

UNIVERSIDAD DON VASCO A.C.

Incorporación No. 8727-15

A la Universidad Nacional Autónoma de México

Escuela de Ingeniería Civil

DISEÑO DE SUBDRENAJE PARA EL TRAMO CARRETERO, CAMINO DIRECTO URUAPAN - NVA. ITALIA DEL KM 113+250 AL 113+750.

Tesis

Que para obtener el título de

Ingeniero Civil

Presenta:

Ángel Meza Tello.

Asesor:

Ing. Anastacio Blanco Simiano

Uruapan, Michoacán, 27de Mayo de 2013.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

AGRADECIMIENTOS.

A DIOS.

Doy gracias a Dios, por haberme prestado la vida para llegar a esta etapa de mi vida y dejarme culminar mis estudios profesionales y ser tan generoso a lo largo de mi vida.

A MIS PADRES.

Doy gracias a mis padres, Roberto Meza Méndez y M. Aurora Tello Castillo por ser mi mayor ejemplo a seguir, por su amor incondicional, por su gran apoyo y comprensión a lo largo de mi vida para poder llegar a este momento. Esto es por ustedes y para ustedes: Los Amo.

A MI ESPOSA.

Doy gracias a mi esposa Karla Magaly Ponce Sánchez, que siempre a estado a mi lado apoyándome en todo lo que puede y brindándome su amor, que cada día es una inspiración y motivación para luchar en la vida.

A MIS PROFESORES.

Gracias a mis profesores por guiarme y llevarme hasta donde estoy, por sus grandes enseñanzas y apoyo a lo largo de mi carrera en especial un gran agradecimiento al Ing. Jacob Rocha Gámez e Ing. Anastacio Blanco Simiano, quienes con sus conocimientos, experiencia me dieron un gran apoyo para poder lograr este trabajo.

ÍNDICE.

INTRODUCCIÓN.

Antecedentes.	1
Planteamiento del problema.	3
Objetivo.	4
Pregunta de investigación.	5
Justificación.	5
Marco de referencia.	6
Capítulo 1. Drenaje en vías terrestres.	9
1.1. Importancia de las vías terrestres.	
1.2. Importancia de las obras de drenaje.	11
1.3. Descripción de las estructuras de drenaje.	12
Capítulo 2. Subdrenaje.	17
2.1. Concepto de subdrenaje.	17
2.2. Necesidad del subdrenaje.	17
2.3. Subdrenaje en aeropistas.	19
2.4. Subdrenaje en carreteras.	22
2.4.1. Subdrenaje en zanjas y como capas permeables.	23
2.4.2. Construcción de una capa permeable con remoción de material.	26

2.4.3. Drenes transversales de penetración.	27
2.4.4. Pozos de alivio.	28
2.4.5. Galerías filtrantes.	29
2.5. Agua capilar en carreteras.	30
Capítulo 3. Geodrenes, teoría y aplicación.	31
3.1. Generalidades.	31
3.2. Campos de aplicación.	35
3.3. Procedimientos de instalación.	40
3.4. Ensamble.	41
3.5. Colocación del geodren.	43
3.6. Relleno y compactación.	43
3.7. Especificaciones Técnicas.	44
Capítulo 4. Análisis hidrológico.	47
4.1. La hidrología para el estudio del subdrenaje.	47
4.2. Ciclo hidrológico, aguas superficiales, subterráneas geológicas.	48
4.3. Características de la cuenca hidrológica.	49
4.3.1. Pendiente del cauce principal.	51
4.3.2. Pendiente media por Hortón.	52

4.4. Clasificación de corrientes.	53
4.5. Precipitación media y el Escurrimiento.	53
4.5.1. Método aritmético.	56
4.5.2. Polígonos de Thissen.	56
4.5.3. Método de isoyetas.	58
4.6. Tiempo de concentración, método Kirpich	61
4.7. Curvas de intensidad, duración, periodo de retorno.	62
4.8. Análisis estadístico de la precipitación, método de Gumbel.	63
4.9. Método racional.	65
4.9.1. Hietograma.	65
4.9.2. Hidrograma unitario sintético.	67
4.9.3. Capacidad hidráulica de la tubería método de Manning.	68
Capítulo 5. Metodología.	70
5.1. Método empleado.	70
5.2. Enfoque de la investigación.	72
5.3. Alcance de la investigación.	73
5.4. Diseño de la investigación.	73

5.5. Instrumento de recolección de datos.	74
5.6. Descripción del procedimiento de investigación.	74
Capítulo 6. Memoria de cálculo.	76
6.1. Obtención de datos topográficos.	76
6.2. Obtención de datos pluviométricos.	77
6.3. Pendiente media (Horton).	78
6.4. Tiempo de concentración por kirpich.	79
6.5. Método de Gumbel.	80
6.6. Método de isoyetas.	81
6.7. Método racional.	83
6.8. Caudal infiltrado.	84
6.9. Capacidad hidráulica de la tubería.	85
Capítulo 7. Análisis e interpretación de resultados.	86
7.1. Comparación final e interpretación de resultados.	86
Conclusiones.	92
Bibliografía.	95
Anexos.	

INTRODUCCIÓN

Antecedentes.

El subdrenaje en carreteras parte de la necesidad de dar solución al problema interno a través de una ladera natural en la que habrá de practicarse un corte carretero, el agua tenderá siempre a aflorar por el talud del corte.

El drenaje superficial y el subdrenaje se inicia desde que se empezaron a construir caminos al percatarse que en temporada de lluvia las corrientes de agua perjudicaban el camino haciéndolo inaccesible y deteriorándolo muy rápido lo cual dió paso a las obras de drenaje, éstas su vez han sido perfeccionadas con el tiempo con el avance de la ingeniería y de la tecnología, dando paso a soluciones cada día más eficientes y más seguras, como son los geodrenes.

En este ramo de obras de drenaje se encuentran dos tesis de la Universidad Don Vasco relacionadas con este tema en especial, las cuales son:

Diseño de drenaje en la intersección del libramiento de Guacamayas, carretera Zihuatanejo – Lázaro Cárdenas, realizada por Gabriel Chávez Álvarez en el año 2008 en Uruapan, cuyo objetivo era diseñar un sistema de drenaje en la intersección de Guacamayas – Lázaro Cárdenas. Sus objetivos en específico fueron definir un sistema de drenaje, establecer dos o más alternativas de diseño, calcular las dimensiones de las alcantarillas.

Resultando las siguientes preguntas de investigación, ¿Qué es el bombeo de caminos?, ¿Cuál es el sistema de drenaje en caminos?, ¿Qué ventajas tiene contar con una obra de drenaje?, siendo su conclusión lo siguiente.

Se dio cumplimiento con los objetivos marcados en la tesis concluyendo que hay muy poca información acerca de las condiciones actuales del estado así como falta de estaciones climatológicas en gran parte del mismo.

La segunda tesis tiene por título el de Revisión de obras de drenaje del tramo 0+100 al 2+000 de la carretera Ziracuaretiro – La Ciénega. Realizada por Cristian César González Mejía, del 2008 en la ciudad de Uruapan, cuyo objetivo era, hacer una revisión visual y analizar las condiciones que presenta el tramo en estudio para diseñar las obras de drenaje necesarias y compararlas con las existentes.

Quedando como preguntas de investigación, ¿Qué es una vía carretera?, ¿Qué es un drenaje, cuáles son sus características y cuantos tipos existen?, ¿Será el sistema de drenaje existente el idóneo para el tramo carretero?.

Llegando a la siguiente conclusión: de acuerdo con todo lo mencionado en el proceso de desarrollo de la investigación se puede determinar que el objetivo principal, motivo por el cual se inició el proyecto, se cumplió en su totalidad, dando como resultado que las obras de drenaje no son suficientes ni adecuadas para las condiciones del camino.

Planteamiento del problema.

El proyecto de la construcción de un sub-dren en la carretera camino directo Uruapan- Nva. Italia, se presentan problemas freáticos en el área de la carpeta asfáltica en el km 113+250 al 113+500 del camino, por lo que el problema consiste en que el nivel de aguas freáticas es muy alto en la zona y éste provoca que el camino en la parte de la corona, así como también en casi 200m de cuneta que se encuentra en un costado del ancho de calzada, tramo que ubica en el recorrido del flujo de las aguas freáticas que emana de la cuenca, aguas arriba, este tipo de afloramientos aceleran el deterioro de los materiales de la carretera, y agregando el constante tránsito de automóviles y al gran peso que transportan los camiones, provoca que se deteriore con mayor velocidad dando origen a la falla y provoquen un muy mal estado del camino, pudiendo percibirse un deterioro de la carpeta asfáltica (base y subbase), esto se traduce en mantenimientos muy caros y muy consecutivos.

Sin embargo, con la construcción del subdren se pretende dar abatimiento al flujo de aguas freáticas, haciendo los estudios correspondientes de acuerdo a las necesidades del lugar y poder dar solución al problema del deterioro constante del tramo, previniendo posibles dificultades más graves con el paso del tiempo o una corrección más costosa en materia de caminos.

Objetivo general.

Proponer una solución para el abatimiento del agua subterránea utilizando un sistema de subdrenaje así como verificar si realmente ésta es la solución para que el agua sea abatida completamente del tramo de carretera afectado.

Objetivo particular.

- 1) Definir la forma en que trabaja un sistema de subdrenaje,
- 2) Verificar qué tipo de subdrenaje es el más apropiado para dar solución al problema de la obra ya sea (subdren común o geodren)
- 3) Comprobar si el subdrenaje será suficiente para dar solución o se tendrá que proponer incorporar una nueva solución al problema.
- 4) Definir más a detalle los sistemas de subdrenajes.

Preguntas de investigación.

En la presente tesis se pretende dar respuesta a las siguientes preguntas:

¿Qué es un subdren?

¿Qué es un geotextil?

¿Para qué sirve el subdren?

¿Cómo funciona un subdren con geotextiles?

Justificación.

La importancia de esta tesis radica en que no se han realizado aún en la Universidad Don Vasco A.C. alguna investigación sobre el tema de subdrenaje en carreteras.

Con la elaboración de esta tesis habrá un beneficio primordialmente en la comunidad estudiantil de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Don Vasco, ya que ésta tendrá la referencia para alguna investigación posterior, sobre drenaje subterráneo en carreteras o sobre uso de geodrenes.

También esta tesis podrá ser consultada por cualquier persona en general que tenga la necesidad de consultar datos sobre estudio hidrológico aplicados al cálculo del drenaje carretero.

Marco de referencia.

En el caso de la autopista Uruapan-Nueva Italia se tienen detectados algunos sitios de la superficie de rodamiento que han presentado un comportamiento inadecuado, atribuible a problemas de subdrenaje, razón por la cual se elabora este proyecto con el fin de proyectar un subdrenaje en el km 113+250 al km 113+500 ambos lados, de la autopista Uruapan- Nueva Italia, sin embargo se pudo observar durante el proceso de estudio, que los daños que actualmente se reflejan sobre la superficie de rodamiento se encuentran comprendidos entre el km 113+100 y el km 113+750 en ambos sentidos de la autopista Uruapan-Nueva Italia, o rigen de cadenamiento en Morelia, Mich.

La autopista Uruapan- Nueva Italia se localiza en la parte suroeste del estado de Michoacán, específicamente el tramo en estudio que comprende del km 113+100 al 113+750 se ubica al sureste de la ciudad de Uruapan, Mich., y al suroeste de la ciudad de Morelia, Mich., la cual es el origen del cadenamiento de la autopista. Las coordenadas geográficas que delimitan el tramo son los meridianos $101^{\circ}53'25''$ y $101^{\circ}53'40''$ de longitud oeste y los paralelos $19^{\circ}19'15''$ y $19^{\circ}19'25''$ de latitud noreste. La figura 1 muestra la ubicación del tramo en estudio.

La autopista en estudio se aloja en terreno montañoso a lomerío, con zonas planas en forma aislada, por lo que es común encontrar secciones de corte en cajón

y balcón, así como terraplenes cuyas alturas son muy variadas. En el tramo que se analiza el terreno es de lomerío.

De acuerdo a la clasificación del clima de la región se clasifica por su grado de humedad como subhúmedo y por su temperatura como cálida; la temperatura promedio anual es 22°C. La precipitación promedio anual es 1200mm con lluvias en verano.

La zona en estudio se localiza en la provincia fisiográfica denominada "Eje Neovolcánico" prácticamente en la frontera con la provincia "Sierra Madre del Sur". Se caracteriza por una amplia franja que cruza toda la República Mexicana de este a oeste, abarcando parte de los estados de Veracruz, Puebla, Hidalgo, Querétaro, Guanajuato, Morelos, Michoacán, Jalisco, Nayarit, Colima y la totalidad del Estado de México, Tlaxcala y Distrito Federal. Está constituida por una altiplanicie situada a más de 2000 msnm, de la que sobresalen numerosos cerros de varios cientos de metros de altura. La mayoría de estos representan aparatos volcánicos con sus respectivas lavas, brechas y cenizas, cuya composición litológica va desde rocas basálticas a riolíticas. Las emisiones lávicas tienen edades que varían desde el Plioceno tardío hasta el reciente, observándose gran variedad en su estado de erosión. Entre los cerros volcánicos se abren llanuras y cuencas que están formadas en gran parte por rellenos aluviales o lacustres que contienen gran variedad de rocas mezcladas con cenizas volcánicas.

Hacia el noroeste de la provincia, cerca de su límite con la Sierra Madre Occidental y las Sierras Sepultadas, se observa gran actividad volcánica que ha

dado origen a mesetas de basalto, tobas y conos de composición media a básica (andesitas y basaltos). Las rocas sedimentarias en esta área forman sólo pequeños manchones dentro de la masa ígnea y son de dos clases principalmente: las antiguas rocas sedimentarias de origen continental o costero (areniscas, lutitas y calcitas del cretácico) y las del Terciario, posiblemente del Mioceno o Plioceno de origen piroclástico que cubren un área mucho mayor que las sedimentarias antiguas.

CAPÍTULO 1

DRENAJE EN VÍAS TERRESTRES.

En el presente capítulo se muestra una breve reseña de las vías terrestres (caminos y carreteras) de la forma en que estos se distinguen, así como de sus obras auxiliares de drenaje, descripción e importancia en las carreteras donde estos se construyen.

1.1 . Importancia de las vías terrestres.

Según José Alonso Mier Suárez (1987), en México los caminos han sido de gran importancia los cuales desde las épocas prehispánicas, ya que estos caminos fueron adoptados por los españoles, los cuales utilizaron los ya existentes para el transporte de sus mercancías por todo el país estos caminos evolucionaron muy poco durante mucho tiempo ya que la transportación se realizaba con carretas y bestias de carga, la verdadera transformación de los caminos fue hasta la aparición de vehículos y camiones los cuales podían transportar una mayor carga y a velocidades nunca antes vistas, con eso trajo la creación de carreteras que cumplieran con las exigencias del nuevo transporte, los cuales con el tiempo cada día son más exigentes, las normas que rigen la construcción de una carretera, desde una de cuota de 4 carriles de alta velocidad inclusive el más modesto camino de terracería todo esto con el fin de dar servicio de traslado de cualquier tipo de carga o simplemente el traslado de personas, éstas se han clasificado de diversas maneras.

-Transitividad:

-Pavimentado.

-Revestido.

-De terracería.

Federales o Estatales, según el índice de circulación (es la clasificación más usada):

-Tipo A: El TDPA (Tránsito Diario Promedio Anual) es mayor de 3000 vehículos por día.

-Tipo B: El TDPA es de 1500-3000 vehículos por día.

-Tipo C: El TDPA es de 500-1500 vehículos por día.

-Tipo D: El TDPA es de 100-500 vehículos por día.

-Tipo E: El TDPA es de hasta 100 vehículos por día. Y tiene una corona (ancho) de 4m en cuanto a medidas del ancho se sigue una clasificación similar:

Tipo A: hasta 22 m. (Cuatro carriles)

Tipo B: 9 m.

Tipo C: 7 m.

Tipo D: 6 m.

Tipo E: 4 m.

Con el avance de las tecnologías y la demanda de carreteras en buen estado se ha requerido una variedad de obras auxiliares para el cuidado de estas, así mismo una de estas son las obras de drenaje que evitan el deterioro apresurado del camino y por esta razón abundaremos en la importancia de las mismas.

1.2. Importancia de las obras de drenaje.

Según José Alonso Mier Suárez (1987), la importancia de un adecuado sistema de drenaje es la protección de la vía de comunicación de los ataques del agua, sin embargo en muchas ocasiones la construcción de obras de drenaje son muy conservadoras o inclusive llegan a ser inexistentes, y las contrarias pueden ser las siguientes.

- Precipitación directa.
- Escurrimiento del agua de terrenos adjuntos.
- Desbordamiento de ríos o arroyos.
- Infiltración o ascensión por capilaridad.

Una obra de drenaje tiene la finalidad de desviar y canalizar el agua pluvial y freática de una carretera para evitar el deterioro rápido y dar un mayor tiempo de vida, se sabe bien que el agua en cantidades grandes puede ser muy dañina para cualquier camino y a que esta genera deslaves, erosión, desgaste del pavimento, inundación, inclusive puede llegar a derribar las vías de comunicación, cabe mencionar que el agua no solo en gran cantidad ocasiona daños y a que un flujo pequeño superficial o interno pero constante puede llegar a dañar las estructura del

pavimento ocasionando daños, que reflejan en baches que cada vez se forman con mayor amplitud y profundidad conforme el agua daña cada capa, por esto mismo se requiere dar la debida importancia a este tipo de obras, cabe mencionar que la importancia del drenaje va de acuerdo a la zona en que esta se realice, y a que influye mucho el clima del lugar así como también el tipo terreno en donde se construya la carretera y en base a esto se toman las medidas pertinentes para definir el tipo de obras así como su capacidad y la cantidad con que éstas se realizarán.

1.3. Descripción de las estructuras de drenaje.

Según José Alfonso Mier S. (1987) algunas de las obras de drenaje más comunes son las siguientes.

- Cunetas.

Estas son zanjas que se hacen a un lado o en ambos lados del camino con el objeto de recibir el agua pluvial de la mitad del camino así como también de los taludes de cortes, además de la carretera, las cunetas son de forma triangular revestidas de mortero para evitar erosión, la pendiente de estas esta regida por los desniveles de terreno teniendo como pendiente mínima un 0.5% por lo general se recomienda que se construyan con una longitud mínima de 300 m y una máxima de 600 m ya que estas dimensiones son propuestas en base a cálculos y experiencia para un buen funcionamiento de las mismas.

Las cunetas tienen el fin de canalizar el agua captada de las partes antes mencionadas y desalojarla de la estructura de la carretera.

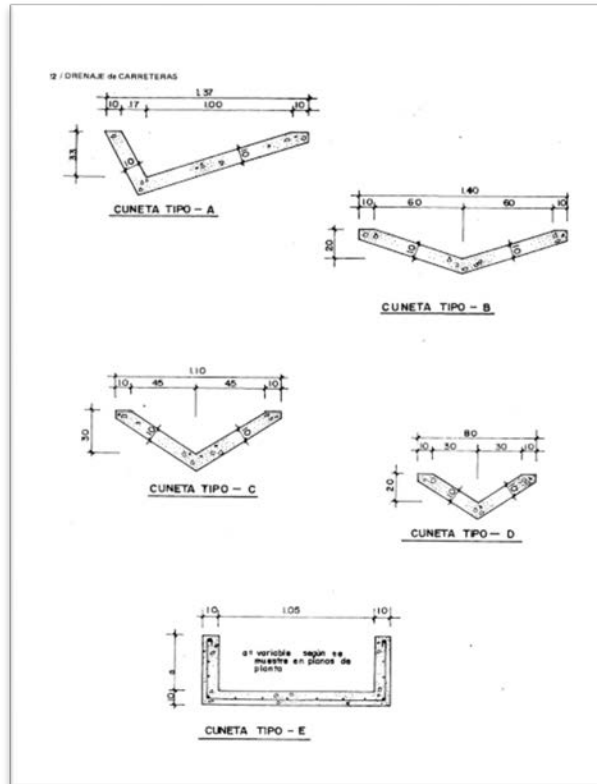


Fig. 1.1. Tipos de cunetas

Fuente: (<http://viasii.blogspot.mx>)

- Contracunetas.

