



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

Proyecto de Drenaje Menor en Vías Terrestres

INFORME DE ACTIVIDADES PROFESIONALES

Que para obtener el título de

Ingeniera Geomática

P R E S E N T A

Rubí Gómez Fonseca

ASESOR DE INFORME

M.I. Adolfo Reyes Pizano



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2024

AGRADECIMIENTOS

A mis padres y hermanos, por su cariño, por las lecciones de vida y por haberme forjado como la persona que soy.

A Diego, por ser mi mayor fuente de inspiración y motivación.

A Alfonso, por su amor y su apoyo.

Un especial agradecimiento al Ing. Adolfo Reyes Pizano, el Ing. Luis Bruno Garduño, la Ing. Ana Lilia Salas, el Ing. Roberto Ascencio y el Ing. Erik Márquez por aceptar ser integrantes del jurado, por su apoyo, disponibilidad y dirección durante la culminación de este trabajo.

A la Facultad de Ingeniería, a la UNAM, y a todos los profesores con quienes tomé clases y de quienes aprendí tanto.

Y a todos aquellos que de alguna u otra forma fueron parte de este logro.

Proyecto de Drenaje menor en Vías Terrestres

ÍNDICE

Introducción	1
Antecedentes	1
Objetivo	2
I. Contexto Laboral	2
-Aspectos Generales de la Empresa	2
-Descripción de puesto y Actividades realizadas	6
II. Fundamento Teórico.	7
-Definición y Clasificación	7
III. Estudios Preliminares	9
-Recopilación de Información.....	9
-Estudio Hidrológico	13
-Parámetros de Diseño	19
-Análisis Hidráulico.....	22
IV. Procesamiento de Datos	23
-Obtención de Datos del Proyecto Geométrico y Tabulares	23
-Cálculo Geométrico de longitud de Obra	29
-Cálculo Geométrico de Aleros	31
-Elementos adicionales de las obras	33
-Cálculo de Cantidades de Obra.....	35
-Obras Complementarias	45
V. Proyecto Final de Drenaje y Conclusiones	50
-Presentación de Resultados.....	50
-Conclusiones	51
Glosario	52
Bibliografía	53
Mesografía	53
Anexos	55

Introducción

La infraestructura carretera es muy importante para el desarrollo económico de nuestro país, ya que facilita el acceso a servicios de educación, salud, reduce costos y tiempos de transporte, facilita el flujo económico y ayuda a mantener una comunicación permanente.

Para que una carretera sea eficiente y brinde las medidas de seguridad necesarias, se requiere integrar muchos aspectos de planeación, estudios, proyecto, construcción, supervisión y conservación, todos ellos deben cumplir con las normas y lineamientos requeridos por la Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes (SICT).

El proyecto de una carretera está compuesto de distintas áreas ligadas entre sí, como son; topografía, proyecto geométrico, ingeniería de tránsito, geotecnia, impacto ambiental, hidrología e hidráulica, estructuras, túneles, drenaje, pavimentos, muros, entronques y señalamiento.

Dentro de las áreas mencionadas, uno de los temas que desde la planeación se debe tomar en cuenta es el sistema de drenaje, el cual, tiene la función de extraer y evitar, el contacto del agua con la carretera, para impedir un deterioro prematuro de la misma y de esta manera no ocasionar problemas de seguridad.

En el presente informe, se describen los trabajos, estudios, procedimientos, métodos y cálculos que se realizan, para el desarrollo, diseño y proyecto de las obras de drenaje de una carretera. Dentro de un proyecto ejecutivo de drenaje se llevan a cabo varias etapas, las cuales se entrelazan con el proyecto geométrico, para una mejor comprensión del tema, a través de este informe se explican brevemente los procedimientos y criterios generales que se manejan.

Antecedentes

El primer paso para lograr una carretera en las mejores condiciones es la planeación, y los factores que se deben tomar en cuenta son:

- Las necesidades y requerimientos del proyecto
- Las demandas sociales
- Las condiciones topográficas de la zona.
- El capital destinado para los estudios, proyecto y construcción de la carretera.
- La situación política del país

En los últimos años, se han construido nuevas carreteras en México con el fin de mejorar los tiempos de llegada y de igual manera se han planteado otras alternativas, como la modernización de las ya existentes.

El proyecto de drenaje comprende solo una parte de todo el trabajo necesario para obtener una carretera en condiciones óptimas, sin embargo, es de gran importancia que se considere correctamente desde un principio en el proyecto preliminar, ya que se deben considerar los cruces de ríos, arroyos, canales, barrancas, presas, caminos, zonas bajas, etc.; ya que es lo que define el número de puentes, pasos vehiculares, pasos de ganado, pasos peatonales, obras de drenaje y obras especiales, dado que, todas estas constituyen un porcentaje importante del total de la inversión necesaria, dependiendo de la zona y el tipo de terreno en cuestión.

Objetivo

Describir las actividades para el diseño de un Proyecto de Drenaje Menor en Vías Terrestres, las cuales realice durante mi práctica profesional dentro del Grupo Triada, empresa en la que me he desempeñado como proyectista de drenaje.

I. Contexto Laboral

-Aspectos Generales de la Empresa

Grupo Triada es un grupo de empresas mexicanas, con más de 30 años de experiencia, dedicado a proporcionar servicios de ingeniería y consultoría, con especialidad en proyectos de infraestructura del transporte.

Dispone de equipos de topografía, perforación, geofísica y laboratorio de mecánica de suelos, rocas, pavimentos y control de calidad.

Tiene participación total o parcial en cualquier actividad de una obra vial, como planeación, diseño, construcción y supervisión. (<https://www.triada.com.mx>).

Parte de los servicios que ofrecen son:

- ✓ Desarrollo de Proyecto Ejecutivo
- ✓ Coordinación de la Construcción
- ✓ Supervisión de Obra
- ✓ Control de Calidad
- ✓ Supervisión de Operación y Mantenimiento
- ✓ Estudios de Factibilidad
- ✓ Estudios de Tránsito
- ✓ Topografía
- ✓ Anteproyecto
- ✓ Ingeniería para Licitación
- ✓ Estudios de Detalle
- ✓ Optimización de Proyecto
- ✓ Revisiones de Proyecto
- ✓ Diseño de Indicadores y estándares de desempeño

De acuerdo con la empresa, su misión, visión y política de calidad son las siguientes:

Misión: Prestar servicios de Ingeniería con tecnología de excelencia, por medio de un equipo de profesionales altamente capacitados. Proporcionar atención personalizada hacia sus clientes, cuidando en todo momento sus intereses, para asegurar el costo, tiempo y calidad de los proyectos.

Visión: Ofrecer la más amplia variedad de Servicios de Estudios, Diseño, Supervisión y Gerencia de Proyectos de Ingeniería, siempre con el mayor profesionalismo, responsabilidad, eficiencia e integridad.

Política de Calidad: Es compromiso de todo el personal de Grupo Triada proporcionar servicios de calidad, dedicando su amplia capacidad profesional y experiencia, utilizando tecnología de vanguardia y cumpliendo con la normatividad aplicable, a fin de satisfacer las necesidades del cliente y mejorar de manera continua su Sistema de Gestión de Calidad basado en la Norma ISO-9001:2015, con acreditación en la Norma NMX-EC-17025-IMNC-2018 (<https://www.triada.com.mx>).

Principales Proyectos

La Carretera Villa victoria- El Oro, Libramiento de Tulancingo, Puente Baluarte, Puente Chiapas, Autopista Mitla-Tehuantepec, Autopista La Pera-Cuautla, Carretera Cosoleacaque-Acayucan, Autopista Guadalajara-Colima, Túneles de la Autopista Durango-Mazatlán, Autopista Guamúchil-Estación Don, Tren Interurbano México-Toluca, Tramo 4 y 5 del Tren Maya, Entronque de acceso CEM-AIFA, entre muchos otros.

FOTO 1

TÚNEL AUTOPISTA DURANGO-MAZATLÁN



Nota: Grupo TRIADA (2024) <https://www.triada.com.mx/principales-proyectos.html>

Foto 1.

PUENTE BALUARTE



Nota: Grupo TRIADA (2024) <https://www.triada.com.mx/principales-proyectos.html>

FOTO 2.

PIEDRA DE AGUA



Nota: Grupo TRIADA (2024) <https://www.triada.com.mx/principales-proyectos.html>

FOTO 4.

ENTRONQUE TEPOZTLÁN



Nota: Grupo SICT (2021) <https://www.gob.mx/sct/prensa/modernizacion-de-la-carretera-la-pera-cautla>

-Descripción de puesto y Actividades realizadas

El cargo que asumo dentro de la empresa antes mencionada es el de Proyectista de Drenaje, participando en el desarrollo de distintos proyectos para diversas carreteras del país.

La actividad principal de mi puesto es analizar y elaborar el proyecto integral de drenaje para vías terrestres, tomando en cuenta la topografía, la hidráulica, la hidrología, el proyecto geométrico, la geotecnia y el diseño estructural, para que estos cuenten con la calidad solicitada en las bases del contrato y apegado a la normativa vigente.

Para lograr lo anterior, llevo a cabo distintas actividades y procesos, algunas de las cuales son:

- Recabar y organizar toda la información disponible para la elaboración de los estudios y proyectos preliminares.
- Analizar y delimitar las cuencas de aportación, así como obtener sus parámetros hidrológicos y cálculo de los gastos hidráulicos.
- Revisar los registros topográficos de drenaje y procesar la información.
- Establecer el tipo y dimensiones de las obras de drenaje, con base a la topografía, resultados hidrológicos y normativa actual.
- Solucionar los problemas particulares que puedan presentarse en cada cauce, para obtener un diseño funcional, económico y cumpliendo con los parámetros de diseño.
- Interactuar con el área de proyecto geométrico, para determinar la subrasante mínima necesaria, así como con el área de mecánica de suelos y pavimentos, para considerar las recomendaciones de cimentación.
- Realizar revisiones hidráulicas de las obras de drenaje.
- Hacer los cálculos geométricos y volumétricos de cada obra de drenaje.
- Elaborar los planos, informes, detalles, memorias y cantidades para cada obra.
- Revisar y analizar el proyecto geométrico final, a fin de, plantear las obras complementarias necesarias para evacuar el agua pluvial de la corona.
- Revisar e imprimir toda la información generada en el estudio y proyecto de drenaje menor, para su integración y entrega final.
- Interactuar con el cliente o el revisor del proyecto, para solventar dudas o aclaraciones respecto al proyecto de drenaje.
- En el caso de mantenimiento y rehabilitación de obras existentes, llevar a cabo inspecciones físicas en campo, para realizar dictámenes y recomendaciones a las obras de drenaje, con el fin de conservar su adecuado funcionamiento hidráulico.

II. Fundamento Teórico.

-Definición y Clasificación

El sistema de drenaje está formado por una serie de obras que permiten un adecuado flujo del agua, para lo cual es indispensable considerar los procesos para su captación, conducción y evacuación.

Las obras de drenaje pueden clasificarse en obras para aguas superficiales y obras para flujos subterráneos, sin embargo, para este trabajo solo se considera el drenaje superficial.

Las obras de drenaje superficial que trabajan directamente sobre la carretera se dividen a su vez en longitudinales o transversales, según la posición que tengan con respecto al eje de la carretera.

El drenaje longitudinal tiene por objeto encauzar el agua de lluvia para evitar que lleguen a los terraplenes o permanezcan en la carpeta y está formado por obras paralelas al eje de la carretera, como son: cunetas, contracunetas, lavaderos y bordillos, a las cuales llamamos “Obras Complementarias”.

El drenaje transversal está compuesto por estructuras de evacuación, también conocidas como “Alcantarillas”, las cuales transportan el agua cruzando el eje de la carretera.

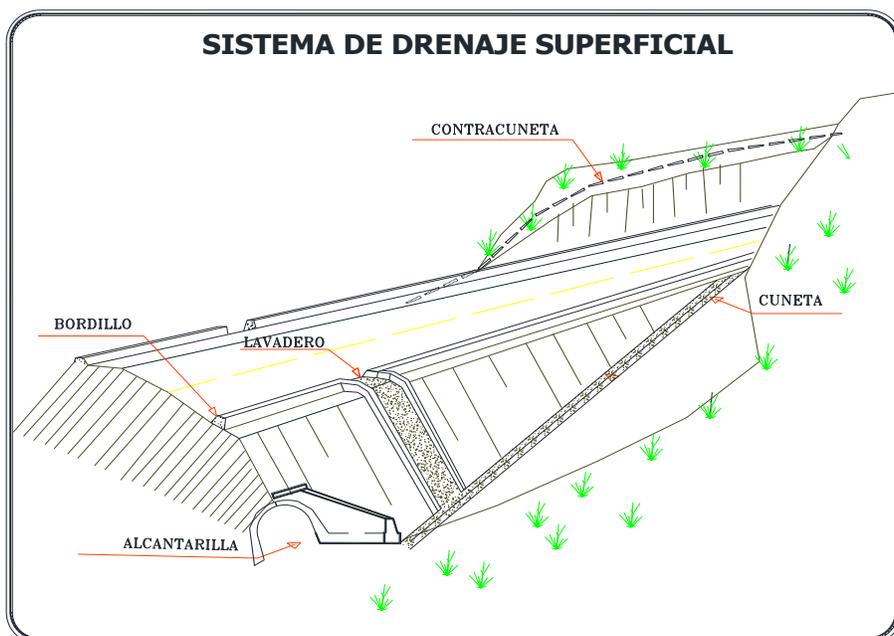


FIGURA 1. ELEMENTOS DE DRENAJE SUPERFICIAL EN CARRETERAS

Las alcantarillas son estructuras de drenaje transversal que tienen como finalidad permitir el cruce del agua que fluye de escurrimientos, arroyos y canales de riego, evitando daños a la estructura del terraplén de la carretera, pueden ser de forma rectangular, cuadrada, de arco o circular y se construyen principalmente de: concreto armado, mampostería, lámina y polietileno de alta densidad, misma que se dimensionan en base a su:

Luz o Claro. Es la dimensión medida sobre el eje horizontal del área drenante de una alcantarilla.

Galibo. Es la dimensión medida sobre el eje vertical del área drenante de una alcantarilla, en las bóvedas, se considera únicamente el área rectangular.

SECCION DE OBRAS MENORES

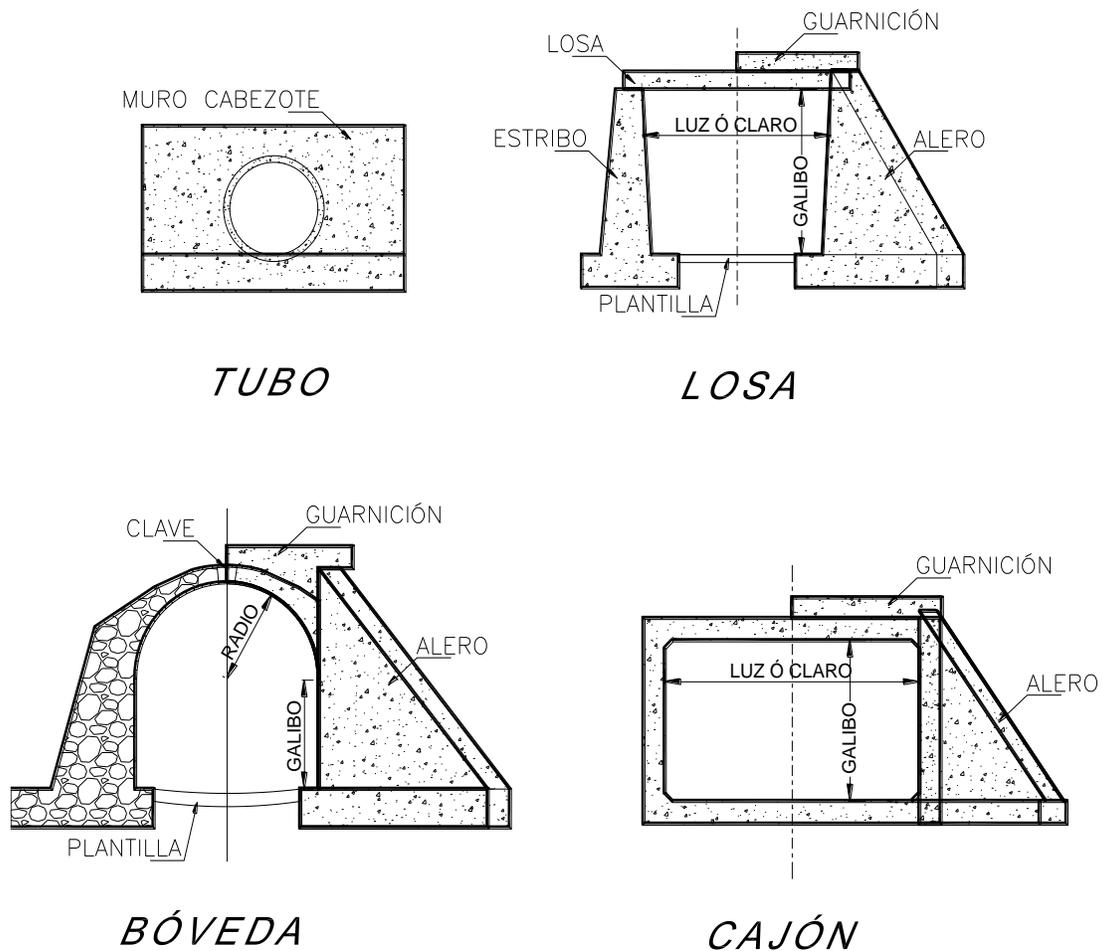


FIGURA 2. TIPOS DE OBRAS DE DRENAJE TRANSVERSAL MENOR

En la normativa actual de la SICT se cataloga como obra de drenaje menor a las que tienen un claro máximo de 6.0 m y dependiendo de su forma y material se clasifican en:

- a. Tubo: de concreto reforzado, de lámina corrugada o de polietileno de alta densidad.
- b. Bóveda: de lámina corrugada, de mampostería o de concreto ciclópeo.
- c. Losa: de concreto armado, apoyada en estribos.
- d. Cajón: de concreto armado.

III. Estudios Preliminares

Los estudios preliminares son esenciales para obtener la mayor cantidad de información para la realización del proyecto, como son:

- Visita de reconocimiento al sitio, sirve para tener una idea general de los trabajos que se van a realizar.
- Trabajos de topografía, los cuales son muy importantes en cada etapa del proyecto, con el fin de recopilar y verificar toda la información que se trabaja desde gabinete.
- Estudios Hidrológicos e Hidráulicos, son imprescindibles para poder elegir y dimensionar cada alcantarilla.

-Recopilación de Información

Antes de iniciar el diseño y cálculo de las obras de drenaje menor, es necesario recabar toda la información disponible, como son:

- ✓ Planta topográfica con el eje de trazo definitivo del proyecto.
- ✓ Informe fotográfico de las obras o cruces, en donde se muestre el estado de las obras existentes en la entrada, salida, aguas arriba y aguas abajo.
- ✓ Registros de drenaje, con el levantamiento topográfico de cada obra o cruce de escurrimientos; nos indica la ubicación, el esviaje, el sentido de escurrimiento, el tipo de obra en caso de existir, dimensiones, condiciones, croquis, material de arrastre, elevación de los niveles de aguas máximas extraordinarias (N.A.M.E.), así como detalles y elevaciones del terreno sobre el eje de la obra (Anexo 1).

- ✓ Perfiles de las obras de drenaje, una vez revisado los registros de campo, se dibuja en AutoCAD, el perfil del terreno indicado en el registro de cada obra. (Figura 3).

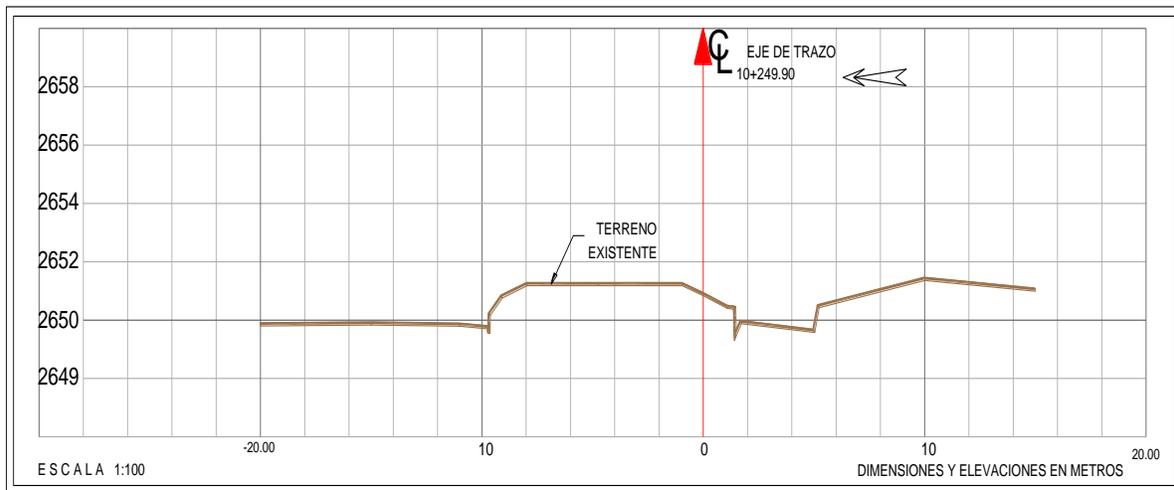


FIGURA 3. EJEMPLO DE PERFIL DE UNA OBRA DE DRENAJE

- ✓ Registros de trazo, con información de campo, en donde se encuentran, los datos de las curvas, las tangentes y los elementos que cruzan con el eje de trazo, como obras de drenaje, líneas de luz, cercas, caminos, etc.
- ✓ Carta topográfica de INEGI, escala 1: 50,000, en imagen digital
- ✓ Perfil y secciones del terreno natural sobre el eje de trazo de la carretera.
- ✓ Listado de pasos y estructuras del tramo en estudio, tomando en cuenta los ríos, caminos, calles, veredas, escuelas, paraderos y todos los lugares de interés en donde se necesite un puente, paso superior o inferior, ya sea vehicular, peatonal o de ganado, dado que, dependiendo de la importancia del paso, serán las dimensiones de la obra.

