, México.

Medina Martínez, Omar. (2011)

Diseño del proyecto geométrico de la carretera “El capulín”, del tramo km 0+000 al km 2+740, en el municipio de Zitácuaro, Michoacán.

Tesis inédita de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Don Vasco A.C., de Uruapan, Michoacán, México.

Mendieta Alatorre, Ángeles. (1982)

Método de investigación y manual académico.

Ed. Porrúa, México.

Olivera Bustamante, Fernando. (2006)

Estructuración de vías terrestres.

Compañía editorial continental, México.

Pérez Sepúlveda, Cristian. (2001)

Diseño del pavimento rígido para el boulevard industrial, del km 9+800 al 10+900 de la ciudad de Uruapan, Michoacán.

Tesis inédita de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Don Vasco A.C., de Uruapan, Michoacán, México.

Wright, Paul. (1993)

Ingeniería de carreteras.

Ed. Limusa, México.

Otras fuentes:

https://www.google.com.mx/search?q=MICHOACAN&newwindow=1&rlz=1C1VASU_enMX549MX549&espv=210&es_sm=122&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ei=5PR3UoyTLoXBiwLWuYGoDQ&ved=0CAkQ_AUoAQ&biw=1092&bih=533#facrc=_&imgdii=_&imgrc=kPLyb9VgzYI7dM%3A%3BEoD6hShat5t2xM%3Bhttp%253A%252F%252Fwww.travelbymexico.com%252Festados%252Festados%252Fmichoacan.jpg%3Bhttp%253A%252F%252Fwww.travelbymexico.com%252Festados%252Fmichoacan%3B660%3B485.

https://www.google.com.mx/search?newwindow=1&rlz=1C1VASU_enMX549MX549&espv=210&es_sm=122&biw=1092&bih=533&tbm=isch&sa=1&q=MICHOACAN+Y+SU+RELIEVE&oq=MICHOACAN+Y+SU+RELIEVE&gs_l=img.3..0.12924.14887.0.15064.13.7.0.6.6.0.158.643.3j4.7.0....0...1c.1.31.img..2.11.409.V7ICX5GhBW8#facrc=_&i

mgdii= &imgrc=-

siB1 Id7SZIJM%3A%3BSRXo0XvxXtmF7M%3Bhttp%253A%252F%252Fcuentame.i
neqi.org.mx%252Fmonografias%252Fimágenes%252Fclima%252Fcli_mich.jpg%3Bh
ttp%253A%252F%252Fcuentame.ineqi.org.mx%252Fmonografias%252Finformacion
%252Fmich%252Fterritorio%252Fclima.aspx%253Ftema%253Dme%2526e%253D1
6%3B420%3B301.

https://www.google.com.mx/search?es_sm=122&newwindow=1&q=MAPAS+TARET
AN+EN+EL+ESTADO+DE+MICHOACAN&tbm=isch&emsg=NCSR&noj=1&ei=fvV3Ur
W-

CauZjAL6poGACg#facrc= &imgdii= &imgrc=6PaefGeGvPKs M%3A%3Bh9jK85TZa
EGwsM%3Bhttp%253A%252F%252Fupload.wikimedia.org%252Fwikipedia%252Fco
mmons%252Ff%252F8%252FMunicipios de Michoacan.svg%3Bhttp%253A%252F
%252Fes.wikipedia.org%252Fwiki%252FAnexo%253AMunicipios de Michoac%252
5C3%2525A1n%3B1187%3B1061.

https://maps.google.com/.

ANEXOS

ANEXOS

DETERMINACION DE LOS PRINCIPALES ELEMENTOS DE UNA CURVA VERTICALES.

CURVA 1	
Tipo de curva	cresta
Pendiente Entrada:	10.145 %
Pendiente Salidad:	7.185 %
Estacion PIV:	00+030.00
Elevacion PIV:	1145.567 m.
Longitud minima norma:	20.000 m.
Longitud propuesta:	40.000 m.
Diferencia algebraica de pendientes:	2.960 %
K de norma:	3.000 m/%
Intervalo de estaciones:	20.000 m.
Punto de inicio de curva vertical (PCV):	00+010.00
Elevacion PCV:	1143.538 m.
Punto de inicio tangente de curva vertical (PTV):	00+050.00
Elevacion PTC:	1147.004 m.

CURVA 2	
Tipo de curva	columpio
Pendiente Entrada:	7.185 %
Pendiente Salidad:	11.754 %
Estacion PIV:	00+090.00
Elevacion PIV:	1149.878 m.
Longitud minima norma:	20.000 m.
Longitud propuesta:	40.000 m.
Diferencia algebraica de pendientes:	-4.569 %
K de norma:	4.000 m/%
Intervalo de estaciones:	20.000 m.
Punto de inicio de curva vertical (PCV):	00+070.00
Elevacion PCV:	1148.441 m.
Punto de inicio tangente de curva vertical (PTV):	00+110.00
Elevacion PTC:	1152.229 m.

