



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN

**PROYECTO DE MODERNIZACIÓN DE DRENAJE TRASVERSAL EN
LA CARRETERA PALENQUE – SAN CRISTÓBAL ENTRE LOS
KILÓMETROS 85+000 Y 88+000**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

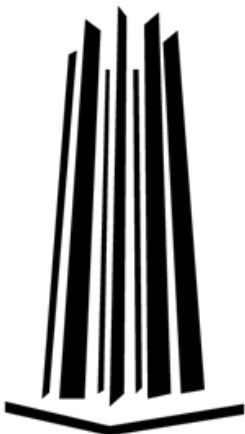
INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A:

GABRIELA SANDOVAL MAGALLÁN

ASESOR DE TESIS:

ING. JERÓNIMO GALICIA FRANCO



FES Aragón

**CIUDAD NEZAHUALCÓYOTL,
ESTADO DE MÉXICO, 2019**



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.



INDICE

	<i>Página</i>
INDICE	i
INDICE DE FIGURAS	iii
INTRODUCCIÓN	v
CAPÍTULO 1 - ANTECEDENTES	1
1.1 Sendas prehispánicas	1
1.2 Caminos durante la colonia y el virreinato	2
1.3 Vías de transporte del México independiente	4
1.4 Desarrollo vial revolucionario y postrevolucionario	4
1.5 Desarrollo de las vías terrestres en México	5
1.6 Plan nacional de desarrollo: 2007-2012 y 2013-2018	7
1.6.1 Infraestructura para el transporte 2007 - 2012	7
1.6.2 Programa nacional de infraestructura nacional 2013 - 2018. Sector comunicaciones y transportes.	9
1.7 Modernización de la Carretera Palenque – San Cristóbal	9
CAPÍTULO 2 - ESTRUCTURA GENERAL DE UNA CARRETERA	12
2.1 Tránsito Diario Promedio Anual	12
2.2 Tipos de carreteras	13
2.3 Estructura de un pavimento	14
2.3.1 Pavimentos flexibles	14
2.3.2 Pavimentos rígidos	16
2.4 Capas de terracería	17
2.5 Importancia de los sistemas de drenaje en carreteras	19
CAPÍTULO 3 - ESTUDIOS DEL PROYECTO DE DRENAJE PRELIMINAR	22
3.1 Estudio de campo para el sistema de drenaje carretero	22
3.2 Captación de los escurrimientos superficiales que cruzan el eje del camino	24



3.2.1 Cunetas	24
3.2.2 Contracunetas y obras complementarias	25
3.3 Subdrenaje	29
3.3.1 Presencia de agua en suelos	30
3.3.2 Subdrenes en zanja	32
3.4 Proyección de los perfiles transversales	35
3.5 Funcionamiento del drenaje preliminar	38
CAPÍTULO 4 - ESTUDIOS DEL PROYECTO DE DRENAJE DEFINITIVO	40
4.1 Estudio de subrasante mínima	40
4.1.1 Secciones de construcción	41
4.2 Cálculo de longitudes de obra	44
4.3 Elementos complementarios	51
4.4 Funcionamiento del drenaje definitivo	55
ANEXOS	58
A. Peso y dimensiones máximas de los vehículos de autotransporte	59
B. Calidad de materiales para la construcción de Bases y Sub-bases	66
C. Calidad de materiales para la construcción de Terracerías	69
D. Planta general de proyecto de drenaje	73
E. Calidad de materiales en filtros para subdrenes	74
F. Secciones de construcción	76
G. Cálculo de longitudes de obra	89
CONCLUSIONES	99
RECOMENDACIONES	101
BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES DE CONSULTA	102



INDICE DE FIGURAS

	Página
Capítulo 1 - Antecedentes	
Figura 1.1 Tenochtitlan - Lago de Texcoco	2
Figura 1.2 Los principales caminos a finales de la colonia	3
Figura 1.3 Los ferrocarriles en la revolución mexicana	4
Figura 1.4 Estado físico de la red carretera	6
Figura 1.5 Vías Federales en estado no satisfactorio	7
Figura 1.6 Ejes troncales 2012	8
Figura 1.7 Diseño y gestión de Proyectos carreteros en asociaciones Público-Privadas	8
Figura 1.8 Palenque - San Cristóbal	10
Figura 1.9 Mapa de ubicación Carretera Palenque - San Cristóbal	11
 Capítulo 2 - Estructura general de una carretera	
Figura 2.1 Camino con estructura de pavimento flexible	15
Figura 2.2 Riego de liga	15
Figura 2.3 Camino con estructura de pavimento rígido	16
Figura 2.4 Presiones transmitidas a estructuras de terracerías	16
Figura 2.5 Representación de la Curva Masa en proesos de terracerías	17
Figura 2.6 Capa de forma del terraplén	18
Figura 2.7 Grietas longitudinales y grietas de resiliencia	21
 Capítulo 3 - Estudios del proyecto de drenaje preliminar	
Figura 3.1 Sección transversal de ubicación de cuneta en corte	24
Figura 3.2 Sección transversal de ubicación de contracuneta y obras complementarias en corte	25
Figura 3.3 Geometría de contracuneta	27
Figura 3.4 Disposición de lavadero entre contracuneta y cuneta en drenaje superficial	27
Figura 3.5 Ubicación de lavadero a las obras de drenaje transversal	28
Figura 3.6 Sección normal de ubicación de aja disipadora en tubos, losas y bóvedas	28
Figura 3.7 Vista en planta de caja disipadora en obras de drenaje transversal	29



Figura 3.8	Tipos de agua en suelo	30
Figura 3.9	Flujo hacia el talud y cama del corte	32
Figura 3.10	Utilización común de los drenes longitudinales en zanja	32
Figura 3.11	Estructura de subdrenaje en zanja	33
Figura 3.12	Perforación de tubería	34
Figura 3.13	Eje de alcantarillas	35
Figura 3.14	Esviaje de alcantarillas	36
Figura 3.15	Proyección de sección transversal sobre el eje de la alcantarilla	37

Capítulo 4 - Estudios del proyecto de drenaje definitivo

Figura 4.1	Sección de construcción, obra de drenaje 85+529.51	42
Figura 4.2	Nivel de desplante sobre eje del hombro más desfavorable e la obra de drenaje 85+529.51	43
Figura 4.3	Elementos considerados en el cálculo de longitud de obra	46
Figura 4.4	Elementos considerados en el cálculo de longitud de obra	47
Figura 4.5	Elementos considerados en el cálculo de longitud de obra	49
Figura 4.6	Guarnición y muro cabezote	49
Figura 4.7	Aleros en salida de obra de drenaje tipo bóveda	52
Figura 4.8	Sección transversal de arroyo y plantilla en tubería	52
Figura 4.9	Muro cabezote	53
Figura 4.10	Guarniciones tipo para losas de concreto reforzado	54
Figura 4.11	Estribos de concreto reforzado	54



INTRODUCCIÓN

I. ANTECEDENTES.

La importancia del estudio del agua ha estado presente desde tiempos inmemorables, tanto que el monarca Nezahualcóyotl fue sin lugar a dudas un pionero en esta rama. Nezahualcóyotl fue un gran administrador de la naturaleza que hasta la fecha sigue sorprendiendo por su gran talento ingenieril al desarrollar acueductos que regaban sus floridos y exóticos jardines e inundó un cañón entre dos cerros para solucionar el problema de inundación de la gran Tenochtitlan, legado que tuvo que preservar posteriormente el emperador Moctezuma. Este legado histórico del estudio hidráulico sigue vigente en la actualidad en todas las ramas de la ingeniería civil en México.

Por esta razón, los ingenieros mexicanos han tenido la tarea constante de construir sistemas de drenaje que garanticen la conservación de áreas agrícolas, urbanas y de caminos, ya que el agua puede llegar a estas zonas de distintas formas afectando la operación de las mismas. Los sistemas de drenaje tienen como propósito dar salida a las acumulaciones de agua que llegan a determinado punto ya sea por elevación de aguas subterráneas o superficiales, o por precipitaciones.

En lo respectivo al desarrollo de la ingeniería de vías terrestres en territorio nacional, se han tenido que enfrentar diversos problemas desde la aparición de las primeras grandes civilizaciones. Uno de los más significativos es proyectar de forma óptima sistemas de drenaje carretero que permitan asegurar la estabilidad de cualquier camino.

Por lo anterior, el presente trabajo se refiere a los diversos problemas que provoca la presencia del agua en un proyecto carretero, así como la forma en que se le dará salida a los escurrimientos que descarguen al mismo, ejemplificando la metodología empleada y autorizada por la Dirección General de Carreteras de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes tomando el tramo comprendido del kilómetro 85+000 al kilómetro 88+000 de la carretera Palenque - San Cristóbal como referente general de dicho método.

II. HIPÓTESIS.

El uso de la fórmula empírica de Talbot garantiza una buena eficiencia hidráulica en las obras de drenaje carretero, además de asegurar el beneficio por costo de construcción de las alcantarillas propuestas para su aprovechamiento de forma eficaz.



III. OBJETIVO GENERAL.

Exponer la metodología empleada por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes para la proyección y ejecución de las obras de drenaje carretero destacando y señalando la información proporcionada y requerida en el tramo carretero Palenque – San Cristóbal del kilómetro 85+000 al kilómetro 88+000.

IV. OBJETIVOS PARTICULARES

- Puntualizar la clasificación en la que el proyecto carretero se ubica estudiada de acuerdo a las características geométricas presentadas.
- Evaluar el método expuesto, considerando los modelos hidráulicos más apropiados.
- Exponer la factibilidad del costo-beneficio en base a éstos estudios y tecnologías vigentes.

V. DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Ante este escenario, el presente trabajo está integrado por 4 capítulos estructurados de la siguiente forma:

En el capítulo 1, se trata el desarrollo de las vías terrestres en México desde el inicio de la civilización mexicana hasta el tiempo actual, los beneficios económicos que éste desarrollo ha traído y cómo los ingenieros mexicanos han hecho crecer el concepto de las vías terrestres frente a los demás países de Latinoamérica.

En el capítulo 2 se hablará sobre los elementos primarios que se deben de conocer para el desarrollo de cualquier proyecto de vías terrestres y así mismo poder puntualizar cuáles son las diferentes capas que conforman el cuerpo de un camino pavimentado, de éste modo se podrá concluir cual es la importancia de implementar de forma integral un sistema de drenaje carretero.

El capítulo 3 contiene información respecto a los primeros estudios que se deben de hacer para plantear una solución preliminar al proyecto de drenaje carretero.

El capítulo 4 retoma la solución propuesta en el capítulo 3 pero ahora considerando elementos propios del proyecto carretero, es decir, considerando elementos específicos del diseño geométrico de la carretera apoyándonos de la normatividad vigente.



Por último se incluyen los anexos correspondientes, donde se muestran datos específicos de las normas que respaldan ésta investigación, así como también las secciones de construcción, los formatos de cálculo de longitud de obra de la empresa proyectista y un plano de la planta general del proyecto en análisis, además de la bibliografía requerida.

VI. UTILIDAD DE LA TESIS.

La presente investigación podrá ser consultada por todo aquel interesado en la proyección de drenaje carretero, tomando como base los criterios establecidos por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes de forma generalizada para cualquier proyecto de vías terrestres. También se realizó una evaluación del método utilizado para dicha proyección considerando aspectos hidráulicos y económicos para su revisión.



Capítulo 1 - Antecedentes

A lo largo de los siglos se ha podido observar que un elemento indispensable para el desarrollo de una comunidad, población o país son las vías de comunicación con las que cuenta.

En este capítulo se abordará una breve semblanza histórica de las vías terrestres en territorio mexicano, cómo se han ido modificando los caminos dependiendo las necesidades que se han tenido que solventar como la búsqueda de alimento, o incluso actividades religiosas, de comercio y conquista; lo anterior con la finalidad de comprender cómo éstas infraestructuras han contribuido al desarrollo del país a través del tiempo, hasta llegar al tema del que se estará hablando a lo largo de todo el presente trabajo: la modernización de la carretera Palenque – San Cristóbal.

1.1 *Sendas prehispánicas*

En muchas culturas se dice que el destino de los pueblos se ve gobernado por mitos perseguidos con el tiempo, como los judíos que en la antigüedad tuvieron que atravesar el desierto en busca de la tierra prometida o los antiguos caballeros que se arriesgaron a cruzar Medio Oriente con tal de defender la santidad en la que creían. Del mismo modo, los aztecas salieron de Aztlán en busca del lago próspero dónde encontrarían el águila, el nopal y la serpiente, arribando por fin en el año 1325 en un lugar dominado por el agua: lagos e islotes rodeaban la tierra prometida: en el lago de Texcoco se fundó la gran México-Tenochtitlan.

Tras levantar las primeras chozas, los aztecas se pusieron a trabajar, formando un imperio. Para lograrlo tenían la decisión y los conocimientos. En Aztlán habían aprendido navegación, irrigación y cultivo en chinampas e ingeniería hidráulica, por lo que los caminos de agua fueron una ventaja para ellos. El lago los dotaba de alimentos, productos para el comercio y fertilizaba las tierras.

A partir de su ciudad se construyeron caminos de piedra que los llevarían a los reinos aliados: las culturas maya y azteca. Los caminos eran amplios y rectos con sus alcantarillas de mampostería y pavimentos de sascab¹, eran sólo utilizados para transitar a pie, donde el comercio se extendía por miles de kilómetros y el hombre siempre buscaba el camino más corto.

De los documentos que relatan las migraciones precolombinas, el más importante es la “Tira de la Peregrinación”, que indica el camino de los aztecas desde la mítica Aztlán, hasta la gran Tenochtitlán. Antes de la llegada de los españoles, México era un país de caminantes. (SOP, Caminos y desarrollo, 1975).”

¹ Sascab: Término de origen maya usado para denominar el material usado para preparar mezclas para la construcción. // Roca cálcarea deleznable.



Había un sector de la población llamado *tamemes*, que se encargaban de la transportación de mercancía. Fue por esto que se requería de un paso fluido de hombres, que requería de especificaciones mayores como las calzadas que cruzaban el gran lago de Texcoco hasta la isla de Tenochtitlan (*Figura 1.1*). Los mercaderes indígenas fueron de gran importancia para el desarrollo de los caminos en la época prehispánica.



Figura 1.1 – Tenochtitlan -Lago de Texcoco, Ilustración, 2014
Recuperado de <http://www.viajesyfotografia.com>

1.2 Caminos durante la colonia y el virreinato

Antes de la conquista, las veredas indígenas fueron trazadas para uso exclusivo de peatones, sin embargo el dominio español se encargó de ampliarlos y consolidarlos para que pudieran ser aprovechados por carretas con el fin de agilizar el traslado de mercancías y personas. Posteriormente durante la colonización, se fueron desarrollando otros espacios que permitieran el traslado de las nuevas riquezas: los metales

En ese entonces existían dos rutas principales que conectaban las costas de Veracruz con la ciudad de México: una era llamada “Las ventas”; y la otra que pasaba por Jalapa, Perote y Puebla. Sobre las ruinas de la gran Tenochtitlán se levantó la capital de la colonia española, de donde se podía ya viajar a Querétaro, Durango, Michoacán y Zacatecas.

Al mismo tiempo ya estaba trazado el camino que comunicaba a la ciudad con Acapulco, a dónde llegaban los galeones de las Filipinas: La altiplanicie y la Mar del sur, que posteriormente adoptó el nombre de “El camino de Asia”. Poco a poco esta vía comenzó a tener pequeños caminos alimentadores entre zonas agrícolas y centros de consumo que empezaban a formarse.



A medida que se extendía la colonización, la infraestructura de caminos fue creciendo también, pues los intereses del virreinato empezaron a ser la exportación de metales como medio de crecimiento económico no sólo para el territorio conquistado, también para las principales ciudades europeas.

Hacia el siglo XVIII, las condiciones de los caminos decayeron al grado de significar un gran obstáculo para el desarrollo económico, por lo que las autoridades emprendieron las reparaciones carreteras a cargo de alcaldes mayores y con mano de obra indígena. Con estos trabajos fue casi imposible hacer nuevos caminos, ya que las condiciones precarias de los caminos existentes absorbieron todo el trabajo destinado al desarrollo de vías de comunicación hasta la década final de ese siglo.

En 1796 comenzó el consulado de México los trabajos del camino México-Orizaba-Córdoba-Veracruz, financiándose con lo recaudado de los primeros peajes. No fue hasta 1812 que ésta se concluyó.

Con la Ciudad de México como núcleo, el sistema vial novohispano conectaba los principales puntos de actividades económicas por su importancia social o política, al punto de que para la primera década del siglo XIX se tenían 23 caminos incluidos², teniendo un total de 12,573 kilómetros, siendo la de Acapulco y la de Veracruz las más importantes desde el punto de vista del comercio exterior (*Figura 1.2*).



Figura 1.2 –Los principales caminos a finales de la colonia, Ortiz Hernán, Sergio, 1970, Mapa Recuperado de: Caminos y transportes mexicanos al comenzar el siglo XIX.

²Integración de base de datos del Ing. José R. Benítez, obtenido de realizar un ordenamiento de todos los tramos existentes para evitar duplicados y sumando la distancia estimada de cada uno de ellos.



1.3 Vías de transporte del México Independiente

El monopolio comercial construido por los peninsulares hasta este momento se vio obstruido por la guerra y el comercio ilícito provocado por la invasión de productos extranjeros, afectando a la agricultura, la minería y a la sociedad que recién comenzaba su vida independiente.

Fue hasta la llegada de Juárez a la presidencia que se destinaron 1.2 millones de pesos del presupuesto para creación y conservación de caminos, sin embargo no fue hasta 1850 que se inauguró el pequeño ferrocarril de 13 kilómetros de Veracruz al Molino después de varios intentos fallidos de querer hacer crecer el sistema ferroviario. En 1873 se inauguró el ferrocarril México-Veracruz con 470 kilómetros de vías.

Durante los siglos XIX y XX, se dio énfasis en el desarrollo ferroviario, ya que éste fue la principal vía de transporte de materia prima de la capital al norte del país, siendo una de las principales actividades económicas en ese entonces. Poco se hizo en materia de caminos, pues sólo se conformaron alrededor de 1,000 kilómetros, pero con la finalidad principal de alimentar y conectar las estaciones de ferrocarril.

1.4 Desarrollo vial revolucionario y postrevolucionario

Cuando inició la Revolución, en 1910, las batallas fueron entorno a los principales centros ferroviarios, tanto en el lado de los militares como de los civiles. El objetivo era tener el control de las estaciones, más que de las ciudades (*Figura 1.3*).

"La locomotora es la protagonista principal de la Revolución. Pancho Villa volaba trenes para ganar batallas y destruía los rieles" aseguró la escritora Elena Poniatowska, autora del libro *"El tren pasa primero"*, un homenaje a los trabajadores ferroviarios.



Figura 1.3 – Los ferrocarriles en la Revolución Mexicana, *Ilustración, s.f. Secretaría de Cultura. Recuperado de <http://www.cultura.gob.mx>*



Hacia el año 1925, todos los sistemas de transporte habían recibido las consecuencias de la guerra: estaciones incendiadas, locomotoras dinamitadas, puentes volados con explosivos... Sin embargo la Comisión Nacional de Caminos ya contaba con un presupuesto anual de 12 millones de pesos.

Paralelo a lo anterior, en Europa y Estados Unidos la industria automotriz comenzó a tener un gran desarrollo, por lo que la red carretera tuvo que adaptarse a este crecimiento desarrollándose nuevas estructuras de caminos en el resto del mundo. Sin embargo en México los automóviles estaban limitados, ya que sólo podían transitar por calles y calzadas urbanas y el sistema carretero al estar totalmente destruído tenía que comenzarse desde cero.

La construcción de las carreteras México- Cuernavaca y México- Pachuca habían sido designados en primera instancia a firmas estadounidenses, sin embargo los ingenieros mexicanos rápidamente sustituyeron a los extranjeros, fomentando también la capacitación de otro tipo de actividades económicas nacionales como la minería y la agricultura, reactivándolas después de verse afectadas por la guerra.

Para 1828, los sólidos conocimientos adquiridos en licenciatura permitieron que los ingenieros mexicanos desarrollaran sus propios proyectos de diseño y construcción de carreteras. Fue hasta 1942 que se creó el Departamento de Investigaciones y Laboratorios, que se trajo como beneficio el inmediato incremento de la calidad y economía del proyecto, diseño y construcción de carreteras, aeropuertos y ferrocarriles; así fue como nació el concepto de Ingeniero en vías terrestres, que años después sirvió como modelo para otros países de Latinoamérica.

1.5 Desarrollo de las vías terrestres en México

Los nuevos profesionales contribuyeron al desarrollo firme del avance de las obras de comunicación vial, resaltando la importancia que le dieron a la planeación e investigación para procurar cumplir con la normatividad de la construcción, conduciendo a la innovación.

En el periodo de 1970 - 2000 creció el ingreso per cápita 3.8 veces. La inversión, ciencia y tecnología se multiplicó superando a Corea, España y Brasil, aunque actualmente ellos nos superan ampliamente.



Para finales del año 2000, la red carretera nacional tenía una longitud total de 333,247 kilómetros, de los que 106,571 corresponden a carreteras libres, 5,933 a autopistas de cuota, 160,185 a caminos rurales y alimentadores y 60,557 a brechas. Por lo que se refiere a las autopistas de cuota, la red operada por CAPUFE, integrada por su red propia y la que opera por cuenta de terceros, tiene una longitud de 4,714 kilómetros, las concesionadas a particulares cuentan con 786 kilómetros y 432 son concesiones estatales de cuota.

En los últimos años, el estudio de las vías terrestres ha tenido un crecimiento trascendente:

- Del tránsito diario, la cuarta parte corresponde a la red federal con más de 6000 vehículos, y gran parte de ella tiene problemas de capacidad para atender ese tránsito, en cuanto a seguridad y economía.
- Las cargas permitidas en los vehículos casi se han duplicado

Por lo anterior, la atención que proporciona la Secretaría de Comunicaciones y Transportes consiste en desarrollar programas de conservación rutinaria para asegurar buenas condiciones de servicio al público, de conservación preventiva para evitar mayores deterioros, y de reconstrucción para recuperar tramos que llegaron a presentar daños importantes en el pasado (Figuras 1.4 y 1.5).

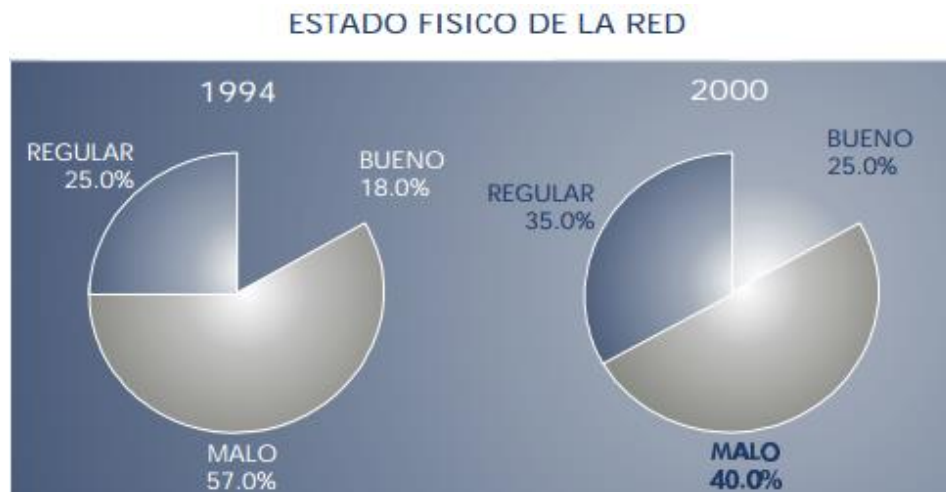


Figura 1.4 – Estado físico de la red carretera, Gráfica, s.f.
Recuperado de www.sct.gob.mx/carreteras-v2/subsecretaria-de-infraestructura/

Sin embargo los montos de inversión que históricamente se han canalizado a la conservación de carreteras no resultan suficientes para superar todos los problemas y lograr que la red federal no tenga caminos en mal estado. En consecuencia, provoca importantes sobrecostos a la operación de los vehículos que la utilizan: se calcula que actualmente se invierten, tan sólo en la red federal, 20 mil millones de pesos anuales.

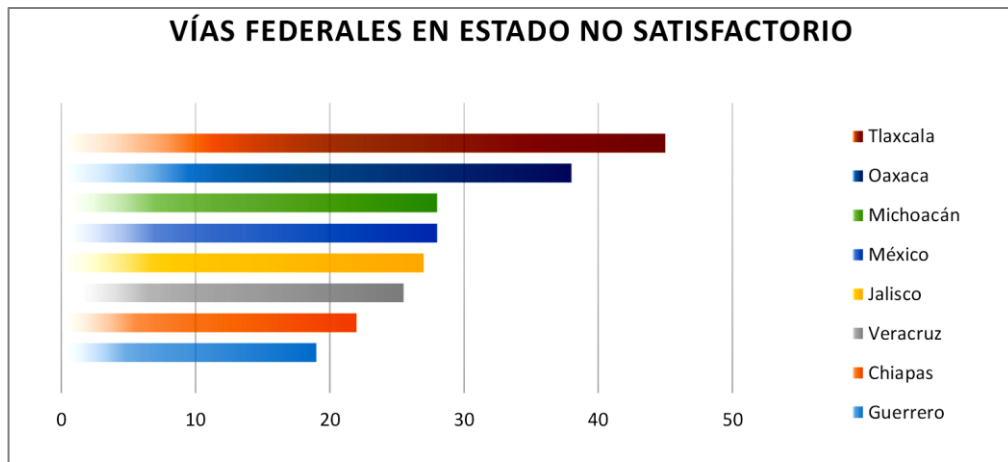


Figura 1.5 – Vías Federales en estado no satisfactorio (porcentaje por estado), Gráfica, s.f.
Recuperado de: <http://www.sct.gob.mx>

En las últimas décadas, los ingenieros mexicanos de vías terrestres han representado la vanguardia con la que México construye y moderniza la infraestructura que impulsa el gobierno federal, y que para este año prevé llevar a cabo la construcción y modernización de otros cuatro mil 200 kilómetros de carreteras y caminos rurales, con una inversión de más de 57 mil millones de pesos.

1.6 Plan nacional de desarrollo: 2007-2012 y 2013-2018

1.6.1 Infraestructura para el transporte 2007 - 2012

En el año 2007, durante la presidencia de Felipe Calderón, se puso en marcha un plan estratégico para el mejoramiento de la infraestructura de transporte: Corredores troncales trasversales y longitudinales, sistema ferroviario, sistemas aeroportuarios e infraestructura portuaria, considerándose un presupuesto de 50,085.2 millones de pesos. El principal objetivo de este plan consistía en la movilidad de personas, mercancía, el intercambio comercial y la integración nacional.

Retomando los datos que conciernen a la red carretera, éste sexenio fue el primero al que se le designó mayor presupuesto para desarrollo de carreteras con una inversión de 315 millones de pesos, entre recursos públicos y privados para la modernización y construcción de 21 kilómetros de carreteras. El 36% de la inversión se destinó a la consolidación de los 14 ejes troncales (8 ejes longitudinales y 6 transversales), logrando un avance del 90% en la modernización de su longitud total que es aproximadamente de 19,245 kilómetros (*Figuras 1.6 y 1.7*).



Al finalizar la presidencia de Caderón se tuvo como propósito seguir el desarrollo carretero, que para ese entonces estaba conformado por tres grandes grupos: la red federal con 48,972 kilómetros, la red alimentadora con 79,264 kilómetros y la red rural, cuya participación fue la mayor, con 243,700 kilómetros de la red total (*Figuras 1.6 y 1.7*).

También se pretendía la implementación y el crecimiento de autopistas urbanas, segundos pisos y viaductos elevados en las principales ciudades, empleando sistemas inteligentes de transporte y nuevos esquemas tarifarios.

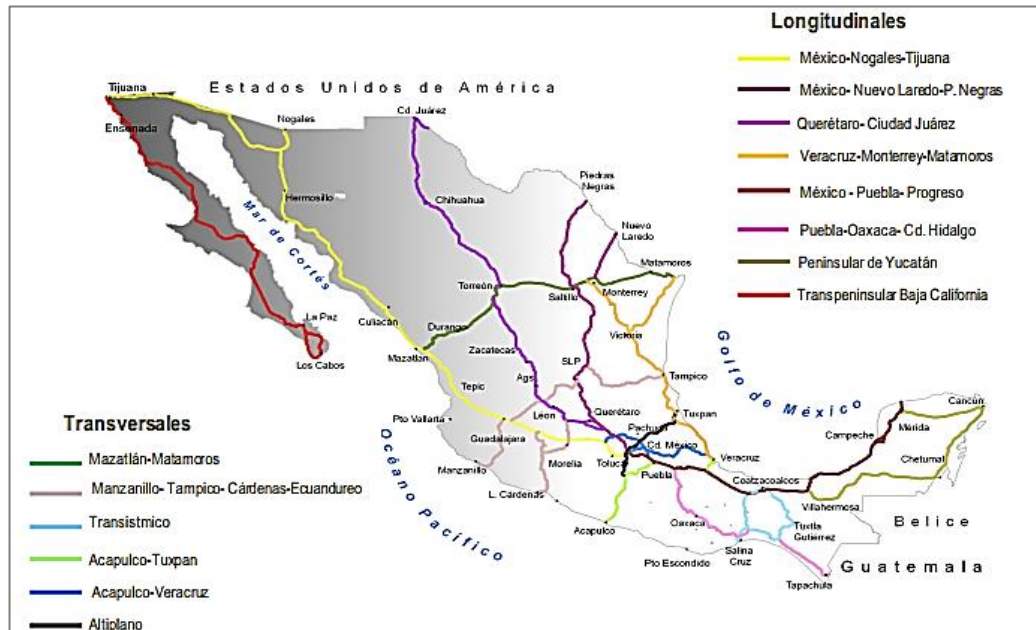


Figura 1.6 – Ejes troncales 2012, Mapa, s.f. Recuperado de <http://www.sct.gob.mx>

Corredores	Longitud kilómetros
México Nogales con ramal a Tijuana	3,074.5
México Nuevo Laredo con ramal a Piedras Negras	1,734.9
Querétaro-Ciudad Juárez	1,755.2
Veracruz-Monterrey con ramal a Matamoros	1,296.8
Puebla-Progreso	1,327.5
Mazatlán-Matamoros	1,241.0
Puebla-Oaxaca-Ciudad Hidalgo	1,007.0
Manzanillo-Tampico con ramal a Lázaro Cárdenas y Ecuandureo	1,856.4
Circuito Transistmico	702.4
Acapulco-Tuxpan	831.9
Acapulco-Veracruz	851.0
Altiplano	602.0
Transpeninsular de Baja California	1,776.2
Transpeninsular de Yucatán	1,219.0
TOTAL	19,245

Figura 1.7 - Diseño y Gestión de proyectos carreteros en Asociaciones Público - Privadas. Tabla, 2011
 Recuperado de <http://www.sct.gob.mx>



1.6.2 Programa nacional de infraestructura nacional 2013 - 2018. Sector comunicaciones y transportes.

Al llegar el actual presidente al poder en 2012, Enrique Peña Nieto, su gobierno se ha enfrentado a grandes retos en el sector de la infraestructura vial debido a la demografía, la urbanización, la reducción en la emisión de contaminantes al ambiente, la congestión de vehículos, el deterioro del equipamiento e infraestructura de transporte y el crecimiento en la demanda de combustible. El que pueda vencer todos estos obstáculos depende en gran medida de la condición en la que se encuentre la infraestructura disponible, de su nivel de servicio, de las políticas públicas, entre muchos otros factores con los que se tiene que llegar a acuerdos nacionales y locales para un bien global conjunto e integral.

La infraestructura actual de México, está conformada de 371,936 kilómetros de carreteras, de los cuales sólo el 36% están pavimentadas y de éstas a su vez, el 81% está en buenas condiciones. Con estos valores se pueden reflejar muchas situaciones, ya que comprende la importancia de una estrategia para la competitividad del país, pues a medida de que la red opere en buenas condiciones favorecerá en la fluidez y la seguridad del tránsito, trayendo consecuentes beneficios inmediatos a la sociedad.

En el Plan Nacional de Desarrollo vigente se habla de una estrategia para la economía y competitividad del país, la conservación en buen estado de la infraestructura carretera dónde se menciona la oportuna inversión para mejorar y ampliar las redes de transporte y con esto llegar a tener el crecimiento esperado de los próximos años.

Con lo mencionado anteriormente, se puede ver claramente la importancia de tener una infraestructura carretera en buenas condiciones, además de una buena planeación para el crecimiento de la red de movilidad en sus distintas ramas.

1.7 Modernización de la Carretera Palenque – San Cristóbal

Como parte de cumplir el Plan Nacional de Desarrollo actual, se han lanzado distintas convocatorias para la modernización de varias autopistas que se encuentran en una situación precaria, no sólo con la finalidad de mover mercancía o materia prima en el ámbito comercial, sino también para fomentar el turismo en algunos puntos de alta recurrencia, tanto nacional como internacional, y con esto activar nuestra economía de forma integral.

Sin duda, Chiapas es uno de los estados con mayor índice de actividad turística en México; por su ubicación al sureste del país, cuenta con un clima privilegiado que reúne siete ecosistemas



entre selvas, bosques y manglares recorridos en ríos y atravesando cascadas. Otro de los aspectos que atrae a los turistas a éste estado es su riqueza cultural, ocupando el segundo lugar en México en cuanto a diversidad étnica, además de formar parte del mundo maya.

A pesar de que mucha gente viaja a éste territorio, sus vías de comunicación carretera se encuentran en una situación deplorable debido a la falta de mantenimiento ante el paso del tiempo y las condiciones climáticas severas. Los caminos de salida al interior y exterior de la capital chiapaneca tienen cierto grado de riesgo con curvas peligrosas, poca señalización, sin acotamiento, sin dejar de lado que cuesta un peaje para atravesar por ellas.

Una de las autopistas más importantes dentro de la red carretera regional de Chiapas, es la que conecta a Palenque con San Cristóbal de la Casas (cuya clave es 15096270004): por una parte, Palenque es una ciudad enclavada en la selva de clima tropical que tiene a sólo 8 kilómetros de distancia uno de los centros ceremoniales más importantes de la cultura maya, siendo un lugar de alto impacto cultural y, por ende, turístico. La ciudad de Palenque se encuentra a 220 kilómetros de San Cristóbal de las Casas, una ciudad colonial ubicada a 46 kilómetros de la autopista Tuxtla – San Cristóbal, que muestra su riqueza cultural en diversas edificaciones de los siglos XVI, XVII y XVIII (*Figuras 1.8 y 1.9*).



Figura 1.8 – Palenque- San Cristóbal, Ilustración, 2017



Como se puede ver, la unión de estos dos municipios tiene una gran importancia a nivel nacional, ya que son destinos de alto impacto turístico, mismo que se ve afectado por las malas condiciones en las que se encontraba esta autopista hasta el año pasado. Fue por eso que se realizó un proyecto de modernización de la carretera con el fin de duplicar el turismo y disminuir el tiempo de traslado, impulsando la productividad y competitividad de Chiapas.

Entre las obras de la modernización de la carretera se cuentan mejoras al pavimento y la construcción de carriles de adelantamiento. La iniciativa también contempla la ampliación del ancho de la corona de la ruta y otras obras complementarias como obras de drenaje.