- ✓ Isoyetas de Intensidad-Duración-Periodo de retorno, que publica la Dirección General de Servicios Técnicos (Figura 4).



FIGURA 4.

ISOYETAS DE INTENSIDAD-DURACIÓN PERIODO DE RETORNO

SCT (2022) <https://www.sct.gob.mx/carreteras/direccion-general-de-servicios-tecnicos/isoyetas/>

- ✓ Lista de Datos Generales (Figura 5), se realiza una recopilación con la información anterior, indicando las obras levantadas en campo y nuevas obras faltantes para cruces de escurrimientos o de alivio.

DATOS GENERALES PARA EL PROYECTO DE ESTRUCTURAS MENORES													
CARRETERA :		VILLA VICTORIA-SAN JOSÉ DEL RINCÓN-EL ORO											
TRAMO :		VILLA VICTORIA-SAN JOSÉ DEL RINCÓN					DEL KM 10+000 AL KM 15+000						
ORIGEN :		VILLA VICTORIA, EDO. DE MÉXICO											
N°	ESTACIÓN EJE PROY.	ESTACIÓN EJE TRAZO.	OBRA EXISTENTE	OBRAS PROPUESTAS						SUBRASANTE MÍNIMA	ESVIAJE	SENT. DE ESC.	NOTAS
				DATOS HIDRAULICOS			TIPO DE OBRA	PLANTILLA					
				A	B	AHN		DESP.	S%				

FIGURA 5. LISTA DE DATOS GENERALES

- ✓ Lista de los datos de terracería (Figura 6), en la que se obtiene la elevación de rasante, el ancho de corona, la sobreelevación y los taludes para cada obra.

DATOS DE TERRACERIAS PARA PROYECTO DE ESTRUCTURAS MENORES																
CARRETERA:		VILLA VICTORIA-EL ORO														
TRAMO:		VILLA VICTORIA-SAN JOSÉ DEL RINCÓN					DEL KM 10+000 AL KM 15+000									
ORIGEN:		VILLA VICTORIA, EDO. DE MÉXICO														
ANCHO DE CORONA:			12.00 m			ESPESOR DE PAVIMENTO:			0.38 m							
ESTACIÓN EJE DE TRAZO	DEZP. NORMAL	ESTACION EJE DE PROYECTO	ESVIAJE	SENTIDO DE ESC.	ELEV. SUBRASANTE	PEND (%)	SEMICORONAS		IZQ. SOBREELEVACIÓN	DER. SOBREELEVACIÓN	AMPLIACIÓN		IZQ. TALUD	DER. TALUD	CLASIF. TERRENO	NOTAS
							IZQ	DER			IZQ.	DER.				

FIGURA 6. LISTA DE DATOS DE TERRACERÍA

-Estudio Hidrológico

Cuando el proyecto de una carretera cruza por ríos, arroyos, canales o escurrimientos es necesario saber las dimensiones de la obra necesaria para dar paso a dicha corriente y lo primero que necesitamos saber es el caudal, así como el área hidráulica mínima necesaria para cada obra.

Al ubicar una alcantarilla con respecto al eje de la carretera, estas pueden ser perpendiculares, sin embargo, cuando presentan un ángulo de sesgo o esviaje, debe procurarse no forzar los cruces de corrientes y conservar la dirección del drenaje natural, como se muestra en la Figura 7.

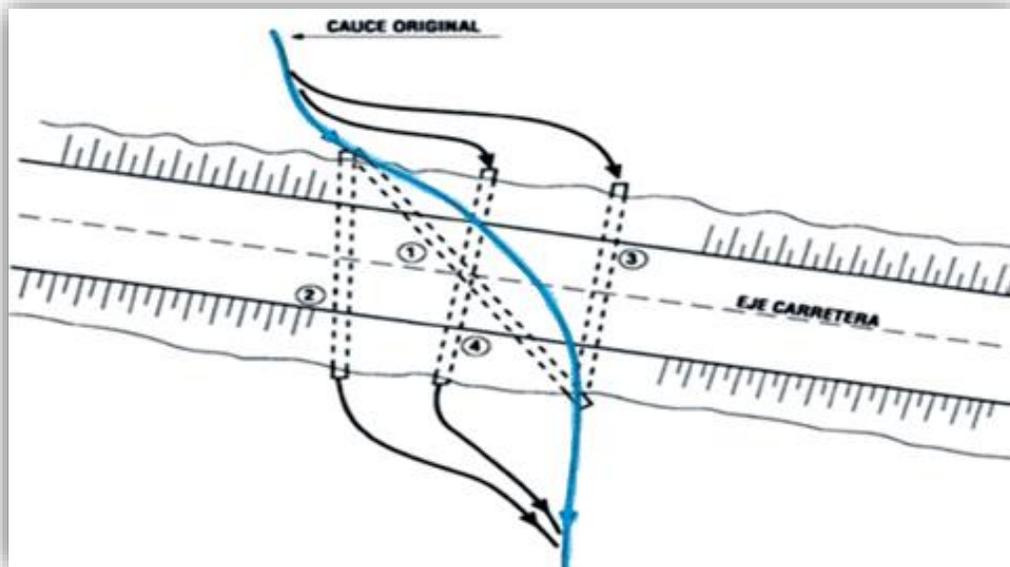


FIGURA 7. UBICACIÓN DE LA OBRA

Cuencas

Una cuenca es un área cuyas aguas fluyen a un mismo punto, denominado punto de concentración y el comportamiento hidrológico de una cuenca se define por distintas características Fisiográficas.

Para este estudio se consideran las siguientes características:

- Topográficas (pendientes)
- Geológicas (permeabilidad)
- Fitográficas (cobertura vegetal) y
- Climáticas de la región

En el diseño de una carretera, se atraviesan algunas cuencas, impidiendo el paso natural de las corrientes de agua hacia las partes más bajas y finalmente hacia el mar, por lo que es necesario conocer en qué lugar y cuánta agua va a llegar a la carretera, para darle paso a través de puentes y alcantarillas.

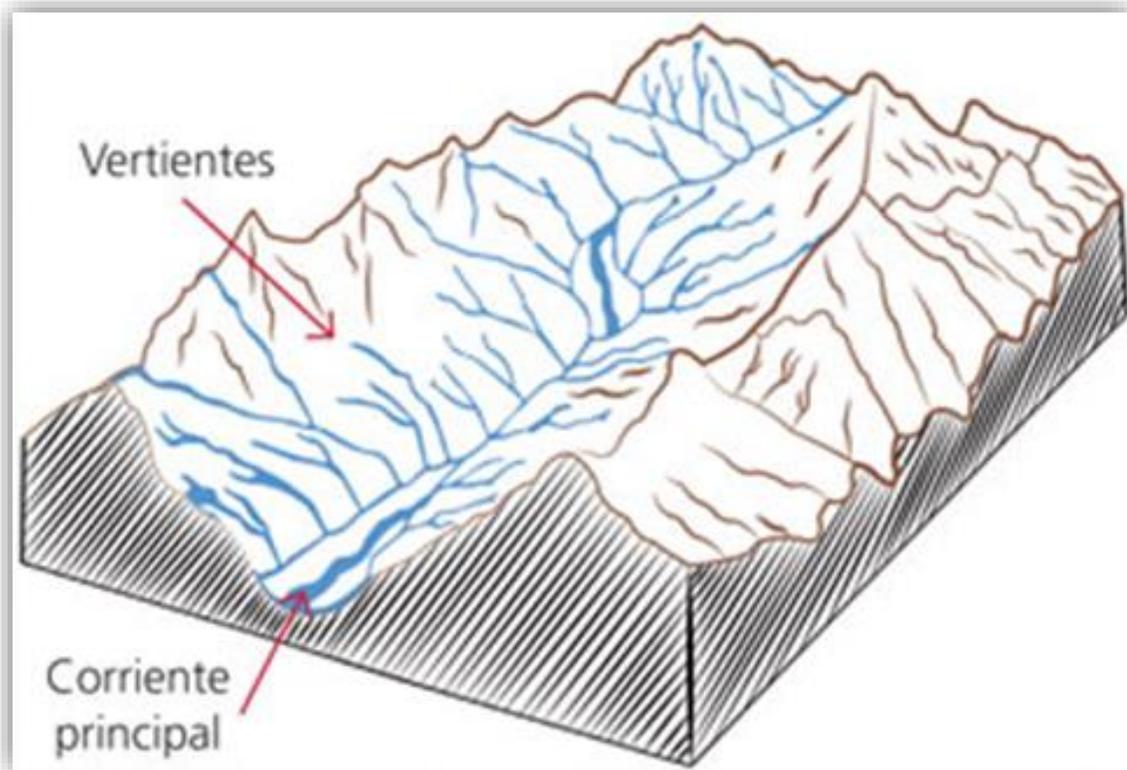


FIGURA 8. CUENCA HIDROGRÁFICA

La delimitación de cuencas se dibuja sobre la planta con el eje de trazo, la topografía, la carta topográfica, así como las obras existentes y propuestas en el cadenamiento correspondiente.

Una vez identificadas las corrientes superficiales, se trazan las cuencas en AutoCAD, dibujando el parteaguas para cada cruce de escurrimiento con respecto al eje de la carretera, cortando las curvas de nivel perpendicularmente y pasando por los puntos de mayor nivel topográfico (crestas), sin cortar algún escurrimiento. Ver ejemplo en Anexo 2.

Métodos Hidrológicos

Para determinar las características hidrológicas de cada cuenca, existen numerosos métodos, entre ellos están los siguientes:

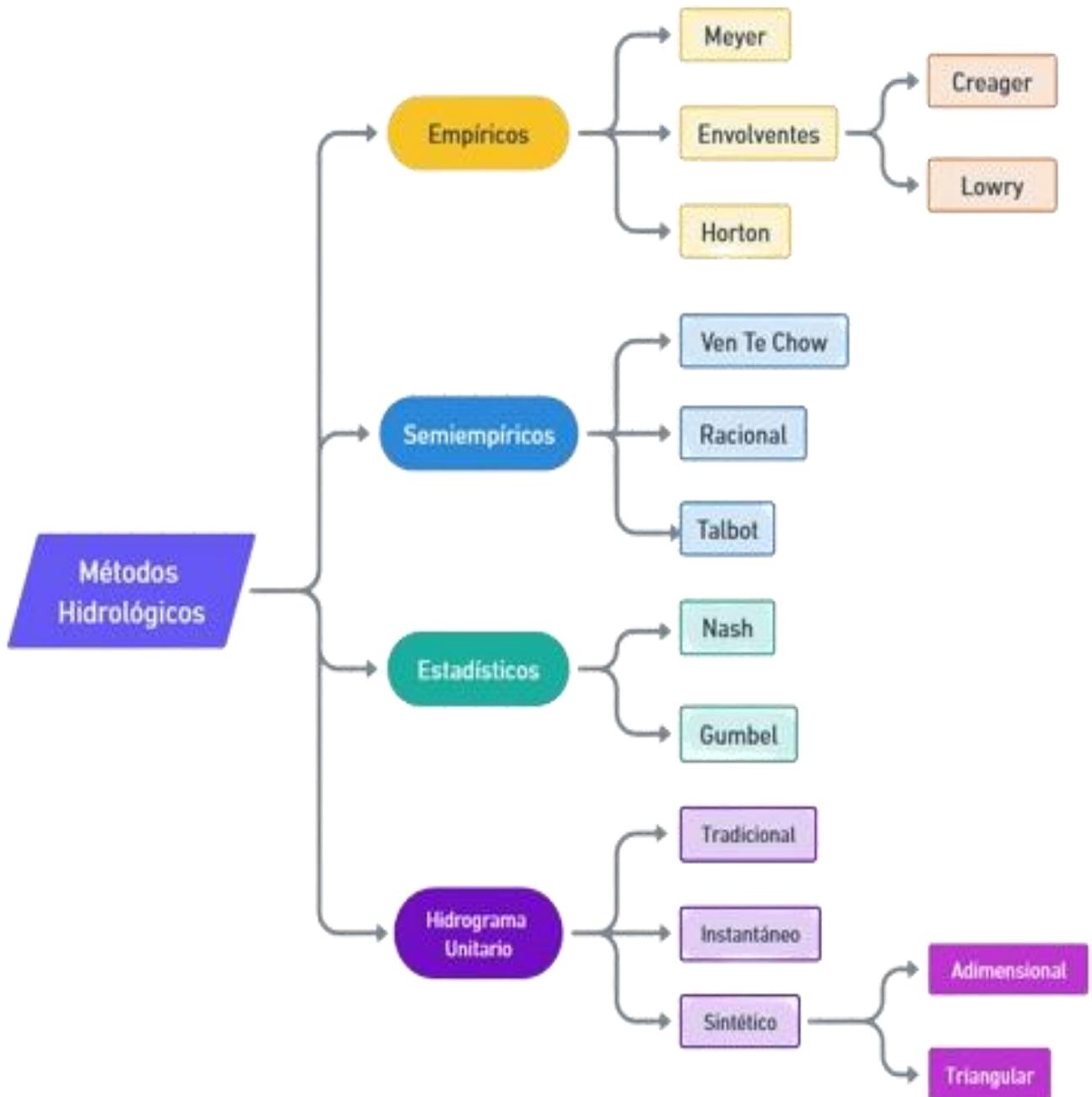


FIGURA 9. MÉTODOS HIDROLÓGICOS

Algunos de estos métodos requieren de registros históricos de precipitación y aforo de corrientes, sin embargo, actualmente los métodos más utilizados por la SICT para el diseño de alcantarillas se indican en la norma N-PRY-CAR-4-01-002/16 y el manual M-PRY-CAR-4-01-002/16, en donde se especifica entre otros aspectos lo siguiente:

- › Utilizar periodos de retorno de 50 o 100 años, en función de la localización.
- › Realizar el cálculo de gastos de diseño, utilizando los métodos Racional, Ven Te Chow o Horton.
- › Diámetro mínimo de 1.20 m para obras de drenaje.
- › Llevar a cabo el análisis hidráulico aplicando el método de Manning y la ecuación de continuidad.

Una vez definidas todas las cuencas de aportación, para cada escurrimiento se obtienen las principales características fisiográficas como son:

- > Área de la cuenca
- > Longitud del cauce principal
- > Pendientes medias del cauce principal
- > Coeficientes de escurrimiento
- > Características morfológicas de la cuenca
- > Funcionamiento hidráulico del cauce principal

Con base en la geología, el tipo de suelo, el uso de suelo y la densidad de vegetación se obtendrán los coeficientes de escurrimiento para estimar la infiltración de cada cuenca, los cuales se utilizarán para el cálculo de gastos.

En el caso de modernización de una carretera, se toman en cuenta las obras ya existentes corroborando su suficiencia hidráulica, su estado estructural, las condiciones de entrada y salida del agua y el nivel de aguas máximo extraordinario.

Además de hacer el cálculo del gasto se puede complementar la información con lo observado en campo, ya que, en escurrimientos grandes, se investigan las alcantarillas existentes en otras carreteras aguas arriba, en donde crucen con el cauce en estudio y se comparan sus dimensiones con las obtenidas del cálculo.

Método Racional

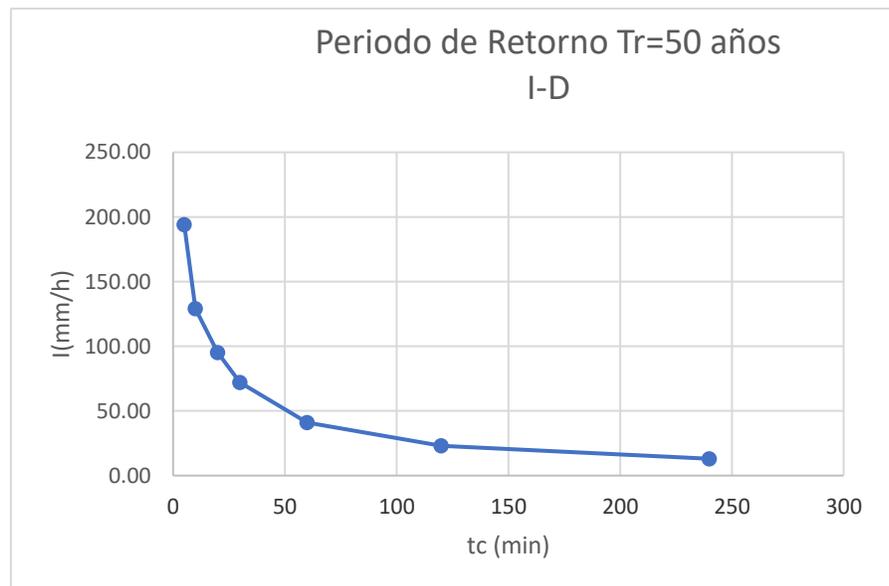
Este método es uno de los más representativos y utilizado para el cálculo del gasto máximo de diseño, debido a que no se requieren datos hidrométricos y se obtienen buenos resultados para cuencas menores a 2500 has.

Consiste en dimensionar y proyectar una alcantarilla para dar cruce a una cierta cantidad de agua y está basado en la medida de la precipitación pluvial para calcular el escurrimiento máximo probable al presentarse la máxima precipitación, además de tomarse en cuenta las características de la cuenca, obteniendo con ello el gasto.

Para determinar la intensidad de la lluvia en la zona de estudio, se hace el análisis a partir de las Isoyetas o curvas de igual intensidad de lluvia que publica la Dirección General de Servicios Técnicos de la SICT, las cuales se han determinado con base en datos obtenidos de estaciones pluviométricas para diferentes duraciones de tormenta y periodos de retorno.

Una vez definidas las cuencas, se interpolan las Isoyetas, para un periodo de retorno de 50 o 100 años, obteniendo la siguiente Grafica 1:

Periodo de retorno $T_r=50$ años	
Duración t (min)	Intensidad de lluvia I (mm/h)
5	194.00
10	129.00
20	95.00
30	72.00
60	41.00
120	23.00
240	13.00



GRÁFICA 1. EJEMPLO DE GRÁFICA DE INTENSIDAD DE LLUVIA-TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

En el método racional las variables son el coeficiente de escurrimiento, la intensidad de lluvia y el área de captación de la cuenca aguas arriba y su expresión es:

$$Q_{Tr} = 0.278 C I A$$

Dónde:

Q_{Tr} = Gasto máximo para un periodo de retorno (Tr) establecido, en m^3/s .

0.278 = Factor de homogeneidad de unidades.

C = Coeficiente de escurrimiento de la cuenca en estudio, adimensional.

A = área de la cuenca, en km^2 .

I = Intensidad de lluvia para una duración de tormenta igual al tiempo de concentración (t_c) establecido, en mm/hr .

El coeficiente de escurrimiento C se considera en función del uso y características del suelo, obtenido de la tabla 1 del manual M-PRY-CAR-1-06-003-00.

Para la aplicación de la fórmula Racional, deberá conocerse previamente el tiempo de concentración, que es el tiempo de recorrido desde el punto más alejado hasta el punto de descarga, para lo cual se consideró la fórmula de Kirpich, que expresa:

$$t_c = 3.97 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

Dónde: t_c =tiempo de concentración, en minutos

L =longitud del cauce principal, en km

S =pendiente media del cauce principal

-Parámetros de Diseño

Una vez calculado el gasto de diseño y después de haber definido la ubicación de todas las obras, se procede a elegir el tipo y dimensiones definitivas de cada una, la cual además de cumplir con las necesidades hidrológicas, debe ser económica, no trabajar llena o a presión y tener buena estabilidad.

