

ANÁLISIS DE FALLAS PREMATURAS POR DRENAJE INTERNO APLICADO AL TRAMO “TÚNEL FALDA DE LA QUEÑUA-CRUCES SAN LORENZO

1.2.1. - Introducción.

La mayoría de las carreteras en nuestro país tienen fallas prematuras que son ocasionadas por el agua superficial como el subterráneo provocando en la carretera daños estructurales y funcionales impidiendo que cumplan su vida útil para la que fueron proyectadas y como consecuencia hay deterioros y fallas prematuras, que se deben investigar a profundidad y que pueden darse debido al flujo interno; he aquí algunas observaciones:

- ◆ Estudio de las aguas subterráneas.
- ◆ Un estudio geotécnico.
- ◆ Antecedentes del lugar tipo de suelo, hidrología, clima.etc.

Podría ser que los tráficos exceden los límites de carga o que el tránsito real supera las proyecciones de diseño, pero el problema está en los vacíos de las partículas que existen, el paquete estructural que estos vacíos se saturan con el agua ya sea por infiltración debido a la capilaridad o percolación y el agua subterránea que asciende provocando una deficiencia en la carretera. Cuando pasan las diferentes cargas la presión ejercida en el paquete estructural hace que fallen las capas de rodadura, la base, subbase no trabajen y que la presión esté ejerciendo a su totalidad en la subrasante provocando supresión.

Se sabe que la mayor parte de los suelos, cuando están secos, dan un soporte adecuado a las cargas de tráfico a las que se someten directamente a través de un pavimento. Por ello, es necesario efectuar las obras necesarias para mantener el tramo de la carretera “TÚNEL FALDA DE LA QUEÑUA –CRUCES SAN LORENZO” si bien

completamente seco, por lo menos con una humedad que no sea perjudicial a la estructura vial, el drenaje subterráneo puede reducir a los límites aceptables la evacuación de agua libre y subterráneo.

Cuando en nuestro país se inicia en época de lluvia, las carreteras troncales se ven muy afectadas y colapsando muchas de ellas impidiendo el flujo de tráfico y perjudicando a los usuarios.

El caso del tramo " TÚNEL FALDA DE LA QUEÑUA –CRUCE SAN LORENZO" que se estudia en este trabajo es interesante, porque es el típico caso de falla de un pavimento prematuro debido al drenaje interno de agua, es representativo de varios tramos o avenidas que hoy por hoy se encuentran en el mismo estado.

Este estudio igualmente tiene relevancia para comprender lo que sucedió en el tramo de estudio, ya que permitirá conocer las causas de este deterioro tan rápido.

Se podrá así saber el porqué del fallo en el pavimento para luego sacar conclusiones y no volver a cometer los mismos errores, siempre con el objetivo de mejorar la calidad del servicio.

1.2.2.-Fundamentacion teórica.-

a) Los problemas que se presentan en las vías terrestres debido al agua subterránea se debe a una saturación incontrolada y al desarrollo de presiones de poro imprevistas. Aquí juega un papel fundamental la acción capilar del agua.

Es por eso, que hoy en día la alternativa mejor utilizada para el control de la estabilidad de los caminos es la instalación de subdrenes, la cual tiende a mantener el agua subterránea alejada de la obra básica de la subrasante. Aquellas personas encargadas de la estabilidad de las masas de tierras en carreteras, saben que ésta depende de la correlación existente entre la época de lluvias y la intensidad de las

mismas con las fallas, que es tan claro deducir que la obra necesita de la instalación de subdrenes.

El subdrenaje es conveniente y beneficioso, pero muchas de las veces tiene un costo bastante elevado, sin embargo, debería prescindirse del mismo debido al beneficio que a largo o corto plazo proporciona el subdrenaje. Al considerar la relación beneficio – costo se concluye que el subdrenaje es un arma valiosa cuya justificación económica es indiscutible. En este sentido, la importancia que tenga la vía de acuerdo al movimiento económico y cultural se deberá condicionar la medida de la frecuencia e intensidad de aplicación de subdrenaje; además de esto, se requiere de una buena información sobre la disposición y naturaleza de los materiales naturales en donde se pretende construir el subdren.

b) En nuestro país existe preocupación para prevenir la presencia de aguas subterráneas y superficiales que ocasionan fallas prematuras debido al drenaje interno, tomándose en consideración aspectos determinantes como son el diseño del pavimento, diseño de drenajes subterráneos y subdrenajes para así prevenir los problemas funcionales como estructurales en las capas de pavimento.

Las estructuras que se proyectan para controlar el flujo de agua superficial se llaman por lo general drenajes superficiales, en tanto que aquellas relacionadas con el agua subterránea en sus diferentes formas se llaman drenajes subterráneos o subdrenaje. El flujo de agua superficial que tiene importancia para los ingenieros de carreteras, es el que resulta de la precipitación en forma de lluvia, una parte de ésta se infiltra en el suelo para formar las aguas subterráneas, mientras que el resto permanece sobre la superficie del terreno y debe ser eliminado de alguna manera lo más lejos de la estructura de la carretera.

Las técnicas que podrían solucionar o hacer más eficiente a la carretera son los diseños subdrenaje donde su principal función es mantener el agua subterránea fuera de la estructura de pavimento flexible porque son dispositivos de:

- ◆ Control de la infiltración en cortes o sobre laderas.
- ◆ Abatimiento del nivel de aguas freáticas.
- ◆ Drenaje poco profundo de la base y subrasante.

Por lo general, el drenaje subterráneo de una carretera, consiste por lo regular de capas permeables en pavimentos, subdrenes interceptores transversales, drenes de penetración transversal, pozos de alivio, capas permeables profundas con remoción de material, trincheras estabilizadoras, galerías filtrantes, zanjas drenantes, drenes ciegos; estas técnicas tienen diferentes procesos de construcción.

Todos estos métodos serán aplicados pero teniendo en cuenta el lugar donde se ubicarán dando una solución al problema del agua subterránea y alejándola de la carretera.

Las aguas subterráneas son el primer problema que hay que analizar si el agua subterránea por ascenso de la capilaridad provocará debilitamiento al llegar en la subrasante produciendo una falla que podría ser hundimiento, deformación u otra falla, es por eso que es necesario para el estudiante ver o enfocarse en temas nuevos donde el conocimiento y guía del docente podrán evaluar y analizar porqué se dio la falla prematura por presencia del agua subterránea.

Este trabajo de las fallas prematuras ayudará a ver las fallas ocasionadas en las capas de los pavimentos. Por esta razón, nuestro aporte a futuros estudiantes de la carrera, será un diseño teórico, diseño metodológico en el cual el problema se solucionará con diseños de drenajes subterráneos o subdrenes, ya realizados en nuestro país y en otros buscando la factibilidad y eficiencia del drenaje interno.

En nuestro proyecto evaluaremos y analizaremos las fallas prematuras por influencia del drenaje interno en el tramo "TÚNEL FALDA DE LA QUEÑUA –CRUCE SAN LORENZO" dando alternativas de solución pero siempre velando la factibilidad de estos diseños de drenajes.

1.2.3.-DISEÑO TEORICO.-

a).- Situación problemica.-

- ◆ La falta de un diseño de subdrenaje provoca deficiencias prematuras como deformaciones, hundimientos, desplazamientos internos.
- ◆ Al aumentar el contenido del agua en el subsuelo por influencia del drenaje interno hay un aumento de su peso lo cual ocasiona repercusiones en la estabilidad provocando fallas prematuras. Cuando las capas estructurales están completamente saturadas, la transmisión de esfuerzos que se genera cuando se inicia el paso de las cargas vehiculares, se da en forma casi completamente vertical, en consecuencia, el esfuerzo que le es transmitido directamente a la subrasante es casi igual al que se está generando en la superficie de rodadura.
- ◆ El debilitamiento de las capas del pavimento es por influencia del agua superficial y subterráneo ocasionando pérdida de adherencia entre capas y un deslizamiento interno de las capas degradando las estructuras del pavimento.
- ◆ Cabe señalar además que, cuando el material ha sido estabilizado, se presenta un daño adicional como las cargas de los vehículos, son dinámicas y se desplazan permanentemente, el tránsito genera en el agua atrapada ondas de presión que viajan en todas las direcciones, se estrellan unas con otras, y rompen la ligazón entre las partículas, haciendo que desaparezca la cohesión agregada al material.
- ◆ Como consecuencia de las diferencias elásticas de los materiales, cuando el agua llena los espacios vacíos entre las partículas minerales, las presiones ejercidas por el tránsito, como ya se dijo, viajan a través de ella y se trasmiten sin ningún alivio hasta llegar al suelo de subrasante, hecho que impide a las capas de base y subbase cumplir con su función estructural de diseño.

Problema.-

¿Cuál es la consecuencia del agua subterránea que incide en las fallas prematuras por el drenaje interno en la estructura del pavimento del tramo “TÚNEL FALDA DE LA QUEÑUA–CRUCE SAN LORENZO”?

b) OBJETIVOS DEL TRABAJO

Objetivo general

Analizar la presencia de fallas prematuras por drenaje interno en el tramo “TÚNEL FALDA DE LA QUEÑUA –CRUCE SAN LORENZO” mediante una evaluación del tramo de estudio y buscando tres alternativas de solución con la finalidad mejorar la eficiencia del drenaje interno.

Objetivo específicos.-

- ◆ Analizar los aspectos generales sobre el drenaje interno en los pavimentos.
- ◆ Establecer las características de las fallas en los pavimentos.
- ◆ Evaluar en la tramo “TÚNEL FALDA DE LA QUEÑUA –CRUCE SAN LORENZO” todas las fallas prematuras por drenaje interno y clasificarlos con el catálogo de deterioros de pavimentos flexibles.
- ◆ Efectuar una investigación extensiva sobre los factores relevantes y mecanismos que originaron las fallas prematuras debido al drenaje interno en los pavimentos flexibles, las características de la mezcla asfáltica y agregados; el comportamiento estructural global del pavimento, en estudio.
- ◆ Establecer a partir del análisis las acciones recomendables para prevención y rehabilitación de fallas en el tramo de estudio.
- ◆ En función al desarrollo del trabajo y los resultados que se obtendrán en la aplicación práctica establecer conclusiones y recomendaciones.

c) Hipótesis.-

Ante la presencia de agua subirá o bajará la permeabilidad si existe más drenaje interno en el tramo “TÚNEL FALDA DE LA QUEÑUA –CRUCE SAN LORENZO” por lo que existirá menos fallas prematuras por influencia del agua subterránea en la estructura del pavimento.

d) Definición de variable conceptuales y operacionales

◆ Variable dependiente.-

Si existe o no fallas prematuras.

◆ Variable independiente.-

Evaluación del drenaje interno.

1.2.4.-Diseño metodológico.-

Unidad de estudio.-

- ◆ Fallas que se producen por causas del agua subterránea en el pavimento del tramo de estudio.

Población.-

- ◆ Todas las fallas que se presentan en el tramo “TUNEL FALDA DE LA QUEÑUA –CRUCE SAN LORENZO” a causa del agua subterránea.

Muestreo.-

- ◆ De la población del tramo de estudio se evaluarán todas las fallas que existen, pero de todas las que se encontraran buscaremos 10 puntos más críticos que se originaron por la influencia agua subterránea.

Muestra.-

- ◆ Una vez ubicados los 10 puntos más críticos procederemos a la extracción de la muestra donde haremos pozos circulares, cavaremos hasta la presencia de agua subterránea y extraeremos el extracto para su estudio en el laboratorio de suelos.

b).-Métodos técnicas y procedimiento.-

- ◆ El método que aplicaremos es experimental.
- ◆ El presente trabajo busca tres alternativas de diseño de obras de drenaje subterráneo; se usará un método experimental porque serán necesarias las técnicas y medios que se utilizarán en este método para tener un óptimo trabajo en el momento de realizar el diseño de obras de drenaje subterráneo.
- ◆ Se procederá a obtener todos los datos del tramo de estudio "FALDA LA QUEÑUA –CRUCE SAN LORENZO", la topografía del tramo, la longitud de la carretera, diseño de los espesores de pavimento flexible, las obras de drenaje en el tramo de estudio.
- ◆ Luego procederemos a marcar en qué progresivas de la carretera están las fallas prematuras originadas por influencia del agua subterránea.
- ◆ Una vez marcados los puntos de extracción procedemos a cavar ya sea con una pala mecánica o de forma manual hasta llegar a la presencia de agua subterránea y con una bomba o de forma manual secaremos el pozo y luego mediremos las dimensión del pozo que tendrá una forma circular para luego aforar y calcular el caudal de infiltración y mediremos a qué altura está el nivel freático.
- ◆ Una vez obtenidos los datos del aforo del caudal de infiltración extraeremos las muestras de extractos de los diferentes pozos y los llevaremos en sacos de plástico.
- ◆ Estos sacos de plástico estarán enumeradas en forma secuencial en función a los diferentes puntos críticos.

análisis de los datos.-

- ◆ Una vez obtenidas las muestras de los puntos críticos haremos estudios de laboratorio de suelos de los siguientes ensayos:

granulometría, contenido de humedad, compactación de suelos, límite líquido y plástico, permeabilidad.

- ◆ Al calcular estos ensayos: verificaremos y analizaremos los resultados y en función a estos resultados buscaremos alternativas de diseño de subdrenajes.
- ◆ Se elegirá tres alternativas más factibles para cada punto crítico en base al tipo de falla prematura por influencia del agua subterránea que se presente para cada caso.
- ◆ Una vez concluido el trabajo realizaremos las conclusiones y recomendaciones en función al problema si se logró solucionar y si se cumplió el objetivo.

Medios.-

Para realizar los aforos del caudal y estudio de suelos se necesitarán:

En el tramo de estudio.-

- ◆ Cronómetro
- ◆ Cinta métrica
- ◆ Balde
- ◆ Pala
- ◆ Picota
- ◆ Barreno

En el laboratorio de suelos.-

- ◆ Juego de tamices
- ◆ Contenido de humedad
- ◆ Compactación de suelos t-180 ó t 99
- ◆ Permeabilidad
- ◆ Límites líquidos y plástico.

C.-Preparación para la aplicación de instrumentos.-

Descripción de equipos.-

Se nombrarán los equipos a usar para la realización de los ensayos de laboratorio:

Granulometría.-

Granulometría es la determinación de los porcentajes de grava, arena, limo y arcilla que se encuentra en cierta masa de suelo.

Este método se usa en caso de que los suelos sean granulares lo que permite fácilmente determinar los porcentajes de grava y arena mediante el uso de un juego de tamices.

1.-Juego de tamices.-

Estos tamices con aberturas calibradas, varían desde 10.16 cm que equivale a 4' hasta 0.074 mm que equivale al tamiz N° 200 que significa que una pulgada está dividida en 200 partes iguales.

2.- Contenido de humedad.-

- ◆ Recolectar muestras de suelo para realizar posteriores prácticas
- ◆ Determinar el grado de humedad de esta muestra
- ◆ Caracterización de las muestras
- ◆ Familiarizarse con la recolección de muestras

Los materiales y equipos utilizados en la siguiente práctica de laboratorio son:

- ◆ Pala
- ◆ Bolsas de polietileno
- ◆ Pico
- ◆ Recipientes para humedad (aluminio o latón)
- ◆ Horno con control de temperatura Adecuada (105-101)°C
- ◆ Balanza de precisión

- ◆ Marcador
- ◆ Espátula

3.- Ensayo de compactación de suelos T-180 O T 99.-

EQUIPO DE COMPACTACIÓN.-

Determinar la humedad óptima de un suelo con la cual alcanzará su densidad máxima en la compactación

MATERIALES Y EQUIPO.-

- ◆ Molde cilíndrico de diámetro de 6", y una altura de 7 a 8".
- ◆ Collarín de 2" de altura.
- ◆ Base perforada.
- ◆ Regla metálica.
- ◆ Disco espaciador de acero de 2,5" de altura.
- ◆ Pistón o martillo de 10 lb con altura de caída de 18".

4.- Permeabilidad.

MATERIALES Y EQUIPO.

- ◆ Permeámetro
- ◆ Tanque altura constante
- ◆ Conductos largos (tuberías)
- ◆ Piezómetros, con escalas métricas para medir la altura del agua
- ◆ Balanza con precisión mínima de 0.5 g
- ◆ Horno de secado, capaz de mantener una temperatura de 100-+5 °C
- ◆ Termómetro
- ◆ Cronómetro

5.- Límite líquido (L.L).-

Es el contenido de humedad de un suelo expresado en porcentaje con respecto al peso seco del suelo, el cual cambia del estado líquido al plástico. Los suelos plásticos tienen en el límite líquido una resistencia muy pequeña al esfuerzo de corte.

La cohesión de un suelo en el límite líquido es prácticamente nula.

Límite plástico.-

Se define como el contenido de humedad, expresado en por ciento con respecto al peso seco de la muestra secada al horno, para el cual los suelos cohesivos pasan de un estado semisólido a un estado plástico.

Para determinar el límite plástico, se hace uso del material que, mezclado con agua, ha sobrado de la prueba del límite líquido y a la cual se le evapora humedad por mezclado hasta tener una mezcla práctica que sea fácilmente moldeable.

Materiales empleados en la siguiente práctica de laboratorio son:

- ◆ Horno a temperatura constante de 105°C.
- ◆ Espátula.
- ◆ Tamiz número 40.
- ◆ Recipientes con tapa para secar las muestras.
- ◆ Balanza con precisión de 0,001 gr.
- ◆ Base de vidrio.
- ◆ Cápsula de porcelana.
- ◆ Copa de Casagrande

FALLAS EN LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES

2.1.-Introducción.

En pavimentos, la palabra falla se utiliza tanto para verdaderos colapsos como deterioros simples. Una falla es algo que se aparta de lo que se consideró perfecto.

Causas de las fallas en los pavimentos.-

Las causas de las fallas en los pavimentos son muy numerosas y diversas, sin embargo, podemos decir que básicamente son:

- ◆ de índole cuantitativo (cantidad de vehículo, clasificación vehicular, peso por eje, etc.)
- ◆ de índole cualitativo (calidad de los materiales, calidad de construcción, tipo de pavimento, calidad del terreno natural, etc.).
- ◆ de índole aleatorio (clima, lluvia, humedad, etc.).

Estos factores son a la vez causas y efectos, es decir, cuando las fallas son evidentes, se vuelven la causa de nuevas fallas y éstas se empiezan a desarrollar más rápidamente.

Hay autores que consideran las fallas y sus características de acuerdo a los factores siguientes:

- ◆ el tránsito
- ◆ condiciones climáticas, el medio ambiente y sus consecuencias.
- ◆ diseño del pavimento.
- ◆ la calidad de los materiales de construcción.

La humedad de las capas del firme y de la explanación en una carretera, es uno de los factores que más influyen en su comportamiento estructural. Un aumento de la misma conlleva normalmente una significativa disminución de su capacidad de soporte, y además puede dar lugar a fenómenos físicos y químicos (colapsos, expansividad, disolución, etc.) perjudiciales para su comportamiento y para la durabilidad del conjunto de la plataforma.

2.2.- Conceptualización.-

2.2.1.-Definición de las capas de un pavimento.-

Las capas de un pavimento están compuestas de material seleccionado que reciben en forma directa las cargas del tránsito y las transmiten a los estratos inferiores en forma disipada, proporcionando una superficie de rodamiento, la cual debe funcionar eficientemente.

Desde el punto de vista de diseño, los pavimentos flexibles están formados por una serie de capas y la distribución de la carga está determinada por las características propias del sistema.

2.2.2.-Capa de fundación o subrasante.-

De la calidad de esta capa depende, en gran parte, el espesor que debe tener un pavimento, sea éste flexible o rígido. Como parámetros de evaluación de esta capa se emplea la capacidad de soporte o resistencia a la deformación por esfuerzo cortante de las cargas del tránsito.

Es necesario tener en cuenta la sensibilidad del suelo a la humedad, tanto en lo que se refiere a la resistencia como a las eventuales variaciones de volumen (hinchamiento–retracción).

Los cambios de volumen de un suelo de subrasante de tipo expansivo pueden ocasionar graves daños en las estructuras que se apoyen sobre éste, por esta razón cuando se construya un pavimento sobre este tipo de suelo deberá tomarse la precaución de impedir las variaciones de humedad del suelo para lo cual habrá que pensar en la impermeabilización de la estructura. Otra forma de enfrentar este problema es mediante la estabilización de este tipo de suelo con algún aditivo, en nuestro medios los mejores resultados se han logrado mediante la estabilización de suelo con cal.

2.2.3.-Capa subbase.-

Es la capa de la estructura de pavimento destinada fundamentalmente a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad las cargas aplicadas a la superficie de

rodadura de pavimento, de tal manera que la capa de la subrasante la puede soportar absorbiendo las variaciones inherentes a dicho suelo que puedan afectar a la sub base.

La subbase debe controlar los cambios de volumen y elasticidad que serían dañinos para el pavimento.

Se utiliza además como capa de drenaje y controlador de ascensión capilar de agua, protegiendo así a la estructura de pavimento, por lo que generalmente se usan materiales granulares.

El material de subbase deberá ser seleccionado y tener mayor valor soporte (C.B.R.) que el material de subrasante y su espesor será variable por tramos, dependiendo de las condiciones y características de los suelos existentes en la subrasante.

La subbase es la capa de material que se construye directamente sobre la terracería y su función es:

- ◆ Reducir el costo de pavimento disminuyendo el espesor de la base.
- ◆ Proteger a la base aislándola de la terracería, ya que, si el material de la terracería se introduce en la base, puede sufrir cambios volumétricos generados al cambiar las condiciones de humedad dando como resultado una disminución en la resistencia de la base.
- ◆ Proteger a la base impidiendo que el agua suba por capilaridad.
- ◆ Transmitir y distribuir las cargas a las terracerías.

2.2.4.-Capa base.-

La base es la capa de material que se construye sobre la subbase. Los materiales con los que se construye deben ser de mejor calidad que los de la subbase; la función de la base es:

- ◆ Tener la resistencia estructural para soportar las presiones transmitidas por los vehículos.

- ◆ Tener el espesor suficiente para que pueda resistir las presiones transmitidas a la subbase.
- ◆ Aunque exista humedad la base no debe presentar cambios volumétricos perjudiciales.

La base de un pavimento consiste en proporcionar un elemento resistente a la acción de las cargas del tránsito y capaz de transmitir los esfuerzos resultantes con intensidades adecuadas a las capas inferiores. La base en muchos casos debe también drenar el agua que se introduzca a través de la carpeta, así como impedir la ascensión capilar del agua que provenga de niveles inferiores.

2.2.5.-Capa de rodadura.-

La capa de rodadura debe proporcionar en el pavimento una superficie de rodamiento estable, capaz de resistir la aplicación directa de las cargas, la fricción de las llantas, los esfuerzos de drenaje, los impactos, éste debe tener la textura necesaria para permitir un rodamiento seguro y cómodo. La naturaleza de esta capa debe ser tal que resista la acción de los agentes del intemperismo.

La exposición directa a las cargas del tránsito y la indeformabilidad necesaria para el buen servicio implican que la carpeta esté formada con material que ofrezca suficiente resistencia bajo condiciones de presión normal exterior o sea que se requiere un material que posea cohesión.

En todos los métodos de diseño de pavimentos se acepta que durante la vida útil de la estructura se pueden producir dos tipos de fallas, la funcional y la estructural.

2.2.6.-Falla funcional.- La falla funcional se deja ver cuando el pavimento no brinda un paso seguro sobre él, los vehículos no viajan de forma cómoda.

2.3.-Falla estructural.-

La falla estructural está asociada con pérdida de cohesión de algunas o todas las capas del pavimento de tal forma que éste no pueden soportar las cargas a la que está sometida.

La falla estructural implica una degradación de la estructura del pavimento. Se presenta cuando los materiales que conforman la estructura, al ser sometida a repeticiones de carga por acción del tránsito, sufren un agrietamiento estructural relacionado con la deformación o la tensión horizontal por tracción en la base de cada capa, esto se denomina falla por fatiga.

Las fallas en los pavimentos flexibles pueden ser:

- ◆ **Fallas por insuficiencia estructural:** se trata de pavimentos contruidos con materiales inapropiados en cuanto a resistencia o con materiales de buena calidad, pero en espesor insuficiente.
- ◆ **Fallas por defectos constructivos:** se trata de pavimentos que quizá estuvieron formados por materiales suficientemente resistentes, pero en cuya construcción se han producido errores o defectos que afectan el comportamiento conjunto.
- ◆ **Fallas por fatigas:** se trata de pavimentos que originalmente estuvieron en condiciones apropiadas, pero que por la continua repetición de las cargas del tránsito sufrieron efectos de fatiga.
- ◆ **Fallas por influencia del agua:** los pavimentos tienen grandes superficies expuestas a las condiciones ambientales, lluvias y al tráfico. Cuando aumenta el contenido de agua en los materiales de base y subbase, se da una disminución en la capacidad portante de estos y un incremento en la tasa de pérdida de serviciabilidad del pavimento. Cuando el agua satura totalmente estas capas y llena los vacíos y los espacios o las aperturas en los límites entre las capas, las cargas pesadas aplicadas por las ruedas a la capa de rodadura de esos pavimentos, producen impactos en el agua que son comparables a la acción de un tipo de “martillo de agua”. Las presiones de los pulsos de agua que se dan por la acción de las ruedas pueden acumular su efecto dañino causando, no sólo erosión y expulsión de material, sino la eliminación, por levantamiento, del material asfáltico que

compone las capas estabilizadas de base y subbase. La acción del agua también puede desintegrar bases tratadas con cementos, debilitando las capas por el reacomodo de finos en la estructura interna, sobrecargando la subrasante por los nuevos espesores insuficientes, además de otros efectos dañinos.

Un vehículo que circula sobre el pavimento desarrolla presión entre el fondo de la losa o la carpeta flexible, y la subrasante, lo que permite liberar agua (si hay en la subrasante) y hace que ésta fluya en una dirección en la que pueda escapar.

La magnitud de la presión es, por supuesto, dependiente de la deflexión de la carpeta o losa del pavimento y del grado de confinamiento del agua.

El agua en principio sólo escapa a través de las juntas o de las grietas existentes, estos sitios de liberación de presión de aguas no son suficientes y por lo tanto la carpeta tiende a levantarse y destruirse con el paso de vehículos

2.4.- Tipos de fallas en los pavimentos flexibles.-

Los daños que presenta una estructura de pavimento flexible pueden ser clasificados en cuatro categorías: según el “MANUAL PARA LA INSPECCIÓN VISUAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES”:

- ◆ Fisuras
- ◆ Deformaciones
- ◆ Pérdida de capas estructurales
- ◆ Daños superficiales
- ◆ Otros daños

Dentro de cada categoría existen diferentes deterioros que se originan por diversos factores, algunos de los cuales se han establecido mediante la revisión bibliográfica, y otros mediante evaluación de campo y ensayos de laboratorio.

A continuación se presenta la definición de cada uno de estos deterioros, sus severidades (clasificadas en Baja, Media y Alta), la forma de medir el daño y las unidades de medida, sus posibles causas y la evolución probable, todo ello acompañado de un registro fotográfico que permite al lector tener una idea más clara de los daños que se pueden encontrar durante una inspección visual típica.

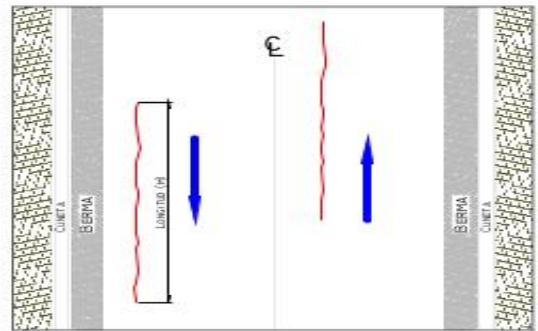
La abreviatura con la cual se registrará cada tipo de daño en el formato de campo aparece entre paréntesis.

2.4.1.-FISURAS

2.4.1.1.-Fisuras longitudinales y transversales (FL, FT).

Corresponden a discontinuidades en la carpeta asfáltica, en la misma dirección del tránsito o transversales a él. Son indicios de la existencia de esfuerzos de tensión en alguna de las capas de la estructura, los cuales han superado la resistencia del material afectado. La localización de las fisuras dentro del carril puede ser un buen indicativo de la causa que las generó, ya que aquellas que se encuentran en zonas sujetas a carga pueden estar relacionadas con problemas de fatiga de toda la estructura o de alguna de sus partes

Figura 2.4.1.1.1: Fisuras longitudinal (FL)



Fuente: Manual para la Inspección Visual de Pavimento Flexibles 2006

Causas: Las causas más comunes a ambos tipos de fisuras, son: Rigidización de la mezcla asfáltica por pérdida de flexibilidad debido a un exceso de

filler o al envejecimiento del asfalto, ocurre ante bajas temperaturas o gradientes térmicos altos (generalmente superiores a 30°).

Reflexión de grietas de las capas inferiores, generadas en materiales estabilizados o por grietas o juntas existentes en placas de concreto hidráulico subyacentes.

Otra causa para la conformación de Fisuras Longitudinales es:

- ◆ Fatiga de la estructura, usualmente se presenta en las huellas del tránsito.

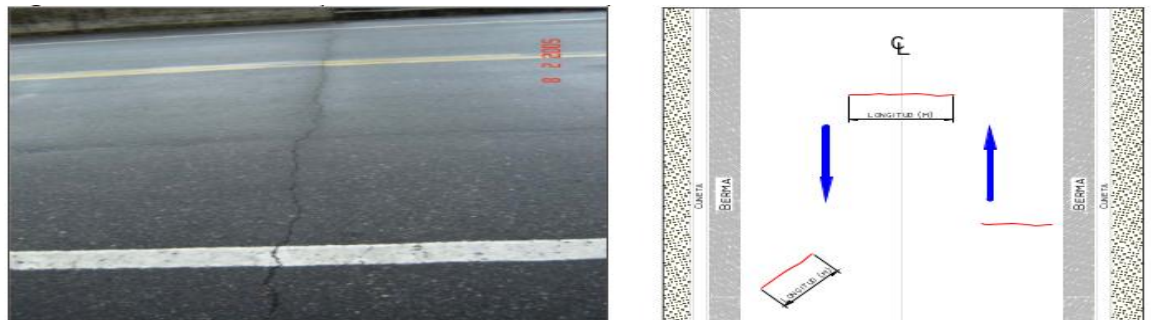
Otras causas para la conformación de Fisuras Transversales son:

- ◆ Pueden corresponder a zonas de contacto entre corte y terraplén por la diferencia de rigidez de los materiales de la subrasante.
- ◆ Espesor insuficiente de la capa de rodadura.

Severidades:

- ◆ Baja: abertura de la fisura menor que 1 mm, cerrada o con sello en buen estado.
- ◆ Media: abertura de la fisura entre 1 mm y 3 mm, pueden existir algunas fisuras con patrones irregulares de severidad baja en los bordes o cerca de ellos y pueden presentar desportillamientos leves; existe una alta probabilidad de infiltración de agua a través de ellas.
- ◆ Alta: abertura de la fisura mayor que 3 mm, pueden presentar desportillamientos considerables y fisuras con patrones irregulares de severidad media o alta en los bordes o cerca de ellos, puede causar movimiento brusco a los vehículos

Figura 2.4.1.1.2: Fisuras transversales (FT)



Fuente: Manual para la Inspección Visual de Pavimento Flexible 2006

Unidad de medición: se miden en metros (m). Es posible determinar el área de afectación por este deterioro en metros cuadrados (m²) multiplicando la longitud total de fisuras por un ancho de referencia establecido en 0,6-0,3 m, esto para los fines del análisis del área total afectada.