CURVA 3

Tipo de curva	cresta
Pendiente Entrada:	11.754 %
Pendiente Salidad:	5.491 %
Estacion PIV:	00+150.00
Elevacion PIV:	1156.930 m.
Longitud minima norma:	20.000 m.
Longitud propuesta:	40.000 m.
Diferencia algebraica de pendientes:	6.263 %
K de norma:	3.000 m/%
Intervalo de estaciones:	20.000 m.
Punto de inicio de curva vertical (PCV):	00+130.00
Elevacion PCV:	1154.580 m.
Punto de inicio tangente de curva vertical (PTV):	00+170.00
Elevacion PTC:	1158.029 m.

CURVA 4

Tipo de curva	cresta
Pendiente Entrada:	5.491 %
Pendiente Salidad:	3.783 %
Estacion PIV:	00+200.00
Elevacion PIV:	1159.680 m.
Longitud minima norma:	20.000 m.
Longitud propuesta:	40.000 m.
Diferencia algebraica de pendientes:	1.708 %
K de norma:	3.000 m/%
Intervalo de estaciones:	20.000 m.
Punto de inicio de curva vertical (PCV):	00+180.00
Elevacion PCV:	1158.580 m.
Punto de inicio tangente de curva vertical (PTV):	00+220.00
Elevacion PTC:	1160.435 m.

CURVA 5

Tipo de curva	columpio
Pendiente Entrada:	3.783 %
Pendiente Salidad:	6.807 %
Estacion PIV:	00+260.00
Elevacion PIV:	1161.950 m.
Longitud minima norma:	20.000 m.
Longitud propuesta:	40.000 m.
Diferencia algebraica de pendientes:	-3.024 %
K de norma:	4.000 m/%
Intervalo de estaciones:	20.000 m.
Punto de inicio de curva vertical (PCV):	00+240.00
Elevacion PCV:	1161.190 m.
Punto de inicio tangente de curva vertical (PTV):	00+280.00
Elevacion PTC:	1163.308 m.

CURVA 6

Tipo de curva	cresta
Pendiente Entrada:	6.807 %
Pendiente Salidad:	1.851 %
Estacion PIV:	00+350.00
Elevacion PIV:	1168.070 m.
Longitud minima norma:	20.000 m.
Longitud propuesta:	40.000 m.
Diferencia algebraica de pendientes:	4.956 %
K de norma:	3.000 m/%
Intervalo de estaciones:	20.000 m.
Punto de inicio de curva vertical (PCV):	00+330.00
Elevacion PCV:	1166.710 m.
Punto de inicio tangente de curva vertical (PTV):	00+370.00
Elevacion PTC:	1168.442 m.

CURVA 7

Tipo de curva	columpio
Pendiente Entrada:	1.851 %
Pendiente Salidad:	7.147 %
Estacion PIV:	00+420.00
Elevacion PIV:	1169.370 m.
Longitud minima norma:	20.000 m.
Longitud propuesta:	40.000 m.
Diferencia algebraica de pendientes:	-5.296 %
K de norma:	4.000 m/%
Intervalo de estaciones:	20.000 m.
Punto de inicio de curva vertical (PCV):	00+400.00
Elevacion PCV:	1169.000 m.
Punto de inicio tangente de curva vertical (PTV):	00+440.00
Elevacion PTC:	1170.800 m.

DETERMINACION DE LOS PRINCIPALES ELEMENTOS DE UNA CURVA HORIZONTAL.**CURVA 1**

Radio de curvatura estimado (Rc):			70.937 m
Punto de Inflexion (PI):			00+052.38
Angulo Central (Ac):			5.580 °
Grado de curvatura	$Gc = 1145.92/Rc$	Gc:	16.154 °
Long. De curva	$Lc = (\pi Ac / 180^\circ) Rc$	Lc:	6.908 m
Subtangente	$St = Rc(\tan(Ac/2))$	St:	3.457 m
Externa	$E = Rc(\sec(Ac/2)) - Rc$		0.084 m
Principio de curva	$PC = PI - St$	PC:	00+048.92
Principio de tangente	$PT = Pc + Lc$	PT:	00+055.83