Son canales revestidos de mortero que se encuentran en taludes de corte de carreteras que tienen por objetivo captar el agua que escurre hacia el camino, así como también de impedir de slides de taludes por saturación de agua de escurrimiento, su función es igual al de las cunetas ya que también sirven para retirar el agua pluvial.

- Bombeo.

El bombeo es la pendiente transversal que se da en ambos lados del camino con objeto de eliminar el agua pluvial del camino y mandar a una obra de drenaje.

- Guarniciones y bordillos.

Estos tienen el fin de canalizar el agua pluvial por la misma carretera hacia una alcantarilla o una cuneta, estos se utilizan principalmente en terraplenes donde no se puede dejar escurrir el agua y a que ocasionaría deslaves y erosión en el terraplén, la diferencia entre el bordillo y la guarnición son sus dimensiones ya que el bordillo tiene una altura de 10 cm promedio y la guarnición hasta 30 cm y así mismo es su capacidad de conducción como se muestra en la siguiente figura.

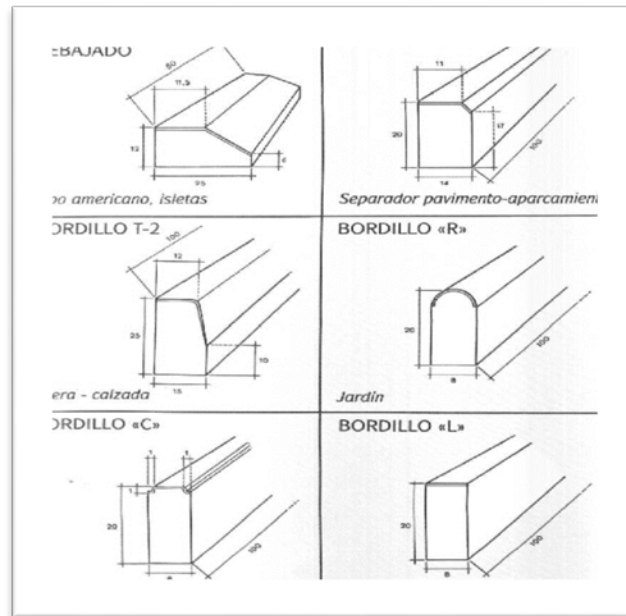


Fig. 1.2. Tipos de bordillo.

Fuente: (www.lascasaprefabricadas.com)

- Lavaderos.

Son canales que se construyen sobre los taludes para dar salida a una corriente evitando la erosión, estos pueden ser de concreto o prefabricados de acero este tipo de obra tiene la finalidad de llevar el agua que escurre a una alcantarilla en su canal al igual que se muestra en la siguiente figura.

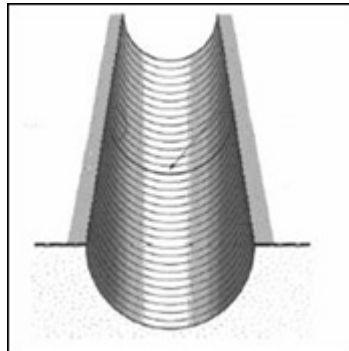


Fig. 1.3. Lavadero prefabricado.

Fuente: (www.formet.com.mx)

- Alcantarillas.

Estas se colocan para dar paso a corrientes de escurrimientos de agua de arroyos, cañadas, drenaje superficial, zanjales de riego, las alcantarillas se clasifican de acuerdo a su capacidad y condición de uso algunas son de tubo, de cajón, de bóveda, y de losa sobre estribos, estas por lo regular se ubican en zonas bajas de la estructura de la carretera ya que estas son el paso del agua hacia el otro lado del camino y el flujo no se interrumpa generando inundación.

- **Subdrenaje.**

Este tiene como fin resolver los problemas de agua freática de bajo de la superficie de rodamiento, captando por medio de tubería y grabas graduadas el agua que por capilaridad tiende a aflorar en zonas donde produce daños a la estructura del pavimento, estos detalles se mencionarán en los capítulos siguientes.

CAPÍTULO 2

SUBDRENAJE.

En el presente capítulo se explicará qué es un subdrenaje, cómo es su funcionamiento, cuantos tipos de subdrenaje hay, y como se comportan los flujos en diferentes circunstancias, así como poder relacionar una de las siguientes soluciones en un problema de agua subterránea o agua freática, y a sea en aeropistas o carreteras.

2.1. Concepto del subdrenaje.

El subdrenaje es obra de ingeniería que se realiza con el fin de dar solución a problemas de aguas freáticas así como subterráneas, controlando y desalojando el agua por medio de tubos ranurados y así minimizar el efecto nocivo que causa el agua en las capas del pavimento de los caminos y afecta la estabilidad en los taludes si es que existen en la zona de abatimiento del agua subterránea.

2.2. Necesidad del subdrenaje.

Según Juárez Badillo (2001), el subdrenaje es muy importante para la estabilidad de cortes, terraplenes y pavimentos en las vías de transporte, para prevenir o corregir problemas en los cuerpos de la estructura de un pavimento, o corregir algún defecto antes de que este provoque problemas más grandes y más costosos en su reparación. En general, las estructuras pueden ser afectadas por

corrientes de agua freática existentes desde antes de construir el camino, o por flujos de agua superficial, que penetran en las grietas o fisuras de los cortes o terraplenes; provocando diversos problemas los cuales con frecuencia suelen ser por las siguientes causas:

- Cuando se realizan cortes en una carretera los esfuerzos exteriores son nulos, esto se refleja en disminución de los esfuerzos normales y aumento de los cortantes, además cuando se realiza el corte, éste se vuelve una frontera a la presión atmosférica, por lo que cualquier flujo existente dentro de la masa de suelo tenderá a salir por la parte del corte o la cama del suelo; y su etapa más crítica se puede decir que es la temporada de lluvias.

- El efecto de flujos internos no solamente afecta los cortes, sino también en terraplenes sobre rocas fracturadas o rocas que ofrezcan planos de discontinuidad; particularmente es esto importante cuando se realizan taludes en donde una buena parte del mismo está comprendido por roca fisurada.

- En terraplenes los efectos de flujo de agua son nocivos e indeseables, cuando se asienta un terraplén en una ladera los flujos de agua pueden infiltrarse en el cuerpo del terraplén y disminuir la estabilidad de la estructura provocando fallas tanto locales como generales.

- Los diferentes tipos de subdrenaje en cortes se realizan con el fin de controlar los flujos de agua que tratan de brotar en el talud o en la cama de obra vial; el subdrenaje permite un rumbo diferente a los flujos de agua para consecutivamente drenarlos y mandarlos fuera del terraplén sin afectar la estructura o causar cambios volumétricos en los materiales que componen dicha estructura.

El agua que se infiltra en el contorno donde se desarrolla la obra vial, puede afectar seriamente la estructura del pavimento. El agua puede encontrarse en varias capas por debajo del pavimento pero a través de la capilaridad el agua puede llegar hasta la capa superior, provocando el deterioro de la estructura del pavimento y disminución de su resistencia, produciendo deformaciones a lo largo de la zona afectada en el pavimento, induciendo inmediatamente después afloramientos de agua en la parte superior de la carpeta asfáltica (llorado del pavimento).

En general, los subdrenajes son útiles para prevenir mayores daños en estructuras viales y sólo se realizan donde se localizan zonas o flujos de agua subterránea, así como infiltraciones del agua superficial.

La necesidad del subdrenaje será determinada en base a la cantidad del flujo del agua, del área de afectación la profundidad a la cual brota el agua, la importancia de la obra y la inversión económica de la obra en función de una reparación o reconstrucción contra la de la colocación de un tipo de subdrenaje.

2.3. Subdrenaje en aeropistas.

“El subdrenaje en aeropistas consiste en la construcción de drenes interceptores para captar el flujo subterráneo, para drenar capas saturadas y para controlar el contenido de agua de la sub-base y base del pavimento, así como en las terracerías y aún en la parte superior del terreno de cimentación.”(Juárez Badillo; 2001:197)

Las aguas captadas son filtraciones directas por precipitaciones pluviales, flujos que tienden a subir por capilaridad y condensación en el ambiente. En la construcción del subdrenaje se debe realizar una exploración para determinar la presencia, origen y causas que generan el agua freática, estos pueden ser:

a) Drenes de zanja.

Los subdrenes de zanja reúnen las características para brindar seguridad a la base y sub-base del agua freática que se encuentre en ese sitio, estos drenes interceptores generalmente se emplean cuando el acuífero se encuentra a poca profundidad.

El subdren interceptor consta de una zanja que se construye transversalmente a la dirección del flujo y esto impide que el agua llegue al lugar que se pretende proteger, la construcción de drenes longitudinales realizada de modo que es té conectada con las capas de base y sub-base, por lo que se colocará en la parte inferior de la zanja un tubo perforado en su mitad inferior en ángulos de 22.5 y 45 grados con respecto a la horizontal.

Este tubo deberá ser cubierto por un material filtrante cuya permeabilidad sea mayor a la del suelo a sus costados, esto para facilitar el flujo de agua hacia el tubo de drenaje, pero también es recomendable que esta granulometría no sea muy grande por que provocaría que material más fino sea arrastrado hacia huecos más grandes y provoque que se haga una impermeabilización del área que pretende dar abasto al agua subterránea, provocando una inutilización del proyecto. Para facilitar

que este material cumpla con las características, su curva granulométrica debe ser suave.

b) Geodrenes.

Los métodos de última tecnología son los llamados subdrenaje por geodrenes, que no son más que un sistema de mallas sintéticas que permiten la filtración de la agua subterránea hacia zona de desalojo que impida daños en la estructura del pavimento.

Este se realiza con un armado de cuadros ya previamente fabricados de polipropileno que son rellenos con piedra pómez o arcilla expandida esto para servir como filtro, consecutivamente se coloca una malla de geotextil que separa el material de relleno y el substrato, todo esto con el fin de que toda el agua que llegue al lugar sea filtrada rápidamente y conducida a una red de drenaje que enseguida la desalojara del lugar y así impidiendo que se acumule grandes cantidades de agua y puedan causar problemas en las zonas de más importancia, ver detalle de geodren.

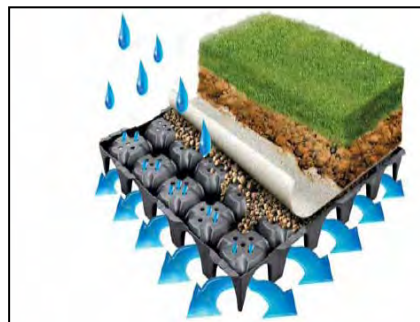


Fig. 2.1. Flujo del agua con geodren.

Fuente: (www.pavco.com)

Uno de los defectos del subdrenaje en pistas y carreteras es que no se le da la suficiente importancia al asunto y se construye omitiendo problemas de aguas subterráneas. El segundo defecto es que no se tiene especial cuidado en el material de relleno que se incorpora, este material suele ser muy grueso y a pocos meses el sistema está tapado por la incursión de material más fino en huecos que deja las piedras más grandes, pero en ocasiones uno de los principales defectos es del proyectista, que con un criterio granulométrico este propone el relleno con material existente en la zona.

2.4. Subdrenaje en carreteras.

Según Juárez Badillo (2001), cuando se realiza un corte en una carretera, los flujos internos del agua tienden a aflorar por los costados del talud y este se convertirá en una frontera de esfuerzos exteriores nulos en la masa del suelo.

Para el diseño de un sistema de subdrenaje en una carretera es conveniente realizar una exploración geológica y de suelos de la región, esto a su vez conlleva a un estudio geológico y geotécnico todo esto para poder dar un dato exacto de dónde se considera que se necesite incluir obras de subdrenaje.

El diseño de un sistema de subdrenaje no puede seguir normas fijas y se apoya generalmente más en práctica y experiencia o en instinto que en estudios detallados claro que no excluye la realización de estudios cuando realmente lo requiera.

Los diferentes drenes que se emplean habitualmente se usan para controlar las condiciones de flujo en terracerías, cortes, terraplenes y pavimentos son los siguientes:

- a) Subdrenajes de zanja y capas permeables.
- b) Construcción de una capa permeable con remoción de material.
- c) Drenes transversales de penetración.
- d) Pozos de alivio.
- e) Galerías filtrantes.

2.4.1. Subdrenajes de zanja y capas permeables.

Este tipo de subdrenajes es similar al descrito para el subdrenaje en aeropistas y consiste en una zanja de profundidad adecuada donde en su parte más baja, se coloca un tubo perforado y posteriormente la zanja es rellena con material filtrante, el agua captada por el tubo se desaloja por gravedad a través del tubo en la zona de desalojo más próxima a una cuenca de escurrimiento.

El diámetro del tubo se considera del orden de 15 cm, pero esto puede variar según las características del flujo de agua a captar por el tubo, esto en base a los resultados del gasto de escurrimiento determinados por el estudio hidrológico, o de una forma directa por medio de una estación climatológica.

Este tubo debe estar apoyado sobre una cama de material impermeable, cuyo espesor puede ser de entre 15 y 30 cm para impedir la deformación de la tubería perforada, la cual deberá tener una pendiente longitudinal de proyecto. Las perforaciones que se realizan son con el mismo criterio que en una aeropista (a tres bolillo).

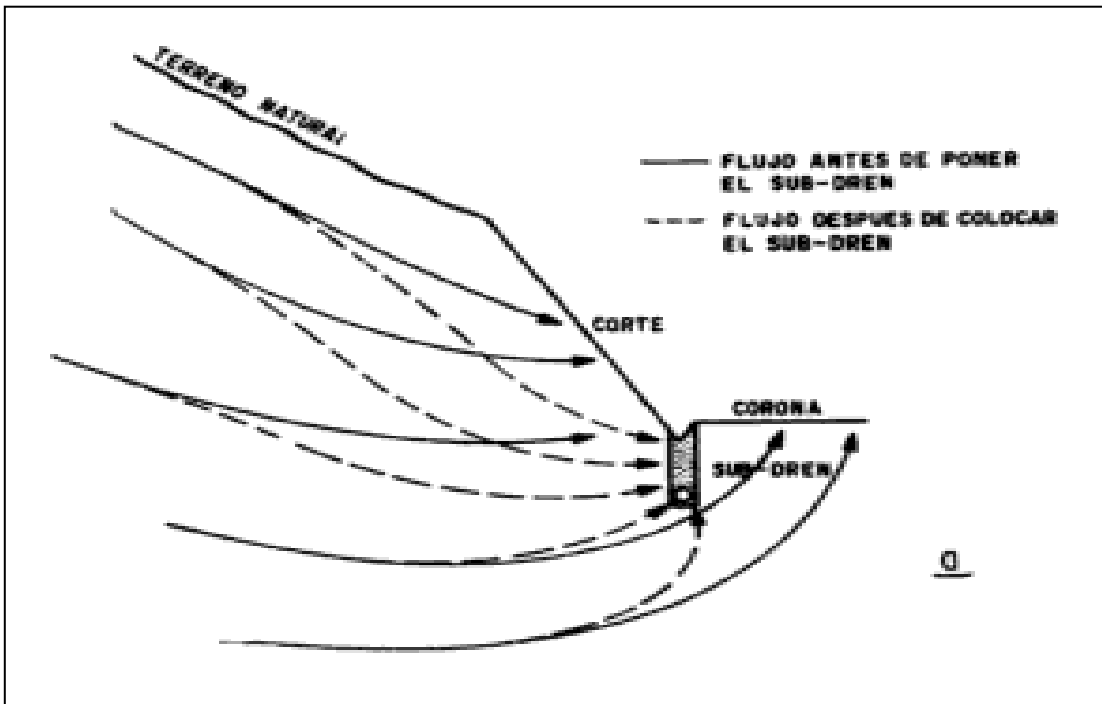


Fig. 2.2. Flujo del agua con subdren y sin subdren

Fuente: (J. Badillo, mecánica de suelos III, 2004, pág. 206)

Estos subdrenes se construyen generalmente a un costado del corte o por debajo de la cuneta en toda su longitud hasta llegar a una zona de desalojo. Con la construcción de estas obras en esta zona se desvía el flujo de aguas subterráneas

2.4.2. Construcción de una capa permeable con remoción del material.

Cuando existe una capa saturada de suelo de mala calidad y es poco espesa y debajo de ésta hay materiales de mayor calidad, lo que se suele realizar es la sustitución del material malo por uno de mejor calidad, éste debe de recubrirse con una franja de material permeable que actúe como subdren de la zona, esta capa debe estar provista de tubería perforada como antes se menciona, esto con el fin de dar estabilidad al terraplén y mejorar las condiciones de cimentación del mismo.

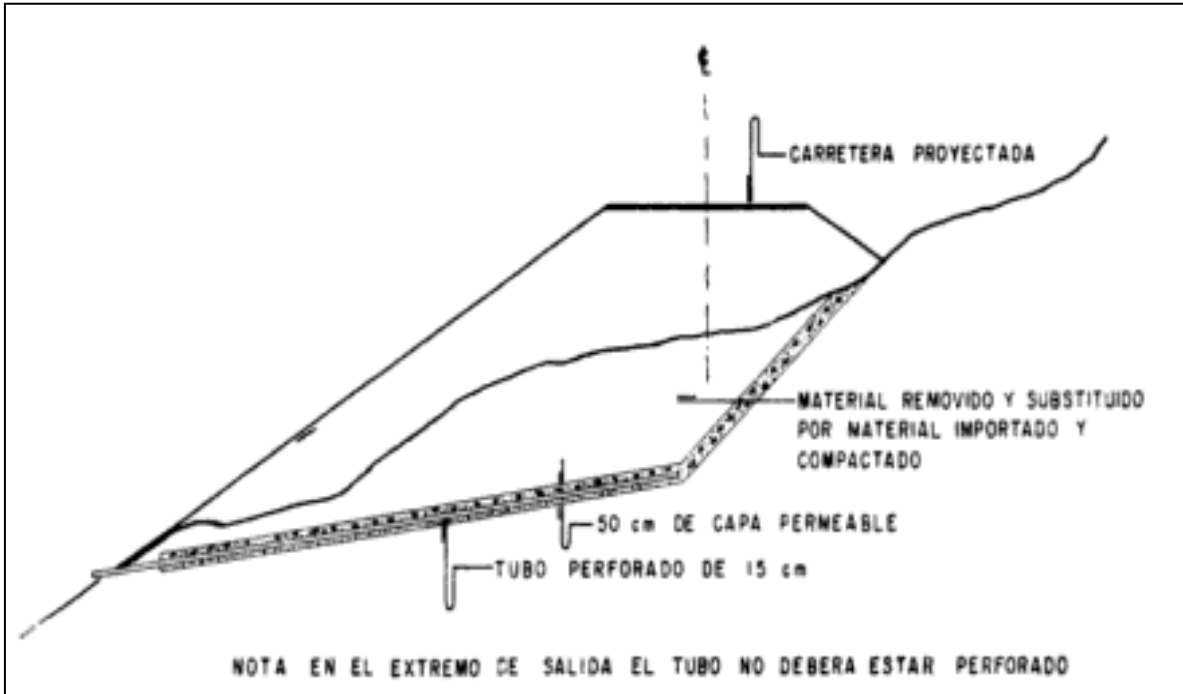


Fig. 2.4. Capa permeable con remoción del material.

Fuente: (J. Badillo, mecánica de suelos III, 2004, pág. 209)

2.4.3. Drenes transversales de penetración.

Los drenes transversales de penetración son tuberías perforadas en dirección transversal al eje de la carretera, para captar aguas internas y mejorar la estabilidad de los taludes; se construyen primeramente efectuando una perforación de 7.5 a 10 cm de diámetro, y se coloca un tubo de acero galvanizado perforado de un diámetro general de 5 cm de diámetro, recubierto con asfalto para prevenir oxidación en el tubo, su pendiente puede ser desde un 3% hasta un 20% con respecto a su longitud.

Los drenes se conectan a un colector exterior que lleva el agua a una zona donde no cause daño, también los drenes pueden descargarse directamente en las cunetas del camino en caso de que existan. Este método es muy eficiente para abatir aguas freáticas a grandes profundidades.