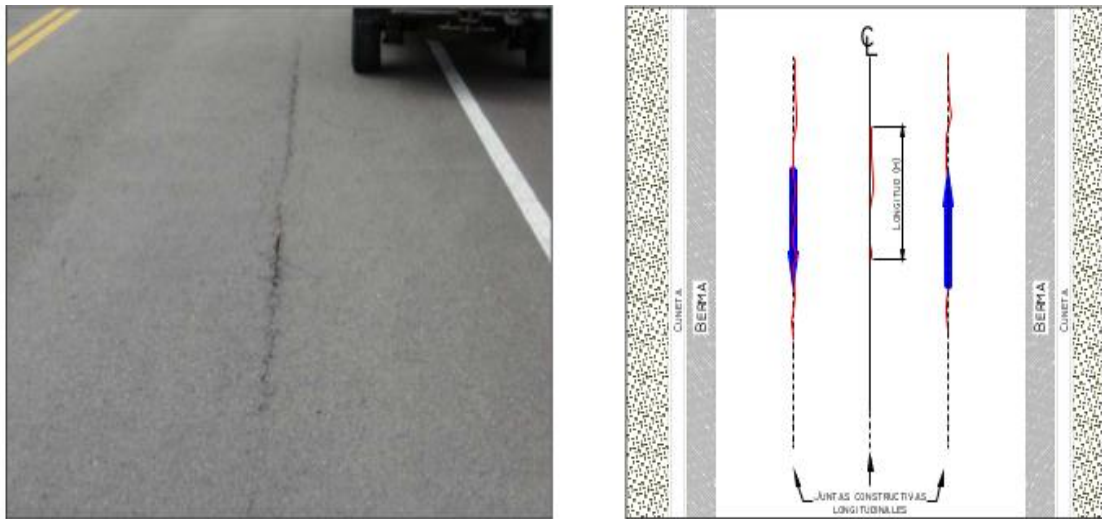
Las fisuras diagonales se clasifican dentro de la categoría de fisuras transversales.

Evolución probable: piel de cocodrilo, desintegración, descascaramientos, asentamientos longitudinales o transversales (por el ingreso del agua), fisuras en bloque.

2.4.1.2.-Fisuras en juntas de construcción (FCL, FCT).-

Corresponden a fisuras longitudinales o transversales generadas por la mala ejecución de las juntas de construcción de la carpeta asfáltica o de las juntas en zonas de ampliación. Se localizan generalmente en el eje de la vía, coincidiendo con el ancho de los carriles, zonas de ensanche y en zonas de unión entre dos etapas de colocación de pavimento asfáltico.

Figura 2.4.1.2.1: Fisuras longitudinal en junta de construcción (FCL)



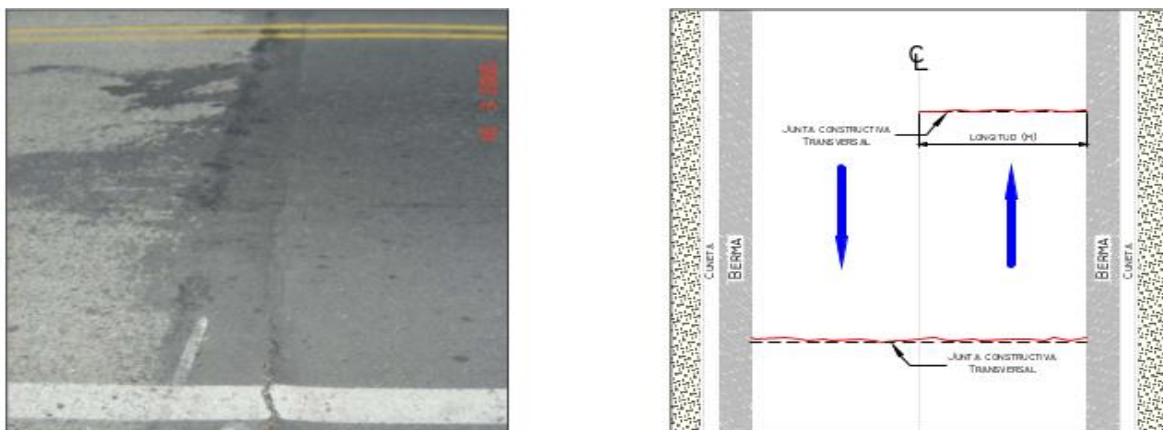
Fuente: Manual para la Inspección Visual de Pavimento Flexible 2006

Causas:

- ◆ Carencia de ligante en las paredes de la junta.

- ◆ Deficiencia en el corte vertical de las franjas construidas con anterioridad.
- ◆ Deficiencias de compactación en la zona de la junta.
- ◆ Unión entre materiales de diferente rigidez.

Figura 2.4.1.2.2 Fisura transversal en juntas de construcción (FCT)



Fuente: Manual para la Inspección Visual de Pavimento Flexible 2006

Evolución probable: pérdida de agregado, descascaramientos, asentamientos longitudinales o transversales, piel de cocodrilo, desportillamientos.

2.4.1.3.-Fisuras en media luna (FML):

Son fisuras de forma parabólica asociadas al movimiento de la banca por lo que usualmente se presentan acompañadas de hundimientos.

Causas:

En general, este tipo de fisuras se producen por inestabilidad de la banca o por efectos locales de desecación, aunque entre otras causas se pueden mencionar las siguientes:

- ◆ Falla lateral del talud en zonas de terraplén.
- ◆ Falla del talud en zonas de corte a media ladera.
- ◆ Ausencia o falla de obras de contención de la banca.
- ◆ Consolidación de los rellenos que acompañan las obras de contención.

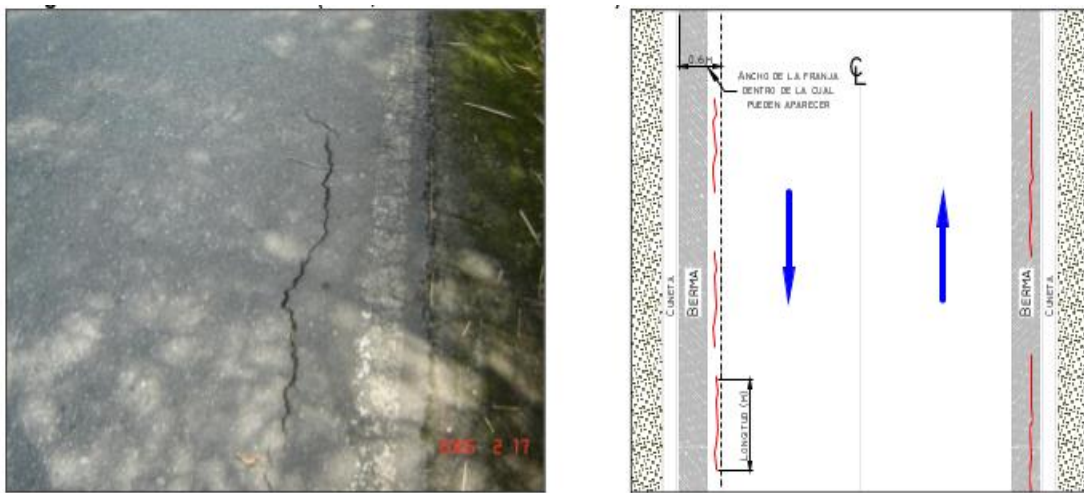
Severidades: aplica el criterio establecido para fisuras longitudinales y transversales.

Evolución probable: ampliación del proceso (aumento del área afectada), aumento del hundimiento, pérdida de la banca.

2.4.1.4.-Fisuras en borde (FBD):

Corresponden a fisuras con tendencia longitudinal a semicircular localizadas cerca del borde de la calzada, se presentan principalmente por la ausencia de berma o por la diferencia de nivel entre la berma y la calzada. Generalmente se localizan dentro de una franja paralela al borde, con ancho de hasta 0,6 m2.

Figura 2.4.1.4.1 Fisuras en Borde (FBD)



Fuente: Manual para la Inspección Visual de Pavimento Flexible 2006

Causas:

- ◆ La principal causa de este daño es la falta de confinamiento lateral de la estructura debido a la carencia de bordillos, anchos de berma insuficientes o sobre carpetas que llegan hasta el borde del carril y quedan en desnivel con la berma; en estos casos la fisura es generada cuando el tránsito circula muy cerca del borde. Las fisuras que aparecen por esta causa generalmente se encuentran a distancias entre 0,3 m a 0,6 m del borde de la calzada.

Severidades y unidad de medición: aplican los mismos criterios que para fisuras longitudinales y transversales.

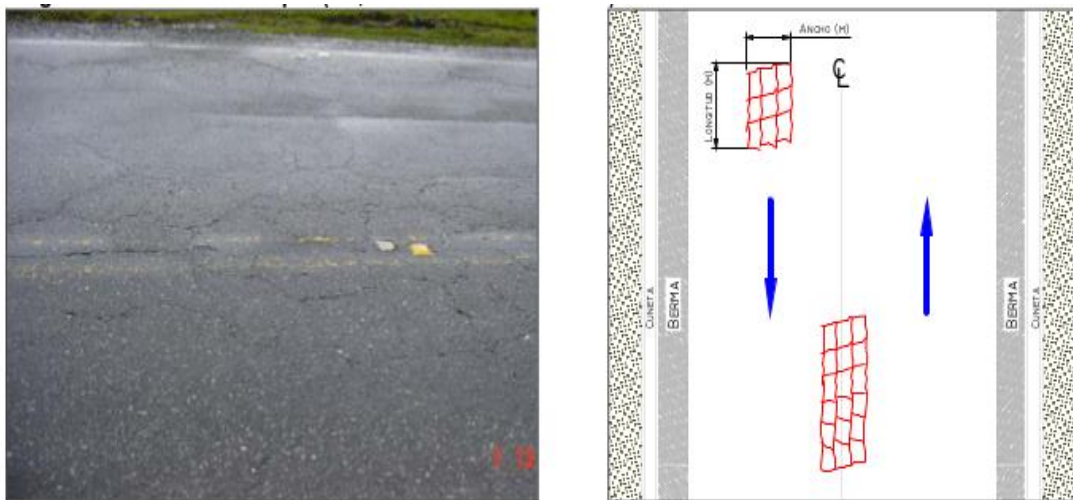
Evolución probable: desprendimiento del borde o descascaramiento.

2.4.1.5.-Fisuras en bloque (FB)

Cuando se presenta este tipo de daño la superficie del asfalto es dividida en bloques de forma aproximadamente rectangular. Los bloques tienen lado promedio mayor que 0,30 m².

Este deterioro difiere de la piel de cocodrilo en que esta última aparece en áreas sometidas a carga, mientras que los bloques aparecen usualmente en áreas no cargadas. Sin embargo, es usual encontrar fisuras en bloque que han evolucionado en piel de cocodrilo por acción del tránsito. Por otra parte, la piel de cocodrilo generalmente está formada por bloques con más lados y ángulos agudos.

Figura 2.4.1.5.1 Fisuras en bloque (FB)



Fuente: Manual para la Inspección Visual de Pavimento Flexible 2006

Causas:

- ◆ La fisuración en bloque es causada principalmente por la contracción del concreto asfáltico debido a la variación de la temperatura durante el día, lo cual se traduce en ciclos de esfuerzo - deformación sobre la mezcla.
- ◆ La presencia de este tipo de fisuras indica que el asfalto se ha endurecido significativamente, lo cual sucede debido al envejecimiento de la mezcla o al

- ◆ Combinación del cambio volumétrico del agregado fino de la mezcla asfáltica con el

Severidades:

- ◆ Baja: los bloques se han comenzado a formar, pero no están claramente definidos y están conformados por fisuras de abertura menor que 1 mm, cerradas o con sello, no presentan desportillamiento en los bordes.
- ◆ Media: bloques definidos por fisuras de abertura entre 1 mm y 3 mm, o con sello fallado, que pueden o no presentar desportillamiento en los bordes.
- ◆ Alta: bloques bien definidos por fisuras de abertura mayor que 3 mm, que pueden presentar un alto desportillamiento en los bordes.

Unidad de medición: se registra el área de superficie de pavimento afectada en metros cuadrados (m²).

Evolución probable: piel de cocodrilo, descascaramientos.

2.4.1.6.-Piel de cocodrilo (PC)

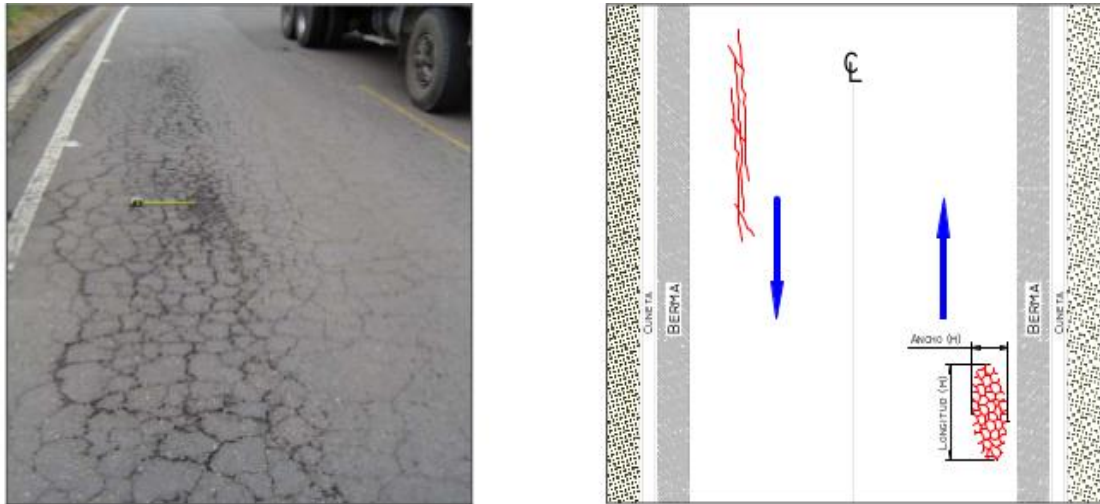
Corresponde a una serie de fisuras interconectadas con patrones irregulares, generalmente localizadas en zonas sujetas a repeticiones de carga. La fisuración tiende a iniciarse en el fondo de las capas asfálticas, donde los esfuerzos de tracción son mayores bajo la acción de las cargas. Las fisuras se propagan a la superficie inicialmente como una o más fisuras longitudinales paralelas. Ante la repetición de cargas de tránsito, las fisuras se propagan formando piezas angulares que desarrollan un modelo parecido a la piel de un cocodrilo.

Tales piezas tienen por lo general un diámetro promedio menor que 30 cm.

La piel de cocodrilo ocurre generalmente en áreas que están sometidas a cargas de tránsito, sin embargo, es usual encontrar este daño en otras zonas donde se han generado deformaciones en el pavimento que no están relacionadas con la falla estructural (por tránsito o por deficiencia de espesor de las capas) sino con otros mecanismos como por ejemplo problemas de drenaje que afectan los materiales granulares, falta de compactación de las capas, reparaciones mal ejecutadas y

subrasantes expansivas, entre otras. Este tipo de daño no es común en capas de material asfáltico colocadas sobre placas de concreto rígido.

Figura 2.4.1.6.1 Piel de cocodrilo (PC)



Fuente: Manual para la Inspección Visual de Pavimento Flexible 2006

Causas:

- ◆ Espesor de estructura insuficiente.
- ◆ Deformación de la subrasante.
- ◆ Rigidización de la mezcla en zonas de carga.
- ◆ Problemas de drenaje que afectan los materiales granulares o asfálticos.
- ◆ Reparaciones mal ejecutadas, deficiencia de compactación.

Todos estos factores reducen la capacidad estructural o inducen esfuerzos adicionales en cada una de las capas del pavimento, haciendo que ante el paso del tránsito se generen deformaciones que no son admisibles para el pavimento que se pueden manifestar mediante fisuración.

Severidad:

- ◆ Baja: serie de fisuras longitudinales paralelas (pueden llegar a tener aberturas de 3mm), principalmente en la huella, que no presentan desportillamiento, con pocas o ninguna conexión entre ellas y no existe evidencia de bombeo.

- ◆ Media: las fisuras han formado un patrón de polígonos pequeños y angulosos, que pueden tener un ligero desgaste en los bordes y aberturas entre 1mm y 3mm, sin evidencia de bombeo.
- ◆ Alta: las fisuras han evolucionado (abertura mayor 3mm), se presentan desgaste o desportillamiento en los bordes y los bloques se encuentran sueltos o se mueven ante el tránsito, incluso llegando a presentar descaramientos y bombeo.

Evolución probable: deformaciones, descascaramiento, baches.

2.4.1.7.-Fisuración por deslizamiento de capas (FDC)

Corresponden a fisuras en forma de semicírculo o medialuna, con curvaturas definidas de acuerdo con la fuerza de tracción que produce la llanta sobre el pavimento (al acelerar o frenar). Este tipo de fisuras se genera por acción del arranque o frenado de los vehículos lo que conlleva a que la superficie del pavimento se deslice y se deforme. Usualmente aparecen en zonas montañosas, en curvas o en intersecciones.

Causas:

- ◆ Estas fisuras se presentan usualmente cuando existe una mezcla en la superficie de baja resistencia o por la escasa adherencia entre las capas superficiales de la estructura del pavimento. Se pueden generar ante el paso de tránsito muy pesado y muy lento, en zonas de frenado y acelerado de los vehículos.

Otras causas pueden ser:

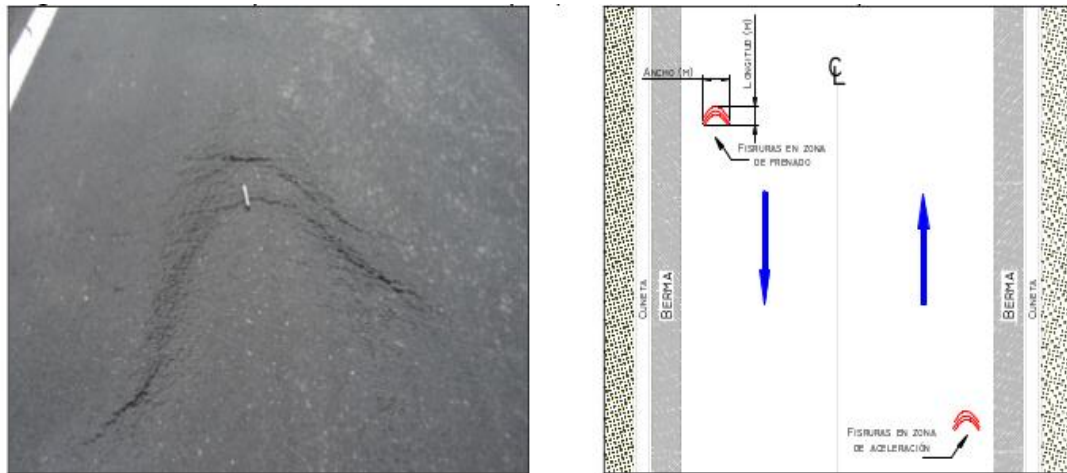
- ◆ Espesores de carpeta muy bajos.
 - ◆ Alto contenido de arena en la mezcla asfáltica
 - ◆ Exceso de ligante o presencia de polvo durante la ejecución del riego de liga.
- Carencia de penetración de la imprimación en bases granulares

Severidades: el nivel de severidad asignado será similar al de las fisuras longitudinales y transversales, teniendo en cuenta además lo siguiente:

- ◆ Baja: abertura máxima de las fisuras menor que 1mm.
- ◆ Media: abertura máxima de las fisuras entre 1 mm y 3mm, pueden existir agrietamientos alrededor de las fisuras, con aberturas menores a 1mm.
- ◆ Alta: abertura máxima de las fisuras mayor a 3 mm, pueden existir agrietamientos entre las fisuras y en la zona aledaña, con aberturas mayores que 1mm.

Unidad de medición: se debe reportar el área afectada por este tipo de deterioro en metros cuadrados (m²) con la mayor severidad presente.

Figura 2.4.1.7.1 Fisuras por deslizamiento de capas (FDC)



Fuente: Manual para la Inspección Visual de Pavimento Flexible 2006

Evolución probable: descascaramientos, baches, hundimientos, abultamientos.

2.4.2.-DEFORMACIÓN

2.4.2.1.-Ondulación (OND):

También conocida como corrugación o rizado, es un daño caracterizado por la presencia de ondas en la superficie del pavimento, generalmente perpendiculares a la dirección del tránsito, con longitudes entre crestas usualmente menores que 1,0m.

Causas:

La ondulación es una deformación plástica de la capa asfáltica, debido generalmente a una pérdida de estabilidad de la mezcla en climas cálidos por mala dosificación del

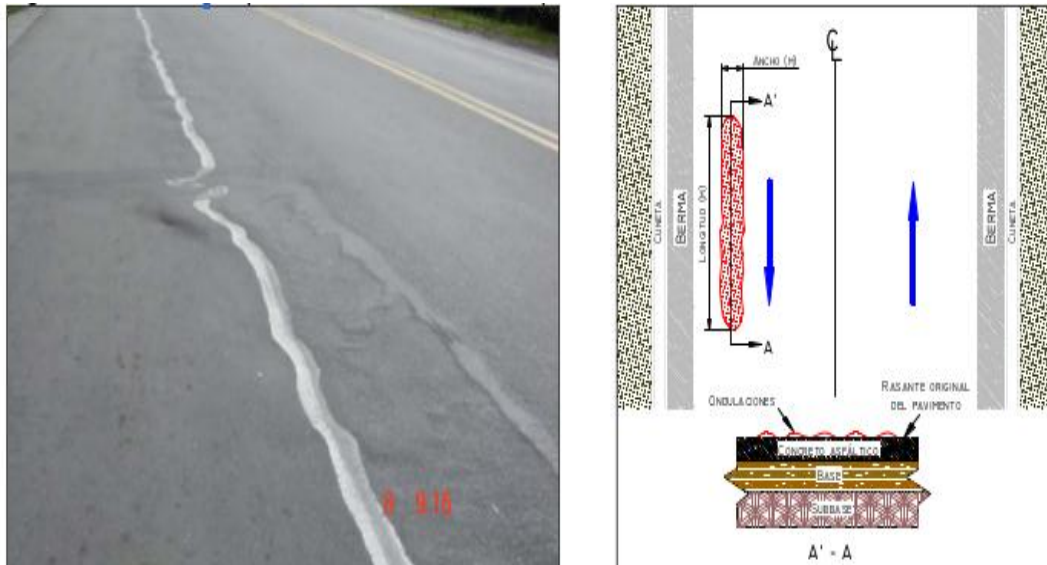
asfalto, uso de ligantes blandos o agregados redondeados. Muchos de los casos suelen presentarse en las zonas de frenado o aceleración de los vehículos.

Otra causa puede estar asociada a un exceso de humedad en la subrasante, en cuyo caso el daño afecta toda la estructura del pavimento. Además también puede ocurrir debido a la contaminación de la mezcla asfáltica con finos o materia orgánica.

Bajo este contexto, las causas más probables son:

- ◆ Pérdida de estabilidad de la mezcla asfáltica.
- ◆ Exceso de compactación de la carpeta asfáltica.
- ◆ Exceso o mala calidad del asfalto.
- ◆ Insuficiencia de triturados (caras fracturadas).
- ◆ Falta de curado de las mezclas en la vía.
- ◆ Acción del tránsito en zonas de frenado y estacionamiento.
- ◆ Deslizamiento de la capa de rodadura sobre la capa inferior por exceso de riego de liga.

Figura 2.4.2.1.1: Ondulacion (ODN)



Fuente: Manual para la Inspección Visual de Pavimento Flexible 2006

Severidades:

- ◆ Baja: profundidad máxima menor que 10 mm, causa poca vibración al vehículo, la cual no genera incomodidad al conductor.
- ◆ Media: profundidad máxima entre 10 mm y 20 mm, causa una mayor vibración al vehículo generando incomodidad al conductor.
- ◆ Alta: profundidad máxima mayor que 20 mm, causa una vibración excesiva que puede generar un alto grado de incomodidad, haciendo necesario reducir la velocidad por seguridad.

Unidad de medición: la ondulación se mide en metros cuadrados (m²) de área afectada.

Evolución probable: exudación, ahuellamiento.

2.4.2.2.-Abultamiento (AB)

Este deterioro se asigna a los abombamientos o prominencias que se presentan en la superficie del pavimento. Pueden presentarse bruscamente ocupando pequeñas áreas o gradualmente en áreas grandes, acompañados en algunos casos por fisuras

Causas:

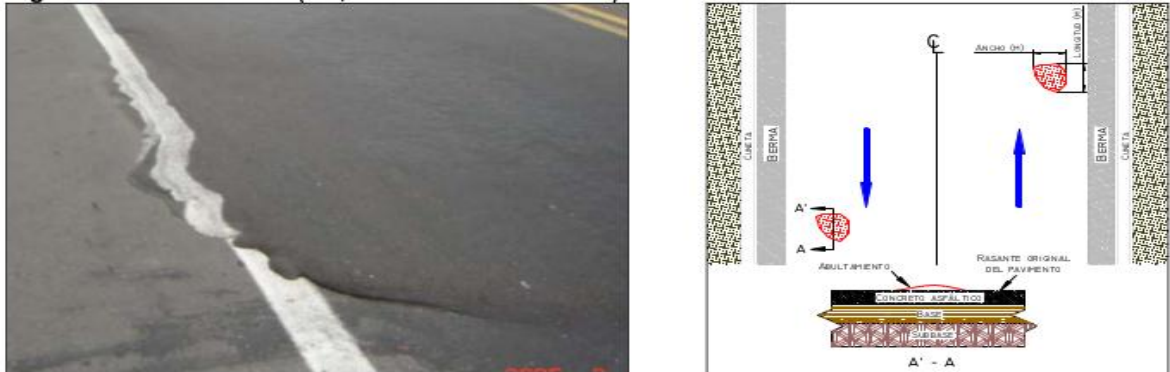
- ◆ Se generan principalmente por la expansión de la subrasante o en capas de concreto asfáltico colocado sobre placas de concreto rígido, el cual se deforma al existir presiones bajo la capa asfáltica (como las generadas por procesos de bombeo).
- ◆ Exceso de compactación de carpeta asfáltica.
- ◆ Acción del tránsito en zonas de frenado y estacionamiento.

Severidad:

- ◆ Baja: profundidad máxima menor de 10 mm, causa poca vibración al vehículo, la cual no incomoda al conductor.
- ◆ Media: profundidad máxima entre 10mm y 20mm, causa una mayor vibración al vehículo generando incomodidad al conductor.

- ♦ Alta: profundidad máxima mayor que 20mm, causa una vibración excesiva que puede generar un alto grado de incomodidad, haciendo reducir la velocidad por seguridad.

Figura 2.4.2.2.1 Abultamiento (AB)



Fuente: Manual para la Inspección Visual de Pavimento Flexible 2006

Evolución probable: exudación, abultamiento.

2.4.2.3.-Hundimiento (HUN).-

Los hundimientos corresponden a depresiones localizadas en el pavimento con respecto al nivel de la subrasante. Este tipo de daño puede generar problemas de seguridad a los vehículos, especialmente cuando contienen agua pues se puede producir hidroplaneo. Los hundimientos pueden estar orientados de forma longitudinal o transversal al eje de la vía.

Figura 2.4.2.3.1: Hundimiento (HUN)



Fuente: Manual para la Inspección Visual de Pavimento Flexible 2006

Causas:

- ◆ Asentamiento de la subrasante.
- ◆ Deficiencia de drenaje que afecta a los materiales granulares.
- ◆ Circulación de tránsito muy pesado.

Severidad:

- ◆ Baja: profundidad menor a 20mm, causa poca vibración al vehículo, sin generar incomodidad al conductor.
- ◆ Media: profundidad entre 20mm y 40mm, causa mayor vibración al vehículo generando incomodidad al conductor.
- ◆ Alta: profundidad mayor que 40 mm, causas vibración excesiva que puede generar un alto grado de incomodidad, haciendo necesario reducir la velocidad por seguridad.

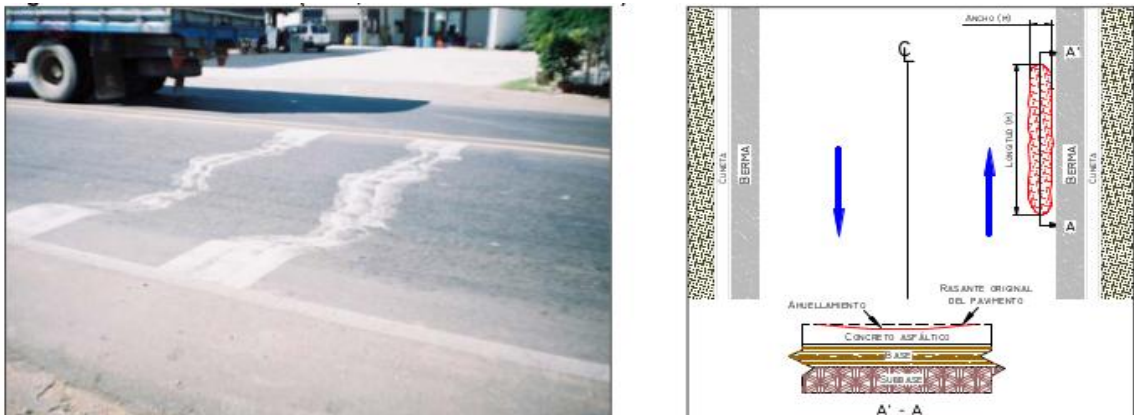
Evolución probable: fisuración, desprendimiento, movimientos en masa.

2.4.2.4.-Ahuellamiento (AHU)

El ahuellamiento es una depresión de la zona localizada sobre la trayectoria de las llantas de los vehículos. Con frecuencia se encuentra acompañado de una elevación de las áreas adyacentes de la zona deprimida y de fisuración.

Un ahuellamiento significado puede llevar a la falla estructural del pavimento y posibilitar el hidroplaneo por el almacenamiento de agua.

Figura 2.4.2.4.1: Ahuellamiento (AHU)



Fuente: Manual para la Inspección Visual de Pavimento Flexibles 2006

Causas:

- ◆ El ahuellamiento ocurre principalmente debido a una deformación permanente de alguna de las capas del pavimento o de la subrasante, generada por deformación plástica del concreto asfáltico o por deformación de la subrasante debido a la fatiga de la estructura ante la repetición de cargas
- ◆ Además, la falla estructural del pavimento puede manifestarse con daños de este tipo debido a una deficiencia de diseño, la cual se manifiesta cuando la vía está sometida a cargas de tránsito muy altas.