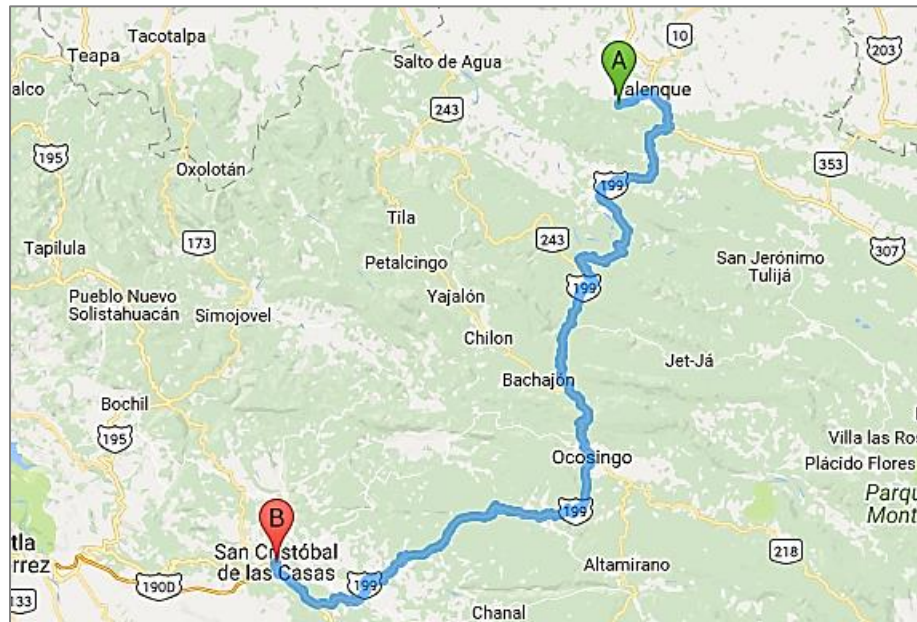


Figura 1.9 – Mapa de ubicación Carretera Palenque – San Cristóbal
Recuperado el 01 de Julio, 2017 de <https://www.google.com.mx/maps>

Cabe mencionar que el presupuesto inicial de este proyecto, que fue anunciado en 2015 por el presidente Enrique Peña Nieto, fue de 10 mil millones de pesos, sin embargo en marzo de ese mismo año la Secretaría de Hacienda y Crédito Público reveló un recorte de aproximadamente el 70 por ciento de los recursos totales para esta obra, por lo que pasó de 10 mil a 3 mil millones de pesos, de los cuales en 2016 se ejecutarían sólo mil millones. Otro de los retos a los que se enfrentó el desarrollo de éste proyecto fue el descontento de la gente por el trazo del camino, por lo que la ruta de la carretera se tuvo que modificar.

A lo largo del presente trabajo, se abordará parte del proyecto de modernización de la carretera Palenque – San Cristóbal, específicamente de las obras de drenaje transversal que se encuentran entre el kilómetro 85+000 y el 88+000, pero antes de eso se hablará de porqué es importante que una carretera cuente con un sistema de drenaje, mismo que se estará tratando en el capítulo dos.



Capítulo 2 – Estructura general de una carretera

Para poder entender por qué es necesario contar con un sistema de drenaje carretero es indispensable conocer cómo se estructura una carretera, sus diferentes capas y la composición de cada una de ellas.

Una carretera es una vía pública, ancha y pavimentada dónde circulan automóviles y vehículos de carga, con o sin accesos controlados, cuyo propósito principal es presentar un servicio de comunicación.

Para que un camino pueda ser catalogado como carretera, debe cumplir con las siguientes características:

- Por lo menos dos bandas de circulación, una por sentido, separadas por vallas de protección o por una franja de terreno.
- Contar con un acotamiento (espacio) lateral en cada banda, con el fin de que los vehículos puedan parar en esta zona en caso de emergencia, sin afectar el flujo del tránsito.

Es importante conocer algunos datos para saber si el desarrollo de una carrera es factible o no, como el tipo de terreno de la red vial y el tránsito que tenga la misma, con esto podremos conocer la situación actual del proyecto, además de permitir hacer un análisis económico y social del mismo.

2.1 Tránsito Diario Promedio Anual

Uno de los elementos primarios para el diseño geométrico de una carretera es el volumen de tránsito. De acuerdo al Manual de señalización vial y dispositivos de seguridad (SCT, 2014), el tránsito se define como “Movimiento de vehículos y/o peatones que se desplazan sobre una vialidad o carretera”.

El volumen total de vehículos que pasan por un punto específico de una carretera en un tiempo definido (1 año máximo) y dividido entre el número de días en el que se hizo la medición, es un promedio simple de volumen de tránsito; a este volumen de tránsito se le conoce como Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA), cuya expresión matemática es la siguiente:

$$TDPA = \frac{\text{Número de vehículos}}{\text{Número de días}}$$

El TDPA debe de disgregarse por tipo de vehículos y por sentido de circulación, proponiéndose la siguiente composición:



<i>Clase: Vehículo o configuración</i>	<i>Nomenclatura</i>
Autobús	B
Camión unitario	C
Camión-remolque	C-R
Tractocamión articulado	T-S
Tractocamión doblemente articulado	T-S-R

Tabla 2.1 – *Clasificación de vehículos*. 2014.
 Recuperado de <http://www.dof.gob.mx>

En el caso de haber congestión vehicular en algunos de los tramos que conformen la red vial actual, resulta indispensable periodizar la demanda, es decir obtener los aforos horarios a lo largo del día, para así conocer los periodos de “alta” congestión, “media” congestión y sin congestión. Lo anterior resulta importante para no sobre-estimar o subestimar los beneficios directos y/o indirectos del proyecto.

2.2 Tipos de carreteras

Según las normas (IMT, 1995), las carreteras se clasifican respecto del tránsito y al horizonte de proyecto de la siguiente forma: ^[1]

<i>Tipo</i>	<i>Aforo</i>	<i>Ancho de</i>		<i>Características</i>	
		<i>Corona</i>	<i>Calzada</i>		
ET ET4 ET2	TDPA mayor a 20,000 vehículos	22m mín	14m	4 carriles 2 carriles	Eje de transporte Eje de transporte
A A4 A2	TDPA de 5,000 a 20,000 vehículos TDPA de 3,000 a 5,000 vehículos	22m 12m	14m 7m	4 carriles 2 carriles	
B B4 B2	TDPA de 1,500 a 3,000 vehículos	9m	7m	4 carriles 2 carriles	Red primaria Red secundaria
C	TDPA de 500 a 1,500 vehículos	7m	6m	2 carriles	Red secundaria
D	TDPA de 100 a 500 vehículos	6m	6m	2 carriles	Red alimentadora
E	TDPA menor a 100 vehículos	4m	4m	2 carriles	Caminos rurales

Tabla 2.2 – *Tipos de carreteras y sus características*, 2017

Las carreteras tipo ET son aquellas que forman parte de los ejes de transporte que establezca la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, cuyas características geométricas y estructurales permiten la operación de todos los vehículos autorizados con las máximas dimensiones,



capacidad y peso (*Anexo A*), así como de otros que por interés general autorice la Secretaría, y que su tránsito se confine a este tipo de caminos.

Otra forma de clasificar a las carreteras es por su administración:

- **Carreteras vecinales**: en algunos lugares, las vías de circulación que están dentro de los límites de un municipio son administradas por comités de “caminos vecinales”, conformados por los propios habitantes del lugar.
- **Carreteras concesionadas**: aquellas que son administradas por una empresa privada, ganadora de un concurso público. Se sostienen generalmente gracias a los peajes.
- **Carreteras estatales**: son las que son totalmente construidas y conservadas por alguno de los estamentos del Estado.
- **Carreteras federales**: son aquellas que atraviesan diferentes estados federados, y por dicha importancia su mantenimiento se le atribuye al gobierno federal. En México, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes es la encargada de ésta labor.

2.3 Estructura de un pavimento

Como ya se mencionó, una de las principales características de una carretera es que esta tenga una superficie de rodamiento pavimentada, ya sea de asfalto o concreto hidráulico, incorporando en su diseño normas de calidad y operación y un sistema óptimo de drenaje.

Se le llama pavimento al conjunto de capas de material seleccionado que tienen la función de recibir las cargas transmitidas por los vehículos e ir las propagando a los estratos inferiores del suelo de forma disipada. Es por eso que es importante conocer la cantidad de vehículos que transitarán por una carretera, para saber de qué tipo será y qué geometría tendrá, tanto el cuerpo mismo de la carretera como en el espesor de las diferentes capas del pavimento.

Para tratar de optimizar al máximo la propiedad de disipación, las capas que conforman el pavimento se acomodan de forma descendiente respecto a su capacidad de carga, es decir que la capa superior será la que posea mayor capacidad de carga, (siendo la más cara), y la capa de menor capacidad se encontrará en la parte inferior (que será la más económica). ^[2]

2.3.1 Pavimentos flexibles

El pavimento flexible tiene como característica principal la capacidad de flexionarse adaptándose a las cargas que recibe. Otra de sus características principales es que está conformada por una



superficie de materiales asfálticos colocados sobre una capa de base y otra se sub-base, ambas capas compuestas de materiales granulares; éstas tres capas descansan sobre una capa de suelo compactada llamada subrasante (*Figura 2.1*).

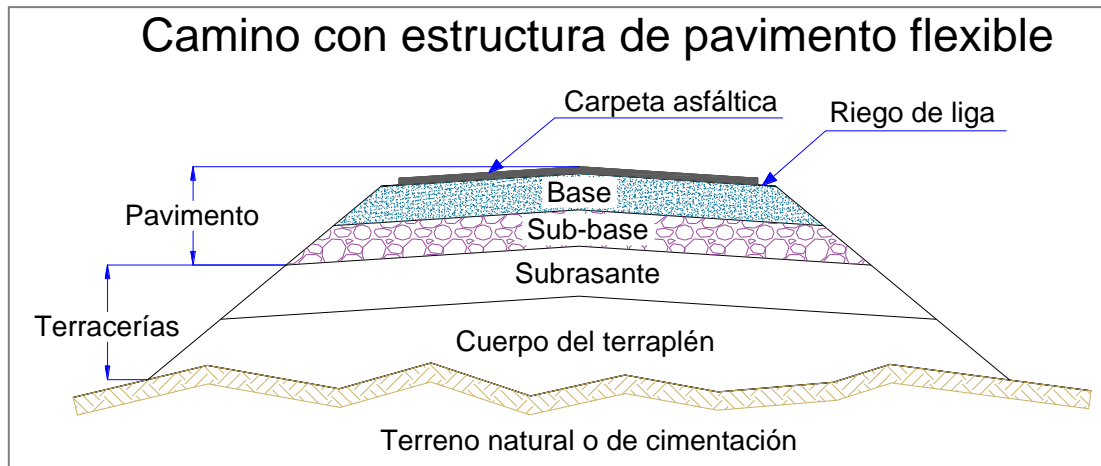


Figura 2.1 – Camino con estructura de pavimento flexible, Ilustración, 2017

- **Carpeta asfáltica:** es la capa superior y la capa que está en contacto con el tránsito. Está compuesta, como su nombre lo dice, por producto asfáltico y agregados pétreos, teniendo como objetivos impermeabilizar el pavimento para que las capas subyacentes puedan mantener su capacidad de carga y reducir las tensiones verticales producidas por el tránsito controlado y la acumulación de deformaciones en el cuerpo del pavimento.
- **Riego de liga:** Es la aplicación de emulsión asfáltica³ sobre una capa asfáltica ya existente (*Figura 2.2*), su finalidad es que haya una buena adherencia entre las dos capas.



Figura 2.2 – Riego de liga, Ilustración, s.f.
Recuperado de <http://www.cabonuevoconstrucciones.com/>

³ Las emulsiones asfálticas están compuestas por una dispersión de asfalto en agua, agentes emulsificantes y aditivos. De acuerdo a su carga iónica, se clasifican en catiónicas, utilizadas preferentemente en pavimentación, y aniónicas.



- **Base y sub-base:** Estas capas son muy parecidas entre sí, la diferencia entre ambas es que la base debe tener un mejor calidad que la sub-base, ya que como se mencionó anteriormente, estas capas irán disipando los esfuerzos transmitidos por los vehículos de forma gradual hasta la cimentación de la carretera.

La base y sub-base están compuestas de materiales granulares: fragmento de roca, grava, arena y limos. Estas capas tienen como función principal, además de tener el espesor ideal para transmitir las cargas a las capas subsecuentes, tener el grado de calidad necesario para no presentar cambios volumétricos aunque exista humedad.

2.3.2 Pavimentos rígidos

Un pavimento rígido se caracteriza por tener como superficie rodante una losa de concreto sobre una capa de base o directamente sobre la subrasante (*Figura 2.3*), siendo ésta otra característica que lo distinga de un pavimento con carpeta asfáltica, ya que un pavimento rígido transmite menos presión a la subrasante que un pavimento flexible (*ver figura 2.4*).^[3]

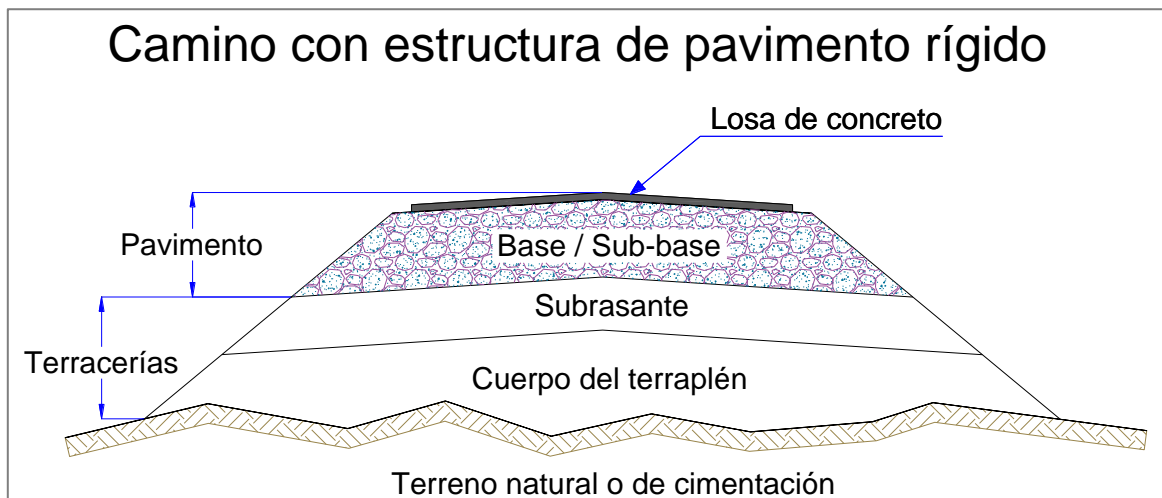


Figura 2.3 – Camino con estructura de pavimento rígido, Ilustración, 2017

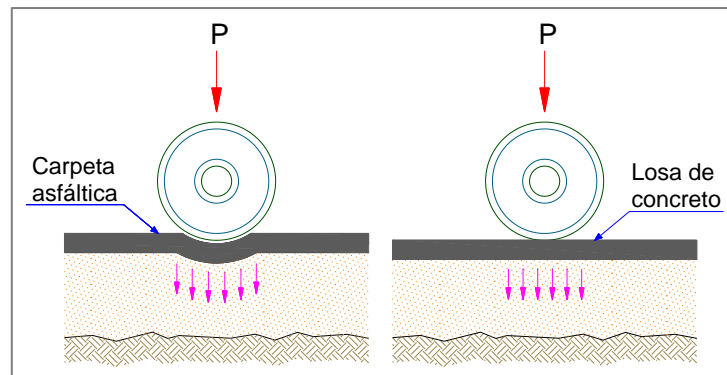


Figura 2.4 – Presiones transmitidas a estructuras de terracerías, Ilustración, 2017



- **Losa de concreto:** Es la capa superior de los pavimentos rígidos que es fabricada de concreto hidráulico, que es un material pétreo artificial producto de la mezcla de agua, cemento Portland y agregados pétreos (grava y arena) en proporciones que garanticen una resistencia entre 210 kg/cm^2 y 350 kg/cm^2 a los 28 días (SCT, 1995).^[4]
- **Base / Sub-base:** Como ya se mencionó, la única diferencia entre estas dos capas es la calidad de los materiales que las componen: la base debe ser de más alta calidad que la sub-base (*Anexo B*). Sin embargo es importante mencionarlas de nuevo en la estructura del pavimento rígido, ya que pueden o no estar presentes es dicha estructura; esto dependerá de la demanda y el peso de los vehículos que tenga la carretera en cuestión.^[5] Algunas carreteras de concreto hidráulico sólo pueden tener superficie rodante, otras agregan a su estructura una capa de base o de sub-base, el espesor de una u otra dependerá de cuánto esfuerzo se tenga que disipar antes de llegar a la capa subrasante, dando como resultado un aumento en la vida útil de la carretera.

2.4 Capas de terracería

Como se puede ver en las figuras 2.1 y 2.3, después del pavimento vienen otras capas que le dan estabilidad al cuerpo del camino llamadas terracerías.

Se define como terracería al material que se extrae de un sitio y que sirve como relleno en la construcción de una vía terrestre. Esta extracción se hace a lo largo del eje principal del camino y si éste material se utiliza para la construcción de rellenos o terraplenes de ese mismo camino, se dice que las terracerías son compensadas. El volumen de material que no es utilizado se llama desperdicio (*Ver figura 2.5*). En caso de que el material extraído no sea suficiente para compensar las terracerías, se extraerá material de zonas lo más cercanas a la obra; estas zonas son llamadas “de préstamo”.

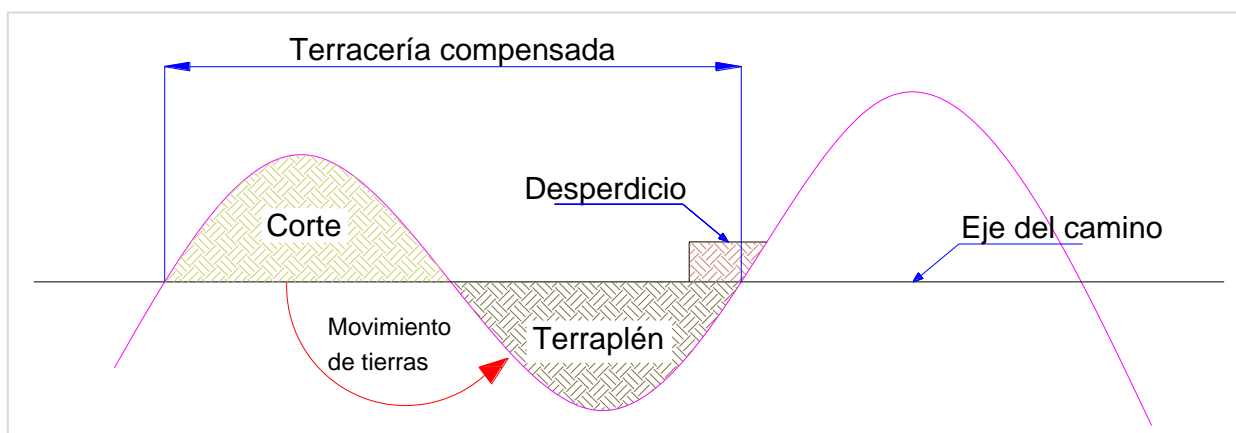


Figura 2.5– Representación de Curva Masa en procesos de terracerías, Ilustración, 2017



Las terracerías de un camino en terraplén se dividen capa subrasante y cuerpo del terraplén:

- **Subrasante:** Es la capa de material, natural propiamente del sitio, preparado y compactado para soportar una estructura de pavimento en una carretera. La parte superior de la capa subrasante puede coincidir con la subrasante de proyecto geométrico, que debe cumplir con las especificaciones de pendiente longitudinal del proyecto.

El nivel de subrasante marca el límite mínimo que tendrán las terracerías a lo largo del camino, por lo que muchas veces su espesor será mayor que el necesario para la estabilidad de la estructura de la carretera. Por lo tanto, los elementos que definen el nivel de subrasante mínima dependen de la topografía, la geometría y los costos de movimiento de tierras. ^[6]

Es indispensable mencionar la importancia de tener una buena calidad de la capa subrasante, ya que ésta será la encargada de transmitir las cargas del tránsito al cuerpo del terraplén. Otro punto importante a tener en cuenta es la presencia de agua en el suelo, ya que éste es sensible a cambios de volumen afectando la resistencia al esfuerzo cortante de la carretera.

Por lo anterior, es importante mencionar que la capa subrasante debe tener el espesor necesario para dar espacio a las obras de drenaje transversal de la carretera, ya que será el tema a abordar en el capítulo 3 y el principal del presente trabajo.

- **Cuerpo del terraplén:** Es la capa del camino que recibirá todos los esfuerzos cortantes transmitidos por el tránsito del sitio antes de pasar al terreno natural o, de ser necesaria, a la cimentación, ya que el terreno natural nunca será completamente homogéneo y no tendrá los requerimientos necesarios para darle un buen basamento a la carretera ^[7]. Los materiales que conforman el cuerpo del terraplén deben ser granulares de muy buena calidad para brindarle un buen soporte a una carretera (*Anexo C*).



Figura 2.6 – *Capa de forma del terraplén*, Ilustración, 2014.
Recuperado de <http://descubriendolaingenieriacivil.blogspot.mx/2014/10/>



Uno de los aspectos más importantes que hay que considerar para la construcción de terracerías, es la deformabilidad de los materiales, por lo que la Secretaría de Comunicaciones y Transportes tiene dos importantes restricciones sobre los materiales que no deben estar presentes en la estructura del cuerpo del terraplén:

1. Se prohíbe el uso de materiales de alta plasticidad, como arcillas o limos orgánicos.

Los limos y arcillas de alta plasticidad tienen como característica principal estar conformados por partículas muy pequeñas que están cubiertas por una fina membrana que retiene el agua en ellas y los intersticios entre las mismas, por lo cual son propensas a la deformabilidad cuando se encuentran en estado húmedo o incluso saturado. Esto no sólo provoca que el suelo sea susceptible a deformaciones, también hace que éste no tenga buena aireación y el drenaje sea pobre.

2. Se prohíbe el uso de materiales orgánicos (turberas).

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés), definen como *Turbera* a los humedales con una gruesa capa de suelo orgánico. Las turberas son utilizadas generalmente en la agricultura, sin embargo para que puedan tener un buen uso en esta actividad deben ser drenadas, pero esto a su vez las convierte en una fuente de abundantes emisiones de gases de efecto invernadero al contener en su estructura altos porcentajes de carbono. En lo que concierne a su uso en la construcción de vías terrestres, su presencia en cualquier camino podría provocar grandes daños a los mismos, ya que al ser drenadas provocan erosión en el material, cambios en la cobertura vegetal⁴ y hundimientos en el suelo.

2.5 Importancia de los sistemas de drenaje en carreteras.

Es importante recalcar los problemas que el agua representa en toda la estructura de la carretera, por lo que es indispensable tomar en cuenta todas aquellas medidas que den salida al agua que se presente en nuestro camino; el agua reblandece los materiales de las capas que conforman el cuerpo del terraplén y la estructura del pavimento, provocando la pérdida de la capacidad de carga en todas las capas, y por ende, deformaciones que afectan la calidad y la seguridad del tránsito de la carretera, como baches y socavones^[8].

⁴ La cobertura vegetal o restauración ambiental se realiza sobre tierra vegetal extendida sobre las paredes del terraplén para la integración ambiental de la obra en el paisaje y la formación de un manto vegetal que protegerá al terraplén de la erosión.



El drenaje en carreteras tiene dos objetivos principales:

- Reducir lo más que sea posible la aportación de agua que pueda llegar a las diferentes partes del camino.
- Dar salida al agua cuyo acceso al camino sea inevitable, de forma que no tenga bloqueos para seguir su cauce.

El agua llega al camino de diferentes maneras:

- | | |
|--|--|
| a) Por precipitación directa. | c) Por crecientes de ríos y/o arroyos. |
| b) Por escurrimiento del agua del terreno adyacente. | d) Por infiltraciones del subsuelo del camino. |

Por lo anterior y de acuerdo al Manual de drenaje de caminos (1952), un buen drenaje debe de reducir la entrada del agua de cualquiera de las fuentes mencionadas y desalojar rápidamente el agua que pudiera llegar al camino, por lo que deben evitarse diferentes circunstancias que afecten la vida útil de la carretera, como:

- Que el agua circule en cantidades excesivas por el camino destruyendo el pavimento y causando la formación de charcos o baches.
- Que el agua alojada en cunetas laterales remoje y reblandezca los terraplenes, causando asentamientos que perjudiquen el pavimento.
- Que los cortes de los materiales se saturen de agua con peligro de derrumbes de tierra, deslizamiento en los cortes, o en el peor de los casos, deslizamientos del camino mismo.
- Que el cauce del agua de arroyos, hondonadas y talwegs⁵
- se haga más lenta por los terraplenes con el peligro de ser deslavados.
- Que el agua subterránea reblandezca la subrasante, formando también charcos, baches o socavones.

Como se puede ver, la implementación de un drenaje adecuado en la estructura de un camino es una de las fases más importantes en el desarrollo de cualquier vialidad, puesto que en muchas ocasiones un drenaje imperfecto es el máximo defecto en la construcción de caminos actuales.

El drenaje carretero debe ser estudiado a detalle desde diferentes puntos, desde la localización misma del camino para evitar en lo posible un trazo por terrenos que no se drenen por sí mismos hasta por las condiciones topográficas, que suelen tener poca uniformidad requiriendo grandes cortes y terraplenes en todo tipo de suelos.

⁵ El término *talweg* es un germanismo que se usa para definir la línea que une los puntos más bajos de un valle o, en este caso, de un río.



Sin embargo, es casi imposible que los caminos atraviesen suelos permeables o impermeables, incluso manantiales con filtraciones excesivas de humedad, ya que uno de los principales objetivos de un proyecto de camino es el tener al final una ruta lo más directa posible de transporte y comunicación. Es por eso que en la mayoría de los proyectos se necesita implementar sistemas de drenaje (*Figura 2.7*), para dar al suelo la estabilidad que requiera para optimizar los costos de cimentación.



Figura 2.7 – *Grietas longitudinales y grietas de resiliencia*, Fotografía, Autopista Siglo XXI, 2017.



Capítulo 3 – Estudios del proyecto de drenaje preliminar

En cualquier proyecto de vías terrestres, una de las partes más importantes es el diseño de obras de drenaje, por lo que se debe de tener especial cuidado al elegir y esquematizar dichas obras ya que una mala localización o mal diseño provoca graves daños en el óptimo funcionamiento de la vía de comunicación trayendo como consecuencia la interrupción del servicio, y como subsecuente, la molestia de los usuarios, además de pérdidas económicas de gran apreciación.

En este capítulo se describirán los estudios realizados para la obtención del proyecto de drenaje preliminar de la Carretera Federal Palenque – San Cristóbal en el estado de Chiapas, y que posteriormente nos serán de apoyo para un proyecto definitivo dónde se considerarán elementos más particulares del proyecto.

3.1 Estudio de campo para el sistema de drenaje carretero

Los estudios de campo son aquellos que sirven para obtener los datos necesarios para medir la magnitud y complejidad de las obras requeridas en cualquier proyecto, en éste caso se destacan tres en particular: Topográficos, hidrológicos y geológicos.

- Estudio topográfico: Este estudio tiene como finalidad representar de manera gráfica las características del terreno dónde se ubicará el proyecto: ubicación por medio de coordenadas, altura sobre el nivel del mar, así como los desniveles del sitio. Este estudio es indispensable para poder adecuar las obras a las condiciones actuales de la superficie del terreno, además de que será el que nos dará la base para el estudio hidrológico.
- Estudio hidrológico: En conjunto con el estudio topográfico, éste estudio nos dará los parámetros de las cuencas que atraviesen el camino proyectado, como su área tributaria y pendiente. La importancia de esta información radica en la necesidad de elegir adecuadamente el tipo de obra de drenaje transversal que se construirá en el camino.

Las cuencas hidrológicas son espacios formados por escurrimientos delimitados por elevaciones de terreno llamados parteaguas. Las obras de drenaje transversal deben ubicarse en los puntos más bajos del cruce del escurrimiento principal de la cuenca con el eje de la carretera, es por ello que las obras de drenaje tienen lugar en los terraplenes del camino ^[10].



- **Estudio geológico:** Al igual que los anteriores, estos estudios proporcionan información sobre el terreno que será afectado por el trazo de la carretera. Además de señalar las características de los materiales de los cimientos del camino así como los materiales empleados para rellenos de terracerías, también nos da información acerca del agua subterránea a la que se le debe dar salida, igual que el agua superficial.

Como se puede ver en el *Anexo D*, para la delimitación de las cuencas que atraviesan el camino, se utilizó no sólo el levantamiento topográfico del sitio, también se tuvo apoyo de la carta topográfica de INEGI correspondiente a Yajalón E15D43, Chiapas. Con esta información no sólo se ubicaron las obras de drenaje que se aprovecharon o sustituyeron (dependiendo de su estado), también se pudieron ubicar escurrimientos de menor aportación que fueron canalizados a las entradas de las obras ya mencionadas, además de poder proyectar a dónde desembocarán los escurrimientos que se drenarán del camino dándole continuidad al cauce.

A continuación, se muestra la ubicación de las obras de drenaje que se proyectaron para dar salida a los escurrimientos de las cuencas que atraviesa la carretera:

Nº	ESTACION EJE DE PROY.
1	85+095.96
2	85+202.76
3	85+324.62
4	85+529.51
5	85+688.45
6	85+795.73
7	86+040.00
8	86+460.00
9	87+076.93
10	87+233.53
11	87+385.30
12	87+608.18

Tabla 3.1 – Ubicación de las obras de drenaje sobre el eje principal del camino. 2014.

En el subtema 3.5, se mostrará una relación detallada de cada obra de drenaje proyectada, pero antes se deben de conocer todos los aspectos considerados para elegir uno u otro tipo de alcantarilla, mismos que se explicarán a continuación.



3.2 Captación de los escurrimientos superficiales que cruzan el eje del camino

Una vez que se tenga la ubicación de las obras de drenaje transversal, se procederá a captar los escurrimientos longitudinales respecto al eje de la carretera, y conducirlos a las entradas de las obras de drenaje propuestas. Estas canalizaciones se hacen a través de cunetas y contracunetas, además de otro tipo de obras auxiliares, como cajas disipadoras de energía o, de ser requeridos, canales de entrada y/o salida.

3.2.1 Cunetas

De acuerdo con el Manual de drenaje de caminos (1952), “Las cunetas son zanjas que se hacen a ambos lados del camino, con el objetivo de recibir el agua pluvial de la mitad del camino (o de todo el camino si es en curva), el agua que escurre por los cortes del camino y de pequeñas áreas adyacentes” (Figura 3.1).

Las cunetas se colocan al borde del acotamiento del camino. Al pasar la cuneta de corte a terraplén, se le da seguimiento a la cuneta de forma paralela a la intersección del terraplén con el terreno natural, dejando una banqueta entre el pie del cuerpo del terraplén y la zanja de la cuneta. Este espacio sirve para evitar que el agua de la cuneta esté en contacto con el terraplén y lo remoje, provocando asentamientos o derrumbes.

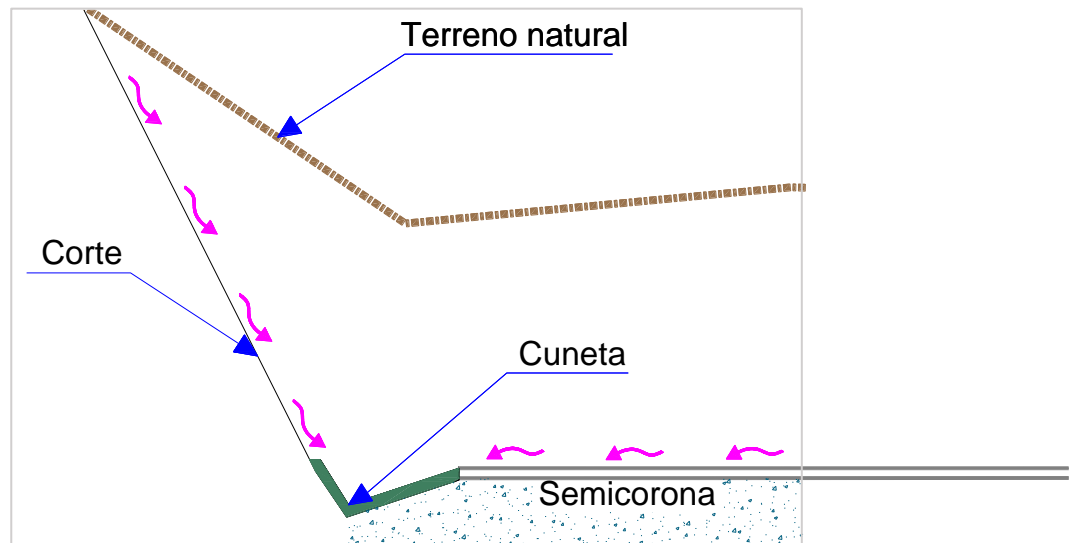


Figura 3.1 – Sección transversal de ubicación de cuneta en corte, Ilustración, 2017



Como la aportación de agua que llega a las cunetas es relativamente pequeña, éstas se proyectan para tener una capacidad de captar fuertes lluvias con un tiempo de concentración⁶ entre 10 y 20 minutos. Por lo general, las cunetas alcanzan un tirante del 70 al 80 por ciento de su altura total. En México se tiene preferencia por construir cunetas tan pequeñas como sea posible, dándoles forma de “V”, las cuales suponen un tirante de 30 centímetros, teniendo por el lado del camino una inclinación de 3:1 y por el otro lado la misma inclinación del terreno natural o del corte. Con éstas dimensiones el fondo de la cuneta debe quedar a 40 ó 45 centímetros debajo de la subrasante (si está en corte) y llevará la misma pendiente longitudinal del camino (considerando que la pendiente mínima longitudinal de un camino es de 0.5%).

3.2.2 Contracunetas y obras complementarias

Las contracunetas, al igual que las cunetas, son zanjas que se colocan en lugares estratégicos con el fin de evitar que lleguen a las cunetas más agua para la cual están diseñadas (Figura 3.2).

A diferencia de las cunetas, las contracunetas sólo captan el agua que escurre en dirección a los taludes de los cortes y en pequeñas áreas adyacentes. Para captar y conducir los escurrimientos ya mencionados, las contracunetas se construyen de forma perpendicular a la pendiente del terreno para que intercepten los cauces de agua.

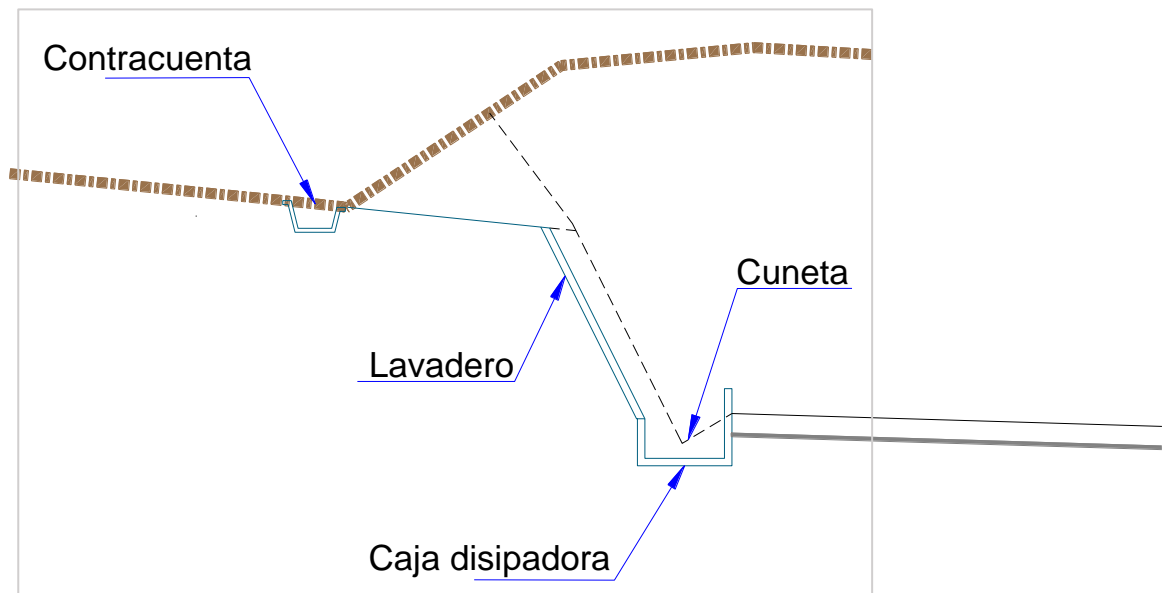


Figura 3.2 – Sección transversal de ubicación de contracuneta y obras complementarias en corte, Ilustración, 2017

⁶ El tiempo de concentración es el tiempo que tarda en llegar el agua del punto más alejado del área hidrológica a la salida de la cuenca, además de representar el instante en el que el gasto de salida se vuelve constante [10]



Como se puede ver en la Figura 3.2, se requiere de otro tipo de estructuras que puedan darle continuidad a un escurrimiento, y que todas las portaciones tengan salida sin afectar el cuerpo del camino.