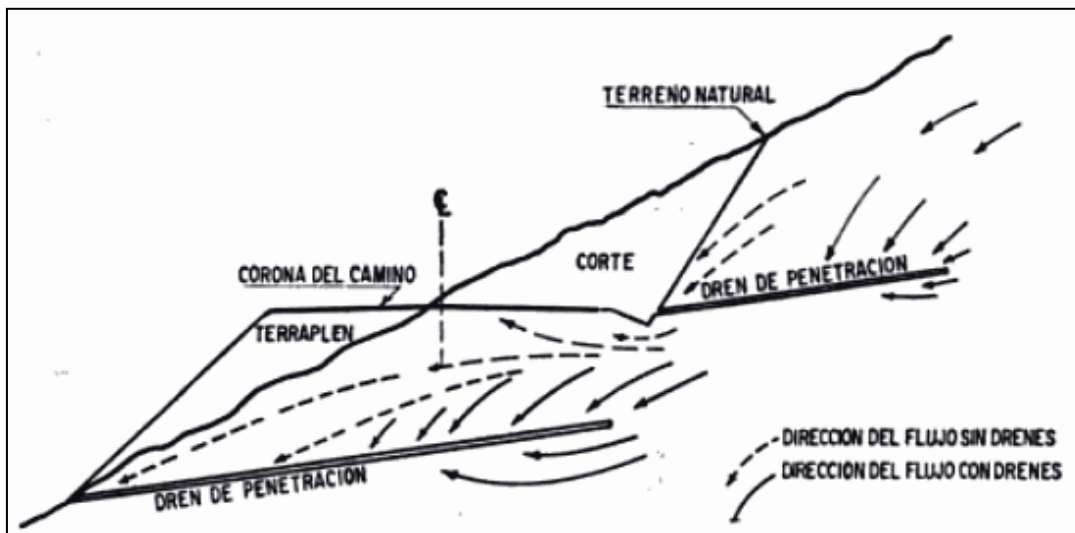


Fig. 2.5. Drenes transversales de penetración.

Fuente: (J. Badillo, mecánica de suelos III, 2004, pág. 213)

2.4.4. Pozos de alivio.

Los pozos de alivio son un sistema de subdrenajes verticales cuya característica es la de poder drenar agua freática. Al hacer este tipo de pozos se coloca en su interior un tubo perforado el cual es tará captando en agua que se acumule dentro del pozo.

Esta agua será extraída del tubo vertical por medio de otro sistema de captación, el cual sólo funcionará como desalojador del agua captada, cabe mencionar que esto no solamente puede ser de una sola manera sino que pueden implementarse otro tipo de sistema para el desalojo del agua freática, como por ejemplo por bombeo. El espacio que se da entre los pozos es de 5 a 10 m de distancia entre ellos, cabe mencionar que estos se construyen en hileras traslapadas para una mayor eficiencia, comúnmente denominadas tres bolillo.

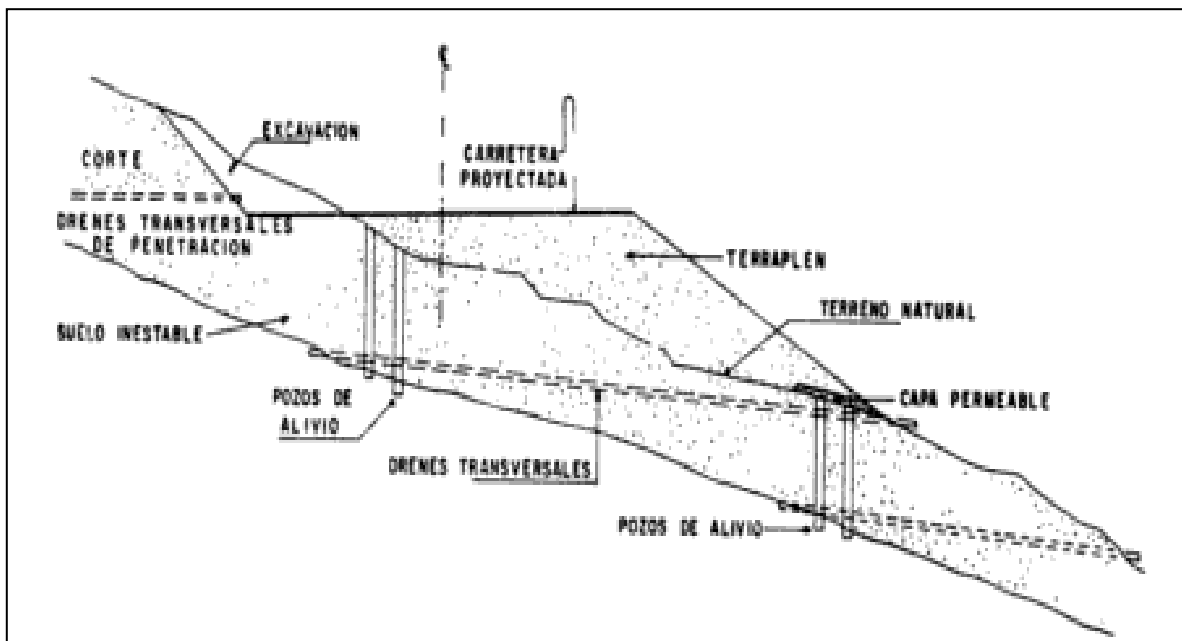


Fig. 2.6. Pozos de alivio. Fuente: (J. Badillo, mecánica de suelos III, 2004, pág.214)

2.4.5. Galerías filtrantes.

Éstas son casi de uso exclusivo de presas, pero en ocasiones se han utilizado en los caminos debido a las grandes corrientes subterráneas que se encuentran en esa zona, pues este tipo de sistemas se construye con el procedimiento de un túnel, pero con revestimiento de material filtrante y un tubo perforado para que colecte el mayor agua posible de la zona afectada. Cabe mencionar que en ocasiones en donde se construyen subdrenajes, su efectividad no consiste en la cantidad de agua que desaloja, ya que un subdren pudiera no estar desalojando agua y a pesar de ello estaría cumpliendo con su fin de mejoramiento de la estabilidad del terreno, esto por medio de abatir la presión neutral interna de la zona de influencia.



Fig. 2.7. Entrada a galería filtrante.

Fuente:(J. Badillo, mecánica de suelos III, 2004, pág.215)

2.5. Agua capilar en carreteras.

La capilaridad en el estudio del subdrenaje es muy importante, y a que definiendo el tipo de material al que corresponde la zona en estudio se puede tener un parámetro de cuál es el nivel máximo de capilaridad que tendría en temporada de lluvias como en este caso, y para romper esta capilaridad, será necesario hacer una frontera de presiones nulas en las cuales la presión atmosférica es menor y así se pueda captar y desalojar el agua de capilaridad de la zona. En carreteras lo más usual es colocar entre la rasante y la sub base una capa impermeable de arenas limpias, ya que ésta es la que impide que la capilaridad sea casi nula.

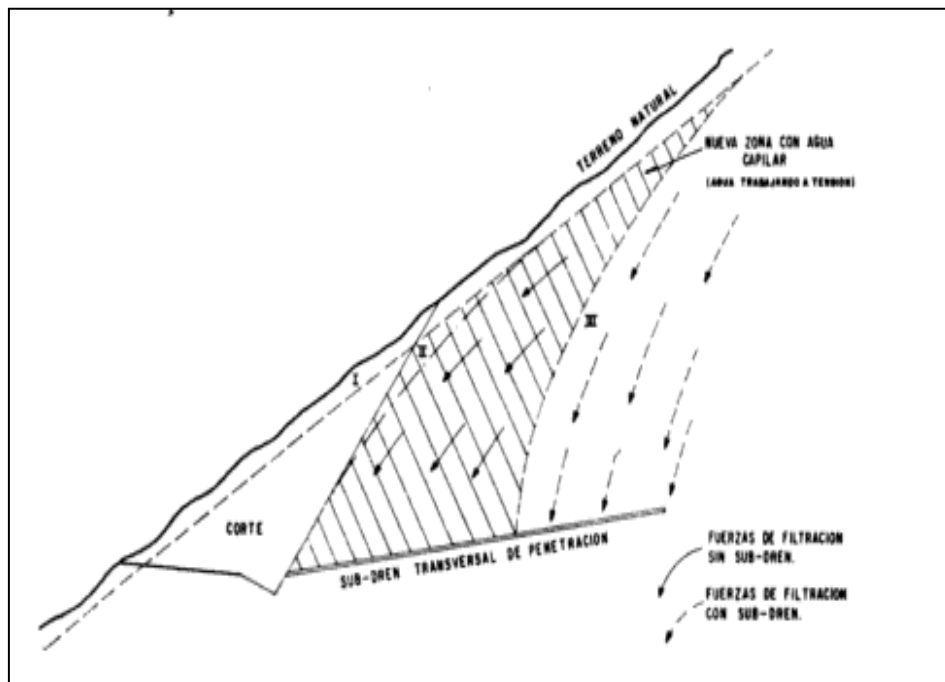


Fig. 2.8. Flujo de agua en carreteras.

Fuente: (J. Badillo, mecánica de suelos III, 2004, pág. 217)

GEODRENES.

En el presente capítulo se abordará qué es un geodrén, así como sus principales características, además de cómo se emplea en la construcción de un sistema de subdrenaje esto con el fin de dar abatimiento al agua subterránea que se genera regularmente por el exceso de infiltración del agua en lugares cercanos a la cuenca en estudio.

3.1. Generalidades.

El agua es un elemento muy importante en la vida, pero también es una de las principales causas en los problemas de ingeniería y a su vez, una de las causas más relevantes es el deterioro de las obras civiles.

Por eso es necesaria la construcción de obras de drenaje adecuadas para cada caso (captación, conducción, evacuación), así cuando se da oportunamente solución a estos problemas se garantiza una mayor durabilidad de la obra, ya que el exceso de agua provoca que haya cambios volumétricos en el suelo, por lo tanto problemas en la deformación del suelo, la transferencia de carga, y el incremento en la presión de poro.

La utilización de los geodrenes da solución muy eficiente a la captación y conducción de los fluidos de agua fuera de la zona de la estructura del corte, talud o estructura del pavimento, de manera adicional, por su composición, los geodrenes facilitan su colocación a diferencia de un subdrén común.

El geodrén representa una novedosa solución de ingeniería civil, además de facilitar el proceso constructivo en su colocación y eficiencia. El geodrén es el más avanzado sistema de drenaje respondiendo a las necesidades de mejoramiento de las obras, es un nuevo sistema de drenaje. Con esta solución se logra el objetivo de cumplir con los nuevos estándares internacionales que permiten aumentar significativamente la vida útil de las obras.

La utilización del geodrén es una excelente alternativa para el manejo de los fluidos, este geocompuesto permite captar, conducir y evacuar los fluidos de una manera rápida y eficiente, incrementando los rendimientos de los procesos de construcción, en ocasiones los sistemas de drenaje fallan en terrenos de arenas muy finas o turba altamente compuesta, puesto que las partículas penetran en la tubería en volúmenes tales que la obstruyen, con el sistema del subdren se incorpora un tejido de fibras sintéticas que obstruyen la sedimentación de partículas muy pequeñas que en tubos normales pueden azolar con facilidad la tubería, provocando problemas en el desalojo del agua dando como resultado un costo mayor en el mantenimiento del drenaje con el sistema de geodren se refleja una disminución de costos frente a otras alternativas convencionales de drenaje. Además, el geodren contribuye a la conservación del medio ambiente, puesto que el sistema avanzado de drenaje permite disminuir la explotación y el transporte de materiales pétreos no renovables. Existen dos clases de geodrenes: Planar y geodrén con tubería.

- El geodrén Planar es un compuesto conformado por geotextiles no tejidos de polipropileno punzados por agujas y georedes de polietileno de alta densidad. El geotextil cumple la función de filtración, reteniendo las partículas del suelo y permitiendo el paso de los fluidos, la geored por su parte es el medio de drenaje en cargado de transportar el agua que pasa a través del filtro. El geodrén Planar es el sistema más adecuado para captar y conducir los fluidos en su plano hacia un sistema de evacuación de fluidos, este geocompuesto se utiliza principalmente para los sistemas de drenaje en muros de contención, drenaje de terraplenes, drenaje de campos deportivos, captación de lixiviados dentro de rellenos sanitarios y sistemas de drenaje en vías de comunicación.

Existen varios tipos de geodrén planar cada uno con una capacidad de drenaje, de acuerdo al caudal que se quiera manejar.

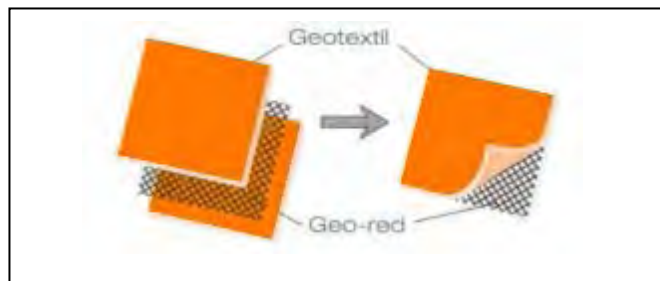


Fig. 3.1. Geodrén Planar con una geo red de drenaje.

Fuente: (www.geoplast.it)

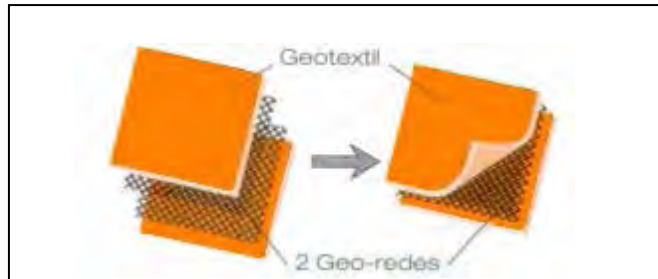


Fig. 3.2. Geodrén Planar con dos georedes de drenaje.

Fuente:(www.geoplast.it)

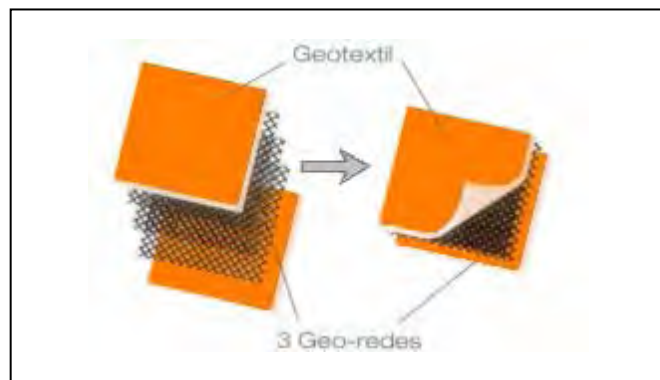


Fig.3.3. Geodrén Planar con tres georedes de drenaje.

Fuente: (www.geoplast.it)

- El geodrén con tubería es un geocompuesto que combina las propiedades hidráulicas de tres elementos. El geotextil no tejido punzonado por agujas, la geored y la tubería circular perforada de drenaje; éste geocompuesto integra estos elementos para obtener un sistema prefabricado de drenaje que, instalado en zanjas o trincheras, permite captar y evacuar con alta eficiencia los

fluidos, al igual que el geodren planar, este sistema de drenaje con tubería se utiliza para muros de contención, rellenos sanitarios, campos deportivos, terraplenes y para subdrenes en las vías, con función adicional de evacuación de fluidos.

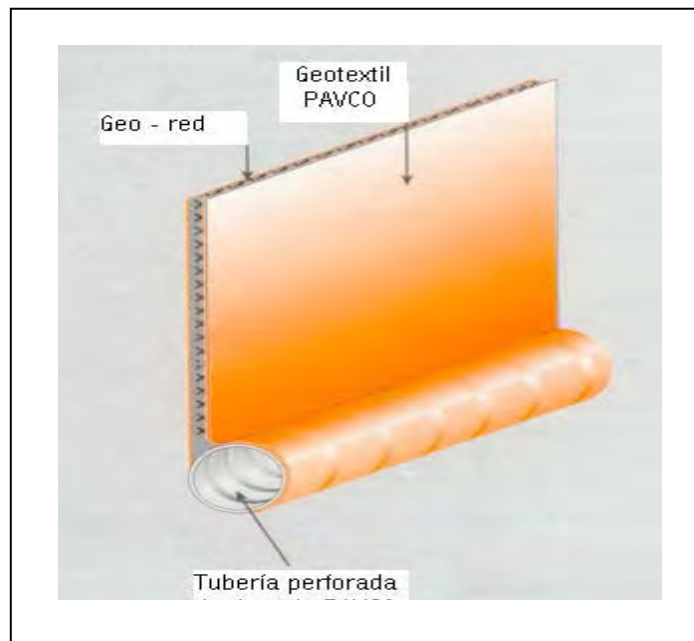


Fig. 3.4. Geodren con tubería.

Fuente:(www.geoplast.it)

3.2 Campos de aplicación.

Muros de contención. El geodrén reduce de una manera significativa las presiones hidrostáticas que soporta el muro, causadas por la presión del agua.

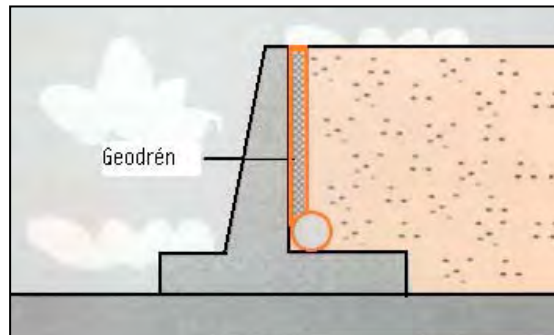


Fig. 3.5. Geodrén en muro de contención.

Fuente: (www.geoplast.it)

Relleno sanitarios. El geodrén captará rápidamente los lixiviados que se generan dentro de un relleno sanitario, llevándolos al sitio de recolección para su posterior tratamiento.

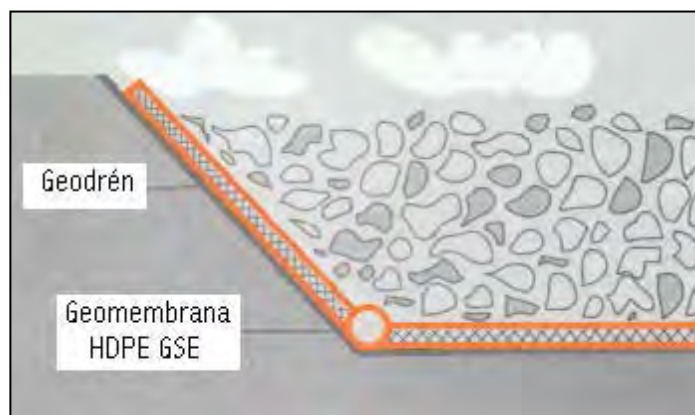


Fig. 3.6. Geodrén en relleno sanitario.

Fuente: (www.geoplast.it)

Campos deportivos. Drenaje de campos deportivos, parques y jardines, el geodrén mantiene los campos deportivos libres de agua después de lluvias muy fuertes, manteniendo en óptimas condiciones estas áreas y permitiendo su adecuada utilización en época de lluvias.

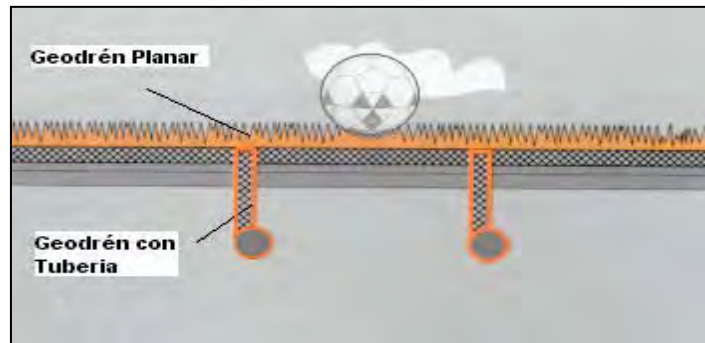


Fig. 3.7. Geodrén en campo deportivo.

Fuente:(www.geoplast.it)

Vías urbanas existentes. El geodrén evacúa rápidamente el agua de lluvia infiltrada en las estructuras de la vía, manteniéndola en condiciones drenadas. Adicionalmente permite una rápida instalación del sistema de drenaje con un mínimo deterioro de la vía sin causar grandes traumatismos en el tráfico.

Vías urbanas nuevas. El geodrén aumenta radicalmente la vida útil de la vía manteniendo sus buenas condiciones de servicio y reduciendo los programas de mantenimiento.