Severidad:

- ◆ Baja: profundidad menor que 10mm
- ◆ Media: profundidad entre 10mm y 25mm
- ◆ Alta: profundidad mayor que 25mm

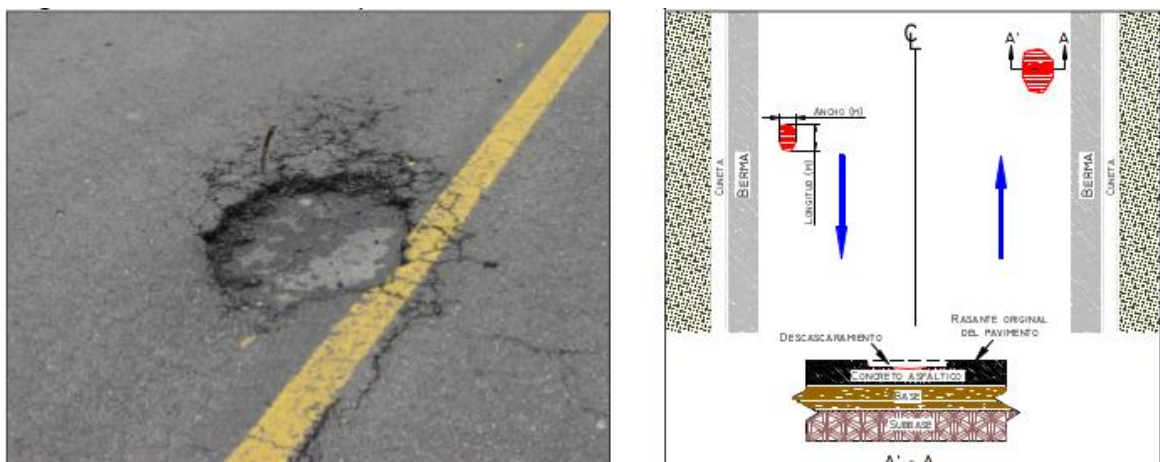
Evolución probable: piel de cocodrilo, desprendimiento.

2.4.3.-PÉRDIDAS DE LA CAPAS DE LA ESTRUCTURA

2.4.3.1.-Descascaramiento (DC):

Este deterioro corresponde al desprendimiento de parte de la capa asfáltica superficial, sin llegar a afectar las capas asfálticas subyacentes.

Figura 2.4.3.1.1: Descascaramiento (DC)



Fuente: Manual para la Inspección Visual de Pavimento Flexible 2006

Causas:

- ◆ Limpieza insuficiente previa a tratamientos superficiales.
- ◆ Espesor insuficiente de la capa de rodadura asfáltica.
- ◆ Riego de liga deficiente.
- ◆ Mezcla asfáltica muy permeable.

Severidades:

- ◆ Baja: profundidad menor que 10mm.
- ◆ Media: profundidad entre 10 mm y 25mm.
- ◆ Alta: profundidad mayor que 25mm.

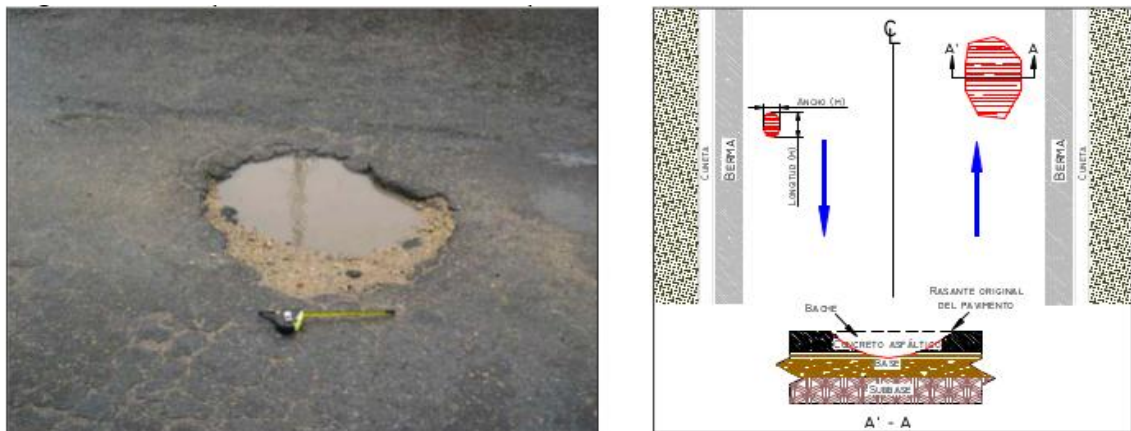
Unidad de medición: se registra el área afectada para cada severidad en m²

Evolución probable: piel de cocodrilo, bache.

2.4.3.2.-Baches (BCH)

Desintegración total de la carpeta asfáltica que deja expuestos los materiales granulares lo cual lleva al aumento del área afectada y al aumento de la profundidad debido a la acción del tránsito. Dentro de este tipo de deterioro se encuentran los ojos de pescado que corresponden a baches de forma redondeada y profundidad variable, con bordes bien definidos que resultan de una deficiencia localizada en las capas estructurales.

Figura 2.4.3.2.1: Baches (BCH)



Fuente: Manual para la Inspección Visual de Pavimento Flexible 2006

Causas:

Este tipo de deterioros puede presentarse por la retención de agua en zonas fisuras que ante la acción del tránsito produce reducción de esfuerzos efectivos generando deformaciones y la falla del pavimento. Este deterioro ocurre siempre como evolución de otros daños, especialmente de piel de cocodrilo.

Severidad:

- ◆ Baja: profundidad de afectación menor o igual que 25mm, corresponde al desprendimiento de tratamiento superficial o capas delgadas.
- ◆ Media: profundidad de afectación entre 25mm y 50mm, deja expuesta la base
- ◆ Alta: profundidad de afectación mayor que 50mm, que llega a afectar la base granular.

Evolución probable: destrucción de la estructura.

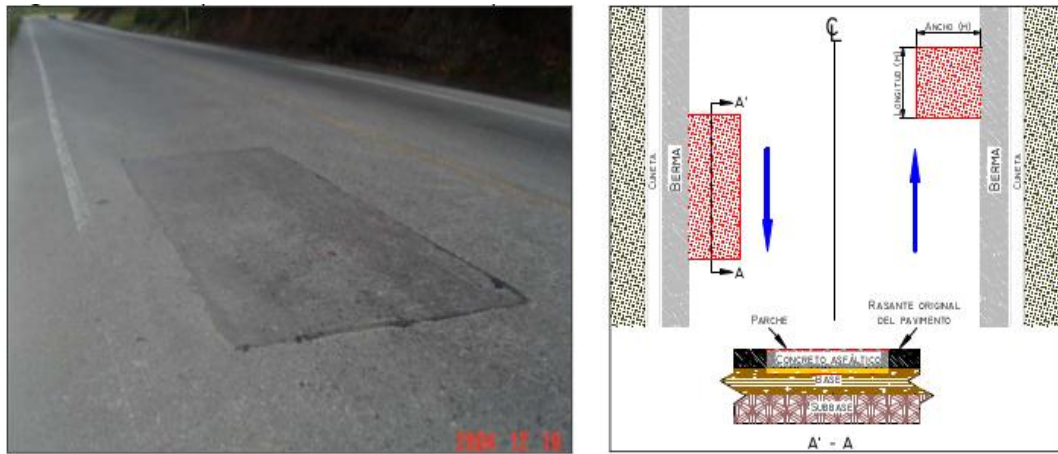
2.4.3.3.-Parches (PCH)

Los parches corresponden a áreas donde el pavimento original fue removido y reemplazado por otro material similar o diferente, ya sea para reparar la estructura (a nivel de concreto asfáltico o hasta los granulares) o para permitir la instalación o reparación de alguna red de servicios.

A pesar de dicha área puede no presentar daños en el momento de la inspección, es necesario reportar su extensión porque indica la existencia de un deterioro anterior. Aunque para el registro de los daños en el formato de campo estas intervenciones se reportan como parches.

Cuando la intervención realizada comprendió el reemplazo del espesor parcial o total de concreto asfáltico, ésta se conoce como parcheo.

Figura 2.4.3.3.1 Parche (PCH)



Fuente: Manual para la Inspección Visual de Pavimento Flexible 2006

Causas:

- ◆ Proceso constructivo deficiente.
- ◆ Progresión del daño inicial por el cual debió realizarse el parcheo (cuando la intervención fue inadecuada para solucionar el problema).
- ◆ Deficiencia de juntas.
- ◆ Propagación de daños existentes en las áreas aledañas al parche.

Severidad:

- ◆ Baja: el parcheo está muy buena condición y se desempeña satisfactoriamente.
- ◆ Media: el parche presenta daños de severidad baja o media y deficiencia en los bordes.
- ◆ Alta: el parche está gravemente deteriorado, presenta daños de severidad alta y requiere ser reparado pronto

Evolución probable:

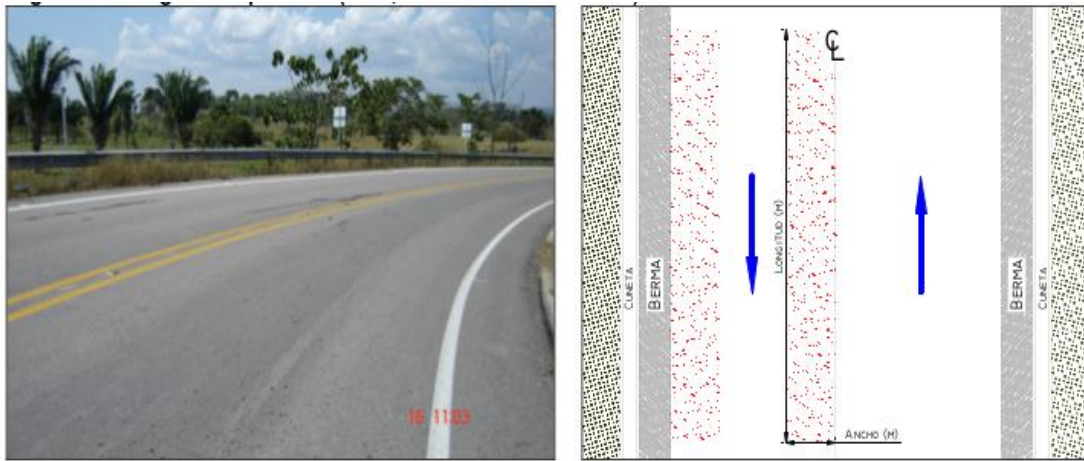
De acuerdo con la naturaleza del daño, sin embargo, puede existir una aceleración del deterioro general del pavimento.

2.4.4.-DAÑOS SUPERFICIALES

2.4.4.1.-Desgaste superficial (DSU):

Corresponde al deterioro del pavimento ocasionado principalmente por acción del tránsito, agentes abrasivos o erosivos. Se presenta como pérdida de ligante y mortero. Suele encontrarse en las zonas por donde transitan los vehículos. Este daño provoca aceleración del deterioro del pavimento por acción del medio ambiente y del tránsito.

Figura 2.4.4.1.1: Desgaste superficial (DSU)



Fuente: Manual para la Inspección Visual de Pavimento Flexible 2006

Causas:

- ◆ El desgaste superficial generalmente es un deterioro natural del pavimento, aunque si se presenta con severidades medias o altas a edades tempranas puede estar asociado a un endurecimiento significativo del asfalto.
- ◆ Falta de adherencia del asfalto con los agregados.
- ◆ Deficiencia dosificación de asfalto en la mezcla.
- ◆ Acción intensa del agua u otros agentes abrasivos además del tránsito.

Severidad:

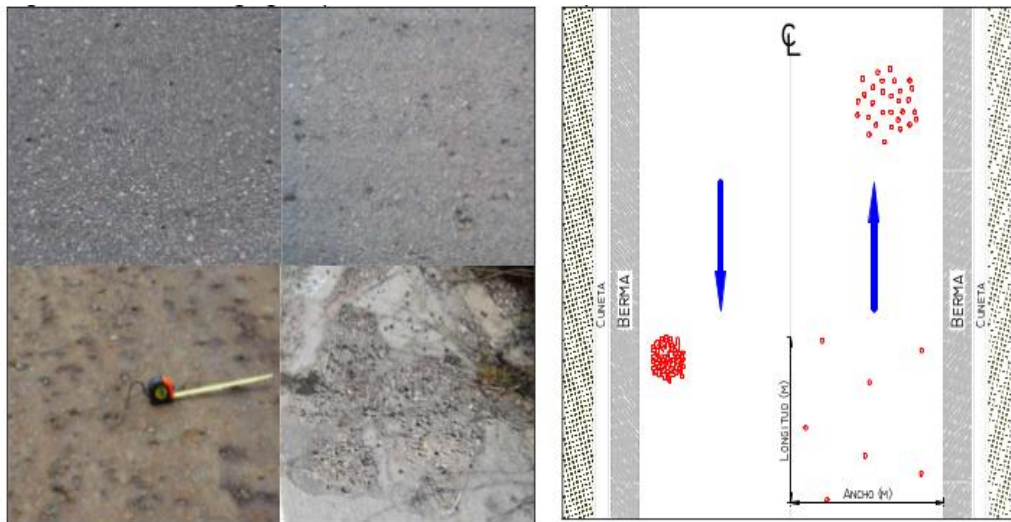
- ◆ Baja: cuando la superficie ha perdido su textura uniforme y se muestra ligeramente áspera o rugosa, con irregularidades hasta 3mm aproximación.
- ◆ Media: cuando la profundidad de las irregularidades es mayor a 3mm y llega 10mm. Se observa las partículas de agregado grueso, y se siente la vibración y una diferencia de sonido de las llantas al transitar sobre el pavimento.
- ◆ Alta: si en la superficie ha comenzado a producirse la desintegración superficial de la capa de rodadura y se presenta desprendimientos evidentes y partículas sueltas sobre la calzada.

Evolución probable: pérdida de agregado

2.4.4.2.-Pérdida de agregado (PA)

Conocida también como desintegración, corresponde a la disgregación superficial de la capa de rodadura debido a una pérdida gradual de agregados, haciendo la superficie más rugosa y exponiendo de manera progresiva los materiales a la acción del tránsito y los agentes climáticos. Este tipo de daño es común en tratamientos superficiales, caso en el que pueden aparecer estrías en la dirección del riego y debe ser reportado como surcos.

Figura 2.4.4.2.1: Perdida de agregado (PA)



Fuente: Manual para la Inspección Visual de Pavimento Flexible 2006

Causas:

- ◆ Problemas de adherencia entre agregado y asfalto.
- ◆ Uso de agregados contaminados con finos o agregados muy absorbentes.
- ◆ Lluvia durante la aplicación o el fraguado del ligante asfáltico.
- ◆ Endurecimiento significativo del asfalto.
- ◆ Deficiencia de compactación de la carpeta asfáltica.
- ◆ Contaminación de la capa de rodadura con aceite, gasolina y otros.

Severidades:

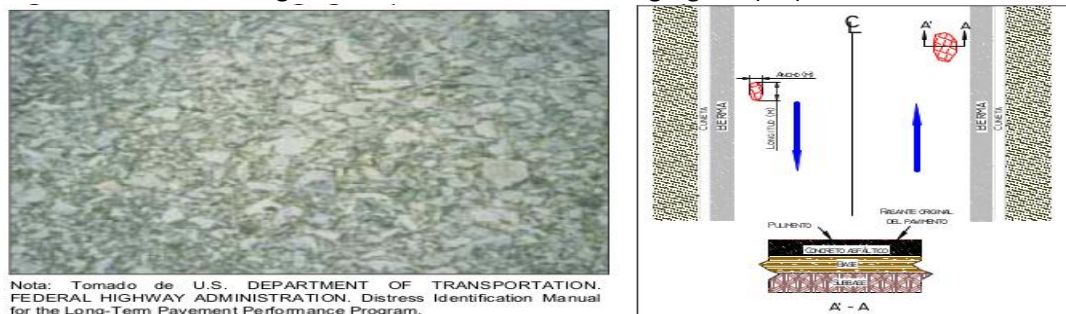
- ◆ Baja: los agregados gruesos han comenzado a desprenderse y se observan pequeños huecos cuya separación es mayor a 0.15 m.
- ◆ Media: existe un mayor desprendimiento de agregados, con separaciones entre 0.05 m y 0.15m.
- ◆ Alta: existe desprendimiento extensivo de agregados finos y gruesos con separaciones menores a 0.05 m, haciendo la superficie muy rugosa y se observan agregados sueltos.

Evolución probable: descascaramientos, aumento de la permeabilidad de la estructura, exudación.

2.4.4.3.-Pulimiento del agregado (PU)

Este daño se evidencia por la presencia agregados con caras planas en la superficie o por la ausencia de agregados angulares, en ambos casos se puede llegar a afectar la resistencia al deslizamiento.

Figura 2.4.4.3.1: Pulimiento del agregado (PU)



Fuente: Manual para la Inspección Visual de Pavimento Flexible 2006

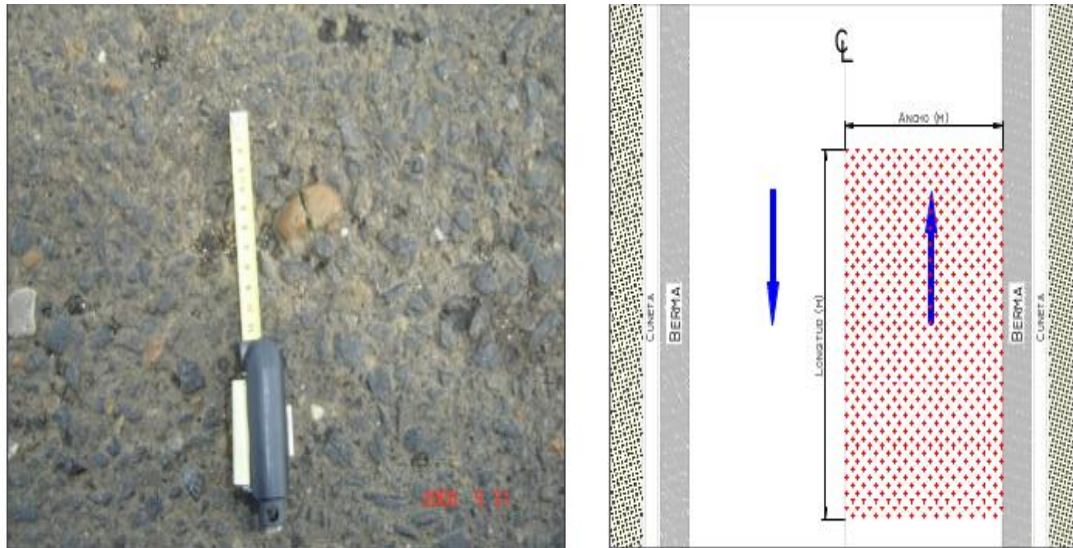
Causas: la causa de este tipo de daño radica en una baja resistencia o susceptibilidad de algunos agregados al pulimento (un ejemplo de esto son las calizas).

Unidad de medición: se mide en metros cuadrados (m²) y no tiene ningún grado de severidad asociado.

2.4.4.4.-Cabezas duras (CD)

Corresponde a la presencia de agregados expuestos fuera del mortero arena-asfalto, que puede llegar a aumentar la rugosidad del pavimento, provocando ruido excesivo para el conductor.

Figura 2.4.4.4.1 Cabezas duras (CD)



Fuente: Manual para la Inspección Visual de Pavimento Flexible 2006

Causas:

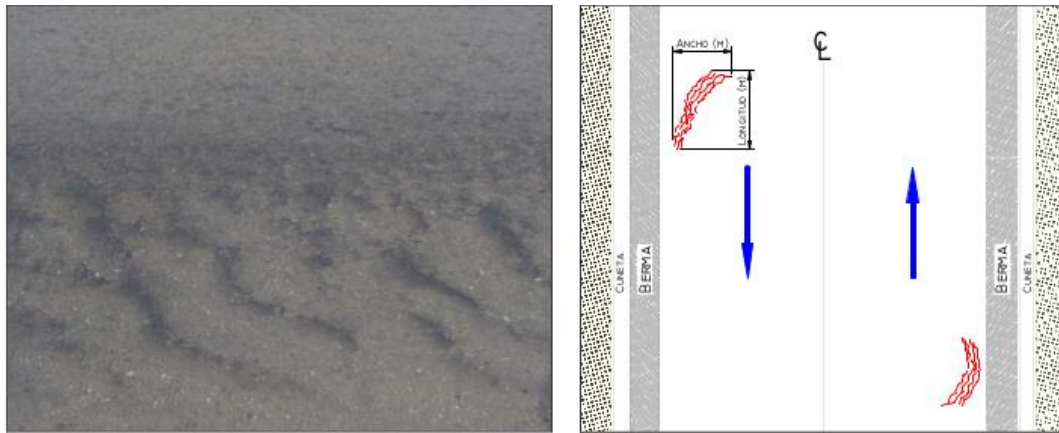
- ◆ Uso de agregados gruesos con tamaño inadecuado.
- ◆ Distribución granulométrica deficiente en el rango de las arenas.
- ◆ Segregación de los agregados durante su manejo en obra.
- ◆ Heterogeneidad en la dureza de los agregados.

Unidad de medición: se mide en metros cuadrados (m²) y no tiene ningún grado de severidad asociado.

2.4.4.5.-Exudacion (EX)

Este tipo de daño se presenta con una película o afloramiento del ligante asfáltico sobre la superficie del pavimento generalmente brillante, resbaladiza y usualmente pegajosa. Es un proceso que puede llegar a afectar la resistencia al deslizamiento.

Figura 2.4.4.5.1 Exudación (EX)



Fuente: Manual para la Inspección Visual de Pavimento Flexible 2006

Causas:

- ◆ La exudación se genera cuando la mezcla tiene cantidades excesivas de asfalto haciendo que el contenido de vacíos con aire de la mezcla sea bajo; sucede especialmente durante épocas o en zonas calurosas. También puede darse por el uso de asfaltos muy blandos o por derrame de ciertos solventes.

Severidades: puede clasificarse de acuerdo con el espesor de la película de asfalto exudado (teniendo en cuenta qué tanto se ha cubierto los agregados superficiales):

- ◆ Baja: la exudación se hace visible en la superficie, aunque en franjas aisladas y de espesor delgado que no cubre los agregados gruesos.
- ◆ Media: apariencia característica, con exceso de asfalto libre que conforma una película que cubre parcialmente los agregados, con frecuencia localizada en las huellas del tránsito; se torna pegajoso en los climas cálidos.

- ◆ Alta: presencia de una cantidad significativa de asfalto en la superficie cubriendo casi la totalidad de los agregados, lo que le da un aspecto húmedo de intensa coloración negra y se torna pegajoso en los climas cálidos.

2.4.4.6.-Surcos (SU)

Corresponde a franjas o canales longitudinales donde se han perdido los agregados de la mezcla asfáltica.

Figura 2.4.4.6.1 Surcos (SU)



Fuente: Manual para la Inspección Visual de Pavimento Flexible 2006

Causas:

En tratamientos superficiales se da por distribución transversal defectuosa del ligante bituminoso o del agregado, lo cual genera el desprendimiento de los agregados; en concreto asfáltico está relacionado con la erosión producida por agua en zonas de alta pendiente.

Unidad de medición: se mide en metros cuadrados (m²) y no tiene ningún grado de severidad asociado.

Evolución probable: pérdida de agregado, descascaramiento, bache.

2.4.5.-Otros daños

2.4.5.1.-Corrimiento vertical de la berma (CVB)

Corresponde a una diferencia de elevación entre la calzada y la berma, debido a un desplazamiento de la berma. Permite la infiltración de agua hacia el interior de la estructura del pavimento, provocando su deterioro.

Figura 2.4.5.1.1 Corrimiento vertical de la berma (CV)



Fuente: Manual para la Inspección Visual de Pavimento Flexible 2006

Causas:

- ◆ Generalmente sucede cuando existen diferencias entre los materiales de la berma y el pavimento o por el bombeo del material de base en la berma. También puede estar asociado con problemas de inestabilidad de los taludes adyacentes.

Severidades:

- ◆ Bajo: desplazamiento menor que 6mm.
- ◆ Medio: desplazamiento entre 6 mm y 25mm.
- ◆ Alto: desplazamiento mayor que 25mm.

Unidad de medición: este tipo de daño se cuantifica en longitud afectada (m).

2.4.5.2.- Separación de la berma (SB).-

Este daño indica el incremento en la separación de la junta existente entre la calzada y berma. Este daño permite la infiltración de agua hacia el interior de la estructura del pavimento provocando su deterioro.

Figura 2.4.5.2.1 Separación de la berma (SB)



Fuente: Manual para la Inspección Visual de Pavimento Flexible 2006

Causas:

- ◆ Generalmente está relacionada con el movimiento de la berma debido a problemas de inestabilidad de los taludes adyacentes o con la ausencia de liga entre calzada y berma cuando se construye por separado.

Severidad:

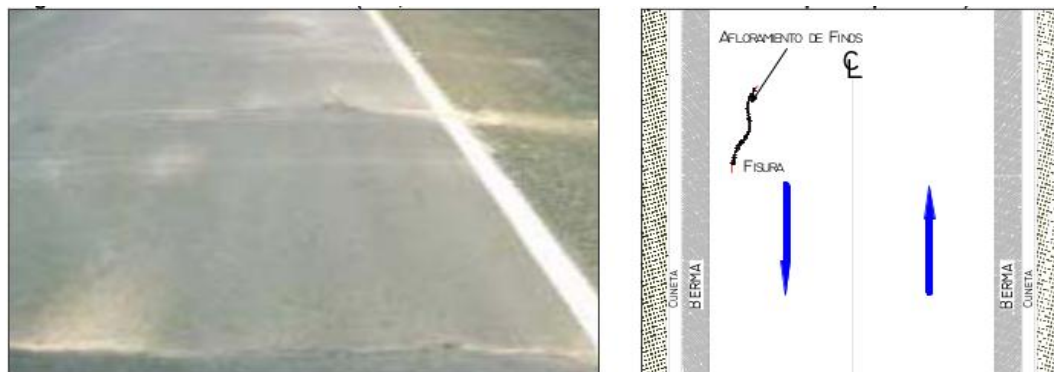
- ◆ Baja: abertura menor que 3 mm
- ◆ Media: abertura entre 3mm y 10 mm
- ◆ Alta: abertura mayor que 10 mm

Evolución probable: puede presentar hundimiento y fisuras de borde.

2.4.5.3.-Afloramiento de finos (AFI)

Este afloramiento corresponde a la salida de agua infiltrada, junto con materiales finos de la capa de base por las grietas, cuando circulan sobre ellas las cargas de tránsito. La presencia de manchas o de material acumulado en la superficie cercana al borde de las grietas indica la existencia del fenómeno. Se encuentra principalmente en pavimentos semirrígidos (con base estabilizada).

Figura 2.4.5.3.1 Afloramiento de finos (AFI)



Fuente: Manual para la Inspección Visual de Pavimento Flexible 2006

Causas:

- ◆ Ausencia o inadecuado sistema de subdrenaje, exceso de finos en la estructura.

Severidades: no tiene grado de severidad definido.

Unidad de medición: dado que el afloramiento de finos siempre se presenta donde existe un daño (por ejemplo una fisura o piel de cocodrilo), se reporta el daño y en las aclaraciones se escribe que posee afloramiento de finos.

Evolución probable: piel de cocodrilo, descascaramientos, baches.

2.4.5.3.-Afloramiento de agua (AFA)

Presencia del líquido en la superficie del pavimento en instantes en los cuales no hay lluvia.

Causas:

- ◆ Ausencia o inadecuado sistema de subdrenaje, filtración de aguas.

Severidades: no tiene grado de severidad definido.

Unidad de medición: se mide en metros (m) cuando no tiene otro daño asociado, sin embargo, cuando el afloramiento se presenta donde existe un daño (por ejemplo, una fisura o piel de cocodrilo), se reporta el daño y en las aclaraciones se escribe que posee afloramiento de agua.

Evolución probable: piel de cocodrilo, descascaramientos, baches.

DRENAJE INTERNO EN PAVIMENTOS FLEXIBLES

3.1.-Generalidades

Paralelamente al estudio de los suelos de una subrasante se debe realizar la investigación de la presencia del agua y por lo tanto el diseño de los subdrenes.

Generalmente los mecanismos de actuación del agua en el suelo son los siguientes:

- ❖ Si los vacíos del suelo están parcialmente llenos de aire y el contenido de agua del suelo aumenta substancialmente, se elimina parte de la tensión superficial en el interior de la masa, la cual proporcionaba al conjunto una cohesión aparente que contribuía a la estabilidad.
- ❖ El aumento del contenido de agua del suelo se refleja en un aumento de su peso, lo cual puede tener repercusiones en la estabilidad general de la masa.

En añadidura a los dos efectos anteriores, el agua que penetra en una masa de suelo y fluye a su través tiene un cuarto efecto que suele ser, con mucho, el que más influye en su estabilidad.

3.1.1.-Agua subterránea en diversas formas

La cantidad de agua que penetra a la tierra queda determinada por varios factores:

- ❖ Cantidad y tipo de precipitación.
- ❖ Ritmo de precipitación. Cuando más rápidamente cae la lluvia, menos agua penetra, pues se satura la superficie del terreno.
- ❖ Declive superficial. La infiltración es mayor en terrenos más planos, a los que corresponden velocidades de escurrimiento superficial menores.
- ❖ La porosidad de los suelos y las rocas.
- ❖ La permeabilidad de los suelos y las rocas. Una formación muy porosa no es necesariamente muy permeable. La arcilla, por ejemplo, es muy porosa y muy poco permeable.
- ❖ La estructuración de suelos y rocas, especialmente en lo que se refiere a fracturación, estratigrafía y a la secuencia de los estratos permeables y los impermeables.

- ❖ Cantidad y tipo de vegetación.
- ❖ Humedad atmosférica. Si la humedad es baja, gran parte del agua caída se evapora antes de penetrar en el terreno.

3.2.- Drenaje interno en pavimentos

3.2.1.-Drenaje subterráneo

El drenaje subterráneo se proyecta con el objetivo de interceptar, conducir y desviar los flujos sub superficiales (subterráneos) que se encuentren en el suelo de fundación de la carretera y provenientes de los taludes adyacentes.

El efecto del agua en el pavimento es perjudicial, por lo que debe ser evacuada a través de los sistemas de drenaje superficial y subterráneo.

Debe conocerse tanto su procedencia como su caudal, así como el marco geográfico en que se encuentra. Los efectos desfavorables son múltiples: erosión interna de finos, sifonamiento, tubificación, arrastre y expulsión de finos, acelerando el fallo estructural de la calzada y acortando su vida útil.

Para el buen funcionamiento del sistema de subdrenaje se requiere una pendiente adecuada y una buena red de evacuación del agua. Por último, de ser compatible y funcional con el tipo de suelo a drenar (tipo de suelo, permeabilidad, gradación, etc.), se contempla el uso de materiales geotextiles debido a su durabilidad, evitando que las capas drenantes se colmaten y pierdan su funcionalidad.

Sin embargo, se debe tener en cuenta que la experiencia ha mostrado que para las condiciones siguientes es riesgoso el uso de geotextiles:

- ❖ Suelos finos pobremente graduados (es decir, todos los de tamaño uniforme),
- ❖ Agua subterránea de alta alcalinidad donde la lentitud del líquido pasando a través del geotextil causa deposiciones de calcio, sodio o precipitaciones de magnesio,
- ❖ Alta concentración de sólidos en suspensión en el líquido como en el caso de aguas turbias de ríos que pueden desarrollarse sobre o dentro del geotextil.

3.2.2.-Drenaje interno o subdrenaje

Este tipo de drenaje tiene como finalidad primaria eliminar los excedentes de humedad de la base, sub base y taludes próximos a la calzada, protegiendo en esta forma y dando mayor estabilidad y durabilidad a la capa de rodadura, interceptando además corrientes subterráneos y abatiendo los nivel freáticos elevados.

Los caudales que se manejan en los sistemas de drenaje interno son muy inferiores a los caudales de escorrentía superficial que afectan los sistemas de drenaje superficial. En este caso se trabaja con caudales infiltración.