Los lavaderos tienen la función de conducir el agua de la contracuneta a la cuneta sin erosionar las paredes del talud, ya sea en corte o en terraplén, ya que muchas veces también se colocan a la salida de las obras de drenaje transversal.

Las cajas disipadoras de energía tienen la función de recibir el impacto del agua que cae de los lavaderos a grandes alturas, evitando dañar las cunetas, además de prevenir un estancamiento del agua que pueda reblandecer las diferentes capas que constituyen el camino. Otra de las funciones de la caja disipadora es contener los materiales finos, granulares o vegetales que puedan taponear las obras de drenaje, teniendo la misma función de un desarenador. Éstas son colocadas en la salida de los lavaderos y en la entrada y salida de las alcantarillas, controlando también la velocidad del agua.

En seguida se muestran las secciones tipo y ubicación de las obras de captación y conducción superficial que se proyectaron para la modernización del sistema de drenaje de la Carretera Federal Palenque – San Cristóbal, mismas que se pueden ver representadas y proyectadas en el *Anexo D*.

- Cunetas:

OBRAS COMPLEMENTARIAS					
REVESTIMIENTO DE CUNETA.					
KM A KM		CUNETA CON BANQUETA. (Concreto f'c= 100 kg/cm²)			LADO
		LONG. (m)	AREA (m²)	CONCRETO (m³)	
85+140.00	85+200.00	60.00	0.20	12.00	IZQ
85+240.00	85+300.00	60.00	0.20	12.00	IZQ
85+400.00	85+500.00	100.00	0.20	20.00	IZQ
84+560.00	84+660.00	100.00	0.20	20.00	IZQ
85+820.00	85+860.00	40.00	0.20	8.00	IZQ
85+960.00	86+020.00	60.00	0.20	12.00	IZQ
86+040.00	86+180.00	140.00	0.20	28.00	IZQ
86+360.00	86+720.00	360.00	0.20	72.00	IZQ
86+800.00	87+920.00	1120.00	0.20	224.00	IZQ
87+960.00	88+000.00	40.00	0.20	8.00	IZQ

Tabla 3.2 – Ubicación de cuentas sobre el eje principal del camino. 2014.

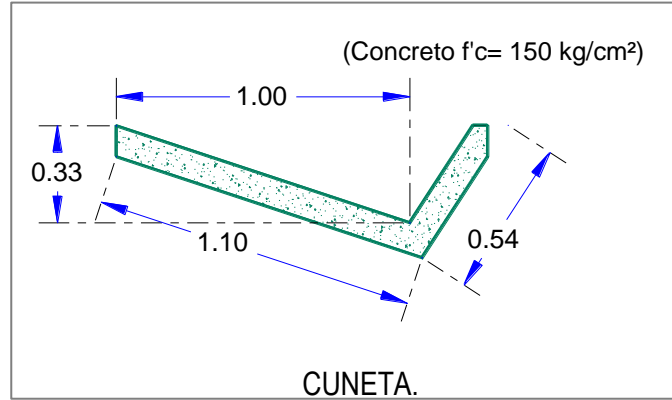


Figura 3.3 – Geometría de contracuneta, Detalle, 2017

- Lavaderos y obras complementarias:

LAVADERO				
KM	LAVADERO LADO IZQUIERDO Y DERECHO.			
	LONGITUD (m.)	AREAS DEL LAVADERO. (m ²)	CONCRETO (m ³)	LADO
85+240.00	2.50	0.26	0.65	IZQ
85+400.00	2.50	0.26	0.65	IZQ
85+543.76	7.00	0.26	1.82	IZQ
85+800.00	3.00	0.26	0.78	IZQ
85+960.00	2.00	0.26	0.52	IZQ
87+920.00	2.00	0.26	0.52	IZQ
88+000.00	6.00	0.26	1.56	DER

Tabla 3.3 – Ubicación de lavaderos sobre el eje principal del camino. 2014.

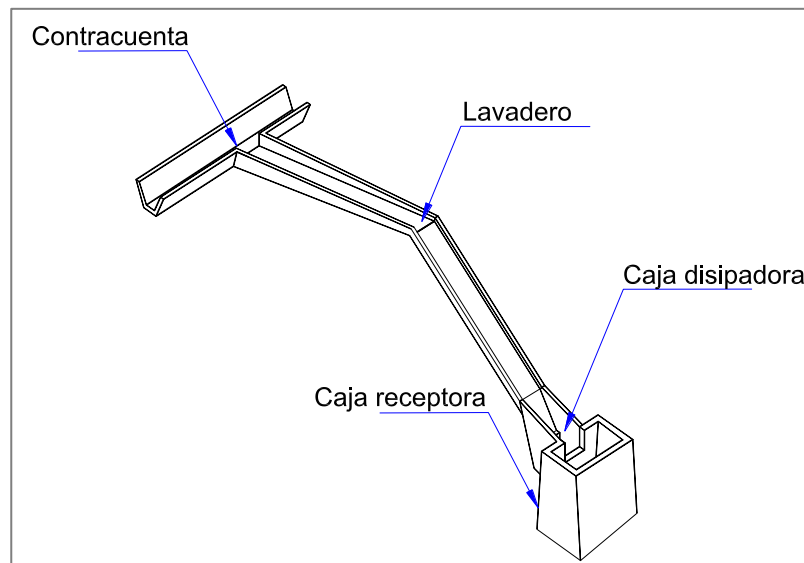


Figura 3.4 – Disposición de lavadero entre contracuneta y cuneta en drenaje superficial, Sección en corte, Detalle, 2017

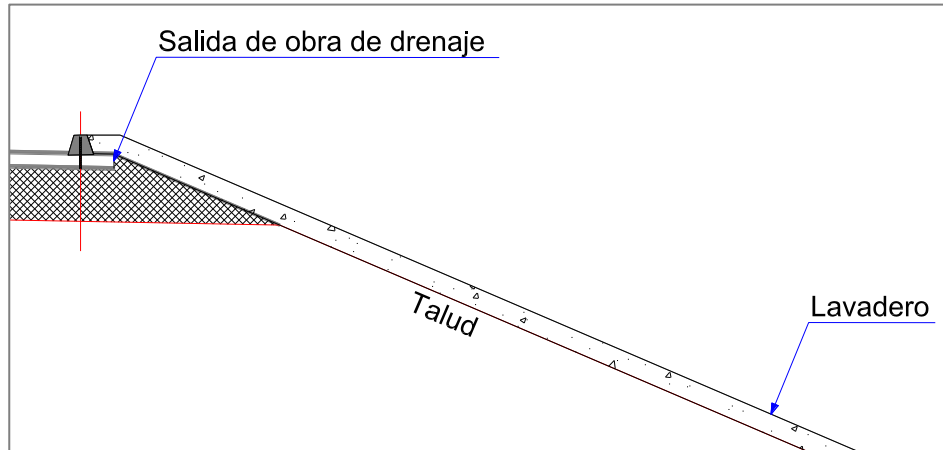


Figura 3.5 – Ubicación de lavadero a la salida de las obras de drenaje transversal, Detalle, 2017

En lo que respecta a las cajas disipadoras, éstas estarán colocadas también en la salida de las obras de drenaje, y no sólo a la entrada de las mismas, por lo que la relación de su ubicación será la misma que la de las obras de drenaje transversal, además de que sus dimensiones estarán sujetas a las dimensiones de las obras de drenaje menor (Figuras 3.6 y 3.7).

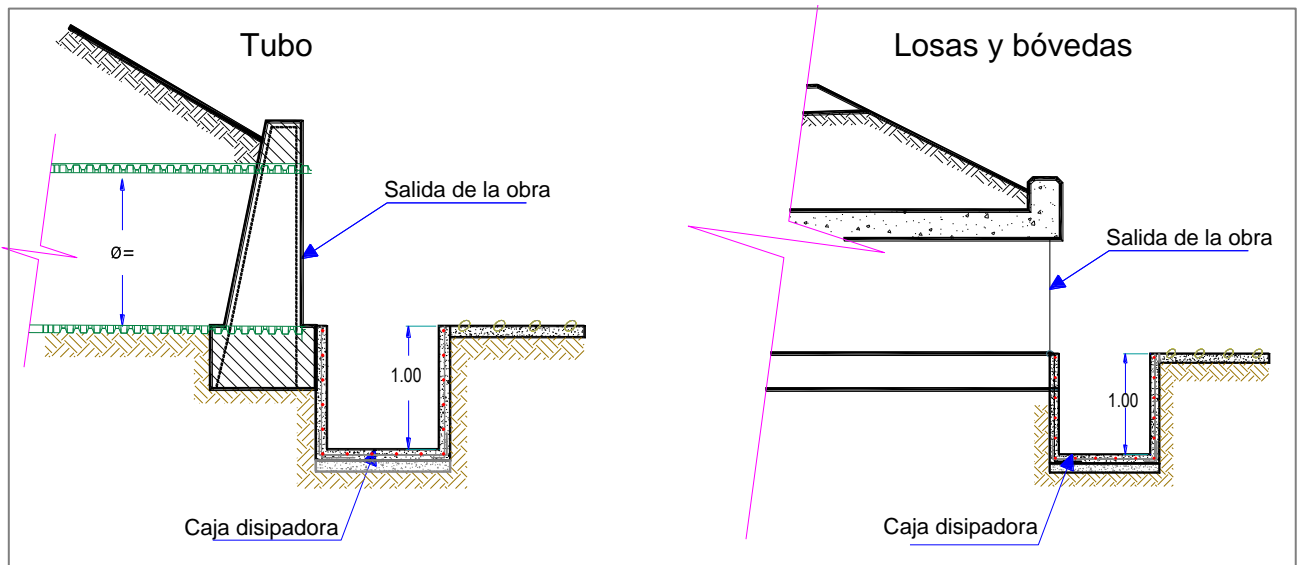


Figura 3.6 – Sección normal de ubicación de caja disipadora en tubos, losas y bóvedas, Detalle, 2017

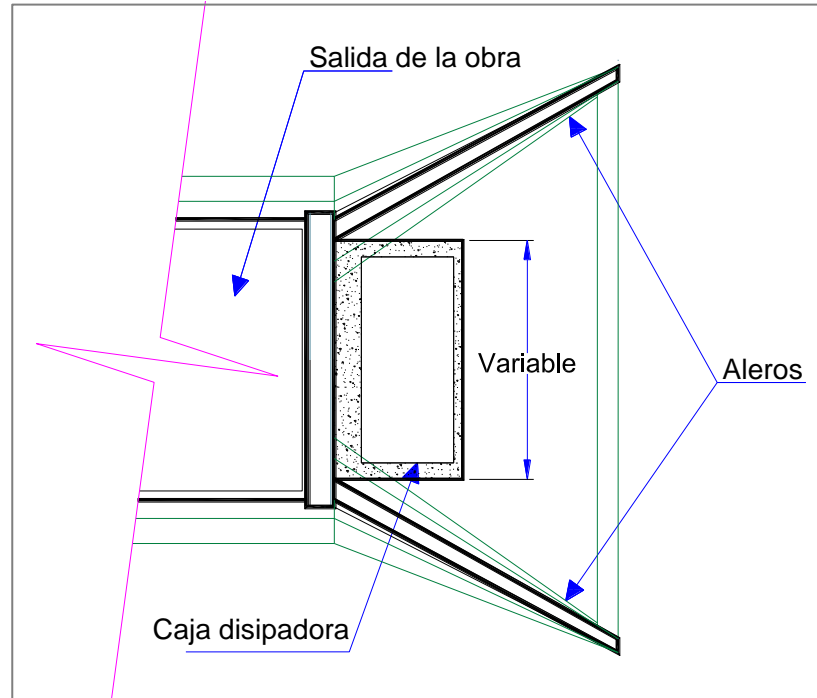


Figura 3.7 – Vista en planta de caja disipadora en obras de drenaje transversal., Detalle, 2017

3.3 Subdrenaje

El agua que se precipita sobre la corteza terrestre puede seguir dos rutas principalmente: 1) Se queda en la superficie de terrenos impermeables formando ríos o lagos; 2) Se infiltra al suelo para formar parte del suministro subterráneo de agua (de forma estancada o en corriente).

El exceso de agua subterránea en los caminos puede originar distintas alteraciones, como desprendimientos de tierra, deslaves, formación de lodazales o grietas que pongan en riesgo la estabilidad de la carretera.

El drenaje subterráneo es parecido al drenaje superficial ya que las capas permeables del subsuelo forman canales bien definidos o vasos de almacenamiento de agua subterránea, de la misma forma que lo hace en la topografía de la superficie del terreno. Cualquier sitio necesita un sistema de subdrenaje, tanto para la construcción de un camino nuevo o para la estabilización y mejoramiento de uno ya construido.

El drenaje superficial se considera de mayor importancia que el subdrenaje al ser más indispensable, ya que ningún camino podría conservarse sin él; sin embargo eso no impide que haya lugares que tampoco puedan descartar la presencia de un sistema de subdrenaje, esto dependerá de las condiciones en las que esté el suelo del terreno y cómo esté constituido.



3.3.1 Presencia de agua en suelos

Como se ha estado mencionando, se ha demostrado que los excesos de agua en el cuerpo de un terraplén provocan una pérdida de resistencia en el terreno, además de originar asentamientos al quitarle humedad al suelo. La saturación de un suelo ocurre cuando los vacíos entre sus partículas se llenan con agua. El nivel freático⁷ varía de forma ascendente hasta la superficie del terreno cuando hay lluvias prolongadas, y descendente cuando concluye la precipitación.

El agua se presenta en los suelos en tres formas (*Figura 3.8*):

- a) Agua gravitacional: Es aquella que tiene facilidad de moverse bajo la influencia de la gravedad. Su presencia en un suelo dependerá de la permeabilidad del mismo, además de la periodicidad con la que llueva. Esta agua puede removerse con zanjas o tubos de drenaje.
- b) Agua capilar: Es aquella que se adhiere a las partículas de suelo por tensión superficial. No es afectada por la gravedad y tiene facilidad para moverse en cualquier dirección. Ésta agua sólo puede ser removida empleando métodos físicos como la evaporación, congelación, calentamiento o al someter el suelo a grandes presiones.
- c) Agua higroscópica: Es agua que se condensa de la atmósfera sobre las partículas del suelo y se enlaza a él. Esta agua está en cantidades tan pequeñas que no causa problemas, por lo cual no es necesario darle algún tipo de tratamiento a su presencia.

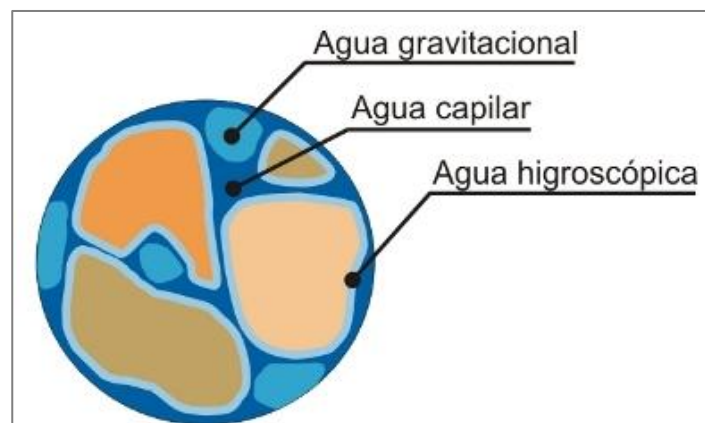


Figura 3.8 – Tipos de agua en el suelo. Ilustración, 2017
Recuperado de <https://edafologia2urjc.wikispaces.com/2.+Tipos+de+agua+en+el+suelo>

⁷ Se le llama *Nivel freático* o *NAF (Nivel de Aguas Freáticas)* al nivel de superficie de saturación, es decir, al agua subterránea que constantemente tiene a un suelo en estado de saturación.



La *porosidad* en un suelo se define como “la relación entre el volumen de vacíos y el volumen de masa.” (Juárez Badillo, 2005). Ésta relación nos puede indicar la cantidad de agua que un volumen de suelo puede retener entre sus partículas ^[10].

La *permeabilidad* es la facilidad con que un líquido pasa a través de un suelo. Ésta propiedad de los suelos depende del tamaño de sus vacíos y de cómo están conectados entre sí. En otras palabras la permeabilidad es “la eficiencia hidráulica de los huecos conectados entre las partículas de un suelo” (Mosqueira, R. Salvador, 1952).

La tracción capilar hace que el agua ascienda por arriba del nivel freático o se traslade de forma horizontal a suelos más secos. La cantidad de agua que asciende sobre el nivel freático por acción capilar va disminuyendo a medida que aumenta la altura desde el nivel freático. A continuación se presentan unas tablas que muestran el ascenso del agua capilar en suelos secos de diferentes consistencias, estos datos son de gran utilidad para poder determinar a qué profundidad deben colocarse tubos de subdrenaje.

Ascenso del agua capilar en suelos secos (centímetros)

SUELO	TIEMPO							
	Minutos	Horas		Días				
	15.00	1.00	2.00	1.00	3.00	8.00	13.00	19.00
Aluvión y arena muy fina	6.90	11.90	17.80	50.80	76.20	114.20	132.00	142.10
Arena muy fina	19.30	25.40	31.50	53.30	58.40	66.00	69.80	72.40
Arena fina	22.80	24.10	25.40	29.40	33.00	36.30	38.60	40.60
Arena gruesa y media	14.70	15.20	19.10	19.10	22.80	25.40	29.20	31.80
Grava fina	10.20	12.70	16.20	16.20	20.30	22.80	25.40	27.40

Cantidad de agua capilar arriba del NAF por día (kilogramos por metro cuadrado)

SUELO	ALTURA SOBRE EL MANTO DE AGUA			
	30 cm	60 cm	90 cm	120 cm
Arena fina media	11.58	10.11	6.01	4.45
Lama arcillosa media	10.01	7.91	4.89	4.39

Tabla 3.4 – Ascenso de agua capilar, 1952.
 Recuperado de Manual de drenaje de caminos

No sólo es necesario drenar el agua infiltrada en el subsuelo, también es conveniente dar salida a los escurrimientos subterráneos que vienen de las regiones más altas, ya que estas aportaciones pueden alcanzar el nivel freático o un estrato impermeable. A estos escurrimientos por lo general se les da salida abriendo zanjas, canales o colocando tuberías.



3.3.2 Subdrenes en zanja

Como el tema principal de éste trabajo es exponer el proyecto de modernización del sistema de drenaje de la Carretera Federal Palenque – San Cristóbal, se explicará el sistema de subdrenaje que se utilizó para dar solución al proyecto de drenaje final, que consistió en subdrenes en zanja.

Este tipo de subdrenaje longitudinal se coloca cuando en una carretera se realizan cortes en suelos con un nivel freático de configuración similar al terreno, esto quiere decir que cuando se realiza un corte se producirá un flujo en dirección a la excavación provocando la saturación del talud (Figura 3.9). El objetivo de estas zanjas es interceptar el flujo de agua que va en dirección al cuerpo del terraplén, disminuyendo los volúmenes de suelos saturados, sin embargo la principal función del subdren longitudinal en zanja es abatir el nivel freático, protegiendo también el pavimento [12]. (Figuras 3.9 y 3.10).

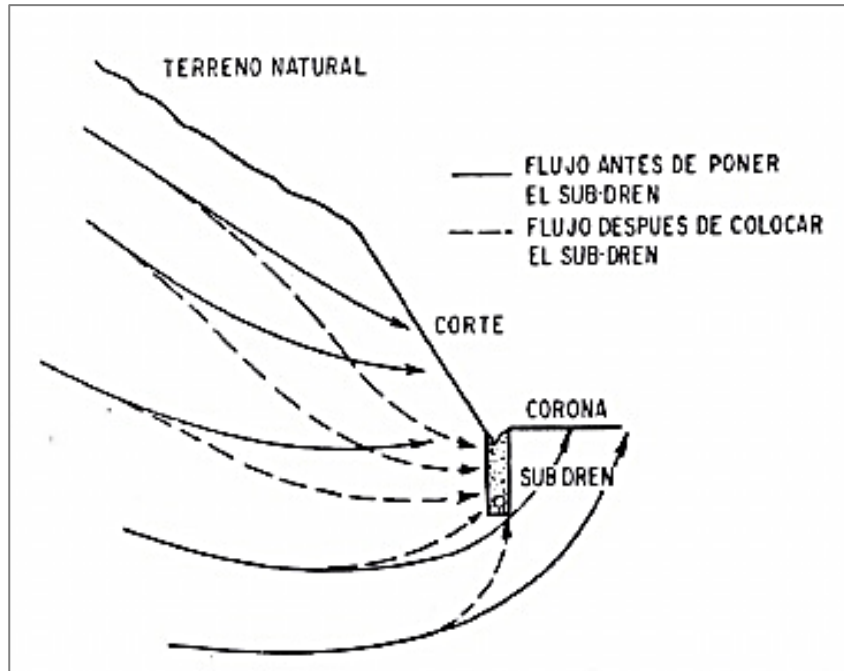


Figura 3.9 – Flujo hacia el talud y cama del corte, Ilustración, s.f.
Recuperado de <https://es.scribd.com/doc/187557686/Drenes-Longitudinales-de-Zanja>

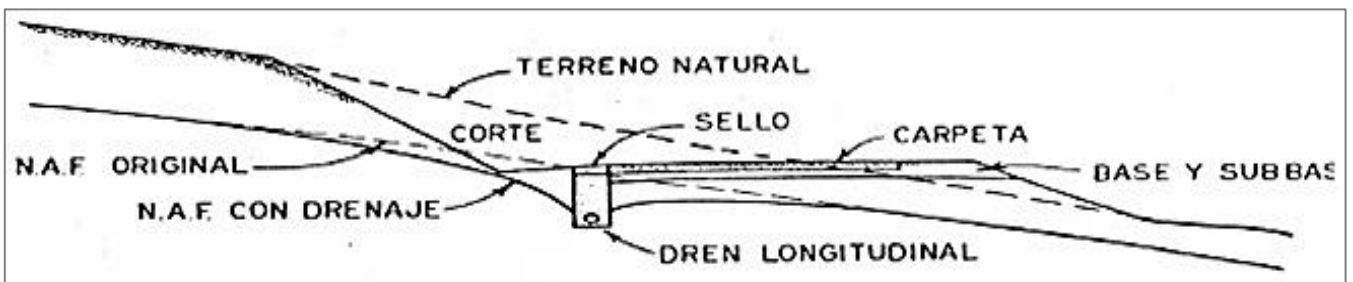


Figura 3.10 – Utilización común de los drenes longitudinales de zanja, Ilustración, s.f.
Recuperado de <https://es.scribd.com/doc/187557686/Drenes-Longitudinales-de-Zanja>



Como se había mencionado anteriormente, para poder hacer una correcta proyección de subdrenaje se requiere conocer las características del suelo del sitio, para lo cual en este proyecto se tomaron en cuenta las características y usos del suelo correspondientes al Estado de Chiapas (Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal, INAFED), las cuales nos dicen que ésta entidad cuenta con suelos muy aptos para el desarrollo de actividades agrícolas y ganaderas al poseer tierras con temperaturas medias superiores a los 23 grados centígrados sin grandes variaciones térmicas (tierras calientes). Chiapas también cuenta con tierras semicálidas y templadas, al estar a una altura entre 800 y 1500 metros sobre el nivel del mar, dónde la temperatura oscila entre 12 y 15 grados, y esto aunado a que Chiapas cuenta con alta pluviosidad (4,000 milímetros anuales máximo y 1,000 milímetros anuales mínimo), provoca que también haya climas fríos.

La constitución geológica del sitio de estudio de éste trabajo consiste principalmente en acrisol, litosol, cambisol, regosol, vertisol y nitisol. Estos suelos comparten ciertas características entre sí, como su textura fina y la presencia de arcillas en su composición mineral, además de ser suelos meteorizados, alterados y no consolidados de presencia predominante en bosques pastizados.

Como se puede ver en el siguiente detalle tipo, se colocó un subdren en zanja, dónde se puede ver que estarán colocados de forma paralela a las cunetas, con la intención de darle salida a los escurrimientos en los lavaderos ya ubicados. Lo anterior se ilustra en el *Anexo D* de éste escrito.

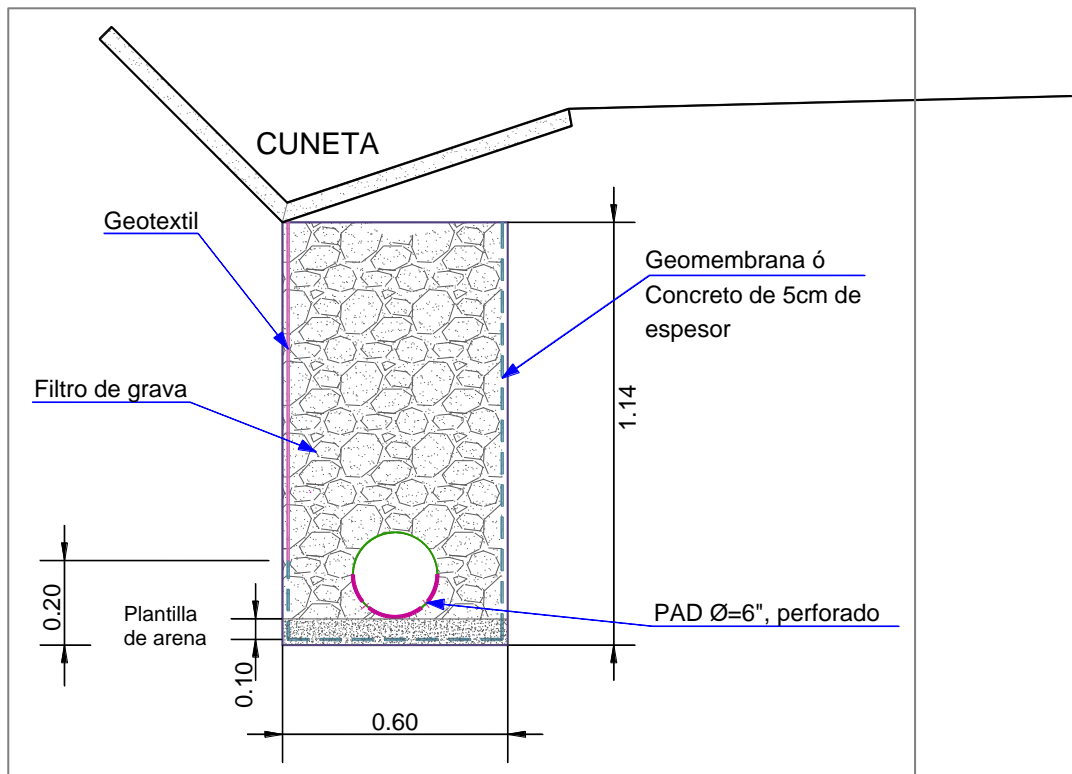


Figura 3.11 – Estructura de subdrenaje en zanja, Detalle, 2018



De acuerdo al detalle que se muestra en la Figura 3.11, se pueden ver los distintos elementos que componen un subdren en zanja, mismos que se describirán a continuación:

- a) Plantilla de arena: Una vez abierta la zanja del subdren, se debe de instalar una base estable para la tubería, por lo que se deberá de poner una platilla de arena, colocándose en capas de 10 centímetros e ir las compactando al 90% hasta obtener el espesor especificado en el proyecto.
- b) Tubería de Polietileno de Alta Densidad (PAD): De acuerdo a la normatividad (N.CMT.3.06/10), las tuberías de Polietileno corrugado de alta densidad son “Ductos de sección circular fabricados con resina termoplástica, formados por una pared interior lisa y corrugaciones exteriores”.

Como se indica en el detalle (Figura 3.12), la tubería debe estar perforada de la parte inferior para captar por capilaridad el agua subterránea que entre al subdren ^[13].

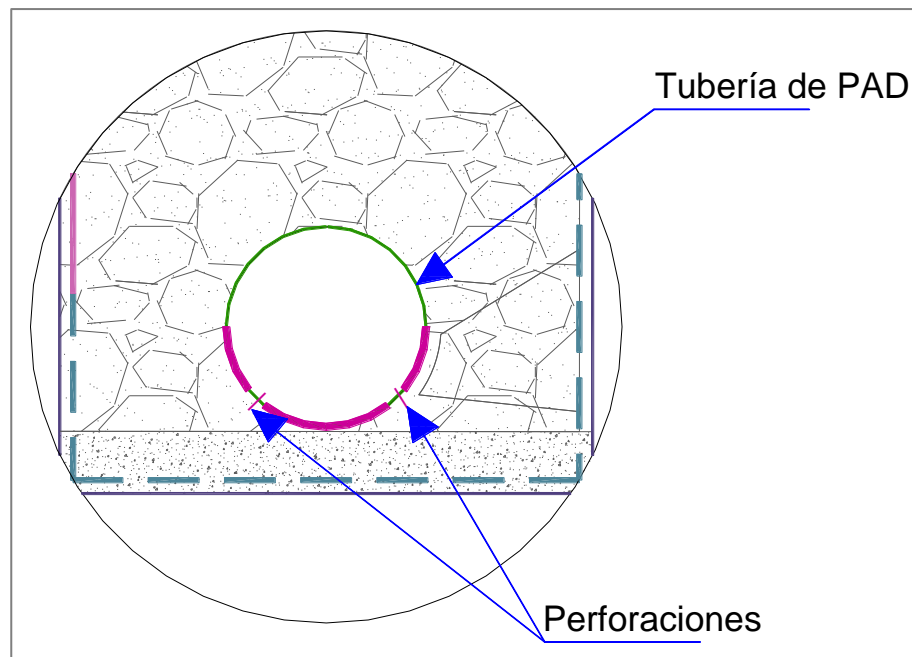


Figura 3.12 – Perforación de tubería, Detalle, 2018

- c) Geotextil: Los geotextiles utilizados en sistemas de subdrenaje son telas permeables que tienen como función filtrar partículas de suelo sometidas a fuerzas hidrodinámicas permitiendo el libre flujo de agua a la estructura del subdren. Las características que se deben de considerar para la elección del geotextil deben ser la permeabilidad, la abertura eficaz de los poros y el espesor de la tela.



- d) **Geomembrana:** De modo opuesto al geotextil, la geomembrana es una tela impermeable cuya función es impedir que el agua captada por el subdren llegue al cuerpo del camino que pueda reblandecer el material. Se debe procurar tener una buena calidad de ésta tela, cuidando su espesor, la abertura de los poros y el material con que esté hecha (materiales sintéticos).
- e) **Filtro de grava:** El cuerpo del subdren está conformado en su mayoría por una capa de gravas y arenas que filtrarán el agua freática que aún pueda contener residuos de materiales solidos aún después de haber pasado por el geotextil. El material debe cumplir con las especificaciones de la normatividad vigente (*Anexo E*), además de que tendrá que ser obtenido de los bancos de material cercanos al sitio.

3.4 Proyección de los perfiles transversales

La proyección de las secciones transversales nos será de gran ayuda para poder elegir el tipo de alcantarilla más óptimo para cada cuenca. Estos perfiles corresponden a los ejes de las obras de drenaje que se proyectarán, pueden ser normales al eje principal del camino o esviados.

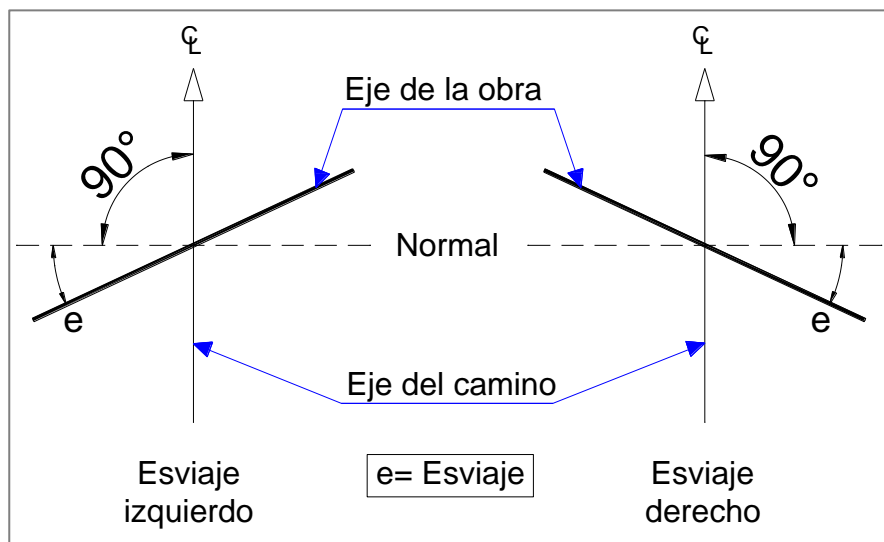


Figura 3.13 - Eje de las alcantarillas, Ilustración, 2018

Una obra de drenaje será normal o esviada dependiendo en qué dirección se presente el cauce principal de la cuenca respecto al eje principal de la carretera. Esto quiere decir que la dirección que se le dé a la alcantarilla debe garantizar que el agua sea captada correctamente, y así mismo se asegure que el agua siga su cauce de la forma más natural posible (Figura 3.14).

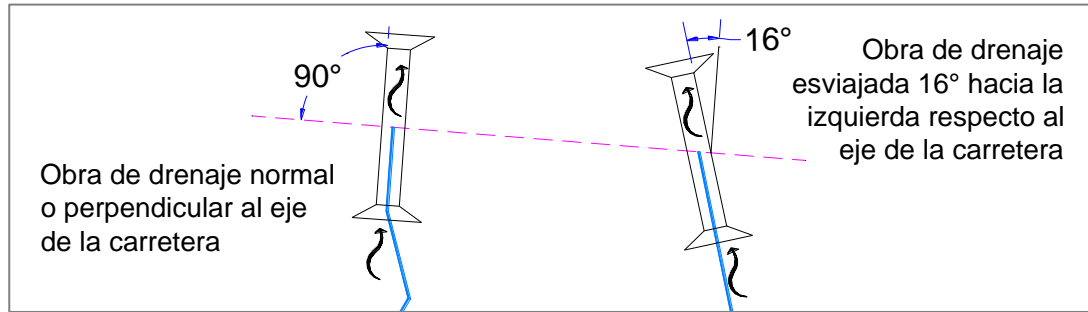


Figura 3.14 – Esviaje de alcantarillas, Ilustración, 2018

Una vez que se tiene la ubicación y la dirección que tendrán las obras de drenaje que requiera la carretera, se procederá a recaudar los datos hidráulicos e hidrológicos que nos darán la pauta para conocer de qué capacidad será la alcantarilla. La información requerida es la siguiente:

1. Área por drenar: Conociendo la ubicación de las alcantarillas, recordando que se obtuvo de delimitar las cuencas hidrológicas cuyos escurrimientos desembocan en el camino como se muestra en el *Anexo D*, es necesario conocer el área tributaria del escurrimiento para el cual se pretende proyectar la obra. Existen distintos métodos para conocer este valor, en éste caso se tuvo el apoyo de la planta topográfica a escala y con ayuda del programa AutoCAD, estas áreas deben de obtenerse en hectáreas.
2. Área hidráulica necesaria: El área hidráulica necesaria es aquella que es capaz de dejar pasar determinado caudal producido por la precipitación del sitio. Existen métodos elaborados para calcular el gasto hidráulico de forma casi precisa (como el Método Racional Americano para el gasto hidrológico y el Método Sección-Pendiente para el gasto hidráulico^[10]), aunque también existe una fórmula empírica para obtener este mismo dato de forma menos precisa y que fue cómo se obtuvo el caudal para éste proyecto.

La fórmula empírica de Talbot es utilizada con resultados aceptables hasta la fecha y está expresada de la siguiente forma:

$$\text{Área hidráulica necesaria (m}^2\text{)} = 0.1832 C \sqrt[4]{A^3}$$

Dónde: A = Área por drenar en hectáreas (Ha)

C = Coeficiente de terreno, para una precipitación de 10cm por hora.

A continuación se presenta una tabla con los valores de C según el tipo de terreno del sitio:

TIPOS DE TERRENO				
Escarpado C=1.00	Montañoso C=0.8	Lomerío C=0.6	Ondulado C=0.5	Plano C=0.3



Es a partir de este punto dónde toda la información mencionada anteriormente nos permitirá hacer un análisis detallado al momento de hacer una buena elección de obra, tomándose en cuenta los siguientes aspectos:

- a) **Área hidráulica necesaria:** De acuerdo a éste valor, se puede colocar una batería de una, dos o más líneas de tuberías para cubrir un área igual respecto a otro tipo de obra, como una losa, una bóveda o un cajón, dependiendo los factores que se explicarán a continuación. Cabe mencionar que la obra que se elija debe cumplir un espacio libre correspondiente al 20% de su altura total para dar paso a la materia flotante que contenga el escurrimiento, además de garantizar que no trabajará a presión si se trata de una tubería.