Para la correcta elección de una alcantarilla se debe tomar en cuenta lo siguiente:

- Gasto de diseño. La obra debe ser hidráulicamente suficiente para drenar el gasto obtenido en el estudio hidrológico, se debe tomar en cuenta que la obra trabajará al 80% máximo de su capacidad hidráulica.
- Desplante. Es recomendable que la pendiente de la obra sea lo más parecida a la del cauce, para evitar problemas de azolve, lo cual va a depender de la topografía del lugar, sin embargo, los tipos de obras tienen limitantes, ya que para pendientes de 0 a 12 % se pueden elegir tubos, bóvedas, losas o cajones y para pendientes de 12 % a 45 % solo se podrá optar por tubos, en los cuales se deberá colocar muros de anclaje en pendientes mayores a 25 %, para evitar deslizamientos.
- Colchón máximo y mínimo de terraplenes o rellenos. La altura se mide entre la parte superior de la obra y el nivel de la rasante.

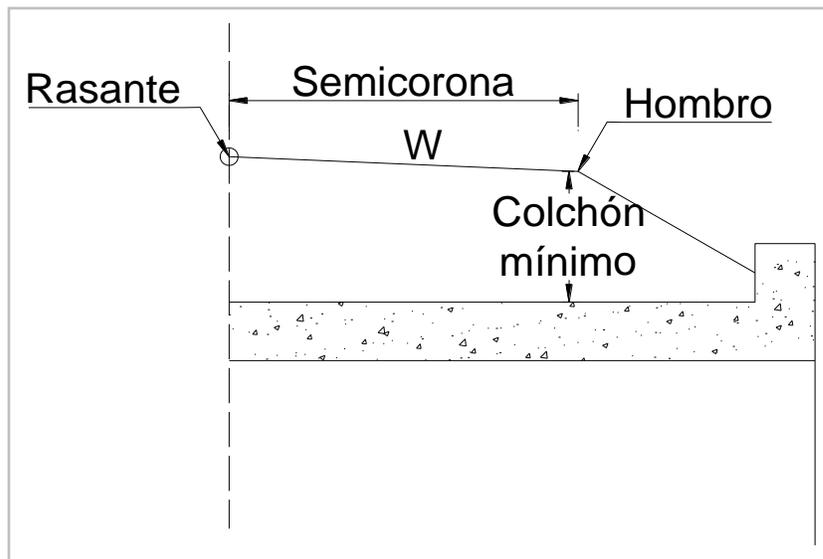


FIGURA 10. COLCHÓN DE RELLENO MÍNIMO

Para alojar un tipo de obra específico, se debe garantizar un colchón mínimo de relleno sobre el hombro, cumpliendo con las siguientes alturas:

Tipo de obra	Colchón mínimo	Colchón máximo
Tubo de concreto	1.00 m	Hasta 18.00 m, dependiendo del Φ
Tubo de lámina	0.30 m	Depende del Φ
Losas y Cajones de concreto	0.20 m	4.00 m
Bóvedas	1.00 m	8.0

TABLA 1. ESPECIFICACIONES DEL COLCHÓN DE RELLENO

- d. **Materiales de construcción.** Se requiere de la facilidad y manejo de los materiales, por lo que va a depender del tipo de terreno de la zona, ya que el material pétreo producto de los cortes se puede aprovechar para la construcción de las obras.
- e. **Capacidad de carga del terreno.** Para evitar que las losas y bóvedas fallen en su cimentación, es muy importante que el efecto de la carga que transmite la obra no exceda la capacidad de carga del terreno.
- f. **Arrastre.** Dependiendo del tipo de terreno y la zona aledaña a la alcantarilla, se debe tomar en cuenta la existencia de rocas grandes, troncos o basura para considerar mayores dimensiones de la obra y evitar obstrucciones.
- g. **Normatividad.** Es el conjunto de metodologías, criterios y procedimientos para la ejecución de los trabajos que involucran el diseño de las obras de drenaje y tienen como objetivo proporcionar los métodos generales y correctos de ejecución.

Los pasos son estructuras que funcionan para dar continuidad a los caminos que se ven interrumpidos por la construcción de la carretera, existen dos tipos de pasos, los superiores y los inferiores. Los pasos superiores de 1 vía, ganaderos o peatonales se consideran como obras menores.

Para las obras consideradas para funcionar como pasos a desnivel, el Departamento de Estudios y Proyectos de la Dirección General de Carreteras de la SICT, indica las dimensiones mínimas con las que se deberán proyectar los pasos superiores:

Tipo		Dimensiones
P.S.P y G.	Paso Superior para Peatones y Ganado	Losa o Cajón de 5.00 x 3.50 m
P.S.M.A o P.S.V.	Paso Superior para Vehículos y Maquinaria Agrícola	Losa o Cajón de 6.00 x 5.00 m

TABLA 2. DIMENSIONES DE PASOS SUPERIORES

Foto 5.

OBRA DE DRENAJE QUE FUNCIONA COMO PASO VEHICULAR



NOTA: FUENTE PROPIA (2014), FOTOGRAFÍA TOMADA EN LA CARRETERA VILLA VICTORIA-EL ORO

Tomando en cuenta todos los parámetros de diseño mencionados, las obras existentes, la funcionalidad de cada obra y criterio propio, se eligen las obras para cada cadenamiento.

-Análisis Hidráulico

En el proyecto, se procede a determinar las plantillas de desplante en el perfil de terreno de cada obra, obteniendo una elevación de desplante y una pendiente, considerando que; debe ser lo más parecida al escurrimiento, se deben evitar los rellenos bajo la plantilla y no debe quedar enterrada en la entrada o salida para evitar que se tengan que construir canales para encauzar el escurrimiento hacia la obra de drenaje, ya que aumentaría el volumen de excavación y por lo tanto el costo de la estructura.

Una vez elegido el tipo, dimensiones, material y pendiente de cada obra, se realiza el cálculo hidráulico, para verificar que dichas obras sean hidráulicamente suficientes.

Con las características geométricas propuestas, se verifica que sean hidráulicamente suficientes y que cumplan con las velocidades y tirantes máximos permisibles, aplicando las fórmulas de Manning y la ecuación de continuidad, obteniendo los tirantes y velocidades del flujo, así como el gasto máximo que es capaz de drenar cada obra para que pueda trabajar eficientemente, para lo cual se utilizan las siguientes formulas:

$$V(h) = \frac{1}{n} R(h)^{2/3} * S^{1/2}$$

$$Q = A_h * V(h)$$

En donde:

S = pendiente hidráulica.

P = perímetro mojado.

R(h) = radio hidráulico en función del tirante hidráulico, en m.

n = coeficiente de rugosidad de Manning, tomado de la tabla 3,
de la norma M-PRY-CAR-1-06-003-00.

Q(h) = Gasto, en m³/s.

Ah = área hidráulica, en m².

V(h) = velocidad media en función del tirante hidráulico, en m/s.

IV. Procesamiento de Datos

-Obtención de Datos del Proyecto Geométrico y Tabulares

Con el alineamiento vertical definitivo y una vez que el proyecto geométrico fue revisado y aprobado por la SICT, se procede a obtener los elementos geométricos del proyecto de la carretera para la sección normal de cada obra, como son: elevación de subrasante, desplazamiento del eje de proyecto con respecto al eje de trazo, espesor de pavimento, pendiente longitudinal, ancho de semicoronas, ampliaciones, sobreelevaciones, taludes y distancia de los muros de contención (en caso de existir), con lo que completamos la lista de datos de terracería, ya que con estas características podemos realizar los cálculos geométricos de las obras.

Además de los datos de terracería, es necesario también obtener algunos elementos necesarios para el diseño geométrico de cada obra y que se encuentran tabulados en los "Proyectos Tipo de Obras de Drenaje para Carreteras".

Según el Instituto Mexicano del Transporte, la carga viva a considerar para el diseño debe ser la del camión más pesado de las normas AASHTO, que es la H20-S16 ó H15-S12.

En la oficina de Alcantarillado y Estructuras Menores, que pertenece a la Dirección de Proyecto de Carreteras de la SICT, se trabaja con estos Proyectos Tipo, los cuales se han calculado estructuralmente con anterioridad para una carga de proyecto H20-S16 y para las diferentes condiciones que se puedan presentar, tomando en cuenta la normativa establecida.

Existen tablas con las dimensiones y el armado para; muros cabezotes, cajas de captación, losas, aleros, estribos, guarniciones, cajones y bóvedas.

Tubos

Las alcantarillas tipo tubo, son estructuras rígidas ó flexibles, que pueden ser de concreto reforzado, metálicas o polietileno, mediante tramos de tubería prefabricada y colocados en una o varias líneas.

Para los tubos de concreto, el espesor está en función del diámetro y se fabrican en tramos de 2.50 m, para las dimensiones de los muros de cabeza y las cajas de captación, que obtenemos de las tablas de los proyectos tipo.

DIMENSIONES Y VOLUMENES DE MUROS DE CABEZA PARA ALCANTARILLAS DE TUBO																				
AREA EN HECTAREAS QUE PUEDE DRENAR																				
UN TUBO										DOS TUBOS										
C	PLANO										ONDULADO									
	LOMERIO		MONT.		PLANO		ONDULADO		LOMERIO		MONT.									
Ø	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
75	69.7	27.7	16.1	11.0	8.2	6.4	5.2	4.4	3.7	3.2	139.4	55.4	32.2	22.0	16.4	12.6	10.4	8.8	7.4	6.4
90	113.3	45.0	26.2	17.9	13.3	10.4	8.5	7.1	6.1	5.5	226.6	90.0	52.4	35.8	26.6	20.8	17.0	14.2	12.2	10.6
105	170.9	67.8	39.5	26.9	20.0	15.7	12.8	10.7	9.1	7.9	341.8	135.6	79.0	53.8	40.0	31.4	25.6	21.4	18.2	15.8
120	244.0	96.8	56.4	38.4	28.5	22.4	18.2	15.3	13.0	11.3	488.0	195.6	112.8	76.8	57.0	44.8	36.4	30.6	26.0	22.6
150	442.3	175.6	102.3	69.7	51.7	40.6	33.0	27.6	23.6	20.5	684.6	351.2	204.6	139.4	103.4	81.2	66.0	55.2	47.2	41.0
MUROS DE MAMPOSTERIA																				
TUBOS				DIMENSIONES COMUNES PARA UNO Y DOS TUBOS								UN MURO CON UN TUBO DOS TUBOS								
Ø	e	AREAS		a	Q	b	V	B	P	H	UN TUBO		DOS TUBOS							
		UN TUBO	2 TUBOS								L1	Vol.	n	d	L2	Vol.				
cm.	cm.	m ²	m ²	cm.	cm.	cm.	cm.	cm.	cm.	cm.	cm.	m ³	cm.	cm.	cm.	m ³				
75	9	0.442	0.864	30	34	60	15	90	50	105	300	2.45	150	131	431	3.33				
90	10	0.636	1.272	30	34	65	15	95	50	120	360	3.29	180	146	506	4.36				
105	11.5	0.866	1.732	30	34	70	15	100	50	135	420	4.27	210	165	585	5.54				
120	12.5	1.131	2.262	30	34	75	15	105	50	150	480	5.38	240	184	664	6.87				
150	15	1.767	3.534	30	34	85	15	115	50	180	600	6.10	300	220	820	10.08				
MUROS DE CONCRETO																				
TUBOS				DIMENSIONES COMUNES PARA UNO Y DOS TUBOS								UN MURO CON UN TUBO DOS TUBOS								
Ø	e	AREAS		a	Q	b	V	B	P	H	UN TUBO		DOS TUBOS							
		UN TUBO	2 TUBOS								L1	Vol.	n	d	L2	Vol.				
cm.	cm.	m ²	m ²	cm.	cm.	cm.	cm.	cm.	cm.	cm.	cm.	m ³	cm.	cm.	cm.	m ³				
75	9	0.442	0.884	25	28	45	10	65	45	105	300	1.73	150	131	431	2.35				
90	10	0.636	1.272	25	28	50	10	70	45	120	360	2.38	180	146	508	3.14				
105	11.5	0.866	1.732	25	28	50	10	75	45	135	420	3.16	210	165	585	4.08				
120	12.5	1.131	2.262	25	28	60	10	80	45	150	480	4.05	240	184	664	5.14				
150	15	1.767	3.534	25	28	70	10	90	45	180	600	5.27	300	220	820	7.76				

TABLA 3.

TABLA PARA DIMENSIONES DE MUROS CABEZOTES EN TUBERÍAS. (LABORATORIOS, 1965)

Losas

Las alcantarillas tipo losa se utilizan en caudales con áreas de aportación media y alturas de terraplén bajas, para apoyar las losas se requiere el uso de estribos.

Con las dimensiones del claro, el galibo y la altura del colchón, podemos encontrar en los proyectos tipo tabuladas; el espesor de la losa, el apoyo, el diámetro, longitud y separación de las varillas, así como las dimensiones de los estribos para cada caso.

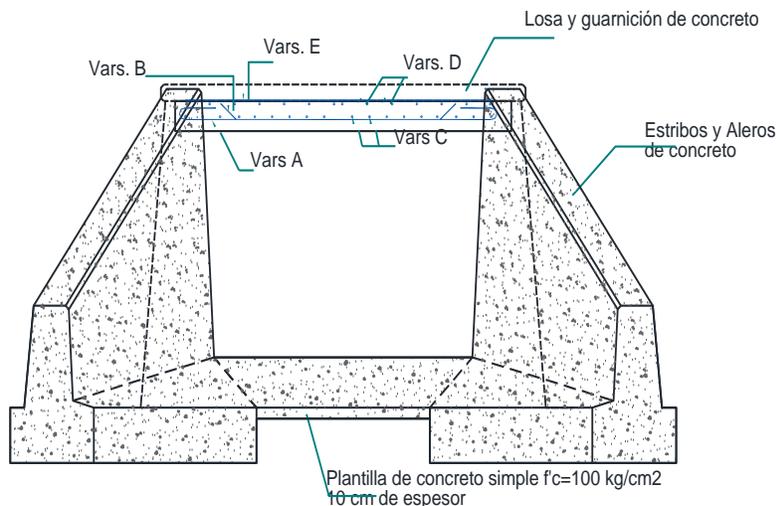


FIGURA 11.

SECCIÓN NORMAL DE LOSA DE CONCRETO. (LABORATORIOS, 1965)

LOSAS DE CONCRETO DE 4.00 m. DE LUZ																																										
COL- CHON	Ø	L 2	VOL. m ³ /m.	PARRILLA INFERIOR												PARRILLA SUPERIOR																										
				VARILLAS "A"				VARILLAS "B"				VARS. "C"				VARS. "D"		VARS. "E"																								
				Ø	ESP.	α	LONG.	Ø	ESP.	α	n	n ₁	m	LONG.	Ø	ESP.	Nº	Ø	ESP.	Nº	Ø	ESP.	LONG.																			
$f'c = 150 \text{ Kg/cm}^2$.																																										
0.00	Ø	32	230	1.472	1.91	11.5	Y 23	436	488	1.91	34.5	268	25	35	—	338	1.91	33.5	16	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
0.75	Ø	32	230	1.472	1.91	11.5	Y 23	436	488	1.91	34.5	268	25	35	—	338	1.91	33.5	16	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
1.25	Ø	32	230	1.472	2.22	15.5	Y 31	434	494	2.22	46.5	270	25	35	—	340	1.91	33.5	16	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
1.75	Ø	34	230	1.564	2.22	14.5	Y 29	434	494	2.22	43.5	270	27	38	—	346	2.22	43.5	13	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
2.25	Ø	35	235	1.645	2.22	13.5	Y 27	444	504	2.22	40.5	272	28	40	15	382	1.91	37	13	0.95	29.5	16	0.95	29.5	460	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
2.75	Ø	38	235	1.786	2.22	13	Y 26	444	504	2.22	39	272	31	44	14	388	1.91	37	13	0.95	28	17	0.95	28	460	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
3.25	Ø	40	235	1.880	2.54	15.5	Y 31	442	510	2.54	46.5	274	32	45	13	390	1.91	34	14	0.95	26.5	18	0.95	26.5	460	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
3.75	Ø	42	235	1.974	2.54	15	Y 30	442	510	2.54	45	276	34	48	12	396	1.91	34	14	0.95	25	19	0.95	25	460	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
4.25	Ø	42	235	1.974	2.54	15	Y 30	442	510	2.54	45	276	34	48	12	396	1.91	34	14	0.95	25	19	0.95	25	460	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

TABLA 4.

TABLA PARA EL ARMADO DE LOSAS. (LABORATORIOS, 1965)

Bóvedas

Las alcantarillas tipo bóveda son estructuras formadas con una sección rectangular en la parte inferior y un arco en la parte superior, se utilizan en caudales con áreas de aportación grandes o como pasos superiores.

En el caso de las bóvedas, se requieren más elementos geométricos y para obtenerlos ingresamos a las tablas de los Proyectos Tipo con el radio del arco, la altura de la obra y el colchón de relleno.

e	Re	A	F	R	K	Z	D	Bi	Vi	Vd	BT	P'z	Pz	f	Vol.	x	Bn	F1	F2	Vol.
R=50											H=100									
25	105	49	31	45	12	16	147	75	25	30	130	50	0	0.59	3.151	15	90	0.60	1.50	2.676
25	104	50	31	44	13	17	145	75	25	20	120	50	0	0.87	3.048	15	90	0.70	1.80	2.673
25	103	51	30	44	14	17	144	75	25	20	120	50	0	1.14	3.038	15	90	0.80	2.16	2.663
25	102	52	30	43	14	18	143	75	25	15	115	50	0	1.38	3.001	15	90	0.90	2.45	2.676
25	100	53	29	43	15	18	142	75	25	15	115	50	0	1.60	2.992	15	90	1.02	2.76	2.667
25	99	54	29	42	16	19	140	75	25	15	115	50	0	1.80	2.991	15	90	1.20	3.00	2.666
25	98	55	28	42	17	19	139	75	25	15	115	50	0	1.97	2.981	15	90	1.40	3.27	2.656
R=50											H=150									
25	105	49	31	45	12	16	147	75	25	30	130	50	0	0.59	3.151	15	90	0.60	1.50	2.676
25	104	50	31	44	13	17	145	75	25	20	120	50	0	0.87	3.048	15	90	0.70	1.80	2.673
25	103	51	30	44	14	17	144	75	25	20	120	50	0	1.14	3.038	15	90	0.80	2.16	2.663
25	102	52	30	43	14	18	143	75	25	15	115	50	0	1.38	3.001	15	90	0.90	2.45	2.676
25	100	53	29	43	15	18	142	75	25	15	115	50	0	1.60	2.992	15	90	1.02	2.76	2.667
25	99	54	29	42	16	19	140	75	25	15	115	50	0	1.80	2.991	15	90	1.20	3.00	2.666
25	98	55	28	42	17	19	139	75	25	15	115	50	0	1.97	2.981	15	90	1.40	3.27	2.656

TABLA 5.

TABLA PARA DIMENSIONAR BÓVEDAS. (LABORATORIOS, 1965)

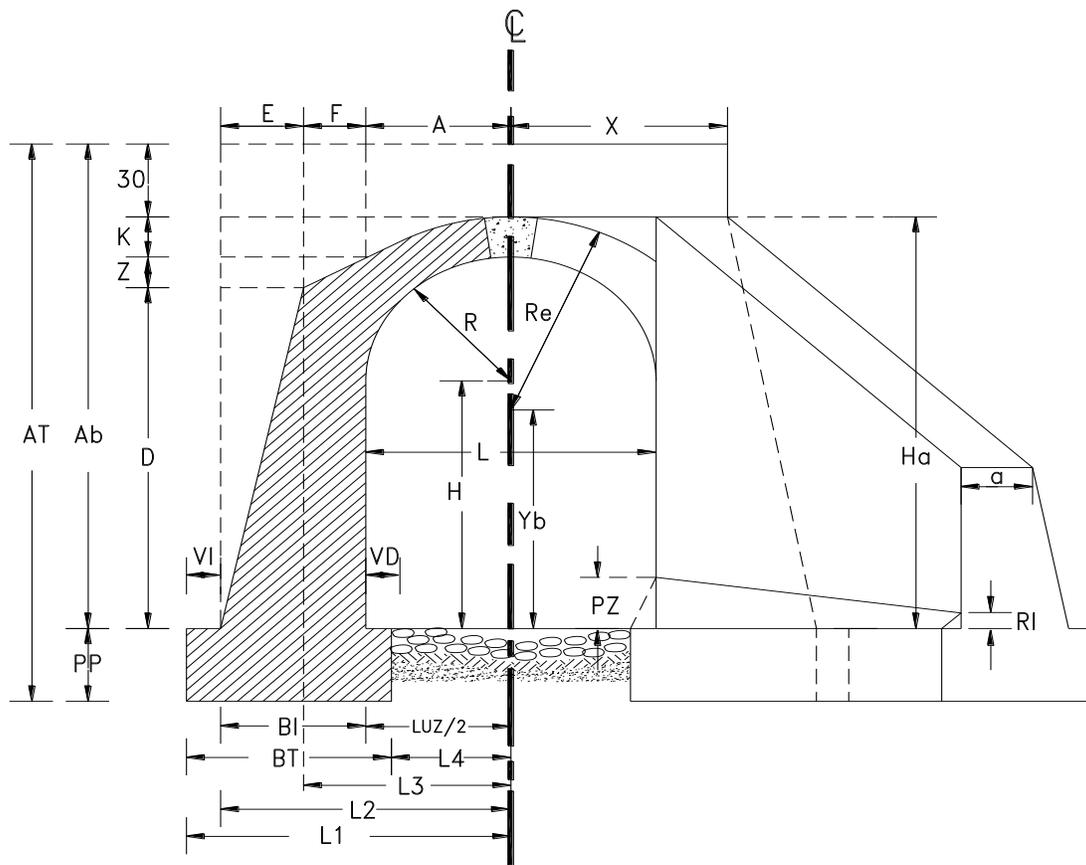


FIGURA 12.