3.2.3.- Fuentes del agua que ingresa a la estructura

Como erradamente se supone que las carpetas son impermeables, resulta fácil creer que el agua que ingresa en la estructura de un pavimento tiene origen única y exclusivamente subterráneo.

Sin embargo, está demostrado que, en la mayoría de los casos, la principal fuente de agua que ingresa en las capas estructurales es la infiltración a través de la carpeta y de las bermas y zonas aledañas.

De hecho, en algunos casos, como el de las vías terraplenadas, la infiltración constituye la única fuente de agua que puede ingresar a la estructura.

La cantidad de agua que pasa a través de una capa de material es la suma de aquella que logra penetrar a través de los pequeños conductos que intercomunican sus poros (infiltración propiamente dicha), y de aquella que fluye a través de las fisuras que presenta la capa.

La tecnología y la ciencia han demostrado que la impermeabilidad es sólo un concepto ideal, pero no un hecho absoluto, ya que no existe ningún material totalmente impermeable.

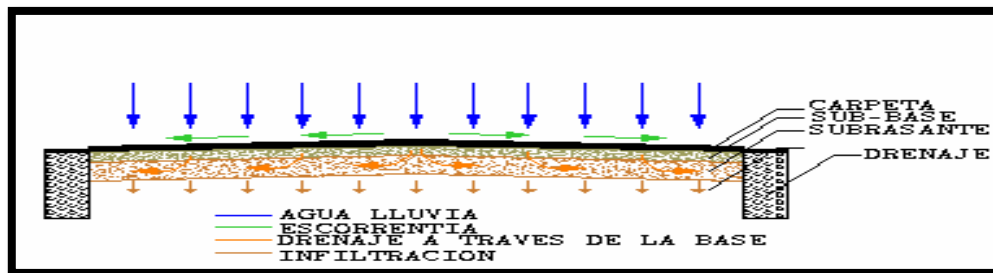
Existen sí, materiales de baja e incluso de muy baja permeabilidad, a través de los cuales bajo la acción de la gravedad los fluidos se mueven lenta o muy lentamente, pero se mueven.

3.2.4.-Geometría de los pavimentos y el agua

Los pavimentos son obras que presentan una gran área de superficie y un espesor relativamente muy reducido.

En efecto, observar la sección transversal de lotes de parqueo, pistas y plataformas de aeropuertos, calles y carreteras, cualquiera puede verificar que presentan un ancho muy superior al espesor total de la estructura.

Figura 3.2.4.1 diagrama de flujo del agua lluvia en un pavimento



Fuente: www.drenaje interno y falla prematura de pavimento (Ing Alfredo Malagon)

La ecuación de Darcy, aplicada para determinar el caudal total que pasa a través de un medio poroso, se formula así: $Q = k \cdot i \cdot A$, donde k es la permeabilidad del medio poroso, i es el gradiente hidráulico (pérdida de cabeza hidráulica/unidad de distancia recorrida por el agua) y A es el área de la sección del medio poroso, normal a la dirección del flujo.

Aplicando esta ecuación a la infiltración vertical que se presenta a través de una carpeta, tenemos que aun cuando su permeabilidad sea muy baja, el caudal resulta alto porque el valor de i corresponde al máximo posible (flujo vertical, $i = 1$) y A es muy grande, de hecho tan grande como la superficie total del pavimento.

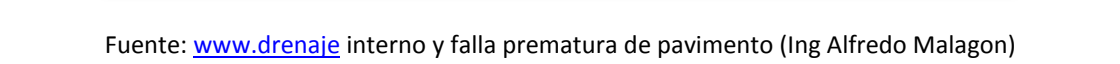
Figura 3.2.4.2 Infiltraciones a través de la carpeta



Fuente: www.drenaje interno y falla prematura de pavimento (Ing Alfredo Malagon)

Figura 3.2.4.3 flujo lateral a través de la estructura

1 DE 4 - ANSWERS 41



La mayoría de las subrasantes están constituidas por suelos de grano fino,

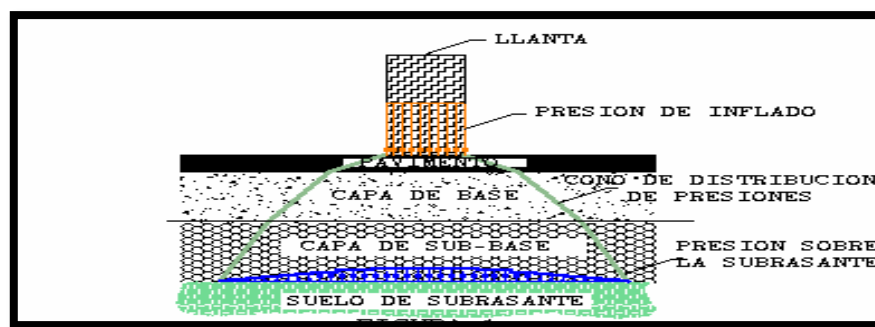
de la carpeta es muy superior al de salida lateral, y por lo tanto el agua se acumula. A lo anterior se suma que la mayoría de las estructuras están confinadas en cajas conformadas en el suelo de subrasante, de manera que se presenta una condición de tina que impide la salida del agua y estimula su acumulación por largos períodos de tiempo.

3.2.5.-Los poros y su contenido

Sea que se establezcan o no, e independientemente del tipo de material usado y de la cantidad de energía aplicada para su compactación, las capas constitutivas del pavimento presentan poros intercomunicados que, idealmente, están llenos de aire. El aire es altamente compresible y en consecuencia no se opone al libre movimiento de las partículas minerales, permitiendo la deformación requerida para el desarrollo de las fuerzas de contacto entre las partículas y conduciendo a la adecuada distribución de las presiones aplicadas sobre la capa.

Si los poros y sus interconexiones están llenos de agua, la capa se transforma en un conjunto de dos materiales, a saber: el material granular, que debe deformarse para distribuir las presiones, y el agua, que por ser incompresible o mejor, de muy alto módulo elástico a la compresión prácticamente no se deforma ante las cargas.

Figura 3.2.5.1 Distribuciones de presiones en la estructura de un pavimento



Fuente: www.drenaje interno y falla prematura de pavimento (Ing Alfredo Malagon)

Bajo condiciones de saturación, como las cargas viajan sobre el pavimento a una velocidad muy superior a la que puede alcanzar el agua dentro de la estructura que se encuentra saturada, es imposible que el agua fluya libremente, y así las cargas del

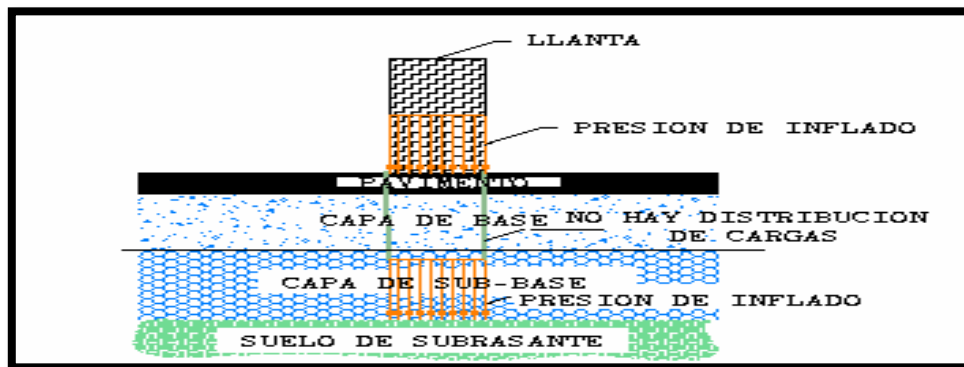
tránsito se transforman en un aumento de la presión de poros que se trasmite sin ningún alivio y en todas las direcciones.

Dicho de otra manera, para que dos materiales puedan trabajar en conjunto, ayudándose entre sí, es necesario que presenten una curva de esfuerzo deformación similar, es decir que tengan comportamientos elásticos similares.

De lo contrario, cada material trabaja independientemente, y el primero en hacerlo es aquél que sea menos deformable.

Como consecuencia de las diferencias elásticas de los materiales, cuando el agua llena los espacios vacíos entre las partículas minerales, las presiones ejercidas por el tránsito, como ya se dijo, viajan a través de ella y se transmiten sin ningún alivio hasta llegar al suelo de subrasante, hecho que impide a las capas de base y sub-base cumplir con su función estructural de diseño.

Figura 3.2.5.2 Capacidad de distribución de presiones desaparece cuando la estructura inundada



Fuente: www.drenaje interno y falla prematura de pavimento (Ing Alfredo Malagon)

3.2.6.- Daños asociados al agua atrapada en los poros

Como consecuencia de la anulación estructural de las capas, cuando la estructura se satura, el suelo de subrasante recibe, a través del agua, una presión muy superior a su capacidad portante y falla, presentando deformaciones excesivas e irreversibles que se reflejan en las capas del sistema de pavimento.

Cabe señalar además que, cuando el material ha sido estabilizado, se presenta un daño adicional: como las cargas de los vehículos son dinámicas y se desplazan

permanentemente, el tránsito genera en el agua atrapada ondas de presión que viajan en todas las direcciones, se estrellan unas con otras, y rompen la ligazón entre las partículas, haciendo que desaparezca la cohesión agregada al material.

Figura 3.2.6.1 ondas de presión generadas por el tránsito cuando la estructura está inundada



Fuente: www.drenaje interno y falla prematura de pavimento (Ing Alfredo Malagon)

Si una base de material pétreo estabilizado cuyo espesor se ha establecido considerando que cuenta con alta resistencia mecánica pierde su cohesión, se transforma en una base granular que no está en capacidad de ofrecer una adecuada distribución de las presiones del tránsito. En consecuencia, los pavimentos que cuentan con este tipo de bases sufren daños más severos ante la acción de las cargas de tránsito sobre el agua atrapada.

3.3.-Tipos de drenes

3.3.1.-Pantallas impermeables

Puede impedirse que el agua subterránea alcance la zona de inestabilidad potencial mediante la construcción de pantallas impermeables profundas. Las pantallas subterráneas pueden consistir en zanjas profundas rellenas de asfalto o concreto, tablestacados, cortinas de inyecciones, o líneas de bombeo de agua consistentes en hileras de pozos verticales. El diseño de estas cortinas debe tener en cuenta los efectos que sobre las áreas adyacentes tiene el cambio del régimen de aguas subterráneas. (Manual de hidrología y drenaje ABC)

Este sistema produce un aumento del nivel freático y represamiento del agua subterránea arriba del deslizamiento y su utilización debe complementarse con la construcción de subdrenes para controlar los efectos negativos.

3.3.2.-Drenes horizontales o subdrenes

Los subdrenes interceptores son zanjas excavadas a mano o con retroexcavadora, rellenas de material filtrante y elementos de captación y transporte del agua. La profundidad máxima de estas zanjas es de aproximadamente seis metros. Los hay de diversas formas así:

- ❖ Con material de filtro y tubo colector (Figura 3.3.2.1)
- ❖ Con material grueso permeable sin tubo (filtro francés)
- ❖ Con geotextil como filtro, material grueso y tubo colector.
- ❖ Con geotextil, material grueso y sin tubo.
- ❖ Tuvo colector con capa gruesa de geotextil a su derredor.
- ❖ Dren sintético con geomalla, geotextil y tubo colector.

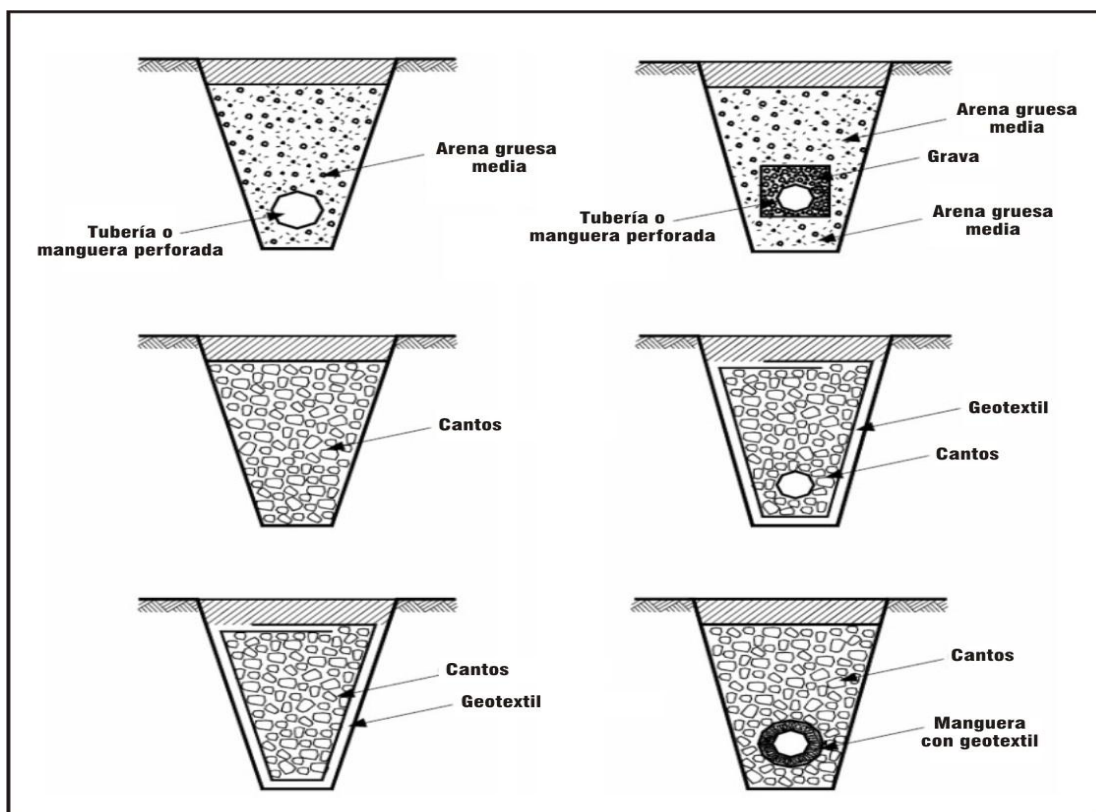
Para los tubos colectores se recomienda la utilización de tubos de PVC de un diámetro mínimo de 4 pulgadas y con dispositivos de limpieza e inspección (cámaras) cada 70 metros.

Generalmente, los sistemas de subdrenes se utilizan en los siguientes casos:

- ❖ Colocado longitudinalmente a los pies de los taludes de cortes que vierten hacia la carretera para interceptar filtraciones
- ❖ Longitudinalmente en un terraplén, ubicado en el lado desde donde fluye el agua subterránea.
- ❖ Longitudinalmente bajo la subbase de la carretera para sanear el área.

Formando parte de un sistema con drenes transversales y longitudinales o dispuestos como una espina de pescado, a fin de sanear en general la faja del camino. (Manual de hidrología y drenaje ABC)

Figura 3.3.2.1 Tipos de subdrenes



Fuente: manuales técnicos volumen 2: hidrología y drenaje ABC

El tipo de dren interceptor a emplear dependerá de:

- ❖ Disponibilidad de materiales en la región y costos.
- ❖ Necesidad de captación y caudal del dren.

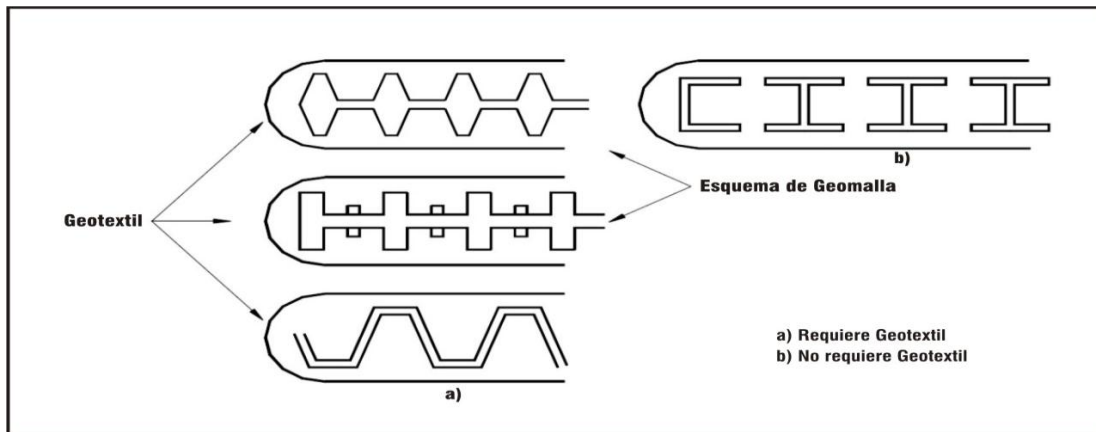
3.3.3.-Subdrenes 100% sintéticos

Debido a la dificultad de obtener materiales naturales para los subdrenes y con el desarrollo de las mallas sintéticas, se está haciendo popular el uso de los subdrenes 100% sintéticos (Figura 3.3.3.1 y Figura 3.3.3.2). Estos subdrenes consisten de tres elementos básicos: (Manual de hidrología y drenaje ABC)

a) Geo malla

La geomalla es una red sintética construida en tal forma que se forman unos canales que facilitan el flujo de agua.

Figura 3.3.3.1 secciones de subdrenes 100% sintéticos



Fuente: manuales técnicos volumen 2 hidrología y drenaje ABC

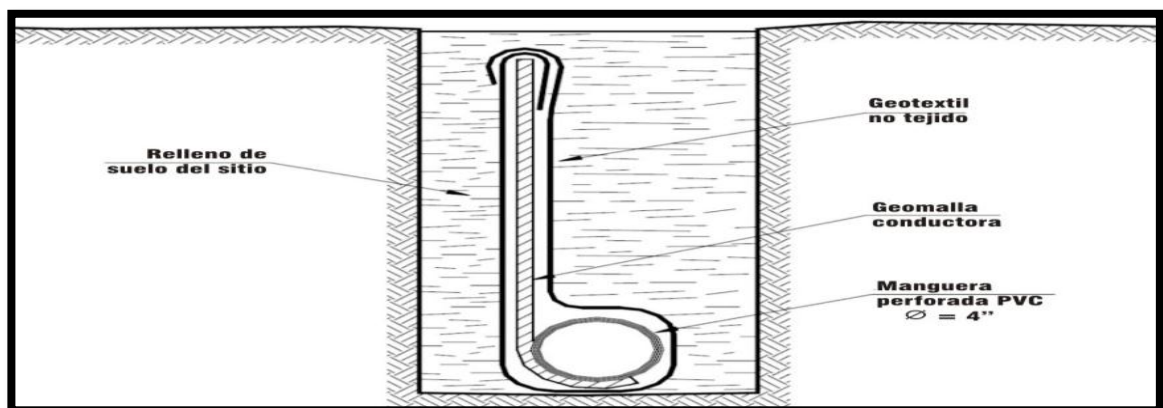
b) Geotextil

La geomalla se envuelve en un geotextil, el cual actúa como filtro impidiendo el paso de partículas de suelo hacia la geomalla y permitiendo a su vez el flujo de agua.

c) Tuvo colector perforado

En el extremo inferior de la geomalla y envuelto por el geotextil se coloca una manguera perforada PVC especial para subdrenes, la cual recoge y conduce el agua colectada por la geomalla.

Figura 3.3.3.2 Diagrama de un subdren 100% sintético



Fuente: manuales técnicos volumen 2 hidrología y drenaje ABC

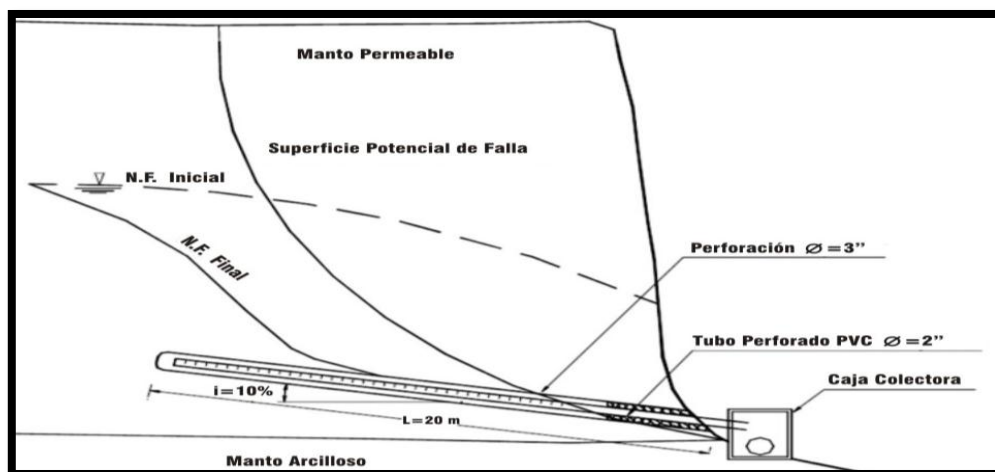
3.3.4.-Drenes de penetración

Un dren horizontal o subdren de penetración consiste en una tubería perforada colocada a través de una masa de suelo mediante una perforación profunda subhorizontal o ligeramente inclinada, con la cual se busca abatir el nivel freático hasta un nivel que incremente la estabilidad del talud (Figura 3.3.4.1).

La principal ventaja de los drenes horizontales es que son rápidos y simples de instalar y se puede obtener un aumento importante del factor de seguridad del talud en muy poco tiempo. El diámetro de las perforaciones es de aproximadamente 3 a 4 pulgadas dentro de las cuales se colocan tuberías perforadas. Los tubos utilizados son metálicos, de polietileno o PVC, generalmente en diámetros 2" ó 3", aunque en ocasiones se emplea otro tipo de diámetro. La tubería se puede perforar con agujeros circulares o ranurar en sentido transversal. Los orificios de la tubería se hacen generalmente, en diámetros de 5 a 1.5 milímetros con una densidad de 15 a 30 agujeros por metro de tubería. En ocasiones los subdrenes se diseñan para que recolecten agua solamente en el sector cercano a la punta interior y se inyecta con un impermeabilizante, la longitud restante de tubo (Figura 3.3.4.2).

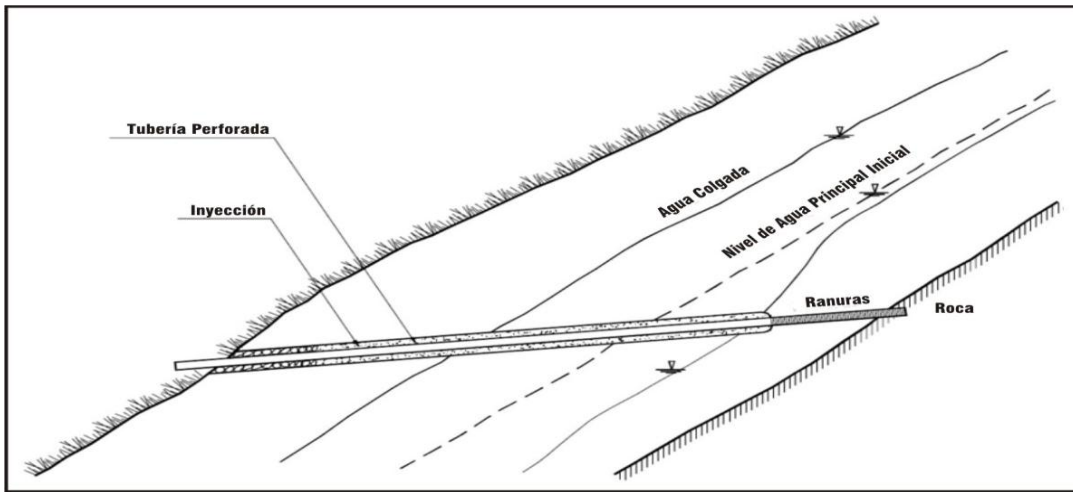
(Manual de hidrología y drenaje ABC)

Figura 3.3.4.1 Esquema general de colocación de subdren de penetración



Fuente: Manuales técnicos volumen 2 hidrología y drenaje ABC

Figura 3.3.4.2 manuales técnicos subdren de penetración diseñado para captar solamente en la punta interior



Fuente: manuales técnicos volumen 2 hidrología y drenaje ABC

La longitud de los drenes depende de las necesidades de drenaje. Comúnmente sus longitudes varían de 10 a 40 metros, pero se conoce de drenes instalados de hasta 120 metros de longitud. En general, la longitud requerida puede ser determinada dibujando una sección del talud con su probable círculo de falla superpuesto sobre una sección geológica, en la cual se podrán observar los acuíferos y corrientes de agua presentes. Los drenes deben instalarse de tal manera que abata o se elimine el nivel de agua o la saturación por encima de la superficie potencial de falla.

Las perforaciones se realizan a inclinaciones de 5% al 20% de pendiente de inicio, pero a medida que avanza la perforación el peso de la tubería hace que esta se defleque y poco a poco va disminuyendo esta pendiente. Un dren de 60 metros de longitud puede quedar hasta dos metros por debajo del nivel de dren propuesto teórico. Después de nivelar el equipo se le da la inclinación y dirección al dren de acuerdo a los datos del estudio geotécnico previo y se inicia la perforación.

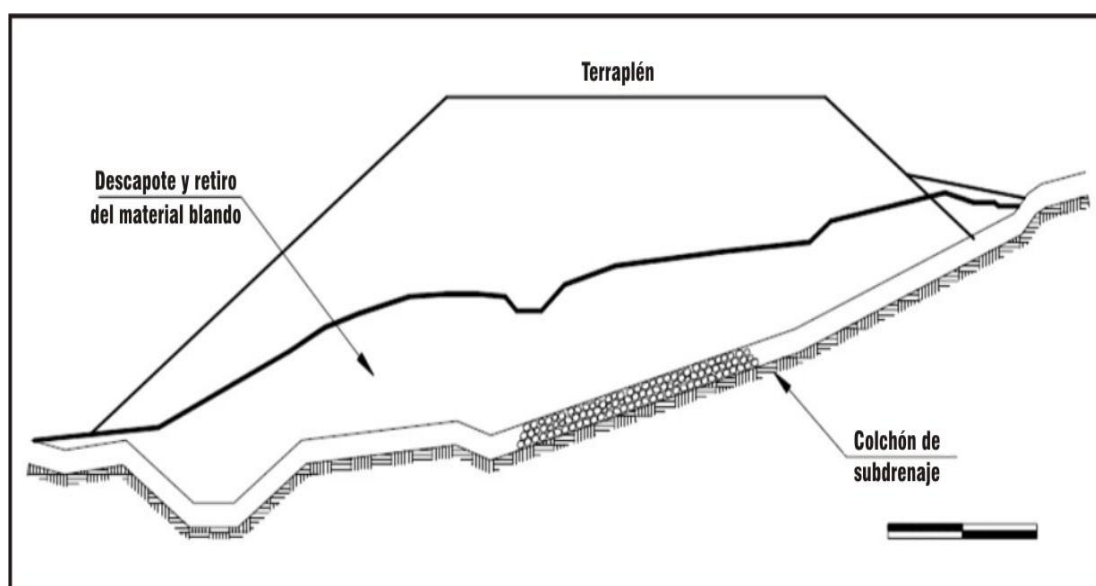
Como usualmente este tipo de subdrenaje se realiza en suelos blandos, se requiere emplear una tubería de revestimiento para su perforación, así ocurre con frecuencia la falla de las paredes del filtro y en ocasiones se dificulta la colocación de la tubería

de filtro. En los 3 a 6 metros más cercanos al borde del talud se debe emplear tubería no perforada y si es necesario se ancla en concreto 1.0 a 2.0 metros de tubería.

3.3.5.-colchones de drenaje

Las capas de material drenante que se colocan debajo de terraplenes, generalmente después de remover los suelos sueltos se les conoce como colchones de drenaje (Figura 3.3.5.1). Generalmente, consisten en una capa de material grueso permeable de 20 a 50 centímetros de espesor envuelto por dos mantos de geotextil. En ocasiones se colocan mangueras o tuberías perforadas para la recolección del agua captada por el colchón de drenaje. (Manual de hidrología y drenaje ABC)

Figura 3.3.5.1 Diagrama de un colchón de drenaje colocado debajo de un terraplén



Fuente: Manuales técnicos volumen 2 hidrología y drenaje ABC

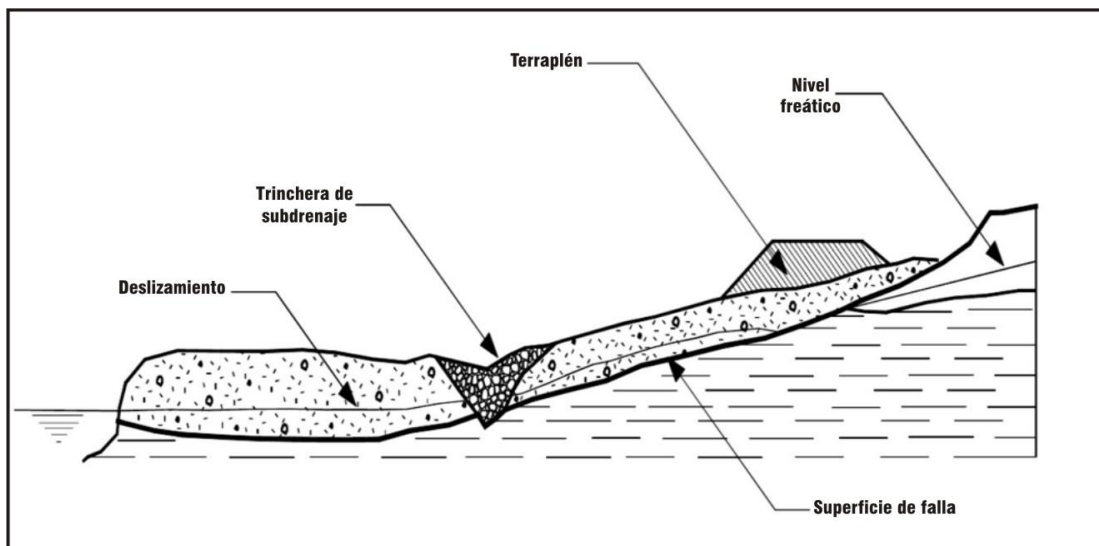
3.3.6.-trincheras estabilizadoras

Las trincheras estabilizadoras son zanjas profundas y anchas construidas generalmente, con maquinaria pesada de movimiento de tierras que en su fondo o paredes laterales lleva un colchón de filtro, un dren interceptor o un sistema de drenes tipo espina de pescado.

La zanja posteriormente se rellena con enrocado o con material común de acuerdo a las necesidades específicas del caso. Generalmente, la trinchera se excava a profundidades superiores a las de la superficie de falla (Figura 3.3.6.1). Este tipo de subdrenes en ocasiones, no ha tenido éxito porque al excavar se activan deslizamientos de tierra de gran magnitud.

El sistema de trinchera trabaja como un dren interceptor profundo y en su diseño deben tenerse en cuenta los requisitos de este tipo de drenes. (Manual de hidrología y drenaje ABC)

Figura 3.3.6.1 Esquema de trinchera estabilizadora



Fuente: manuales técnicos volumen 2 hidrología y drenaje ABC

3.3.7.-pantallas de drenaje

Las pantallas de drenaje son estructuras similares en apariencia a un muro de contención, las cuales se colocan sobre la superficie del talud con el objetivo principal de impedir que se produzca erosión ocasionada por las ex filtraciones de agua subterránea (Figura 3.3.7.1). Las pantallas de drenaje constan de tres elementos básicos: (Manual de hidrología y drenaje ABC)

3.3.7.1.-Filtro sobre la superficie del talud

Este filtro puede ser material granular o geotextil con material grueso, el cual se

coloca cubriendo toda el área de ex filtraciones. Este filtro debe cumplir las especificaciones indicadas para filtros en subdrenes de zanja.