- b) **Pendiente de la obra:** Es la pendiente de la obra la que nos dirá qué tipo de alcantarilla debemos elegir para una correcta eficiencia hidráulica, atendiendo a que una óptima proyección debe adaptarse en medida de lo posible a las condiciones naturales del terreno (*Figura 3.15*). Aunque también se toman en cuenta otros aspectos, principalmente se considera lo siguiente:

Pendiente (%)	Tipo de obra
< 12	Losa/Cajón/Tubería
12 < S < 20	Bóveda/Tubería
20 < S < 45	Tubería

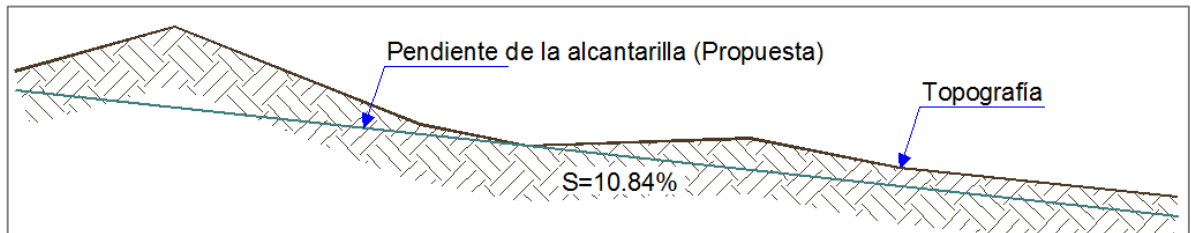


Figura 3.15 – Proyección de sección transversal sobre el eje de la alcantarilla, Ilustración, 2018

Cuando se trate de tubos con una pendiente de entre 30% y 45% deberán de colocarse muros de anclaje a determinada distancia dentro de la longitud de la obra para evitar un fallo por deslizamiento.

- c) **Altura mínima y máxima de los terraplenes o rellenos:** Es otro punto importante a considerar, pues aunque una alcantarilla se rija hidráulicamente por la pendiente de la misma, también debe tener las dimensiones necesarias para garantizar un colchón mínimo en el hombro más desfavorable. Los valores de colchones mínimos que se deben de considerar para cada tipo de obra son:



Tipo de obra	Colchón mínimo
Tubo de concreto	0.80 m
Tubo de lámina	0.30 m
Losas y cajones de concreto armado	0.20 m
Bóvedas de mampostería	1.00 m

Tabla 3.5 – Tipos de alcantarillas según pendiente de terreno, 2017

Los colchones mínimos sobre la superestructura de la obra son los que nos darán el valor de la rasante mínima medida sobre el eje principal del camino.

- d) Capacidad de carga del terreno: Este factor resulta ser determinante para la elección del tipo de obra ya que nos proporcionará información que pueda evitar que una losa, bóveda o cajón fallen por inestabilidad en su cimentación. La interacción suelo-estructura tendrá mucho que ver en que una obra deba modificar su geometría o ser reemplazada por otra, aunque muchas veces estos cambios no resulten ser los más económicos. De acuerdo a la experiencia, se ha concluido que la capacidad de carga mínima para la instalación de tubos, losas o cajones es $1\text{kg}/\text{cm}^2$.

Para cada punto mencionado anteriormente se debe recordar la importancia del drenaje carretero, su estabilidad, funcionamiento hidráulico y economía del proyecto integral.

En el siguiente subcapítulo se definirán las obras de drenaje que se proyectaron o aprovecharon en la Carretera Federal Palenque - San Cristóbal, así como una relación de los datos requeridos que ya han sido mencionados.

3.5 Funcionamiento del drenaje preliminar

Cuando ya se conoce la ubicación de las obras, el gasto por drenar, su dirección respecto al eje de la carretera, el tipo, y las propiedades del suelo se tienen las bases suficientes para dar una solución correcta del presente proyecto. El funcionamiento del drenaje es una recopilación de datos, relacionados entre sí, para justificar una relación de obras en tramos de 5 kilómetros⁸. La información recaudada en éste proyecto se muestra en la siguiente tabla:

⁸ En éste caso se considerarán sólo 3 kilómetros por motivos en la autorización en la exposición de ésta información presentada.



N°	ESTACION	TIPO DE OBRA EXISTENTE	OBRA ACEPTADA				TIPO DE OBRA	CRUCE	SENT. DEL ESCURRIM.	NOTAS
			DATOS HIDRAULICOS							
			A	C	AHN					
1	85+095.96	T.C. DE 1.0 M	1.57	0.9	0.23	T.C. 1.0 M	ESV 20°30' DER	---->>>>		
2	85+202.76	T.C. DE 1.20 M	0.53	0.9	0.1	T.C. 1.20 M	ESV 37°31' DER	---->>>>		
3	85+324.62	T.C. DE 1.0 M	0.75	0.9	0.13	T.C. 1.50 M	ESV 01°03' DER	---->>>>		
4	85+529.51	T.C. DE 1.0 M	1.19	0.9	0.19	T.C. 1.50 M	ESV 02°17' DER	---->>>>		
5	85+688.45	T.C. DE 1.0 M	1.86	0.9	0.26	T.C. 1.00 M	ESV 32°52' DER	---->>>>		
6	85+795.73	T.C. DE 1.0 M	11.46	0.9	1.03	T.C. 1.50 M	ESV 04°34' DER	---->>>>		
7	86+040.00		0.66	0.9	0.12	LOSA DE 2.0 X 1.5 M	NORMAL	---->>>>		
8	86+460.00		2.69	0.9	0.35	LOSA DE 2.0 X 1.5 M	NORMAL	---->>>>		
9	87+076.93	T.C. DE 1.0 M				T.C. 1.00 M	ESV 03°47' IZQ	---->>>>		
10	87+233.53	T.C. DE 1.0 M	7.95	0.9	0.78	T.C. 1.50 M	NORMAL	---->>>>		
11	87+385.30	T.C. DE 1.0 M	22.33	0.9	1.69	T.C. 1.50 M	ESV 06°12' DER	---->>>>		
12	87+608.18	T.C. DE 1.0 M	14.91	0.9	1.25	T.C. 1.50 M	ESV 07°31' DER	---->>>>		

Tabla 3.6 – Funcionamiento de drenaje preliminar, 2018

Como se puede apreciar, todos los datos recabados nos aportan la información necesaria para dar una relación de obras que darán solución al proyecto de drenaje. En éste caso la mayoría de las obras son existentes, sin embargo se optó por reemplazar las tuberías por unas de mayor diámetro ya que no contaban con las condiciones adecuadas para operar de forma óptima. Sólo se proyectarán dos nuevas alcantarillas (en los cadenamientos 86+040 y 86+460) que consistirán en losas de concreto de 2 m de claro por 1.50 m de gálibo.

También se puede observar que se utilizó un coeficiente de terreno de 0.9 que va de escarpado a montañoso que es terreno predominante en Chiapas (además de que éste estado tiene lluvias prominentes, por lo cual no es conveniente reducir mucho el área hidráulica necesaria). Además de lo anterior, también se indica el esviaje de cada obra y el sentido del escurrimiento (derecho).

Todos éstos datos en conjunto serán preliminares, ya que antes de aprobar dichas obras se deberá de revisar que el proyecto vial cumpla con la geometría necesaria para dar espacio a las alcantarillas proyectadas, esto no sólo quiere decir que los terraplenes deben tener el espesor suficiente sino que además deben de cumplir con los niveles de subrasante mínima proyectados por el ingeniero en terracerías, mismo análisis que se explicará en el capítulo 4, donde además se dará conclusión a la solución del proyecto de drenaje de la Carretera federal Palenque - San Cristóbal.



Capítulo 4 – Estudios del proyecto de drenaje definitivo

Una vez que se tienen las obras de drenaje propuestas para dar salida a los escurrimientos que llegan al tramo de la carretera que se está estudiando se procede a evaluar si éstas se adaptan a la geometría del proyecto de la carretera. En éste último capítulo se abordarán temas enfocados a procesos de terracerías como fase final de la solución del proyecto de drenaje carretero, así como los cálculos necesarios para cuantificar los materiales que se utilizaron en la construcción de las obras de drenaje y concluir con la relación de obras en el funcionamiento de drenaje definitivo incluyendo las notas correspondientes para el óptimo funcionamiento de cada alcantarilla proyectada con sus respectivas obras complementarias.

4.1 Estudio de subrasante mínima

En el capítulo 2 de este trabajo se describieron las diferentes capas que conforman una carretera, ésta se divide en dos: pavimento y terracerías. Entre las capas que conforman a las terracerías se encuentra una llamada *capa subrasante*, es dicha capa la que nos dará el nivel de subrasante de un proyecto carretero. En otras palabras, el nivel de subrasante es la elevación del camino en algún punto determinado sin considerar el espesor del pavimento. Es importante mencionar en este punto que las obras de drenaje suelen adaptarse al nivel de subrasante y no de rasante (nivel que incluye el espesor del pavimento) ya que en la mayoría de los casos el espesor del pavimento puede variar por distintas necesidades de cada proyecto.

De acuerdo al Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras (SCT), la subrasante mínima también debe ser la más económica, esto se logra a partir de obtener un nivel de subrasante que involucre un movimiento de tierras mínimo, es decir, el que tenga el menor volumen de cortes y terraplenes posible. Sin embargo este concepto, que se refiere a los costos de construcción, debe cumplir con varios puntos que garanticen la operación y mantenimiento de la carretera una vez que esté en funcionamiento. Los aspectos a considerar son los siguientes:

1. *“El alineamiento horizontal es definitivo, ya que todos los problemas inherentes a él han sido previstos en la fase de anteproyecto”*. El alineamiento horizontal es la proyección sobre un plano horizontal del eje de la subrasante del camino. El alineamiento horizontal está compuesto por tangentes, curvas circulares y curvas de transición. Estos elementos se rigen principalmente por la seguridad, ya que curvas muy prolongadas son potencialmente peligrosas para los usuarios de una carretera, además de que los cambios de curvatura deben hacerse de forma gradual, tanto en cambio de dirección como en sobrelevación y ampliación si es necesario, ya que debe haber un control de la fuerza centrífuga de los vehículos en dichas curvaturas y transiciones.



2. “La subrasante a proyectar debe permitir alojar alcantarillas, puentes y pasos a desnivel”.

La elevación de la subrasante debe ser la necesaria para evitar humedades perjudiciales a las terracerías o al pavimento, causadas por zonas de inundación o humedad excesiva en el terreno natural. ^[14]

Por lo anteriormente mencionado, la subrasante mínima es entonces la elevación mínima correspondiente a puntos determinados a los que la subrasante más económica debe sujetarse. En la siguiente tabla se hará una breve explicación de los elementos a los que la subrasante mínima se debe de sujetar:

Drenaje transversal (Obras menores)	Para no alterar el funcionamiento hidráulico del drenaje carretero, es necesario que el estudio de subrasante respete la elevación mínima que requiere el proyecto de las alcantarillas.
Puentes (Obras mayores)	La construcción de puentes será necesaria cuando sea inevitable cruzar causes, sin embargo no será conocido el nivel de subrasante hasta que esté construida la estructura. Se deben de considerar los siguientes datos para conservar un buen alineamiento vertical: a) Elevación del Nivel de Aguas Máximas Extraordinarias (NAME). b) Sobreelevación de las aguas ocasionadas por el estrechamiento que origina el puente en el caudal. c) Espacio libre vertical necesario para dar paso a cuerpos flotantes. d) Peralte de la superestructura.
Zonas de inundación	Con el fin de proteger a las terracerías y al pavimento de estar en contacto con el agua, es recomendable que el nivel de subrasante sea por lo menos un metro por encima del NAME. Dicho dato estará dado en función de la zona específica de inundación.
Intersecciones	Los cruces que tiene un camino que se proyectará con uno ya existente dan lugar a intersecciones a nivel o a desnivel. En éste último caso el proyecto se evaluará económicamente para ver si conviene o no hacer un paso inferior o superior, pero en cualquier caso la subrasante deberá adaptarse a las condiciones existentes.

Tabla 4.1 – Elementos que definen la subrasante mínima, 2018.

4.1.1 Secciones de construcción

Las secciones de construcción son las representaciones gráficas de las secciones transversales que contienen los datos del proyecto geométrico de la carretera así como los correspondientes al tratamiento de las terracerías.

Las secciones de construcción serán el último elemento a considerar antes de definir el proyecto final de drenaje carretero. Los elementos que se ilustran en una sección de construcción son los siguientes:



- | | |
|--------------------------|----------------------------------|
| a) Ancho de corona | f) Longitud de la transición |
| b) Ancho de calzada | g) Espesor del pavimento |
| c) Ancho de acotamiento | h) Ancho de semicoronas |
| d) Pendiente transversal | i) Talud de corte o de terraplén |
| e) Ampliación en curvas | j) Dimensión de cunetas |

A continuación, se tomará como ejemplo la sección de construcción de la obra de drenaje proyectada en el kilómetro 85+529.51 que corresponde a una tubería de concreto con un esviaje izquierdo de $3^{\circ}47'$ (Figura 4.1). Las secciones de construcción de todas las obras proyectadas se pueden ver en el Anexo F.

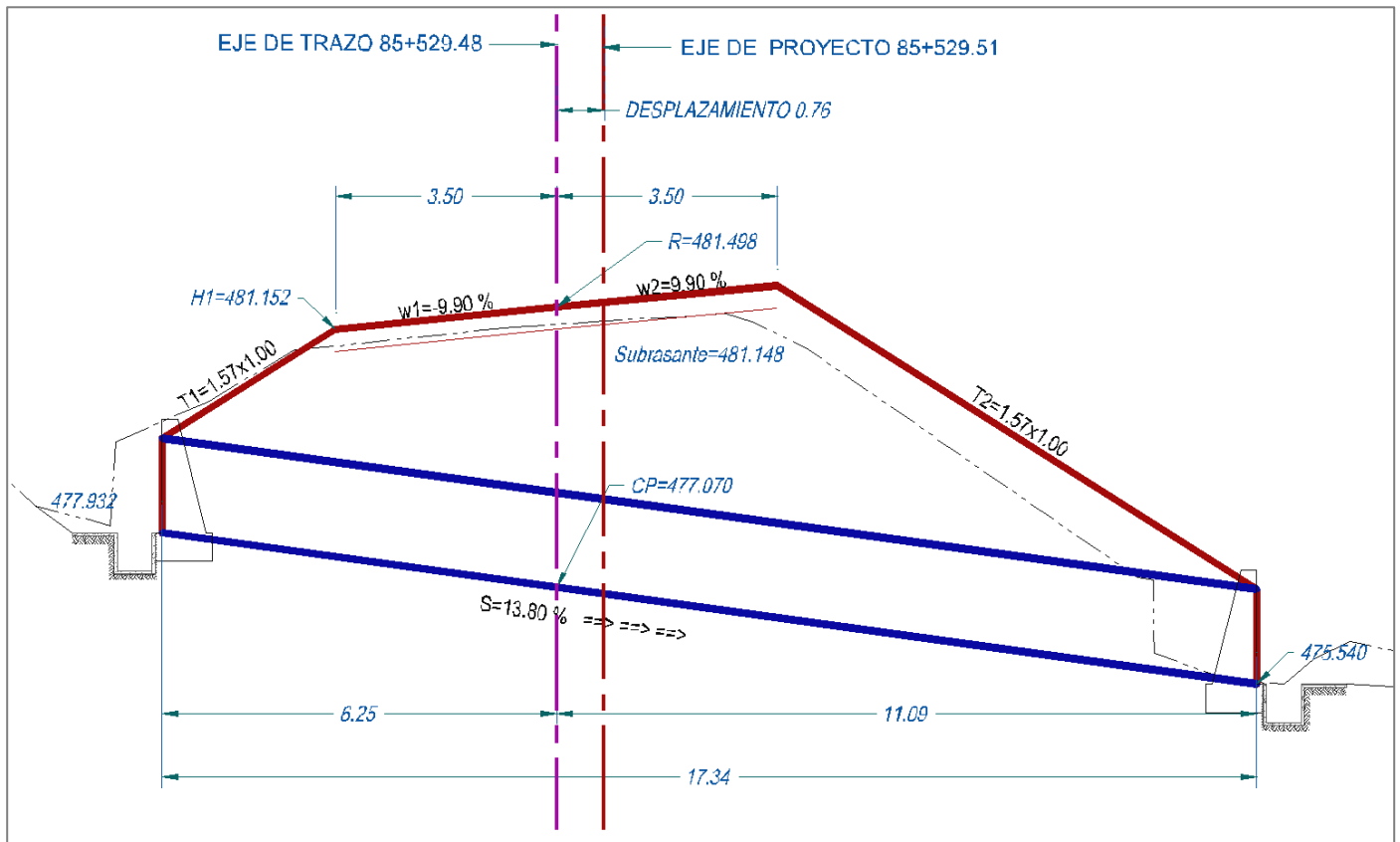


Figura 4.1 – Sección de construcción, obra de drenaje 85+529.51. Ilustración, 2018.



Como se puede observar, se indica un nivel de subrasante sobre el eje del proyecto de 481.148, éste nivel ha sido dado previamente por el ingeniero en terracerías considerando los criterios ya mencionados para cumplir con las condiciones requeridas para un óptimo alineamiento vertical y horizontal.

El alineamiento vertical es la proyección sobre un plano vertical del eje de la subrasante del camino y se compone de tangentes y curvas. Son los vehículos que transiten por un camino los que nos darán las condiciones geométricas que tendrá la proyección del alineamiento vertical, esto quiere decir que la relación peso-potencia de un vehículo definirán las características de operación que determinarán la velocidad con la que se es capaz de correr en una pendiente longitudinal dada.

El método para saber si una obra de drenaje tiene cabida en el sitio dónde se proyectará sin afectar el alineamiento vertical es la siguiente:

1. Se obtendrá el nivel de desplante de la obra sobre el hombro del terraplén más desfavorable, éste último será el que tenga el espesor menor para cumplir con el colchón mínimo requerido, en el ejemplo de la figura 4.1 será el hombro izquierdo. El nivel de desplante será el propuesto en el funcionamiento de drenaje preliminar dónde se le dio pendiente a la alcantarilla ajustándose a las condiciones naturales del terreno.
2. Una vez que se tiene la elevación de ese punto (Figura 4.2) se efectúa la siguiente operación:

$$\text{Nivel de sub mínima} = [\text{Desplante sobre el hombro más desfavorable} + \text{Gálibo de la alcantarilla} + \text{Espesor de la obra} + \text{Colchón mínimo} + (\text{Semicorona} \times \text{Sobreelevación})] - \text{Espesor del pavimento}$$

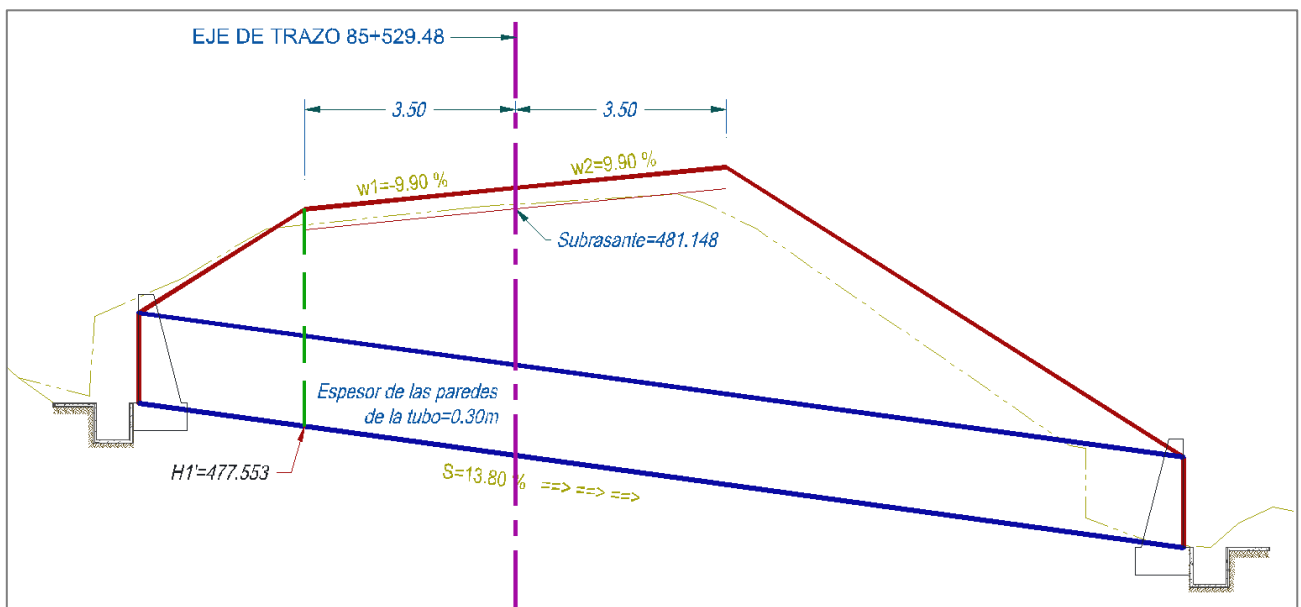


Figura 4.2 – Nivel de desplante sobre eje del hombro más desfavorable en la obra de drenaje 85+529.51. Ilustración, 2018.



De acuerdo a la fórmula y a los datos proporcionados, el cálculo queda de la siguiente forma:

$$\text{Nivel de sub mínima} = [477.553 + 1.50 + (0.30 \times 2) + 0.80 + (3.5 \times 0.099)] - 0.45 = 480.3495$$

Como se puede ver el nivel de subrasante resultante de ésta operación es inferior al nivel de subrasante proyectado previamente por un ingeniero en terracerías (480.3594 < 481.148), por lo que se considera aceptable la obra de drenaje proyectada previamente como obra definitiva en el tramo analizado.

Este mismo procedimiento se lleva acabo para todas las obras proyectadas en el funcionamiento de drenaje preliminar, haciendo variar únicamente el valor del colchón mínimo correspondiente para cada tipo de estructura.

Cuando una estructura no cumple con el espacio necesario para la instalación de cierto tipo de alcantarilla ésta deberá ser remplazada por otra que cumpla con la eficiencia hidráulica necesaria para drenar el agua que llegue al camino. En el caso de las tuberías, se puede reemplazar una de diámetro igual a 1.5m por dos de 1.20m, o bien, sustituirla por una losa de concreto con un gálibo suficiente hidráulicamente.

En el punto 4.4 se dará la relación de los niveles de desplate y de subrasante de proyecto en los kilómetros dónde se requirió la instalación de una obra de drenaje.

4.2 Cálculo de longitudes de obra

Una vez que se tienen aprobado el tipo de estructura que tendrá una alcantarilla se procede a calcular todo lo que implicará la construcción de la misma, es decir el cálculo de las longitudes de obra. Las longitudes de obra son el principal auxiliar para la proyección de las secciones transversales y de la cuantificación de cada obra de drenaje, estas estarán sujetas no sólo de las dimensiones de la alcantarilla o del terraplén mismo, sino también del sentido del escurrimiento⁹, el esviaje de la obra, la inclinación de los taludes ancho de semicoronas y otros elementos que se especificarán a continuación.

Cabe mencionar que todas las fórmulas que se presentarán son tomadas del Manual práctico para cálculo geométrico del drenaje en carreteras (Mondragón Rivera y Ricárdez Valencia, 1991), mismas que están avaladas por la Oficina de Drenaje y Estructuras Menores de la Dirección General de Carreteras de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), por

⁹ El sentido del escurriendo será izquierdo o derecho tomando como frente el sentido ascendente del cadenamiento.



lo que se consideran como oficiales y serán las que rijan cualquier cálculo de cantidad o longitud de obra de drenaje.

La longitud de cualquier obra de drenaje estará sujeta al siguiente formato:

CARRETERA <u>Palenque-San Cristóbal</u> TRAMO <u>Palenque-San Cristóbal</u> SUBTRAMO _____ DE Km <u>85+000</u> al Km <u>88+000</u> ORIGEN _____	ESTACIÓN _____ ALCANTARILLA DE _____ de _____ DE _____		
CÁLCULO DE LONGITUD DE OBRA			
LOCALIZACIÓN			
CRUCE	SENTIDO DEL ESCURRIMIENTO		
DATOS DE TERRACERÍAS EN EL CRUCE			
<u>SECCIÓN NORMAL</u>			
Subrasante elev. _____	Espesor de revestimiento _____		
Rasante de cálculo (R) = _____	Rasante de camino _____		
Espesor de la carpeta _____	Pendiente del camino (p) _____		
SEMI-CORONAS	SOBRE-ELEVACIONES		
Y1(izq) _____	W1(izq) _____		
Y2(der) _____	W2(der) _____		
SECCIÓN DE LAS TERRACERÍAS SEGÚN EL EJE DE LA OBRA			
X1 _____ m	tang.e= _____	X2 _____ m	
C1 _____ m	cos.e= _____	C2 _____ m	
R1 _____ m	sen.e= _____	R2 _____ m	
H1 _____ m	Tn= _____	H2 _____ m	
Cos e+/-k _____ m	k= _____	Cos e+/-k= _____ m	
T1= _____ m		T2= _____ m	
LONGITUD DE OBRA			
Pendiente (s)= _____ %	Espesor de la super estructura= _____ m		
Elevación (CL, D)= _____ m	Altura de la directriz (b)= _____ m		
PLANTILLA DEL CAUCE			
1/T1= _____	M= _____	Q= _____	
1/T1+/-S= _____	M1= _____	M2= _____	
F1= _____	F1'= _____	F2'= _____	
h1= _____	Q'= _____	Q'S= _____	
d1= _____			
L1= _____	L= _____	L2= _____	
α= _____	L'= _____	β= _____	
Entrada	Elevación _____ m	Centro elev. _____ m	Salida _____ m
DATOS COMPLEMENTARIOS			
Colchon en el CL= _____		Clasificación del terreno= _____	
NOTAS			

Como se puede ver, se incluyen datos generales del tramo carretero a analizar, como el nombre de la carretera, nombre del tramo analizado, nombre del subtramo y las cotas que lo delimitan (85+000 al 88+000). Los datos que respectan a cada obra de drenaje en particular son la



estación o cadenamamiento donde se ubica la alcantarilla, el tipo de estructura y las dimensiones de la misma.

En lo que respecta a los datos de terracerías, se hace una concentración de datos que incluye el valor de la subrasante de cálculo obtenida por el método descrito en el subtema anterior, la subrasante de camino proyectada por el ingeniero en terracerías, el espesor del pavimento y el nivel de rasante (resultante de sumar el nivel de subrasante de camino y el espesor del pavimento). Los datos de terracerías también incluyen los valores de “Y” y “W” que corresponden al ancho de semicoronas y sobreelevaciones respectivamente (*Figura 4.3*).

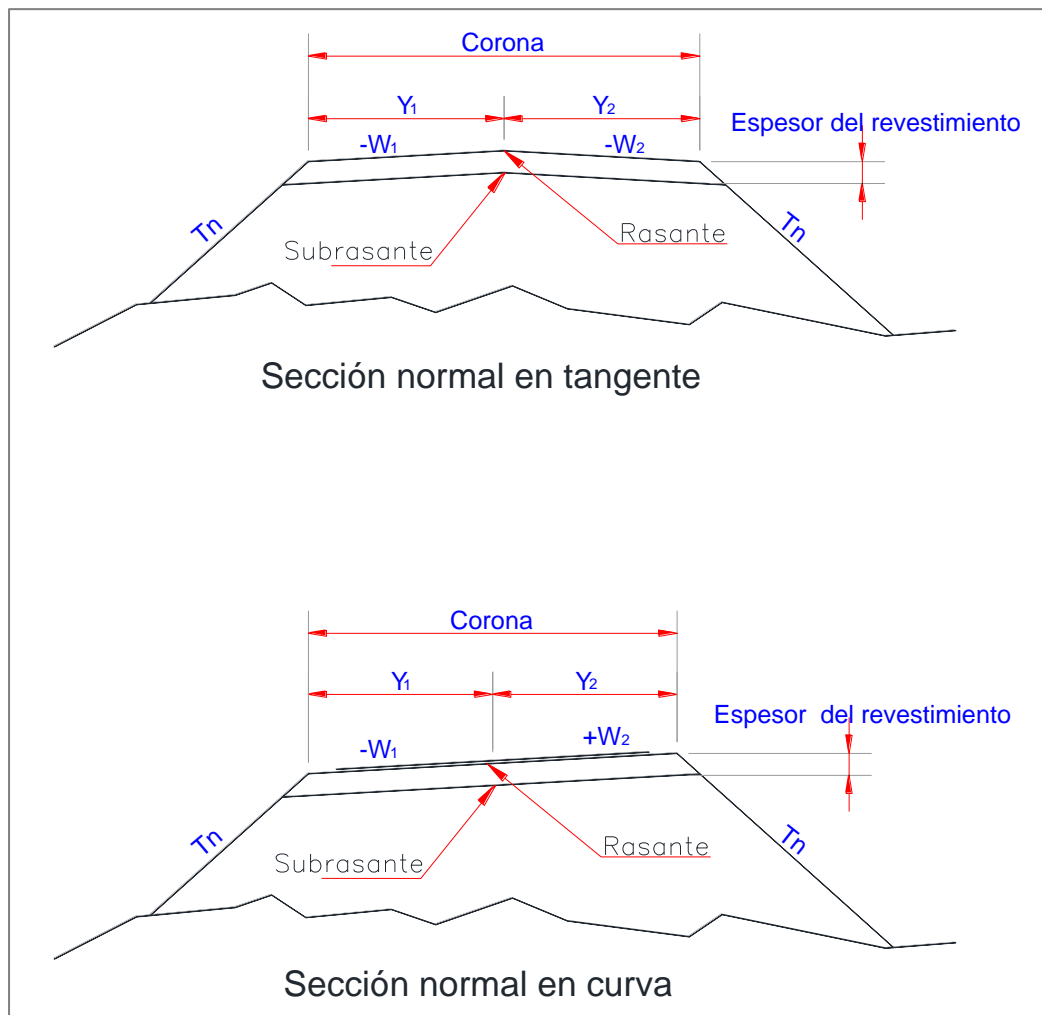


Figura 4.3 – Elementos considerados en el cálculo de longitud de obra, Ilustración, 2018

El formato anterior se divide en algunas secciones, en lo que respecta a los datos de Terracerías según el eje de la obra (*Figura 4.4*), se tiene lo siguiente:

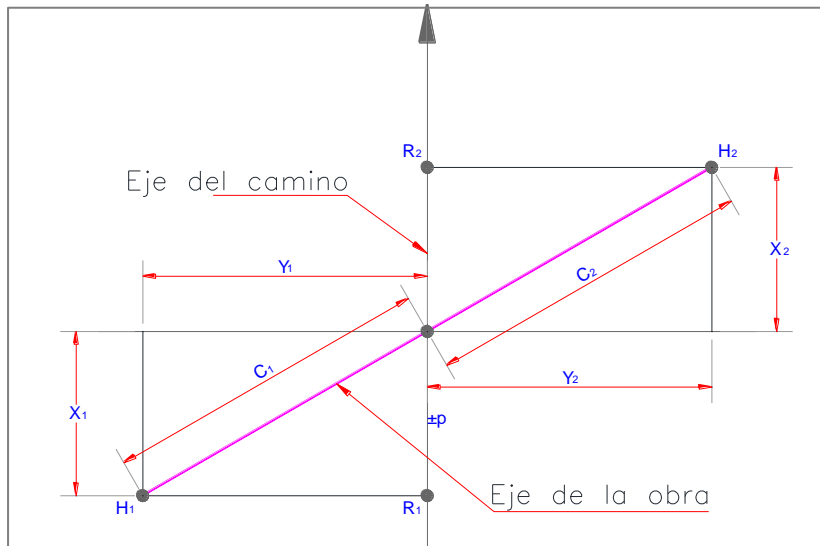


Figura 4.4 – Elementos considerados en el cálculo de la longitud de obra, Ilustración, 2018.

Valores de X_1 y X_2 : es la distancia del desplazamiento que provoca el esviaje sobre el hombro H en el eje de la obra de drenaje. Esta distancia se calcula aplicando la ley de senos:

- Eje normal o radial

$$X_1=0$$

$$X_2=0$$

- Eje esviado

- Esviaje izquierdo

$$X_1= - Y_1 (\text{Tan } e)$$

$$X_2= Y_2 (\text{Tan } e)$$

- Esviaje derecho

$$X_1= Y_1 (\text{Tan } e)$$

$$X_2= - Y_2 (\text{Tan } e)$$

La utilización de los signos + ó – dependerá del esviaje de la obra: (-) para el lado del esviaje y (+) para el lado opuesto. Es importante mencionar a este punto que todos los valores con subíndice 1 corresponderán al lado izquierdo y los de subíndice 2 al derecho.

Valores de C_1 y C_2 : Corresponde a la semicoronas esviada. La fórmula para calcular éste valor, tanto en sección normal como esviada es la siguiente:

$$C_1 = \frac{Y_1}{\cos e}$$

$$C_2 = \frac{Y_2}{\cos e}$$



Valor de R: Corresponde a la elevación de la rasante de cálculo en el eje de la carretera.

Por lo tanto R_1 y R_2 es la elevación de la rasante de cálculo en los puntos desplazados por el esviaje de la obra de drenaje, y las fórmulas para obtener estos valores son:

$$R_1 = R \pm (X_1 * p) \qquad R_2 = R \pm (X_2 * p)$$

El signo + ó – se empleará de acuerdo con el signo algebraico que resulte de $(x * p)$, dónde “p” es la pendiente longitudinal del camino.

Valores de H_1 y H_2 : Es la elevación de los hombros del camino según la dirección de la obra de drenaje. Estos valores tomarán la elevación de la rasante R_1 y R_2 y se suma o se resta el desnivel existente entre los hombros correspondientes H_1 y H_2 . Las formulas son las siguientes:

$$H_1 = R_1 \pm (Y_1 * W_1) \qquad H_2 = R_2 \pm (Y_2 * W_2)$$

El signo que se usará en el segundo término dependerá si la sobrelevación W es positiva o negativa.

Valores de T_1 y T_2 : Siendo que T_n es el talud para una sección en tangente, por lo tanto T_1 y T_2 son los taludes izquierdo y derecho respectivamente. La ecuación que nos dará la inclinación del talud esviado es la siguiente:

$$T_e = \frac{T_n}{\cos e \pm K} \qquad \longrightarrow \qquad K = p * T_n * \text{Sen } e$$

El signo + ó – dependerán del valor de “p” si es negativa o positiva.

Una vez que se tienen los datos relacionados a la terracería de la sección, ahora se calculará los elementos para tener finalmente las longitudes de obra (*Figura 4.5*).

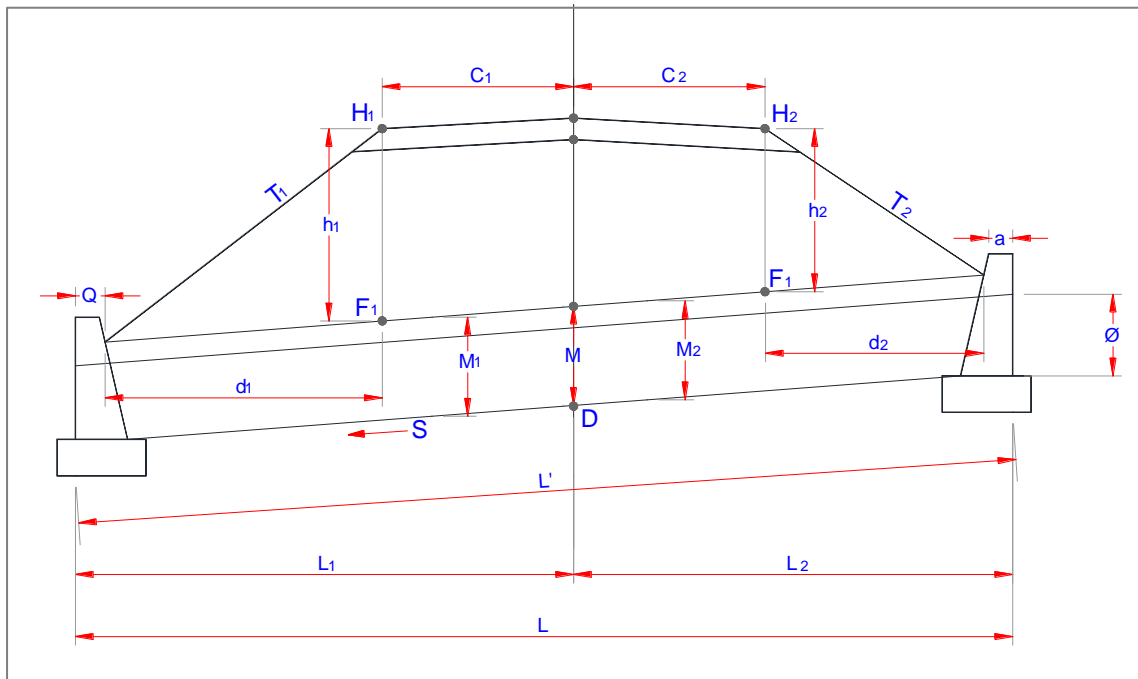


Figura 4.5 – Elementos considerados en el cálculo de la longitud de obra, Figura, 2018.