Vías intermunicipales. El geodrén abate y controla las fluctuaciones del nivel freático y del agua lluvia infiltrada en la estructura de la vía, garantizando que se cumpla la condición drenada asumida como parámetro de diseño.

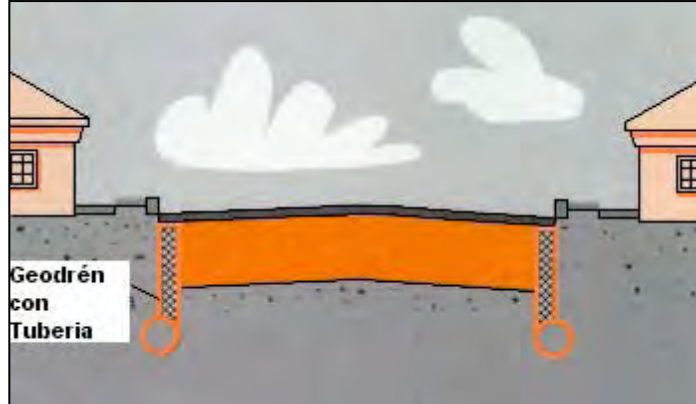


Fig. 3.8. Geodrén en vías urbanas.

Fuente: (www.geoplast.it)

En el caso de las vías de comunicación, la ingeniería ha podido comprobar, a través de una década, la eficiencia del llamado dren francés, conformado por geotextil como medio filtrante y un material pétreo (grava) como medio drenante, asistido o no con tubería. El geodrén con tubería ha sido desarrollado bajo los mismos principios y para las mismas aplicaciones del dren francés, con el fin de agilizar y facilitar la construcción, mejorando además la eficiencia hidráulica de los sistemas de drenaje.

Teniendo en cuenta que muchos de los problemas y de las fallas de las vías de comunicación existentes, se relacionan con las deficientes condiciones de drenaje, el geodrén con tubería permite la inclusión de un avanzado sistema de

drenaje que involucra los procesos de captación, conducción y evacuación para un correcto manejo de los fluidos en las estructuras.

Las principales ventajas de la utilización del geodren con tuberías son las siguientes:

- Permite la construcción de un sistema de drenaje en vías urbanas sin causar grandes traumatismos debido al congestionamiento del tráfico.
- Mínimos volúmenes de excavación requeridos.
- Alto rendimiento de instalación.
- Daño mínimo al pavimento existente.
- Reutilización del material excavado de base o sub base en el relleno de la zanja.
- Garantiza una estructura vial con un adecuado sistema de drenaje, evitando el envejecimiento prematuro de los pavimentos derivado de los factores de severidad de carga.
- Garantiza la homogeneidad de los parámetros de diseño, puesto que el geocompuesto se fabrica bajo altos estándares de calidad y procesos controlados.
- Facilita las construcciones de sistemas de drenaje en suelos saturados que no presentan estabilidad durante la excavación.
- Representa alternativa ideal para obras de difícil acceso o distantes de las fuentes de material.
- Es un sistema con mayor vida útil y a que se le puede hacer mantenimiento.

3.3. Procedimientos de instalación.

Para obtener las mayores ventajas económicas de este sistema de drenaje, el geodren con tubería debe instalarse dentro de una zanja o trincherangosta, excavada a la profundidad y pendiente que señale el proyecto. El ancho mínimo de la zanja es de 25 cm, alternativamente se pueden especificar anchos mayores que permitan el uso de equipos tradicionales de excavación o mano de obra.

Si se usa una zanjadora mecánica, ésta debe estar equipada con el sistema de corte para suelos blandos, para suelo duro o rocoso y para roca o concreto. El equipo de corte para roca o concreto tiene limitaciones de profundidad motivo por el cual el diseñador en lo posible no debe superar la profundidad de 1 m.

NOMOGRAMA PARA CALCULAR DIÁMETRO

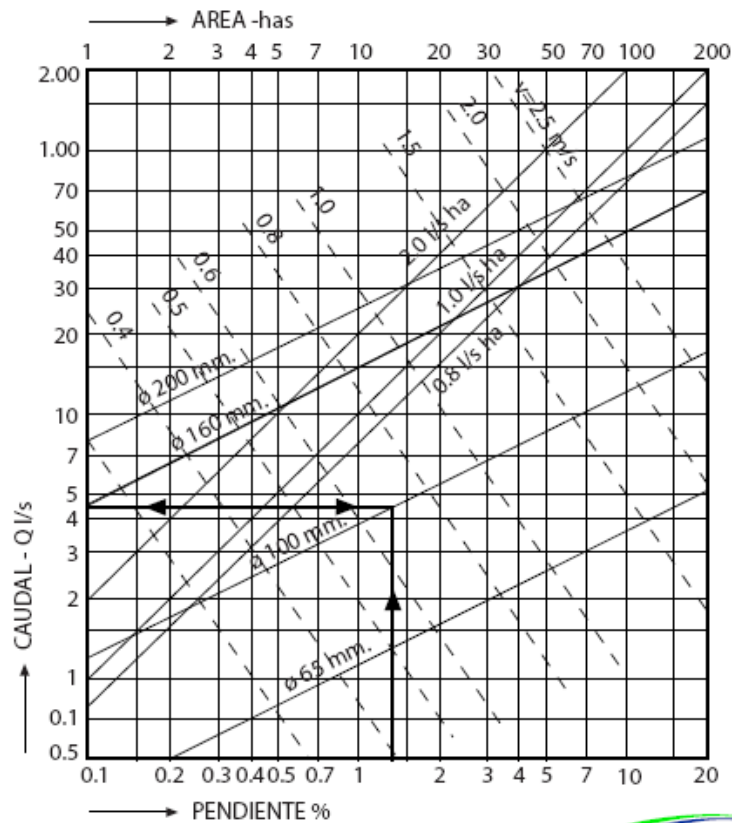


Fig. 3.9. Nomograma.

Fuente: (www.pavco.com)

3.4. Ensamble.

El ensamble del sistema se debe hacer por fuera de la trinchera, para introducir la tubería dentro del sistema es necesario colocar un extremo de la tubería al inicio de la manga y amarrarlo a un cordón plástico que viene a lo largo de la manga en su interior. En el extremo opuesto del sistema se jala el cordón para introducir de esta forma la tubería perforada de drenaje. Se ensambla la tubería

uniendo cada panel de geocompuesto y se traslapa o se cose el geotextil para evitar la intrusión de material entre las uniones de los paneles. Una vez ensamblados todos los paneles. Se procede a la instalación del geodren dentro de la trinchera.

Los accesorios utilizados para el ensamblaje del sistema corresponden a los comúnmente empleados en la tubería de p. v.c tales como las uniones, las sillas laterales, las descargas frontales con rejilla y los tapones correspondientes a los diámetros de tubería especificados.

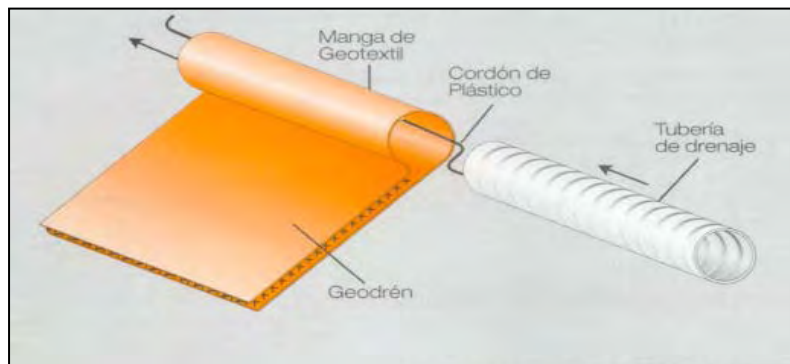


Fig. 3.10. Ensamble de Geodren.

Fuente:(www.geoplast.it)

3.5. Colocación del geodrén.

Antes de colocar el sistema se debe alistar la trinchera de tal manera que se encuentre lo mejor perfilada posible, con la pendiente y profundidad indicados en los planos de diseño.

El geodrén contuberías se debe instalar en contrapendiente para facilitar la evacuación del agua a los sitios finales de disposición. Se recomienda colocar el geodrén en capas granulares de la estructura de la vía.

El geodrén no se debe anclar al terreno natural para que no se vaya a deslizar cuando sea posible, el sistema se asegura en la parte superior con ganchos metálicos. En los casos en que se deba anclar sobre las paredes de la trinchera se recomienda utilizar alambres para sostenerlo desde la parte superior, no se recomienda anclar el sistema con estacas.

El geodrén no debe quedar expuesto sin cobertura por un periodo mayor a tres días. Se recomienda taparlo inmediatamente después de su colocación de l geotextil.

3.6. Relleno y compactación.

Se puede utilizar como material de relleno el mismo suelo de la excavación siempre y cuando el material se deje acomodarse y compactarse fácilmente. Lo importante es que al colocar el material no se presenten vacíos que generen deformidad en los materiales que se colocan sobre la excavación.

Para efectos del buen funcionamiento del sistema de drenaje se debe tener en cuenta la permeabilidad del material de relleno ya que de esto depende la velocidad de respuesta del sistema.

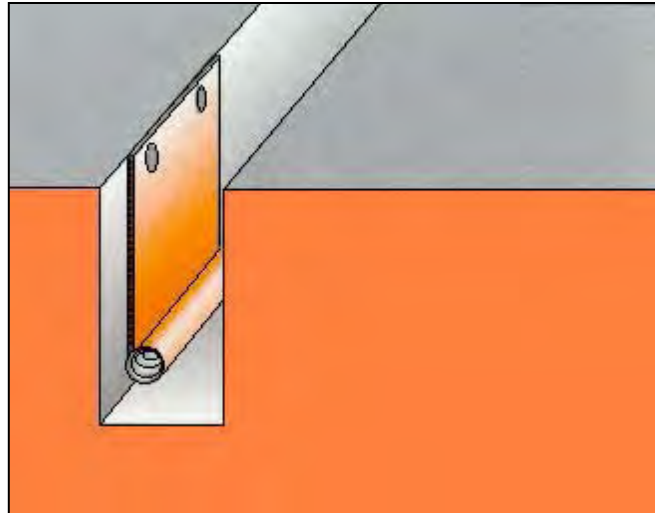


Fig. 3.11. Geodrén con tubo en zanja.

Fuente: (www.geoplast.it)

3.7. Especificaciones técnicas.

El geodrén está compuesto por dos geosintéticos que son:

a) Geotextil no tejido punzonado por agujas, elemento sintético de alta permeabilidad. Su función principal es la filtración que consiste en retener las partículas de suelo para permitir el libre paso del agua.

b) Geotubo. Elemento sintético que presenta alta capacidad de transporte de fluidos en su plano (transmisibilidad). Su función principal es captar y conducir los

fluidos en su plano hacia un sistema de evacuación en aplicaciones de drenaje horizontal y vertical.

Existen tres tipos de geodren Planar, según su capacidad de drenaje:

Geodren Planar 1, con una geored de drenaje.

Geodren Planar 2, con dos georedes de drenaje.

Geored Planar 3, con tres georedes de drenaje.

Cuando se necesita evacuar los fluidos captados se utilizan un geodren con tubería, este sistema está compuesto por los mismos elementos del geodren más una tubería circular perforada de drenaje. Para introducir la tubería dentro del sistema en el sitio de la obra, se sigue el procedimiento descrito en el ensamble. Existen dos tipos de geodren con tubería, según su capacidad de evacuación.

Geodren con tubería circular de 65 mm de diámetro.

Geodren con tubería circular de 100 mm de diámetro.

También existe la posibilidad, según sean los requerimientos, de utilizar tuberías de 160 mm y 200 mm de diámetro.

El agua presente en el suelo penetra rápidamente a través del geotextil, descende por la geored hasta la tubería de drenaje que la entrega a las descargas del sistema de drenaje. Esta acción es continua, evitando así que el agua se acumule en el suelo circundante al geodren.

Los datos del proyecto permiten hacer un diseño y definir parámetros necesarios para determinar el tipo de geodren Planar y de geodren con tubería a utilizar.

El sistema de geodren planar puede entregarse ensamblado desde la fábrica o se puede ensamblar en el sitio de la obra, dependiendo de las condiciones y los requerimientos del proyecto.

El sistema de geodren con tubería se puede entregar ensamblado totalmente o para ensamblar en obra para este caso el geodren tiene una manga de geotextil en la parte inferior del sistema con el objeto de colocar la tubería en obra.

Los datos que definen el diámetro del tubo con que se construirá el geodren son obtenidos en base a un estudio hidrológico el cual nos dirá cual es la cantidad de agua que será con la que trabajara el tubo del subdren.

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS HIDROLÓGICO.

En el presente capítulo se abordará los principios hidrológicos, así como los principales cálculos que se realizan para la obtención de un gasto de agua, ya que para este proyecto es esencial el cálculo hidrológico por que con los resultados arrojados se podrá hacer una proposición de una solución adecuada al problema.

4.1. La hidrología para el estudio del subdrenaje.

El estudio hidrológico es fundamental en el proyecto del drenaje y subdrenaje ya que el funcionamiento depende directamente de la cantidad de agua que se precipite en ese lugar, ya que con estos parámetros se puede calcular la cantidad de agua que escurrirá y estará pasando por el sitio de la obra de drenaje, o bien tomar parámetros de cuanto agua se pudiera infiltrar dentro de la cuenca y causará algún daño al sitio donde se tenga alguna obra de importancia, la cual pueda ser afectada por los flujos de agua subterránea que se presenten, ya sea en temporada de lluvia o inclusive en temporada de estiaje. El cálculo hidrológico será el que dará la referencia de que dimensiones deberá tener la obra de drenaje.

4.2. Ciclo hidrológico.

El análisis hidrológico implica la predicción más o menos confiable de las magnitudes máximas de la intensidad de precipitaciones o de los picos de escurrimientos (según sea el caso) para periodos de retorno especificados del evento o también de duración del mismo, según la finalidad e importancia del sistema.

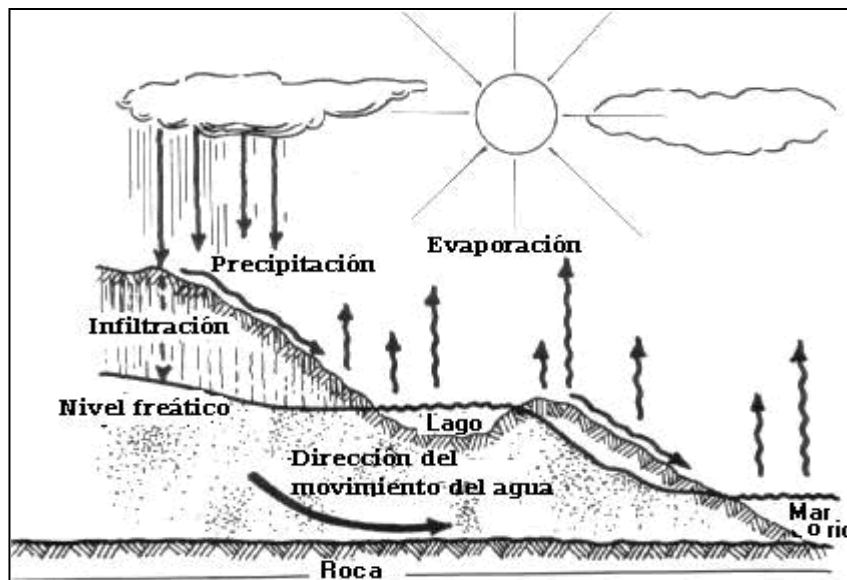


Fig.4.1. Ciclo hidrológico.

Fuente: (www.hidrologia.com)

El ciclo hidrológico parece algo muy intuitivo, pero durante siglos no fue así, ya que muchos de los filósofos de aquel tiempo creían que el ciclo del agua se realizaba al revés, que el agua penetraba la corteza terrestre desde el fondo de los océanos y se almacenaba en grandes cavernas y que por la temperatura de la tierra ascendía a partes muy altas y no podían creer que el agua que caía como lluvia podía ser la que formará esos grandes caudales en las montañas.

Pero ahora en la actualidad se sabe que todo ciclo no tiene ni principio ni fin y su descripción puede comenzar en cualquier punto.

Toda el agua que se encuentra en el planeta tierra se evapora por efecto de la radiación solar y el viento. El vapor de agua que se forma del agua se eleva y se transporta por la atmosfera en forma de nubes hasta que se condensa y cae hacia la tierra en forma de precipitación. Durante su trayecto a la superficie de la tierra, el agua precipitada puede volver a evaporarse o puede ser consumida por algún ser vivo, luego fluye por la superficie por corrientes o se infiltra. Una gran parte del agua se queda en presas que a su vez también es absorbida por las plantas que posteriormente transpira el agua absorbida y del agua infiltrada tiene un camino hacia el mar que en ocasiones por la geología del lugar brota como un manantial de agua, que a su vez se convertirá en un caudal hacia el océano.

4.3. Características de la cuenca hidrológica.

Según Francisco Javier (1984) una cuenca es una zona de la superficie terrestre en donde la lluvia que cae sobre ella tiende a ser drenada por el sistema de corrientes hacia el mismo punto de salida.

Las cuencas se separan en dos tipos: cuencas endorreicas y exorreicas, en cuencas endorreicas es la cuenca el punto de salida se encuentra dentro de los límites de la cuenca y generalmente es un lago.

Cuencas exorreicas, en esta el punto de salida se encuentra en los límites de la cuenca y está en otra corriente o en el mar. Estos dos tipos de cuencas que se mencionaron cuentan con un conjunto de elementos que las conforman que son los siguientes.

El parteaguas, es una línea imaginaria formada por los puntos más altos del nivel topográfico más alto que separa a la cuenca de las cuencas vecinas.

El área de la cuenca, es la superficie horizontal delimitada por los parteaguas.

La corriente principal, de una cuenca pasa por la salida de la misma esta solo aplica para cuencas exorreicas. Las demás corrientes que se generan son corrientes tributarias, todas las cuencas cuentan con una corriente principal y a su vez corrientes tributarias.

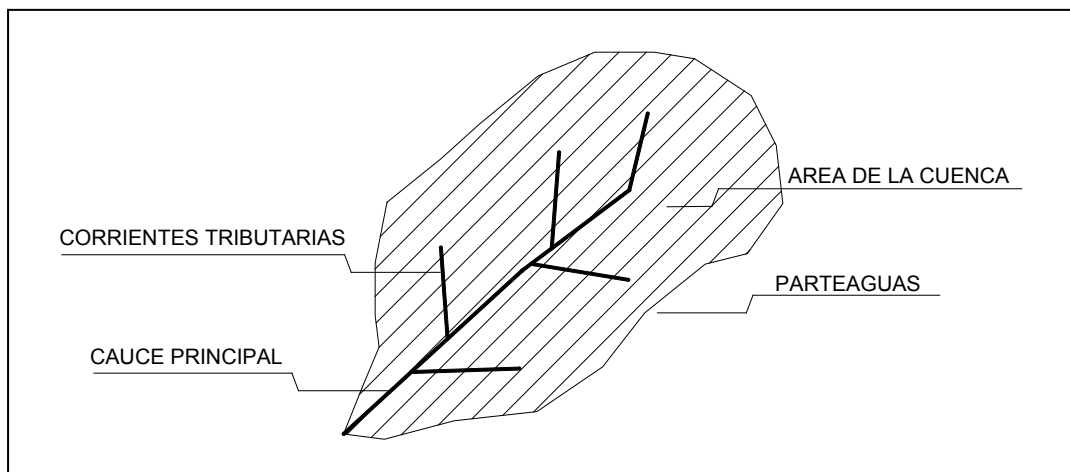


Fig. 4.2. Partes de una cuenca.

Fuente: (www.hidrologia.com)

Las corrientes tributarias se manejan por un orden dependiendo de las conexiones que tengan con otras corrientes tributarias, una corriente de primer orden 1 es una tributaria sin ramificaciones, una de segundo orden 2 tiene solo tributarias de primer orden. Dos corrientes de orden 1 forman una de orden 2, dos corrientes de orden 3 forman una de orden 4, pero una corriente de orden 2 y una de orden 3 forman una de orden 3. El orden de una cuenca es el mismo que el orden de su corriente principal de salida.