SECCIÓN DE LA BÓVEDA (ING. CÁNDIDO MONDRAGÓN RIVERA, 1991)

Cuya nomenclatura es:

e = espesor de la clave

H_a = altura promedio en el arranque de los aleros

L = luz o claro de la obra

R = radio del intradós

a = coronamiento del alero

R_e = radio de extradós

B_T = ancho total del cimiento

B_i = base intermedia

V_i y V_d = volado izquierdo y volado derecho

P_p = peralte del cimiento

P_z = altura del escarpio

Además de los datos anteriores, podemos encontrar tabuladas las dimensiones de A , F , E , K , Z , D y el volumen.

Cajones

Los cajones son estructuras rígidas que se construyen mediante un marco cerrado de concreto armado, se utilizan en caudales con áreas de aportación media, como pasos superiores y en los casos en que por las condiciones del terreno en donde se va a desplantar la obra, no se tiene la capacidad de carga mínima requerida para una losa o bóveda.

De las tablas de los proyectos tipo para cajones, con el claro, el galibo y la altura del colchón, podemos obtener; el espesor, los datos de las varillas para el armado del cajón y de los aleros, así como las dimensiones del alero.

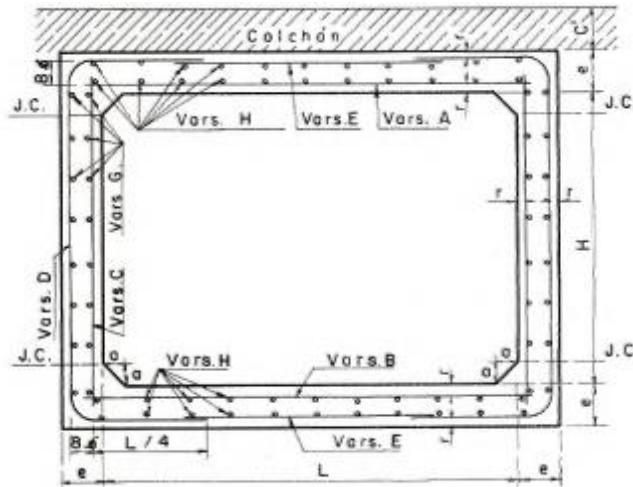


FIGURA 13.

SECCIÓN NORMAL DE CAJÓN DE CONCRETO. (LABORATORIOS, 1965)

L m	H m	C' m	e cm	a cm	f Kg/cm ²	Vol. m ³ /m	ACERO DE REFUERZO																								r cm	f' _c Kg/cm ²
							VARILLAS A		VARILLAS B		VARILLAS C		VARILLAS D		VARILLAS E		VARILLAS G		VARILLAS H		P Kg/m ³											
							Ø	ESP.	LONG.	Ø	ESP.	LONG.	Ø	ESP.	LONG.	Ø	ESP.	LONG.	Ø	ESP.		No.	Ø	ESP.	No.							
1.00	1.00		12	10	0.60	0.55	1.27	17.5	120	1.27	15.5	120	0.95	16.5	120	0.95	16.5	172	0.95	49.5	102	0.95	27.5	20	0.95	27.5	20	107.9				
1.50	1.00		14	10	0.55	0.79	1.27	15.0	170	1.27	13.5	170	0.95	10.5	120	0.95	10.5	201	0.95	31.5	131	0.95	27.5	20	0.95	32.0	24	111.5				
1.50	1.50		15	10	0.65	1.01	1.27	15.5	170	1.27	13.5	170	0.95	10.0	170	0.95	10.0	253	0.95	30.0	133	0.95	32.0	24	0.95	32.0	24	103.6				
2.00	1.00		17	10	0.55	1.15	1.59	18.5	220	1.59	17.0	220	1.27	14.0	120	1.27	14.0	235	1.27	42.0	174	0.95	36.5	16	0.95	42.0	24	105.6				
2.00	1.50		18	10	0.65	1.40	1.59	18.5	220	1.59	16.5	220	1.27	14.0	170	1.27	14.0	287	1.27	42.0	176	0.95	40.0	20	0.95	42.0	24	99.2				
2.00	2.00		19	10	0.75	1.68	1.59	18.0	220	1.59	15.5	220	1.27	13.0	220	1.27	13.0	339	1.27	39.0	178	0.95	42.0	24	0.95	42.0	24	98.4				
2.50	1.00		19	10	0.60	1.49	1.59	15.5	270	1.91	19.0	270	1.59	15.0	120	1.59	15.0	267	1.59	45.0	216	0.95	36.5	16	0.95	43.0	28	121.9				
2.50	1.50		21	10	0.65	1.87	1.59	15.5	270	1.59	14.0	270	1.27	11.0	170	1.27	11.0	318	1.27	35.0	207	0.95	40.0	20	0.95	37.0	32	101.6				
2.50	2.00		22	10	0.70	2.19	1.59	15.0	270	1.59	13.0	270	1.27	11.0	220	1.27	11.0	370	1.27	35.0	209	0.95	35.0	28	0.95	32.5	36	100.0				
2.50	2.50		23	10	0.80	2.55	1.59	14.5	270	1.59	12.0	270	1.27	10.5	270	1.27	10.5	422	1.27	31.5	211	0.95	32.5	36	0.95	32.5	36	100.1				
3.00	1.00		22	10	0.60	1.97	1.59	14.0	320	1.91	18.5	320	1.59	13.5	120	1.59	13.5	298	1.59	40.5	247	0.95	36.5	16	0.95	34.0	40	114.0				
3.00	1.50		23	10	0.65	2.30	1.91	18.5	320	1.91	16.5	320	1.59	13.5	170	1.59	13.5	350	1.59	40.5	244	0.95	32.0	24	0.95	31.0	44	114.7				
3.00	2.00		24	10	0.70	2.65	1.91	17.5	320	1.91	15.5	320	1.59	14.0	220	1.59	14.0	402	1.59	42.0	251	0.95	30.0	32	0.95	31.0	44	110.1				
3.00	2.50		25	10	0.80	3.02	1.91	17.0	320	1.91	14.5	320	1.59	13.5	270	1.59	13.5	454	1.59	40.5	253	0.95	28.5	40	0.95	28.0	48	110.3				
3.00	3.00		27	10	0.85	3.55	1.91	17.0	320	1.91	14.5	320	1.59	13.5	320	1.59	13.5	508	1.59	40.5	257	0.95	25.5	52	0.95	25.5	52	103.3				
3.50	1.50		26	10	0.70	2.89	1.91	16.0	370	1.91	15.0	370	1.59	11.5	170	1.59	11.5	381	1.59	34.5	280	0.95	26.5	28	0.95	27.5	56	115.7				
3.50	2.00		27	10	0.75	3.28	1.91	15.5	370	1.91	14.0	370	1.59	12.0	220	1.59	12.0	433	1.59	36.0	282	0.95	26.0	36	0.95	25.5	60	111.7				
3.50	2.50		28	10	0.80	3.69	1.91	15.0	370	1.91	13.0	370	1.59	12.0	270	1.59	12.0	485	1.59	36.0	284	0.95	23.5	48	0.95	24.0	64	110.8				
3.50	3.00		29	10	0.85	4.12	1.91	14.5	370	1.91	12.0	370	1.59	11.5	320	1.59	11.5	537	1.59	34.5	286	0.95	23.5	56	0.95	24.0	64	111.3				
3.50	3.50		31	10	0.95	4.74	1.91	14.0	370	1.91	11.0	370	1.59	11.0	370	1.59	11.0	591	1.59	33.0	290	0.95	21.0	72	0.95	21.0	72	110.3				

TABLA 6.

EJEMPLO DE TABLA PARA ARMADO DE CAJONES. (LABORATORIOS, 1965)

-Cálculo Geométrico de longitud de Obra

Utilizando los datos de terracería y los datos obtenidos en los Proyectos Tipo pasamos al Cálculo de Longitud de Obra (Anexo 3), el cual se aplica para cualquier tipo de alcantarilla, siguiendo un proceso de cálculos geométricos.

Primero calculamos los elementos geométricos de la carretera sobre la obra, la cual se ilustra en la Figura 14, ya que el ancho de corona, la elevación de los hombros y los taludes dependen del esviaje, la pendiente de la carretera y su ubicación en tangente o en curva.

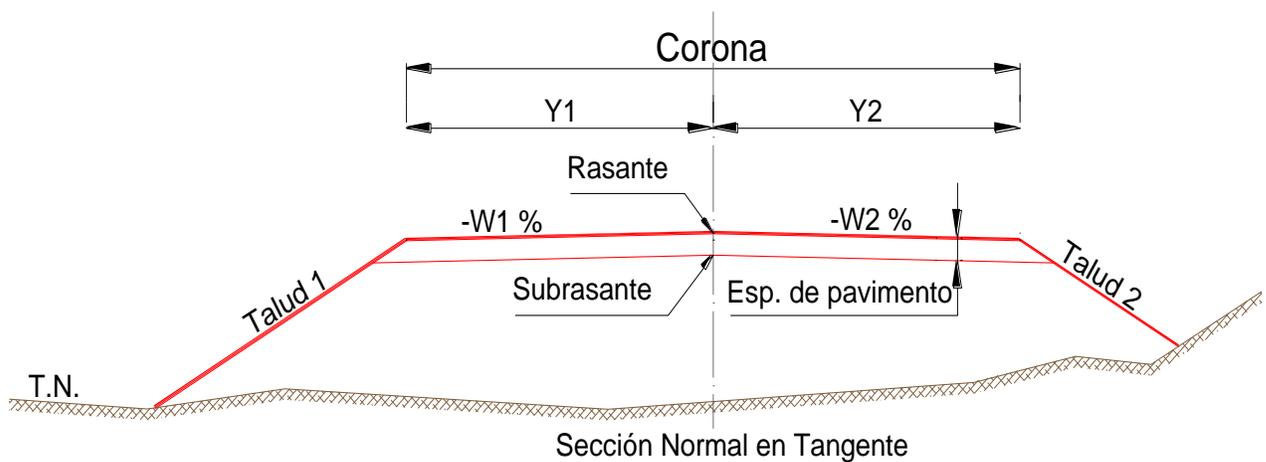


FIGURA 14. ELEMENTOS GEOMÉTRICOS DE LA SECCIÓN DE UNA CARRETERA

Cuando la obra es normal, es decir perpendicular al eje de trazo, los elementos geométricos de la carretera son iguales a los valores en la sección normal.

Cuando la obra se encuentra esviada, calculamos las distancias, aplicando la ley de los senos.

Conociendo la sección de la carretera sobre el eje de la obra de drenaje, procedemos a calcular la longitud de la obra, para lo cual nos apoyamos en la siguiente Figura 15:

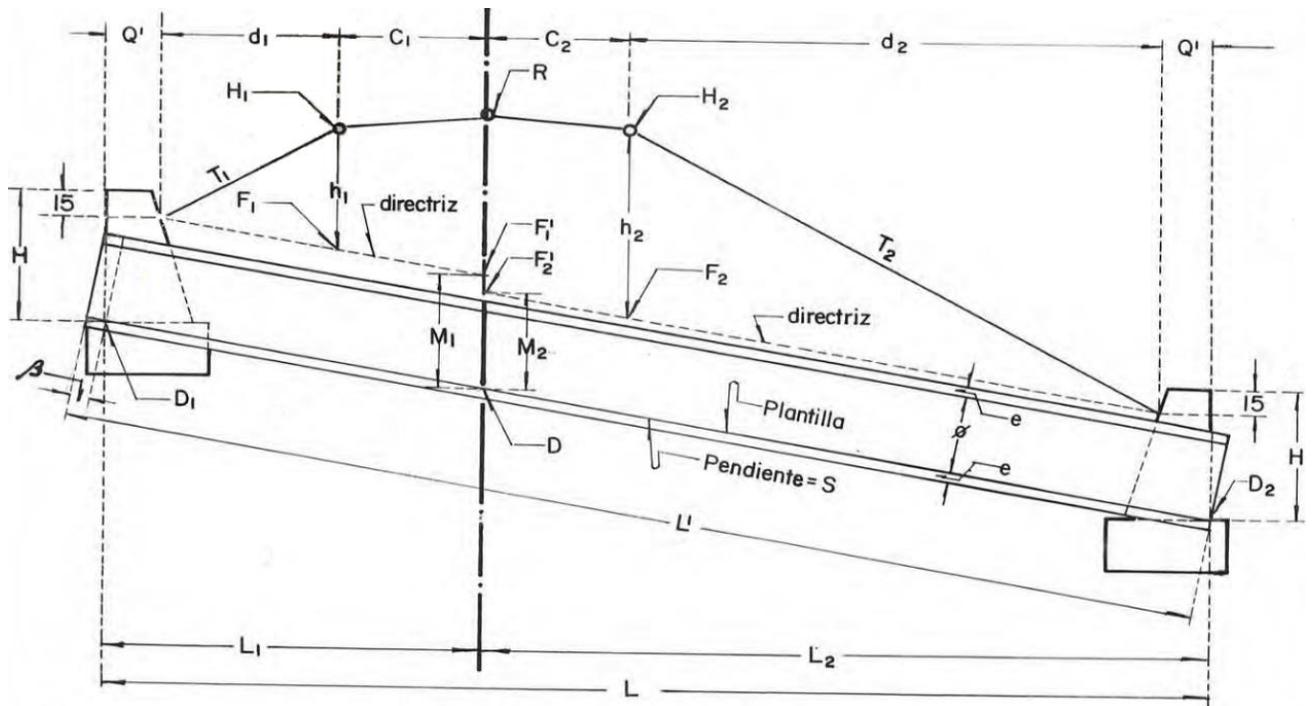


FIGURA 15.

SECCIÓN DE LAS TERRACERÍAS SEGÚN EL EJE DE LA OBRA. (ING. CÁNDIDO MONDRAGÓN RIVERA, 1991)

Debido a que los tubos se fabrican por tramos con una longitud determinada dependiendo el material y el fabricante, se debe hacer una corrección para que la longitud de obra se ajuste al número cerrado de tubos, modificando el desplante, pendiente o taludes para obtener un número cerrado de tramos y evitar el desperdicio de material.

El cálculo de longitud de obra descrito se hace de igual manera para tubos, losas, bóvedas y cajones.

-Cálculo Geométrico de Aleros

Los aleros son los muros que se construyen en la entrada y salida de las alcantarillas de losas, bóvedas y cajones, los cuales tienen la función de impedir que el derrame de las terracerías invada el cauce y permitir un mejor encauzamiento. El cálculo dimensional de los aleros se apoya en la siguiente Figura 16:

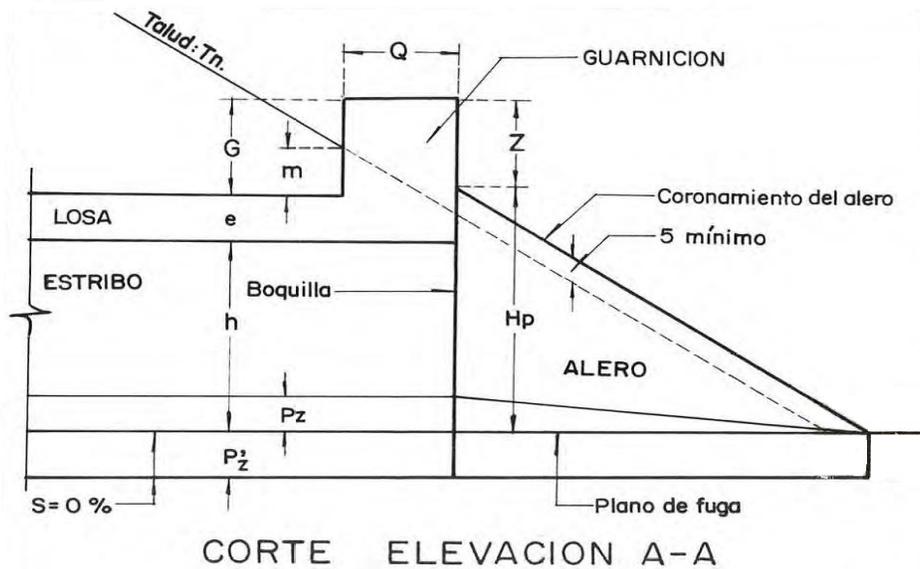
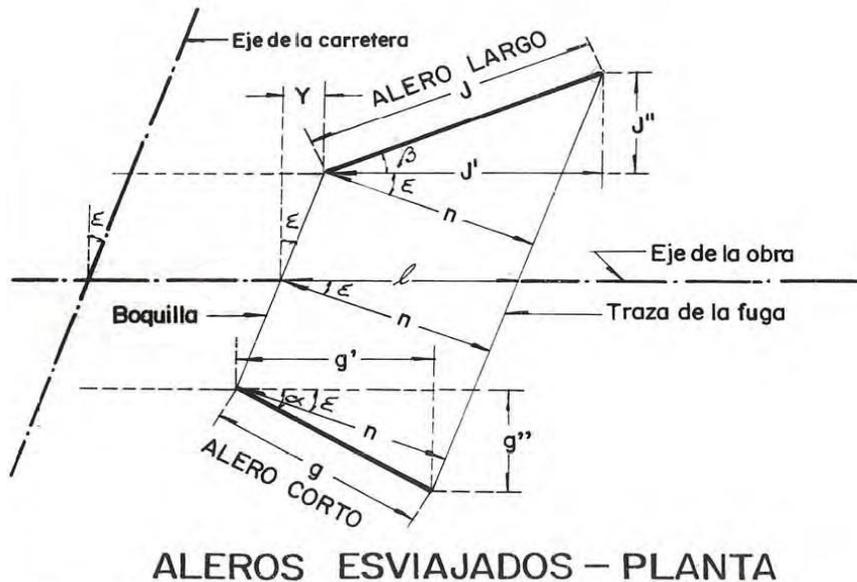


FIGURA 16.

ALEROS EN PLANTA Y CORTE DE ELEVACIÓN. (ING. CÁNDIDO MONDRAGÓN RIVERA, 1991)

La sección “normal” del alero, es la proyección de la sección real sobre un plano vertical normal al eje de la obra, como se muestra en la Figura 17.

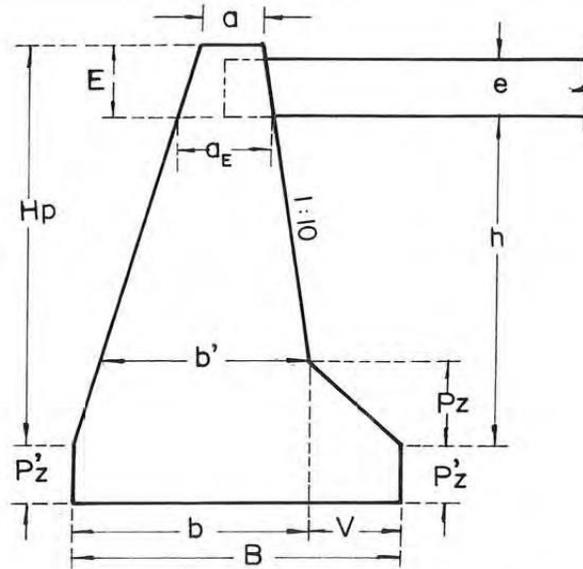


FIGURA 17.

SECCIÓN NORMAL DEL ALERO EN EL ARRANQUE. (ING. CÁNDIDO MONDRAGÓN RIVERA, 1991)

En general, la sección normal del alero es distinta a la del estribo, pero en muchos casos, en alcantarillas tipo losa, dicha sección normal es una prolongación hacia arriba de la sección del estribo.

Nomenclatura de los aleros:

G=Altura de la guarnición

Q=ancho normal de la guarnición

Z=Distancia vertical entre el coronamiento de la guarnición y el del alero en el arranque

a=ancho del coronamiento del alero

a_e=ancho de coronamiento del estribo en losas

b=ancho de la base del cuerpo

b'=ancho del cuerpo a la altura del escarpio

B=ancho de la base de cimentación

v=ancho del volado de la zapata

H_p=altura promedio del alero

h=altura libre de la obra

E=dimensión auxiliar

P_z=altura del escarpio

P'_z=espesor de la zapata

m=altura de la parte superior de la losa a la línea de intersección del talud con la guarnición.

-Elementos adicionales de las obras

Muros de Cabeza

Son dispositivos colocados a la entrada y/o salida de la obra y su objetivo es impedir la erosión de los tubos, para guiar la corriente y de sostenimiento de las terracerías, estos pueden ser de mampostería o de concreto, y su colocación deberá ser paralela al camino.