Valores de M: Este valor corresponde a la altura que hay entre la elevación del desplante y la directriz.

La directriz (b) se refiere a la altura que hay desde el punto dónde la línea del talud y la cara interna de la guarnición o del muro cabezote¹⁰ tienen contacto (Figura 4.6).

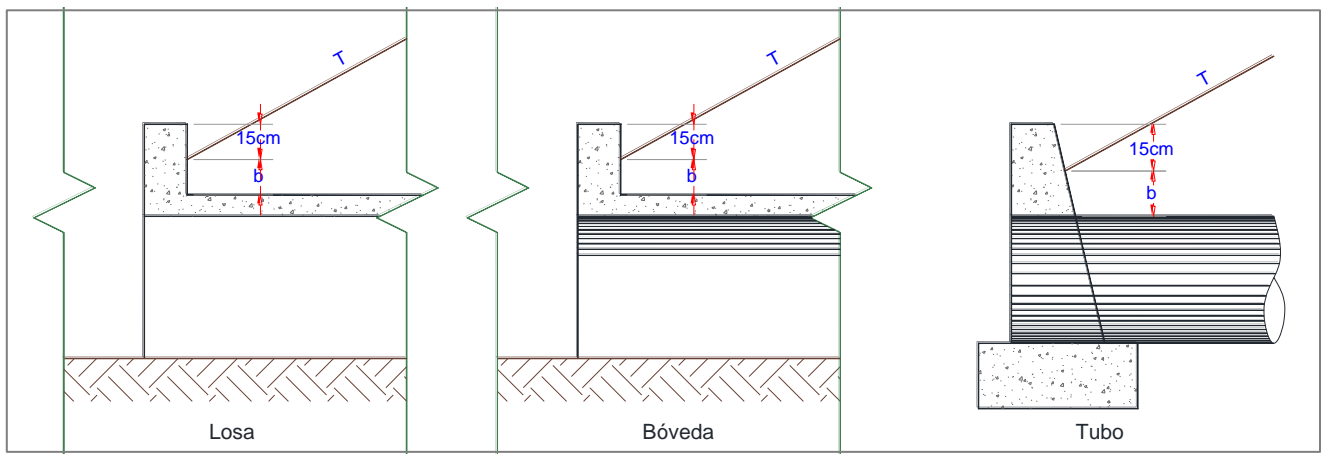


Figura 4.6 – Guarnición y muro cabezote, Ilustración, 2018.

Dependiendo el tipo de obra de la que se trate será la forma en que se obtendrá el valor de M:

○ Tubos \longrightarrow $M = \varnothing + b$

¹⁰ Cuando se trata de losas y bóvedas, se considerarán guarniciones. El caso de los tubos son muros cabezotes.



- Losas → $M = H + e + b$
- Bóvedas → $M = H + r + e + b$

Dónde:

H = Altura libre de la obra (gálibo)

e = Espesor de la superestructura

b = Altura de la directriz

\emptyset = Diámetro del tubo

r = Radio el punto intermedio

Estas fórmulas funcionan cuando la pendiente de la obra es $S = 0\%$, pero como ninguna obra de drenaje puede tener un valor de cero en la pendiente, el caso de los tubos el valor de M será afectado por el valor del incremento en la pendiente de la obra, por lo que las fórmulas quedan de la siguiente manera:

- Tubos → $M_1 = \emptyset + b \pm (Q' * S)$ $M_2 = \emptyset + b \pm (Q' * S)$
- Losas → $M_1 = H + e + b$ $M_2 = M_1$
- Bóvedas → $M_1 = H + r + e + b$ $M_2 = M_1$

$$Q' = Q / \text{Cos } e$$

Valores de F'_1 y F'_2 : Estos valores corresponden a las elevaciones obtenidas de sumar el desplante y los valores de M_1 y M_2 , por lo que las fórmulas quedan así:

$$F'_1 = D + M_1 \qquad F'_2 = D + M_2$$

Los valores de F_1 y F_2 es la elevación que hay sobre la proyección de la directriz en toda la sección a la distancia dónde se encuentran C_1 y C_2 por el incremento de la pendiente de la obra, por lo cual las fórmulas quedan de la siguiente forma:

$$F_1 = F'_1 * (C_1 * S) \qquad F_2 = F'_2 * (C_2 * S)$$

Valores de h_1 y h_2 : son los desniveles que existen entre las elevaciones de H y F, por lo que se calculan de la siguiente forma:

$$h_1 = H_1 - F_1 \qquad h_2 = H_2 - F_2$$



Valores de d_1 y d_2 : Para calcular estos valores se retomarán las alturas h_1 y h_2 , dividiéndola entre el recíproco del talud ya afectado por la pendiente S quedando de la siguiente manera:

$$d_1 = \frac{h_1}{\frac{1}{T_1} \pm S} \quad d_2 = \frac{h_2}{\frac{1}{T_2} \pm S}$$

El signo (+) se empleará para la entrada de la obra y el (-) para la salida.

Valores de L_1 y L_2 : Una vez con todos los valores anteriores obtenidos, se procede a poder calcular las longitudes parciales L_1 y L_2 con las siguientes fórmulas:

$$L_1 = C_1 + d_1 + Q' \quad L_2 = C_2 + d_2 + Q'$$

Por lo anterior, la suma de L_1 y L_2 nos dará como resultado la longitud total de la obra L , que se refiere a la distancia que existe entre la entrada de la obra y la salida de la misma.

En el caso de que la obra se trate de una tubería esta longitud tendrá una ampliación para garantizar que esta quede apoyada en los muros cabezotes sin que queden enterradas.

En el Anexo G se muestran los formatos de longitud de obra de cada alcantarilla requerida en este proyecto y sus respectivas cantidades de obra.

4.3 Elementos complementarios

Antes de conocer cómo quedará conformado el funcionamiento del drenaje de forma definitiva con todos los elementos mencionados a lo largo de éste capítulo, se describirán algunos elementos que complementan a las obras de drenaje no sólo para un buen funcionamiento sino para la conservación de la misma.

- **Aleros:** Los aleros son una estructura de gran importancia en cualquier obra de drenaje, ya que funcionan como muros de contención de los terraplenes para que las entradas y salidas de las alcantarillas no queden enterradas además de evitar que el agua esté en contacto con el material que conforma el terraplén (*Figura 4.7*). La longitud de los aleros estará en función de la inclinación que tenga el terraplén.



Figura 4.7 - Aleros en salida de obra de drenaje tipo bóveda, Fotografía, Autopista Siglo XXI, 2017

En lo que respecta a las alcantarillas conformadas por tuberías de concreto, se tienen distintos elementos requeridos por la normatividad vigente (N·CTR·CAR·1·03·002/00, SCT), estos elementos son de gran beneficio no sólo durante la construcción de la obra sino para la buena conservación de la misma cuando ya esté en operación.

- Plantilla y arroje: De acuerdo a lo mostrado en la figura 4.8 se puede ver que como en toda instalación de una tubería se debe colocar una plantilla que evite que el tubo se encuentre apoyado sobre el terreno y dar un apoyo uniforme. Es material de la plantilla dependerá que el tipo de suelo que presente la obra.

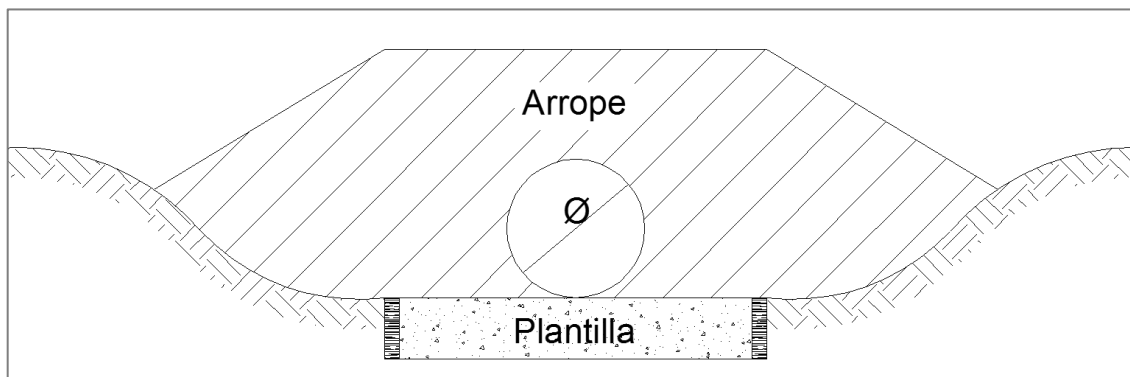


Figura 4.8 - Sección transversal de arroje y plantilla en tubería, Ilustración, 2017

Otro elemento mostrado es el arroje, que es el material que conformará al terraplén y que sirve para confinar a la tubería y para disipar los esfuerzos producidos por el tránsito de la carretera. El volumen de arroje incluye el espesor del colchón y es éste espesor el que nos dará la calidad que el concreto del tubo deberá tener de acuerdo al oficio circular elaborado por la Dirección General de Carreteras (SCT, febrero 2012).



De acuerdo al espesor del terraplén que va a soportar la tubería la clase del tubo de concreto reforzado deberá seguir lo indicado en la siguiente tabla:

Clase 1		
Diámetro	Colchón máximo	f'c
1.20 m	6.22 m	280 kg/cm ²
1.50 m	7.75 m	350 kg/cm ²
Clase 2		
1.20 m	8.29 m	280 kg/cm ²
1.50 m	10.33 m	350 kg/cm ²
Clase 3		
1.20 m	12.44 m	280 kg/cm ²
1.50 m	15.50 m	350 kg/cm ²
Clase 4		
1.20 m	14.51 m	280 kg/cm ²
1.50 m	18.08 m	350 kg/cm ²

Tabla 4.2 – Clase de tuberías, calidad de concreto, 2018

Esta misma especificación indica que el material de arroje deberá tener calidad de subrasante y deberá de estar compactado al 95% de su Peso Volumétrico Seco Máximo (PVSM) en capas simétricas de 20 centímetros de espesor.

- Muros cabezotes: En todos los sistemas de drenaje que funcionen por medio de tuberías se deberán de colocar muros cabezotes de concreto reforzados, tanto en la entrada como a la salida de la obra (*Figura 4.9*). Estos muros tienen como objetivo que la tubería quede perfectamente bien apoyada a los extremos de la alcantarilla y prevenir la erosión tanto en las paredes del talud como en el terreno de salida. Los cabezotes pueden ser de prefabricados o colados en sitio.

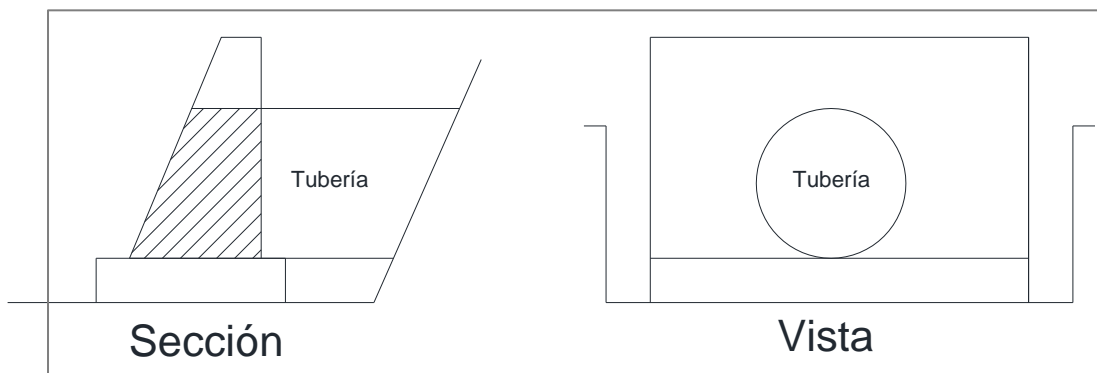


Figura 4.9 – Muro cabezote, Ilustración, 2018



Estos muros deberán de estar dimensionados de forma que su factor de seguridad por volteo y deslizamiento sea de 1.5 mínimo, según los requerimientos de la Oficina de Geotecnia de la Dirección General de Carreteras.

Como se pudo mostrar en el funcionamiento de drenaje preliminar, el proyecto de modernización de éste proyecto consta de tubos en su gran mayoría, dónde sólo se amplió si diámetro de 1.20m a 1.50m ya que eran alcantarillas ya existentes, pero también se optó por la construcción de dos nuevas obras que consta de losas. Los aspectos complementarios que es conveniente tratar respecto a las losas son los siguientes:

- Guarniciones: Las guarniciones son la estructura que delimita el borde de la losa. Pueden presentarse en 3 diferentes casos diferentes (*Figura 4.10*):
 1. Cuando el talud del terraplén patea sobre la guarnición
 2. Cuando la losa queda a nivel de subrasante
 3. Cuando la losa indica el nivel de la rasante

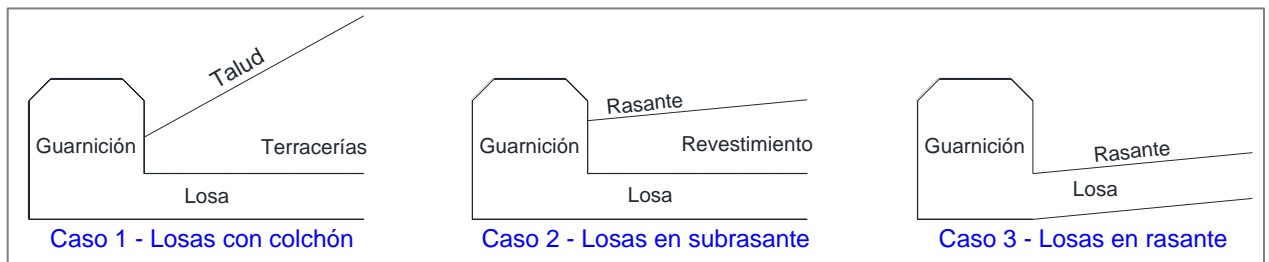


Figura 4.10 – Guarniciones tipo para losas de concreto reforzado, Ilustración, 2018

Las losas que se proyectaron en el proyecto presentan el caso 1, dónde la guarnición sostiene el material del terraplén.

- Estribos: Los estribos serán los encargados de cumplir con el gálibo de la alcantarilla, esto quiere decir que los extremos de las losas estarán apoyados en los estribos, tal como se muestra en la siguiente figura:

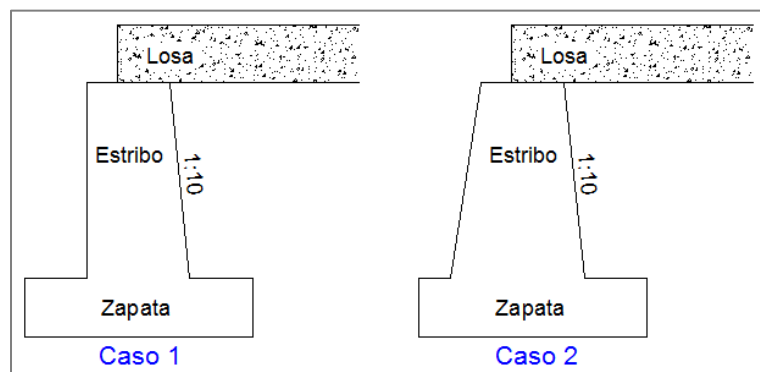


Figura 4.11 – Estribos de concreto reforzado, Ilustración, 2018



De la misma forma en qué se deberán analizar los muros aleros por el ingeniero geotecnista, los estribos deberán de cumplir con un factor de seguridad mínimo de 1.5 contra volteo y deslizamiento. Además de que como ya se mencionó en el capítulo anterior, el suelo deberá tener una capacidad de carga mínima de 1 kg/cm^2 .

- Refuerzo por temperatura: Éste refuerzo se coloca de forma transversal a las posibles grietas que puedan formarse debido a la dilatación por calor y contracción por frío. El refuerzo por temperatura se coloca en el sentido longitudinal de la losa en la parrilla superior y cuando la losa tiene un claro superior a 4 metros.
- Resistencia del concreto: De acuerdo a las características de los proyectos tipos de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, se ha concluido que las losas que tengan un claro entre 1 y 4 metros la resistencia será $f'c=150 \text{ kg/cm}^2$ y en losas cuyo claro sea mayor a 4 metros el concreto deberá cumplir con una $f'c=200 \text{ kg/cm}^2$

Las losas del tramo analizado tendrán estribos como los mostrados en el caso 1, están reforzadas por temperatura y tendrán una calidad de concreto $f'c=200 \text{ kg/cm}^2$.

A continuación de mostrará el funcionamiento de drenaje de forma final implementando los datos mencionados en éste capítulo.

4.4 Funcionamiento del drenaje definitivo

Esta relación de funcionamiento del drenaje de forma definitiva es el resultado de haber proyectado las obras de drenaje en base a lo visto en el capítulo 3 pero analizando que las obras tengan el espacio suficiente para para un buen funcionamiento hidráulico evitando que las salidas o las entradas queden enterradas o que se vea afectado el alineamiento vertical u horizontal. Se anexarán datos de terracerías como el nivel des desplante y otras características de las obras de drenaje además de las recomendaciones hechas por el proyectista.



Nº	ESTACION EJE DE	OBRA ACEPTADA			TIPO DE OBRA	DESPLANTE	S%	SUBRASANTE	CRUCE	SENT. DEL ESCURRIM.	NOTAS
		DATOS HIDRAULICOS									
		A	C	AHN							
1	85+095.96	1.57	0.90	0.23	T.C. 1.0 M	462.58	16.00	468.11	ESV 20°30' DER	---->>>>	BUENAS CONDICIONES
2	85+202.76	0.53	0.90	0.10	T.C. 1.20 M	471.14	23.00	474.25	ESV 37°31' DER	---->>>>	BUENAS CONDICIONES
3	85+324.62	0.75	0.90	0.13	T.C. 1.50 M	473.19	6.60	476.40	ESV 01°03' DER	---->>>>	SUSTITUIR
4	85+529.51	1.19	0.90	0.19	T.C. 1.50 M	477.07	13.80	481.15	ESV 02°17' DER	---->>>>	SUSTITUIR
5	85+688.45	1.86	0.90	0.26	T.C. 1.00 M	476.35	7.00	480.88	ESV 32°52' DER	---->>>>	BUENAS CONDICIONES
6	85+795.73	11.46	0.90	1.03	T.C. 1.50 M	478.63	5.20	482.68	ESV 04°34' DER	---->>>>	SUSTITUIR
7	86+040.00	0.66	0.90	0.12	LOSA DE 2.0 X 1.5 M	488.74	2.60	490.50	NORMAL	---->>>>	NUEVA
8	86+460.00	2.69	0.90	0.35	LOSA DE 2.0 X 1.5 M	503.32	7.90	504.92	NORMAL	---->>>>	NUEVA
9	87+076.93				T.C. 1.00 M	498.48	5.00	501.25	ESV 03°47' IZQ	---->>>>	BUENAS CONDICIONES
10	87+233.53	7.95	0.90	0.78	T.C. 1.50 M	494.50	3.40	497.03	NORMAL	---->>>>	SUSTITUIR
11	87+385.30	22.33	0.90	1.69	T.C. 1.50 M	493.55	3.50	496.12	ESV 06°12' DER	---->>>>	SUSTITUIR
12	87+608.18	14.91	0.90	1.25	T.C. 1.50 M	496.80	1.90	499.27	ESV 07°31' DER	---->>>>	SUSTITUIR

Tabla 4.3 – Funcionamiento de drenaje definitivo, 2018

- 1.- En el km 85+095.96 se encuentra una obra de tubo de 1.00 metros en buen estado, por lo que se aprovechara en su totalidad, se recomienda dar mantenimiento para su correcto funcionamiento.
- 2.- En el km 85+202.76 se encuentra una obra de tubo de tubo de 1.20 metros de diámetro, dicha obra se encuentra en mal estado, por lo que se sustituirá por una obra de tubo de 1.20 metros de diámetro, con lo que se dará salida al escurrimiento cercano, se recomienda dar mantenimiento para su correcto funcionamiento.
- 3.- En el km 85+324.62 se encuentra una obra de tubo de 1.00 metros de diámetro, la cual se encuentra en mal estado por lo que se sustituirá con un tubo de 1.50 metros de diámetro, lo cual es suficiente para el escurrimiento cercano, se recomienda dar mantenimiento.
- 4.- En el km 85+529.51 se encuentra una obra de tubo de 1.00 metros de diámetro, la cual se encuentra en mal estado por lo que se sustituirá con un tubo de 1.50 metros de diámetro, lo cual es suficiente para el escurrimiento cercano, se recomienda dar mantenimiento.
- 5.- En el km 85+688.45 se encuentra un tubo de 1.00 metros de diámetro, esta obra se encuentra en buen estado y es suficiente para el escurrimiento analizado, por lo que se aprovechara en su totalidad, se recomienda dar mantenimiento para su correcto funcionamiento.



6.- En el km 85+795.73 se encuentra una obra de tubo de 1.00 metros de diámetro, la cual se encuentra en mal estado por lo que se sustituirá con un tubo de 1.50 metros de diámetro, lo cual es suficiente para el escurrimiento cercano, se recomienda dar mantenimiento.

7.- En el km 86+040.00 se propone una obra de losa de 2.00 x 1.50 metros, la cual es suficiente para desalojar el escurrimiento cercano, se recomienda dar mantenimiento para su correcto funcionamiento.

8.- En el km se propone una obra de losa de 2.00 x 1.50 metros, la cual es suficiente para desalojar el escurrimiento cercano, se recomienda dar mantenimiento para su correcto funcionamiento.

9.- En el km 87+076.93 se encuentra un tubo de 1.00 metros de diámetro, esta obra se encuentra en buen estado y es suficiente para el escurrimiento analizado, por lo que se aprovechara en su totalidad, se recomienda dar mantenimiento para su correcto funcionamiento.

10.- En el km 87+233.53 se encuentra una obra de tubo de 1.00 metros de diámetro, la cual se encuentra en mal estado por lo que se sustituirá con un tubo de 1.50 metros de diámetro, lo cual es suficiente para el escurrimiento cercano, se recomienda dar mantenimiento.

11.- En el km 87+385.30 se encuentra una obra de tubo de 1.00 metros de diámetro, la cual se encuentra en mal estado por lo que se sustituirá con un tubo de 1.50 metros de diámetro, lo cual es suficiente para el escurrimiento cercano, se recomienda dar mantenimiento.

12.- En el km 87+608.18 se encuentra una obra de tubo de 1.00 metros de diámetro, la cual se encuentra en mal estado por lo que se sustituirá con un tubo de 1.50 metros de diámetro, lo cual es suficiente para el escurrimiento cercano, se recomienda dar mantenimiento.

NOTAS GENERALES.

- Se tendrá que dar mantenimiento periódicamente a las obras complementarias y a las obras de drenaje ya que el buen funcionamiento depende en el mantenimiento que tengan las obras proyectadas.
- Todas las obras sin excepción de ninguna se tendrá que desplantar una caja disipadora tanto en la entrada como en la salida para garantizar el funcionamiento del 100% de cada obra ver el detalle de la caja, así como también se tendrá que dar mantenimiento para la conservación de la misma.



ANEXOS



Anexo A

***Peso y dimensiones máximas de los vehículos de
autotransporte que transitan por Carreteras
Federales de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana
NOM-012-SCT-2-2014***



Peso y dimensiones máximas de los vehículos de autotransporte que transitan por Carreteras Federales de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-012-SCT-2-2014












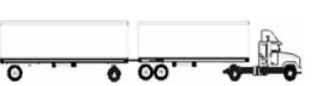


Clasificación de vehículos

CLASE: VEHÍCULO O CONFIGURACIÓN	NOMENCLATURA
AUTOBÚS	B
CAMIÓN UNITARIO	C
CAMIÓN REMOLQUE	C-R
TRACTOCAMIÓN ARTICULADO	T-S
TRACTOCAMIÓN DOBLEMENTE ARTICULADO	T-S-R y T-S-S

Atendiendo a su clase, nomenclatura, número de ejes y llantas.

NOMENCLATURA	NÚMERO DE EJES	NÚMERO DE LLANTAS	VEHÍCULO
AUTOBÚS (B)			
B2	2	6	
B3	3	8 o 10	
B4	4	10	
CAMIÓN UNITARIO (C)			
C2	2	6	
C3	3	8 o 10	



NOMENCLATURA	NÚMERO DE EJES	NÚMERO DE LLANTAS	VEHÍCULO
CAMIÓN-REMOLQUE (C-R)			
C2-R2	4	14	
C3-R2	5	18	
C2-R3	5	18	
C3-R3	6	22	
TRACTOCAMIÓN ARTICULADO (T-S)			
T2-S1	3	10	
T2-S2	4	14	
T2-S3	5	18	
T3-S1	4	14	
T3-S2	5	18	
T3-S3	6	22	
TRACTOCAMIÓN SEMIRREMOLQUE-REMOLQUE (T-S-R)			
T2-S1-R2	5	18	
T2-S2-R2	6	22	
T2-S1-R3	6	22	
T3-S1-R2	6	22	



NOMENCLATURA	NÚMERO DE EJES	NÚMERO DE LLANTAS	VEHÍCULO
TRACTOCAMIÓN SEMIRREMOLQUE-REMOLQUE (T-S-R)			
T3-S1-R3	7	26	
T3-S2-R2	7	26	
T3-S2-R3	8	30	
T3-S2-R4	9	34	
T2-S2-S2	6	22	
T3-S2-S2	7	26	
T3-S3-S2	8	30	

Pesos máximos autorizados por tipo de eje y camino (Toneladas)

CONFIGURACIÓN DE EJES		VEHÍCULO	TIPO DE CAMINO			
			ET4 Y ET2 A4 Y A2	B4 Y B2	C	D
	SENCILLO DOS LLANTAS	B	6,50	6,00	5,50	5,00
	MOTRIZ SENCILLO CUATRO LLANTAS	B	12,50	10,50	9,00	8,00
	MOTRIZ DOBLE O TANDEM SEIS LLANTAS	B	17,50	13,00	11,50	11,00
	MOTRIZ DOBLE O TANDEM OCHO LLANTAS	B	21,00	17,00	14,50	13,50
	SENCILLO DOS LLANTAS	C-R y T-S-R	6,50	6,00	5,50	5,00
	SENCILLO DOS LLANTAS	C y T-S	6,50	6,00	5,50	5,00



CONFIGURACIÓN DE EJES		VEHÍCULO	TIPO DE CAMINO			
			ET4 Y ET2 A4 Y A2	B4 Y B2	C	D
	SENCILLO	C-Ry T-S-R	10,00	9,50	8,00	7,00
	CUATRO LLANTAS	C y T-S	11,00	9,50	8,00	7,00
	MOTRIZ SENCILLO	C-Ry T-S-R	11,00	10,50	9,00	8,00
	CUATRO LLANTAS	C y T-S	12,50	10,50	9,00	8,00
	MOTRIZ DOBLE O TANDEM	C-Ry T-S-R	15,00	13,00	11,50	11,00
	SEIS LLANTAS	C y T-S	17,50	13,00	11,50	11,00
	DOBLE O TANDEM	C-Ry T-S-R	17,00	15,00	13,50	12,00
	OCHO LLANTAS	C y T-S	19,00	15,00	13,50	12,00
	MOTRIZ DOBLE O TANDEM	C-Ry T-S-R	18,00	17,00	14,50	13,50
	OCHO LLANTAS	C y T-S	21,00	17,00	14,50	13,50
	TRIPLE O TRIDEM	C-Ry T-S-R	23,50	22,50	20,00	NA
	DOCE LLANTAS	C y T-S	26,50	22,50	20,00	NA

Peso bruto vehicular máximo autorizado por la clase vehículo y camino

VEHÍCULO	NÚMERO DE EJES	NÚMERO DE LLANTAS	PESO BRUTO VEHICULAR (t)			
			ET y A	B	C	D
B2	2	6	19,0	16,5	14,5	13,0
B3	3	8	24,0	19,0	17,0	16,0
B3	3	10	27,5	23,0	20,0	18,5
B4	4	10	30,5	25,0	22,5	21,0
C2	2	6	19,0	16,5	14,5	13,0
C3	3	8	24,0	19,0	17,0	16,0
C3	3	10	27,5	23,0	20,0	18,5
C2-R2	4	14	37,5	35,5	NA	NA
C3-R2	5	18	44,5	42,0	NA	NA
C3-R3	6	22	51,5	47,5	NA	NA
C2-R3	5	18	44,5	41,0	NA	NA



VEHÍCULO	NÚMERO DE EJES	NÚMERO DE LLANTAS	PESO BRUTO VEHICULAR (t)			
			ET y A	B	C	D
T2-S1	3	10	30,0	26,0	22,5	NA
T2-S2	4	14	38,0	31,5	28,0	NA
T3-S2	5	18	46,5	38,0	33,5	NA
T3-S3	6	22	54,0	45,5	40,0	NA
T2-S3	5	18	45,5	39,0	34,5	NA
T3-S1	4	14	38,5	32,5	28,0	NA
T2-S1-R2	5	18	47,5	NA	NA	NA
T2-S1-R3	6	22	54,5	NA	NA	NA
T2-S2-R2	6	22	54,5	NA	NA	NA
T3-S1-R2	6	22	54,5	NA	NA	NA
T3-S1-R3	7	26	60,5	NA	NA	NA
T3-S2-R2	7	26	60,5	NA	NA	NA
T3-S2-R4	9	34	66,5	NA	NA	NA
T3-S2-R3	8	30	63,0	NA	NA	NA
T3-S3-S2	8	30	60,0	NA	NA	NA
T2-S2-S2	6	22	51,5	NA	NA	NA
T3-S2-S2	7	26	58,5	NA	NA	NA

Largo máximo autorizado por clase de vehículo

VEHÍCULO O CONFIGURACIÓN VEHICULAR	NÚMERO DE EJES	NÚMERO DE LLANTAS	LARGO TOTAL (m)			
			ET y A	B	C	D
B2	2	6	14,0	14,0	14,0	12,5
B3	3	8	14,0	14,0	14,0	12,5
B3	3	10	14,0	14,0	14,0	12,5
B4	4	10	14,0	14,0	14,0	12,5



VEHÍCULO O CONFIGURACIÓN VEHICULAR	NÚMERO DE EJES	NÚMERO DE LLANTAS	LARGO TOTAL (m)			
			ET y A	B	C	D
C2	2	6	14,0	14,0	14,0	12,5
C3	3	8	14,0	14,0	14,0	12,5
C3	3	10	14,0	14,0	14,0	12,5
C2-R2	4	14	31,0	28,5	NA	NA
C3-R2	5	18	31,0	28,5	NA	NA
C3-R3	6	22	31,0	28,5	NA	NA
C2-R3	5	18	31,0	28,5	NA	NA
T2-S1	3	10	23,0	20,8	18,5	NA
T2-S2	4	14	23,0	20,8	18,5	NA
T2-S3	5	18	23,0	20,0	18,0	NA
T3-S1	4	14	23,0	20,0	18,0	NA
T3-S2	5	18	23,0	20,8	18,5	NA
T3-S3	6	22	23,0	20,8	18,5	NA
T2-S1-R2	5	18	31,0	NA	NA	NA
T2-S1-R3	6	22	31,0	NA	NA	NA
T2-S2-R2	6	22	31,0	NA	NA	NA
T3-S1-R2	6	22	31,0	NA	NA	NA
T3-S1-R3	7	22	31,0	NA	NA	NA
T3-S2-R2	7	26	31,0	NA	NA	NA
T3-S2-R4	9	34	31,0	NA	NA	NA
T3-S2-R3	8	30	31,0	NA	NA	NA
T3-S3-S2	8	30	25,0	NA	NA	NA
T2-S2-S2	6	22	31,0	NA	NA	NA
T3-S2-S2	7	26	31,0	NA	NA	NA

NA = No Autorizado



ANEXO B

Calidad de materiales para la construcción de Bases y Sub-bases de acuerdo al Documento Técnico No. 1 de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes



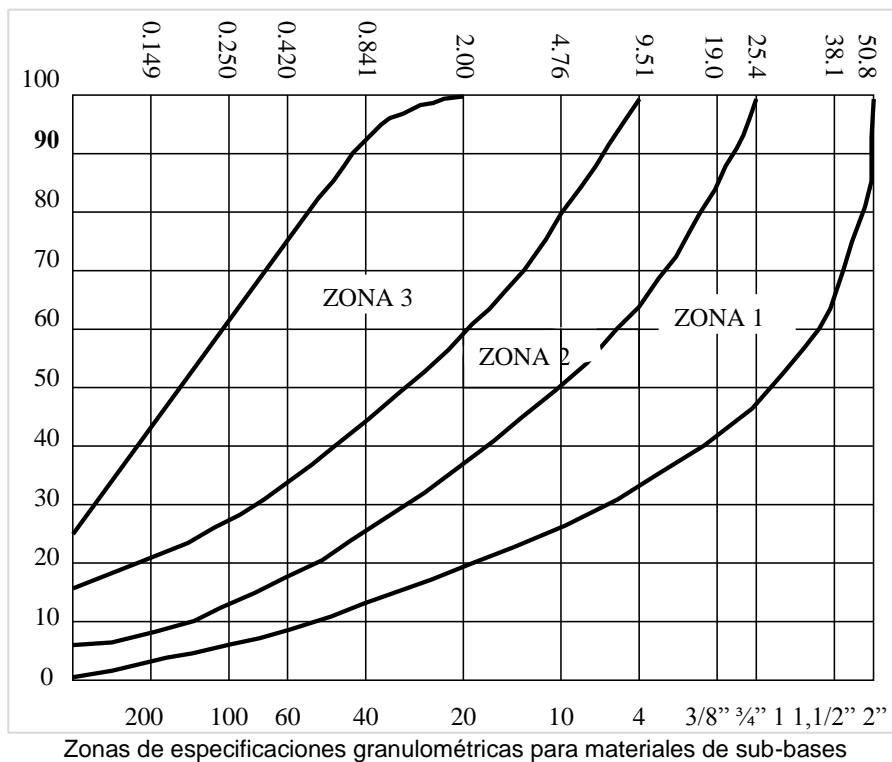
Calidad de materiales para la construcción de Bases y Sub-bases de acuerdo al Documento Técnico No. 1 de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes

Tablas Resúmenes de Valores Recomendables

Valores de Calidad para Materiales de Sub-base y Revestimiento

CARACTERÍSTICA	CALIDAD		
	DESEABLE	ADECUADA	REVESTIMIENTO
Granulometría	1-2	1-3	1-3
Zona granulométrica			
Tamaño Máximo (mm)	51	51	51
% Finos	17 máx	25 máx	10 mín
(Mat. < 0.079 mm)			20 máx
Límite Líquido % (LL)	25 máx	30 máx	40 máx
Índice plástico	6 máx	10 máx	15 máx
Compactación %	100 mín	100 mín	95 mín
(AASHTO Modificado)			AASHTO Estándar
Equivalente Arena %	40 mín	30 mín	---
V.R.S. % (Compactación dinámica) ⁽¹⁾	40 mín	30 mín	30 mín
Desgaste de los Ángeles %	40 máx	---	---

(1) Al porcentaje de compactación indicado





Valores de Calidad para Materiales de Sub-base y Revestimiento

CARACTERÍSTICA	CALIDAD	
	DESEABLE	ADECUADA
Granulometría	1-2	1-3
Zona granulométrica		
Tamaño Máximo (mm)	38	51
% Finos	10 máx	15 máx
(Mat. < 0.079 mm)		
Límite Líquido % (LL)	25 máx	30 máx
Índice plástico	6 máx	6 máx
Compactación %	100 mín	100 mín
(AASHTO Modificado)		
Equivalente Arena %	50 mín	40 mín
V.R.S. %	100 mín	100 mín
(Compactación dinámica) ⁽²⁾		
Desgaste de los Ángeles %	40 máx	40 máx
(2) Al porcentaje de compactación indicado		



Anexo C

Calidad de materiales para la construcción de Terracerías de acuerdo al Documento Técnico No. 1 de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes



Calidad de materiales para la construcción de Terracerías de acuerdo al Documento Técnico No. 1 de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes

Tablas Resúmenes de Valores Recomendables

Valores de Calidad para Materiales de Terraplén

CARACTERÍSTICA	CALIDAD		
	DESEABLE	ADECUADA	TOLERABLE
Granulometría ⁽¹⁾	76	76	76
Tamaño Máximo (mm)			
% Finos	25 máx	35 máx	40 máx
(Mat.< 0.074 mm)			
Limite líquido % (LL)	30 máx	40 máx	50 máx
Índice plástico % (IP)	10 máx	20 máx	25 máx
Compactación %	100	100 +/- 2	100 +/- 2
(AASHTO) ⁽²⁾			
V.R.S %	30 mín	20 mín	15 mín
Compactación Dinámica ⁽³⁾			
(1) Porcentaje en volúmen (2) Con humedad de compactación igual o ligeramente mayor a la óptima de la prueba. de agua recomendable la del material en el banco, a 1.5 m de profundidad.			