4.3.1. Pendiente del cauce principal.

Es la relación de la diferencia de altura máxima y la longitud del cauce principal, se puede estimar con la siguiente ecuación.

$$S_o = \frac{H_{max} - H_{min}}{L}$$

S_o : Pendiente del cauce.

H_{max} : Elevación máxima.

H_{min} : Elevación mínima.

L : longitud total del cauce principal.

4.3.2. Pendiente media por Hortón.

Con frecuencia no es suficiente calcular la pendiente media sólo del cauce principal, si no que en ocasiones también tenemos que calcular la pendiente media de toda la superficie. Y uno de los métodos más comunes para hacer esto es el método de Hortón, este consiste en trazar líneas, verticales como horizontales a la misma distancia en toda la superficie de la cuenca.

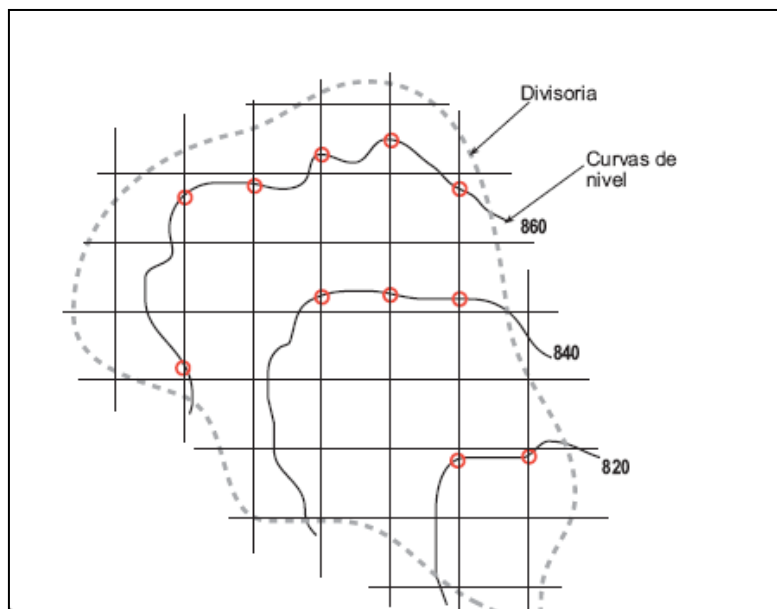


Fig. 4.3. Líneas en x, y en toda la superficie de la cuenca.

Fuente: (www.hidrologia.com)

Posteriormente se mide la distancia de líneas verticales y horizontales que se obtuvieron en la superficie de la cuenca y se aplica la siguiente ecuación.

$$S_y = \frac{n * e}{\sum L_y}$$

Donde.

e : Equidistancia entre curvas de nivel (m)

n : Número de intersecciones.

$\sum Ly$: Suma de longitudes verticales de la cuadrícula en (m)

Se realiza el mismo procedimiento para las líneas horizontales. Una vez obtenidas, L_y y L_x se saca una L media. Que la suma de L_y y L_x entre dos.

4.4. Clasificación de corrientes.

Las corrientes perenes son aquellas que su característica principal es que en toda la época del año llevan agua alimentándose de niveles freáticos o lo que conocemos como manantiales.

Las corrientes intermitentes solamente se limitan a llevar agua por sus causas cuando caen tormentas que abarque la zona de la cuenca.

Las corrientes efímeras el nivel freático estará siempre por debajo de la superficie y transportan agua inmediatamente después de que ocurre una lluvia, estas también alimentan los almacenamientos de agua subterránea.

4.5. Precipitación media y escurrimiento.

Según Gilberto Sotelo; (1984): La relación precipitación escurrimiento con base en los registros de medición efectuados es posible establecer la relación que existe entre ambos, considerando las mediciones directas factibles de obtener, la

estimación de condiciones que no son posibles de medir directamente y la predicción de la probable ocurrencia de eventos dentro de un lapso especificado.

En general, la intensidad de lluvia se refiere al valor medio de la misma y corresponde a la relación entre la altura total de precipitación ocurrida y el tiempo de duración de la tormenta. Por esa razón, en lugar de la intensidad de la tormenta se puede utilizar la altura de precipitación total al término de duración de la misma. En cualquier caso la medición de la intensidad de una tormenta y su duración, solo es posible si se cuenta con un registro completo de sus variaciones en el tiempo de un pluviógrafo. Dichos datos son muy escasos en nuestro país y por lo tanto es necesario utilizar métodos de transposición de datos obtenidos en una estación a otra donde no existen, o bien de los promedios de una cuenca a otra.

Las características de la tormenta se refieren entonces a los datos obtenidos en una estación. Para determinar los valores medios en toda una cuenca son necesarios los registros del mayor número de estaciones dentro y fuera de la misma y utilizar el método de polígonos de Thiessen, que toma en cuenta la densidad y la distribución de las estaciones, o bien el de isoyetas, que incluye los efectos orográficos sobre la distribución de lluvias.

Con estos métodos se determina un valor representativo de la altura de precipitación que se considera uniformemente distribuida sobre toda la cuenca.

En el caso de áreas de drenaje pequeñas son bastante representativos y los datos así obtenidos en ocasiones pueden ser suficientes con los datos de la estación más próxima, sin que esto sea una regla plenamente justificada.

La influencia de la magnitud del área se puede determinar por el cálculo de las curvas altura máxima de precipitación, área, duración.

La disponibilidad de mayor cantidad de datos en cada cuenca particular permite obtener más aproximación en la predicción de eventos que sirvan como condiciones para un sistema de drenaje. Por lo que respecta al régimen de lluvias en determinada región, los datos correspondientes por lo menos a cinco años de registro pueden ser representativos del mismo para su aplicación en el análisis.

El escurrimiento es el aspecto más importante del problema que se analiza. Representa la suma del escurrimiento superficial y del proveniente del subsuelo. El escurrimiento superficial es igual al producido directamente por la precipitación menos el de retención superficial transformada en evaporación e infiltración.

Existen un gran número de factores que influyen en los volúmenes de escurrimiento superficial. Algunos de los más importantes son la topografía, el tipo de suelo, la vegetación, el tamaño, pendiente, uso del suelo. Todos ellos tienen un efecto considerable sobre la cantidad de precipitación que se infiltra o se pierde por evapotranspiración. Uno de los principales métodos para calcular la precipitación son.

4.5.1. Método aritmético.

Consiste simplemente en obtener el promedio aritmético de las alturas de precipitación registradas en cada estación usada en el análisis. Este método muestra resultados confiables cuando la distribución de los pluviómetros es uniforme en el área de la cuenca y no hay muchas variaciones entre los valores registrados.

$$Pm = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n h_{pi}$$

Donde.

Pm: Precipitación media del área de influencia de la estación.

h_p : Altura de precipitación media.

h_{pi} : Altura de precipitación registrada en la estación i.

n: Es el número de estaciones bajo el análisis.

4.5.2. Polígonos de Thiessen.

Este método considera que la intensidad de lluvia que cae en cualquier punto de cada polígono formado es igual a la registrada en el pluviómetro más cercano, es decir, si existe.

Este método consiste en lo siguiente:

- Unir mediante líneas rectas dibujadas en un plano de la cuenca las estaciones más próximas entre sí con el fin de formar triángulos en cuyos vértices están las estaciones pluviométricas.
- Trazar líneas rectas que bisectan los lados de los triángulos por geometría elemental, las líneas correspondientes a cada triángulo convergerán en un solo punto.
- Cada estación pluviométrica quedará rodeada por las líneas rectas del paso 2 que forman los llamados polígonos de Thiessen y en algunos casos, en parte por el parteaguas de la cuenca, el área encerrada por los polígonos de Thiessen y en el parteaguas será el área de influencia de la estación correspondiente.

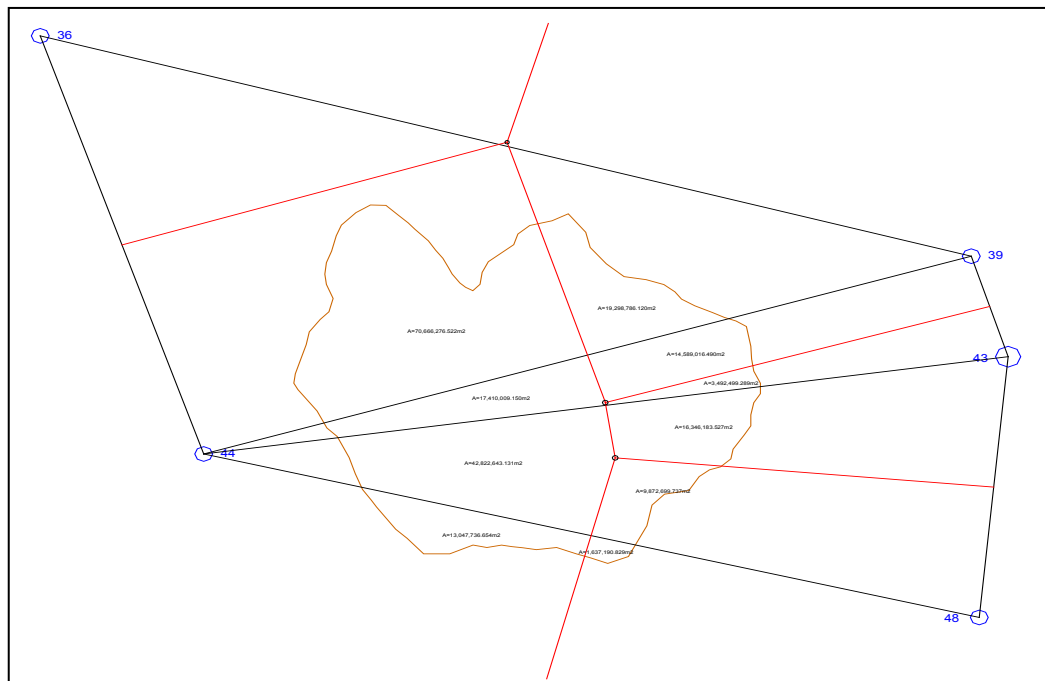


Fig. 4.4. Ejemplo de trazo de polígonos de Thiessen en una cuenca.

Fuente: (www.hidrologia.com)

- La lluvia media se calcula entonces como un promedio ponderado de las precipitaciones registradas en cada estación, usando como peso el área de influencia correspondiente.

$$h_p = \frac{1}{A_T} * \sum_{i=1}^n h_{pi} A_i$$

Donde.

A_i : Es el área de influencia de la estación i .

A_T : Es el área total de la cuenca .

h_p : Altura de precipitación media.

h_{pi} : Altura de precipitación registrada en la estación i .

n : Es el número de estaciones bajo el análisis.

4.5.3 Método de isoyetas.

Este método consiste en trazar con la información registrada en las estaciones, las líneas que unen puntos de igual altura de precipitación llamadas isoyetas, de modo semejante a como se trazan las curvas de nivel en topografía. La precipitación media se calcula en forma similar a la ecuación anterior pero ahora el peso es el área A_i entre cada isoyetas y el parteaguas de la cuenca y la cantidad que se pesa es la altura de precipitación promedio entre las dos isoyetas h_{pi} .

$$h_p = \frac{1}{A_T} * \sum_{i=1}^{n'} h_{pi} A'_i$$

Donde.

A'_i : Es el área de influencia de la estación i .

A_T : Es el área total de la cuenca .

h_p : Altura de precipitación media.

h_{pi} : Altura de precipitación registrada en la estación i .

n' : Es el número de áreas A'_i consideradas.

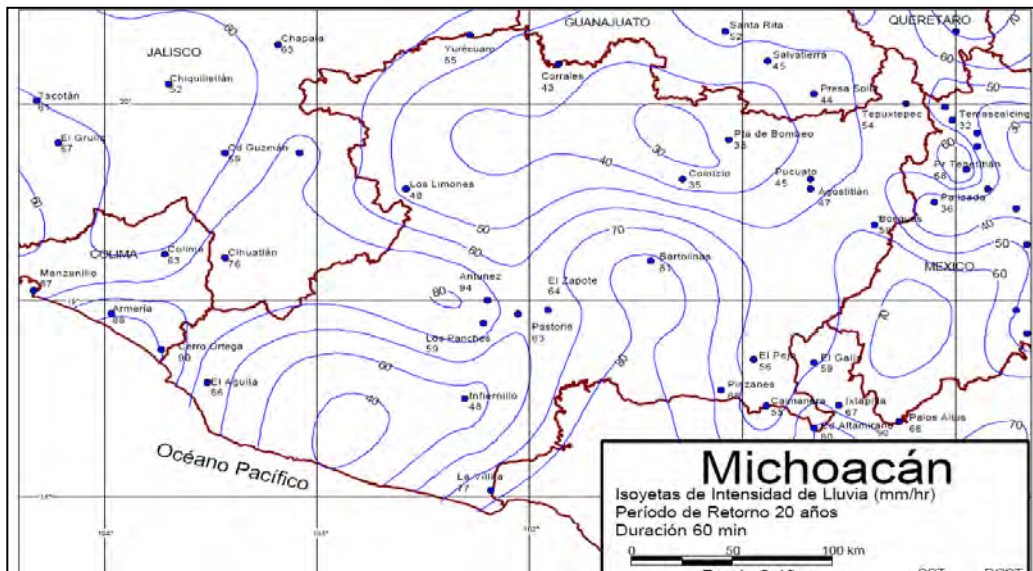


Fig. 4.5. Ejemplo de isoyetas de precipitación en una cuenca.

Fuente: (www.hidrologia.com)

El método aritmético es el más simple de todos, pero no toma en cuenta la distribución de las estaciones en la cuenca ni la manera en que se distribuye la lluvia en el espacio, pues le asigna el mismo peso a todas las alturas de precipitaciones registradas. Por eso sólo es recomendable en donde la topografía es muy suave y las condiciones atmosféricas muy uniformes.

Por el contrario, el método de los polígonos de Thiessen sí toma en cuenta la distribución de las estaciones en el área de la cuenca, pero no los factores topográficos y otros tipos que afectan la distribución de la lluvia, este método es conveniente cuando los cálculos son muy repetitivos, como cuando se analiza gran cantidad de lluvia, ya que no cambian a menos que se omitan o anexas estaciones.

El más preciso de todos es el método de las isoyetas si estas se dibujan de manera que tomen en cuenta los efectos topográficos en la distribución de la lluvia. Por otra parte es el más laborioso de los tres ya que cada tormenta tiene un plano de isoyetas diferente.

En todos los métodos explicados, la precipitación media obtenida es para un periodo de retorno (T_r) y una duración de tormenta específica. Con esta información se generan series de datos que al ser graficados es posible obtener curvas de intensidad de lluvia, relacionadas con una duración de tormenta y un periodo de retorno dado.

El grado óptimo de seguridad de una estructura depende por un lado de su costo y el costo asociado con las pérdidas por daño por inundación un ejemplo sería el de una obra de drenaje de una pista que se inunde cada dos o tres años si se

compara con el costo de un sistema de drenaje que solo permita que se inunde cada 50 años, sin embargo se podría construir un sistema de drenaje que nunca pudiera presentar algún problema de inundación, pero sería anti económico realizar una obra de tal magnitud.

Sin embargo, al menos en lo que a la teoría estadística respecta no es posible tener una seguridad del 100% de que no exista ninguna avenida cuyas dimensiones hagan insuficiente la obra hidráulica. Estos parámetros se toman para llegar a un análisis precipitación escurrimiento para obtener la avenida máxima de diseño, esto con el fin de poder determinar un periodo de retorno.

4.6. Tiempo de concentración por Kirpich.

El tiempo de concentración t_c de una determinada cuenca hidrográfica es el tiempo necesario para que el caudal saliente se estabilice, cuando la ocurrencia de una precipitación con intensidad constante sobre toda la cuenca. Esto en base a gráficas de intensidad, frecuencia, periodo de retorno.

$$t_c = 0.0662 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

Donde.

t_c : Tiempo de concentración. (hr)

L: Longitud del cauce principal. (km)

S: Pendiente media de la cuenca. (A dimensional)

4.7. Curvas de intensidad, duración, periodo de retorno.

Las curvas de intensidad, duración, periodo de retorno son una base para que con el tiempo de concentración se pueda obtener la precipitación más desfavorable para el cálculo de alguna obra de drenaje, estas curvas son en forma decreciente ya que estas reflejan la precipitación que puede llegar a suceder en cierto periodo de tiempo, en un lapso de años similares a la vida útil que tenga la obra de drenaje.

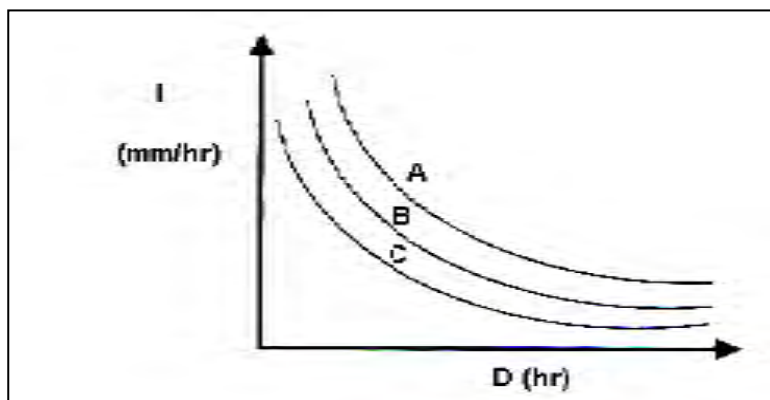


Fig. 4.6. Ejemplo de isoyetas de precipitación en una cuenca.

Fuente: (www.hidrologia.com)

4.8. Análisis estadístico de la precipitación, método de Gumbel.

Este método se caracteriza por ser un método estadístico el cual se realiza teniendo como datos diferentes intensidades de lluvia ocurrida en distintos años (altura máxima anual) este método consiste en una serie de pasos para poder obtener una intensidad de lluvia afectada por su periodo de retorno correspondiente a la altura media de precipitación de todas las muestras

$$M_{am} = \frac{\sum A_m}{n}$$

Donde.

M_{am} : Media de la altura de lluvia.

$\sum A_m$: Sumatoria de precipitaciones.

n : Número de muestras.

2. Obtener la desviación estándar.

La desviación estándar (o desviación típica) es una medida de dispersión para variables de razón y de intervalo, de gran utilidad en la estadística descriptiva. Es una medida (cuadrática) que informa de la media de distancias que tienen los datos respecto de su media aritmética, expresada en las mismas unidades que la variable.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (A_m - M_{am})^2}{n - 1}}$$

Donde.

Mam: Media de la altura de lluvia.

Am: Precipitaciones.

n : Número de muestras.

3. Determinación de variables para la obtención de la precipitación

$$\alpha = \frac{\sigma y}{\sigma}$$

$$\beta = Mam - \frac{\mu y}{\alpha}$$

Donde.

σy : Valor obtenido de la tabla de Gumbel.

σ : Desviación estándar.

Mam: Media de la altura de lluvia.

μy : Valor obtenido de la tabla de Gumbel.

- Obtención de la altura máxima y periodo de retorno.

$$\beta - \frac{1}{\alpha} \ln \ln \left(\frac{t}{t-1} \right)$$

Donde. t : Años.

4.9. Método racional.

Este método es utilizado en el diseño de drenaje y de aeropuertos y pequeñas carreteras, que puede producir valores exagerados del escurrimiento a un cuando se usen valores exactos de precipitación y de los factores de impermeabilidad. La ignorancia de las condiciones de los antecedentes de humedad incrementa el error con el tamaño de la cuenca. El método es entonces adecuado para áreas pequeñas que no excedan de 4 km² y se expresa por la ecuación.

$$Q = 0.278 C I A$$

Donde.

A: Área de drenaje en km².

C: Coeficiente adimensional.

I: Intensidad de precipitación igual al tiempo de concentración.

Q: Gastos máximos para el área total en m³/seg.

0.278: Coeficiente que hace homogéneas las variables para obtener m³/seg.

4.9.1. Hietograma.

Este método se utiliza cuando se requiere saber cómo es el comportamiento de la lluvia en determinado lapso de tiempo que posteriormente nos ayudará a poder determinar la infiltración que se pueda dar en el lugar donde se encuentre la cuenca en estudio.