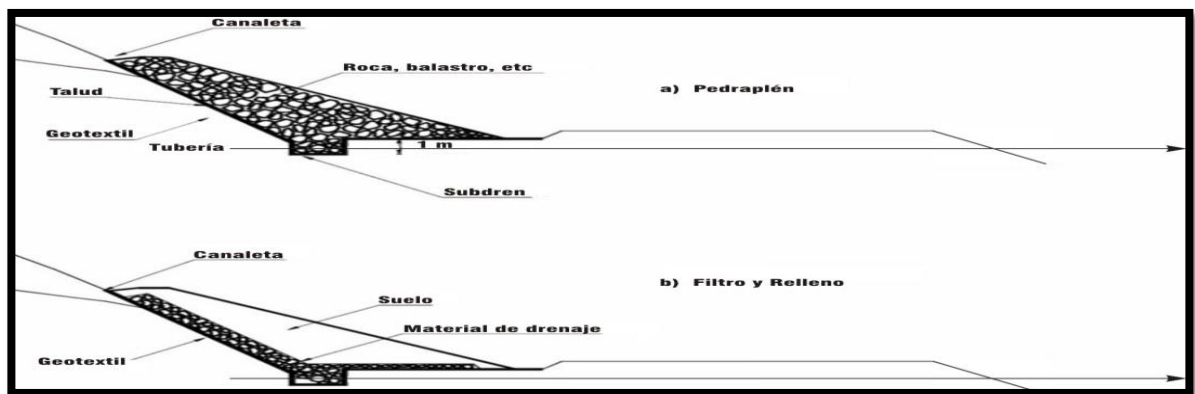
3.3.7.2.-Estructura de contención o retención

Esta estructura tiene por objeto mantener en su sitio el filtro y ayudar a la contención de la masa de suelo sobre la cual actúa el gradiente hidráulico, al aflorar el agua. La estructura de contención puede ser un muro en gaviones, enrocado, muro criba, etc.

3.3.7.3.- Sub-dren colector

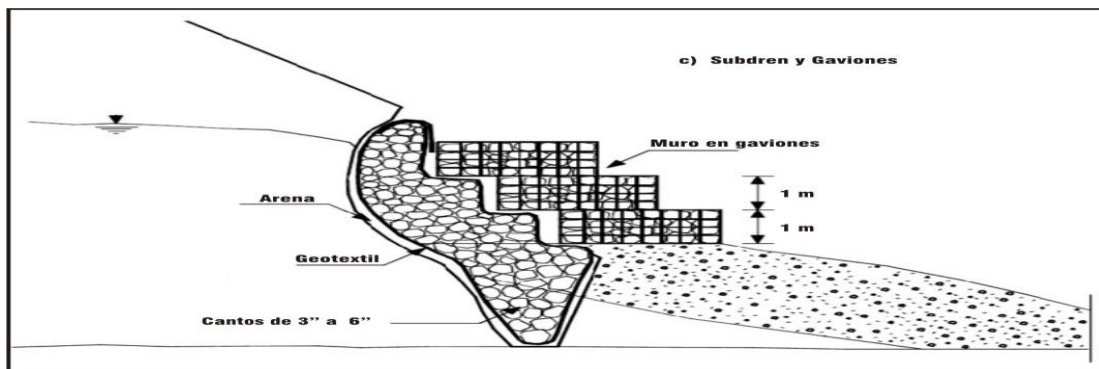
Este subdren se coloca en el pie del talud para recoger el agua captada por la pantalla y conducirla a un sitio seguro.

Figura 3. 3.7.1 Ejemplos de subdrenes de pantalla (parte 1)



Fuente: Manuales técnicos volumen 2 hidrología y drenaje ABC

Figura 3.3.7.2 Ejemplos de subdrenes de pantalla (parte 2)



Fuente: manuales técnicos volumen 2 hidrología y drenaje ABC

3.3.8.-Condiciones de instalación

Los sub-drenes están constituidos por zanjas en las cuales se colocan uno o más tubos con orificios perforados, juntas abiertas o tubos fabricados en base a material poroso. Los tubos se rodean de un material filtrante que evita el arrastre de finos, está compactado adecuadamente y aislado de las aguas superficiales por una capa impermeable que sella la parte superior de la zanja.

Las zanjas serán de paramentos verticales si las condiciones del terreno lo permiten, estando su profundidad definida por los requerimientos del sistema de drenaje.

La disposición del material filtro y sus características dependen del tipo de subdren y de las condiciones de fundación en la zanja.

El material filtro debe cumplir ciertos requisitos para impedir el arrastre de finos que puede obstruir las perforaciones de los tubos o bien, penetrar al interior de los tubos. En el caso de drenes con juntas abiertas, se recomienda el empleo de dos materiales filtrantes diferentes para el relleno. Uno más grueso colocado en contacto con el tubo para evitar el arrastre del filtro fino y un material filtrante fino para evitar el arrastre de las partículas finas del suelo.

3.4.-Dimensionamiento de obras de drenaje interno

3.4.1.-Diseño de subdrenes

El diseño de subdrenes de zanja tiene por objeto determinar los siguientes elementos Profundidad y ancho de la zanja

- ❖ Espaciamiento entre zanjas
- ❖ Localización en planta de los subdrenes
- ❖ Material filtrante y especificaciones
- ❖ Cálculo de caudales colectados
- ❖ Sistemas de recolección y entrega

a) Profundidad y ancho de los subdrenes

El trazado y las características geométricas de las zanjas drenantes lo definirá el tipo de proyecto, que podrán ubicarse bajo cunetas revestidas siempre que se adopten medidas para que no se produzcan filtraciones bajo las mismas.

Por otra parte, cuando se implanta subdrenes dentro de una vía expuesta a deslizamientos, las zanjas son más efectivos cuando la profundidad del deslizamiento es menor a los 3 metros, en los cuales los drenes penetran completamente a través de la masa deslizada dentro del material estable. En los deslizamientos profundos (más de 6 m de espesor), generalmente los subdrenes de zanja no son efectivos y se puede requerir otros sistemas de drenaje, como son los drenes horizontales o las galerías de drenaje.

Mientras que, es muy difícil y complejo en la mayoría de los casos, utilizar subdrenes de zanja para el control del agua subterránea en formaciones rocosas y generalmente, se prefiere el uso de subdrenes de penetración.

En las masas de roca, el flujo de agua generalmente está determinado por las juntas y por lo tanto, cualquier sistema de subdrenaje debe estar destinado a interceptarlas y por ende un sistema de subdrenaje puede generar cambios importantes y peligrosos en el sistema interno de drenaje de un macizo de roca. De acuerdo a lo indicado anteriormente, en la siguiente figura se detalla la geometría: (Figura 3.4.1.1).

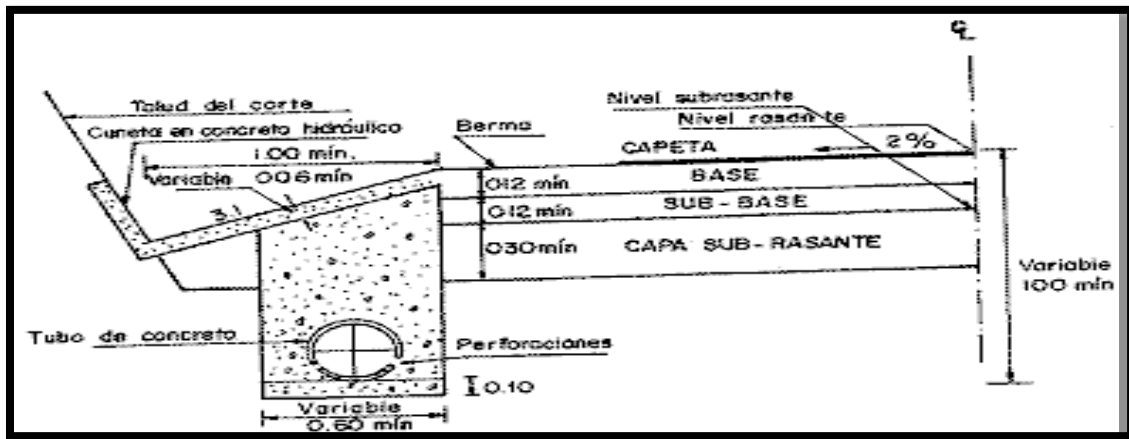
Figura 3.4.1.1 Detalles típicos de una zanja drenante



Fuente: (suárez, control de aguas superficiales y subterráneas, 2006).

En general para terrenos montañosos y ondulados, la zanja tiene profundidad variable, depende de las características del suelo (capilaridad), nivel al que puede encontrarse suelo impermeable al que es preferible llegar, niveles de descarga, etc.; la profundidad mínima debe ser 1.0 m. el ancho de la zanja es variable con un mínimo de 0.60m. La pendiente debe ser 0.15% y máximo 0.5%, en la Figura 3.4.1.2 se detalla la geometría de una zanja.

Figura 3.4.1.2: zanja drenante



Fuente: (Suárez, control de aguas superficiales y subterráneas, 2006).

b) Descripciones específicas sobre la zanja drenante

En proyectos de zanjas drenantes, de acuerdo a criterios e indicaciones de normas extranjeras, deben observarse los siguientes aspectos:

- ❖ Si el terreno natural y el relleno de la zanja no cumplieran condiciones de filtro, se dispondrá un elemento separador que cumpla dichas condiciones, con el fin de evitar las migraciones de finos que podrían producir erosión interna en el terreno y colmatación en el relleno de la zanja. La colocación de filtros minerales conduce a soluciones muy elaboradas, por lo que en general será preferible el empleo de geotextiles como elementos de separación y filtro.
- ❖ Si el fondo de la zanja no estuviera situado en terreno impermeable, se deberá considerar la conveniencia de impermeabilizarlo. Su pendiente

longitudinal mínima se determinará en función del material que lo conforme, si bien en todo caso habrá de ser superior a 0.5%.

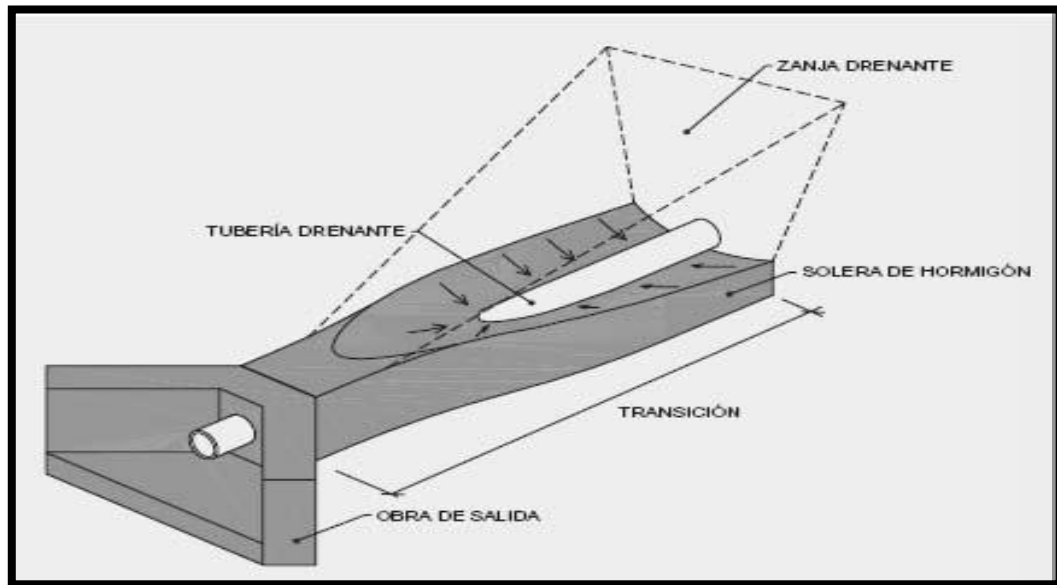
- ❖ Cuando se lleve a cabo la impermeabilización artificial del fondo, se recomienda disponer una solera de hormigón con sección transversal en forma de «V» o artesa con pendientes iguales o superiores al cinco por ciento (5%). La impermeabilización del fondo también se puede conseguir mediante una capa de espesor suficiente de material tolerable, cuyo cernido por el tamiz 0,080 sea mayor que el treinta y cinco por ciento ($\# 0,080 \text{ mm} > 35\%$) y cuyo contenido de yeso, sea menor del dos por ciento (2%), o mediante la colocación de lámina impermeable, previo rasanteo y compactación del fondo de la zanja.
- ❖ Salvo justificación expresa en contra del proyecto, las zanjas se proyectarán con tubería drenante en el fondo, la cual resulta muy conveniente para canalizar las aguas captadas y posibilitar los trabajos de limpieza y conservación.

c) Desagüe de la zanja drenante

Las zanjas drenantes no deberán recibir más caudales que los captados por ellas mismas en los tramos situados entre pozos de registro. Una vez en el pozo de registro, las aguas se evacuarán al cauce natural, al sistema de drenaje superficial cuando estuviera previsto, o a colectores. En los casos excepcionales, convenientemente justificados en el proyecto, en los que una zanja drenante hubiera de desaguar directamente al exterior sin haberlo hecho previamente a un colector, deberá garantizarse que el vertido se realice a un punto con salida a la red de drenaje superficial o preferiblemente a un cauce. En la terminación de la zanja drenante se proyectará una transición geométrica en la que la parte superior se acerque a la inferior que deberá estar impermeabilizada, hasta quedar la sección reducida al propio tubo embebido preferiblemente en hormigón. Asimismo se

proyectará una solera y embocadura en la sección de vertido, adecuada a los trabajos de limpieza y conservación previstos.

Figura 3.4.1.3: Desagüe directo de una zanja drenante



Fuente: Manual de hidráulica y hidrología ABC

Existen dos enfoques diferentes para el diseño:

d) Procedimiento empírico

Este sistema se basa en la experiencia anterior de un experto conocedor del comportamiento del agua en los suelos del sitio. La profundidad, espaciamiento y demás características del subdrenaje se realiza exclusivamente basado en el conocimiento previo del experto, conjuntamente con un estudio geotécnico que incluye ensayos de Permeabilidad del suelo.

e) Procedimiento analítico I

A continuación se plantean dos metodologías para el diseño de drenes de zanja. El primero se basa en un modelo matemático, similar a una red de flujo donde se calcula los efectos para diferentes profundidades de drenes.

La combinación de sistemas empíricos y analíticos con un conocimiento lo más detallado posible de las características del sistema de agua subterránea es probablemente, la mejor alternativa para el diseño.

3.4.2.-Material de filtro

Es conveniente tener en cuenta que los drenes tratan de taponarse por transporte y deposición de las partículas más finas del suelo. Para evitar este fenómeno se debe colocar un filtro que debe cumplir los siguientes objetivos:

- ❖ Impedir el paso de las partículas finas del suelo a proteger.
- ❖ Permitir la filtración rápida del agua.

Existen dos tipos generales de filtro.

- ❖ Material granular natural filtrante.
- ❖ Filtro de mantos sintéticos o geotextiles.

Se requiere escoger muy cuidadosamente el material de filtro o el tipo y calidad del geotextil a emplear. Para material de filtro se deben cumplir ciertos requisitos de granulometría los cuales son universalmente conocidos. (Manual de hidrología y drenaje ABC)

a) Criterio de filtración o protección contra la erosión interna

El propósito de un filtro es proteger el suelo contra la erosión interna al mismo tiempo permitir el paso del agua. En la literatura técnica se han presentado decenas de relaciones entre los diversos parámetros granulométricos del suelo y del filtro que se deben cumplir para garantizar su funcionamiento óptimo. Para objeto del presente manual solo se presentan los más utilizados.

En suelos granulares y limosos se establecen las siguientes relaciones, en las cuales el subíndice F representa el filtro, y la S representa el suelo natural o suelo alrededor del filtro:

- ❖ D_{15} es el diámetro de partícula para el 15% de pasantes en la curva granulométrica.

- ❖ D85 es el diámetro de partícula para el 85% de pasantes en la curva granulométrica.
- ❖ La primera relación de granulometría de un material de filtro fue la propuesta por Bertram (1940)

$$\frac{D_{15 F}}{D_{85 S}} \leq 6 \text{ a } 11$$

Basado en los ensayos realizados por **Bertram Terzaghi y Peck** (1960) modificó esta relación bajando el límite a 4: Manual de hidrología y drenaje (ABC)

$$\frac{D_{15 F}}{D_{85 S}} \leq 4$$

Algunas normas de instituciones recomiendan utilizar un límite de 5, para suelos bien gradados y de 6 para suelos uniformes, es decir: Manual de hidrología y drenaje ABC)

$$\frac{D_{15 F}}{D_{85 S}} \leq 5 \quad \text{para suelos bien graduados}$$

$$\frac{D_{15 F}}{D_{85 S}} \leq 4 \quad \text{para suelos uniformes}$$

Sherard (1984) definió en ensayos de laboratorio que ocurre falla por erosión cuando la relación anterior alcanza un valor de 9.

- ❖ D15 es el diámetro de partícula para el 15% de pasantes en la curva granulométrica.
- ❖ D85 es el diámetro de partícula para el 85% de pasantes en la curva granulométrica.

Algunas normas de instituciones recomiendan utilizar un límite de 5, para suelos bien gradados y de 6 para suelos uniformes. De acuerdo con el Geotechnical

Engineering Office de Hong Kong se deben cumplir adicionalmente las siguientes condiciones: Manual de hidrología y drenaje (ABC)

$$\frac{D_{15 F}}{D_{15 S}} \leq 40$$

$$\frac{D_{50 F}}{D_{50 S}} \leq 40$$

b) Porcentaje de finos

Es también recomendable que el material de filtro no posea más de un 5% de material que pase la malla 200, para evitar la migración de finos del filtro hacia las tuberías de drenaje y para garantizar una permeabilidad suficiente a fin de que el agua drene fácilmente. Algunas entidades exigen limitar los finos a solo 3%. Un material con el 6% de finos posee 1/3 a 1/5 la permeabilidad de un material que tiene el 3% d finos. Manual de hidrología y drenaje (ABC)

c) Forma de las curvas de gradación

Se deben evitar los filtros cuya gradación tenga vacíos de algún tamaño de granos, o sea los materiales con curvas granulométricas que presenten gradas.

El Geotechnical Engineering Office de Hong Kong recomienda que se cumpla las siguientes relaciones para evitar la segregación: Manual de hidrología y drenaje (ABC)

$$4 < \frac{D_{60 F}}{D_{10 S}} < 20 \quad \text{Coeficiente de Uniformidad}$$

Y el tamaño máximo de partícula no debe ser mayor de 75 milímetros.

Cuando el suelo que se desea drenar presenta algunos tamaños de partículas escasos o inexistentes, lo cual se manifiesta en un quiebre pronunciado de su curva granulométrica, algunos recomiendan que el material de filtro debe ser diseñado sobre la base de las partículas del suelo más finas (menores que el punto de quiebre). Similar recomendación se hace cuando se trata de suelos estratificados por

tamaños variables. Algunos autores han propuesto relaciones con el coeficiente de uniformidad del filtro y con el D50 del suelo y del filtro o el D95 y el D75 del suelo e incluso se han presentado propuestas con ecuaciones logarítmicas relativamente complicadas (Schuller y Brauns - 1992).

d) Material de filtro estándar

En ocasiones es difícil encontrar un material natural que cumpla las condiciones de material de filtro para un determinado suelo y se requiere fabricarlo mediante tamizado y/o mezcla de materiales. La Secretaría de Obras Públicas de México recomienda un filtro general básico para todo tipo de suelos para subdrenes de carreteras de acuerdo a la Tabla 3.4.2.1. Este tipo de filtro aunque cumple especificaciones para una gran gama de suelos, en algunos casos podría presentar problemas de erosión interna o taponamiento.

Tabla 3.4.2.1 Granulometría de materiales para filtro de México

MALLA TAMIZ ASTM	PORCENTAJE QUE PASA EN PESO
1 1/2"	100
1"	80-100
3/4"	85-100
3/8"	40-80
N 4	20-55
N 10	0-35
N 20	0-20
N 40	0-12
N 100	0-7
N 200	0-5

Fuente: Secretaria de obras públicas de México (ABC)

e) Agregados para subdrenes con geotextiles

Generalmente, los subdrenes de zanja con geotextil emplean agregados gruesos y uniformes.

Los tamaños que se utilizan comúnmente son los siguientes:

- ❖ Bloques de roca de 2 a 4 pulgadas de diámetro.
- ❖ Gravas de 1 a 2 pulgadas de diámetro.
- ❖ Gravas de ¾ de pulgada de 1 1/2 pulgadas.

Algunas entidades aducen que existe un riesgo de que al aumentar el tamaño del material, aumente la posibilidad de rotura del geotextil durante su colocación. De acuerdo con nuestro criterio, este riesgo es muy pequeño y son muy pocos los casos en que el geotextil se rompe por utilizar bloques de 2 a 4 pulgadas. Entre más grueso sea el material, el comportamiento del subdren generalmente es más eficiente. El porcentaje de finos debe limitarse a menos del 3% en peso de pasantes del tamiz número ASTM 200 y los finos no deben ser plásticos. Los subdrenes contruidos con material que contenga más del 5% de finos generalmente son ineficientes.

Algunos autores recomiendan el uso de materiales angulosos (Cornforth 2005), con el objetivo de garantizar una mayor permeabilidad y una mayor resistencia al cortante. En el caso de los subdrenes excavados por debajo de la superficie de falla, la utilización de materiales angulosos genera un mejor efecto estabilizante, sin embargo, cuando los subdrenes no alcanzan la superficie de falla, es indiferente el uso del material sea filtrante, es decir, que se cumplan las condiciones que permitan el paso de agua pero impidan el paso de los finos.

f) Tubería perforada (tubería recolectora)

Antiguamente se utilizaba tuberías de arcilla o mortero de cemento para recolectar el agua de los filtros y conduciría hacia un sitio de entrega.

En los últimos años se ha popularizado el uso de tuberías, especialmente de polietileno PVC. Igualmente en algunos países se utiliza la tubería metálica perforada en la mayoría de los subdrenes con material de diámetro inferior 1 ½ de pulgada, es necesario el uso de la tubería colectora para filtros.

g) Condiciones hidráulicas

Normalmente la capacidad hidráulica del dren queda limitada por la posibilidad de filtración lateral del agua a través de material permeable hacia la tubería.

La capacidad hidráulica de este, de acuerdo a los diámetros recomendados generalmente es muy superior a la necesaria para la exigencia del drenaje. No obstante si existe la capacidad de conocer con buena exactitud el caudal de drenaje,

puede hacerse el cálculo hidráulico de la tubería utilizando la fórmula de Chezy u otra análoga de las que rigen el movimiento del agua en cauces abiertos o para flujo a presión cuando se deje trabajar el drenaje con presiones bajas.

Los coeficientes de rugosidad que se hagan necesarios utilizar, se puede tomar de la siguiente tabla.

Tabla 3.4.2.2 coeficiente de rugosidad para tubos de drenaje

TIPO DE TUBO	COEFICIENTE DE ROGUSIDAD DE MANNING (n)
DE CONCRETO Y CERAMICA:	0.013
regulares condiciones	0.015
DE CONCRETO POROSO:	
buena condiciones	0.017
regulares condiciones	0.021
DE PLASTICO:	
buena condiciones	0.013
regulares condiciones	0.015
DE METAL:	
buena condiciones	0.017
regulares condiciones	0.021

Fuente libro drenaje vial superficial y subterráneo (Colombia)

h) Tamaño de orificios de la tubería colectora

En la mayoría de los subdrenes con material de filtro se utiliza un tubo colector perforado que se coloca en la parte baja de la zanja embebido en el material filtrante. En cuanto al tamaño de los orificios del tubo recolector, el U. S Army Corps of Engineers (1955) recomienda la siguiente relación, entre el tamaño del filtro y el ancho del orificio: Manual de hidrología y drenaje (ABC)

$$\text{para huecos circulares: } \frac{D_{85 F}}{\text{Diametro}} > 1$$

$$\text{para ranuras: } \frac{D_{85 F}}{\text{Ancho}} > 12$$

El criterio utilizado por U.S. Bureau of Reclamation (1973) es el siguiente:

$$\frac{D_{85 \text{ del filtro junto al orificio}}}{\text{Ancho}} \geq 2$$

En los tubos de concreto poroso:

$$\frac{D_{15 \text{ del arido del tubo poroso}}}{D_{85 \text{ del filtro}}} \leq 2$$

Los orificios deben estar en la mitad inferior del tubo para lograr una mayor interceptación del agua, reducir el lavado del material, y disminuir la cantidad de agua atrapada en la base de la zanja.

i) Área de abertura.

En el diseño del área perimetral abierta de los conductos se debe tomar en consideración dos aspectos fundamentales:

- ❖ Pérdida de la resistencia estructural de la tubería.
- ❖ Velocidad de ingreso.

Existen diversas opiniones acerca del valor de la máxima velocidad de entrada permisible para evitar el arrastre de partículas finas.

Estos valores varían desde 2.5cm/s hasta 10cm/s con un valor recomendado de 3cm/s y calculado para un coeficiente de contracción de entrada por orificio de 0.55.

En todo caso, es recomendable disponer de la mayor cantidad de área abierta para tener bajas velocidades de entrada. Se ha establecido que para tubería PVC que el área abierta máxima esta alrededor de 3-5%.

El área abierta por unidad de longitud del conducto estará dada por la siguiente expresión:

$$A = \frac{Q}{V_e * C_c}$$

Dónde:

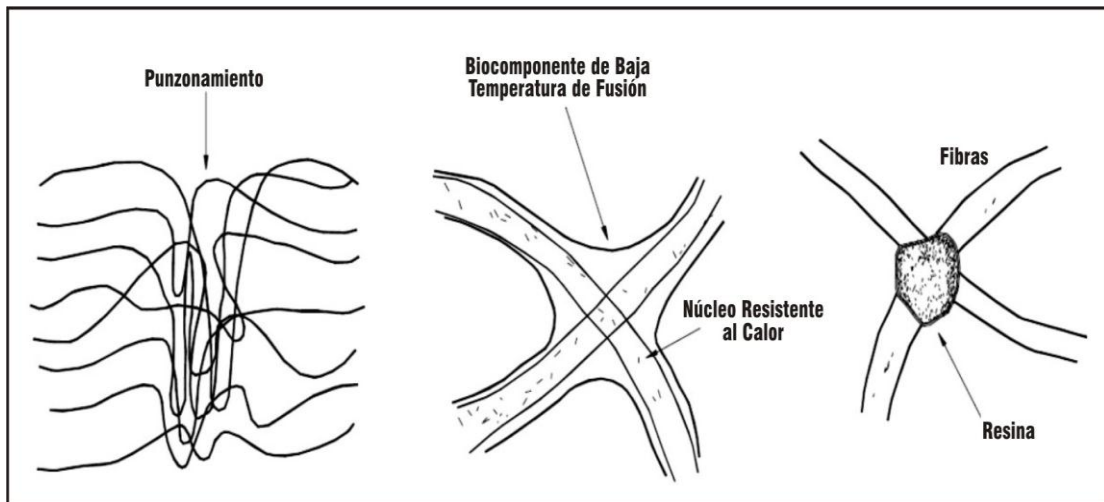
A=área abierta por unidad de longitud del conducto (m²/m)

Q=Caudal de diseño de la galería por unidad de longitud (m³/s*m)

V_e =Velocidad de entrada (m/s)

C c=Coeficiente de contracción

Figura 3.4.2.1 Manuales técnicos diagrama esquemático de varios tipos de unión de fibras en geotextiles no tejidos



Fuente: Manuales técnicos volumen 2 hidrología y drenaje ABC

J) Filtros de geotextil

Los geotextiles son telas permeables, filtrantes, construidas con fibras sintéticas, especialmente polipropileno, poliéster, nylon y polietileno. Los geotextiles generalmente, se clasifican en tejidos y no tejidos. Los tejidos a su vez se diferencian de acuerdo al sistema de tejido (Figura 3.4.2.2)

Los geotextiles más utilizados para filtro son los no tejidos, entre los cuales se deben diferenciar los perforados con alfileres, los pegados al calor y los pegados con resinas aunque es común encontrar mezclas de los tres procesos de manera combinada.

La durabilidad de los geotextiles está en función de las fibras poliméricas y las resinas a los ataques ambientales. Los principales problemas de las telas filtrantes corresponden a su baja resistencia a la exposición a los rayos solares, los cuales las descomponen, a las altas temperaturas y a ciertos químicos.

Desde el punto de vista de filtración se utilizan los siguientes criterios de acuerdo al Federal Highway Association de los Estados Unidos: Manual de hidrología y drenaje ABC)

J-1) Criterio de retención del suelo

Este criterio asegura que las aberturas sean lo suficientemente pequeña para evitar la migración del suelo hacia el medio drenante o hacia donde se dirige el flujo, un geotextil debe cumplir las siguientes condiciones:

$$TAA \leq BD_{85}$$

Dónde:

TAA= Tamaño de abertura aparente, dato suministrado por el fabricante correspondiente a la abertura de los espacios libres (en mm) se obtiene tamizando unas esferas de vidrio de diametro conocidos, cuando el 5% de un tamaño determinado de esferas pasa a través del geotextil, se define el TAA

D85=Tamaño de partículas (en mm) que corresponde al 85% del suelo que pasa al ser tamizado. Este dato se obtiene de la curva granulométrica del suelo en consideración.

B= coeficiente que varía 1 y 3 depende del tipo de suelo a filtrar, de las condiciones de flujo y del tipo del geotextil.

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \text{coeficiente de uniformidad del suelo.}$$

❖ Para suelos con $\leq 50\%$ de pasantes del tamiz US No. 200

Para arenas gravosas, arenas limosas y arenas arcillosas (con menos del 50% pasa tamiz #200), B es función del coeficiente de uniformidad $Cu=D_{60}/D_{10}$, de la siguiente manera:

$$B = 1 \text{ Para } 2 < Cu \leq 8$$

$$B = 0.5 \text{ Cu Para } 2 < Cu \leq 4$$

$$B = \frac{8}{Cu} \text{ Para } 4 < Cu \leq 8$$

- ❖ Para suelos arenosos mal graduados usar B 1.5-2
- ❖ Para suelos con > 50% de pasantes del tamiz US No. 200 B en función del tipo de geotextil.