La altura de los muros de cabeza debe ser tal que se extienda mínimo 15 cm arriba de su intersección con los taludes del camino.

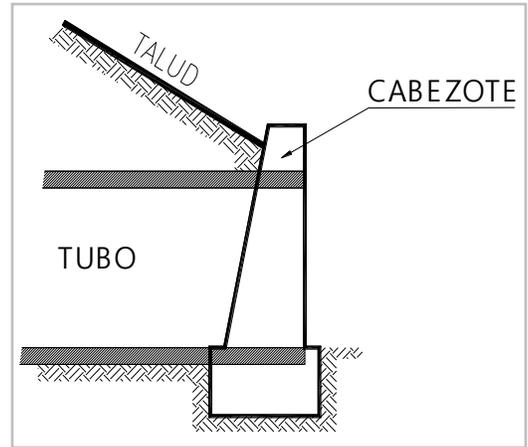


FIGURA 18. MURO CABEZOTE

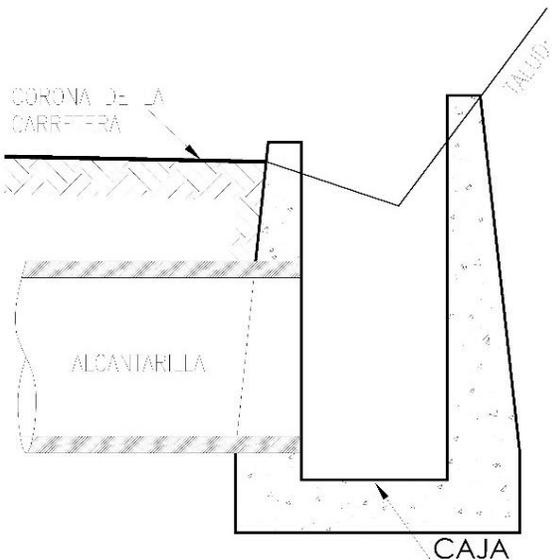


FIGURA 19. CAJA DE ENTRADA

Cajas

Cuando en el proyecto de la carretera se contemplan cortes, se deben plantear obras de drenaje para el alivio de la cuneta, por lo que, en la entrada de la obra se proyectan cajas de entrada, las cuales pueden ser de concreto o mampostería y se encuentran tabuladas en los "proyectos tipo", cuyas dimensiones están en función del diámetro, el número de líneas de tubo y el talud de corte, éstas deben tener un desarenador con altura mínima de 15 cm, el cual retiene los arrastres que lleva la cuneta.

Muros de Anclaje

Son estructuras iguales a los muros de cabeza, pero de menor longitud, se utilizan cuando la pendiente de la plantilla del tubo es mayor a 25 %, estos sirven para dar estabilidad a la estructura, evitar deslizamientos y deformación en los tubos. La distancia entre los muros se recomienda de 5 o 10 m y el paramento vertical del muro se coloca hacia aguas arriba.

Guarnición

Es un elemento estructural de concreto armado, las guarniciones en losas esviadas con refuerzo principal normal al eje de la obra, es necesario calcularlas, ya que trabajan como trabe al servir de apoyo a parte de la losa.

Delantal

Es un zampeado construido entre los aleros y desde la entrada y salida de la obra hasta el dentellón exterior, el cual funciona para proteger de la socavación y pueden ser de concreto o mampostería, su longitud está en función de los cabezotes o los aleros.

Dentellón

Es un elemento estructural que se coloca a la entrada y salida de la alcantarilla, el cual funciona para impedir la socavación producida por el cauce y el deslizamiento de la obra en pendientes grandes.

En algunas obras debido a las condiciones topográficas, el tipo de arrastre o circunstancias particulares de las obras es necesario adecuar aleros o construir canales de entrada o salida, desarenadores o disipadores de energía hidráulica, con el fin de que el funcionamiento de las alcantarillas sea óptimo y se desgaste lo menos posible.

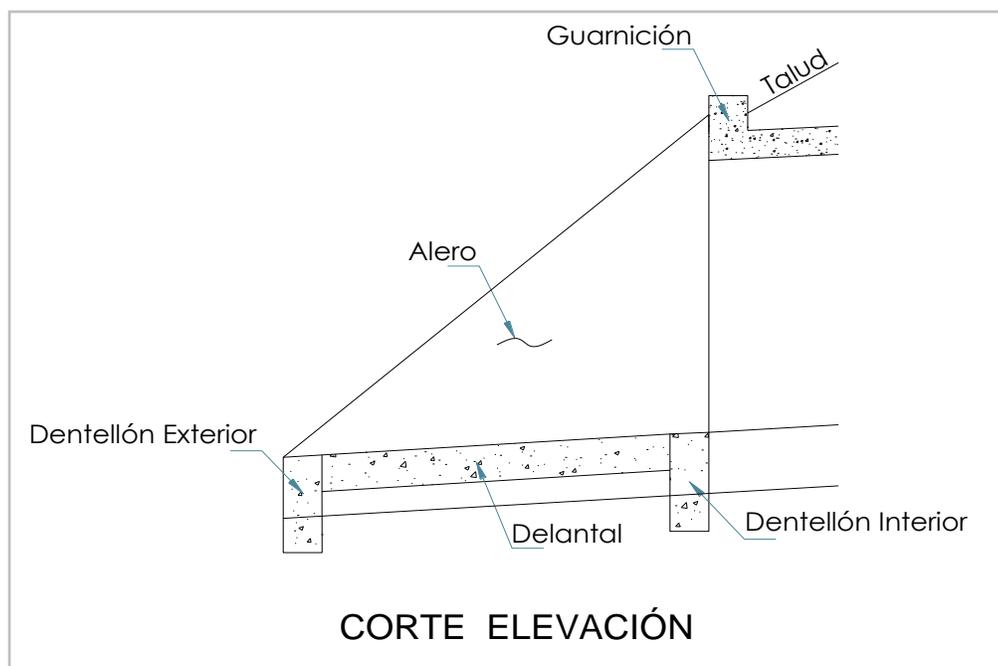


FIGURA 20.

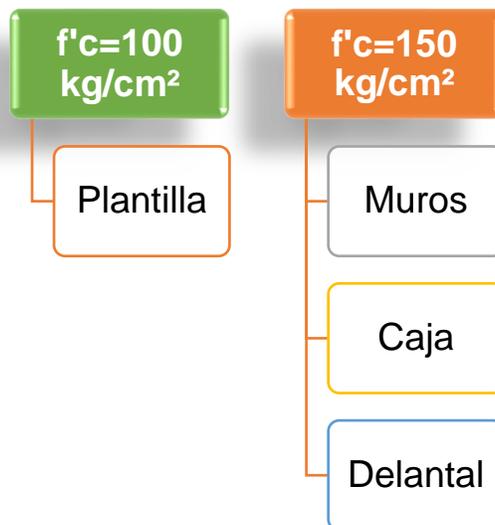
ELEMENTOS ADICIONALES EN ENTRADA Y SALIDA. (ING. CÁNDIDO MONDRAGÓN RIVERA, 1991)

-Cálculo de Cantidades de Obra

Conociendo la longitud de obra y las dimensiones de los elementos de cada obra, procedemos al cálculo geométrico de los volúmenes de excavación, el volumen de concreto para las diferentes resistencias, el acero de refuerzo, el volumen de plantillas, la malla electrosoldada y los rellenos de protección.

-Tubos

Concreto. Para tuberías, las dimensiones de los muros y/o caja se encuentran tabulados en los “proyectos tipo”, a partir de esas dimensiones, se obtiene el volumen de concreto de cada uno de los diferentes elementos y se clasifican de la siguiente manera:



Excavación. A partir del perfil del terreno, según el desplante de la obra, se traza una línea compensadora para obtener la altura promedio de excavación del tubo H_T , y de los muros de cabeza H_m , se considera una sección trapezoidal con taludes de $\frac{1}{2} \times 1$, dejando un espacio libre de 0.25 m a cada lado de la base, ver Figura 21.

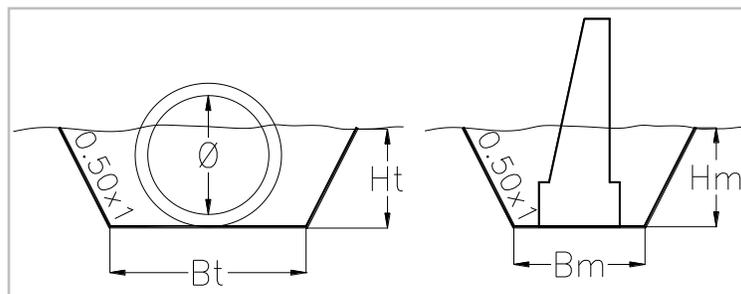


FIGURA 21. ALTURAS DE EXCAVACIÓN EN TUBOS

Arrope y Plantilla. Para el cálculo de los volúmenes de plantilla y relleno, nos apoyamos de la Figura 22 para la obtención del área y lo multiplicamos por la longitud de obra.

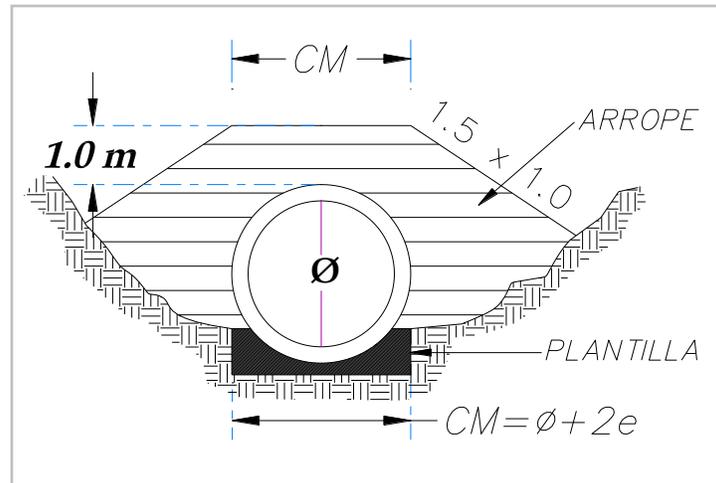
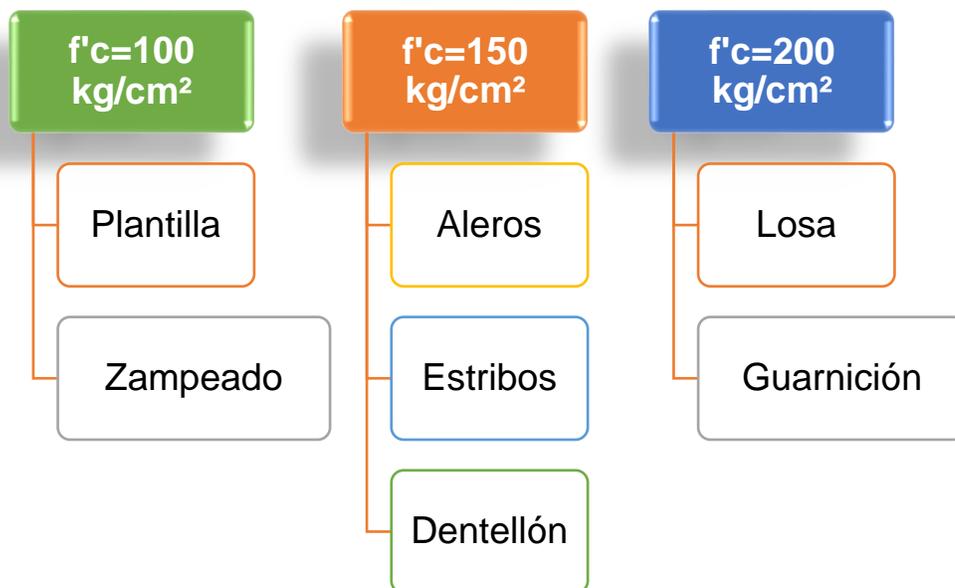


FIGURA 22. SECCIÓN DE RELLENO EN TUBO

-Losas

Concreto. En las alcantarillas de losa se debe obtener el volumen de cada uno de los diferentes elementos que las constituyen, y después sumar las cantidades de concreto de la misma resistencia, clasificados de la siguiente manera:



Con las dimensiones y espesores tabulados, el volumen de concreto de la losa y la guarnición se obtiene multiplicando el área de la losa por la longitud de la obra L .

Para calcular el volumen de cada alero y estribo, se divide el elemento en varias áreas y se multiplican por los espesores o longitudes.

Excavación. Al igual que en los tubos, en el perfil de la obra se traza una línea compensadora para obtener la altura promedio de excavación HE , se considera una sección trapezoidal y dejando un espacio libre de trabajo de 25 cm a cada lado, como se muestra en la Figura 23.

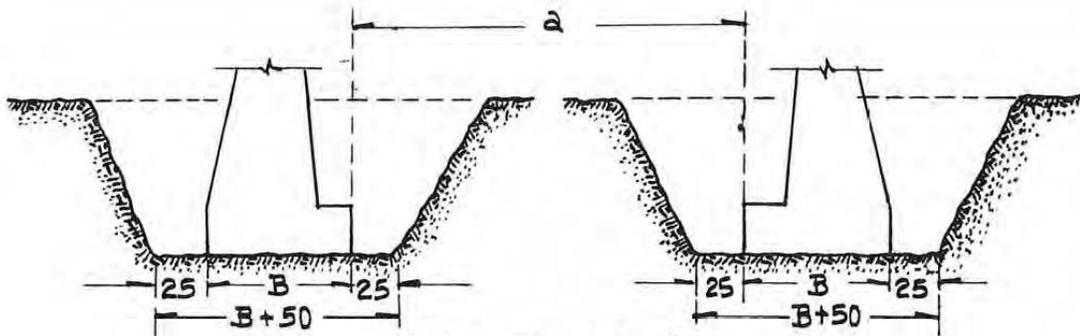


FIGURA 23. EXCAVACIÓN PARA ESTRIBOS EN LOSAS

Cuando la distancia entre los interiores de los cimientos sea igual o menor a 0.50 m, la excavación se hará en toda la distancia comprendida entre ellos.

En la excavación también se debe considerar el volumen de aleros, dentellón, delantal y canales en caso de requerirse.

Asimismo, en caso de que la obra nueva sustituya una existente se deben estimar los volúmenes de demolición.

Plantilla y Zampeado. Para el cálculo de los volúmenes de plantilla y zampeado, se considera un espesor de 10 cm.

Acero de Refuerzo. Para las alcantarillas tipo losa, en los “Proyectos Tipo” se encuentran tabulados los datos de las varillas, como son; diámetro, espaciamiento, longitud y número.

Para el armado de las losas, se consideran dos casos, ilustrados en la Figura 24:

- 1) Armado esviado. En losas con esviaje menor a 20°
En estas losas las varillas **A** y **B** (armado principal) de la parrilla inferior y las varillas **E** de la parrilla superior, se colocan paralelas al eje de la carretera, y la separación será igual al espaciamiento de los ‘proyectos tipo’ entre el coseno del esviaje y se mide según el eje de la obra.

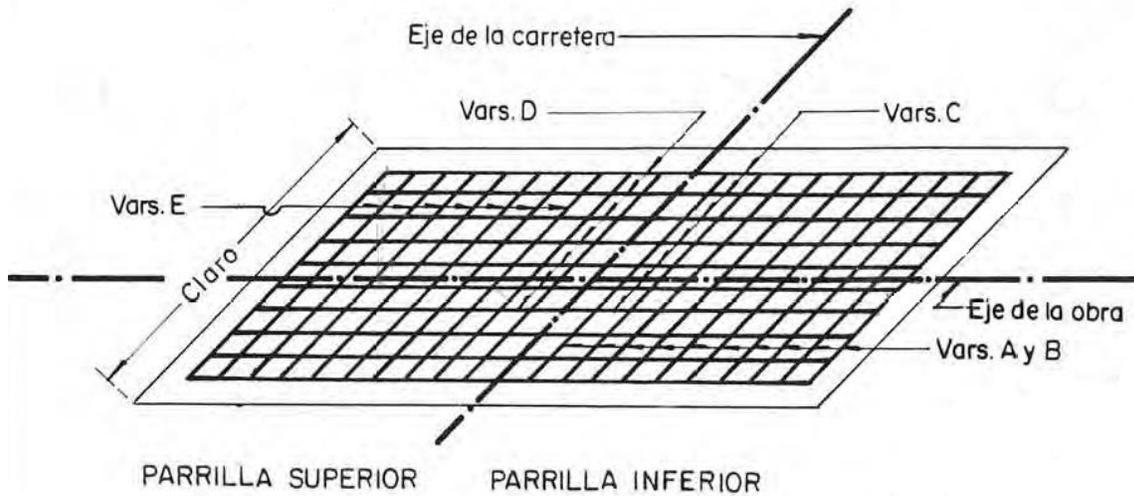
Las varillas **C** de la parrilla inferior y las varillas **D** de la parrilla superior, se colocarán paralelas al eje de la obra, la separación será de acuerdo con los ‘proyectos tipo’ y se medirá según el eje de la carretera.

- 2) Armado normal. En losas con esviaje mayor a 20° y losas normales
En estas losas, las varillas **A**, **B** y **E** se colocan perpendiculares al eje de la obra, el espaciamiento dado por las tablas deberá medirse según el eje de la obra.

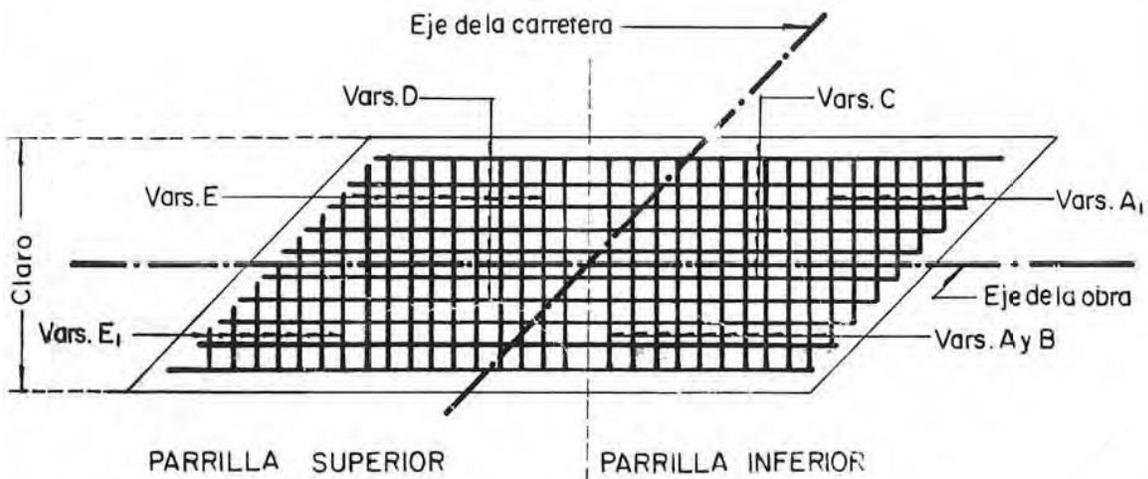
Las varillas **C** y **D** se colocan paralelas al eje de la obra y el espaciamiento dado por las tablas deberá medirse según la perpendicular al eje de la obra.

En este tipo de losas queda un área triangular sin armar, ejerciendo su influencia sobre la guarnición, por lo que tendrá que calcularse el armado en esta zona, a cuyas varillas llamaremos **A1** y **D1**.

ARMADO DE LAS LOSAS ESIVIAJADAS



LOSA CON ARMADO ESIVIAJADO



LOSA CON ARMADO NORMAL

FIGURA 24. ARMADO DE LOSAS. (ING. CÁNDIDO MONDRAGÓN RIVERA, 1991)

Una vez teniendo las dimensiones de los aleros y longitud de obra del cálculo geométrico, consideramos las varillas J, K, L y M, para el armado de los estribos y los aleros, como se puede ver en la Figura 25. Al igual que en el armado de la losa, obtenemos el diámetro y la separación de las varillas, así como las dimensiones de los estribos de los 'proyectos tipo'.