Estas gráficas se obtienen tabulando la intensidad de lluvia por una unidad de tiempo determinada según sea el caso en estudio, para poder obtener esos datos los cuales nos ayuden a construir nuestro hietograma, se obtienen de una estación climatológica que es té l o m ás c ercana a l a z ona donde se desea realizar el estudio, los datos tendrán que ser de la precipitaciones que se hayan presentado en varios años hasta en 24 horas.

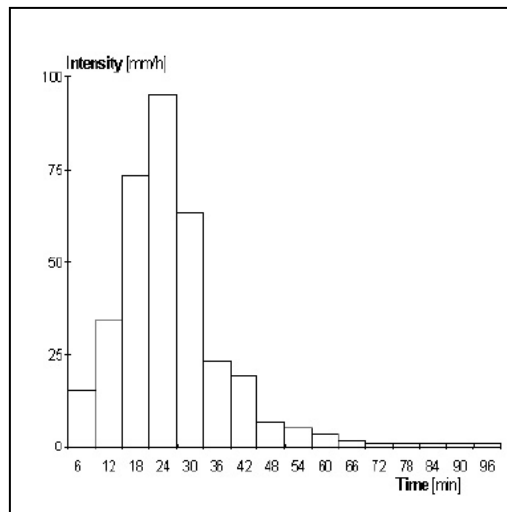


Fig. 4.7. Ejemplo de hietograma de precipitación

Fuente: (www.wikipedia.com).

4.9.2. Hidrograma unitario sintético.

Este método, desarrollado por el SCS, consta de dos partes. En la primera de ellas se hace una estimación del volumen de escurrimiento, incluyendo el caudal de punta. Esto lo representa una comparación gráfica de los gastos de escurrimiento contra el tiempo necesario para que estos se presente.

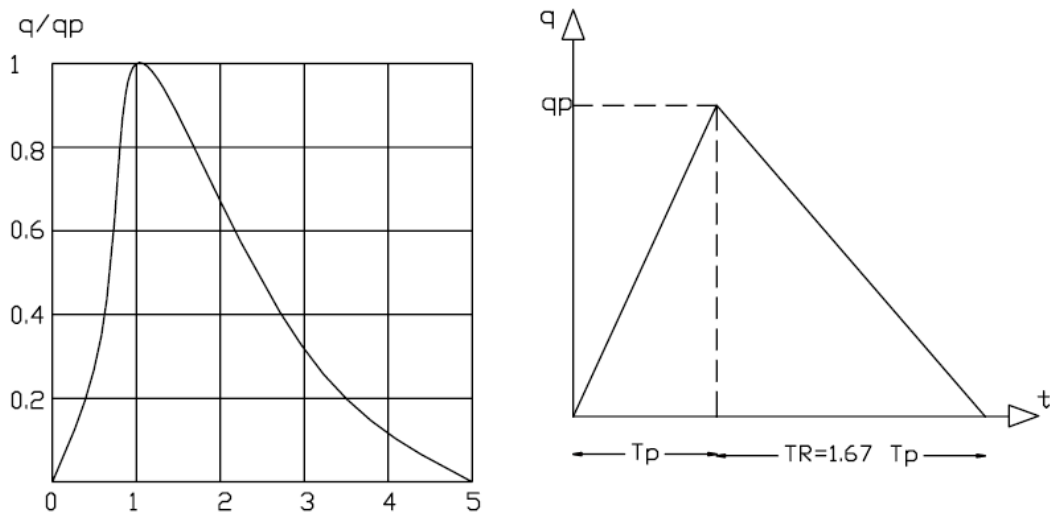


Fig. 4.8. Ejemplo de hidrograma sintético.

Fuente: (www.wikipedia.com).

Este método se basa en considerar las siguientes propiedades; la precipitación efectiva se distribuye uniformemente en el tiempo o en el periodo de duración efectiva de la lluvia, y la segunda que la precipitación se distribuye uniformemente en toda el área de la cuenca de drenaje. El caudal de punta se puede estimar mediante la siguiente ecuación.

$$qp = \frac{0.208 * A}{Tp}$$

$$Tp = (0.5 * D) + (0.6 * Tc)$$

$$Tb = 2.67 T$$

Donde:

qp: Caudal pico del hidrograma unitario m³/s.

A: Superficie de la cuenca en km².

Tp: Tiempo de ocurrencia del caudal pico en Hr.

D: Duración de la precipitación neta en Hr.

Tc: Tiempo de concentración en Hr.

Tb: Tiempo base.

4.9.3. Capacidad hidráulica de la tubería método de Manning.

Este procedimiento es uno de los más utilizados en el diseño de tubería de drenaje o agua potable ya que es un proceso muy práctico para diseño de tubería en función de su gasto, cuyas fórmulas son las siguientes.

$$V = \frac{1}{n} (R)^{2/3} (S)^{1/2} \text{ (m/s)}$$

$$Q = AV: \text{ (lts/seg)}$$

Dónde:

Q: Es el gasto en m^3/s .

V. Es la velocidad en m/s .

A. Es área transversal del flujo en m^2 .

V. Es la velocidad en m/s .

R. Radio hidráulico en m .

S. Es la pendiente del gradiente hidráulico (adimensional).

n. coeficiente de fricción.

CAPÍTULO 5

METODOLOGIA.

Este capítulo contiene la metodología que se siguió para realización de este trabajo de investigación, la cual se basa en la aplicación del método científico; para así avalar que la investigación tiene un sustento en la ciencia y por lo tanto se puede considerar confiable y verídica.

Además de la aplicación del método científico en este trabajo de investigación, se menciona el enfoque que se le dio a esta investigación, se analizan las herramientas de recopilación de datos que serán de gran importancia para determinar si la investigación fue buena o no; así pues de manera general se realizará una descripción del procedimiento de investigación que se llevó a cabo para la ejecución de este trabajo de investigación.

5.1. Método empleado.

Esta investigación se realizó atendiendo la metodología basada en el método científico, siendo éste, la mejor herramienta para cumplir de manera satisfactoria con el objetivo de este trabajo de investigación, el método científico como lo define Mario Tamayo, “es un proceso para descubrir las condiciones en que se presentan sucesos específicos, caracterizado generalmente por ser tentativo, verificable, de razonamiento y observación empírica” (Tamayo y Tamayo; 2000; 35).

Este trabajo de investigación de acuerdo al objetivo que se desea lograr, debe ser verificable, los resultados que se obtengan deben ser razonados para con un buen criterio elegir una precipitación adecuada para el diseño del geodren que se pretende determinar en base a los datos seleccionados.

La aplicación del método científico en esta investigación permite aplicar razonamientos lógicos para obtener resultados lógicos, puesto que el punto de partida de este método son las interpretaciones objetivas, además nos permite plantear el problema que se quiere resolver con la investigación, el cual debe ser debidamente delimitado y especificado, con la finalidad de poder atender dicha problemática y plantear soluciones factibles. Algo fundamental en la aplicación del método científico en esta investigación es que este método descarta toda posibilidad de manipular la realidad, descartando por completo la subjetividad en el análisis y explicación de los resultados.

Para lograr los objetivos planteados con este trabajo de investigación, se propone cinco etapas características del método científico, las cuales son:

- Uno. Visualizar o percibir una dificultad o problemática.
- Dos. Identificar y definir dicha problemática, mediante el análisis y estudio de las necesidades que se tienen para la solución de la problemática.
- Tres. Plantear las propuestas para la solución de dicha problemática, esto es el planteamiento de la hipótesis.

- Cuatro. Análisis de cada una de las posibles soluciones, determinando las consecuencias de las diferentes alternativas para solucionar la problemática.

Cinco. Concluir la validez de la hipótesis propuesta, para finalmente, poner a prueba la hipótesis aceptada, verificando mediante hechos visuales que las consecuencias de la ejecución de la hipótesis aceptada son las adecuadas para la solución de la problemática.

En general el método científico nos permite tener referencias basadas en la experiencia, lo que nos permite ir más allá de las apariencias o de hipótesis inciertas o con cierto grado de incertidumbre, además de que este método de investigación, nos permite ir perfeccionando las alternativas de solución para garantizar que la problemática que se quiera atender estará resuelta en su totalidad.

5.2. Enfoque de la investigación.

Este trabajo de investigación tiene un enfoque cuantitativo, pues es de acuerdo con la problemática que se quiere solucionar, según el enfoque de Sampieri, “nos ofrece la posibilidad de generalizar los resultados más ampliamente, nos otorga control sobre los fenómenos y un punto de vista de conteo y magnitudes de estos. Asimismo, nos brinda una gran posibilidad de réplica y un enfoque sobre puntos específicos de tales fenómenos, además de que la comparación entre estudios similares”.

Es de gran importancia para este trabajo de investigación tener enfoque cuantitativo, ya que en la etapa de comprobación de la hipótesis planteada para la solución de la problemática, los estudios que se realizan son respectivos y similares permitiéndonos tener una visión clara de la variación entre un estudio y otro.

5.3. Alcance de la investigación.

Este trabajo de investigación está basado en estudios teóricos y criterio particular, debido a que el tema central que se está investigando ha sido poco estudiado, en cuestión de que se está diseñando un subdrenaje con geodren, que es un material que aún se utiliza muy poco en la región, así mismo mediante los estudios guía se puede identificar la forma de que se pueda abordar el tema de la investigación surgiendo cuestionamientos que se deberán resolver.

En esta investigación los estudios exploratorios permitirán integrar elementos que se consideren de acuerdo a su utilidad, indispensables para llegar a soluciones factibles y fiables que nos ayuden a cumplir con el objetivo que se desea alcanzar con este trabajo de investigación.

5.4. Diseño de la investigación.

La estrategia que se plantea en esta investigación es la obtención de datos información para comprobar así las hipótesis planteadas y de esta manera, alcanzar los objetivos en estudio. El diseño experimental se definió en función del enfoque

cuantitativo que tiene este trabajo de investigación, con la finalidad de definir la certeza de las hipótesis planteadas.

5.5. Instrumento de recolección de datos.

Ya que este es un problema real, se procedió a la recopilación de datos por medio de un levantamiento topográfico con el cual se obtuvo un plano de la sección de carretera en la que se procederá a la realización de la obra, para la obtención de datos pluviométricos se recurrió a recabar datos de las estaciones pluviométricas más cercanas a la cuenca, para determinar la cuenca de aportación se utilizó cartas topográficas del INEGI donde se ubicó el tramo carretero en estudio, además de datos recabados en campo por visualización y fotografías del lugar, ya que con estos datos se procedió a realizar los cálculos de acuerdo a las fórmulas que mejor se adaptan a las condiciones del proyecto.

5.6. Descripción del procedimiento de investigación.

Primeramente, el presente proyecto de tesis partió de la ubicación y selección del proyecto a estudiar, posteriormente se verificó si se contaba con otro proyecto relacionado con el tema en estudio, esto para poder tener una comparativa entre ambos.

Después de recurrir a la investigación documental para recopilar la información teórica que soportará la presente tesis, se hizo necesario el establecimiento metodológico para plasmar el alcance y los instrumentos de recopilación de datos.

Aunado a lo anterior, se realizó la captura de datos usando el programa AutoCAD y dentro de éste mismo, el Civil CAD, estos se usaron especialmente para el obtener datos de la topografía del lugar, posteriormente se usó el programa Excel para el procesamiento de los datos recopilados, se hizo una comparativa con la teoría existente y se analizaron los resultados, esto con el fin de establecer conclusiones que den cumplimiento al objetivo y a la pregunta de investigación de la presente tesis.

En el siguiente capítulo se plantearán los datos recopilados, para así mismo analizarlos e interpretar los resultados obtenidos y así, llegar a una solución final.

CAPÍTULO 6

MEMORIA DE CÁLCULO.

En el presente capítulo se aborda el procedimiento para realizar el cálculo de l subdrenaje carretero antes mencionado en la presente tesis. Primeramente se comenzará por la obtención de datos de pluviómetros más cercanos así como obtener la topografía del sitio en estudio de la cartografía, es importante resaltar que para este tipo de proyecto la topografía así como los datos de las precipitación son esenciales para poder determinar nuestros cálculos y dar una solución.

6.1. Obtención de datos topográficos.

En este caso se realizó la ubicación del kilómetro de la autopista en una carta topográfica y se procedió a la delimitación del parte aguas de la cuenca en estudio. Ya delimitada la cuenca, se procedió a obtener su área horizontal plana. Con esto se procede a realizar el remarcado de las curvas de nivel a cada 20m de las cuales ayudarán a obtener los cálculos iniciales todo esto se realiza con una carta topográfica escaneada pasada al programa Autocad en escala 1:1 para sobrescribir en la misma y con el ayuda del programa Civilcad se realiza la obtención del área de la cuenca (Ver anexo 1; delimitación de cuenca y curvas de nivel).

6.2. Obtención de datos pluviométricos.

Para conocer la cantidad de agua de lluvia se utilizan los pluviómetros o los pluviógrafos. El pluviómetro en su forma usual consiste en un recipiente cilíndrico de lámina de aproximadamente 20 cm de diámetro de 60 cm de alto. La tapa del cilindro es un embudo receptor, el cual se comunica con una probeta de sección 10 veces menor que la de la tapa.

Lo anterior permite medir la altura de lluvia en la probeta con una aproximación de hasta decimos de milímetro, ya que cada centímetro medido en la probeta corresponde a un milímetro de altura de lluvia; para medirla se saca la probeta y se introduce una regla graduada, con la cual se toma la lectura; generalmente se acostumbra a tomar una lectura cada 24 horas, por lo cual los datos no se pueden relacionar con el tiempo de lluvia.

Por medio del pluviógrafo se hace un registro de altura de lluvia contra tiempo. Los más comunes son de forma cilíndrica, y el embudo receptor está ligado a un sistema de flotadores, que originan el movimiento de una aguja sobre un papel registrador montado en un sistema de reloj. Como el papel registrador tiene un cierto rango en cuanto a la altura de registro, una vez que la aguja llega al borde superior automáticamente regresa al borde inferior y sigue registrando. La gráfica trazada con los datos de un pluviógrafo se llama pluviograma.

6.3. Pendiente media (Horton).

Un dato importante para el desarrollo de este proyecto es obtener la pendiente media de la cuenca la cual se obtendrá por medio del método de Horton con ayuda del programa Autocad de la cuenca antes obtenida en la topografía ahora trazando líneas verticales y horizontales con una misma distancia en cualquiera de los sentidos formando una cuadrícula dentro de la cuenca, Posteriormente se mide la distancia de líneas verticales y horizontales que se obtuvieron en la superficie de la cuenca y se aplica la siguiente ecuación.

$$S_y = \frac{n * e}{\sum L_y}$$

Donde:

e : Equidistancia entre curvas de nivel (m)

n : Número de intersecciones.

$\sum L_y$: Suma de longitudes verticales de la cuadrícula en (m)

Se realiza el mismo procedimiento para las líneas horizontales. Una vez obtenidas, L_y y L_x se saca una L media. Que la suma de L_y y L_x entre dos. Lo cual nos arrojó un resultado de:

Pendiente horizontal S_x . 0.0279

Pendiente media. 0.0390

(Ver anexo 2)

6.4. Tiempo de concentración por Kirpich.

El tiempo de concentración t_c es necesario para que el caudal saliente se estabilice, cuando la ocurrencia de una precipitación con intensidad constante sobre toda la cuenca y se realizó sabiendo que es un dato indispensable para el cálculo del gasto total de lluvia.

$$t_c = 0.0662 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

Donde:

t_c : Tiempo de concentración. (hr)

L: Longitud del cauce principal. (km) (ver anexo 2)

S: Pendiente media de la cuenca la cual se calculó en el punto anterior (ver anexo 2)

Donde el resultado arrojó que el tiempo de concentración es: 18.08 min.

6.5. Método de Gumbel.

Este método se aplicó y a que consiste en un método estadístico el cual teniendo las precipitaciones anuales de diferentes años, se procedió a obtener la media de la altura de lluvia la cual se expresa con la siguiente formulas (ver anexo 4).

Media de la altura de lluvia:
$$Mam = \frac{\sum Am}{n}$$

Desviación estándar
$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (Am - Mam)^2}{n - 1}}$$

Estas fórmulas son funciones de distribución de probabilidad usadas en hidrología para el método de Gumbel, donde $\sigma y \mu y$ son valores tomados de tablas de distribución de Gumbel (ver anexo 4).

$$\beta = Mam - \frac{\mu y}{\alpha} \quad \alpha = \frac{\sigma y}{\sigma}$$

$$\beta - \frac{1}{\alpha} \ln \ln \left(\frac{t}{t-1} \right)$$

Utilizando este método se obtiene una precipitación promedio con un periodo de retorno que se refleja en las siguientes tablas (ver anexo 4).

ALTURA MAXIMATR = 1	65.19	mm/24 hrs
ALTURA MAXIMATR = 2	73.51	mm/24 hrs
ALTURA MAXIMATR = 5	99.24	mm/24 hrs
ALTURA MAXIMATR = 10	116.28	mm/24 hrs
ALTURA MAXIMATR = 25	137.81	mm/24 hrs
ALTURA MAXIMATR = 50	153.78	mm/24 hrs
ALTURA MAXIMATR = 100	169.63	mm/24 hrs

ALTURA MAXIMATR = 1	72.20	mm/24 hrs
ALTURA MAXIMATR = 2	87.78	mm/24 hrs
ALTURA MAXIMATR = 5	135.96	mm/24 hrs
ALTURA MAXIMATR = 10	167.86	mm/24 hrs
ALTURA MAXIMATR = 25	208.17	mm/24 hrs
ALTURA MAXIMATR = 50	238.07	mm/24 hrs
ALTURA MAXIMATR = 100	267.75	mm/24 hrs

6.6. Método de isoyetas.

Este método se utilizó para la obtención de la precipitación más alta en horas presentada con cierto periodo de retorno donde se tomará un retorno de 50 años

como máximo para este tipo de obra este método tiene el mismo fin que el método de Gumbel, solo que se optó por realizarlo para tener un parámetro de seguridad mayor en las precipitaciones y a que con estas dependió para poder diseñar los diámetros de tubería para el subdrenaje (ver anexo 5).

Este método consistió en trazar con la información registrada en las estaciones, las líneas que unen puntos de igual altura de precipitación llamadas isoyetas, de modo semejante a como se trazan las curvas de nivel en topografía. La precipitación media se calculó en forma similar a la ecuación anterior pero ahora el peso es el área A'_i entre cada isoyetas y el parteaguas de la cuenca y la cantidad que nos arroja es la altura de precipitación promedio entre las dos isoyetas h_{pi} ver (ver anexo 5.1).

$$h_p = \frac{1}{A_T} * \sum_{i=1}^{n'} h_{pi} A'_i$$

Donde.

A'_i : Es el área de influencia de la estación i .

A_T : Es el área total de la cuenca.

h_p : Altura de precipitación media.

h_{pi} : Altura de precipitación registrada en la estación i .

n' : Es el número de áreas A'_i consideradas.

Dónde los resultados se muestran en el (anexo 5).

6.7. Método racional.

Este método es aplicado para cuencas de 4km² o menores, ya que este puede dar valores más altos y en una obra muy grande pudiera repercutir drásticamente en los costos de la obra dando como resultado una obra sobrada en desempeño y generando gastos innecesarios, sin embargo ya que nuestra cuenca es de 1km², y una distancia de camino dañado es menor a 1km de longitud, tomando en cuenta estos factores se procedió a la utilización de este método donde (I) la intensidad de precipitación se utilizaron los valores obtenidos del método de Gumbel y isoyetas con el fin de comparar los resultados y determinar el criterio de diseño de subdrenaje.

Consecutivamente se procedió a la aplicación de la fórmula siguiente:

$$Q = 0.278 C I A$$

Dónde:

A: Área de drenaje en km².

C: Coeficiente adimensional.

I: Intensidad de precipitación para un tiempo de concentración.

Q: Gastos máximos para el área total en m³/seg.

0.278: Coeficiente que hace homogéneas las variables para obtener m³/seg.

Después de ver aplicado la fórmula proyecta los siguientes resultados (ver anexo 6).