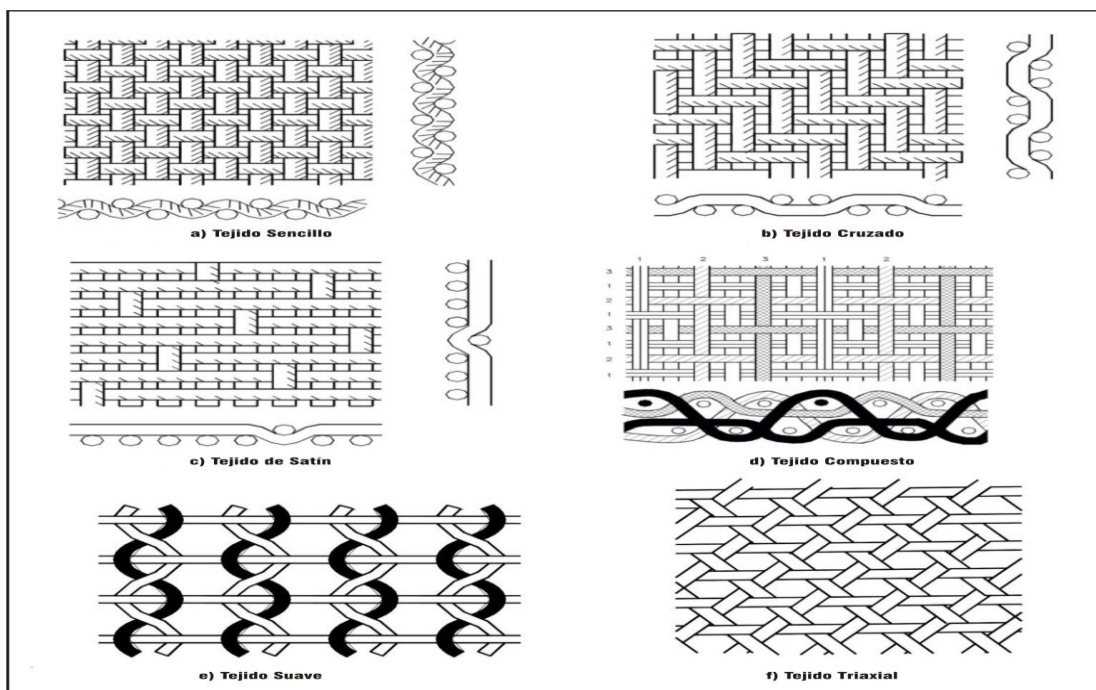
$$TAA \leq D_{85} \text{ Para geotextiles tejidos } B = 1$$

$$TAA \leq 1.8 D_{85} \text{ Para geotextiles no tejidos } B = 1.8$$

$$AOS \text{ de la tela } \geq \text{Abertura del tamiz No 50 (0.297 mm)}$$

Tabla 3.4.2.3 Rango de valores de algunas propiedades representativas de algunos geotextiles.

Geotextil	Resistencia a la tensión (KN/m)	Elongación Máxima (%)	AOS (mm.)	Caudal de flujo (l/m²/seg)	Peso unitario (g/m³)
TEJIDOS Monofilamento Hilo Cinta	20-80 40-800 8-90	5-35 5-30 15-20	0.07-2.5 0.2-0.9 0.05-0.1	25-2000 20-80 5-15	150-300 250- 1300 100-250
NO TEJIDOS Punzonado Fundido Con Resina	7-90 3-25 4-30	50-80 20-60 30-50	0.02-0.15 0.01- 0.35 0.01-0.35	25-200 25-150 20- 100	150-2000 70-350 130-800



Fuente: Manuales técnicos volumen 2 hidrología y drenaje ABC

J-2) Criterio de permeabilidad

Se debe permitir un adecuado flujo del agua a través del geotextil considerando su habilidad para esto. Manual de hidrología y drenaje (ABC)

El coeficiente de permeabilidad es la propiedad hidráulica por medio de la cual el geotextil permite un adecuado paso de flujo perpendicular al plano del mismo, para revisar la permeabilidad del geotextil se debe tener en cuenta el siguiente:

- ❖ Para condiciones de flujo estable o flujo laminar y suelo no dispersivos con porcentaje de finos no mayores al 50% y de acuerdo con el criterio de Schober y Teindl (1979); Water (1980); Carrol (1983)

$$K_n = K$$

Dónde:

K = Permeabilidad del suelo

Kn = Permeabilidad normal al plano del geotextil

- ❖ Para condiciones de flujo crítico, altos gradientes hidráulicos y buscando un correcto desempeño a largo plazo reduciendo riesgo, colmatación se recomienda usar el criterio de Carroll (1983); Chistopher y Holtz (1985)

$$K_n \geq 10 \text{ veces } K$$

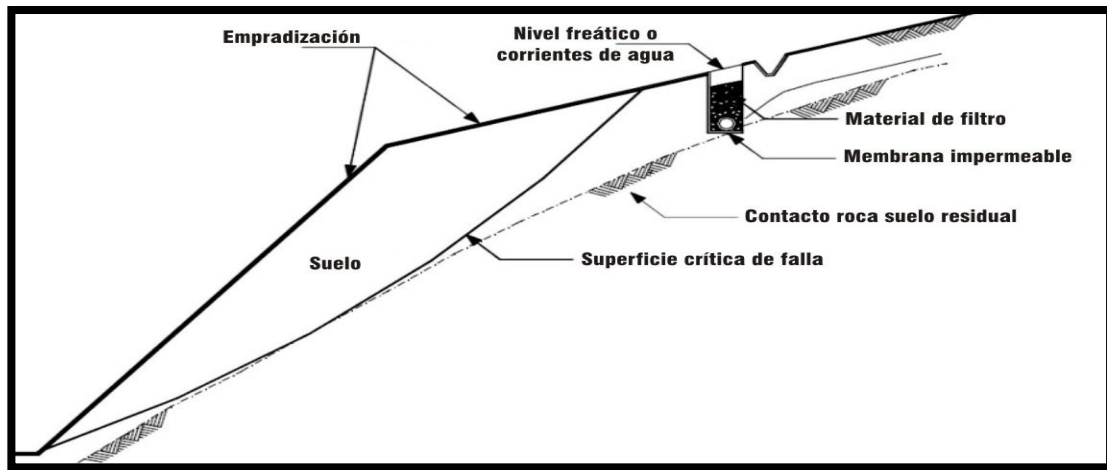
Y el Diseñador deberá realizar ensayos de filtración para comprobar que el geotextil no se tapa.

En situaciones potenciales de taponamiento se recomienda la siguiente especificación:

- ❖ Porcentaje de área abierta $\geq 4\%$ para geotextiles tejidos.
- ❖ Porosidad $\geq 30\%$ para geotextiles no tejidos.

Adicionalmente se pueden exigir requisitos de resistencia a la tensión Grab para garantizar que el geotextil no se rompa durante el manejo.

Figura 3.4.2.2 Diagrama de un dren interceptor



Fuente: Manuales técnicos volumen 2 hidrología y drenaje ABC

K) Criterios generales para el diseño de filtros

Adicionalmente a los criterios anteriores se deben tener en cuenta los siguientes:

- ❖ A Los suelos residuales son muy variables granulométricamente y debe realizarse un número grande de ensayos de Granulometría, previamente al diseño de filtro. Debe tenerse en cuenta que las partículas de mayor tamaño tienen muy poco efecto en el proceso de filtración (Geotechnical Engineering Office - 1993).
- ❖ El parámetro D85 para utilizar en el criterio de retención debe tomarse en forma conservadora para tener en cuenta la variabilidad del suelo. Los ensayos de permeabilidad deben ser realizados en el campo, teniendo en cuenta que la permeabilidad obtenida en el laboratorio es muy afectada por el manejo de la muestra.
- ❖ En los sitios donde existe flujo concentrado de agua el uso de geotextiles puede no ser adecuado y se puede requerir un sistema mucho más resistente y de gran capacidad.
- ❖ Las raíces de las plantas afectan en forma grave los filtros y se debe evitar sembrar árboles cerca a los subdrenes.

- ❖ Debe tenerse especial cuidado de no romper el geotextil al colocar los materiales granulares y debe evitarse la exposición al sol de la tela, por varios periodos de tiempo. Manual de hidrología y drenaje (ABC)

3.4.3.-Análisis Hidrológico

El análisis se realizara a través del estudio probabilístico de las precipitaciones máximas diarias que se tiene en la estación más próximas al tramo de estudio, y a partir de ellas se trazaron las curvas de intensidad, duración y frecuencia y de esta manera calcular el escurrimiento máximo para diferentes probabilidades de ocurrencia.

El cálculo se lo realizara por medio de la ley Gumbell modificada que obedece a la siguiente relación:

$$h_{dT} = E_d \left(\frac{t}{\alpha} \right)^{\beta} (1 + K_d \log T)$$

Dónde:

H_{dT} = Lluvia máxima diaria para un periodo de retorno T, en (m m.)

E_d = Moda, en (m m.)

K_d = Característica de la distribución

T = periodo de retorno en años

$$hd_T = Ed_{pond} \left(\frac{t}{12} \right)^{0.2} * (1 + Kd_{pond} * \log(T))$$

Dónde:

t = tiempo en horas

β = Exponente que varía entre 0.2 y 0.3

α = tiempo correspondiente a la lluvia diaria (12 hs.)

PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HR (mm)

$$Ed = \bar{X} - 0.455 * \sigma$$

$$Kd = \frac{\sigma}{0.557 * Ed}$$

3.4.4.-Análisis Hidráulico

El diseño hidráulico de los subdrenes incluye la determinación del caudal a evacuar, el cálculo del espaciamiento de ellos, definición del diámetro y pendiente de la tubería.

3.4.5.-Modulo de drenaje

Es muy complicado, prácticamente imposible, conocer con exactitud el caudal que en un momento dado fluye hacia los drenes en un sistema de drenaje interno.

Por eso es recomendable en estos casos adoptar caudales de diseño un poco excedidos a los caudales normalmente obtenidos con ayuda de fórmulas.

Se propone entonces adoptar como caudal de diseño, aquel que finalmente es recibido por las tuberías de drenaje, la suma de dos caudales: el proveniente de la escorrentía superficial.

Que no alcanza a ser evacuada por la red de drenaje externo; y el segundo proveniente de un acuífero o del propio suelo satura, o sea, en esta forma el módulo de drenaje quedara:

$$Dr = q + q_o \quad \text{Drenaje superficial y subterráneo (Ing. Lemos Rodrigo)}$$

Dr=Modulo de drenaje, se puede dar en forma de lámina de agua o en forma de caudal.

q=Caudal aportado por la escorrentía superficial.

qo =Caudal aportado por un acuífero o por el suelo saturado.

Para el primer caudal (q) se propone la siguiente formula:

$$q = 0.0028 * (1 + C) * I * (B * 1 + S) * \frac{b}{B} \quad \left(\frac{lt}{seg} * ml \right)$$

C=Coeficiente de escorrentía de la superficie aportadora.

I=Intensidad de la lluvia de diseño (mm).

B=Ancho de la calzada (m).

b =Anchura de las bermas (m).

S=Superficie aportadora (m2).

Para el segundo caudal (q), se propone la siguiente formulas:

Drenaje superficial y subterráneo (Ing. Lemos Rodrigo)

$$q_o = \frac{\Delta F * 1m * (A - c)}{100 * S * 1 * t * f}$$

A=Humedad del suelo a nivel de saturación.

C=capacidad de campo del suelo.

A-c=8%-20%

S=Distancia entre los drenes, en caso de tuberías paralelas (m).

ΔF =También puede ser la superficie de influencia de un dren. En este caso S habría que tamaño de acuerdo a ese concepto.

t =Representa un día de drenaje.

f =Factor correctivo del tiempo de drenaje (fracciones de un día).

La fórmula anterior queda:

$$q_o = \frac{\Delta F * B * 1m * (A - c)}{S * 86400} \quad \left(\frac{lt}{seg} * ml\right)$$

A continuación se dan valores de caudal q_o , recomendados por diferentes investigadores:

3.4.6.-Diametro de la tubería de drenaje

Una vez establecida el módulo de drenaje (Dr) dado en lt/seg. Se determina el diámetro de la tubería utilizando Chezy, Manning u otras afines. Es muy corriente utilizar gráficos y nomogramas que se consiguen fácilmente en manuales de hidráulica y en catálogos de los fabricantes de tubería.

3.4.7.- Estimación de Caudal de Diseño

Para diseñar subdrenes laterales en una vía, se debe considerar primero la distancia entre alcantarillas, o los sitios donde los subdrenes realizan la descarga del agua.

Para establecer las distancias de los tramos de los subdrenes, se debe tener en cuenta que cada tramo conserve, en lo posible, características similares o condiciones geométricas de la vía similar.

Los posibles caudales de aporte, que conforman el caudal final, los cuales pueden afectar la estructura de un pavimento son:

- ❖ El caudal generado por la infiltración de agua lluvia: el agua lluvia cae directamente en la carpeta del pavimento. Una parte de esta inevitablemente se infiltra en la estructura del pavimento debido a que las carpetas de pavimento, tanto rígido como flexible, no son impermeables.
- ❖ El caudal generado por abatimiento del nivel de agua subterránea. En sitios donde se encuentre nivel freático a una altura tal, que afecte la estructura del pavimento, es necesario abatir este nivel de manera que no genere inconvenientes por exceso de agua.
- ❖ El caudal proveniente de escorrentía superficial.

a) Caudal por Infiltración.

El caudal de infiltración se calcula de la siguiente forma:

Drenaje superficial y subterráneo (Ing. Lemos Rodrigo)

$$Q_{inf} = P * B * L * F_1 * F_2$$

P=Precipitación máxima horaria de frecuencia anual registrada en la zona del proyecto.

Dato que se puede extraer de las curvas anexas a este documento, las cuáles son las de intensidad-duración –frecuencia para las diferentes zonas del territorio.

Usualmente se toma el intervalo entre 60 y 120 minutos y se escoge la curva de 2 años como periodo de retorno.

B=Para subdrenes longitudinales, B es la semibanca de la via (ancho de la via/2).

Para el caso de subdrenes transversales, B es la distancia entre subdrenes.

L=Longitud del tramo de drenaje.

F1=Factor de infiltración (ver tabla 3.4.7.1)

Fr=Factor de retención de la base, refleja el hecho de que las bases, dada su permeabilidad, entregan lentamente el agua al subdren. (Ver Tabla 3.4.7.2)

Tabla 3.4.7.1 Valores recomendados para Fi

TIPO DE CARPETA	Fi
Carpetas asfálticas muy bien conservadas	0.3
Carpetas asfálticas normalmente conservadas	0.4
Carpetas asfálticas pobremente conservadas	0.5
Carpetas de concreto de cemento Portland	0.67

Fuente: Drenaje superficial y subterráneo (Ing. Lemos Rodrigo)

Tabla 3.4.7.2: valores recomendados para FR

TIPO DE CARPETA	FR
Bases bien gradadas, en servicio 5 años o más	1/4
Bases bien gradadas, en servicio menos de 5 años	1/3
Bases de gradación abierta, en servicio 5 años o más	1/3
Bases de gradación abierta, en servicio menos de 5 años	1/2

Fuente: Drenaje superficial y subterráneo (Ing. Lemos Rodrigo)

b) Caudal por abatimiento del nivel freático.

En sitios donde el nivel freático o el agua proveniente a presión alcance una altura tal, que supere el nivel de subrasante afectando a la estructura del pavimento, es necesario abatir este nivel de manera que no genere inconveniente por exceso de agua. El cálculo de este caudal se basa en los siguientes parámetros:

$$Q_{NF} = K * i * A_a$$

$$i = \frac{N_d - N_f}{B}$$

$$A_a = (N_d - N_f) * L$$

Dónde:

K=es el coeficiente de permeabilidad del suelo adyacente

i =Es el gradiente hidráulico.

Nd=Cota inferior del subdren (ver figura 3.4.7.1)

Nf=Cota superior del nivel freático (ver figura 3.4.7.1)

Aa=Es el área afectiva para el caso de abatimiento del nivel freático

B=Para subdren longitudinales, B es la semibanca de la vía para el caso de subdren transversales, B es la distancia entre subdrenes.

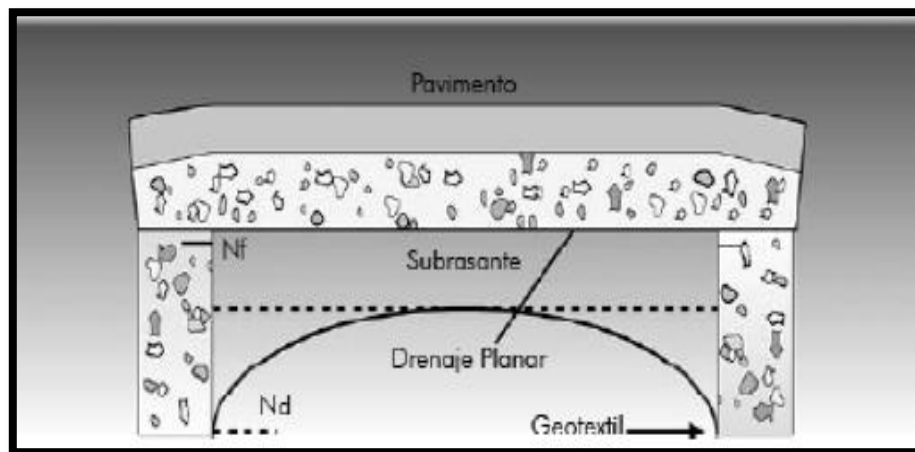
L=Longitud del terreno de drenaje.

Una vez estimados los caudales de aporte al sistema se obtiene el caudal de diseño:

$$Q_T = Q_{INF} + Q_{NF}$$

Nota: el caudal por abatimiento del nivel freático en la mayoría de los casos se presenta a los dos lados de la sección transversal del subdren, el caudal de diseño (Q_{inf}) debe ser duplicado.

Figura 3.4.7.1 sección transversal de sistemas de subdrenes laterales en una vía



Drenaje superficial y subterráneo (Ing. Lemos Rodrigo)

c) Caudal por escorrentía Superficial.

Este caudal puede ser controlado con métodos de captación, de manera tal, que se minimice la entrada a la estructura del pavimento. En tramos en donde se considere el caudal de agua infiltrada proveniente de escorrentía como un caudal de aporte, se debe estimar teniendo en cuenta los métodos hidrológicos.

d) Dimensionamiento de la sección transversal.

Teniendo el caudal final, el cual es la suma de los caudales calculados, se realiza el siguiente procedimiento:

$$Q_T = V * i * A$$

QT=caudal total (cm³/seg)

V: Velocidad de flujo, la cual depende de la pendiente longitudinal y del tamaño del agregado usado en el subdren (cm/seg)

i =Gradiente hidráulico que para el caso de subdrenes es 1.

A=Área de la sección transversal del subdren, normalmente se fija el ancho y se despeja su altura (cm²).

Una vez obtenida la sección transversal del subdren, se puede calcular su perímetro. La longitud de desarrollo del geotextil corresponde al perímetro más el traslape (0.25-0.35m).

Para el caso que se requiera aumentar la eficiencia de los subdrenes es recomendable usar tubería perforada, forrada con geotextil, dentro del subdren, de esta manera se aumenta la eficiencia de drenaje, permitiendo el paso a un caudal mayor en una misma sección transversal. El diámetro de la tubería se puede estimar haciendo uso de la ecuación de **Manning**. Por tanteo se asume un diámetro de tubería y se rectifica si cumple la siguiente igualdad:

$$Q_T = \frac{1}{n} * A * R^{\frac{2}{3}} * S^{1/2}$$

n : Coeficiente de Manning. Para tubería perforada usualmente es 0.013.

A: Área del tubo (cm²).

R: A/P, (Área total/ Perímetro total), a tubo lleno.

S: Pendiente del subdren.

Tabla 3.4.7.3		
Coeficiente de Escorrentia Superficial		
	Topografia	
Naturaleza de la superficie	Ondulada "S" 5 a 10%	Inclinada "S" 10 a 30%
Cultivos generales	0.6	0.72
Cultivos pastos	0.36	0.42
Cultivos de Bosques	0.18	0.21
Areas Desnudas	0.8	0.9

Fuente: Drenaje superficial y subterráneo (Ing. Lemos Rodrigo)

Tabla 3.4.7.4	
Coeficiente de Escorrentia Superficial	
Superficie	"C"
Asfalto	0.75-0.95
Concreto Hidraulico	0.70-0.90
Suelo Impermeable	0.40-0.65
Ligeramente Permeable	0.15-0.40
suelos permeable	0.05-0.20

Fuente: Drenaje superficial y subterráneo (Ing. Lemos Rodrigo)

APLICACIÓN PRACTICA TRAMO “FALDA LA QUEÑUA- CRECE SAN LORENZO”

4.1.-Descripción general de la zona.-

La región donde se desarrolla el proyecto corresponde a la zona montañosa y por lo tanto el recorrido de la ruta transcurre en una gran parte sobre terrenos rocosos. Los estudios de la Falda la Queñua, corroboraron la obtención de una mejor alternativa para el paso a través de la Cumbre de Sama, cuya altitud en el proyecto actual alcanza los 3.950 m.s.n.m. Posibilitaron desarrollar un trazado a través de una variante por el faldeo del cerro de la Queñua, con mejores características técnicas llegando a una altitud máxima de 3.480 m.s.n.m., en el paso del referido cerro.

Figura 4.1.1 Ubicación del tramo de estudio



Fuente: creación propia

El clima en la parte más alta del proyecto corresponde a la zona fría y seca típicamente montañosa, y a clima templado seco en los valles. La vegetación en

general es escasa, aún en los valles, excepto donde se cuenta con un curso de agua permanente. La hidrología, por tratarse de una zona montañosa, está compuesta por cursos de agua bien definidos, donde, dependiendo de la pendiente, el escurrimiento es más o menos torrentoso.

En general, toda la zona es poco desarrollada, aunque existe un importante potencial de desarrollo agrícola a través de esquemas de riego que están en estudio o en etapa de desarrollo, pues el recurso hídrico es uno de los principales obstáculos para ampliar la frontera agrícola de la región.

4.2.-Relevamiento de información de campo

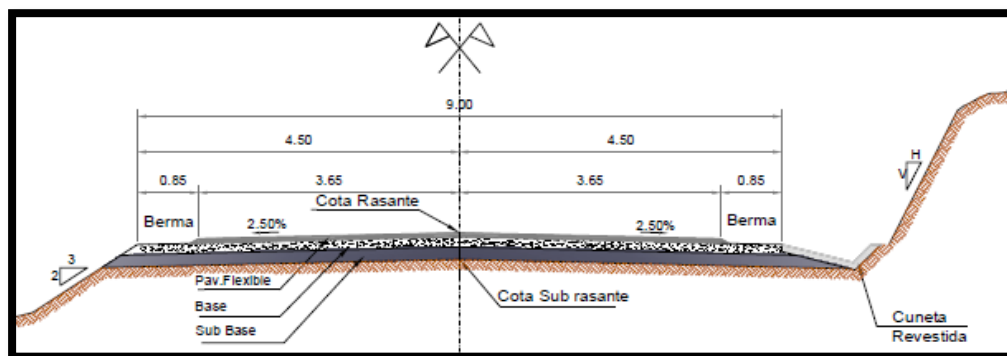
A las restricciones de diseño se deben añadir las dificultades en épocas de fuertes lluvias, por deficiencias en su sistema de drenaje y taludes no estabilizados, originándose frecuentes interrupciones del tráfico con los consiguientes prejuicios para la economía de la región y de los usuarios.

La actual carretera Potosí –Tarija, se desarrolla en terreno ondulado y montañoso, y en algunos lugares en condiciones topográficas muy difíciles.

A continuación se presenta una breve descripción de la topografía y morfología general, dividida por tramos para diferenciar más claramente las características particulares del tramo.

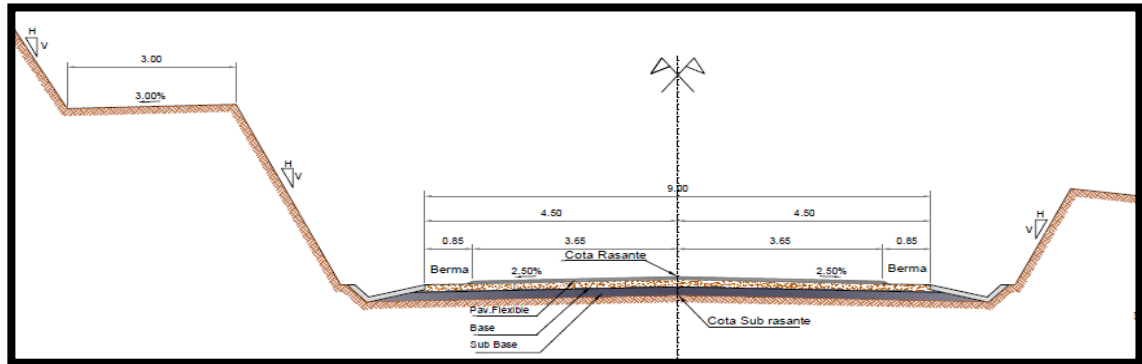
Tipos de secciones en el tramo túnel Falda la Queñua Cruce San Lorenzo.

Figura 4.2.1. Sección transversal tipo en tangente mixta



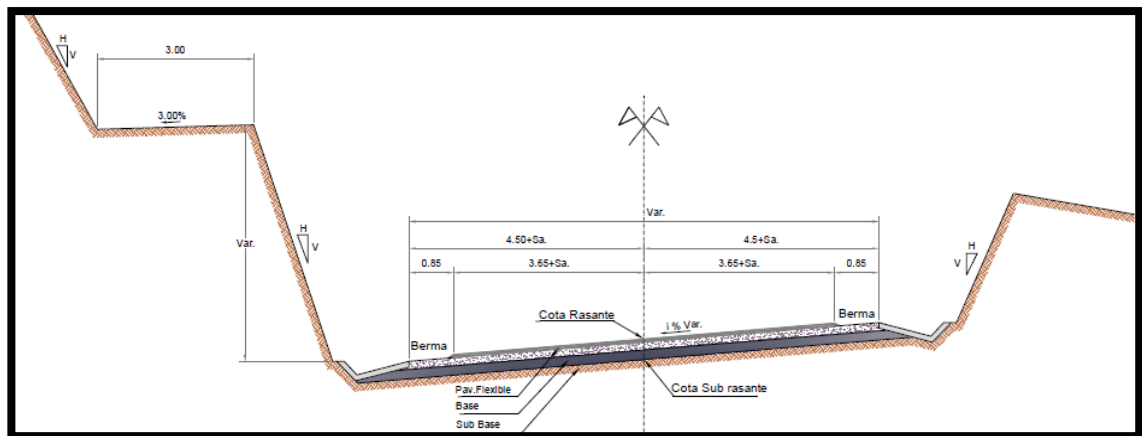
Fuentes de las secciones transversales: Administración Boliviana de Carreteras

Figura 4.2.2. Sección transversal tipo en tangente – corte



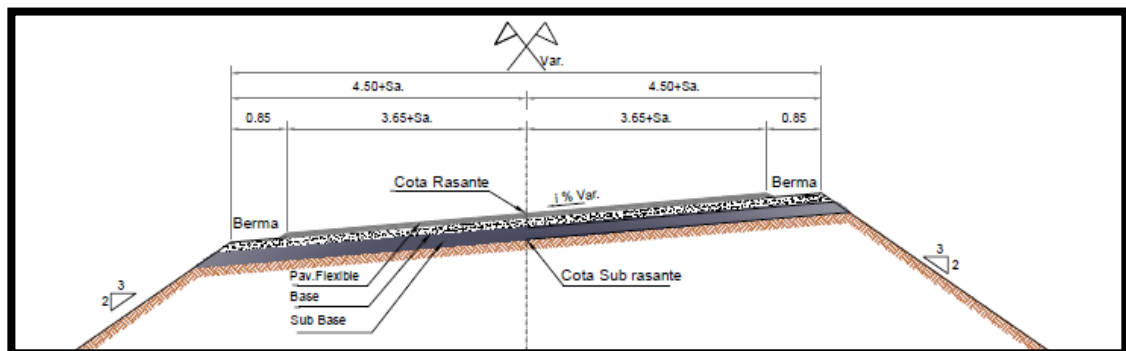
Fuentes de las secciones transversales: Administración Boliviana de Carreteras

Figura 4.2.3. Sección transversal tipo en tramo curvo - corte



Fuentes de las secciones transversales: Administración Boliviana de Carreteras

Figura 4.2.4. Sección transversal tipo en terraplén - curva



NOTAS:

- Bombeo normal: 2.00 %
- Var.= Variable
- Sa. = Sobreancho
- Paquete estructural:
 - Carpeta asfáltica: 0.06m
 - Base: 0.15m
 - Sub Base: 0.17m
 - Barma: Tratamiento superficial simple

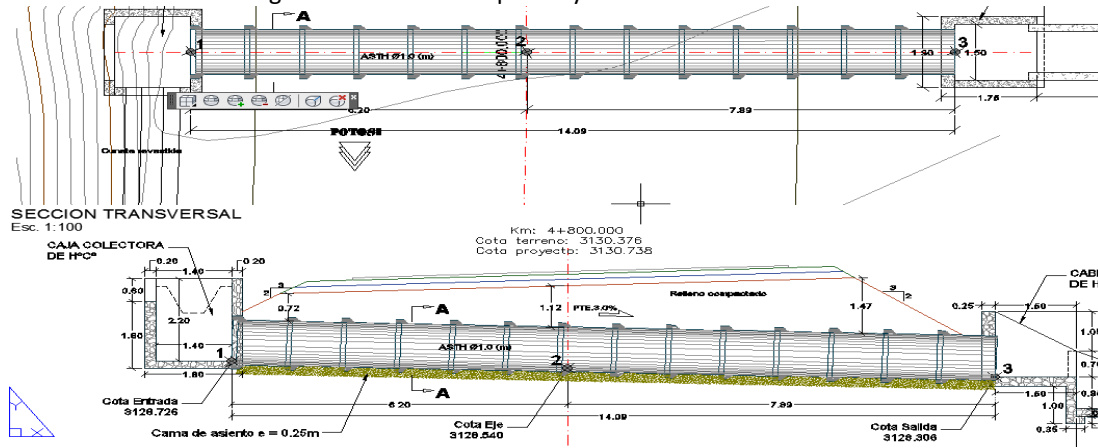
4.2.1.-Lista de alcantarillas en el tramo de estudio.-

Tabla 4.2.1.1 planilla de alcantarillas en el tramo de estudio

CODIGO				N°	(km.)	LONGITUD (m)
DRE . PT 09				DRE.PT 09	3+118,00	12,09
DRE . PT 10				DRE.PT 10	3+320,00	13,09
DRE . PT 11				DRE.PT 11	3+703,11	25,85
DRE . PT 12				DRE.PT 12	4+041,00	12,00
DRE . PT 13				DRE.PT 13	4+470,00	12,09
DRE . PT 14				DRE.PT 14	4+670,00	14,09
DRE . PT 15				DRE.PT 15	4+800,00	14,09
DRE . PT 16				DRE.PT 16	4+910,00	14,09
DRE . PT 17				DRE.PT 17	5+062,00	13,00
DRE . PT 18				DRE.PT 18	5+275,00	13,30
DRE . PT 19				DRE.PT 19	5+478,00	12,36
DRE . PT 20				DRE.PT 20	6+696,00	12,09
DRE . PT 21				DRE.PT 21	7+720,00	13,09
DRE . PT 22				DRE.PT 22	13+032,00	13,09
DRE . PT 23				DRE.PT 23	15+100,00	12,09
DRE . PT 24				DRE.PT 24	15+302,00	14,09
DRE . PT 25				DRE.PT 25	15+421,50	14,00
DRE . PT 26				DRE.PT 26	16+575,22	13,09
DRE . PT 27				DRE.PT 27	18+020,00	12,09
DRE . PT 28				DRE.PT 28	19+425,00	74,85
DRE . PT 29				DRE.PT 29	20+840,00	12,09
DRE . PT 30				DRE.PT 30	21+417,00	12,09
DRE . PT 31				DRE.PT 31	21+771,00	12,63
DRE . PT 32				DRE.PT 32	21+873,00	14,10
DRE . PT 33				DRE.PT 33	22+085,00	12,00
DRE . PT 34				DRE.PT 34	22+345,000	13,00
DRE . PT 35				DRE.PT 35	22+570,00	13,09
DRE . PT 36				DRE.PT 36	22+654,54	12,10
DRE . PT 37				DRE.PT 37	22+680,00	12,09
DRE . PT 38				DRE.PT 38	22+780,00	14,09
DRE . PT 39				DRE.PT 39	22+900,00	15,00
DRE . PT 40				DRE.PT 40	23+090,00	25,10
DRE . PT 41				DRE.PT 41	23+365,00	32,62
DRE . PT 42				DRE.PT 42	23+530,00	14,09
DRE . PT 43				DRE.PT 43	24+620,00	12,09
DRE . PT 44				DRE.PT 44	25+150,00	12,09
DRE . PT 45				DRE.PT 45	25+400,00	12,09
DRE . PT 46				DRE.PT 46	25+965,00	17,09
DRE . PT 47				DRE.PT 47	26+765,00	16,09
DRE . PT 48				DRE.PT 48	28+145,80	16,00
DRE . PT 49				DRE.PT 49	28+280,70	16,09
DRE . PT 50				DRE.PT 50	28+376,80	24,09
DRE . PT 51				DRE.PT 51	28+463,00	14,09
DRE . PT 52				DRE.PT 52	28+570,00	16,09
DRE . PT 53				DRE.PT 53	29+572,00	16,09
DRE . PT 54				DRE.PT 54	30+271,15	15,09
DRE . PT 55				DRE.PT 55	30+580,00	18,09
DRE . PT 56				DRE.PT 56	31+099,06	11,09
DRE . PT 57				DRE.PT 57	31+387,50	15,09