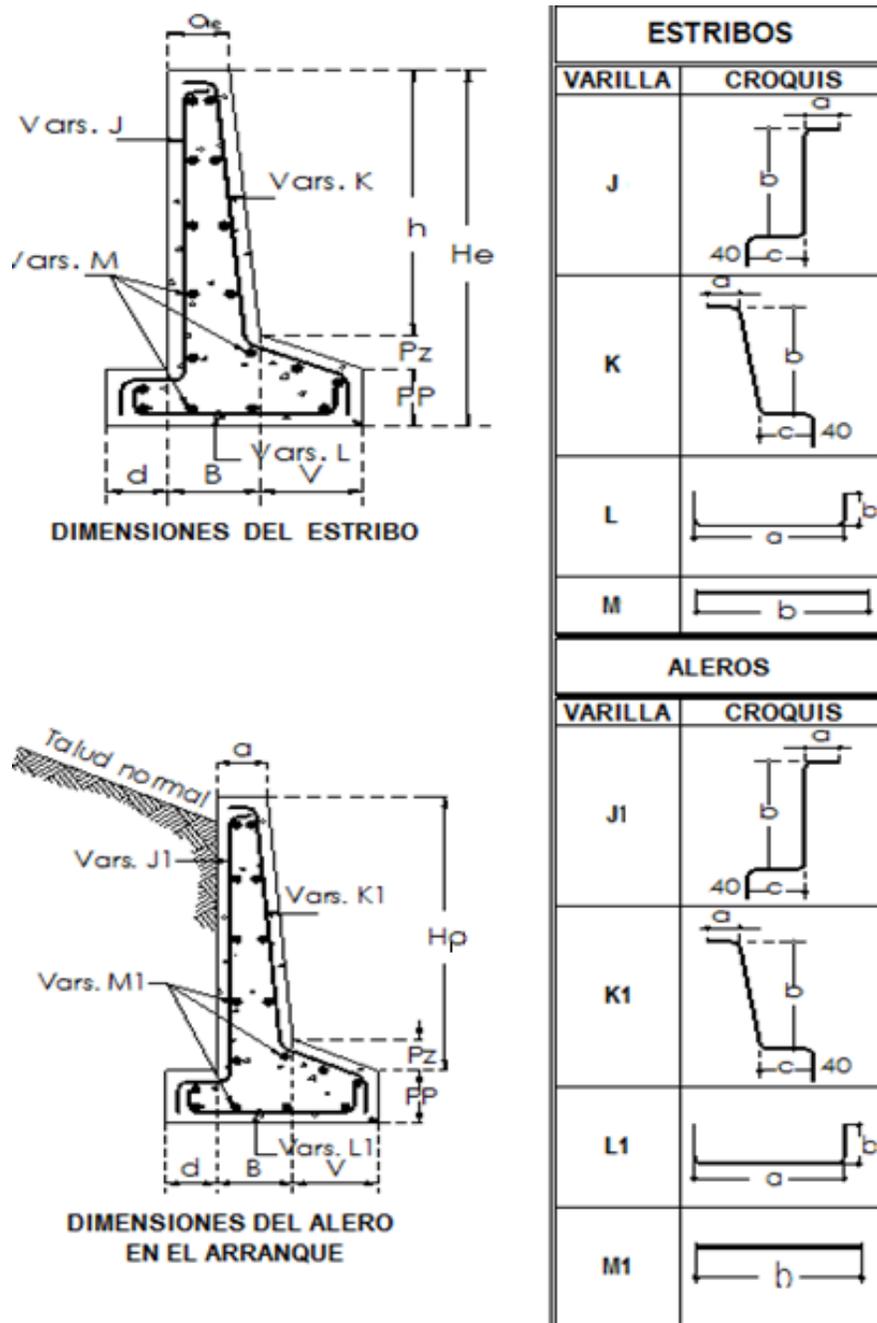


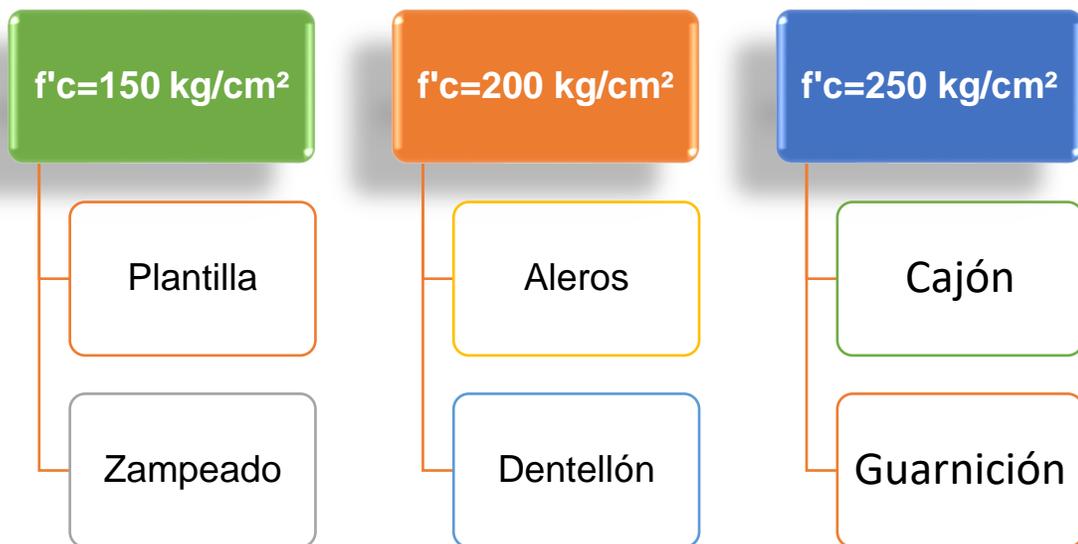
FIGURA 25. ARMADO DE ESTRIBOS Y ALEROS

-Cajones

Concreto. Con las dimensiones y espesores tabulados, el volumen de concreto del cajón, los dentellones y la guarnición, se obtiene multiplicando las áreas por la longitud de la obra.

Para calcular el volumen de cada alero y estribo, se calculan varias áreas del elemento y se multiplican por los espesores o longitudes.

Al igual que en las losas, se debe obtener el volumen de cada uno de los elementos que las constituyen, y después se suman las cantidades de concreto de la misma resistencia, clasificados de la siguiente manera:



Plantilla. Debajo de la obra, se considera con un espesor de 10 cm, armada con malla electrosoldada.

Malla Electrosoldada. En la plantilla y el zampeado se coloca malla electrosoldada, la cual obtenemos calculando el área en planta de dichos elementos.

Excavación. Al igual que en los tubos y losas, en el perfil de la obra se traza una línea compensadora para obtener la altura promedio de excavación h_E , con la cual obtenemos el volumen de excavación del cajón y los aleros.

Acero de Refuerzo. En las tablas de “Proyectos Tipo de Obras de Drenaje para Carreteras”, encontramos el diámetro, espaciamiento, longitud y número de las varillas (A, B, C, D, E, F, G, H, I) que forman el armado del cajón, las varillas (T, S, U, V, X, Y) de la guarnición y dentellones y de las varillas (L1, L2, L3, O, Q, P1 y P2) para el armado de los aleros, a partir de esos datos calculamos el número, longitud y peso de las varillas.

En algunos casos, por urgencia de construcción o por procedimiento constructivo, se pueden colocar cajones prefabricados, siempre y cuando cumplan con las normas establecidas, sin embargo, la decisión la toma el Ingeniero Residente de la obra.

El armado de las obras tipo cajón, así como de todos sus elementos, se ilustra en las Figuras 26, 27 y 28.

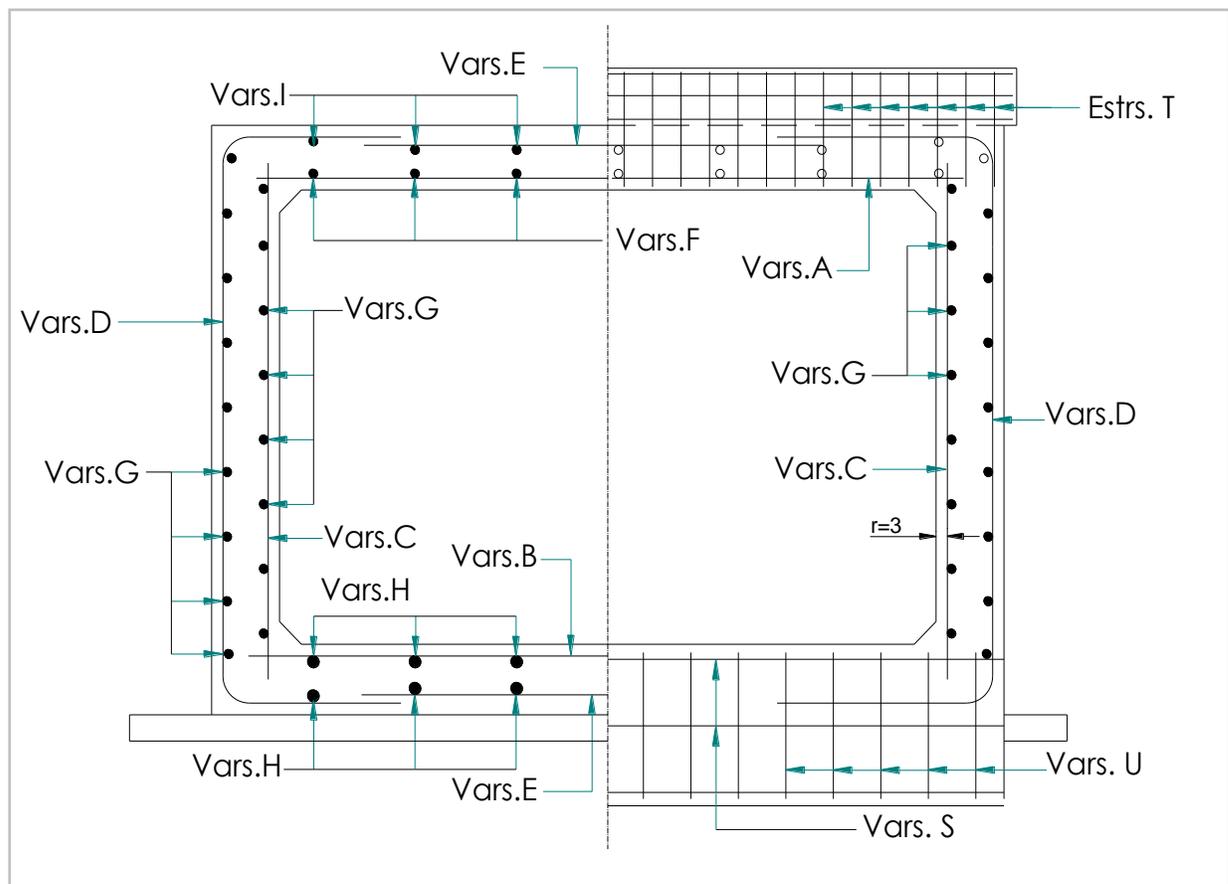


FIGURA 26. ARMADO DE CAJÓN

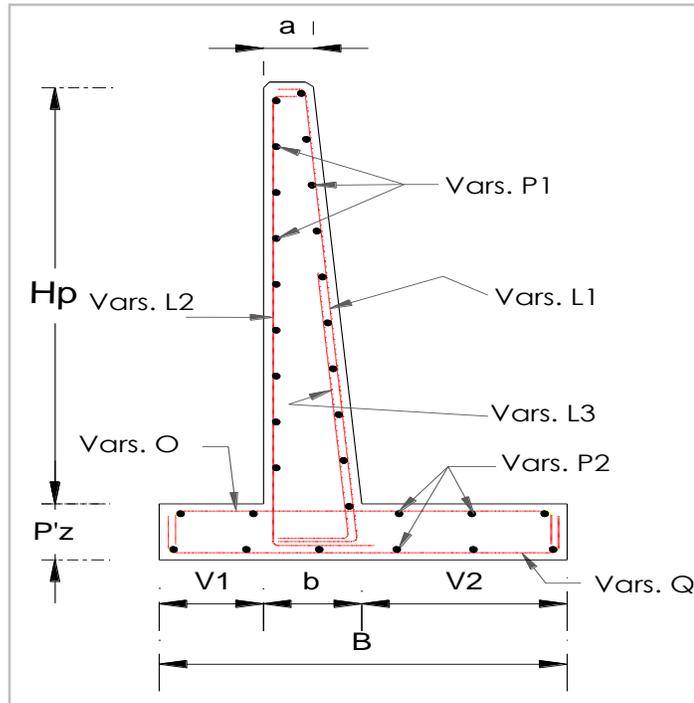


FIGURA 27. ARMADO EN LA SECCIÓN NORMAL DEL ALERO

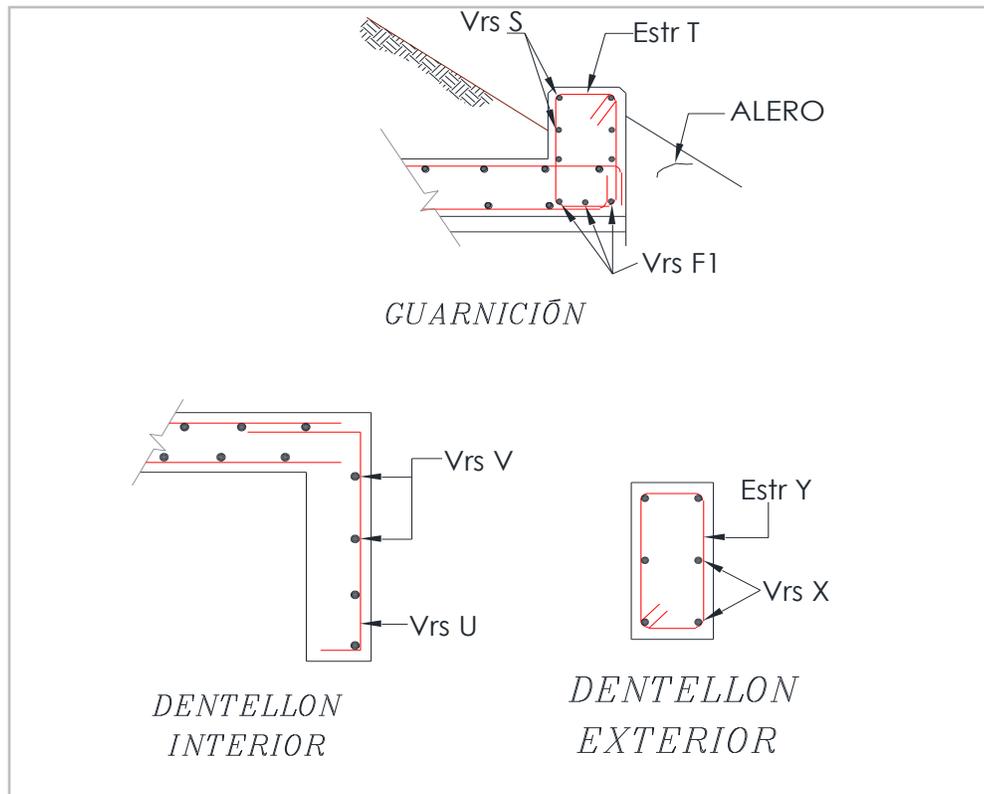


FIGURA 28. ARMADO EN GUARNICIÓN Y DENTELLONES

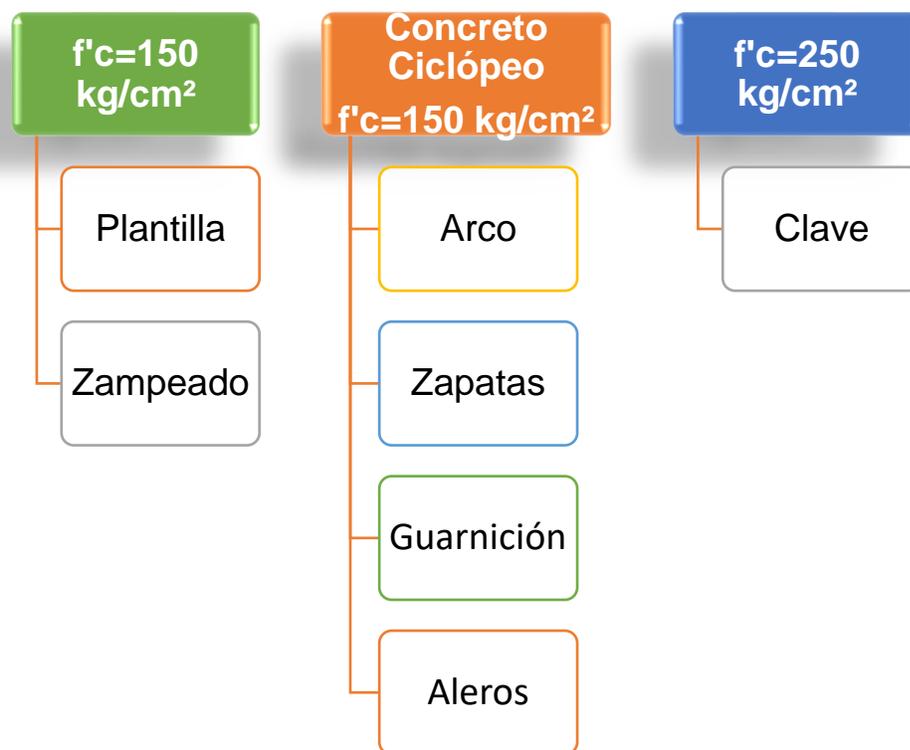
-Bóvedas

Concreto. Las bóvedas pueden ser construidas de mampostería ó concreto ciclópeo.

Una vez obtenido de las tablas, los datos geométricos de la Figura 14, calculamos el volumen de concreto, el cual se obtiene multiplicando la longitud de obra por el área de la bóveda.

Para el cálculo de las cantidades de obra de la guarnición, los aleros, los dentellones, el zampeado y la excavación, procedemos de la misma manera que lo mencionado en las losas.

Al igual que en las losas, se debe obtener el volumen de cada uno de los elementos que las constituyen, y después se suman las cantidades de concreto de la misma resistencia, clasificados de la siguiente manera:



Plantilla. Debajo de la obra, se considera con un espesor de 10 cm.

Excavación. Al igual que en los tubos, losas y cajones, en el perfil de la obra se traza una línea compensadora para obtener la altura promedio de excavación h_E , con la cual obtenemos el volumen de excavación de la bóveda y los aleros.

-Obras Complementarias

Para complementar el proyecto de drenaje y como ya se mencionó en el Capítulo 2, las obras de drenaje superficial se dividen en longitudinales y transversales, en este tema hablaremos brevemente del drenaje longitudinal, el cual está formado por obras paralelas al eje de la carretera, como son: el bombeo, las cunetas, contracunetas, lavaderos y bordillos, y a las cuales llamamos "Obras Complementarias" mismas que se consideran de acuerdo con los proyectos tipo.

-Bombeo

Es la pendiente transversal que se le da a la corona en las tangentes hacia ambos lados del camino para drenar la superficie de este, evitando que el agua se encharque provocando reblandecimientos, ver Figura 29.

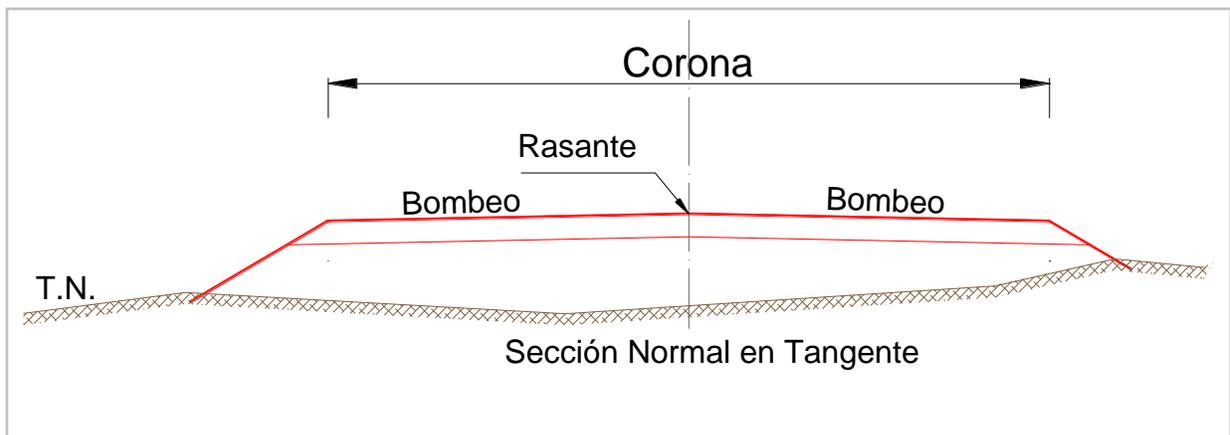


FIGURA 29. BOMBEO EN SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA CARRETERA

-Cunetas

Son zanjas colocadas junto a los hombros de la corona en uno o en ambos lados, con el objeto de captar el agua que escurre sobre la superficie de la corona, de los taludes de los cortes, conduciéndola a un sitio donde no haga daño a la carretera a terceros.

Por razones de construcción, en la mayoría de los casos son de sección triangular y se construyen de acuerdo con la normativa vigente de la SICT, con las siguientes especificaciones:

- La pendiente de la cuneta es la misma que la del camino.
- Es revestida mediante un zampeado para protegerla de la erosión.
- Cuando la sección del camino pasa de corte a terraplén, la cuneta se prolonga, siguiendo la conformación del terreno, para desfogar el agua en la obra de drenaje más cercana.