6.8. Caudal infiltrado.

Ahora que se obtuvo el gasto que es corre por toda la cuenca se tiene un parámetro para poder definir el diámetro del tubo que podría emplearse en el subdrenaje, sin embargo para dar un dato más preciso se procedió a la obtención del gasto infiltrado en la superficie de la cuenca, en el que se vuelve a utilizar la fórmula del método racional solo teniendo variación en el coeficiente adimensional y a que ahora se tomó un coeficiente de infiltración para un tipo de suelo similar al de la cuenca en estudio, sin embargo cabe mencionar que para este método se tomarán los valores más altos de precipitación para tener un mayor rango de seguridad que en este caso son los de Gumbel (ver anexo 7).

$$Q = 0.278 C I A$$

Donde:

A: Área de drenaje en km².

C: Coeficiente adimensional.

I: Intensidad de precipitación para un tiempo de concentración.

Q: Gastos máximos para el área total en m³/seg.

0.278: Coeficiente que hace homogéneas las variables para obtener m³/seg.

6.9. Capacidad hidráulica de la tubería.

Este diseño se emplea utilizando datos recopilados en cálculos anteriores basándonos en la teoría de Manning, cuyas formulas son las siguientes.

$$V = \frac{1}{n}(R)^{2/3}(S)^{1/2} \text{ (m/s)}$$

$$Q = AV: \text{ (lts/seg)}$$

Donde:

Q: Es el gasto en m³/s.

V. Es la velocidad en m/s.

A. Es área transversal del flujo en m².

V. Es la velocidad en m/s.

R. Radio hidráulico en m.

S. Es la pendiente del gradiente hidráulico (adimensional).

n. coeficiente de fricción.

Donde una vez aplicadas estas fórmulas se pudo definir el diámetro del tubo a colocar (ver anexo 8).

CAPÍTULO 7.

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

Este capítulo muestra una breve interpretación de los resultados obtenidos en los cálculos realizados en el capítulo anterior, los cuales darán la decisión final de qué tipo de subdrenaje y diámetro de tubería que se utilizará.

7.1. Comparación final e interpretación de resultados.

De acuerdo a los resultados obtenidos de precipitación por el método de Isoyetas y Gumbel la precipitación más alta la dio por el método de Gumbel, ya que es un método estadístico el cual se realiza con datos de tormentas de años atrás y es más preciso, por lo cual se tomó el valor más alto para el diseño, con un periodo de retorno de 50 años, que es el tiempo requerido para el diseño de una obra de drenaje de este tipo y además de estar en un rango de seguridad alto en una tormenta fuerte.

ALTURA MÁXIMA TR = 1	72.20	mm/24 hrs
ALTURA MÁXIMA TR = 2	87.78	mm/24 hrs
ALTURA MÁXIMA TR = 5	135.96	mm/24 hrs
ALTURA MÁXIMA TR = 10	167.86	mm/24 hrs
ALTURA MÁXIMA TR = 25	208.17	mm/24 hrs
ALTURA MÁXIMA TR = 50	238.07	mm/24 hrs
ALTURA MÁXIMA TR = 100	267.75	mm/24 hrs

Con esto se procede a la realización de obtención de la pendiente media por Horton (ver anexo 2).

Pendiente media horizontal.	0.02790
-----------------------------	---------

Pendiente media de la cuenca	0.0390
------------------------------	--------

Después se realiza la obtención del tiempo de concentración por Kirpich (ver anexo 2).

<i>tc</i>	TIEMPO DE CONCENTRACIÓN	18.08	<i>min</i>
-----------	-------------------------	-------	------------

La utilización de estos dos métodos se realizó por ser de los mas comunes y seguros para cuencas pequeñas, una vez encontrados estos resultados se realizó la obtención de el gasto máximo que pudiera precipitarse en el área de la cuenca, ya que de este gasto y el tiempo de precipitación depende la infiltración que puede darse, ya que la cantidad de agua infiltrada es realmente la que nos interesa para el diseño del subdrenaje.

Se procedió a la obtención del gasto por el método racional (ver anexo 6).

PERIODO DE RETORNO	INTENSIDAD DE LLUVIA	GASTO
<i>años</i>	<i>mm/hr</i>	$Q=M^3/Seg$
5	135.96	7.309
10	167.86	9.024
25	208.17	11.191
50	238.07	12.799

Ya obtenido este gasto se tenía un panorama más claro sobre el tipo de tubería así como el diámetro ya que multiplicando el gasto por un cierto porcentaje de infiltración tendríamos un parámetro de que diámetro sería suficiente, pero ya que este caso se ocupa una comprobación teórica.

Se realizó un cálculo similar a la obtención del gasto solo que en este intervendrá un coeficiente de infiltración el cual se eligió de una tabla de Gumbel para la obtención de un caudal infiltrado dando como resultado un caudal máximo a desalojar (ver anexo 7)

Luego de tener todos estos datos sólo falta el diseño del diámetro del tubo el cual se obtiene con el gasto máximo que interviene en el cálculo anterior y el cual nos arroja que con un tubo de diámetro comercial de 10 cm es suficiente pero ya que el costo constructivo es similar colocar un tubo de 10 cm que uno de 20 cm se elige el de 20 cm o 8" perforado a tresbolillo cada 10 cm con orificios de 6 a 8 mm, este también ayudará a reducir los esfuerzos internos de los taludes, haciendo que reduzca la capilaridad hacia el tubo y la carretera (Ver anexo 12).

El proceso para obtener la infiltración fue determinado de acuerdo a fórmulas del método racional para poder obtener la cantidad de infiltración así como de la velocidad. En este caso no se realizaron pruebas de permeabilidad e infiltración a los diferentes estratos ya que sería muy costoso, y no sería rentable para este proyecto, además por ser una cuenca pequeña el rango de exactitud no influiría en un sobre costo grande de la obra, y a que el proceso constructivo implica el mismo rendimiento constructivo colocar una tubería pequeña o una mediana y a que hay dimensiones mínimas para la realización de una zanja y a sea para colocar tubería pequeña o grande dentro de las medidas comerciales de tubería de drenaje.

En cuanto al material que se utilizará como filtro será una malla de geotextil la cual en base a pruebas, esta diseñada para no permitir el paso de finos sino nada más el agua (Ver anexo 12).

7.2. Resumen de los resultados Y propuesta de diseño de subdrenaje.

De acuerdo a los cálculos antes mencionados se anexa la siguiente tabla donde se resume los valores básicos para realizar el diseño del subdrenaje.

DESCRIPCION	CANTIDAD	UNIDAD
PERIMETRO DE LA CUENCA.	4,058.72	MI
AREA DE LA CUENCA.	966,906.41	M2
PRECIPITACION MAS ALTA EN 50 AÑOS POR METODO DE GUMBEL	238.07	mm/24 hrs
GASTO SUPERFICIAL MAXIMO OBTENIDO POR METODO RACIONAL A 50 AÑOS	12.80	M3/Seg
GASTO MAXIMO INTERNO OBTENIDO POR METODO RACIONAL A 50 AÑOS	223.977	Lt/seg
DIAMTRO DE TUBERIA PROPUESTA DE ACUERDO AL CALCULO.	8''	PULGADAS

Con estos resultados, se propone la siguiente solución de acuerdo a planos de detalle (ver anexo 12).

Colocar tubería de 8" de diámetro de pvc en 500 m a una profundidad promedio de 1.5 m por ambos cuerpos de la carretera, perforando a tresbolillo la tubería con broca con la pendiente natural del terreno.

La tubería estará recubierta con un geotextil este cumplirá la función que hace una capa filtro de material graduado.

Se colocarán pozos de visita con desarenador y brocal de concreto, a cada 60 m para realizar limpieza de la tubería.

Finalmente se colarán las cunetas las cuales se demolicieron para realizar la zanja donde se construyó el subdrenaje, de acuerdo con las figuras.

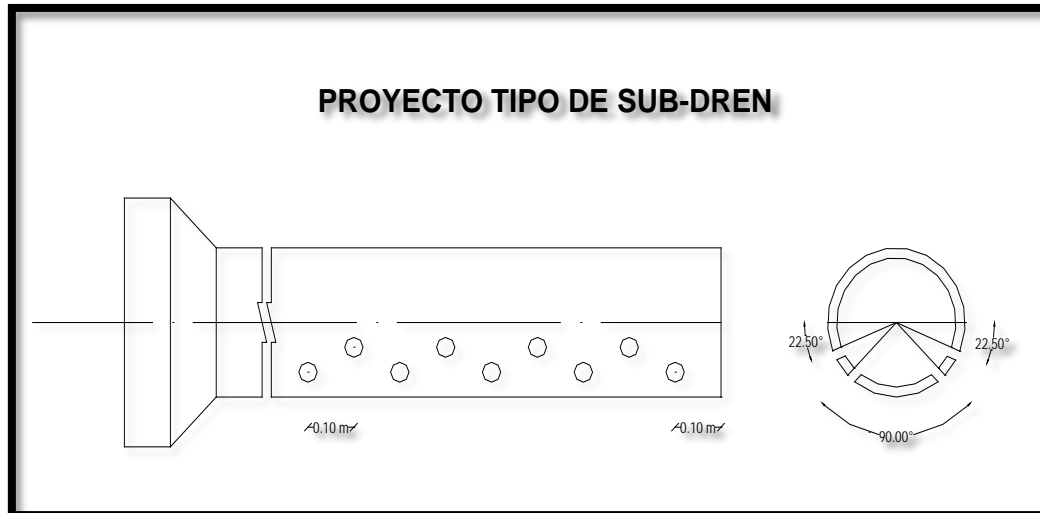


Fig. 7.1. Detalle de tubería de subdren.

Fuente: (Dibujo en Auto Cad)

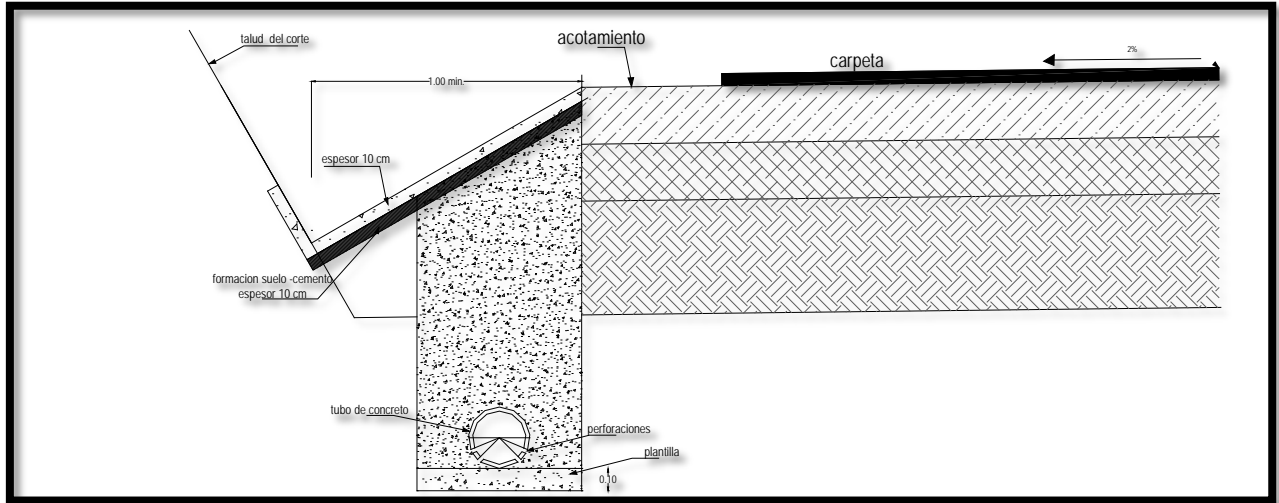


Fig. 7.2. Vista en corte de la tubería.

Fuente: (Dibujo en Auto Cad)

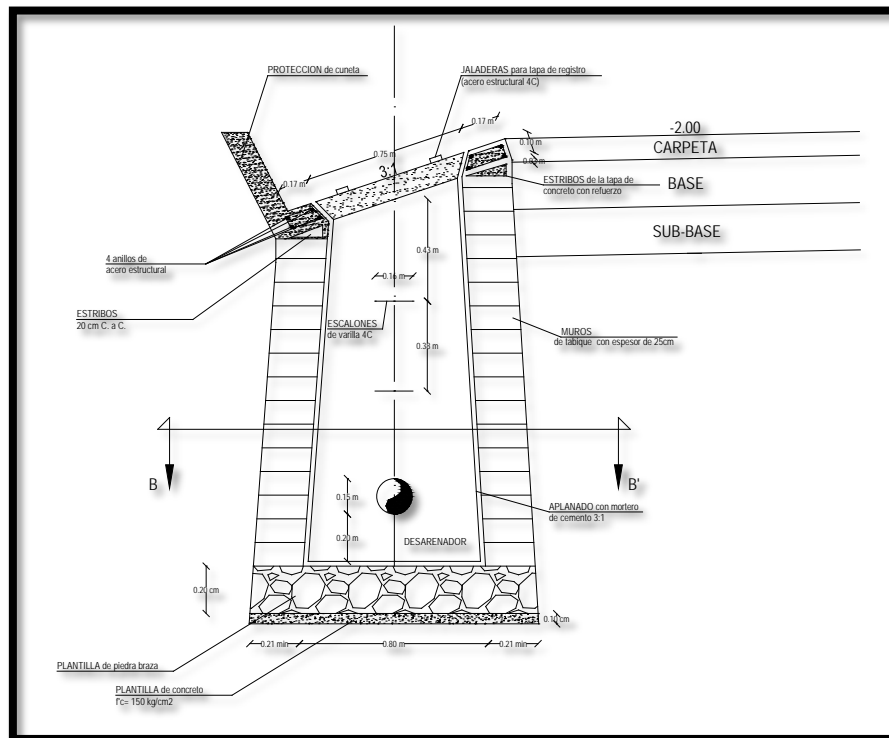


Fig. 7.2. Corte de pozo de visita.

Fuente: (Dibujo en Auto Cad)

CONCLUSIONES.

Desde un principio el objetivo general de la presente tesis era proponer una solución para el abatimiento del agua subterránea utilizando un sistema de subdrenaje así como verificar si realmente ésta es la solución para que el agua sea abatida completamente del tramo de carretera afectado.

Tras la recopilación y el procesamiento de datos, se llega a la solución, de qué el diámetro más apropiado en la tubería del subdrén, es de 20 cm y a que este diámetro trabajaría a un porcentaje muy bajo de su capacidad, sin embargo, las dimensiones de zanja y el filtro a utilizar son agraviantes a éste ya, que se tendría que utilizar una zanja con dimensiones mínimas para las maniobras de instalación, las cuales serían las mismas para un tubo de 10 cm y uno de 20 cm, igualmente para la tubería de 20 cm se facilitaría más la limpieza y será menos probable un taponamiento, ya que sólo trabajaría a un 18% de su capacidad o inclusive menos pero cumpliría más con el papel de mitigar aún más los esfuerzos internos dentro de los taludes.

A continuación se presentan los objetivos particulares que se perseguían, así como también se indica si se cumplieron o no:

El primero, era definir cómo trabaja un sistema de subdrenaje, se cumplió en la elaboración del capítulo I y capítulo II, en el cual se explicó como que los subdrenajes son captadores de agua subterránea por medio de capilaridad o escurrimiento.

En el segundo objetivo particular se establecía verificar que tipo de subdrenaje es el más apropiado para dar solución al problema presentado, ya sea subdren común o geodren, cuyo punto también fue cumplido hasta obtener los cálculos y a que después de definir el diámetro de la tubería, se optó por un subdrén de tubo de pvc perforado y recubierto con un geotextil ya que por ser una obra pequeña y por la ubicación de la zona es más fácil y rápido conseguir la tubería de p.v.c. y habilitarla, aunado a eso que la tubería estará trabajando en un rango amplio de seguridad.

En el tercer objetivo particular se buscaba si el subdrenaje será suficiente para dar solución o se tendrá que proponer incorporar una nueva solución al problema, este objetivo fue cumplido, hasta los cálculos en donde nos proyecta el resultado de una tubería muy pequeña la cual se amplió el diámetro para facilidad de procedimiento constructivo y facilidad en cuestión de limpieza además de estar cumpliendo ampliamente con el trabajo de mitigación del agua sin necesidad de incorporar otra solución o una obra adicional.

En el cuarto objetivo particular se propuso conocer más a detalle los sistemas de subdrenaje, los cuales fueron cumplidos a lo largo de los siete capítulos de esta tesis los cuales fueron drenajes en viscerrestres, subdrenajes, geodrenes y galeras filtrantes.

Debido al cumplimiento de los objetivos ya especificados en los capítulos anteriores, se afirma que los resultados de éste proyecto de investigación han sido satisfactorios, y logran dar respuesta al objetivo general ya que se ha propuesto la elaboración de un subdrenaje para dar solución al abatimiento de agua subterránea

que comprende del tramo carretero camino directo a Uruapan - Nva. Italia km 113 + 250 al 113 + 750.

BIBLIOGRAFÍA.

Mier S; José Alfonso (1987)

Introducción a la ingeniería de caminos.

Ed. UMSNH. México.

Aparicio Mijares Fco. Javier (2008)

Fundamentos de hidrología.

Ed. Limusa. México.

Eulalio Juárez Badillo (2004).

Mecánica de suelos 3ra Ed.

Ed. Limusa. México.

Guzmán Rodríguez Ramiro (1984)

Obras hidráulicas.

Ed. UMSNH. México.

Hernández Sampieri Roberto y Cols. (2006)

Metodología de la Investigación.

Ed. Mc Graw Hill. México.

Juárez Badillo Eulalio (2001)

Fundamentos de Mecánica de suelos.

Ed. Limusa. México.

Secretaría de obras públicas (1974).

Manual de proyecto geométrico de carreteras.

Jurado Rojas, Yolanda. (2005)

Técnicas de Investigación Documental.

Ed. Thomson. México.

Mendieta Alatorre, Ángeles (2005)

Métodos de Investigación y manual académico.

Ed. Porrúa, México.

Secretaría de obras públicas (1974).

Manual de proyecto geométrico de carreteras.

Sotelo A. Gilberto (1973)

Drenaje en carreteras y aeropuertos.

Ed. UMSNH. México.

OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN:

<http://www.geoplast.it>

<http://www.pavco.com>

<http://www.hidrologia.com>

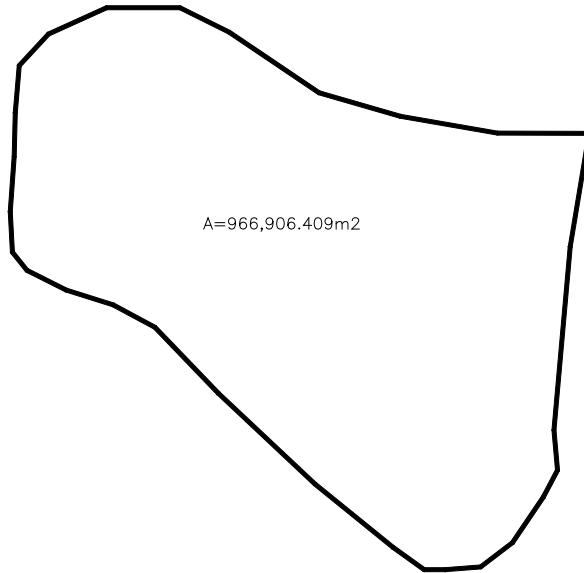
Programa Satelital Google Earth

Isoyetas del estado de Michoacán.

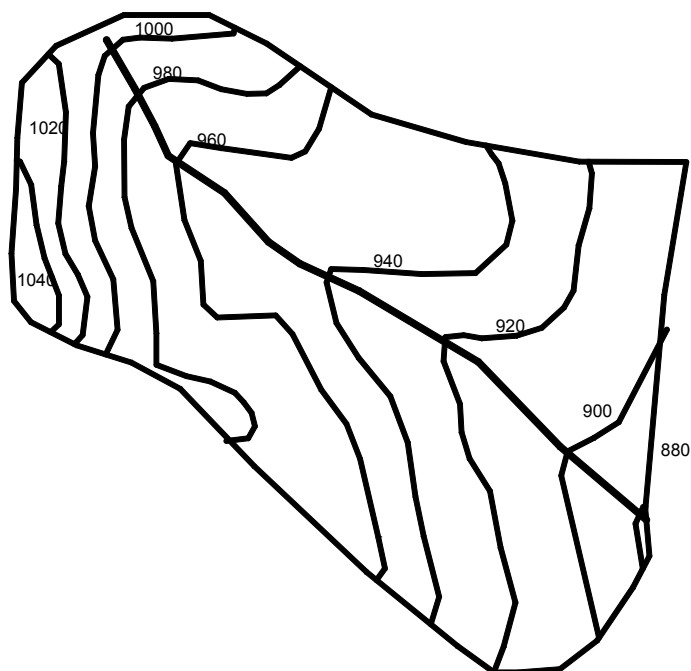
Apuntes de hidrología e hidráulica de ingeniería udv.