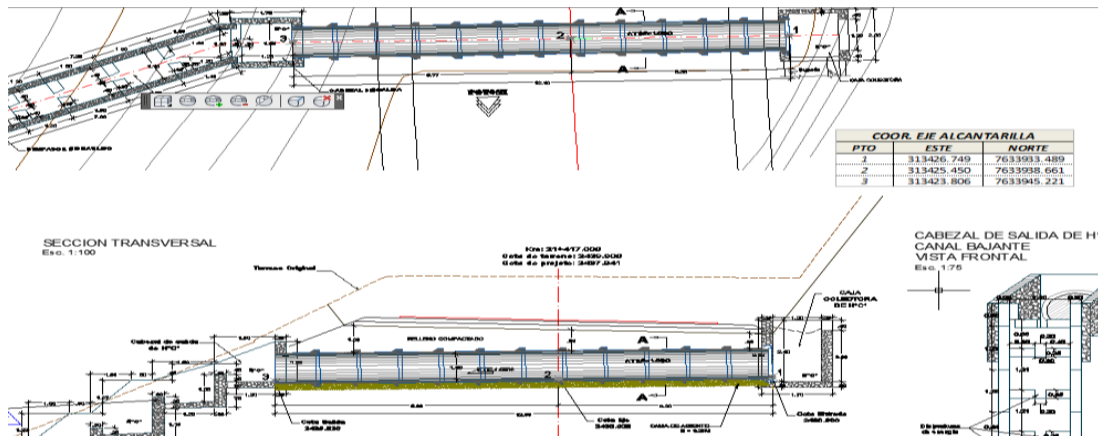
Fuentes: Administración Boliviana de Carreteras

Figura 4.2.1.1 Vista en planta y en corte de la alcantarilla



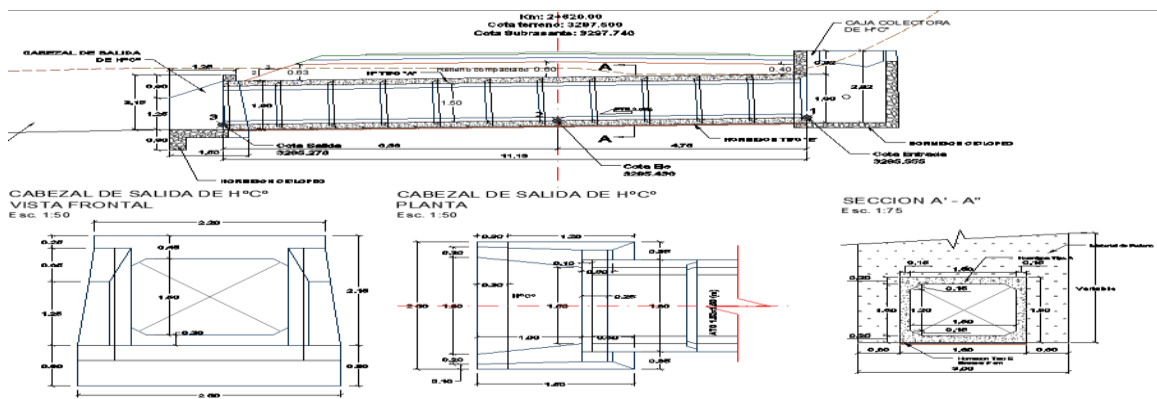
Fuentes: Administración Boliviana de Carreteras

Figura 4.2.1.2 Vista en planta y en corte de la alcantarilla



Fuentes: Administración Boliviana de Carreteras

Figura 4.2.1.3 Vista en planta y en corte de la alcantarilla



Fuentes: Administración Boliviana de Carreteras

Tablas 4.2.1.2 Planilla de subdrenes, zanjas de coronación revestidos, cunetas de banquina y revestidas

ITEM 5.6 SUBDREN CON TUBO PERFORADO D=6"[m]
LADO IZQUIERDO

Nº	Progresivas		Lado	Longitud (m)	Tipo
	Inicio	Final			
1	42+800.00	43+030.00	izquierdo	230.00	0.60 x 1.00
2	45+360.00	45+690.00	izquierdo	320.00	0.60 x 1.00
3	46+900.00	47+450.00	izquierdo	540.00	0.60 x 1.00
4	4+420.00	4+670.00	izquierdo	250.00	0.60 x 1.00
5	4+680.00	4+780.00	izquierdo	100.00	0.60 x 1.00
6	4+805.00	4+910.00	izquierdo	105.00	0.60 x 1.00
7	4+915.00	5+060.00	izquierdo	145.00	0.60 x 1.00
8	5+064.00	5+230.00	izquierdo	166.00	0.60 x 1.00
9	5+340.00	5+478.00	izquierdo	138.00	0.60 x 1.00
10	5+480.00	5+685.00	izquierdo	105.00	0.60 x 1.00
11	5+884.00	6+015.00	izquierdo	131.00	0.60 x 1.00
12	14+480.00	14+610.00	izquierdo	130.00	0.60 x 1.00
13	14+610.00	14+653.50	izquierdo	44.00	0.60 x 1.00
14	14+670.00	14+937.00	izquierdo	266.00	0.60 x 1.00
15	14+940.00	14+991.00	izquierdo	51.00	0.60 x 1.00
16	15+020.00	15+090.00	izquierdo	70.00	0.60 x 1.00
17	15+140.00	15+298.00	izquierdo	158.00	0.60 x 1.00
18	15+310.00	15+415.00	izquierdo	105.00	0.60 x 1.00
19	15+440.00	15+486.00	izquierdo	46.00	0.60 x 1.00
20	15+480.00	15+740.00	izquierdo	260.00	0.60 x 1.00
21	16+080.00	16+285.00	izquierdo	205.00	0.60 x 1.00
22	20+850.00	20+840.00	izquierdo	190.00	0.60 x 1.00
23	27+110.00	27+400.00	izquierdo	290.00	0.60 x 1.00
24	27+430.00	27+670.00	izquierdo	240.00	0.60 x 1.00
Sub Total Sub-dren - Lado izquierdo [m]				4,383.00	

ITEM 5.6 SUBDREN CON TUBO PERFORADO D=6"[m]
LADO DERECHO

Nº	Progresivas		Lado	Longitud (m)	Tipo
	Inicio	Final			
1	42+800.00	43+022.50	Derecho	223.00	0.60 x 1.00
2	43+640.00	43+800.00	Derecho	160.00	0.60 x 1.00
3	43+840.00	44+085.00	Derecho	245.00	0.60 x 1.00
4	44+100.00	44+600.00	Derecho	500.00	0.60 x 1.00
5	44+610.00	45+340.00	Derecho	730.00	0.60 x 1.00
6	45+360.00	45+680.00	Derecho	320.00	0.60 x 1.00
7	46+200.00	46+700.00	Derecho	500.00	0.60 x 1.00
8	46+900.00	47+670.00	Derecho	770.00	0.60 x 1.00
9	2+050.00	2+363.00	Derecho	313.00	0.60 x 1.00
10	2+368.00	2+800.00	Derecho	432.00	0.60 x 1.00
11	2+805.00	2+950.00	Derecho	145.00	0.60 x 1.00
12	2+953.50	3+066.00	Derecho	113.00	0.60 x 1.00
13	3+070.00	3+117.00	Derecho	47.00	0.60 x 1.00
14	3+122.00	3+320.00	Derecho	198.00	0.60 x 1.00
15	3+322.00	3+680.00	Derecho	358.00	0.60 x 1.00
16	3+800.00	4+042.00	Derecho	242.00	0.60 x 1.00
17	14+520.00	14+615.00	Derecho	95.00	0.60 x 1.00
18	14+670.00	14+937.00	Derecho	267.00	0.60 x 1.00
19	14+940.00	14+990.00	Derecho	50.00	0.60 x 1.00
20	15+003.00	15+099.00	Derecho	99.00	0.60 x 1.00
21	15+620.00	15+680.00	Derecho	60.00	0.60 x 1.00
22	15+680.00	15+712.00	Derecho	32.00	0.60 x 1.00
23	15+712.00	15+875.00	Derecho	163.00	0.60 x 1.00
24	16+280.00	16+293.00	Derecho	13.00	0.60 x 1.00
25	16+530.00	16+574.00	Derecho	44.00	0.60 x 1.00
26	17+500.00	17+570.00	Derecho	70.00	0.60 x 1.00
27	17+720.00	17+765.00	Derecho	45.00	0.60 x 1.00
28	18+120.00	18+283.00	Derecho	163.00	0.60 x 1.00
29	18+290.00	18+440.00	Derecho	150.00	0.60 x 1.00
30	19+100.00	19+380.00	Derecho	280.00	0.60 x 1.00
31	19+627.00	19+800.00	Derecho	173.00	0.60 x 1.00
32	19+850.00	19+920.00	Derecho	70.00	0.60 x 1.00
33	19+930.00	19+960.00	Derecho	30.00	0.60 x 1.00
34	27+150.00	27+400.00	Derecho	250.00	0.60 x 1.00
35	27+430.00	27+670.00	Derecho	240.00	0.60 x 1.00
Sub Total Sub-dren - Lado izquierdo [m]				7,516.00	

Sub Total Sub-dren - Lado izquierdo [m]	4,383.00
Sub Total Sub-dren - Lado izquierdo [m]	11,899.00
Total Sub-dren [m]	16,282.00

ITEM 5.8 ZANJA DE CORONACION C/REVESTIMIENTO D=2A [m]
LADO DERECHO

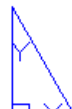
Nº	Progresivas		Lado	Longitud (m)	Tipo
	Inicio	Final			
1	28+760.00	28+868.00	Derecho	129.00	Trapezoidal
2	28+890.00	28+920.00	Derecho	30.00	Trapezoidal
3	29+042.00	29+100.00	Derecho	58.00	Trapezoidal
Total Zanja de coronacion o revestimiento [m]				248.00	

ITEM 5.11 CUNETA DE BANQUINA DE CORTE D-3 [m]
LADO DERECHO

Nº	Progresivas		Lado	Longitud (m)	Tipo
	Inicio	Final			
1	2+050.00	2+167.00	Derecho	108.00	Triangular
Total Cuneta de banquina de corte [m]				108.00	

ITEM 5.12 ZANJA EN PIE DE TERRAPLEN D-2C [m]
LADO IZQUIERDO - DERECHO

Nº	Progresivas		Lado	Longitud (m)	Tipo
	Inicio	Final			
1	45+718.00	45+743.00	izquierdo	25.00	Trapezoidal
2	44+758.00	44+816.00	Derecho	58.00	Trapezoidal
3	45+689.00	45+743.00	Derecho	56.00	Trapezoidal
4	24+825.00	24+930.00	Derecho	105.00	Trapezoidal
5	29+451.00	29+569.00	Derecho	118.00	Trapezoidal
Total Zanja pie de terraplen [m]				362.00	



ITEM 5.10 CUNETA LATERAL C/REVESTIMIENTO D 1B [m]
LADO IZQUIERDO

Nº	Progresivas		Lado	Longitud (m)	Tipo
	Inicio	Final			
1	42+700.00	43+053.00	izquierdo	354.00	Tipo 1
2	43+570.00	43+750.00	izquierdo	192.00	Tipo 1
3	44+263.00	44+577.00	izquierdo	313.00	Tipo 1
4	45+130.00	45+198.00	izquierdo	68.00	Tipo 1
5	45+200.00	45+245.00	izquierdo	44.00	Tipo 1
6	45+380.00	45+435.00	izquierdo	55.00	Tipo 1
7	45+635.00	45+715.00	izquierdo	84.00	Tipo 2
8	46+820.00	46+890.00	izquierdo	70.00	Trapecoidal
9	46+893.00	47+570.00	izquierdo	679.00	Tipo 1
10	47+916.00	47+979.60	izquierdo	64.00	Tipo 2
11	0+300.00	0+360.00	izquierdo	60.00	Tipo 2
12	0+360.00	0+510.00	izquierdo	248.00	Tipo 1
13	0+510.80	0+708.00	izquierdo	96.00	Tipo 1
14	1+940.00	2+048.00	izquierdo	108.00	Tipo 1
15	2+645.00	2+675.00	izquierdo	30.00	Tipo 1
16	2+682.00	2+799.00	izquierdo	111.00	Tipo 1
17	2+855.00	2+928.00	izquierdo	102.00	Tipo 1
18	2+968.00	3+045.00	izquierdo	79.00	Tipo 1
19	3+082.00	3+116.00	izquierdo	31.00	Tipo 1
20	3+140.00	3+185.00	izquierdo	45.00	Tipo 1
21	3+258.00	3+307.00	izquierdo	55.00	Tipo 1
22	3+420.00	3+481.00	izquierdo	44.00	Tipo 1
23	3+835.00	3+920.00	izquierdo	88.00	Tipo 1
24	3+960.00	4+043.00	izquierdo	81.00	Tipo 1
25	4+090.00	4+150.00	izquierdo	59.00	Tipo 1
26	4+150.00	4+458.00	izquierdo	309.00	Tipo 1
27	4+470.00	4+500.00	izquierdo	317.00	Tipo 1
28	4+503.00	4+909.00	izquierdo	102.00	Tipo 1
29	4+911.00	5+061.00	izquierdo	151.00	Tipo 1
30	5+061.00	5+260.00	izquierdo	199.00	Tipo 1
31	5+400.00	5+580.00	izquierdo	180.00	Tipo 1
32	5+588.00	5+707.00	izquierdo	121.00	Tipo 1
33	5+709.00	5+880.00	izquierdo	171.00	Tipo 1
34	5+882.00	6+015.00	izquierdo	133.00	Tipo 1
35	6+017.00	6+125.00	izquierdo	108.00	Tipo 1
36	6+570.00	6+669.00	izquierdo	99.00	Tipo 1
37	6+669.00	6+820.00	izquierdo	126.00	Tipo 1
38	7+080.00	7+390.00	izquierdo	309.00	Tipo 1
39	7+600.00	7+720.00	izquierdo	159.00	Tipo 1
40	7+721.00	7+839.00	izquierdo	119.00	Tipo 1
41	7+841.00	8+133.00	izquierdo	295.00	Tipo 1
42	8+482.00	8+575.00	izquierdo	123.00	Tipo 1
43	8+575.00	8+600.00	izquierdo	20.00	Tipo 1
44	8+677.00	8+731.00	izquierdo	55.00	Tipo 1
45	8+780.00	8+860.00	izquierdo	80.00	Tipo 1
46	8+758.00	8+887.00	izquierdo	65.00	Tipo 1
47	9+360.00	9+860.00	izquierdo	300.00	Tipo 1
48	9+828.00	9+763.00	izquierdo	65.00	Tipo 1
49	9+765.00	10+055.00	izquierdo	306.00	Tipo 1
50	10+290.00	10+375.00	izquierdo	80.00	Tipo 1

Nº	Progresivas		Lado	Longitud (m)	Tipo
	Inicio	Final			
51	10+620.00	10+712.00	izquierdo	102.00	Tipo 1
52	10+780.00	10+912.00	izquierdo	128.00	Tipo 1
53	10+960.00	10+990.00	izquierdo	30.00	Tipo 1
54	10+991.00	11+230.00	izquierdo	243.00	Tipo 1
55	11+232.00	11+415.00	izquierdo	180.00	Tipo 1
56	11+447.00	11+710.00	izquierdo	273.00	Tipo 1
57	11+934.00	12+050.00	izquierdo	116.00	Tipo 1
58	12+271.00	12+304.00	izquierdo	33.00	Tipo 1
59	12+388.00	12+508.00	izquierdo	121.00	Tipo 1
60	12+673.00	12+919.00	izquierdo	249.00	Tipo 1
61	12+921.00	13+031.10	izquierdo	109.00	Tipo 1
62	13+033.00	13+102.00	izquierdo	70.00	Tipo 1
63	13+183.00	13+444.00	izquierdo	264.00	Tipo 1
64	13+528.00	13+760.00	izquierdo	232.00	Tipo 1
65	13+761.00	14+103.00	izquierdo	335.00	Tipo 1
66	14+415.00	14+568.00	izquierdo	253.00	Tipo 1
67	14+669.00	14+937.00	izquierdo	220.00	Tipo 1
68	14+939.00	14+991.00	izquierdo	53.00	Tipo 1
69	14+993.00	15+100.00	izquierdo	106.00	Tipo 1
70	15+103.00	15+298.00	izquierdo	194.00	Tipo 1
71	15+301.00	15+405.00	izquierdo	118.00	Tipo 1
72	15+405.00	15+420.00	izquierdo	15.00	Trapecoidal
73	15+452.00	15+734.00	izquierdo	280.00	Tipo 1
74	15+800.00	15+885.00	izquierdo	87.00	Tipo 1
75	16+180.00	16+280.00	izquierdo	80.00	Tipo 1
76	16+320.00	16+530.00	izquierdo	210.00	Tipo 1
77	16+880.00	17+280.00	izquierdo	299.00	Tipo 1
78	17+325.00	17+496.00	izquierdo	164.00	Tipo 1
79	17+780.00	17+832.00	izquierdo	52.00	Tipo 1
80	17+870.00	17+988.00	izquierdo	122.00	Tipo 1
81	18+045.00	18+280.00	izquierdo	235.00	Tipo 1
82	18+290.00	18+418.00	izquierdo	162.00	Tipo 1
83	18+450.00	18+632.00	izquierdo	171.00	Tipo 1
84	18+637.00	18+849.00	izquierdo	211.00	Tipo 1
85	19+145.00	19+364.00	izquierdo	214.00	Tipo 1
86	19+484.00	19+618.00	izquierdo	132.00	Tipo 1
87	19+760.00	19+800.00	izquierdo	40.00	Tipo 1
88	19+951.00	20+023.00	izquierdo	73.00	Tipo 1
89	20+049.00	20+201.00	izquierdo	153.00	Tipo 1
90	20+343.00	20+443.00	izquierdo	94.00	Tipo 1
91	20+520.00	20+840.00	izquierdo	317.00	Tipo 1
92	20+841.00	20+966.00	izquierdo	147.00	Tipo 1
93	21+347.00	21+415.00	izquierdo	69.00	Tipo 1
94	21+568.00	21+681.00	izquierdo	158.00	Tipo 1
95	21+780.00	21+870.00	izquierdo	84.00	Trapecoidal
96	21+920.00	22+083.00	izquierdo	165.00	Tipo 1
97	22+355.00	22+418.00	izquierdo	63.00	Tipo 1
98	22+690.00	22+765.00	izquierdo	81.00	Tipo 2
99	22+810.00	22+850.00	izquierdo	40.00	Tipo 2
100	22+930.00	23+030.00	izquierdo	104.00	Tipo 2

Nº	Progresivas		Lado	Longitud (m)	Tipo
	Inicio	Final			
101	23+391.00	23+483.00	izquierdo	92.00	Tipo 2
102	23+598.00	23+733.00	izquierdo	135.00	Tipo 2
103	23+904.00	23+935.00	izquierdo	31.00	Tipo 2
104	23+975.00	24+070.00	izquierdo	97.00	Tipo 2
105	24+490.00	24+619.00	izquierdo	129.00	Tipo 1
106	24+640.00	24+790.00	izquierdo	150.00	Tipo 1
107	24+962.00	25+038.00	izquierdo	83.00	Tipo 1
108	25+075.00	25+121.00	izquierdo	46.00	Tipo 2
109	25+180.00	25+326.00	izquierdo	147.00	Tipo 2
110	25+450.00	25+490.00	izquierdo	39.00	Tipo 2
111	25+515.00	25+735.00	izquierdo	208.00	Tipo 2
112	25+804.00	25+905.00	izquierdo	110.00	Tipo 2
113	26+005.00	26+320.00	izquierdo	305.00	Tipo 2
114	26+743.00	26+950.00	izquierdo	207.00	Tipo 1
115	29+045.00	29+449.00	izquierdo	404.00	Tipo 1
116	29+750.00	30+120.00	izquierdo	368.00	Tipo 1
117	30+183.00	30+271.00	izquierdo	88.00	Tipo 1
118	30+289.00	30+384.00	izquierdo	95.00	Tipo 1
119	30+375.00	30+572.00	izquierdo	208.00	Tipo 1
120	31+218.00	31+350.00	izquierdo	133.00	Tipo 1
121	31+477.00	31+600.00	izquierdo	121.00	Tipo 1
Total Cuneta Lateral - Lado Izquierdo [m]				18,068.00	

Total Cuneta Lateral - Lado Izquierdo [m]	18,068.00
Total Cuneta Lateral - Lado Derecho [m]	21,582.00
Total Cuneta Lateral [m]	39,650.00

**ITEM 5.10 CUNETA LATERAL C/REVESTIMIENTO D1B [m]
LADO DERECHO**

Nº	Progresivas		Lado	Longitud (m)	Tipo
	Inicio	Final			
1	42+230.00	42+900.00	Derecho	670.00	Trapezoidal
2	42+900.00	43+016.00	Derecho	116.00	Tipo 1
3	43+276.00	43+475.00	Derecho	201.00	Tipo 1
4	43+574.00	44+085.00	Derecho	511.00	Tipo 1
5	44+190.00	44+800.00	Derecho	410.00	Tipo 1
6	44+757.00	45+120.00	Derecho	363.00	Trapezoidal
7	45+120.00	45+340.00	Derecho	220.00	Tipo 1
8	45+342.00	45+683.00	Derecho	341.00	Tipo 1
9	45+102.00	46+245.00	Derecho	143.00	Trapezoidal
10	46+245.00	46+715.00	Derecho	469.00	Tipo 1
11	46+715.00	46+877.00	Derecho	162.00	Trapezoidal
12	46+920.00	46+996.00	Derecho	76.00	Trapezoidal
13	46+996.00	47+595.00	Derecho	599.00	Tipo 1
14	47+395.00	47+979.60	Derecho	585.00	Tipo 2
15	0+300.00	0+339.00	Derecho	39.00	Tipo 2
16	0+339.00	0+708.00	Derecho	369.00	Tipo 1
17	1+930.00	2+040.00	Derecho	104.00	Trapezoidal
18	2+040.00	2+300.00	Derecho	213.00	Tipo 1
19	2+671.00	2+799.00	Derecho	132.00	Tipo 1
20	2+801.00	2+850.00	Derecho	49.00	Tipo 1
21	2+853.00	3+062.00	Derecho	116.00	Tipo 1
22	3+065.00	3+116.00	Derecho	54.00	Tipo 1
23	3+121.00	3+219.00	Derecho	197.00	Tipo 1
24	3+321.00	3+590.00	Derecho	269.00	Tipo 1
25	3+590.00	3+670.00	Derecho	80.00	Tipo 2
26	3+710.00	3+780.00	Derecho	57.00	Tipo 1
27	4+044.00	4+290.00	Derecho	245.00	Tipo 1
28	4+340.00	4+430.00	Derecho	97.00	Tipo 1
29	5+190.00	5+260.00	Derecho	70.00	Trapezoidal
30	6+558.00	6+720.00	Derecho	162.00	Tipo 1
31	6+720.00	6+825.00	Derecho	105.00	Tipo 1
32	7+188.00	7+405.00	Derecho	219.00	Tipo 1
33	7+590.00	7+630.00	Derecho	129.00	Tipo 1
34	8+040.00	8+135.00	Derecho	145.00	Tipo 1
35	8+380.00	8+480.00	Derecho	90.00	Tipo 1
36	8+480.00	8+490.00	Derecho	30.00	Tipo 1
37	8+500.00	8+580.00	Derecho	80.00	Tipo 1
38	8+608.00	8+710.00	Derecho	95.00	Tipo 1
39	8+710.00	8+740.00	Derecho	30.00	Tipo 1
40	8+800.00	8+850.00	Derecho	50.00	Tipo 1
41	8+870.00	8+910.00	Derecho	40.00	Tipo 1
42	9+380.00	9+530.00	Derecho	200.00	Tipo 1
43	9+804.00	9+834.00	Derecho	30.00	Tipo 1
44	9+840.00	9+709.00	Derecho	69.00	Tipo 2
45	9+709.00	9+770.00	Derecho	91.00	Trapezoidal
46	9+873.00	10+037.00	Derecho	159.00	Tipo 1
47	10+275.00	10+380.00	Derecho	107.00	Tipo 1
48	10+523.00	10+720.00	Derecho	195.00	Tipo 1
49	10+741.00	10+996.00	Derecho	257.00	Tipo 1
50	11+043.00	11+133.00	Derecho	91.00	Tipo 1

Nº	Progresivas		Lado	Longitud (m)	Tipo
	Inicio	Final			
51	11+240.00	11+290.00	Derecho	51.00	Tipo 1
52	11+353.00	11+418.00	Derecho	74.00	Tipo 1
53	11+519.00	11+666.00	Derecho	49.00	Tipo 1
54	11+996.00	12+032.00	Derecho	36.00	Tipo 1
55	12+082.00	12+510.00	Derecho	421.00	Tipo 1
56	12+818.00	12+908.00	Derecho	93.00	Tipo 1
57	13+300.00	13+390.00	Derecho	90.00	Tipo 1
58	13+670.00	13+754.00	Derecho	84.00	Tipo 1
59	13+907.00	14+189.00	Derecho	299.00	Tipo 1
60	14+442.00	14+515.00	Derecho	77.00	Tipo 1
61	14+671.00	14+991.00	Derecho	318.00	Tipo 1
62	15+000.00	15+100.00	Derecho	100.00	Tipo 1
63	15+135.00	15+305.00	Derecho	170.00	Tipo 1
64	15+460.00	15+580.00	Derecho	120.00	Tipo 1
65	15+630.00	15+875.00	Derecho	240.00	Tipo 1
66	15+877.00	15+932.00	Derecho	54.00	Tipo 1
67	16+102.00	16+293.00	Derecho	111.00	Tipo 1
68	16+295.00	16+574.00	Derecho	279.00	Tipo 1
69	16+580.00	16+815.00	Derecho	240.00	Tipo 1
70	16+845.00	16+950.00	Derecho	105.00	Tipo 1
71	17+302.00	17+560.00	Derecho	258.00	Tipo 1
72	17+720.00	17+765.00	Derecho	47.00	Tipo 1
73	17+768.00	18+019.00	Derecho	248.00	Tipo 1
74	18+023.00	18+275.00	Derecho	242.00	Tipo 1
75	18+285.00	18+630.00	Derecho	345.00	Tipo 1
76	18+635.00	18+853.00	Derecho	222.00	Tipo 1
77	18+855.00	18+973.00	Derecho	101.00	Trapezoidal
78	19+084.00	19+375.00	Derecho	279.00	Tipo 1
79	19+484.00	19+620.00	Derecho	138.00	Tipo 1
80	19+664.00	19+824.00	Derecho	160.00	Tipo 1
81	19+851.00	19+919.00	Derecho	67.00	Tipo 1
82	19+932.00	20+692.00	Derecho	758.00	Tipo 1
83	20+845.00	21+021.00	Derecho	180.00	Tipo 1
84	21+020.00	21+138.00	Derecho	118.00	Trapezoidal
85	21+201.00	21+420.00	Derecho	219.00	Tipo 1
86	21+422.00	21+670.00	Derecho	240.00	Tipo 1
87	21+670.00	21+770.00	Derecho	100.00	Tipo 2
88	21+770.00	21+870.00	Derecho	100.00	Trapezoidal
89	21+888.00	21+967.00	Derecho	84.00	Tipo 1
90	22+065.00	22+319.00	Derecho	257.00	Tipo 1
91	22+321.00	22+360.00	Derecho	40.00	Tipo 1
92	22+500.00	22+570.00	Derecho	63.00	Tipo 1
93	22+572.00	22+680.00	Derecho	108.00	Tipo 1
94	22+500.00	22+655.00	Derecho	80.00	Tipo 1
95	22+682.00	22+775.00	Derecho	89.00	Tipo 1
96	22+782.00	22+890.00	Derecho	118.00	Tipo 1
97	22+918.00	23+070.00	Derecho	134.00	Tipo 2
98	23+081.00	23+345.00	Derecho	266.00	Tipo 1
99	23+385.00	23+515.00	Derecho	130.00	Tipo 2
100	23+575.00	23+669.00	Derecho	94.00	Tipo 2

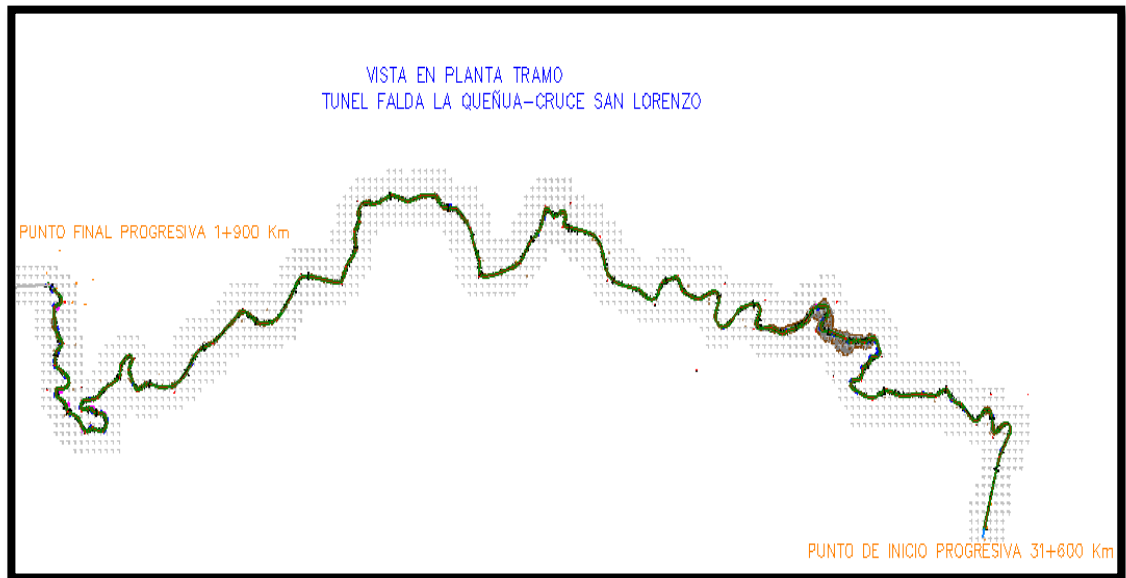
Nº	Progresivas		Lado	Longitud (m)	Tipo
	Inicio	Final			
101	23+905.00	24+275.00	Derecho	368.00	Tipo 2
102	24+491.00	24+578.00	Derecho	88.00	Tipo 2
103	24+580.00	24+619.00	Derecho	39.00	Tipo 2
104	24+640.00	24+710.00	Derecho	70.00	Tipo 2
105	24+710.00	24+825.00	Derecho	121.00	Tipo 2
106	24+825.00	24+930.00	Derecho	105.00	Trapezoidal
107	24+930.00	25+395.00	Derecho	465.00	Tipo 2
108	25+451.00	25+600.00	Derecho	205.00	Tipo 2
109	25+660.00	25+920.00	Derecho	260.00	Tipo 2
110	25+980.00	26+358.00	Derecho	378.00	Tipo 2
111	26+422.00	26+595.00	Derecho	262.00	Trapezoidal
112	26+427.00	26+461.00	Derecho	34.00	Tipo 2
113	26+470.00	26+568.00	Derecho	100.00	Tipo 2
114	26+573.00	26+696.00	Derecho	123.00	Tipo 2
115	26+748.00	26+991.00	Derecho	245.00	Tipo 1
116	26+033.00	26+100.00	Derecho	68.00	Tipo 2
117	26+104.00	26+481.00	Derecho	377.00	Tipo 2
118	26+481.00	26+570.00	Derecho	89.00	Trapezoidal
119	26+773.00	26+921.00	Derecho	148.00	Tipo 2
120	26+921.00	30+122.00	Derecho	200.00	Tipo 2
121	30+190.00	30+330.00	Derecho	340.00	Tipo 2
122	31+220.00	31+350.00	Derecho	130.00	Tipo 2
123	31+490.00	31+600.00	Derecho	110.00	Tipo 2
Total Cuneta Lateral - Lado Derecho [m]				21,682.00	