Desde el punto de vista de utilización de materiales para la sección estructural de carreteras, se hace necesario definir la obra por ejecutar según cinco tipos de Obras Viales:

OBRAS VIALES	TDPA	RED
Especiales	> 20 000	Autopistas y sub-urbanas
Tipo I	2 500 ---- 10 000	Autopistas y Federal
Tipo II	500 ---- 2 500	Federal y Estatal
Tipo III		Estatal
Tipo IV		Rural



Estructuración del Terraplén según el Tipo de Obra Vial

Cuerpo del Terraplén			
OBRAS VIALES ESPECIALES			
Quedan fuera de especificaciones especiales			
TIPO I			
TERRAPLÉN		CORTE	
ESPESOR	CALIDAD	CAMA DEL CORTE	CALIDAD
100 cm o mayor	Deseable en el metro superior. Adecuada como mínimo en el resto del terraplén	Cama con calidad deseable	Ningún tratamiento
		Cama con calidad adecuada	Remover 30 cm y subsistir con material de calidad deseable
Menor que 100 cm	Si el terreno de cimentación posee la calidad adecuada colocar 60cm de material de calidad deseable. En caso contrario, remover y colocar 100cm de calidad deseable.	Cama con calidad tolerable o inferior	Remover 100cm y colocar material de calidad deseable
Depresiones profundas o laderas muy pronunciadas	Rellenar 1/3 del espesor total con material de calidad Tolerable. Los 2/3 restantes deberán construirse con los criterios arriba señalados.		
TIPO II			
TERRAPLÉN		CORTE	
ESPESOR	CALIDAD	CAMA DEL CORTE	CALIDAD
70cm o mayor	Adecuada en los 70cm superiores	Cama con calidad adecuada	Ningún tratamiento
	Tolerable como mínimo en el resto del terraplén	Cama con calidad inferior a la tolerable	Remover 30cm y substituir con material de calidad Adecuada
Menor que 70cm	Si el terreno de cimentación posee la calidad adecuada colocar 60cm de material de calidad deseable. En caso contrario, remover y colocar 70cm de calidad deseable.	Cama con calidad inferior a la tolerable	Remover 60cm y substituir con material de calidad adecuada

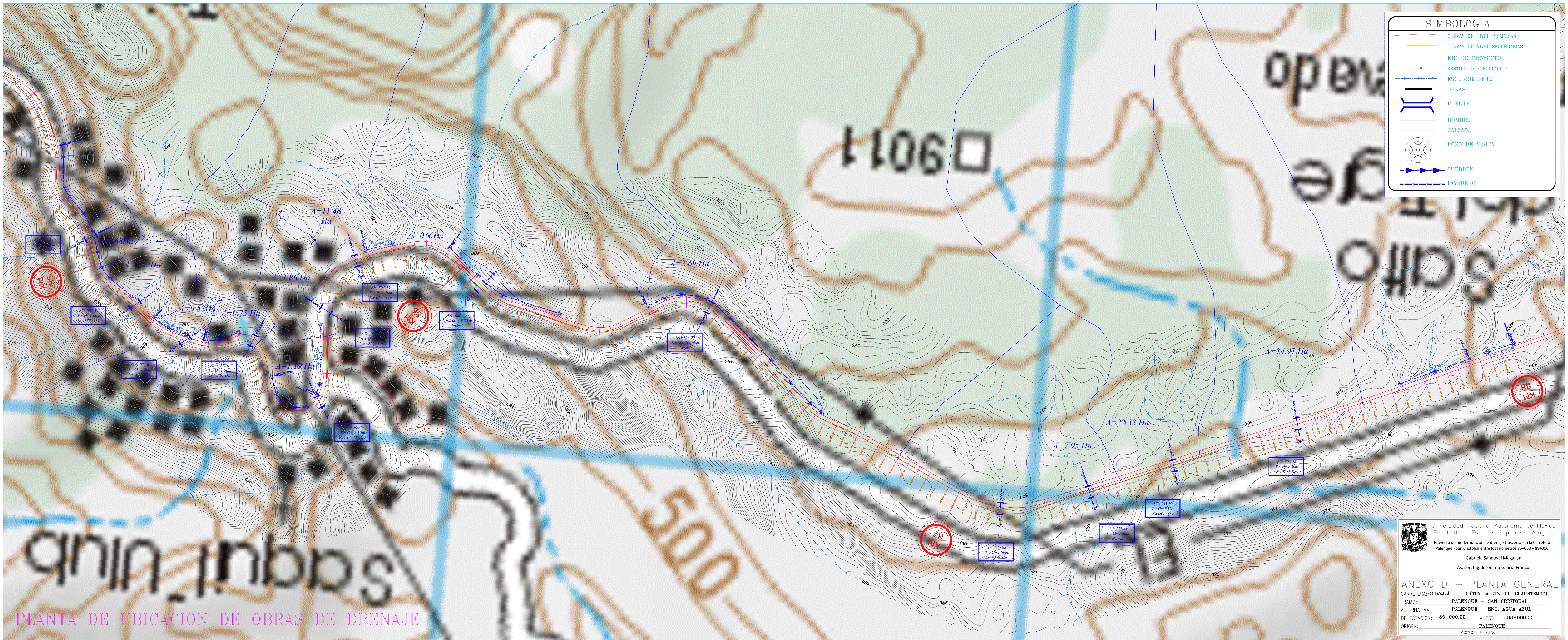


Depresiones profundas o laderas muy pronunciadas	Rellenar 1/3 del espesor total con material de calidad Tolerable. Los 2/3 restantes deberán construirse con los criterios arriba señalados en esta columna		
TIPO III			
TERRAPLÉN		CORTES	
ESPESOR	CALIDAD	CAMA DEL CORTE	CALIDAD
40cm o mayor	Tolerable en todo el espesor del terraplén como mínimo	Cama con calidad tolerable	Ningún tratamiento
Menor de 40cm	Si el terreno de cimentación es de calidad inferior a la tolerable remover y colocar 40cm de terraplén de calidad tolerable.	Cama de calidad inferior a la tolerable	Remover 30cm y substituir con el mismo espesor de material de calidad tolerable




Anexo D

Planta general de proyecto de drenaje, del kilómetro 85+000 al 88+000



SIMBOLOGIA	
	CURVAS DE NIVEL PRIMARIAS
	CURVAS DE NIVEL SECUNDARIAS
	EJE DE PROYECTO
	SENTIDO DE CIRCULACION
	ESCURRIMIENTO
	OBRAS
	PUENTE
	HOMBRO
	CALZADA
	POZO DE VISITA
	SUBDREN
	LAVADERO

PLANTA DE UBICACION DE OBRAS DE DRENAJE


 Universidad Nacional Autónoma de México
 Facultad de Estudios Superiores Aragón
 Proyecto de modernización de drenaje transversal en la Carretera
 Paalenque - San Cristóbal entre los kilómetros 85+000 y 88+000
 Gabriela Sandoval Magallán
 Asesor: Ing. Jerónimo Galicia Franco

ANEXO D – PLANTA GENERAL	
CARRETERA: CATAZAJÁ – T. C. (TUXTLA GTZ.-CD. CUAUHTEMOC)	
TRAMO:	PALENQUE – SAN CRISTÓBAL
ALTERNATIVA:	PALENQUE – ENT. AGUA AZUL
DE ESTACION:	85+000.00 A EST. 88+000.00
ORIGEN:	PALENQUE

PROYECTO DE DRENAJE



Anexo E

Calidad de materiales en filtros para subdrenes de acuerdo con la N CMT 3 04 001 de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes

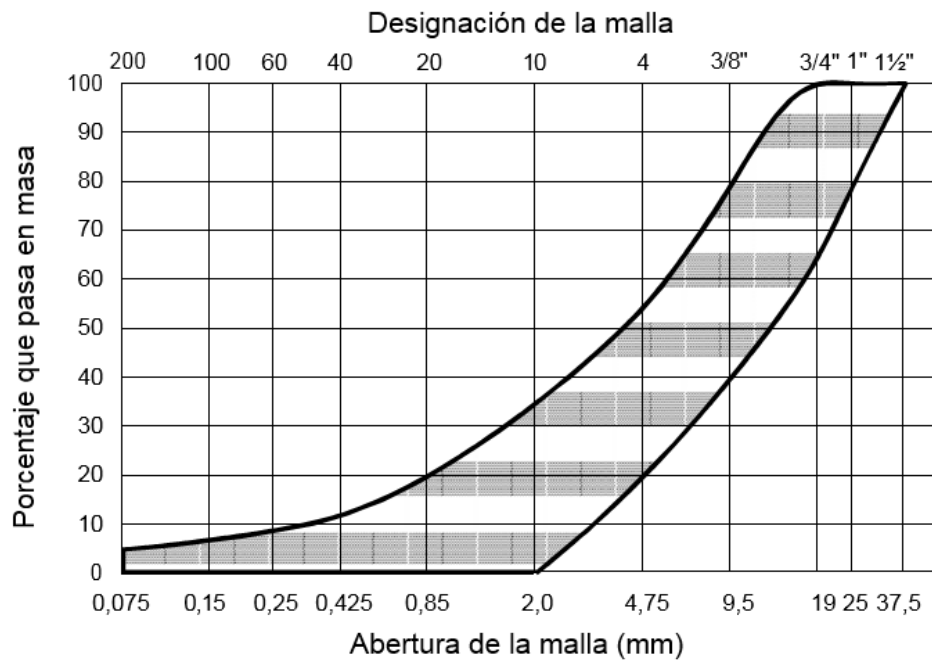


**Calidad de materiales en filtros para subdrenes de acuerdo con la N CMT 3 04 001
 de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes**

Requisitos de calidad del material para filtros

Requisitos de granulometría de los materiales para filtros

Designación	Abertura nominal mm	Material que pasa %
1½"	37,5	100
1"	25	80 – 100
¾"	19	65 – 100
⅝"	9,5	40 – 80
N°4	4,75	20 – 55
N°10	2	0 – 35
N°20	0,85	0 – 20
N°40	0,425	0 – 12
N°60	0,25	0 – 9
N°100	0,15	0 – 7
N°200	0,075	0 – 5



Zona granulométrica recomendable de los materiales para filtros

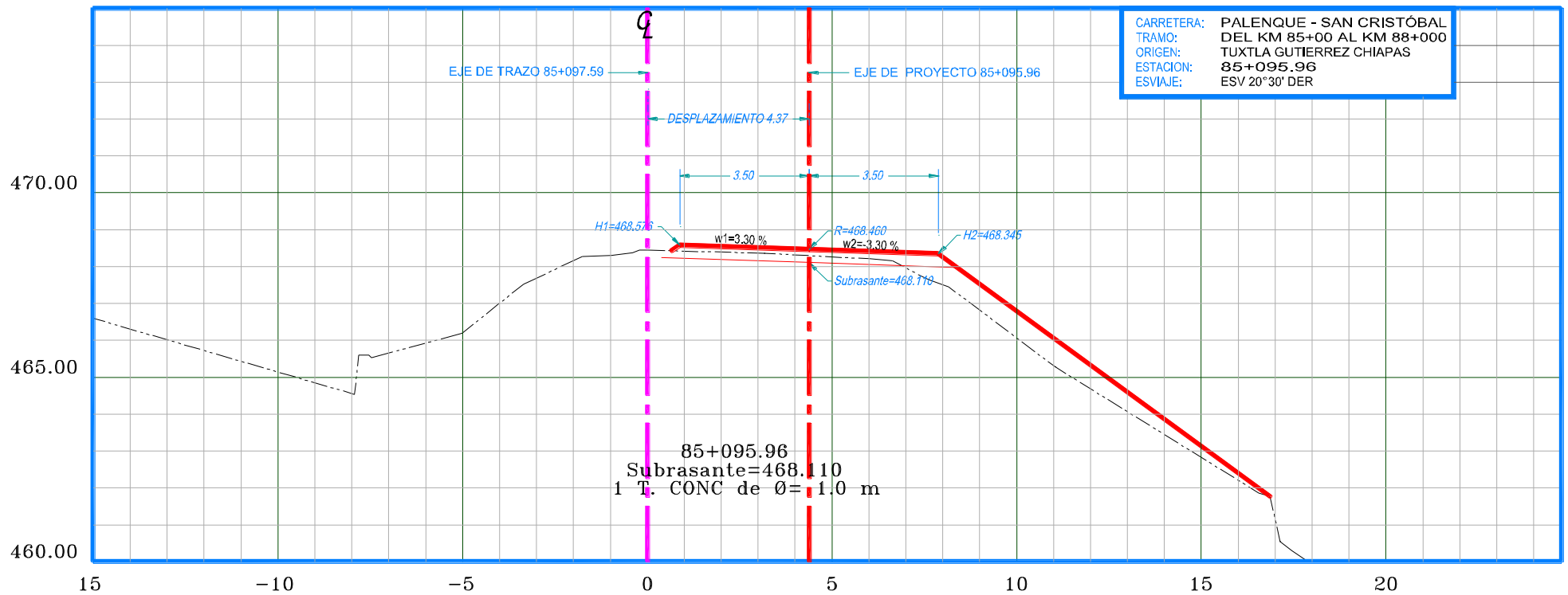


Anexo F

Secciones de construcción

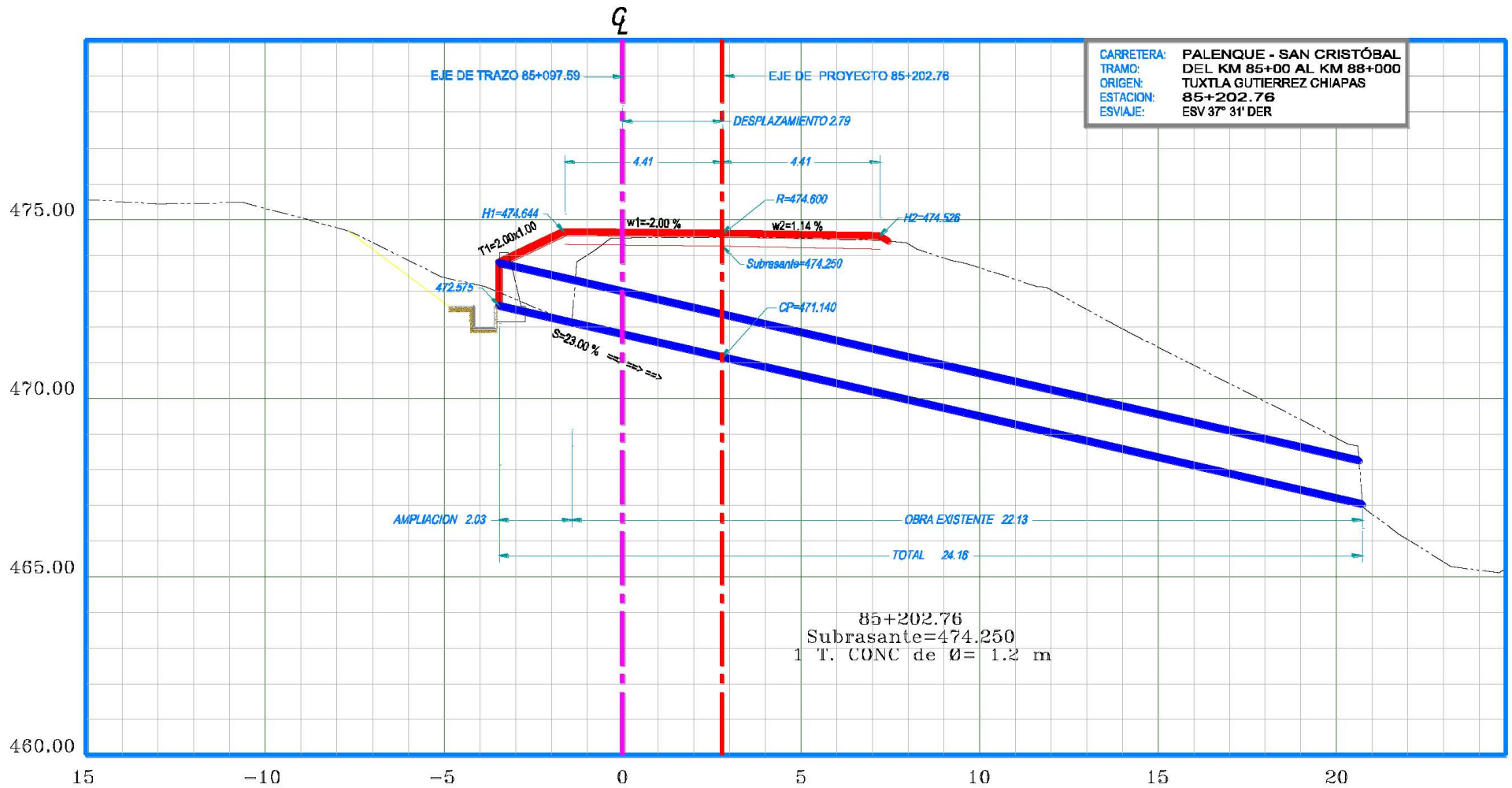


Secciones de construcción



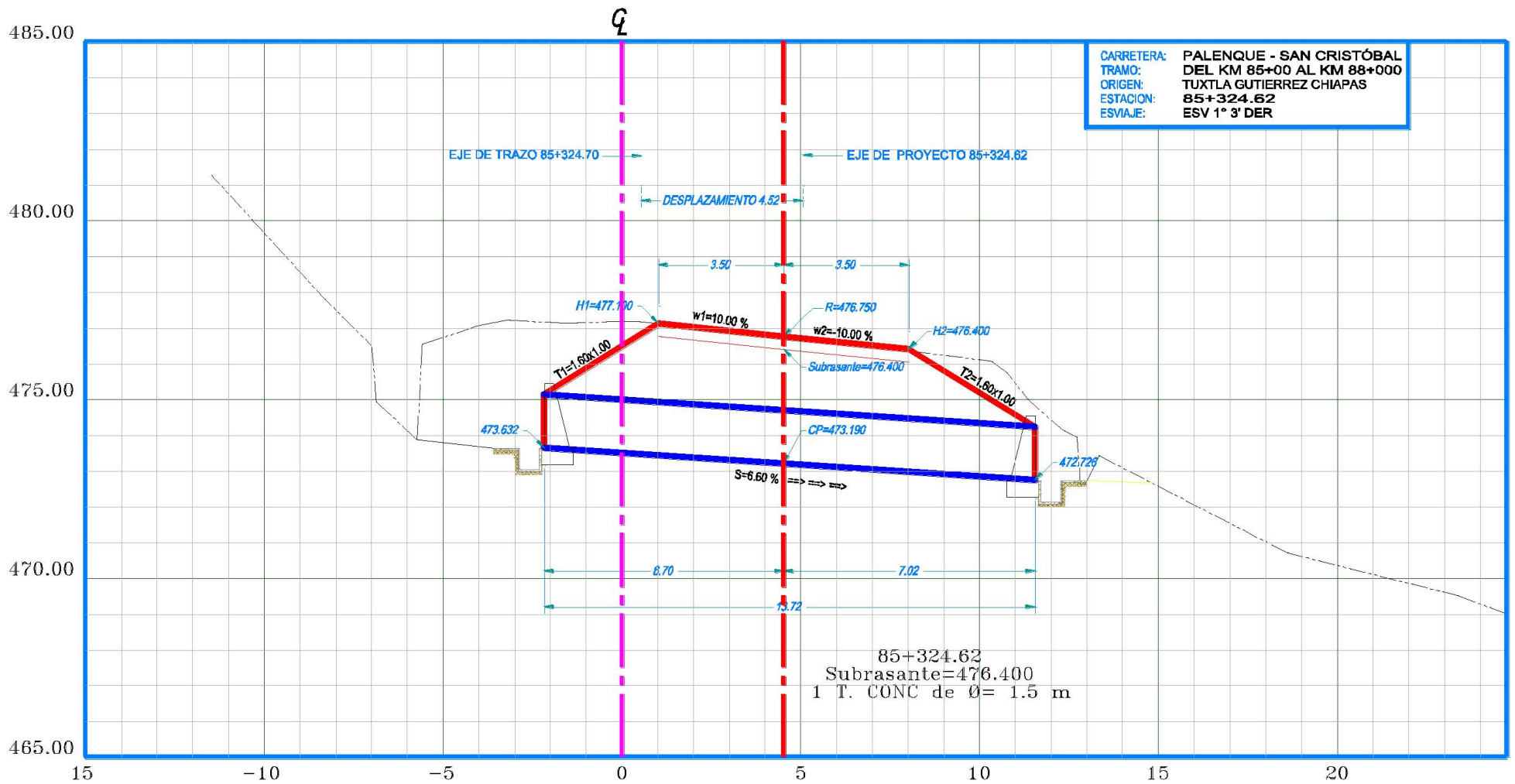
Proyecto de modernización de drenaje trasversal en la Carretera Palenque - San Cristóbal entre los kilómetros 85+000 y 88+000

Anexo F



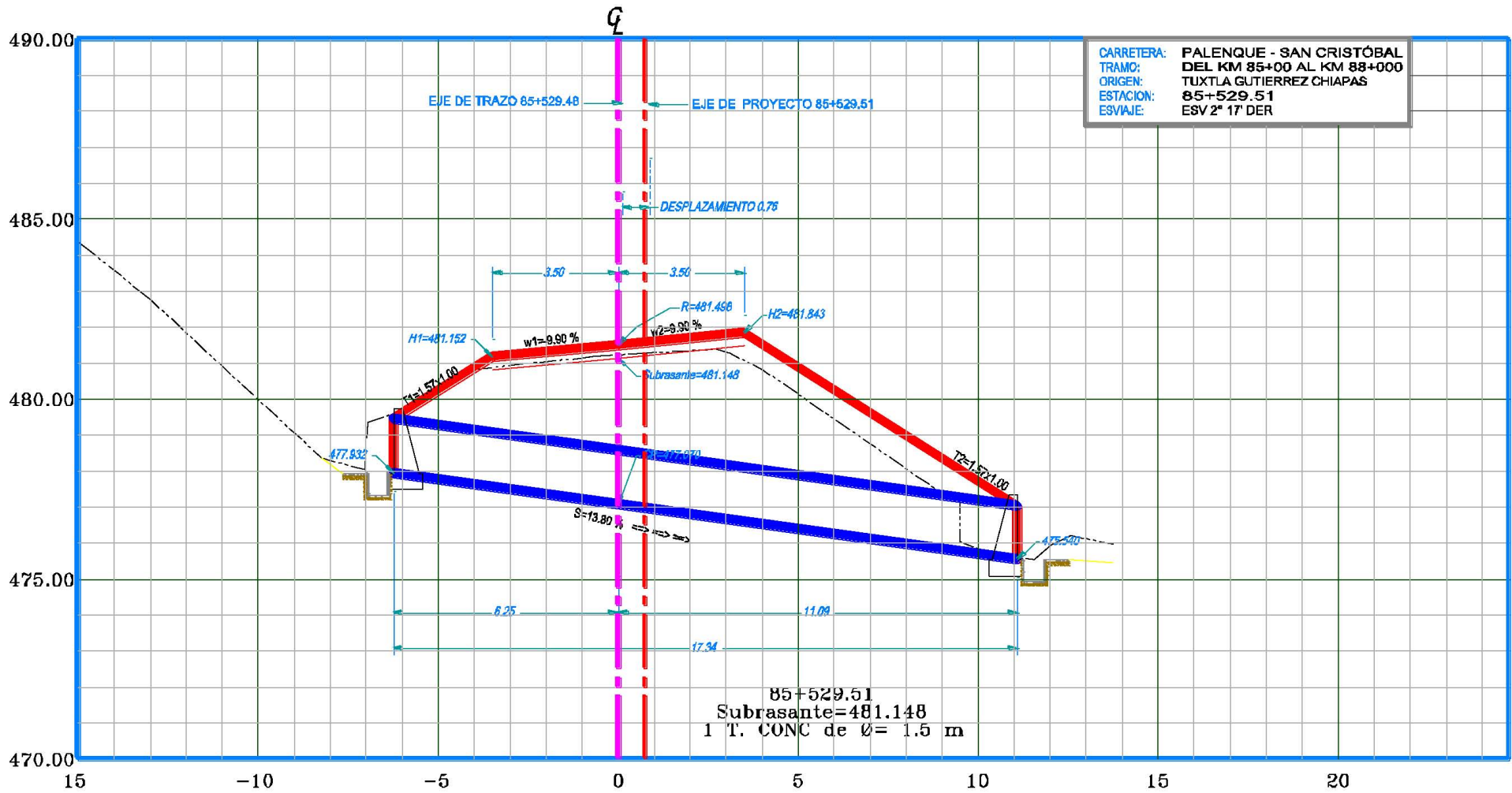
Proyecto de modernización de drenaje transversal en la Carretera Palenque - San Cristóbal entre los kilómetros 85+000 y 88+000

Anexo F



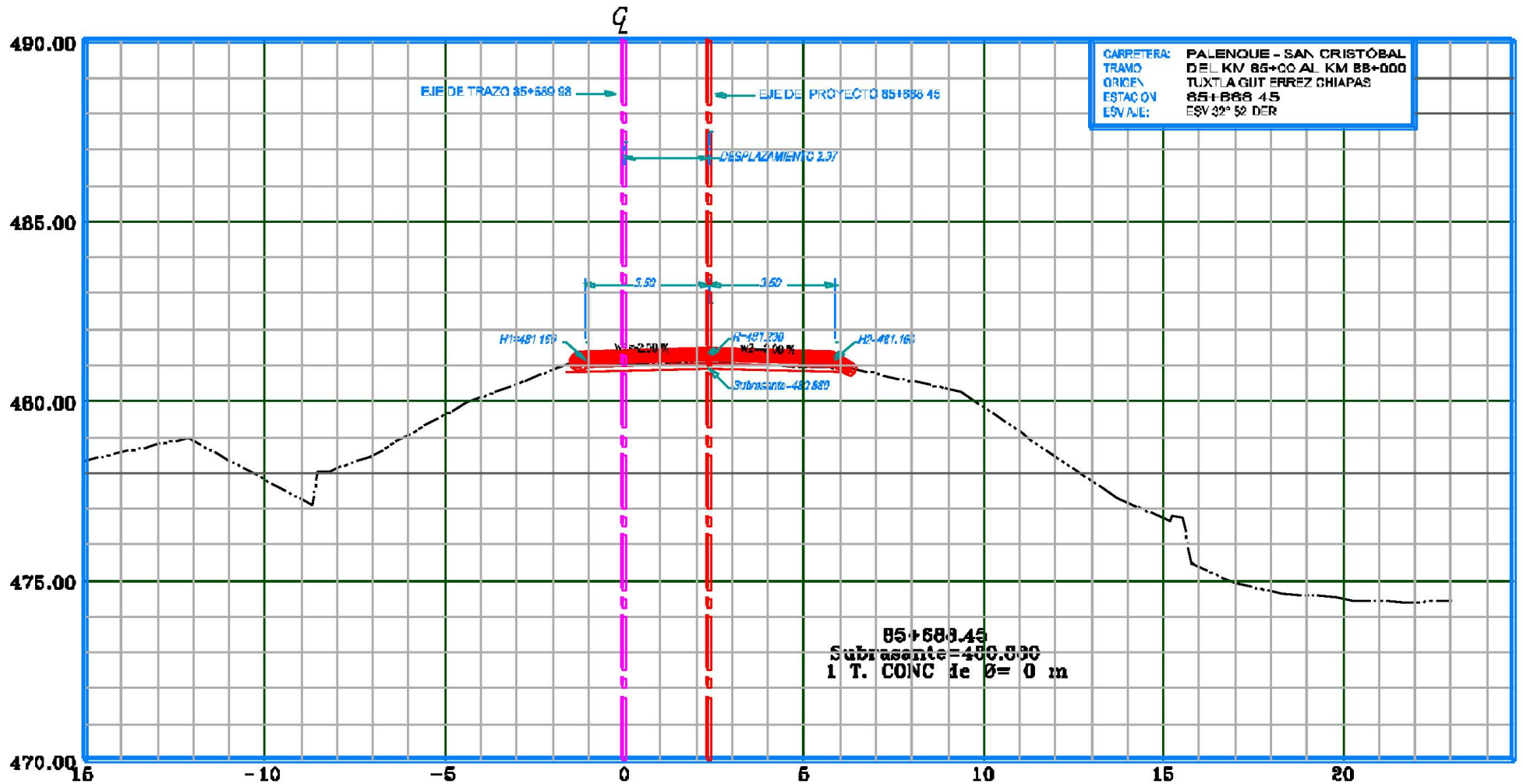
Proyecto de modernización de drenaje transversal en la Carretera Palenque - San Cristóbal entre los kilómetros 85+000 y 88+000

Anexo F



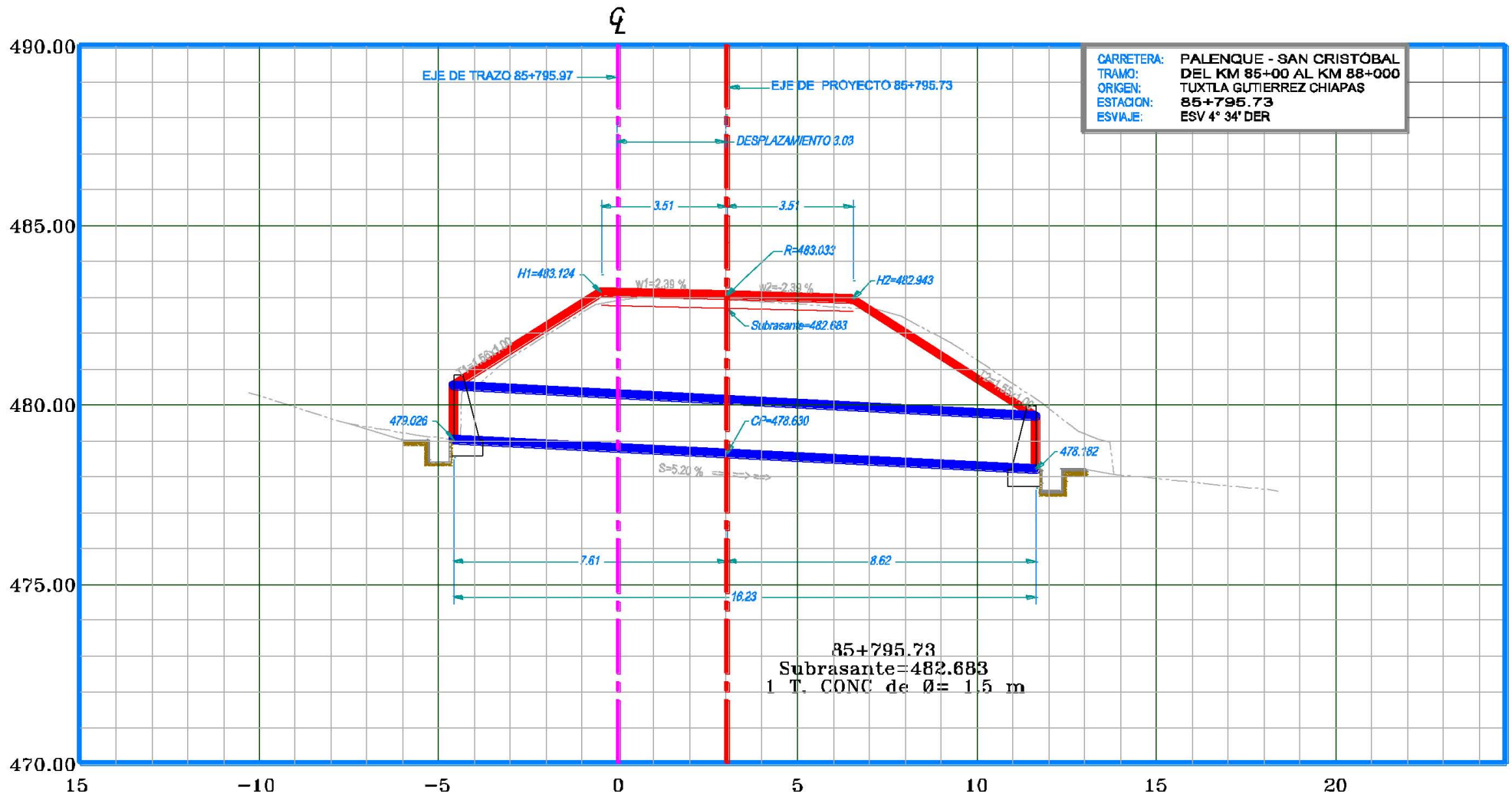
Proyecto de modernización de drenaje transversal en la Carretera Palenque - San Cristóbal entre los kilómetros 85+000 y 88+000

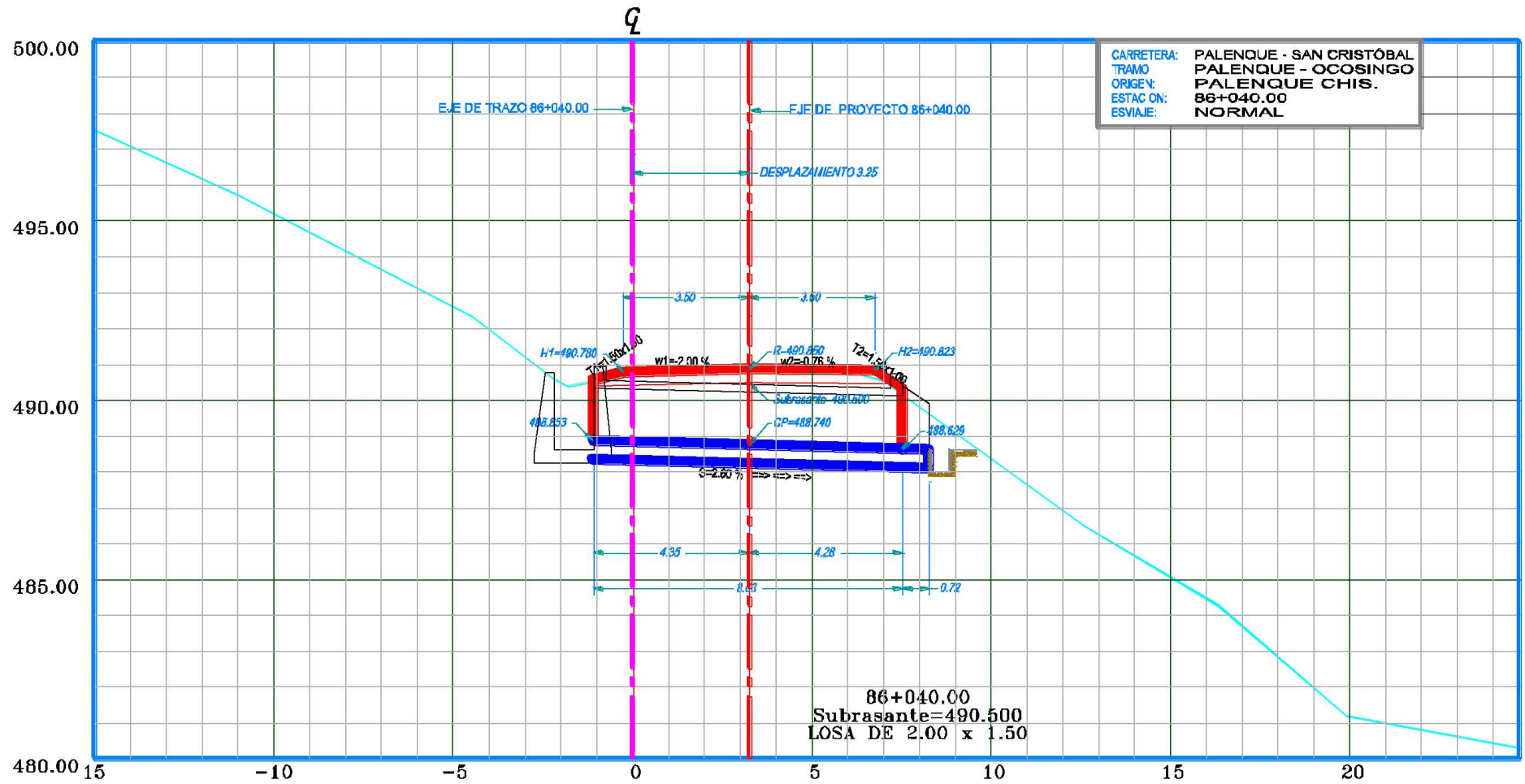
Anexo F



Proyecto de modernización de drenaje trasversal en la Carretera Palenque - San Cristóbal entre los kilómetros 85+000 y 88+000