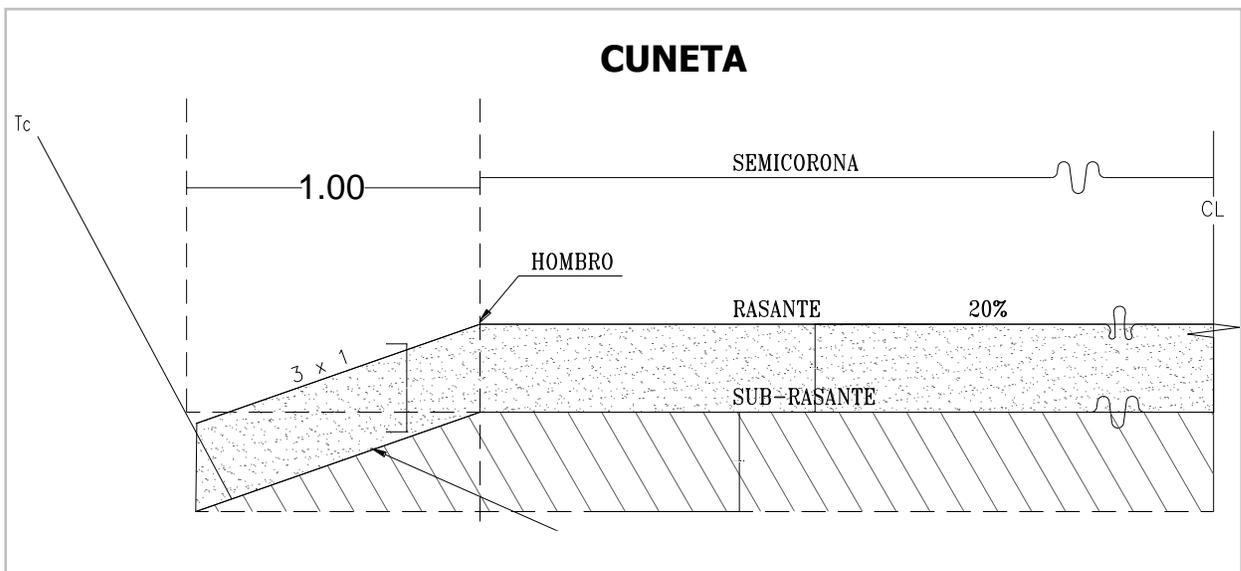


FIGURA 30. SECCIÓN DE CUNETAS

-Contracunetas

Son zanjas o bordos que se colocan en las laderas localizadas aguas arriba de los taludes de los cortes, generalmente paralelas al eje de la carretera, con el objeto de interceptar el agua que escurre sobre la superficie del terreno natural, conduciéndola a una parte baja del terreno, para evitar la saturación hidráulica de la cuneta y el deslave o erosión del corte.

Son usadas comúnmente en caminos montañosos o en lomerío. Se construyen de acuerdo con la normativa vigente de la SICT, con las siguientes especificaciones:

- Se ubican a una distancia mínima de 5 m con respecto al cero de corte.
- En laderas con pendiente mayor a 30° , se conforma siguiendo la tendencia general de las curvas de nivel, para evitar que la contracuneta tenga pendientes mayores a 20 %.
- Tiene una sección trapezoidal con profundidad mínima de 20 cm.
- Es revestida mediante un zampeado para protegerla de la erosión.
- La longitud de la contracuneta debe ser suficiente para llevar el agua desde el parteaguas hasta el fondo del cauce natural al que descarga.

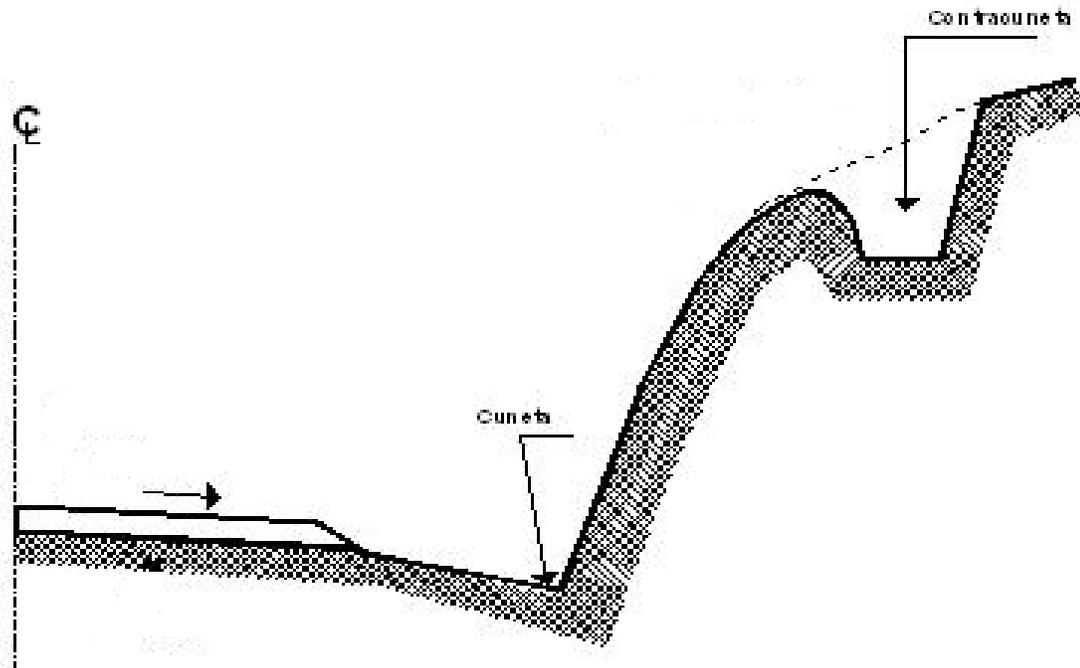


FIGURA 31. SECCIÓN CON CONTRACUNETAS

-Bordillos

Son elementos que captan y encauzan el agua que por el efecto del bombeo corre sobre la corona del camino, descargándola en los lavaderos, para evitar erosión en los taludes de los terraplenes.

Se construyen de acuerdo con la normativa vigente de la SICT, con las siguientes especificaciones:

- Pueden ser de concreto hidráulico, concreto asfáltico o de suelo-cemento.
- Tienen forma trapezoidal
- Se ubican longitudinalmente en ambos lados en terraplenes que se encuentran en tangente, solo en el acotamiento interno de los terraplenes en curva horizontal y en alturas mayores a 1.5 m.
- Se colocan del lado exterior del acotamiento a 20 cm del hombro del camino y solo en donde se tenga pendiente longitudinal.
- El caudal recogido por el bordillo se descarga en lavaderos construidos sobre el talud del terraplén.

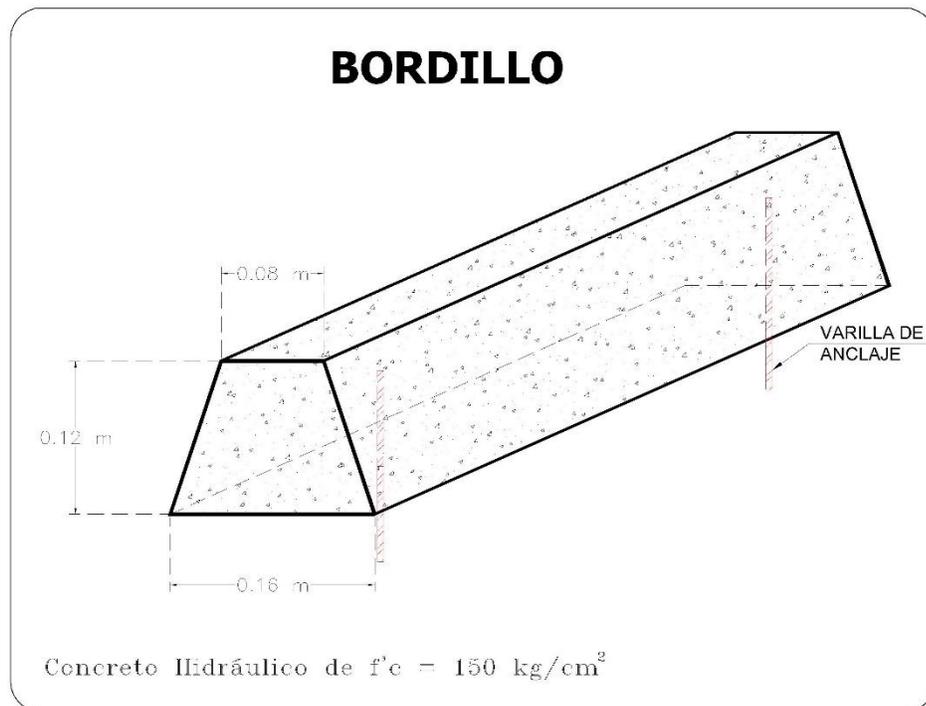


FIGURA 32. DIMENSIONES DE BORDILLO

-Lavaderos

Son canales que encauzan y descargan el agua recolectada por los bordillos, cunetas y guarniciones a sitios donde no cause daño a la estructura del pavimento.

Se construyen de acuerdo con la normativa vigente de la SICT, con las siguientes especificaciones:

- Pueden ser de mampostería, concreto hidráulico o metálicos.
- Se construyen sobre el talud, en ambos lados del terraplén en tangente, y solo en el talud interno de los terraplenes en curva horizontal y en las partes bajas de las curvas verticales.
- Se construyen máximo a cada 50 m en los tramos en tangente y con pendiente longitudinal.
- Los lavaderos destinados para descargas de cunetas se prolongan hasta desfogar en el terreno natural o en la alcantarilla más cercana.
- Son revestidos mediante un zampeado para protegerlo contra la erosión
- La unión de lavadero con bordillo se hace en forma de arco o mediante una transición de 45° con respecto al eje del lavadero.

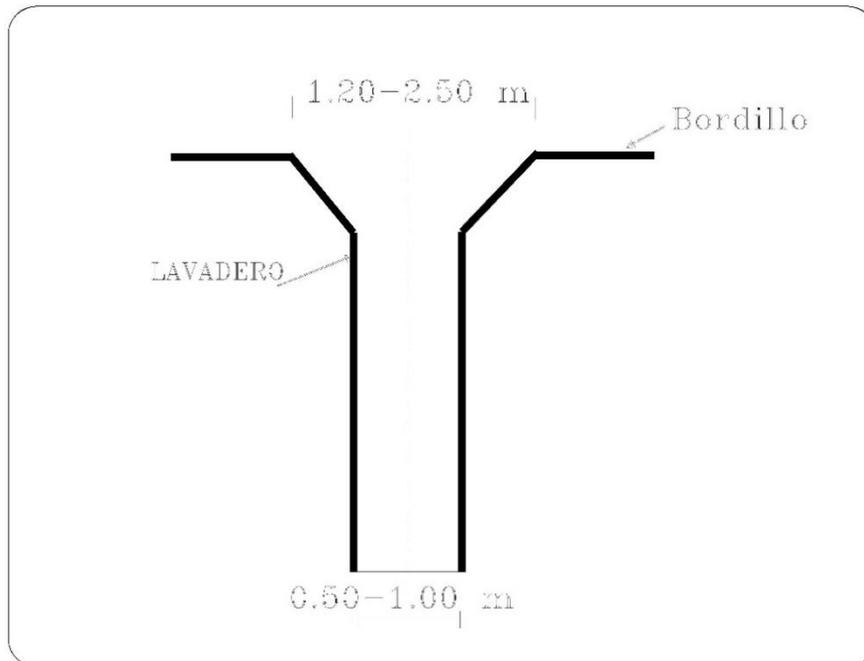


FIGURA 33. VISTA DE LAVADERO EN PLANTA

Para obtener las cantidades de obras complementarias, nos apoyamos de las secciones transversales, planta y perfil del proyecto geométrico de la carretera.

V. Proyecto Final de Drenaje y Conclusiones

El proyecto ejecutivo es la integración de planos, memorias de cálculo, especificaciones, cantidades de obra y procedimientos necesarios para la construcción de las obras de drenaje, el cual debe acompañarse de todos los estudios realizados para el diseño y el cálculo de todas las obras de drenaje del tramo en estudio, ya que este se entregará a los constructores para su ejecución.

-Presentación de Resultados

Por último, después de haber hecho el estudio hidrológico, seleccionado las obras de drenaje en base a los parámetros de diseño, haber calculado la geometría y las cantidades de obra, integramos y complementamos toda la información procesada para el proyecto definitivo.

El proyecto ejecutivo de drenaje menor está compuesto por:

- ✓ Plano General de Cuencas
- ✓ Informe Fotográfico
- ✓ Registros de Drenaje
- ✓ Estudio Hidrológico
- ✓ Estudio Hidráulico
- ✓ Perfiles de Obras de Drenaje
- ✓ Datos Generales
- ✓ Datos de Terracería
- ✓ Cálculo de longitud de obra
- ✓ Memorias de Cálculo, incluye cálculo de longitud de obra, aleros y cantidades de obra.
- ✓ Funcionamiento de Drenaje
- ✓ Obras Complementarias
- ✓ Proyectos Constructivos
- ✓ Planos de Detalles
- ✓ Procedimientos constructivos
- ✓ Cantidades de Obra

Finalmente se integra, revisa y entrega el proyecto completo en tramos de 5 km, para su futura licitación y construcción.

-Conclusiones

En este informe se describió, desarrollo y ejemplifico el cálculo para los distintos tipos de obras, a fin de conocer ampliamente el proceso de elaboración de un proyecto de drenaje menor, para lo cual, se integró la teoría de libros, manuales y la normativa vigente para llevar a cabo la metodología de los trabajos, estudios, cálculos, criterios y procesos necesarios para la realización del proyecto de drenaje menor de una carretera.

Para garantizar el buen funcionamiento de las obras, además de ser necesario un buen diseño y construcción de las obras de drenaje, se deben revisar y dar mantenimiento periódicamente, para liberarlas de sedimentos y basura que limite o impida el libre flujo del agua, así como reparaciones o reconstrucciones menores debidas al desgaste o erosión.

Durante el desarrollo de este informe pude hacer un recuento a detalle sobre el proceso general del proyecto de una carretera, así como la actualización de las normas para complementar mis conocimientos sobre el tema. Cabe aclarar que, las normas, métodos, parámetros, procedimientos y especificaciones para la ejecución del drenaje, descritas en este proyecto, se aplican para cualquier proyecto de carreteras en México, sin embargo, hay que tomar en cuenta que cada obra, zona o proyecto tiene sus particularidades, y al final, la elección de la mejor solución de las obras depende del criterio de cada proyectista.

A lo largo del tiempo, en mi desarrollo laboral en conjunto con el académico he podido observar cómo ha evolucionado la manera de procesar información, debido a nuevo software y tecnología, lo cual me ha ayudado a ejercer mi labor con mayor celeridad y eficiencia, aportando a la experiencia obtenida, una mejor visión y un desarrollo con calidad de las actividades encomendadas.

Con base en los capítulos tratados en este informe, considero que se cumplió el objetivo planteado, por lo que espero que pueda ser de utilidad a estudiantes e ingenieros relacionados con este trabajo.

Finalmente estoy muy contenta y agradecida por esta oportunidad laboral, pues los he llevado a cabo con gusto y afán de aprender aún más y es emocionante ver de cerca desde el inicio, el proceso de la obra y sobre todo ver el proyecto ya terminado. El proceso de aprendizaje nunca termina y la culminación de esta etapa en mi desarrollo profesional solo es el comienzo de la motivación para continuar en el aprendizaje de nuevas tecnologías y ampliación de conocimientos.

Glosario

Alcantarilla. Es un conducto que permite el paso del agua a través de un terraplén.

Bombeo y Sobreelevación: Es la pendiente de la corona, del eje de proyecto hacia los hombros, en tangente y en curva respectivamente, para evitar la acumulación de agua sobre el camino.

Coeficiente de escorrentía. Es la relación entre el porcentaje de agua que se escurre y el porcentaje de agua precipitada.

Corona. Es la superficie del camino terminado que queda comprendido entre los hombros de la carretera, o sean las aristas superiores de los taludes del terraplén y/o las interiores de las cunetas.

Escarpio. Es la amplitud de base que se le da a una cimentación o muro que sirve para dar estabilidad y mayor área de desplante.

Esviaje. Es el ángulo entre 0° y 45° hacia la izquierda o a la derecha, que tiene el eje de proyecto de la obra de drenaje, con respecto a la normal al eje de proyecto de la carretera.

Hidráulica. Es la rama de la mecánica aplicada, que estudia el comportamiento de los fluidos, ya sea en reposo o en movimiento.

Hidrología. Es la ciencia que estudia el ciclo del agua y la evolución de ella en la superficie de la tierra.

Talud. Es la inclinación del paramento de los cortes o de los terraplenes.

Tiempo de concentración. Es el tiempo requerido para que el agua que cae en el punto hidrológicamente más lejano de la cuenca llegue al lugar de descarga.

Tirante (h). Es la diferencia entre el nivel alcanzado por el agua y los niveles de la superficie del cauce de la sección hidráulica, en metros.

Periodo de Retorno (Tr). Es el valor inverso a su probabilidad de ocurrencia.

P.S.M.A. Se refiere a un Paso Superior de Maquinaria Agrícola.

P.S.P.Y G. Se refiere a un Paso Superior de Peatones y Ganado.

P.S.V. Es un Paso Superior Vehicular.

Rasante. Es la proyección vertical del desarrollo del eje de la corona de un camino.

Subrasante. Es la proyección vertical del desarrollo del eje de la semicorona de un camino

Bibliografía

- A., G. S. (1973). *Drenaje en Carreteras y Aeropuertos*. Instituto de Ingeniería, UNAM.
- Carmona, R. P. (2013). *Diseño y Construcción de Alcantarillados Sanitario, Pluvial y Drenaje en Carreteras*. Bogotá: Ecoe Ediciones.
- INEGI. (s.f.). <https://www.inegi.org.mx/temas/topografia/>. Obtenido de <https://www.inegi.org.mx/temas/topografia/>
- Ing. Cándido Mondragón Rivera, I. H. (1991). *Manual Práctico para el Cálculo de Drenaje en Carreteras*. Guadalajara, Jal.: COPIROYAL.
- Laboratorios, D. d. (1965). *Proyectos Tipo de Obras de Drenaje para Carreteras*. México, D.F.
- Llamas, J. (1989). *Hidrología General*. Estado de México: Universidad Autónoma del Estado de México.
- Martínez, S. I. (2000). *Introducción a Hidrología superficial*. Aguascalientes, México: Universidad Autónoma de Aguascalientes.
- Técnicos, S. d. (2012). *Conceptos que Conforman un Proyecto Ejecutivo de Carreteras*.