ANEXO 1

Delimitación de cuenca y área.

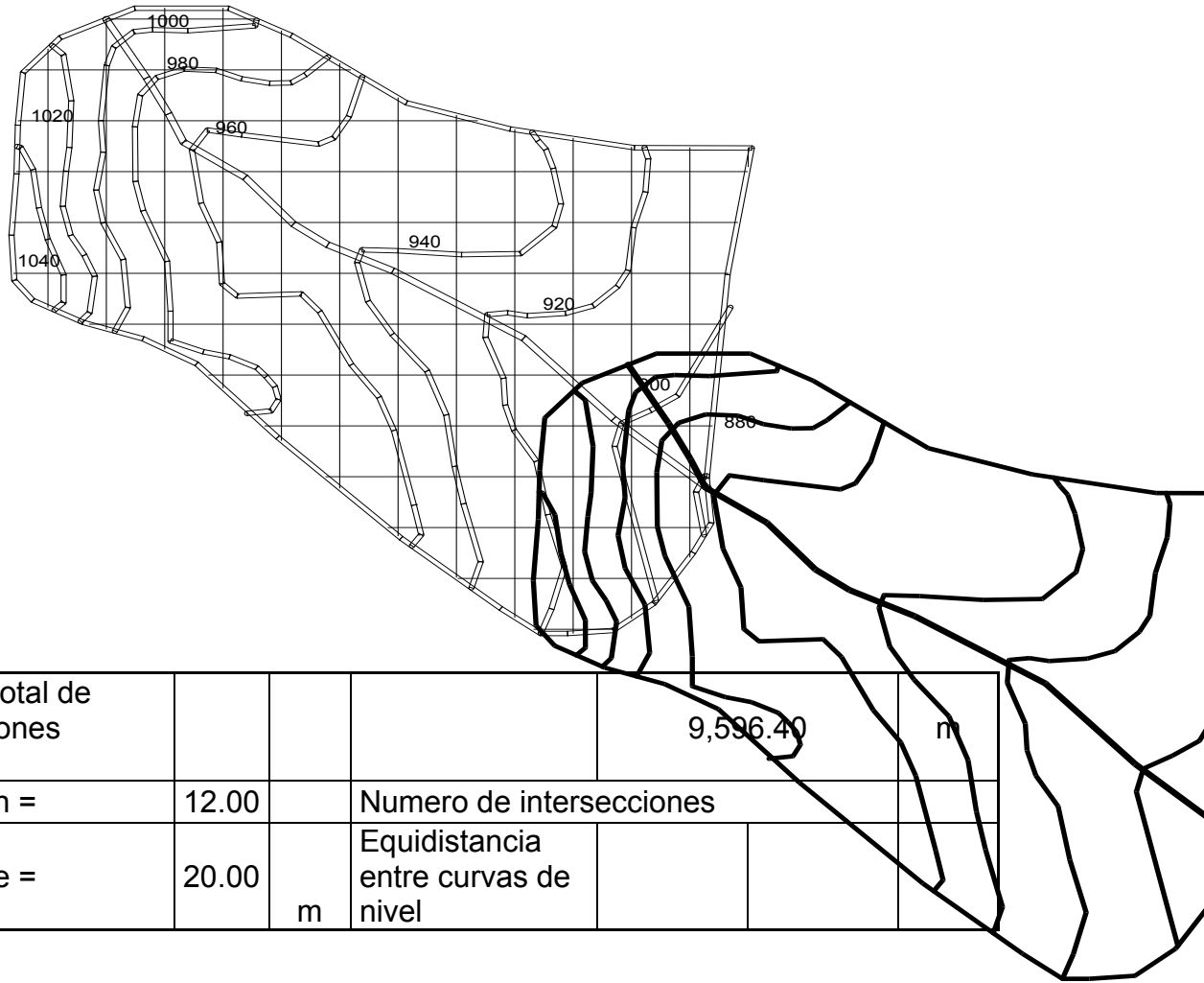


Curvas de nivel de la cuenca.



ANEXO 2

Pendiente media por Horton



Longitud total de intersecciones verticales.				9,596.40	m
n =	12.00		Numero de intersecciones		
e =	20.00	m	Equidistancia entre curvas de nivel		

$$S_y = \frac{n * e}{\sum L_y}$$

Pendiente media vertical.	0.02501
---------------------------	---------

Longitud total de intersecciones horizontales.				8,603.12	m
n =	12.00		Numero de intersecciones		
e =	20.00	m	Equidistancia entre curvas de nivel		

Pendiente media horizontal.	0.02790
-----------------------------	---------

Pendiente media de la cuenca	0.0390
------------------------------	--------

ANEXO 3

Tiempo de concentración por Kirpich.

L =	1,413.12	m
-----	----------	---

$$tc = 0.0662 \times \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

(Hr)

$$tc = 0.0662 \times \frac{1.41312^{0.77}}{0.03896^{0.385}}$$

(Hr)

$$tc = 0.0662 \times \frac{1.30508}{0.28667}$$

(Hr)

Donde:

tc = Tiempo de concentración. (Hr)

L = Longitud del cauce principal. (Km)

Sc = Pendiente media de la cuenca. (Adimensional)

tc	TIEMPO DE CONCENTRACION	18.08	min
-----------	--------------------------------	--------------	------------

ANEXO 4

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA ESTACION PLUVIOMÉTRICA "TARETAN"

MÉTODO DE GUMBEL

Nº	AÑO	Altura máxima (Am) mm/24 hrs	$(Am - \bar{Am})^2$
1	1961	83	32.04
2	1962	60	300.68
3	1963	72	28.52
4	1964	106	821.40
5	1965	40	1394.28
6	1966	82.8	29.81
7	1967	80.8	11.97
8	1968	57.2	405.62
9	1969	74.8	6.45
10	1970	82	21.72
11	1971	51.7	657.41
12	1972	54.4	526.24
13	1973	86	75.00
14	1974	87.5	103.23
15	1975	79.9	6.55
16	1976	83.4	36.72
17	1977	115	1418.28
18	1978	95	311.88
19	1979	76.6	0.55
20	1980	62	235.32
21	1981	63.9	180.63
22	1982	111.9	1194.39
23	1983	110.1	1073.22
24	1984	94.5	294.47
25	1985	103.5	684.35
26	1987	123.1	2093.98
27	1988	19.5	3345.47
28	1989	35.5	1750.59
29	1990	50.9	699.07
		$\sum Am = 2243.00$	$\sum = 17739.79$

Media de la altura de lluvia (M_{am}) 77.34

$$M_{am} = \frac{\sum Am}{n}$$

0.0440433

$$\alpha = \frac{\sigma y}{\sigma}$$

Desviacion estandar (σ) 25.17

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (Am - M_{am})^2}{n - 1}}$$

β 65.186045

$$\beta = M_{am} - \frac{\mu y}{\alpha}$$

ALTURA MAXIMA TR =	1	65.19	mm/24 hrs
ALTURA MAXIMA TR =	2	73.51	mm/24 hrs
ALTURA MAXIMA TR =	5	99.24	mm/24 hrs
ALTURA MAXIMA TR =	10	116.28	mm/24 hrs
ALTURA MAXIMA TR =	25	137.81	mm/24 hrs
ALTURA MAXIMA TR =	50	153.78	mm/24 hrs
ALTURA MAXIMA TR =	100	169.63	mm/24 hrs

$$\beta - \frac{1}{\alpha} \ln \ln \left(\frac{t}{t-1} \right)$$

t= Años

Nota: μy y β son valores tomados de la tabla para distribucion de Gumbel.

ANEXO 5
ANALISIS ESTADISTICO DE LA ESTACION
PLUVIOMETRICA "URUAPAN"

METODO DE GUMBEL

Nº	AÑO	altura máxima mm/24 hrs	$(A_m - M_m)^2$
1	1940	58.7	1340.29
2	1941	68.6	718.78
3	1942	64.4	955.43
4	1943	53.5	1748.08
5	1944	101.6	39.56
6	1945	57	1467.66
7	1946	54.2	1690.03
8	1947	45.7	2461.15
9	1953	48.2	2219.35
10	1954	80.4	222.31
11	1955	167.5	5211.40
12	1956	65	918.70
13	1957	60	1246.80
14	1958	99.5	17.56
15	1959	84	127.92
16	1960	56.5	1506.22
17	1962	88	53.44
18	1963	88	53.44
19	1964	71	590.98
20	1965	48	2238.24
21	1966	86	86.68
22	1967	140	1997.20
23	1968	76	372.88
24	1970	98	7.24
25	1972	112	278.56
26	1974	123	766.74
27	1975	313.5	47606.88
28	1976	172.5	5958.30
29	1977	109	187.42
30	1978	155	3562.90
31	1979	79	266.02
32	1980	105	93.90
33	1981	118	514.84
34	1982	70	640.60
35	1983	140	1997.20
36	1984	123.5	794.68
37	1985	64	980.32
38	1986	102	44.76
39	1987	67	801.46
40	1988	99	13.62
		$\sum A_m = 3812.2$	$\sum = 91799.42$

Media de la altura de lluvia (Mam)

95.31

0.02352405

$$M_{mam} = \frac{\sum Am}{n}$$

$$\alpha = \frac{\sigma y}{\sigma}$$

Desviacion estandar (σ)

48.52

72.2017373

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (Am - M_{mam})^2}{n - 1}}$$

$$\beta = M_{mam} - \frac{Hy}{\alpha}$$

ALTURA MAXIMA TR =	1	72.20	mm/24 hrs
ALTURA MAXIMA TR =	2	87.78	mm/24 hrs
ALTURA MAXIMA TR =	5	135.96	mm/24 hrs
ALTURA MAXIMA TR =	10	167.86	mm/24 hrs
ALTURA MAXIMA TR =	25	208.17	mm/24 hrs
ALTURA MAXIMA TR =	50	238.07	mm/24 hrs
ALTURA MAXIMA TR =	100	267.75	mm/24 hrs

$$\beta - \frac{1}{\alpha} \ln \ln \left(\frac{t}{t-1} \right)$$

t= Años

Nota : σy y Hy son valores tomados de la tabla para distribucion de Gumbel.

ANEXO 5.1

METODO DE ISOYETAS

CALCULOS

Perimetro de la cuenca	4,058.72	m
	966,906.41	m ²
Area de la cuenca	0.9669	km ²

PRECIPITACION POR METODO DE LAS ISOYETAS.

Periodo de retorno		10.00	Años
Duracion		5.00	Min
Area de la cuenca		0.9669	km ²

$$hp = \frac{1}{A_T} * \sum_{i=1}^{n'} h_{pi} A'_i$$

Isoyeta 1	150	mm/hr
Isoyeta 2	185	mm/hr

hp	167.5	mm
----	-------	----

Periodo de retorno		10.00	Años
Duracion		10.00	Min
Area de la cuenca		0.9669	km ²

Isoyeta 1	150	mm/hr
Isoyeta 2	100	mm/hr

hp	125	mm
----	-----	----

Periodo de retorno		10.00	Años
Duracion		20.00	Min
Area de la cuenca		0.9669	km ²

Isoyeta 1	100	mm/hr
Isoyeta 2	100	mm/hr

hp	100	mm
----	-----	----

Periodo de retorno		10.00	Años
Duracion		30.00	Min
Area de la cuenca		0.9669	km ²

Isoyeta 1	90	mm/hr
Isoyeta 2	60	mm/hr

hp	75	mm
----	----	----

Periodo de retorno		10.00	Años
Duracion		60.00	Min
Area de la cuenca		0.9669	km ²

Isoyeta 1	45	mm/hr
Isoyeta 2	75	mm/hr

hp	60	mm
----	----	----

Periodo de retorno		10.00	Años
Duracion		120.00	Min
Area de la cuenca		0.9669	km ²

Isoyeta 1	40	mm/hr
Isoyeta 2	30	mm/hr

hp	35	mm
----	----	----

Periodo de retorno		10.00	Años
Duracion		240.00	Min
Area de la cuenca		0.9669	km ²

Isoyeta 1	20	mm/hr
Isoyeta 2	15	mm/hr

hp	17.5	mm
----	------	----

Periodo de retorno		20.00	Años
Duracion		5.00	Min
Area de la cuenca		0.9669	km ²

Isoyeta 1	200	mm/hr
Isoyeta 2	150	mm/hr

hp	175	mm
----	-----	----

Periodo de retorno		20.00	Años
Duracion		10.00	Min
Area de la cuenca		0.9669	km ²

Isoyeta 1	100	mm/hr
Isoyeta 2	150	mm/hr

hp	125	mm
----	-----	----

Periodo de retorno		20.00	Años
Duracion		20.00	Min
Area de la cuenca		0.9669	km ²

Isoyeta 1	120	mm/hr
Isoyeta 2	80	mm/hr

hp	100	mm
----	-----	----

Periodo de retorno		20.00	Años
Duracion		30.00	Min
Area de la cuenca		0.9669	km ²

Isoyeta 1	80	mm/hr
Isoyeta 2	80	mm/hr

hp	80	mm
----	----	----

Periodo de retorno		20.00	Años
Duracion		60.00	Min
Area de la cuenca		0.9669	km ²

Isoyeta 1	60	mm/hr
Isoyeta 2	70	mm/hr

hp	65	mm
----	----	----

Periodo de retorno		20.00	Años
Duracion		120.00	Min
Area de la cuenca		0.9669	km ²

Isoyeta 1	40	mm/hr
Isoyeta 2	30	mm/hr

hp	35	mm
----	----	----

Periodo de retorno		20.00	Años
Duracion		240.00	Min
Area de la cuenca		0.9669	km ²

Isoyeta 1	20	mm/hr
Isoyeta 2	15	mm/hr

hp	17.5	mm
----	------	----

Periodo de retorno		25.00	Años
Duracion		5.00	Min
Area de la cuenca		0.9669	km ²

Isoyeta 1	200	mm/hr
Isoyeta 2	150	mm/hr

hp	175	mm
----	-----	----

Periodo de retorno		25.00	Años
Duracion		10.00	Min
Area de la cuenca		0.9669	km ²

Isoyeta 1	100	mm/hr
Isoyeta 2	150	mm/hr

hp	125	mm
----	-----	----

Periodo de retorno		25.00	Años
Duracion		20.00	Min
Area de la cuenca		0.9669	km ²

Isoyeta 1	100	mm/hr
Isoyeta 2	150	mm/hr

hp	125	mm
----	-----	----

Periodo de retorno		25.00	Años
Duracion		30.00	Min
Area de la cuenca		0.9669	km ²

Isoyeta 1	90	mm/hr
Isoyeta 2	60	mm/hr

hp	75	mm
----	----	----

Periodo de retorno		25.00	Años
Duracion		60.00	Min
Area de la cuenca		0.9669	km ²

Isoyeta 1	80	mm/hr
Isoyeta 2	60	mm/hr

hp	70	mm
----	----	----

Periodo de retorno		25.00	Años
Duracion		120.00	Min
Area de la cuenca		0.9669	km ²

Isoyeta 1	40	mm/hr
Isoyeta 2	30	mm/hr

hp	35	mm
----	----	----

Periodo de retorno		25.00	Años
Duracion		240.00	Min
Area de la cuenca		0.9669	km ²

Isoyeta 1	20	mm/hr
Isoyeta 2	15	mm/hr

hp	17.5	mm
----	------	----

Periodo de retorno		50.00	Años
Duracion		5.00	Min
Area de la cuenca		0.9669	km ²

Isoyeta 1	200	mm/hr
Isoyeta 2	150	mm/hr

hp	175	mm
----	-----	----

Periodo de retorno		50.00	Años
Duracion		10.00	Min
Area de la cuenca		0.9669	km ²

Isoyeta 1	100	mm/hr
Isoyeta 2	150	mm/hr

hp	125	mm
----	-----	----

Periodo de retorno		50.00	Años
Duracion		20.00	Min
Area de la cuenca		0.9669	km ²

Isoyeta 1	100	mm/hr
Isoyeta 2	150	mm/hr

hp	125	mm
----	-----	----

Periodo de retorno		50.00	Años
Duracion		30.00	Min
Area de la cuenca		0.9669	km ²

Isoyeta 1	103	mm/hr
Isoyeta 2	128	mm/hr

hp	115.5	mm
----	-------	----

Periodo de retorno		50.00	Años
Duracion		60.00	Min
Area de la cuenca		0.9669	km ²

Isoyeta 1	60	mm/hr
Isoyeta 2	80	mm/hr

hp	70	mm
----	----	----

Periodo de retorno		50.00	Años
Duracion		120.00	Min
Area de la cuenca		0.9669	km ²

Isoyeta 1	50	mm/hr
Isoyeta 2	40	mm/hr

hp	45	mm
----	----	----

Periodo de retorno		50.00	Años
Duracion		240.00	Min
Area de la cuenca		0.9669	km ²

Isoyeta 1	20	mm/hr
Isoyeta 2	25	mm/hr

hp	22.5	mm
----	------	----

ANEXO 6

Metodo racional con precipitaciones por Gumbel

AREA Km^2	LONGITUD DEL CAUCE Km	PENDIENTE MEDIA Sc	COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO C	TIEMPO DE CONCENTRACION tc	PERIODO DE RETORNO años	INTENSIDAD DE LLUVIA		GASTO $Q=M^3/Seg$
						mm/hr	mm/hr	
0.9669	1.4131	0.0390	0.2000	18.08	5	135.96		7.309
					10	167.86		9.024
					25	208.17		11.191
					50	238.07		12.799

Metodo racional con precipitaciones por isoyetas

AREA Km^2	LONGITUD DEL CAUCE Km	PENDIENTE MEDIA Sc	COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO C	TIEMPO DE CONCENTRACION tc	PERIODO DE RETORNO años	INTENSIDAD DE LLUVIA		GASTO $Q=M^3/Seg$
						mm/hr	mm/hr	
0.9669	1.4131	0.0390	0.2000	18.08	5	103.00		5.537
					10	103.00		5.537
					25	128.00		6.881
					50	153.00		8.225

ANEXO 7									
CAUDAL INFILTRADO									
AREA	LONGITUD DEL CAUCE	PENDIENTE MEDIA	COEFICIENTE DE INFILTRACION	TIEMPO DE CONCENTRACION	PERIODO DE RETORNO	INTENSIDAD DE LLUVIA	GASTO	GASTO	GASTO
Km ²	Km	Sc	C	tc	años	mm/hr	Q=M ³ /Seg	Q=Lt/Seg	
0.9669	1.4131	0.0390	0.0035	18.08	5	135.96	0.128	127.914	
					10	167.86	0.158	157.926	
					25	208.17	0.196	195.845	
					50	238.07	0.224	223.977	

ANEXO 8

CAPACIDAD HIDRAULICA DE LA ALCANTARILLA

PERIODO DE RETORNO 50 AÑOS

CONDICION	LONGITUD	ELEVACION ENTRADA	ELEVACION SALIDA	DESNIVEL	PENDIENTE	PIEZAS	DIAMETRO TUBERIA	AREA TUBO A 1/4	PERIMETRO MOJADO	RADIO HIDRAULICO	COEFICIENTE RUGOSIDAD	VELOCIDAD	GASTO	GASTO DEL CAUDAL	CAPACIDAD TRABAJO
	m	m	m	m	m		m	A= m ²	Pm= m	Rh= m	n	m/Seg	m ³ /seg	m ³ /seg	%
TUBO DE PVC	500	1035.40	1005.97	29.4300	0.0589	2	0.20	0.16	0.1571	0.0500	0.0015	21.9516	6.8963	0.224	3%
TUBO DE PVC													4.7544		5%
TUBO DE PVC													2.1722		10%

ANEXO 9

Fotos del lugar del proyecto



Vista de la carretera en el km 113+250 Uruapan – N.V. Italia.



ANEXO 10



Foto del daño hundimiento y filtración en carpeta asfáltica.



ANEXO 11



Filtración en plena base hidráulica.