CURVA 2

Radio de curvatura estimado (Rc):			9.769 m
Punto de Inflexion (PI):			00+094.35
Angulo Central (Ac):			85.252 °
Grado de curvatura	$Gc = 1145.92/Rc$	Gc:	117.302 °
Long. De curva	$Lc = (\pi Ac / 180^\circ) Rc$	Lc:	14.536 m
Subtangente	$St = Rc(\tan(Ac/2))$	St:	8.991 m
Externa	$E = Rc(\sec(Ac/2)) - Rc$		3.508 m
Principio de curva	$PC = PI - St$	PC:	00+085.36
Principio de tangente	$PT = Pc + Lc$	PT:	00+099.89

CURVA 3

Radio de curvatura estimado (Rc):			47.883 m
Punto de Inflexion (PI):			00+150.04
Angulo Central (Ac):			20.551 °
Grado de curvatura	$Gc = 1145.92/Rc$	Gc:	23.932 °
Long. De curva	$Lc = (\pi Ac / 180^\circ) Rc$	Lc:	17.175 m
Subtangente	$St = Rc(\tan(Ac/2))$	St:	8.681 m
Externa	$E = Rc(\sec(Ac/2)) - Rc$		0.780 m
Principio de curva	$PC = PI - St$	PC:	00+141.36
Principio de tangente	$PT = Pc + Lc$	PT:	00+158.53

CURVA 4

Radio de curvatura estimado (Rc):			96.500 m
Punto de Inflexion (PI):			00+257.60
Angulo Central (Ac):			42.808 °
Grado de curvatura	$Gc = 1145.92/Rc$	Gc:	11.875 °
Long. De curva	$Lc = (\pi Ac / 180^\circ) Rc$	Lc:	72.099 m
Subtangente	$St = Rc(\tan(Ac/2))$	St:	37.825 m
Externa	$E = Rc(\sec(Ac/2)) - Rc$		7.149 m
Principio de curva	$PC = PI - St$	PC:	00+219.77
Principio de tangente	$PT = Pc + Lc$	PT:	00+291.87

CURVA 5

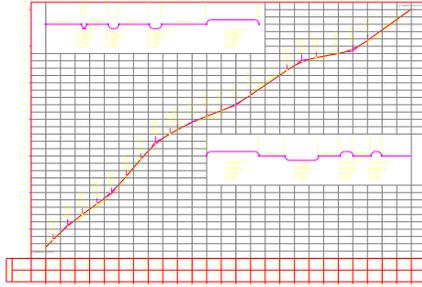
Radio de curvatura estimado (Rc):			83.604 m
Punto de Inflexion (PI):			00+350.59
Angulo Central (Ac):			31.380 °
Grado de curvatura	$Gc = 1145.92/Rc$	Gc:	13.707 °
Long. De curva	$Lc = (\pi Ac / 180^\circ) Rc$	Lc:	45.788 m
Subtangente	$St = Rc(\tan(Ac/2))$	St:	23.484 m
Externa	$E = Rc(\sec(Ac/2)) - Rc$		3.236 m
Principio de curva	$PC = PI - St$	PC:	00+327.11
Principio de tangente	$PT = Pc + Lc$	PT:	00+372.89

CURVA 6

Radio de curvatura estimado (Rc):			61.669 m
Punto de Inflexion (PI):			00+411.53
Angulo Central (Ac):			16.661 °
Grado de curvatura	$Gc = 1145.92/Rc$	Gc:	18.582 °
Long. De curva	$Lc = (\pi Ac / 180^\circ) Rc$	Lc:	17.932 m
Subtangente	$St = Rc(\tan(Ac/2))$	St:	9.030 m
Externa	$E = Rc(\sec(Ac/2)) - Rc$		0.658 m
Principio de curva	$PC = PI - St$	PC:	00+402.50
Principio de tangente	$PT = Pc + Lc$	PT:	00+420.43

CURVA 7

Radio de curvatura estimado (Rc):			24.664 m
Punto de Inflexion (PI):			00+452.32
Angulo Central (Ac):			33.992 °
Grado de curvatura	$Gc = 1145.92/Rc$	Gc:	46.461 °
Long. De curva	$Lc = (\pi Ac / 180^\circ) Rc$	Lc:	14.633 m
Subtangente	$St = Rc(\tan(Ac/2))$	St:	7.539 m
Externa	$E = Rc(\sec(Ac/2)) - Rc$		1.126 m
Principio de curva	$PC = PI - St$	PC:	00+444.78
Principio de tangente	$PT = Pc + Lc$	PT:	00+459.41



FORMA DE PROYECTO



INGENIERIA CIVIL S.A.S.



PROYECTO DE OBRAS



PROYECTO DE OBRAS DE RECONSTRUCCION DEL PAVIMENTO DE LA CARRETERA NACIONAL EN EL MUNICIPIO DE SAN CARLOS, DEPARTAMENTO DE BOGOTÁ.

1:500

P2