Mesografía

- *INEGI: De Estadística Y Geografía*, I. N. (s. f.). *Topografía*. <https://www.inegi.org.mx/temas/topografia/>
- *TRIADA: Inicio*. (s. f.). <https://www.triada.com.mx/>
- *Secretaría de Comunicaciones y Transportes: Isoyetas*. (s. f.). <https://www.sct.gob.mx/carreteras/direccion-general-de-servicios-tecnicos/isojetas/>
- *Búsqueda desplegable - normativa para la infraestructura del transporte*. (s. f.). <https://normas.imt.mx/busqueda-desplegable.html>

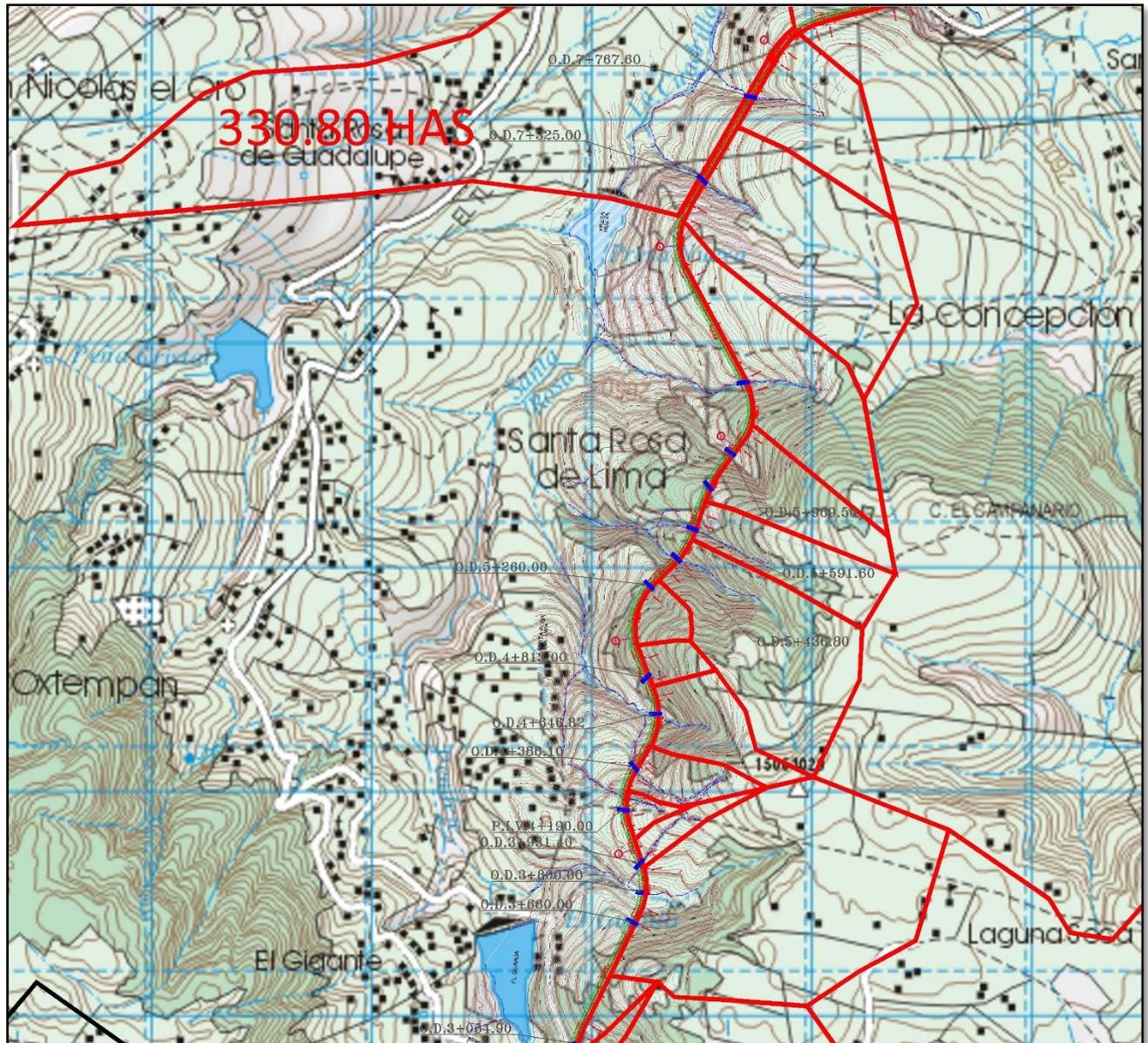
> **Normas SICT:**

- N-CTR-CAR-4-01-001-16
- N-CTR-CAR-4-01-002-16
- M-CTR-CAR-4-01-002-16
- N-CTR-CAR-1-03-001-00
- N-CTR-CAR-1-03-002-00
- N-CTR-CAR-1-03-003-00
- N-CTR-CAR-1-03-004-00
- N-CTR-CAR-1-03-005-00
- N-CTR-CAR-1-03-006-00
- N-CTR-CAR-1-03-007-00
- N-PRY-CAR-1-06-003-00
- N-CMT-3-02/04
- N-CMT-3-03/01

Anexos

CARRERA:						CADENAMIENTO DE LA OBRA:			
TRAMO:						E INVAJE:			
ORIGEN:						EQUIPO DE MEDICION:			
						ESTADO DEL TIEMPO:			
ESTACION	+		-	LECTURA INTERMEDIA	ELEVACIONES	DATOS EN EL CRUCE DE LA OBRA:			
11+220	0.82	2643.42			2642.80	AREA POR DRENAR:	m ² .		
PL	1.26	2640.68	4.00		2639.42	COEF. RUGOSIDAD DEL TERRENO:	(TALBOT)		
TD A 17.00 M				2.80	2637.88	AREA HID. NECESARIA:	m ² .		
TD A 14.00 M				3.42	2637.26	MATERIAL EN EL CAUCE:	HOJARASCA		
8.80	PLANTILLA			3.37	2637.31	ARRASTRE:	BARRO		
2.26	ARRASTRE			3.41	2637.27	PENDIENTE DEL CAUCE:			
2.27	CUAVE			0.00	2640.68	DRENA HACIA LA :	IZQUIERDA		
PL	2.76	2643.40	0.08		2640.62	CROQUIS DE LOCALIZACION			
2.25	CABEZOTE			1.28	2642.12	OBRA CONSTRUIDA, BOVEDA DE 2.00 X 2.50 M			
CL 11+225.20				0.98	2642.44				
0.70	OC			0.83	2642.57				
4.40	C			0.85	2642.55				
8.40	OC			0.84	2642.56				
10.64	CABEZOTE			1.26	2642.14				
10.66	CUAVE			2.76	2640.64				
PL	1.52	2641.12	3.80		2639.60				
10.68	ARRASTRE			3.94	2637.18				
TIA 20.00 M				3.72	2637.40				
TIA 23.00 M				3.76	2637.36				
PL	3.08	2643.80	0.40		2640.72				
11+240			1.46		2642.34				
11+240					2642.33				
								EN BUENAS CONDICIONES	

ANEXO 1. EJEMPLO DE REGISTRO DE UNA OBRA DE DRENAJE



ANEXO 2. EJEMPLO DE PLANO DE CUENCAS

CÁLCULO DE LA LONGITUD DE OBRA										
CAMINO:					ESTACIÓN DE PROYECTO:					
TRAMO:					ALCANTARILLA DE:					
DEL KM :					AL KM		DIMS. (m):		x	
ORIGEN:										
LOCALIZACIÓN										
ESVIAJE					SENTIDO DEL ESCURRIMIENTO					
CRUCE(°):										
DATOS DE TERRACERÍAS EN EL CRUCE										
SECCIÓN NORMAL										
ELEV. SUBRASANTE (m)					ESP. DE PAVIMENTO (m):					
RASANTE DE CÁLCULO (m)					PENDIENTE LONG. DEL CAMINO (%):					
SEMICORONAS (m)		Y1 (IZQ)		Y2 (DER)		SOBREELEV. (%)		W1 (IZQ)		W2 (DER)
SECCIÓN DE LAS TERRACERÍAS SEGÚN EL EJE DE LA OBRA										
X1=			Tang e=			X2=				
C1=			Cos e=			C2=				
R1=			Sen e=			R2=				
H1=			Tn1=			H2=				
COS e (+ -) K=			Tn2=			COS e (+ -) K=				
T1=			K=			T2=				
LONGITUD DE OBRA										
PLANTILLA DEL CAUCE			PENDIENTE S (%)			ESPESOR DE SUPERESTRUCTURA =				m.
			ELEVACIÓN D (m)			ALTURA DE LA DIRECTRIZ (b) =				m.
1/T1=			M=			1/T2=				
(1+S) / T1						Q=				(1+S) / T2
F1=			M1=			F2=				
h1=			F'1=			M2=				h2=
d1=			Q'=			F'2=				d2=
L1=			Q'S=			L2=				
			L TOTAL=							metros
LONG. EXISTENTE=						LONG. EXISTENTE=				
AMPL. LADO IZQ=			L AMPL=			AMPL. LADO DER=				
										metros
DATOS COMPLEMENTARIOS										
SALIDA		ELEV (m)		CENTRO		ENTRADA		ELEV (m)		
				ELEV. (m)						
Colchon en el CL=					Clasificación del terreno=					

ANEXO 3. FORMATO DE CÁLCULO DE LONGITUD DE OBRA

CÁLCULO :VOLUMEN DE OBRA

CAMINO:		ESTACIÓN:			
TRAMO:		ALCANTARILLA DE:			
SUBTRAMO:		DIMS. (m):			
ORIGEN:					
		DATOS:			
TUBO		MUROS SECCIÓN NORMAL			
LONG	LONGITUD DE OBRA=	15. m	a=	0.25 m	
hT	ALTURA DE EXCAVACIÓN	1.80 m	b=	0.80 m	
Le	LONGITUD DE EXCAVACIÓN	13.6 m	v=	0.10 m	
bT	BASE DE EXCAVACIÓN	2.8 m	B=	0.80 m	
			H=	1.50 m	
			Pp=	0.45 m	
			LM=	4.80 m	
			Ld=	2.80 m	
			hm	ALTURA DE EXCAVACIÓN	1.35 m
			Lm	LONG. DE EXCAVACIÓN=	10.80 m
			Bm	BASE DE EXCAVACIÓN=	1.975

FRENTE PLANTA

CANTIDADES DE OBRA		CONCRETO $f_c = 150 \text{ kg/cm}^2$	
MUROS=		4.05 m ²	
CAJA=		20.40 m ²	
DELANTAL=		0.70 m ²	
	SUMA =	25.15 m²	

EXCAVACIÓN		ALTURAS DE EXCAVACION CAJA DE CONCRETO	
EN MUROS=	14.13 m ²	l=	1.35
EN EL TUBO=	83.66 m ²	L1=	3.45
EN CAJA=	30.90 m ²	c=	0.30
	TOTAL=	108.68 m²	
		L2=	2.65
		b1=	1.05
		b2=	1.05
		d=	1.75
		H1=	3.00
		h1=	2.85
		h2=	2.45
		H2=	3.00
		bc=	0.40

PLANTILLA	
Ap=	1.65 m
HP=	0.20 m
	TOTAL=
	4.49 m²

ARROPE	
CM=	1.45 m
AREA=	8.22 m ²
	TOTAL=
	111.82 m²

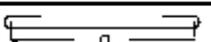
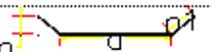
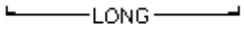
MANEJO DE TIERRA	
EN MUROS	35.32 m ²

Plantilla

RE SUMEN			
CONCRETO	150 kg/cm ²		25.15 m ²
EXCAVACIÓN			108.68 m ²
ARROPE			111.82 m ²
PLANTILLA			4.49 m ²
MANEJO DE TIERRA			35.32 m ²
DEMOLICIÓN DE CONCRETO			0.00 m ²
TUBO	1.20	m. de Ø	15.00 m
TRAMOS DE	1.25 m		12 pzas

RELLENO DE PROTECCION

ANEXO 4. EJEMPLO DE MEMORIA DE CÁLCULO DE VOLÚMENES PARA UN TUBO

CAMINO:				ESTACIÓN:				
TRAMO:				ALCANTARILLA DE:		LOSA		
DEL KM:				DIMS. (m):		1.50 x 1.00		
Concreto f _c =200 kg/cm ²	Losa	Vlosa=	6.73 m ³	DATOS: altura de guarnición= 0.25 m la apoyo de la losa= 0.25 m Le long. Media de la guarnición= 1.02 m Ancho de Dentellón= 0.30 m Altura del dentellón= 0.50 m Area de Estribos= 0.80 m Ancho de plantilla= 0.70 m Espesor de plantilla= 0.10 m Excavaciones Bm = 3.50 m bm= 1.40 m HE= 1.80 m Canales Entrada Salida Hent= 0.00 m Hsal= 0.00 m Lent= 0.00 m Lsal= 0.00 m				
		VG=	0.20 m ³					
	Vol. Total=		6.94 m³					
Concreto f _c =150 kg/cm ²	Dentellón	VE=	29.81 m ³					
		VD=	1.14 m ³					
	Aleros	V=	3.77 m ³					
Vol. Total=		34.72 m³						
Concreto f _c =100 kg/cm ²	Delantal	VDEL=	0.79 m ³					
	Plantilla	VP=	1.31 m ³					
Vol. Total=		2.10 m³						
Excavación	Estribos	151.19	m ³					
	Aleros	11.33	m ³					
	Dentellón	1.75	m ³					
	Delantal	13.40	m ³					
	Canales	0.00	m ³					
	Vol. Total=		177.66 m³					
RESUMEN								
LONGITUD DE OBRA						18.70 m		
CONCRETO f _c = 200 kg/cm ²						6.94 m ³		
CONCRETO f _c = 150 kg/cm ²						34.72 m ³		
CONCRETO f _c = 100 kg/cm ²						2.10 m ³		
EXCAVACIÓN						177.66 m ³		
ACERO DE REFUERZO (LOSA)						503.06 Kg		
ACERO POR TEMPERATURA						688.00 kg		
DEMOLICIÓN						0.00 m ³		
CUADRO DE VARILLAS DE LA LOSA								
TIPO	DIAMETRO m	PESO /ml	ESP	LONGITUD	CANTIDAD	CROQUIS	DIMENSIONES AUXILIARES	PESO
A	1.27	0.997	0.11	2.14	170		α=07.6cm	362.71
A1							β=17cm	
B								
C	1.27	0.997	0.29	19.00	7			132.60
D								
E								
F1								
F	1.27	0.997	0.20	1.94	4			7.75
Recubrimiento=		3.14	cm				TOTAL=	503.06 kg
Notas: Las varillas A se colocarán paralelas al eje de la carretera y su separación se medirá según el eje de la estructura. Las varillas C se colocarán paralelas al eje de la obra y su separación se medirá por la normal al mismo eje.								

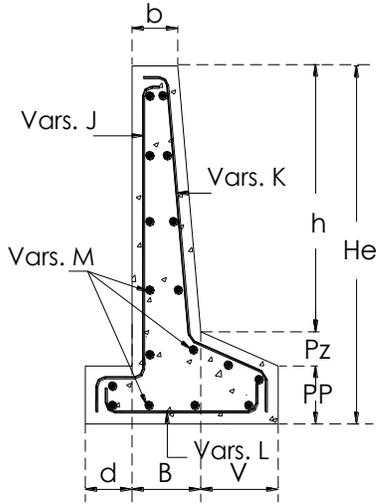
ANEXO 5. EJEMPLO DE MEMORIA DE CÁLCULO DE CANTIDADES DE OBRA PARA UNA LOSA

LISTA DE VARILLAS										
C A J Ó N	VARILLAS	NUM.	DIAM.	LONG.	CROQUIS	a	b	c	SEP	PESO
	A	209	1.27	364		--	364	--	12.0	759
	B	228	1.27	364		--	364	--	11.0	828
	C	502	1.27	220		--	220	--	10.0	1101
	D	502	1.27	422		92	238	--	10.0	2112
	E	170	1.27	272		--	272	--	30.0	461
	F	11	0.95	2485		--	2485	--	31.0	155
	G	32	0.95	Prom 2520		--	2555 2485	--	29.5	456
	H	22	0.95	2485		--	2485	--	31.0	309
	I	11	0.95	2485		--	2485	--	31.0	155
Dimensiones en cm						TOTAL =		6,336.00		
LISTA DE VARILLAS										
GUARNICION	VARILLA	NUM.	DIAM.	LONG.	CROQUIS	a	b	c	SEP	PESO
	T	44	1.27	154		29	48	10	20	68
S	8	1.27	386		--	386	--	15	31	
DENTELLONES	U	44	1.27	135		35	90	10	20	59
	V	10	1.27	386		--	386	--	20	39
	X	20	1.27	800		--	800	--	45	160
	ESTR. Y	56	1.27	306		12	92	55	30	171
						TOTAL =		528.00		

ANEXO 6. EJEMPLO DE CÁLCULO DE ARMADO DE UN CAJÓN

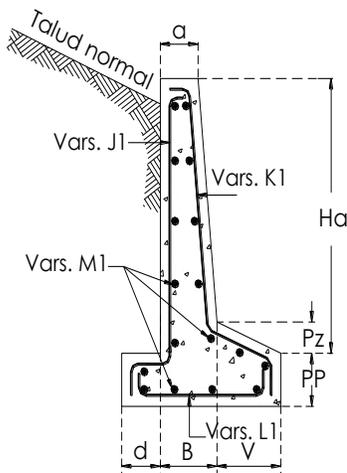
ARMADO POR TEMPERATURA PARA ESTRIBOS Y ALEROS

longitud de obra = 18.70



DIMENSIONES DEL ESTRIBO

b = 32 cm. He = 150 cm.
 d = 10 cm. h = 100 cm.
 B = 40 cm. Pz = 0 cm.
 V = 30 cm. PP = 50 cm.



DIMENSIONES DEL ALERO EN EL ARRANQUE

a = 30 cm. Ha = 124 cm.
 d = 10 cm. Pz = 0 cm.
 B = 40 cm. PP = 50 cm.
 V = 30 cm.

LISTA DE VARILLAS EN ESTRIBOS

DESIGN.	Ø	Num.	Long.	CROQUIS	a	b	c	Sep.	Peso
VARS. J	0.95	124	172		22	100	10	30	122
VARS. K	0.95	124	192		22	100	30	30	136
VARS. L	0.95	124	150		70	40	---	30	106
VARS. M	0.95	22	1860		---	1860	---	30	233

LISTA DE VARILLAS EN ALEROS

DESIGN.	Ø	Num.	Long.	CROQUIS	a	b	c	Sep.	Peso
VARS. J1	0.95	32	prom. 105		20	max. 124 min. 30	max. 10 min. 5	30	19
VARS. K1	0.95	32	prom. 117		20	max. 124 min. 30	max. 30 min. 10	30	21
VARS. L1	0.95	32	prom. 93		max. 70 min. 35	40	---	30	17
VARS. M1	0.95	44	prom. 138		---	max. 245 min. 30	---	30	34

- El calculo del acero en los aleros es aproximado.

SUMA TOTAL = 688

ANEXO 7. EJEMPLO DE ARMADO DE ESTRIBOS Y ALEROS DE UNA LOSA

CAMINO:		ESTACIÓN:			
TRAMO:		ALCANTARILLA DE:		BOVEDA	
SUBTRAMO:		DIMES. (m):		4.00	x 3.50 m

Concreto Ciclopeo $f_c=150 \text{ kg/cm}^2$	Boveda	VBoveda= 622.16	m ³	DATOS:	Vol x ml= 22.22
	Guarnición	VG= 0.88	m ³		Le long. Media de la guarnición= 2.45 m
	Timpanos	VT= 2.00	m ³		Altura de la guarnición= 0.30 m
	Dentellón	VD= 8.10	m ³		Ancho de Dentellón= 0.30 m
	Aleros	V= 163.99	m ³		Altura del dentellón= 1.50 m
Vol. Total= 797.13 m ³				Espeor de Zampeado= 0.30 m	
				Canales	
				Entrada	Salida
				Hent= 1.00 m	Hsal= 0.00 m
				Lent= 8.00 m	Lsal= 0.00 m
				Excavaciones	
				Bm = 8.40 m	
				bm= 4.40 m	
				HE= 3.00 m	

Zampeado $f_c=100 \text{ kg/cm}^2$	Delantal	VDEL= 15.05	m ³	Excavación	Estribos 1146.33	m ³	
	Zampeado	VC= 25.55	m ³		Aleros 207.89	m ³	
	Concreto $f_c=200 \text{ kg/cm}^2$	Clave	VP= 2.02		m ³	Dentellón 24.30	m ³
						Delantal 166.55	m ³
Vol. Total= 42.62 m ³				Canales 32.00	m ³		
				Vol. Total= 1576.08 m ³			

Geometría de la Boveda

Re=	2.82
A=	1.62
F=	1.27
E=	1.28
T=	1.40
ϕ =	30°
K=	0.51
Z=	0.89
D=	4.42
Ab=	6.12
AT=	7.12
Yb=	3.00

<p>APLICACIÓN DEL PROYECTO: Orga viva tipo H20-S 16 MATERIALES: Clave de Concreto simple $f_c=200 \text{ kg/cm}^2$, Arco, Estribos, Aleros, Timpanos y Guarniciones de Concreto Ciclopeo de $f_c=150 \text{ kg/cm}^2$ ADAPTACIÓN DEL PROYECTO: El desplante se hará en terreno con capacidad de carga mínima de 2.40 kg/cm^2, para esto podrá variarse la elevación en 30 cm conservando los taludes del cuerpo de los estribos, el vuelvo y el peralte del escalón de los cimentos. Si antes de llegara la elevación de desplante se encuentra roca sana, desplántase en ella, conservando los taludes del cuerpo. El relleno de las excavaciones y el terraplén del respaldo se hará por capas horizontales de espesor no mayor a 20 cm con compactación especial hasta alcanzar una altura mínima de 100 cm sobre la clave, el resto del terraplén sobre la obra se construirá por capas compactadas de 50 para alcanzar hasta donde sea posible la transmisión de carga por efecto del arco a través del colchón.</p>		<p style="text-align: center;">RESUMEN</p> <table border="1"> <tr><td>LONGITUD DE OBRA</td><td>28.00 m</td></tr> <tr><td>CONCRETO CICLOPEO $f_c=150 \text{ kg}$</td><td>797.13 m³</td></tr> <tr><td>CONCRETO $f_c=200 \text{ kg}$</td><td>2.02 m³</td></tr> <tr><td>ZAMPEADO $f_c=100 \text{ kg}$</td><td>40.60 m³</td></tr> <tr><td>EXCAVACIÓN</td><td>1576.08 m³</td></tr> <tr><td>DEMOLICIÓN</td><td>225.00 m³</td></tr> </table>		LONGITUD DE OBRA	28.00 m	CONCRETO CICLOPEO $f_c=150 \text{ kg}$	797.13 m ³	CONCRETO $f_c=200 \text{ kg}$	2.02 m ³	ZAMPEADO $f_c=100 \text{ kg}$	40.60 m ³	EXCAVACIÓN	1576.08 m ³	DEMOLICIÓN	225.00 m ³
LONGITUD DE OBRA	28.00 m														
CONCRETO CICLOPEO $f_c=150 \text{ kg}$	797.13 m ³														
CONCRETO $f_c=200 \text{ kg}$	2.02 m ³														
ZAMPEADO $f_c=100 \text{ kg}$	40.60 m ³														
EXCAVACIÓN	1576.08 m ³														
DEMOLICIÓN	225.00 m ³														

ANEXO 8. EJEMPLO DE CÁLCULO DE CANTIDADES PARA UNA BÓVEDA