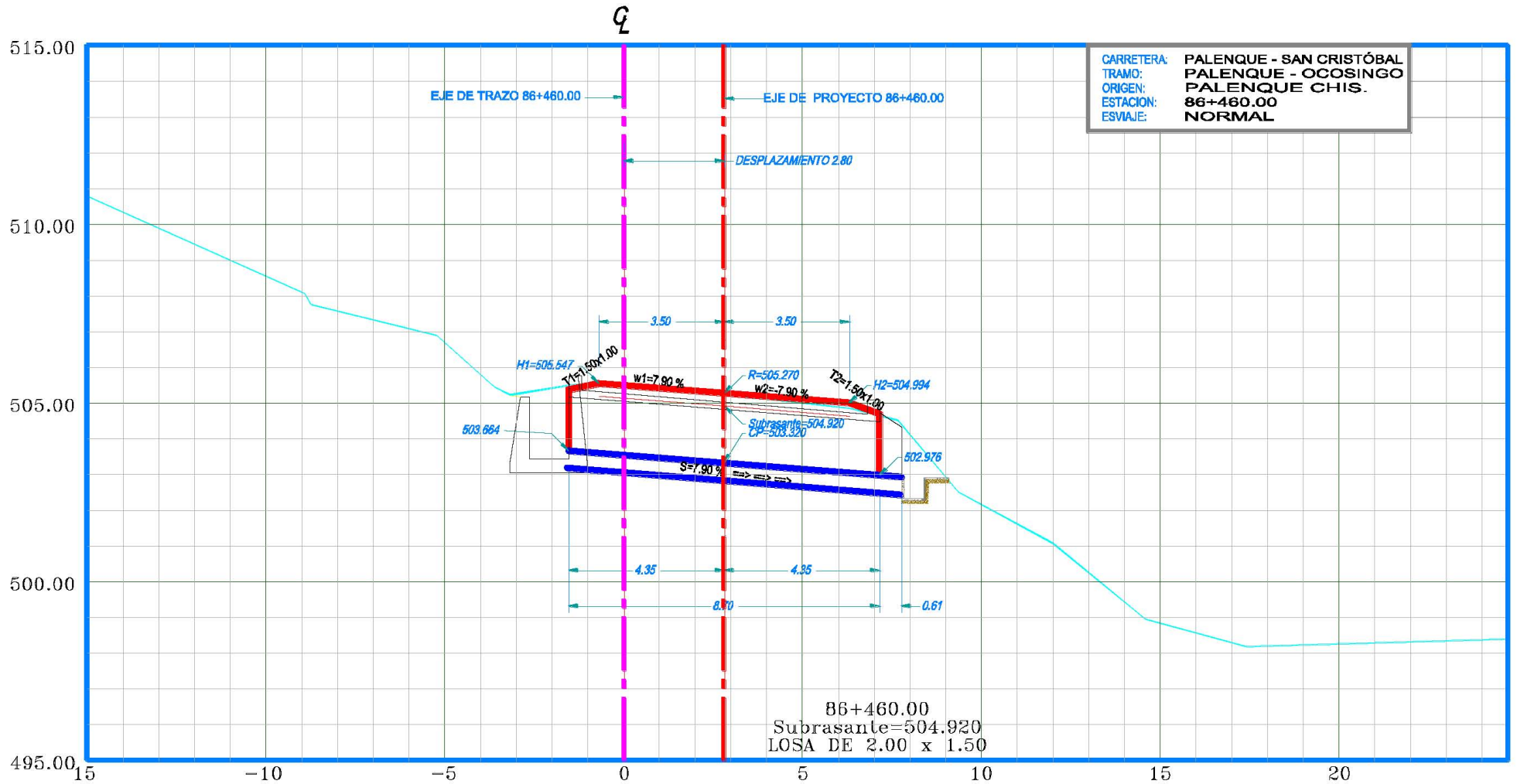
Anexo F

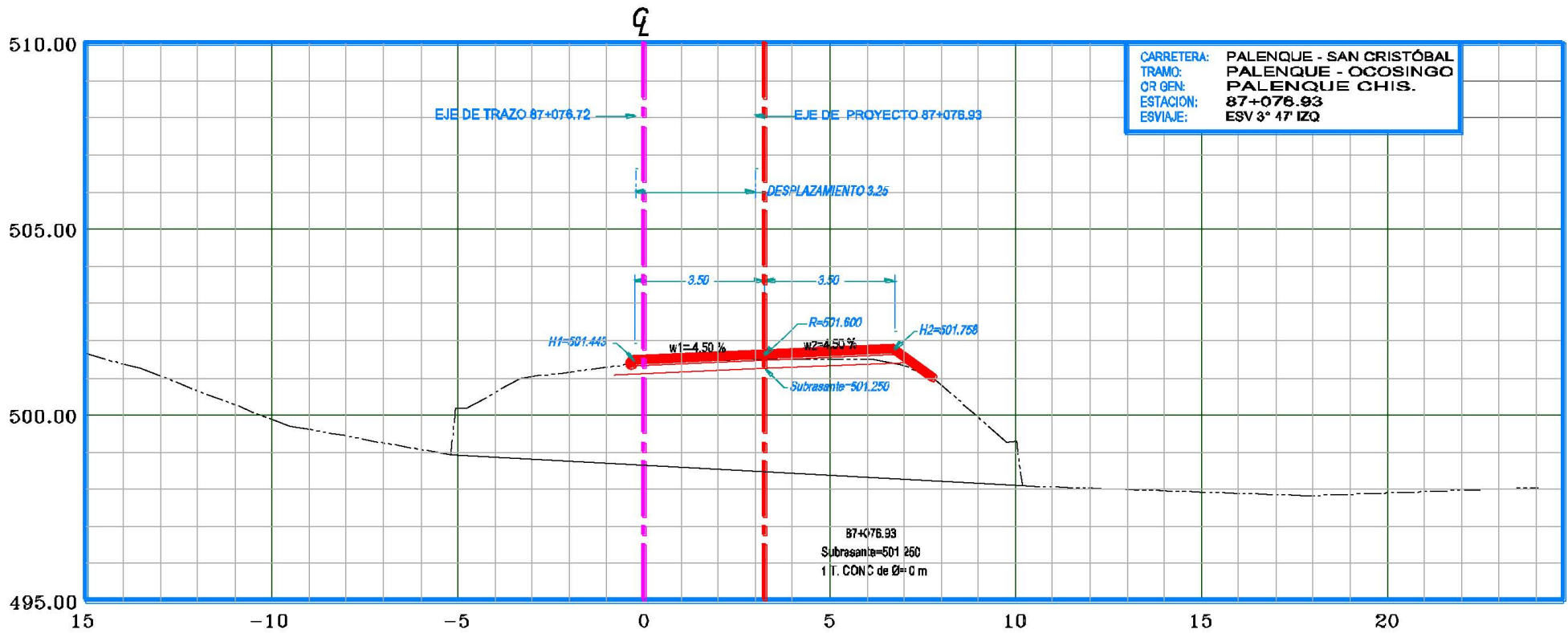




Proyecto de modernización de drenaje transversal en la Carretera Palenque - San Cristóbal entre los kilómetros 85+000 y 88+000

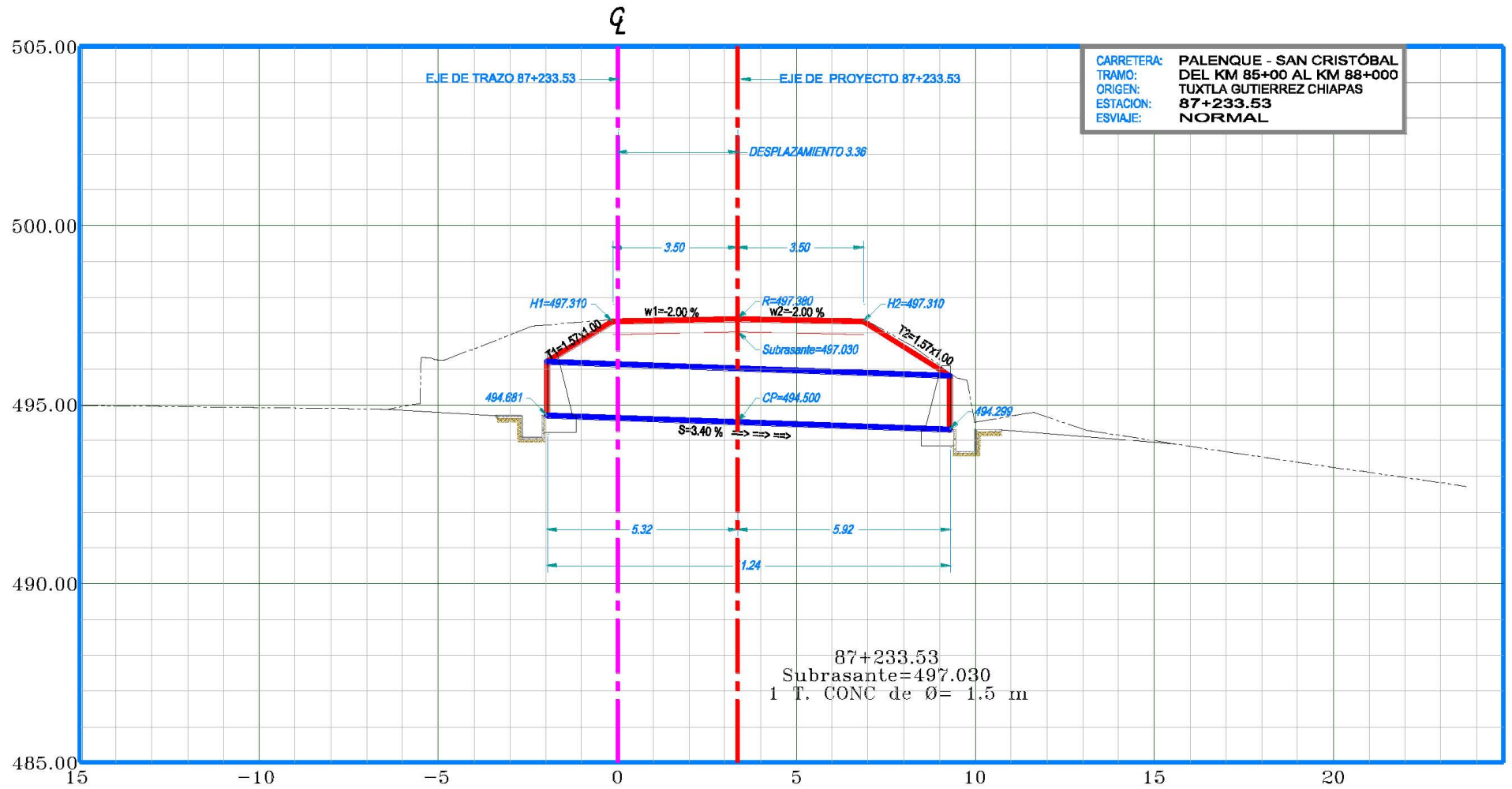
Anexo F





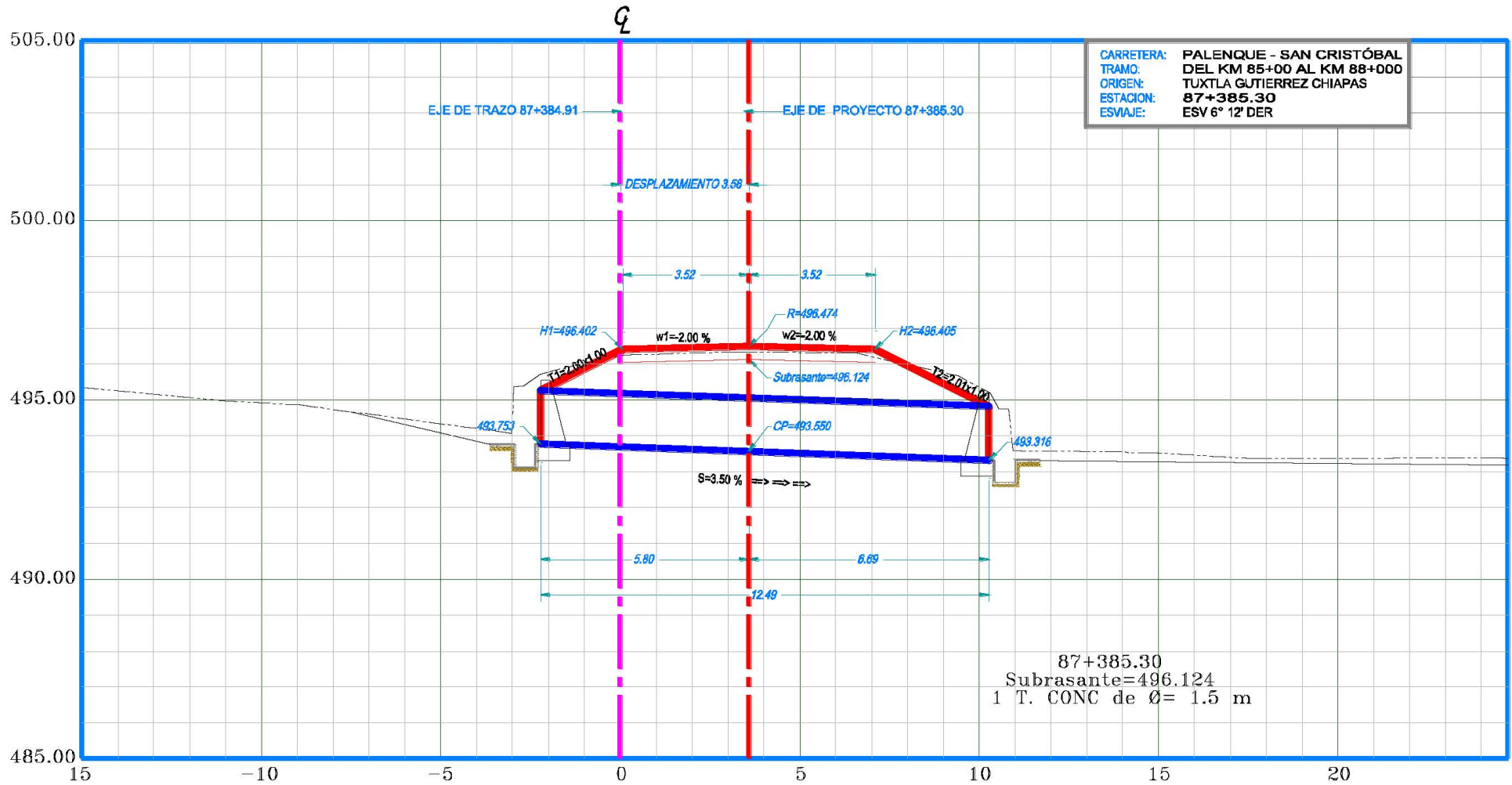
Proyecto de modernización de drenaje trasversal en la Carretera Palenque - San Cristóbal entre los kilómetros 85+000 y 88+000

Anexo F



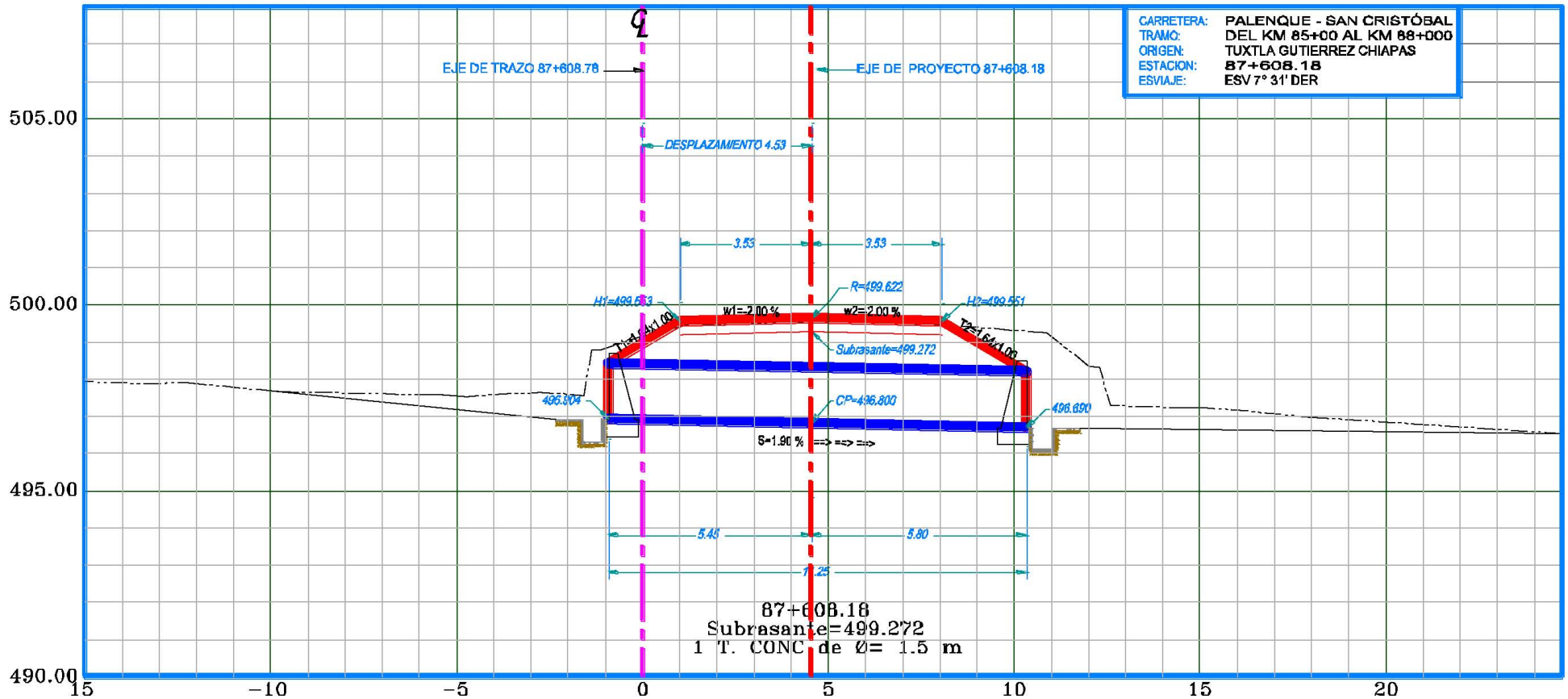
Proyecto de modernización de drenaje transversal en la Carretera Palenque - San Cristóbal entre los kilómetros 85+000 y 88+000

Anexo F



Proyecto de modernización de drenaje transversal en la Carretera Palenque - San Cristóbal entre los kilómetros 85+000 y 88+000

Anexo F





Anexo G

Cálculo de longitudes de obra



Cálculo de longitudes de obra

Corresponde a la sección de construcción de la página 78

CAMINO: <u>CATAZAJÁ-T.C. (TUXTLA GUTIERREZ C.D. CUAHUTEMOC)</u>		ESTACIÓN: <u>85+202.758</u>	
TRAMO: <u>DEL KM 85+00 AL KM 88+000</u>		ALCANTARILLA DE: <u>1 T. CONC</u>	
SUBTRAMO: <u>CATAZAJA CHIAPAS REHABILITACION</u>		DIMS. (m): <u>Ø= 1.20 m</u>	
CÁLCULO DE LA LONGITUD DE OBRA			
LOCALIZACIÓN			
ESVIAJE		TANGENTE	
CRUCE: <u>37° 31'</u>	DER	SENTIDO DEL ESCURRIMIENTO	DER <u>==> ==> ==></u>
DATOS DE TERRACERÍAS EN EL CRUCE			
SECCIÓN NORMAL			
ELEV. SUBRASANTE (m)	<u>474.250</u>	ESPESOR DE PAVIMENTO (m):	<u>0.35</u>
RASANTE DE CÁLCULO (m)	<u>474.600</u>	PENDIENTE LONG. DEL CAMINO (%):	<u>4.25</u>
SEMICORONAS (m)	Y1 (IZQ) <u>3.50</u>	SOBREELEV. (%)	W1 (IZQ) <u>-2.00</u>
	Y2 (DER) <u>3.50</u>		W2 (DER) <u>1.14</u>
SECCIÓN DE LAS TERRACERÍAS SEGÚN EL EJE DE LA OBRA			
X1=	<u>2.69</u>	Tang e = <u>0.76779</u>	X2= <u>2.69</u>
C1=	<u>4.41</u>	Cos e = <u>0.79318</u>	C2= <u>4.41</u>
R1=	<u>474.714</u>	Sen e = <u>0.60899</u>	R2= <u>474.486</u>
H1=	<u>474.644</u>	Tn IZQ= <u>1.50</u>	H2= <u>474.526</u>
COS e (+ -) K =	<u>0.7544</u>	Tn DER= <u>1.50</u>	COS e (+ -) K = <u>0.8320</u>
T1=	<u>1.99</u>	KIZQ = <u>-0.03882</u>	T2= <u>1.80</u>
		KDER = <u>0.03882</u>	
LONGITUD DE OBRA			
PLANTILLA DEL CAUCE	PENDIENTE S (%) <u>23.000</u>	ELEVACIÓN D (m) <u>471.140</u>	
		ALTURA DE LA DIRECTRIZ: <u>0.15</u>	
1/T1=	<u>0.50</u>	1/T2=	<u>0.55</u>
(1 / T1) ±S	<u>0.73</u>	M = <u>1.35</u>	Q = <u>0.28</u>
F1=	<u>473.569</u>	M1= <u>1.41</u>	M2= <u>1.29</u>
h1=	<u>1.08</u>	F'1= <u>472.55</u>	F'2= <u>472.43</u>
d1=	<u>1.47</u>	Q' = <u>0.35</u>	Q' S = <u>0.06</u>
L1=	<u>6.23</u>	L2=	<u>14.36</u>
L TOTAL = 20.59 metros			
CORRECCION DE LA LONGITUD, A NUM.CERRADO DE TUBOS POR EL METODO DE TALUDES			
d1= <u>1.47</u>	Tn _{corr} IZQ= <u>1.51</u>	Tn _{corr} DER= <u>1.51</u>	d2= <u>9.71</u>
L1= <u>6.24</u>	T _{corr} IZQ= <u>2.00</u>	T _{corr} DER= <u>1.82</u>	L2= <u>14.47</u>
LONG. EXISTENTE IZQ.= <u>4.21</u>	L' = <u>2.08</u>	LONG. EXISTENTE DER.= <u>14.47</u>	
AMPL. IZQ. = <u>2.03</u>	LT ₂ = <u>20.71</u>	PROYECCION HORIZONTAL	AMPL. DER. = <u>NO REQ.</u>
	TOTAL AMPLIACION= <u>2.03</u>	PROYECCION HORIZONTAL	
	L= <u>2.50</u>	LONGITUD TOTAL = 2 TRAMOS DE TUBO DE 1.25 m	
DATOS COMPLEMENTARIOS			
ELEV. IZQUIERDA= <u>472.575</u>	ELEVACION AL CENTRO = <u>471.140</u>	ELEVACION DERECHA= <u>467.811</u>	
COLCHON EN HOMBRO IZQ.= <u>1.16</u>		COLCHON EN HOMBRO DERECHO= <u>3.08</u>	



Corresponde a la sección de construcción de la página 79

CAMINO: <u>CATAZAJÁ-T.C. (TUXTLA GUTIERREZ C.D. CUAHUTEMOC)</u>		ESTACIÓN: <u>85+324.617</u>		
TRAMO: <u>DEL KM 85+00 AL KM 88+000</u>		ALCANTARILLA DE: <u>1 T. CONC</u>		
SUBTRAMO: <u>CATAZAJA CHIAPAS REHABILITACION</u>		DIMS. (m): <u>Ø= 1.50 m</u>		
CÁLCULO DE LA LONGITUD DE OBRA				
LOCALIZACIÓN				
ESVIAJE	TANGENTE	SENTIDO DEL ESCURRIMIENTO		
CRUCE: <u>1° 3'</u> DER	DER	DER ==> ==> ==>		
DATOS DE TERRACERÍAS EN EL CRUCE				
SECCIÓN NORMAL				
ELEV. SUBRASANTE (m)	<u>476.400</u>	ESPESOR DE PAVIMENTO (m): <u>0.35</u>		
RASANTE DE CÁLCULO (m)	<u>476.750</u>	PENDIENTE LONG. DEL CAMINO (%): <u>0.50</u>		
SEMICORONAS (m)	<u>Y1 (IZQ)</u> <u>3.50</u>	<u>W1 (IZQ)</u> <u>10.00</u>		
	<u>Y2 (DER)</u> <u>3.50</u>	<u>W2 (DER)</u> <u>-10.00</u>		
SECCIÓN DE LAS TERRACERÍAS SEGÚN EL EJE DE LA OBRA				
X1=	<u>0.06</u>	Tang e = <u>0.01833</u>	X2=	<u>0.06</u>
C1=	<u>3.50</u>	Cos e = <u>0.99983</u>	C2=	<u>3.50</u>
R1=	<u>476.750</u>	Sen e = <u>0.01832</u>	R2=	<u>476.750</u>
H1=	<u>477.100</u>	Tn IZQ= <u>1.50</u>	H2=	<u>476.400</u>
COS e (+ -) K =	<u>0.9997</u>	Tn DER= <u>1.50</u>	COS e (+ -) K =	<u>1.0000</u>
T1=	<u>1.50</u>	KIZQ = <u>-0.00014</u>	T2=	<u>1.50</u>
		KDER = <u>0.00014</u>		
LONGITUD DE OBRA				
PLANTILLA DEL CAUCE	PENDIENTE S (%)	<u>6.600</u>	ALTURA DE LA DIRECTRIZ: <u>0.15</u>	
		ELEVACIÓN D (m)		
1/T1=	<u>0.67</u>		1/T2=	<u>0.67</u>
(1 / T1)±S	<u>0.73</u>	M = <u>1.65</u>	(1 / T2)±S	<u>0.60</u>
F1=	<u>475.089</u>	Q = <u>0.28</u>	F2=	<u>474.591</u>
h1=	<u>2.01</u>	M1= <u>1.67</u>	h2=	<u>1.81</u>
d1=	<u>2.75</u>	F'1= <u>474.86</u>	d2=	<u>3.01</u>
L1=	<u>6.53</u>	Q' = <u>0.28</u>	L2=	<u>6.79</u>
		Q' S = <u>0.02</u>		
		L TOTAL = <u>13.32</u> metros		
CORRECCION DE LA LONGITUD, A NUM.CERRADO DE TUBOS POR EL METODO DE TALUDES				
d1= <u>2.92</u>	Tn _{corr IZQ} = <u>1.60</u>	Tn _{corr DER} = <u>1.60</u>	d2= <u>3.24</u>	
L1= <u>6.70</u>	T _{corr IZQ} = <u>1.60</u>	T _{corr DER} = <u>1.60</u>	L2= <u>7.02</u>	
LONG. EXISTENTE IZQ.= <u>0.00</u>	L' = <u>13.75</u>		LONG. EXISTENTE DER.= <u>0.00</u>	
LONG. IZQ. = <u>6.70</u>	LT ₂ = <u>13.72</u>	PROYECCION HORIZONTAL	LONG. DER. = <u>7.02</u>	
	TOTAL AMPLIACION= <u>13.72</u>	PROYECCION HORIZONTAL		
	L = <u>13.75</u>	LONGITUD TOTAL = 11 TRAMOS DE TUBO DE 1.25 m		
DATOS COMPLEMENTARIOS				
ELEV. IZQUIERDA= <u>473.632</u>	ELEVACION AL CENTRO = <u>473.190</u>	ELEVACION DERECHA= <u>472.726</u>		
COLCHON EN HOMBRO IZQ.= <u>2.03</u>		COLCHON EN HOMBRO DERECHO= <u>1.79</u>		



Corresponde a la sección de construcción de la página 80

CAMINO: <u>CATAZAJÁ-T.C. (TUXTLA GUTIERREZ C.D. CUAHUTEMOC)</u>		ESTACIÓN: <u>85+529.510</u>		
TRAMO: <u>DEL KM 85+00 AL KM 88+000</u>		ALCANTARILLA DE: <u>1 T. CONC</u>		
SUBTRAMO: <u>CATAZAJA CHIAPAS REHABILITACION</u>		DIMS. (m): <u>Ø= 1.50 m</u>		
CÁLCULO DE LA LONGITUD DE OBRA				
LOCALIZACIÓN				
ESVIAJE	TANGENTE	SENTIDO DEL ESCURRIMIENTO		
CRUCE: <u>2° 17'</u> DER		DER ==> ==> ==>		
DATOS DE TERRACERÍAS EN EL CRUCE				
SECCIÓN NORMAL				
ELEV. SUBRASANTE (m)	<u>481.148</u>	ESPESOR DE PAVIMENTO (m): <u>0.35</u>		
RASANTE DE CÁLCULO (m)	<u>481.498</u>	PENDIENTE LONG. DEL CAMINO (%): <u>0.50</u>		
SEMICORONAS (m)	<u>Y1 (IZQ)</u> <u>3.50</u>	<u>W1 (IZQ)</u> <u>-9.90</u>		
	<u>Y2 (DER)</u> <u>3.50</u>	<u>W2 (DER)</u> <u>9.90</u>		
SECCIÓN DE LAS TERRACERÍAS SEGÚN EL EJE DE LA OBRA				
X1=	<u>0.14</u>	Tang e = <u>0.03987</u>	X2=	<u>0.14</u>
C1=	<u>3.50</u>	Cos e = <u>0.99921</u>	C2=	<u>3.50</u>
R1=	<u>481.498</u>	Sen e = <u>0.03984</u>	R2=	<u>481.497</u>
H1=	<u>481.152</u>	Tn IZQ= <u>1.50</u>	H2=	<u>481.843</u>
COS e (+ -) K =	<u>0.9989</u>	Tn DER= <u>1.50</u>	COS e (+ -) K =	<u>0.9995</u>
T1=	<u>1.50</u>	KIZQ = <u>-0.00030</u>	T2=	<u>1.50</u>
		KDER = <u>0.00030</u>		
LONGITUD DE OBRA				
PLANTILLA DEL CAUCE	PENDIENTE S (%)	<u>13.800</u>	ALTURA DE LA DIRECTRIZ: <u>0.15</u>	
		ELEVACIÓN D (m)		
1/T1=	<u>0.67</u>		1/T2=	<u>0.67</u>
(1 / T1)±S	<u>0.80</u>	M = <u>1.65</u>	(1 / T2)±S	<u>0.53</u>
F1=	<u>479.242</u>	Q = <u>0.28</u>	F2=	<u>478.198</u>
h1=	<u>1.91</u>	M1= <u>1.69</u>	h2=	<u>3.64</u>
d1=	<u>2.38</u>	F'1= <u>478.76</u>	d2=	<u>6.90</u>
L1=	<u>6.16</u>	Q' = <u>0.28</u>	L2=	<u>10.68</u>
		Q' S = <u>0.04</u>		
L TOTAL = <u>16.84</u> metros				
CORRECCION DE LA LONGITUD, A NUM.CERRADO DE TUBOS POR EL METODO DE TALUDES				
d1= <u>2.47</u>	Tn _{corr IZQ} = <u>1.57</u>	Tn _{corr DER} = <u>1.57</u>	d2= <u>7.31</u>	
L1= <u>6.25</u>	T _{corr IZQ} = <u>1.57</u>	T _{corr DER} = <u>1.57</u>	L2= <u>11.09</u>	
LONG. EXISTENTE IZQ.= <u>0.00</u>	L' = <u>17.50</u>		LONG. EXISTENTE DER.= <u>0.00</u>	
LONG. IZQ. = <u>6.25</u>	LT ₂ = <u>17.34</u>	PROYECCION HORIZONTAL	LONG. DER. = <u>11.09</u>	
	TOTAL AMPLIACION= <u>17.34</u>	PROYECCION HORIZONTAL		
	L = <u>17.50</u>	LONGITUD TOTAL = 14 TRAMOS DE TUBO DE 1.25 m		
DATOS COMPLEMENTARIOS				
ELEV. IZQUIERDA= <u>477.932</u>	ELEVACION AL CENTRO = <u>477.070</u>	ELEVACION DERECHA= <u>475.540</u>		
COLCHON EN HOMBRO IZQ.= <u>1.95</u>		COLCHON EN HOMBRO DERECHO= <u>3.61</u>		



Corresponde a la sección de construcción de la página 82

CAMINO: <u>CATAZAJÁ-T.C. (TUXTLA GUTIERREZ C.D. CUAHUTEMOC)</u>		ESTACIÓN: <u>85+795.728</u>	
TRAMO: <u>DEL KM 85+00 AL KM 88+000</u>		ALCANTARILLA DE: <u>1 T. CONC</u>	
SUBTRAMO: <u>CATAZAJA CHIAPAS REHABILITACION</u>		DIMS. (m): <u>Ø= 1.50 m</u>	
CÁLCULO DE LA LONGITUD DE OBRA			
LOCALIZACIÓN			
ESVIAJE			
CRUCE:	4° 34'	DER	TANGENTE SENTIDO DEL ESCURRIMIENTO DER ==> ==> ==>
DATOS DE TERRACERÍAS EN EL CRUCE			
SECCIÓN NORMAL			
ELEV. SUBRASANTE (m)	<u>482.683</u>	ESPESOR DE PAVIMENTO (m):	<u>0.35</u>
RASANTE DE CÁLCULO (m)	<u>483.033</u>	PENDIENTE LONG. DEL CAMINO (%):	<u>2.50</u>
SEMICORONAS (m)	Y1 (IZQ) <u>3.50</u>	SOBREELEV. (%)	W1 (IZQ) <u>2.39</u>
	Y2 (DER) <u>3.50</u>		W2 (DER) <u>-2.39</u>
SECCIÓN DE LAS TERRACERÍAS SEGÚN EL EJE DE LA OBRA			
X1=	<u>0.28</u>	Tang e = <u>0.07987</u>	X2= <u>0.28</u>
C1=	<u>3.51</u>	Cos e = <u>0.99683</u>	C2= <u>3.51</u>
R1=	<u>483.040</u>	Sen e = <u>0.07962</u>	R2= <u>483.026</u>
H1=	<u>483.124</u>	Tn IZQ= <u>1.50</u>	H2= <u>482.943</u>
COS e (+ -) K =	<u>0.9938</u>	Tn DER= <u>1.50</u>	COS e (+ -) K = <u>0.9998</u>
T1=	<u>1.51</u>	KIZQ = <u>-0.00299</u>	T2= <u>1.50</u>
		KDER = <u>0.00299</u>	
LONGITUD DE OBRA			
PLANTILLA DEL CAUCE	PENDIENTE S (%) <u>5.200</u> ELEVACIÓN D (m) <u>478.630</u>	ALTURA DE LA DIRECTRIZ: 0.15	
1/T1=		<u>0.66</u>	1/T2=
(1 / T1)±S	<u>0.71</u>	M = <u>1.65</u>	Q = <u>0.28</u>
F1=	<u>480.477</u>	M2= <u>1.64</u>	F2= <u>480.083</u>
h1=	<u>2.65</u>	F'1= <u>480.29</u>	F'2= <u>480.27</u>
d1=	<u>3.70</u>	Q' = <u>0.28</u>	Q' S = <u>0.01</u>
L1=	<u>7.49</u>		L2= <u>8.44</u>
L TOTAL = 15.94 metros			
CORRECCION DE LA LONGITUD, A NUM.CERRADO DE TUBOS POR EL METODO DE TALUDES			
d1= <u>3.82</u>	Tn _{corr IZQ} = <u>1.55</u>	Tn _{corr DER} = <u>1.55</u>	d2= <u>4.83</u>
L1= <u>7.61</u>	T _{corr IZQ} = <u>1.56</u>	T _{corr DER} = <u>1.55</u>	L2= <u>8.62</u>
LONG. EXISTENTE IZQ.= <u>0.00</u>	L' = <u>16.25</u>	LONG. EXISTENTE DER.= <u>0.00</u>	
LONG. IZQ. = <u>7.61</u>	LT ₂ = <u>16.23</u>	PROYECCION HORIZONTAL	LONG. DER. = <u>8.62</u>
TOTAL AMPLIACION= <u>16.23</u> PROYECCION HORIZONTAL			
L = <u>16.25</u> LONGITUD TOTAL = 13 TRAMOS DE TUBO DE 1.25 m			
DATOS COMPLEMENTARIOS			
ELEV. IZQUIERDA= <u>479.026</u>	ELEVACION AL CENTRO = <u>478.630</u>	ELEVACION DERECHA= <u>478.182</u>	
COLCHON EN HOMBRO IZQ.= <u>2.66</u>		COLCHON EN HOMBRO DERECHO= <u>2.85</u>	



Corresponde a la sección de construcción de la página 83

CAMINO:	<u>CATAZAJÁ - T.C.</u>		ESTACIÓN:	<u>86+040.000</u>	
TRAMO:	<u>PALENQUE - OCOSINGO</u>		ALCANTARILLA DE:	<u>LOSA</u>	
SUBTRAMO:	<u>KM 83+000 - 88+000</u>		DIMS. (m):	<u>2.00</u>	x <u>1.50</u>
LOCALIZACIÓN					
ESVIAJE					
CRUCE (°):	<u>0° 0'</u>	NORMAL EN	TANGENTE	SENTIDO DEL ESCURRIMIENTO	DER ==> ==> ==>
DATOS DE TERRACERÍAS EN EL CRUCE					
SECCIÓN NORMAL					
ELEV. SUBRASANTE (m)	<u>490.500</u>		ESPESOR DE PAVIMENTO (m):	<u>0.35</u>	
RASANTE DE CÁLCULO (m)	<u>490.850</u>		PENDIENTE LONG. DEL CAMINO (%):	<u>4.75</u>	
	Y1 (IZQ)	<u>3.50</u>		W1 (IZQ)	<u>-2.00</u>
SEMICORONAS (m)			SOBREELEV. (%)		
	Y2 (DER)	<u>3.50</u>		W2 (DER)	<u>-0.76</u>
SECCIÓN DE LAS TERRACERÍAS SEGÚN EL EJE DE LA OBRA					
X1=	<u>0.00</u>	Tang e=	<u>0.00000</u>	X2=	<u>0.00</u>
C1=	<u>3.50</u>	Cos e=	<u>1.00000</u>	C2=	<u>3.50</u>
R1=	<u>490.850</u>	Sen e=	<u>0.00000</u>	R2=	<u>490.850</u>
H1=	<u>490.780</u>			H2=	<u>490.823</u>
COS e (+ -) K=	<u>1.0000</u>	Tn=	<u>Izq. 1.5 , Der. 1.5</u>	COS e (+ -) K=	<u>1.0000</u>
T1=	<u>1.50</u>	KIZQ=	<u>0.00000</u>	T2=	<u>1.50</u>
		KDER=	<u>0.00000</u>		
LONGITUD DE OBRA					
PLANTILLA	PENDIENTE S (%)		<u>2.600</u>	ESPESOR DE	
DEL CAUCE	ELEVACIÓN D (m)		<u>488.740</u>	SUPERESTRUCTURA (m)	
					<u>0.21</u>
1/T1=	<u>0.67</u>			1/T2=	<u>0.67</u>
(1+S) / T1	<u>0.69</u>	M=	<u>1.91</u>	Q=	<u>0.35</u>
F1=	<u>490.750</u>			(1+S) / T2	<u>0.64</u>
h1=	<u>0.03</u>	M1=	<u>1.92</u>	F2=	<u>490.550</u>
d1=	<u>0.50</u>	M2=	<u>1.90</u>	h2=	<u>0.27</u>
L1=	<u>4.35</u>	F'1=	<u>490.66</u>	F'2=	<u>490.64</u>
		d2=	<u>0.43</u>	d2=	<u>0.43</u>
		Q'S=	<u>0.01</u>	L2=	<u>4.28</u>
		L TOTAL=	<u>8.63</u> metros		
LONG. EXISTENTE=	<u>0.00</u>			LONG. EXISTENTE=	<u>0.00</u>
LONG. IZQ	<u>4.35</u>	L TOTAL	<u>8.63</u> metros	LONG. DER	<u>4.28</u>
DATOS COMPLEMENTARIOS					
IZQUIERDA	ELEV (m)	<u>488.853</u>	CENTRO	DERECHA	ELEV (m)
			ELEV. (m)	<u>488.740</u>	<u>488.629</u>
COLCHON EN HOMBRO IZQUIERDO	<u>0.24</u>		COLCHON EN HOMBRO DERECHO	<u>0.46</u>	



Corresponde a la sección de construcción de la página 84

CAMINO:	CATAZAJÁ - T.C.		ESTACIÓN:	86+460.000	
TRAMO:	PALENQUE - OCOSINGO		ALCANTARILLA DE:	LOSA	
SUBTRAMO:	KM 83+000 - 88+000		DIMS. (m):	2.00 x 1.50	
LOCALIZACIÓN					
ESVIAJE					
CRUCE (°):	0° 0'	NORMAL EN	TANGENTE	SENTIDO DEL ESCURRIMIENTO	DER ==> ==> ==>
DATOS DE TERRACERÍAS EN EL CRUCE					
SECCIÓN NORMAL					
ELEV. SUBRASANTE (m)	504.920		ESPEJOR DE PAVIMENTO (m):	0.35	
RASANTE DE CÁLCULO (m)	505.270		PENDIENTE LONG. DEL CAMINO (%):	2.85	
	Y1 (IZQ)	3.50	W1 (IZQ)	7.90	
SEMICORONAS (m)			SOBREELEV. (%)		
	Y2 (DER)	3.50	W2 (DER)	-7.90	
SECCIÓN DE LAS TERRACERÍAS SEGÚN EL EJE DE LA OBRA					
X1=	0.00	Tang e=	0.00000	X2=	0.00
C1=	3.50	Cos e=	1.00000	C2=	3.50
R1=	505.270	Sen e=	0.00000	R2=	505.270
H1=	505.547			H2=	504.994
COS e (+ -) K=	1.0000	Tn= IZQ. 1.5, DER. 1.5		COS e (+ -) K=	1.0000
T1=	1.50	KIZQ=	0.00000	T2=	1.50
		KDER=	0.00000		
LONGITUD DE OBRA					
PLANTILLA DEL CAUCE	PENDIENTE S (%)		7.900		
	ELEVACIÓN D (m)		503.320		
			SUPERESTRUCTURA (m)		
1/T1=	0.67			1/T2=	0.67
(1+S) / T1	0.75	M=	1.91	Q=	0.35
F1=	505.534			(1+S) / T2	0.59
h1=	0.01	M1=	1.94	F2=	504.926
d1=	0.50	F'1=	505.26	M2=	1.88
L1=	4.35	Q'S=	0.03	h2=	0.07
		F'2=	505.20	d2=	0.50
		L2=	4.35		
		L TOTAL=	8.70 metros		
LONG. EXISTENTE=	0.00			LONG. EXISTENTE=	0.00
LONG. IZQ	4.35	L TOTAL	8.70 metros	LONG. DER	4.35
DATOS COMPLEMENTARIOS					
IZQUIERDA	ELEV (m)	503.664	CENTRO	DERECHA	ELEV (m)
			ELEV. (m)		502.976
			503.320		
COLCHON EN HOMBRO IZQUIERDO	0.24		COLCHON EN HOMBRO DERECHO	0.24	



Corresponde a la sección de construcción de la página 86

CAMINO: <u>CATAZAJÁ-T.C. (TUXTLA GUTIERREZ C.D. CUAHUTEMOC)</u>		ESTACIÓN: <u>87+233.530</u>	
TRAMO: <u>DEL KM 85+00 AL KM 88+000</u>		ALCANTARILLA DE: <u>1 T. CONC</u>	
SUBTRAMO: <u>CATAZAJA CHIAPAS REHABILITACION</u>		DIMS. (m): <u>Ø= 1.50 m</u>	
CÁLCULO DE LA LONGITUD DE OBRA			
LOCALIZACIÓN			
ESVIAJE			
CRUCE: <u>0° 0' 0</u>	TANGENTE	SENTIDO DEL ESCURRIMIENTO	DER <u>==> ==> ==></u>
DATOS DE TERRACERÍAS EN EL CRUCE			
SECCIÓN NORMAL			
ELEV. SUBRASANTE (m)	<u>497.030</u>	ESPESOR DE PAVIMENTO (m):	<u>0.35</u>
RASANTE DE CÁLCULO (m)	<u>497.380</u>	PENDIENTE LONG. DEL CAMINO (%):	<u>-1.70</u>
SEMICORONAS (m)	<u>Y1 (IZQ)</u> <u>3.50</u>	SOBREELEV. (%)	<u>W1 (IZQ)</u> <u>-2.00</u>
	<u>Y2 (DER)</u> <u>3.50</u>		<u>W2 (DER)</u> <u>-2.00</u>
SECCIÓN DE LAS TERRACERÍAS SEGÚN EL EJE DE LA OBRA			
X1=	<u>0.00</u>	Tang e = <u>0.00000</u>	X2= <u>0.00</u>
C1=	<u>3.50</u>	Cos e = <u>1.00000</u>	C2= <u>3.50</u>
R1=	<u>497.380</u>	Sen e = <u>0.00000</u>	R2= <u>497.380</u>
H1=	<u>497.310</u>	Tn IZQ= <u>1.50</u>	H2= <u>497.310</u>
COS e (+ -) K =	<u>1.0000</u>	Tn DER= <u>1.50</u>	COS e (+ -) K = <u>1.0000</u>
T1=	<u>1.50</u>	KIZQ = <u>0.00000</u>	T2= <u>1.50</u>
		KDER = <u>0.00000</u>	
LONGITUD DE OBRA			
PLANTILLA DEL CAUCE	PENDIENTE S (%) ELEVACIÓN D (m)	<u>3.400</u>	ALTURA DE LA DIRECTRIZ: <u>0.15</u>
		<u>494.500</u>	
1/T1=	<u>0.67</u>		1/T2= <u>0.67</u>
(1 / T1)±S	<u>0.70</u>	M = <u>1.65</u>	Q = <u>0.28</u>
F1=	<u>496.279</u>		F2= <u>496.021</u>
h1=	<u>1.03</u>	M1= <u>1.66</u>	M2= <u>1.64</u>
d1=	<u>1.47</u>	F'1= <u>496.16</u>	F'2= <u>496.14</u>
L1=	<u>5.25</u>	Q' = <u>0.28</u>	Q' S = <u>0.01</u>
		L2= <u>5.82</u>	
L TOTAL = 11.07 metros			
CORRECCION DE LA LONGITUD, A NUM.CERRADO DE TUBOS POR EL METODO DE TALUDES			
d1= <u>1.54</u>	Tn _{corr IZQ} = <u>1.57</u>	Tn _{corr DER} = <u>1.57</u>	d2= <u>2.14</u>
L1= <u>5.32</u>	T _{corr IZQ} = <u>1.57</u>	T _{corr DER} = <u>1.57</u>	L2= <u>5.92</u>
LONG. EXISTENTE IZQ.= <u>0.00</u>	L' = <u>11.25</u>		LONG. EXISTENTE DER.= <u>0.00</u>
LONG. IZQ. = <u>5.32</u>	LT ₂ = <u>11.24</u>	PROYECCION HORIZONTAL	LONG. DER. = <u>5.92</u>
	TOTAL AMPLIACION= <u>11.24</u>	PROYECCION HORIZONTAL	
	L = <u>11.25</u>	LONGITUD TOTAL = 9 TRAMOS DE TUBO DE 1.25 m	
DATOS COMPLEMENTARIOS			
ELEV. IZQUIERDA= <u>494.681</u>	ELEVACION AL CENTRO = <u>494.500</u>	ELEVACION DERECHA= <u>494.299</u>	
COLCHON EN HOMBRO IZQ.= <u>1.04</u>		COLCHON EN HOMBRO DERECHO= <u>1.28</u>	



Corresponde a la sección de construcción de la página 87

CAMINO: <u>CATAZAJÁ-T.C. (TUXTLA GUTIERREZ C.D. CUAHUTEMOC)</u>		ESTACIÓN: <u>87+385.299</u>	
TRAMO: <u>DEL KM 85+00 AL KM 88+000</u>		ALCANTARILLA DE: <u>1 T. CONC</u>	
SUBTRAMO: <u>CATAZAJA CHIAPAS REHABILITACION</u>		DIMS. (m): <u>Ø= 1.50 m</u>	
CÁLCULO DE LA LONGITUD DE OBRA			
LOCALIZACIÓN			
ESVIAJE			
CRUCE:	6° 12'	DER	TANGENTE SENTIDO DEL ESCURRIMIENTO DER ==> ==> ==>
DATOS DE TERRACERÍAS EN EL CRUCE			
SECCIÓN NORMAL			
ELEV. SUBRASANTE (m)	496.124	ESPESOR DE PAVIMENTO (m):	0.35
RASANTE DE CÁLCULO (m)	496.474	PENDIENTE LONG. DEL CAMINO (%):	-0.50
SEMICORONAS (m)	Y1 (IZQ)	3.50	W1 (IZQ)
	Y2 (DER)	3.50	W2 (DER)
		SOBREELEV. (%)	-2.00
			-2.00
SECCIÓN DE LAS TERRACERÍAS SEGÚN EL EJE DE LA OBRA			
X1=	0.38	Tang e =	0.10864
C1=	3.52	Cos e =	0.99415
R1=	496.472	Sen e =	0.10800
H1=	496.402	Tn IZQ=	1.50
COS e (+ -) K =	0.9950	Tn DER=	1.50
T1=	1.51	KIZQ =	0.00081
		KDER =	-0.00081
		X2=	0.38
		C2=	3.52
		R2=	496.475
		H2=	496.405
		COS e (+ -) K =	0.9933
		T2=	1.51
LONGITUD DE OBRA			
PLANTILLA DEL CAUCE	PENDIENTE S (%)	3.500	ALTURA DE LA DIRECTRIZ: 0.15
		ELEVACIÓN D (m)	
1/T1=	0.66		1/T2=
(1 / T1) ±S	0.70	M =	1.65
F1=	495.333	Q =	0.28
h1=	1.07	M1=	1.66
d1=	1.53	M2=	1.64
L1=	5.33	F'1=	495.21
		F'2=	495.19
		Q' =	0.28
		Q' S =	0.01
		L2=	5.94
		L TOTAL =	11.27 metros
CORRECCION DE LA LONGITUD, A NUM.CERRADO DE TUBOS POR EL METODO DE TALUDES			
d1=	2.00	Tn _{corr} IZQ=	1.99
L1=	5.80	Tn _{corr} DER=	1.99
LONG. EXISTENTE IZQ.=	0.00	T _{corr} IZQ=	2.00
		T _{corr} DER=	2.01
LONG. IZQ. =	5.80	L' =	12.50
		LONG. EXISTENTE DER.=	0.00
		LT ₂ =	12.49
		TOTAL AMPLIACION=	12.49
		L=	12.50
		PROYECCION HORIZONTAL	LONG. DER. = 6.69
		PROYECCION HORIZONTAL	LONG. DER. = 6.69
		LONGITUD TOTAL =	10 TRAMOS DE TUBO DE 1.25 m
DATOS COMPLEMENTARIOS			
ELEV. IZQUIERDA=	493.753	ELEVACION AL CENTRO =	493.550
COLCHON EN HOMBRO IZQ.=	1.08	ELEVACION DERECHA=	493.316
		COLCHON EN HOMBRO DERECHO=	1.33



Corresponde a la sección de construcción de la página 88

CAMINO: <u>CATAZAJÁ-T.C. (TUXTLA GUTIERREZ C.D. CUAHUTEMOC)</u>		ESTACIÓN: <u>87+608.182</u>	
TRAMO: <u>DEL KM 85+00 AL KM 88+000</u>		ALCANTARILLA DE: <u>1 T. CONC</u>	
SUBTRAMO: <u>CATAZAJA CHIAPAS REHABILITACION</u>		DIMS. (m): <u>Ø= 1.50 m</u>	
CÁLCULO DE LA LONGITUD DE OBRA			
LOCALIZACIÓN			
ESVIAJE			
CRUCE:	<u>7° 31'</u>	DER	TANGENTE
		SENTIDO DEL ESCURRIMIENTO	
		DER	==> ==> ==>
DATOS DE TERRACERÍAS EN EL CRUCE			
SECCIÓN NORMAL			
ELEV. SUBRASANTE (m)		<u>499.272</u>	ESPESOR DE PAVIMENTO (m): <u>0.35</u>
RASANTE DE CÁLCULO (m)		<u>499.622</u>	PENDIENTE LONG. DEL CAMINO (%): <u>0.25</u>
SEMICORONAS (m)	}	Y1 (IZQ)	<u>3.50</u>
		Y2 (DER)	<u>3.50</u>
		SOBREELEV. (%)	
		W1 (IZQ)	<u>-2.00</u>
		W2 (DER)	<u>-2.00</u>
SECCIÓN DE LAS TERRACERÍAS SEGÚN EL EJE DE LA OBRA			
X1=	<u>0.46</u>	Tang e = <u>0.13195</u>	X2= <u>0.46</u>
C1=	<u>3.53</u>	Cos e = <u>0.99141</u>	C2= <u>3.53</u>
R1=	<u>499.623</u>	Sen e = <u>0.13081</u>	R2= <u>499.621</u>
H1=	<u>499.553</u>	Tn IZQ= <u>1.50</u>	H2= <u>499.551</u>
COS e (+ -) K =	<u>0.9909</u>	Tn DER= <u>1.50</u>	COS e (+ -) K = <u>0.9919</u>
T1=	<u>1.51</u>	KIZQ = <u>-0.00049</u>	T2= <u>1.51</u>
		KDER = <u>0.00049</u>	
LONGITUD DE OBRA			
PLANTILLA DEL CAUCE	}	PENDIENTE S (%)	<u>1.900</u>
		ELEVACIÓN D (m)	<u>496.800</u>
		ALTURA DE LA DIRECTRIZ: 0.15	
1/T1=	<u>0.66</u>		1/T2= <u>0.66</u>
(1 / T1) ±S	<u>0.68</u>	M = <u>1.65</u>	Q = <u>0.28</u>
F1=	<u>498.522</u>		F2= <u>498.378</u>
h1=	<u>1.03</u>	M1= <u>1.66</u>	M2= <u>1.64</u>
d1=	<u>1.52</u>	F'1= <u>498.46</u>	F'2= <u>498.44</u>
L1=	<u>5.33</u>	Q'= <u>0.28</u>	Q'S = <u>0.01</u>
		L2= <u>5.64</u>	
L TOTAL = 10.97 metros			
CORRECCION DE LA LONGITUD, A NUM.CERRADO DE TUBOS POR EL METODO DE TALUDES			
d1= <u>1.64</u>	Tn _{corr IZQ} = <u>1.63</u>	Tn _{corr DER} = <u>1.63</u>	d2= <u>1.98</u>
L1= <u>5.45</u>	T _{corr IZQ} = <u>1.64</u>	T _{corr DER} = <u>1.64</u>	L2= <u>5.80</u>
LONG. EXISTENTE IZQ.= <u>0.00</u>	L' = <u>11.25</u>		LONG. EXISTENTE DER.= <u>0.00</u>
LONG. IZQ. = <u>5.45</u>	LT ₂ = <u>11.25</u>	PROYECCION HORIZONTAL	LONG. DER. = <u>5.80</u>
	TOTAL AMPLIACION= <u>11.25</u>	PROYECCION HORIZONTAL	
	L = <u>11.25</u>	LONGITUD TOTAL = 9 TRAMOS DE TUBO DE 1.25 m	
DATOS COMPLEMENTARIOS			
ELEV. IZQUIERDA= <u>496.904</u>	ELEVACION AL CENTRO = <u>496.800</u>	ELEVACION DERECHA= <u>496.690</u>	
COLCHON EN HOMBRO IZQ.= <u>1.04</u>		COLCHON EN HOMBRO DERECHO= <u>1.17</u>	



CONCLUSIONES

PRIMERO. Los objetivos de la presente investigación se cumplió adecuadamente al exponer la metodología para la proyección de obras de drenaje utilizada por la Oficina de drenaje y estructuras menores de la Dirección General de Carreteras de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, tomando como referencia información técnica del tramo carretero comprendido entre los kilómetros 85+000 y 88+000 de la carretera Palenque - San Cristóbal.

SEGUNDO. La importancia del desarrollo de vías terrestres en cualquier comunidad tendrá un impacto directo con el desarrollo de la misma. En este caso, el de mejorar las condiciones en las que operaba la carretera Palenque – San Cristóbal fue incrementar la actividad turística del lugar beneficiando a la economía del estado de Chiapas.

TERCERO. Uno de los elementos principales para el desarrollo de un proyecto de vías terrestres es la medida de tránsito, puesto que de éste dato dependerá todo el proyecto geométrico del camino.

CUERTO. De acuerdo a la geometría mostrada en las secciones de construcción de la Carretera Palenque - San Cristóbal se puede ver que el ancho de corona es igual a 7.00 metros, por lo que se puede considerar que ésta carretera es tipo C con un TDPA que va de 500 a 1,500 vehículos distribuidos en dos carriles (uno por sentido), y que pertenece a la red secundaria del eje de transporte.

QUINTO. Es de suma prioridad conocer el tipo de carretera con la que se está trabajando ya que éste dato permitirá saber qué tipo de estructura requerirá el cuerpo del camino, es decir el diferente espesor que tendrá cada una de las capas que lo conforman.

SEXTO. La trascendencia de proyectar un sistema de drenaje en cualquier proyecto carretero está en la metodología a seguir para alcanzar o lograr un óptimo funcionamiento de su drenaje asegurando una operación efectiva de la carretera en cuestión.

SEPTIMO. El desarrollo del proyecto de drenaje consta de ubicar y delimitar las cuencas hidrológicas que descargan en dirección al trazo de la carretera y darle continuidad al cauce en los puntos más bajos de la descarga, adaptando la pendiente de la alcantarilla a las condiciones topográficas encontradas en el sitio para la elección del tipo de obra, misma que será dimensionada con base al cálculo del área hidráulica necesaria con la formula empírica de Talbot y posteriormente se procede a analizar si las obras propuestas se adaptan a la proyección del alineamiento vertical de la carretera al nivel de subrasante.



OCTAVO. La metodología utilizada y autorizada por la Oficina de drenaje y estructuras menores de la Dirección General de Carreteras de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes se puede considerar práctica por motivos de revisión, sin embargo ésta no garantiza un óptimo dimensionamiento de la alcantarilla.

NOVENO. Las alcantarillas conformadas por tuberías existentes tuvieron una ampliación en su diámetro. Se puede deducir que esta modificación tuvo como objetivo evitar que la obra de drenaje sufriera una obstrucción debido a ramazón o vegetación de gran tamaño de la zona que pudiera afectar al drenaje carretero.

DÉCIMO. Debido a la falta de una revisión hidráulica, las obras de drenaje pueden llegar a tener azolves con velocidades muy pequeñas obstruyendo las alcantarillas, o provocar socavación o erosión en el fondo con velocidades altas que con el tiempo generan agrietamientos y posteriormente infiltraciones de agua en el suelo y el material que conforma el cuerpo del camino.

ONCEAVO. Un análisis hidráulico más completo de las obras de drenaje puede garantizar mejorías tanto en la operación como en los costos de construcción de la misma, además de poder implementar materiales que puedan aumentar la calidad de la alcantarilla y tener mejores resultados a largo plazo.



RECOMENDACIONES

PRIMERO. Con base a la experiencia se ha observado que las obras de drenaje que se proyectan con el criterio apoyado en la fórmula empírica de Talbot están sobredimensionadas en su capacidad hidráulica. Este resultado no sólo se ve reflejado en aportaciones de agua en pequeñas proporciones comparadas con la sección de la alcantarilla, sino en el costo de la construcción.

SEGUNDO. Existen métodos, tanto hidráulicos como hidrológicos, que pueden darnos un dato más certero de área hidráulica necesaria en la alcantarilla, cómo el método racional americano que nos da el gasto de la cuenca y que posteriormente éste gasto pueda ser analizado en la sección de la alcantarilla propuesta por el método sección-pendiente.

TERCERO. La ventaja de utilizar el método racional americano es que toma en cuenta características particulares de la zona hidrológica estudiada, como lo son la pendiente media del escurrimiento principal de la cuenca que nos dará la pauta para el cálculo del tiempo de concentración en la descarga con el cuerpo del camino, la intensidad de lluvia en milímetros por hora en determinado periodo de retorno, el coeficiente de infiltración del terreno con base al uso de suelo y finalmente el área tributaria de la cuenca.

CUARTO. Una vez calculado el gasto hidrológico, se procede a analizar éste mismo en una propuesta de sección geométrica de la alcantarilla por el método sección-pendiente que no sólo nos dará el área hidráulica necesaria sino también el tirante del escurrimiento y la velocidad en el fondo y las paredes de la obra considerando la pendiente y el coeficiente de rugosidad de Manning.

QUINTO. Teniendo éste análisis se podrá asegurar que la obra de drenaje sea aprovechada de forma efectiva hidráulicamente y respetando el bordo libre requerido para dar paso a la materia flotante.

SEXTO. Otro aspecto a considerar es la instalación de otro tipo de materiales más sofisticados como lo son tuberías de Polietileno de Alta Densidad (PAD) con una vida útil mayor que una tubería de concreto, o bien, arcos de acero galvanizado que entre sus virtudes está el ser mucho más flexibles y resistentes evitando problemas de colchones mínimos.

SÉPTIMO. Estas consideraciones aseguran que se tengan las velocidades permisibles dentro de la alcantarilla y en consecuencia el horizonte de proyecto sea aún mayor, garantizando también que la inversión que se haga en la construcción de la obra de drenaje resulte inmejorable para el ingeniero proyectista.



BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES DE CONSULTA

❖ BIBLIOGRAFÍA

- [1] Intituto Mexicano del Transporte (IMT), *Clasificación de carreteras*, 1995.
- [2] Olivera Bustamante, Fernando, *Construcción de vías terrestres*, 1° Edición, Ed, CECOSA, México, 1991.
- [3] Intituto Mexicano del Cemento y el Concreto (IMCYC), *Pavimentos de concreto hidráulico*, 2009.
- [4] Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), *Pavimento rígidos. Manual de Normas IX*, 1995.
- [5] Hayasaka Reyes, José y Peñafiel Soto, Fernando, 1996, *Pavimento de Concreto Hidráulico en Carreteras (Tesis de grado)*, Intituto Tecnológico de la Construcción, A.C. (ITC), México.
- [6] Mondragón Rivera, Cándido y Ricárdez Valencia, Hugo. *Manual Práctico para cálculo geométrico del drenaje en carreteras*, 1991, Cuarta reimpresión.
- [7] Rico Rodríguez Alfonso, Orozco Juan Manuel, Téllez Gutiérrez Rodolfo y Pérez García Alfredo, *Manual de calidad de los materiales en secciones estructurales de pavimentos carreteros*, Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), 1990, Documento Técnico No. 1
- [8] Mosqueira R. Salvador, *Manual de drenaje de caminos*, Departamento de Puentes, México, D.F. 1952.
- [9] Aparicio Mijares, Francisco J, *Fundamentos de Hidrología de Superficie*, Edit. Limusa, 2001.
- [10] Gisbert Blanquer Juan Manuel, Ibáñez Asencio Sara y Moreno Ramón Héctor, *Métodos para la determinación del tiempo de concentración de una cuenca hidrológica*, Universidad Politécnica de Valencia (UPV), Departamento de Producción Vegetal, s.f.
- [11] Juárez Badillo, Eulalio, *Mecánica de suelos*, Tomo I, Edit. Limusa, 2° Edición, 2005
- [12] Suárez Díaz, Jaime, *Deslizamientos: Tomo II - Técnicas de Remediación. Drenaje y subdrenaje*, Edit. Ingeniería de suelos, Ltda. Colombia, 1998.
- [13] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), *Manual de Instalación de Tuberías para Drenaje Sanitario*, Septiembre 2012
- [14] Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), Dirección general de Servicios Técnicos, *Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras*, 2013.
- [15] Secretería de Comunicaciones y Transportes (SCT), Normas de Servicios Técnicos, *Proyecto Geométrico. Carreteras*. 1984.



❖ HEMEROGRAFÍA

- Ortiz Hernán, Sergio, s.f. *Caminos y transportes mexicanos al comenzar el siglo XIX*, Recuperado de <http://revistas.bancomext.gob.mx/rce/magazines/510/6/RCE10.pdf>
- La modernización de la carretera San Cristóbal-Palenque, un impulso hacia el turismo: Melgar, 14 de enero de 2016, *Aquínoticias*, Recuperado de <http://aquinoticias.mx/la-modernizacion-de-la-carretera-san-cristobal-palenque-un-impulso-hacia-el-turismo-melgar>
- Para 2017 van otros mil mdp para la carretera Palenque-SC, 23 de enero, 2017, *El Heraldo de Chiapas*, Recuperado de <https://www.elheraldodechiapas.com.mx/local/para-2017-van-otros-mil-mdp-para-la-carretera-palenque-sclc/>

❖ MESOGRAFÍA

- H. Cantarell, Violeta, s.f. *Sacbé, camino de aventura milenaria*, Recuperado de <http://yucantoday.com/sacb-camino-de-aventura-milenaria/>
- *El tren fue otro protagonista de la Revolución Mexicana*, 17 de noviembre de 2010, Recuperado de <http://www.vanguardia.com.mx/eltrenfueotroprotagonistadelarevolucionmexicana-591484.html>
- Medina Vázquez, Ismael, 2014, *Reseña de las vías terrestres en México*, Recuperado de http://www.academia.edu/22898287/Vías_terrestres_en_México
- Moreno Pecero, Gabriel, Enero 2016, *Las vías terrestres, pilar del desarrollo en México*, Recuperado de http://www.amivtac.org/assets/files/document/3132_Vias%20terrestres%20pilar%20fundamental%20del%20desarrollo%20de%20mexico.pdf
- *Plan nacional de desarrollo 2007- 2010, Infraestructura y transporte*, 31 de mayo de 2017, Recuperado de <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/compila/pnd.htm>
- Romero Valle, Socorro y Paucar Manzanilla, Daniel Hugo, s.f. *Red de Autopistas Concesionada Mexicana*, Recuperado de <http://www.cofemersimir.gob.mx/expediente/13744/mir/32470/anexo/930375>
- Diario Oficial de la Federación, 29 de abril de 2014, *Plan Nacional de Desarrollo, Programa Nacional de Infraestructura 2014 – 2018*, Recuperado de http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5342547&fecha=29/04/2014
- *Palenque*, s.f. Recuperado de <http://www.turismochiapas.gob.mx/sectur/palenque>
- *San Cristóbal de las Casas*, s.f. Recuperado de <http://www.turismochiapas.gob.mx/sectur/san-cristbal-de-las-casas->



- *Definición del concepto de carretera, sus características y análisis de la importancia de la conservación de la misma.*, s.f. Recuperado de:
<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/444/A4.pdf?sequence=4>
- *El tránsito diario promedio anual (TDPA)*, s.f. Recuperado de:
<https://es.scribd.com/doc/133290368/El-Transito-Promedio-Diario-Anual>
- *Guía general para la preparación y presentación de estudios de evaluación socioeconómica de proyectos carreteros*, 2004, Recuperado de
http://www.cepep.gob.mx/work/models/CEPEP/metodologias/documentos/guia_proyectos_carreteros.pdf
- *Concepto de pavimento*, s.f. Recuperado de
<http://www.arqhys.com/contenidos/pavimento-concepto.html>
- *Pavimentos flexibles*, 2008, Recuperado de <http://canalconstruccion.com/pavimentos-flexibles.html>
- *Riego de liga*, s.f. Recuperado de <http://www.emulsionesasfalticas.com/riegodoc.htm>
- *Emulsiones asfálticas*, s.f. Recuperado de <http://www.asfalchile.cl/asfalchile-mobil/emulsiones-asfalticas>
- *Base y sub-base en pavimentos flexibles*, s.f. recuperado de
http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/sanchez_r_se
- Álvarez Pavón, Jorge A. *Estabilización de subrasantes*, Intituto Colombiano de Productores de Cemento (ICPC), s.f. Recuperado de
http://anfagal.org/media/Biblioteca_Digital/Construccion/Estabilizacion_de_Suelos/Estab.Doc.Colombiano,varios%20insumos,Cal.2010-F_Upload.pdf
- *Proyecto para el camino*, s.f. Recuperado de
http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/de_u_jm/capitulo3.pdf
- Servicios Agropecuarios de la Costa, S.A. de C.V. *Características del suelo arcilloso*, 2015, Recuperado de <http://www.gruposacsa.com.mx/caracteristicas-del-suelo-arcilloso/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), *Turberas y suelos orgánicos*, 2017. Recuperado de <http://www.fao.org/in-action/micca/knowledge/peatlands-and-organic-soils/es/>
- *Integración ambiental de carreteras*, 2014, Recuperado de
<http://descubriendolaingenieriacivil.blogspot.mx/2014/10/>
- *Estudios preliminares para el diseño de Puentes*, s.f. Recuperado de
<https://enciclotodo.wordpress.com/2014/04/14/estudios-preliminares-para-el-diseno-de-puentes/>



- *Estudios y reconocimientos geológico*, s.f. Recuperado de http://www.wikivia.org/wikivia/index.php/Estudios_y_reconocimientos_geológicos
- Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal, INAFED, *Características y uso de suelo, Chiapas*, 2017, Recuperado de <https://www.gob.mx/inafed/articulos/sabes-que-es-el-inafed?idiom=es>
- *Geotextiles*, s.f. Recuperado de <http://www.construmatica.com/construpedia/Geotextiles>
- *Muro de alero*, 2017. Recuperado de <http://apuntesingenierocivil.blogspot.mx/2011/02/muro-de-alero.html>
- Urtado Figueroa, Oswaldo, *Muros de contención*, s.f. Recuperado de <http://files.construccion-de-edificaciones.webnode.com.co/200000166-27f4a28ee3/CABEZOTES%20O%20CABEZALES%20DE%20SALIDA.pdf>

❖ **NORMATIVIDAD**

- NORMA Oficial Mexicana NOM-012-SCT-2-2014, Sobre el peso y dimensiones máximas con los que pueden circular los vehículos de autotransporte que transitan en las vías generales de comunicación de jurisdicción federal.
- N·CMT·4·02·002/11 // Características de los materiales·Materiales para pavimentos·Materiales para subbases y bases·Materiales para bases
- N·CTR·CAR·1·01·009/11 // Construcción·Carreteras·Conceptos de obra·Terracerías·Terraplenes
- N·CTR·CAR·1·03·009/00 // Construcción·Carreteras·Conceptos de obra·Drenaje y subdrenaje·Subdrenaje
- N·CMT·3·04·001/05 // Características de los materiales·Materiales para obras de drenaje y subdrenaje·Materiales para subdrenes·Filtros
- N·CMT·3·06/10 // Características de los materiales· Materiales para obras de drenaje y subdrenaje·Tubos Corrugados de Polietileno de Alta Densidad
- N·CTR·CAR·1·03·002/00 // Construcción·Carreteras·Conceptos de obra·Drenaje y subdrenaje·Alcantarillas tubulares de concreto