Total Cuneta Lateral - Lado izquierdo [m]	16,056.00
Total Cuneta Lateral - Lado Derecho [m]	21,682.00
Total Cuneta Lateral [m]	36,838.00

Fuente: Administración Boliviana de Carreteras

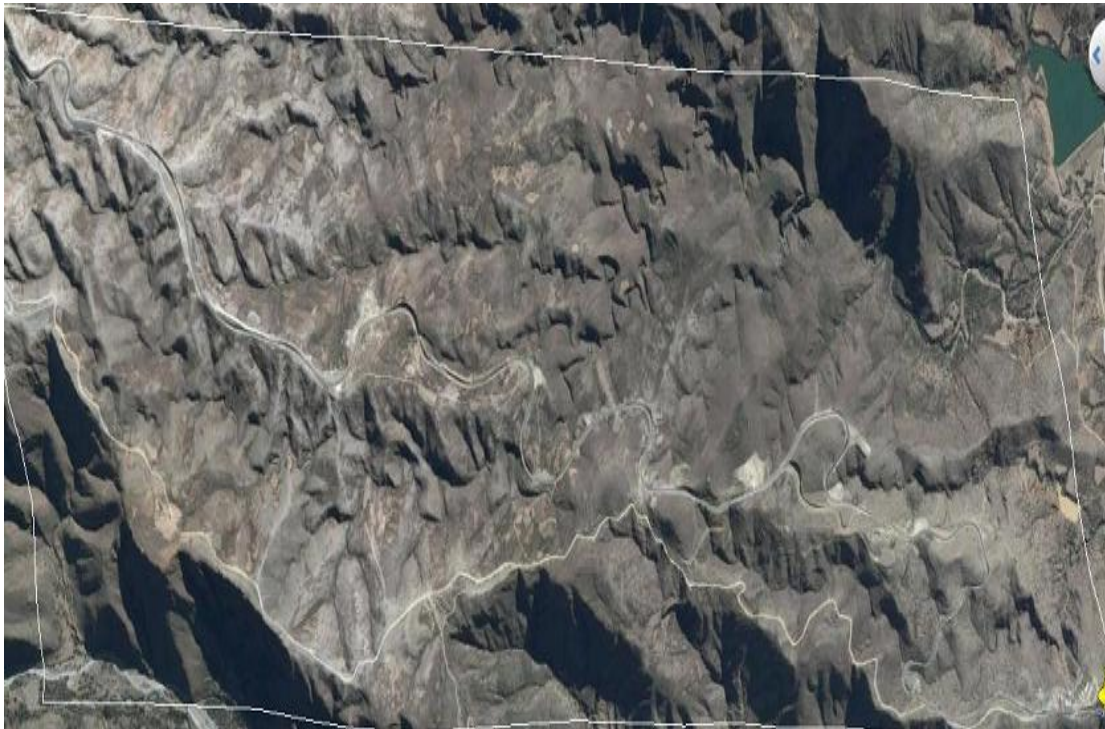
4.2.3.-Topografía

Figura 4.2.3.1 Vista en planta 31+600 km progresiva



Fuente: Fuente: Administración Boliviana de Carreteras

Foto 4.2.3.2 Imagen satelital del tramo Túnel falda la Queñua Cruce-San Lorenzo



Fuente: google earth

4.3.-Diagnóstico actual del tramo de estudio y evaluación del drenaje superficial

En la actualidad el tramo TÚNEL FALDA LA QUEÑUA-CRUCES SAN LORENZO cuenta con obras de arte tales como cunetas revestidas de hormigón, zanjas de coronación, alcantarillas de cruce, alcantarillas de alivio, cámaras, en todo el tramo se observó un drenaje superficial eficiente, pero en algunos puntos influencia de canales naturales por causa de las precipitación.

Foto 4.3.1 Fallas generales en juntas



Fuente: propia

Hay puntos donde al terminar la calzada comienza la berma de 0.85 m en donde se puede apreciar separación de juntas y pérdidas de material en la berma provocando filtración hacia la estructura de la carretera.

El tramo de estudio ya fue reparado hace siete meses pero observamos en la actualidad fallas como piel de cocodrilo, fisuras transversales, fisuras longitudinales, parches; este tipo de fallas son un indicador que la carretera no está trabajando a su máxima capacidad y están apareciendo fallencias en su estructura.

En la evaluación superficial del tramo TÚNEL FALDA LA QUEÑIA-CRUCES SAN LORENZO se llegó a evaluar las obras de drenaje de la plataforma (cunetas, las alcantarillas, las pendientes de bombeo de la calzada)

Esta sección incluye el análisis de los distintos tipos de obras necesarias para recoger y eliminar las aguas que se acumulan en la plataforma de la carretera, las que pueden provenir de aguas lluvias que caen directamente sobre la franja de expropiación de la carretera, aguas superficiales que provienen de áreas vecinas fuera de la franja de expropiación, que no son interceptadas y llegan al camino, como también aguas superficiales que llegan a la carretera en los cruces de caminos. En el caso de los canales interceptores en cortes, si las aguas recogidas por los taludes de cortes que viertan hacia el camino dan lugar a la erosión o a deslizamiento de los mismos se proyectará un contrafoso o zanja protectora sobre la coronación del corte para recoger las aguas que bajan por las pendientes naturales y conducir las hacia la quebrada o descarga más próxima del sistema general de drenaje.

Verificaciones de diseño de cunetas que deben cumplir:

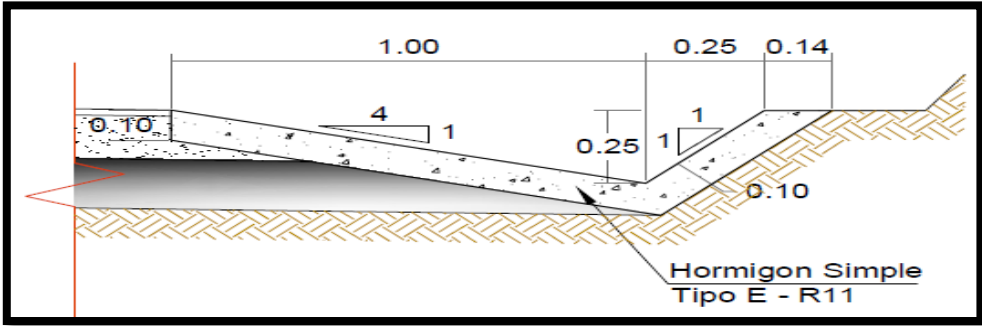
- ❖ La pendiente longitudinal mínima sugerida para las cunetas revestidas será de 0,12% y de 0,25% en aquellas sin revestir.
- ❖ En términos de la pendiente transversal, las cunetas de solera de 0,50 m de ancho tendrán una pendiente transversal máxima de 30% hacia la solera para aprovechar en mejor forma la capacidad de la cuneta y la eficiencia de los sumideros.
- ❖ Para cunetas de ancho superior a 0,50 m la pendiente transversal no será menor que 8%.

Evaluación de las dimensiones de las cunetas:

Verificar si sus dimensiones están bien dimensionadas o que el tirante sea mayor que la altura de las cunetas:

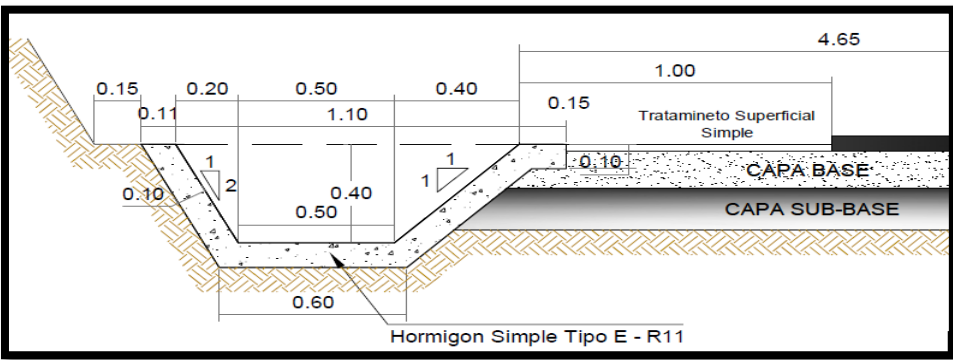
Tipos de cunetas que están en el tramo TUNEL FALDA LA QUEÑUA-CRUCE SAN LORENZO:

Figura 4.3.1 Cuneta triangula tipo 1 lateral revestida



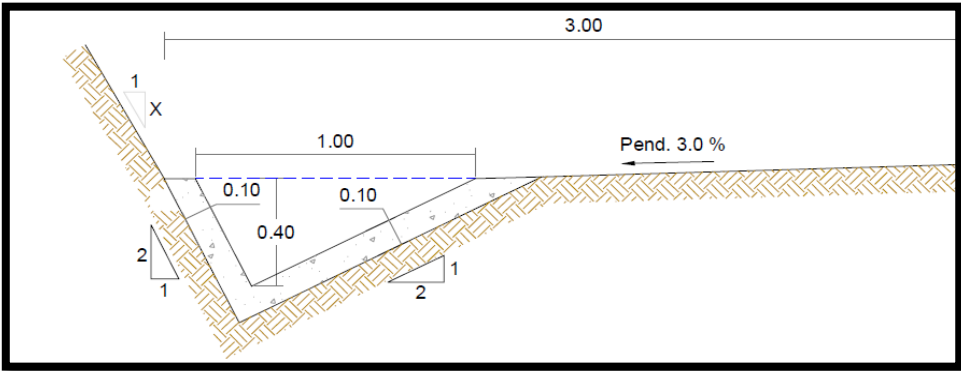
Fuente: Fuente: Administración Boliviana de Carreteras

Figura 4.3.2 Cuneta trapezoidal revestida



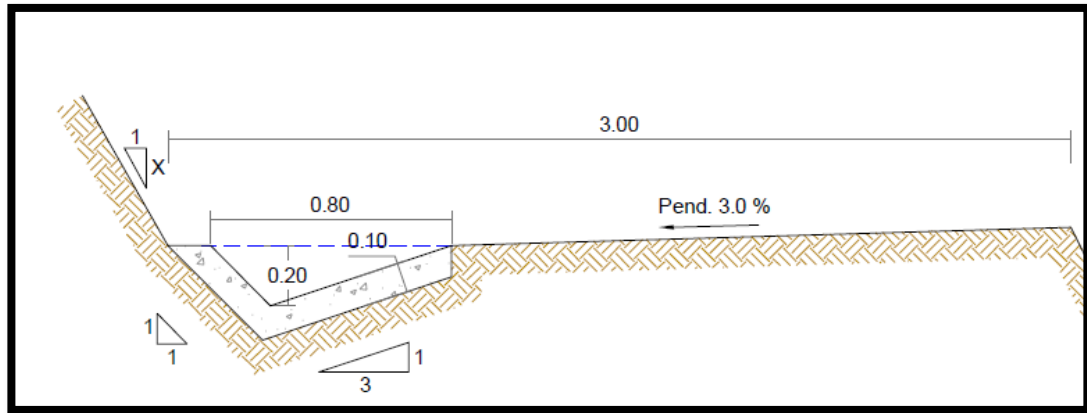
Fuente: Fuente: Administración Boliviana de Carreteras

Figura 4.3.3 Cuneta triangular tipo 1 Banquina revestida



Fuente: Fuente: Administración Boliviana de Carreteras

Figura 4.3.4 Cuneta triangular tipo 2 Banquina revestida



Fuente: Fuente: Administración Boliviana de Carreteras

Para verificar si las dimensiones de estas cunetas con diferente tipo de sección trabajan eficientemente calculamos el caudal máximo (método racional), que está en función a un área de aporte; esta área se calculó del Google Eart Plus, que es el área más representativa del tramo de estudio, el coeficiente de escorrentía es la ponderación del coeficiente del asfalto(capa de rodadura) por la longitud donde estará la cuneta más el coeficiente del suelo por el área de cauce, la intensidad se calculó con la ecuación ghumbel para un periodo de retorno 25 años(ABC) , las tres estaciones se obtuvieron de SHENAMI: Sama Cumbre, Sama Iscayachi y tucumillas el tiempo de concentración adoptamos como mínimo 10 minutos según la Norma Bolivia Manuales Técnicos Hidrología y Drenaje(ABC).

Resultados del cálculo y comparación:

Tiempo de concentración mínimo

$$T_c = 10\text{min}=0.1667\text{hrs}$$

Altura de precipitación máxima horaria para t_c

$$h_{tT} = E_d * \left(\frac{t_c}{\alpha}\right)^\beta * (1 + K_d * \log(T))$$

$\alpha=18$ Tarija

$\beta=0.2$ Tarija

$$h_{tT} = 30.7 \text{ mm}$$

Intensidad máxima

$$i_{max} = \frac{h_{tT}}{t_c}$$
$$i_{max} = 184.2 \text{ mm/h}$$

Caudal de diseño (método racional).-

$$Q_d = \frac{C * i_{max} * A}{3.6}$$

Área de aporte:

$$A = A_a + A_s$$

$A_a = 360 \text{ m}^2$ (área de aporte de la sección de la carretera)

$A_s = 13519 \text{ m}^2$ (área de aporte de la sección correspondiente al talud)

$$A = 13879 \text{ m}^2 = 0.013879 \text{ Km}^2$$

Coefficiente de escorrentía ponderada:

$$C = \frac{(A_a * C_a) + (A_s * C_s)}{A_a + A_s}$$

$C_a = 0.75$ (tabla 3.4.7.4 coeficiente de escorrentía superficial)

$C_s = 0.15$ (tabla 3.4.7.3 coeficiente de escorrentía topografía)

$$C = 0.1655$$

$$Q_d = 0.1175 \text{ m}^3/\text{s}$$

Cálculo de tirantes de las cunetas en función al caudal máximo y la sección de la cuneta:

Sección trapezoidal: Fuente Hidráulica de canales (Máximo Villon)

$$Q = \frac{1}{n} * \frac{A^{5/3}}{P^{2/3}} * S^{1/2} \quad \text{Ecuación de Manning}$$

$$Q = \frac{1}{n} * \frac{\left(y * b + y^2 * \left(\frac{Z_1 + Z_2}{2} \right) \right)^{5/3}}{\left(b + y * \left(\sqrt{Z_1^2 + 1} + \sqrt{Z_2^2 + 1} \right) \right)^{2/3}} * S^{1/2}$$

Sección triangular: Fuente Hidráulica de canales (Máximo Villon)

$$Q = \frac{1}{n} * R^{2/3} * A * S^{1/2} \quad \text{Ecuación de Manning}$$

$$Q = \frac{1}{n} * \left(\frac{y * (Z_1 + Z_2)}{2 * \left(\sqrt{1 + Z_1^2} + \sqrt{1 + Z_2^2} \right)} \right)^{2/3} * (y * (Z_1 + Z_2)) * S^{1/2}$$

Cuneta lateral c/revestimiento

Trapezoidal

Y = 0.106m tirante de agua

Cuneta lateral c/revestimiento

Triangular tipo 1

Y = 0.038m tirante de agua

Cuneta revestida p/banquina

Triangular tipo 1

Y = 0.062m tirante de agua

Cuneta revestida p/banquina

Triangular tipo 2

Y = 0.044m tirante de agua

Después de calcular los tirantes de cada cuneta con diferentes secciones se comprobó que los tirantes no llegan a pasar el espejo de agua caso contrario si sobrepasa el espejo de agua el tirante de estas aguas rebalsara a los extremos de la calzada, berma, donde el objetivo de las cunetas es que el agua se transportada por ellas eficientemente y llevadas hasta las cámaras y luego serán evacuadas con las alcantarillas alivio o de cruce.

4.5.-Evaluación visual general al tramo túnel Falda la Queñua-Cruce San Lorenzo

4.5.1.-Inventariación general de fallas en el pavimento:

Tabla 4.5.1.1 Planilla de fallas de la progresivas (31+400-23+180) Km

FORMATO DE ESTUDIO PARA LA EVALUACIÓN DE FALLAS EN EL PAVIMENTO FLEXIBLE APLICADO AL TRAMO TÚNEL FALDA DE LA QUEÑUA -CRUCE SAN LORENZO

NOMBRE DE LA VIA: tramo TÚNEL FALDA LA QUEÑUA CRUCE SAN LORENZO

FECHA: 11 de Marzo del 2014

NUMERO DE CALZADA: 1

LEVANTADO POR: Miguel Angel Quispe Cayo

NUMERO DE CARRILES POR CALZADA: 2

PR INICIAL: 31+600

ANCHO DE CALZADA: 3,65 m

PR FINAL: 23+990

ANCHO DE BERMA: 0,85m

HOJA: 1

Pr	Carril	Tipo	Severidad	Daño		Reparación		Foto	Aclaraciones
				Largo(m)	Ancho(m)	Largo(m)	Ancho(m)		
31+400	D	PCH	BAJA			1,6	0,6	16	Parche
30+999	D	FB	BAJA	2	0,7			17	Fisuras en bloque
30+899	D	PCH	BAJA			2,9	0,4	18	Parche
30+450	D	PCH	BAJA			0,9	1,8	19	Parche
30+280	D	PC	BAJA	1,5	0,6			20	Piel cocodrilo
30+100	IZ	FB	BAJA	1	0,6			21	Fisuras en bloque
29+970	IZ	FT	BAJA			2,6	0,6	22	Fisuras transversal
29+900	D	FT	BAJA	2,6	0,6			23	Fisura transversal
29+820	D	FB	BAJA	2	0,6			24	Fisuras en bloque
29+723	IZ	PC	BAJA	6	0,6			25	Piel cocodrilo
29+400	D	PCH	BAJA			5	0,5	26	Parche
29+300	IZ	PCH	BAJA			2	1	27	Parche
29+000	IZ	FT	BAJA	0,7	0,6			28	Fisuras Ttransversal
28+870	D	PCH	BAJA			2	1	29	Parche
28+100	D	PCH	BAJA			2	0,8	30	Parche
28+000	IZ	PCH	BAJA			2	1	31	Parche
27+910	D	AB	BAJA	4	0,8			32	Abultamiento
27+820	D	AB	BAJA	1	1			33	Abultamiento
27+750	IZ	PCH	BAJA			2	0,6	34	Parche
27+160	IZ	AHU	BAJA	7	0,6			35	Ahuellamiento
27+100	IZ	AB	BAJA	0,8	0,8			36	Abultamiento
26+193	IZ	SB	ALTA	3	0,3			37	Separación en berma
25+430	IZ	SB	MEDIA	6,7	0,2			39	Separación en berma-Cuneta
24+930	IZ	SB	ALTA	9	0,3			40	Separación en berma
23+770	IZ	SB	ALTA	3,1	0,7			42	Separación en berma
23+595	D	PCH	BAJA			9	0,7	43	Parche
23+535	D	PCH	BAJA			2	0,6	44	Parche
23+499	D	PCH	BAJA			14	0,7	45	Parche
23+452	D	PCH	BAJA			4	0,6	46	Parche
23+387	D	PCH	BAJA			7	0,6	47	Parche
23+240	D	PCH	BAJA			9	0,6	48	Parche
23+223	D	PCH	BAJA			3	0,6	49	Parche
23+180	D	PCH	BAJA			10	0,5	52	Parche

Fuente: creación propia

Tabla 4.5.1.2 Planilla de fallas de la progresivas (22+968-18+380) Km

**FORMATO DE ESTUDIO PARA LA EVALUACIÓN DE FALLAS EN EL PAVIMENTO FLEXIBLE
APLICADO AL TRAMO TÚNEL FALDA DE LA QUEÑUA -CRUCE SAN LORENZO**

NOMBRE DE LA VIA: tramo TÚNEL FALDA LA QUEÑUA CRUCE SAN LORENZO

FECHA: 15 de Marzo del 2014

NUMERO DE CALZADA: 1

LEVANTADO POR: Miguel Angel Quispe Cayo

NUMERO DE CARRILES POR CALZADA: 2

PR INICIAL: 22+968

ANCHO DE CALZADA: 3,65 m

PR FINAL: 18+380

ANCHO DE BERMA: 0,85m

HOJA: 2

Pr	Carril	Tipo	Severidad	Daño		Reparacion		Foto	Aclaraciones
				Largo(m)	Ancho(m)	Largo(m)	Ancho(m)		
22+968	IZ	FB	BAJA	0,7	0,4			55	Fisuras en bloque
22+900	IZ	SB	ALTA	0,6	0,4			56	Separacion en berma
22+790	D	FL	BAJA	1,8	0,6			60	Fisura longitudinal
22+775	D	FL	BAJA	2	0,6			62	Fisura longitudinal
22+483	D	FB	BAJA	1,8	1,3			63	Fisuras en bloque
22+460	D	PCH	BAJA			4	1,3	64	Parche
22+344	IZ	PC	BAJA	1,5	1,2			66	Piel cocodrilo
22+195	IZ	FB	BAJA	1	0,8			68	Fisuras en bloques
22+180	D	FL	BAJA	1,2	0,6			69	Fisuras longitudinal
22+150	IZ	FT	BAJA	0,8	0,5			70	Fisura transversal
21+440	D	FB	BAJA	1	0,6			75	Fisuras en bloque
21+407	D	FL	BAJA	1	0,5			80	Fisura longitudinal
21+405	D	AB	BAJA	5	0,5			81	Abultamiento
21+370	D	FL	BAJA	1,85	0,5			82	Fisura longitudinal
20+861	D	FB	BAJA	1,7	0,7			83	Fisuras en bloque
20+740	D	AB	BAJA	5	0,5			84	Abultamiento
20+703	D								afloramiento de agua en corte fotos(85-86-8
20+680	IZ								afloramiento de agua en corte foto(89)
20+660	IZ								afloramiento de agua en corte fotos(90-91)
20+400	IZ	PCH	BAJA			2	0,5	92	Parche
19+900	IZ	FL	BAJA	2	0,5			93	Fisura transversal
19+490	IZ	PCH	BAJA			3	0,5	95	Parche
19+411	IZ	PCH	BAJA			2	0,5	96	Parche
19+410	IZ	PCH	BAJA			3	0,5	97	pache
19+220	IZ								afloramiento de agua en corte fotos(97-98)
19+180	IZ								afloramiento de agua en corte fotos(99-100)
18+740	IZ	PCH	BAJA			20	1,25	101	Pache
18+670	D	PC	BAJA	1	1			103	Piel cocodrilo
18+637	D	CC	ALTA	2	1			104	Cuneta-Corte
18+580	D	HUN	BAJA	1	0,8			106	Hindimiento
18+520	IZ	FT	BAJA	2,5	0,3			108	Fisura transversal
18+380	IZ								afloramiento de agua en corte foto(109)

Fuente: creación propia

Tabla 4.5.1.2 Planilla de fallas de la progresivas (18+220-10+340) Km

**FORMATO DE ESTUDIO PARA LA EVALUACIÓN DE FALLAS EN EL PAVIMENTO FLEXIBLE
APLICADO AL TRAMOTÚNEL FALDA DE LA QUEÑUA - CRUCE SAN LORENZO**

NOMBRE DE LA VIA: tramo TÚNEL FALDA LA QUEÑUA CRUCE SAN LORENZO

FECHA: 16 de Marzo del 2014

NUMERO DE CALZADA: 1

LEVANTADO POR: Miguel Angel Quispe Cayo

NUMERO DE CARRILES POR CALZADA: 2

PR INICIAL: 18+220

ANCHO DE CALZADA: 3,65 m

PR FINAL: 10+340

ANCHO DE BERMA: 0,85m

HOJA: 3

Pr	Carril	Tipo	Severidad	Daño		Reparacion		Foto	Aclaraciones
				Largo(m)	Ancho(m)	Largo(m)	Ancho(m)		
18+220	IZ	FT	BAJA	0,4	0,3			110	Fisura transversal
18+160	D	AB	BAJA	1	0,4			111	Abultamiento
18+040	D	DSU	BAJA	10	2			112	Desgaste superficial
17+491	D	PCH	BAJA			3	0,5	114	Parche
17+120	D	FT	BAJA	3	0,3			115	Fisura transversal
17+050	D	AB	BAJA	2	1,2			116	Abultamiento
17+000	D	AB	BAJA	3	2			117	Abultamiento
16+815	D	PCH	BAJA			2	1	119	Parche
16+800	D	AB	BAJA	3	0,8			120	Abultamiento
16+700	D	DSU	BAJA	8	1			121	Desgaste superficial
16+650	IZ	PCH	BAJA			4	1	122	Parche
16+620	D	FT	BAJA	2	0,3			123	Fisura transversal
16+460	D	PCH	BAJA			5	2	124	Parche
16+320	D	FB	BAJA	1	0,8			126	Fisura en bloques
16+260	D	PCH	BAJA			1	0,9	127	Parche
16+000	IZ	AB	BAJA	1	1			128	Abultamiento
15+700	IZ	AB	BAJA	1,5	1			130	Abultamiento
15+181	IZ	FT	BAJA	1,8	0,3			131	Fisura transversal
14+450	D	PCH	BAJA			1	0,4	132	Parche
14+400	IZ	FT	MEDIA	0,5	0,4			133	Fisura transversal
14+120	IZ	SB	MEDIA	1	0,8			134	Separacion en berma
14+040	D	FT	BAJA	1,8	0,3			136	Fisura transversal
13+940	D	FT	BAJA	0,4	0,3			138	Fisura transversal
13+780	D	PCH	BAJA			1	0,5	139	Parche
13+620	IZ	AB	BAJA	1	0,5			140	Abultamiento
12+900	D	FT	BAJA	0,8	0,3			141	Fisura transversal
12+495	D	FL	BAJA	0,5	0,3			142	Fisura longitudinal
12+056	IZ	BCH	MEDIA	0,6	0,3			144	Bache
12+020	IZ	FL	BAJA	0,8	0,3			145	Fisura longitudinal
11+610	IZ	FT	BAJA	1	0,3			146	Fisura transversal
11+410	IZ	PCH	BAJA	0,9	0,4			147	Parche
11+120	IZ	FT	BAJA	0,3	0,3			148	Fisura transversal
10+880	IZ								afloramiento de agua en corte foto(150)
10+580	IZ	PCH	BAJA			8	0,5	151	Parche
10+340	IZ	FB	BAJA	1	0,6			152	Fisuras en bloque

Fuente: creación propia

Tabla 4.5.1.2 Planilla de fallas de la progresivas (9+700-4+841) Km

**FORMATO DE ESTUDIO PARA LA EVALUACIÓN DE FALLAS EN EL PAVIMENTO FLEXIBLE
APLICADO AL TRAMO TÚNEL FALDA DE LA QUEÑUA -CRUCE SAN LORENZO**

NOMBRE DE LA VIA: tramo TÚNEL FALDA LA QUEÑUA CRUCE SAN LORENZO

FECHA: 16 de Marzo del 2014

NUMERO DE CALZADA: 1

LEVANTADO POR: Miguel Angel Quispe Cayo

NUMERO DE CARRILES POR CALZADA: 2

PR INICIAL: 9+700

ANCHO DE CALZADA: 3,65 m

PR FINAL: 0+804

ANCHO DE BERMA: 0,85m

HOJA: 4

Pr	Carril	Tipo	Severidad	Daño		Reparacion		Foto	Aclaraciones
				Largo(m)	Ancho(m)	Largo(m)	Ancho(m)		
9+700	IZ	FT	BAJA	1	0,6			153	Fisura transversal
9+680	IZ	FT	BAJA	0,4	0,3			154	Fisura transversal
9+000	IZ	FT	BAJA	0,5	0,3			155	Fisura transversal
8+880	D	PCH	BAJA			8	1	156	Parche
8+860	IZ	PCH	BAJA			12	0,8	157	Parche
8+660	IZ	FT	BAJA	1	0,6			158	Fisura transversal
8+570	IZ	PC	BAJA	1	1			159	Piel cocodrilo
8+540	IZ	PS	BAJA	18	2			160	Perdida superficial
8+300	IZ	PC	BAJA	3	0,6			162	Piel cocodrilo
8+200	IZ	PCH	BAJA			6	1	163	Parche
8+020	D	FB	BAJA	1	0,6			164	Fisuras en bloque
7+360	IZ	PCH	BAJA			6	1,2	165	Parche
7+080	IZ	PCH	BAJA			3	1	166	Parche
5+440	D								afloramiento de agua en corte foto(167)
4+841	D	FT	BAJA	0,5	0,3			168	Fisura transversal

Fuente: creación propia

Las fotos de estas progresivas están en anexos 15 (detalle de las fallas en pavimento flexible aplicado al tramo túnel FALDA LA QUEÑUA-CRUCE SAN LORENZO)

4.6.- Clasificación de las fallas en general según los tipos de fallas en el tramo

Basados en la metodología manual para la inspección visual de pavimento flexible, se procedió a efectuar la Evaluación Superficial del Pavimento, la cual consistió en la recopilación de toda la información que permita establecer los parámetros que reflejen el comportamiento funcional – estructural del pavimento en servicio para luego clasificarlo en fisuras, deformación, pérdida de la capa estructural, desgaste superficial y otros:

FISURAS

4.6.1.-Fisuras Longitudinales y transversales (FL, FT).-

Tabla 4.6.1.1 Puntos en donde se encontraron estas fallas: Fisuras Longitudinales
y transversales (FL, FT).-

Pr	Carril	Tipo	Severidad	Daño		Reparación		Foto	Aclaraciones
				Largo(m)	Ancho(m)	Largo(m)	Ancho(m)		
29+970	IZ	FT	BAJA	2.6	0.6			22	Fisuras transversal
29+900	D	FT	BAJA	2.6	0.6			23	Fisura transversal
29+000	Z	FT	BAJA	0.7	0.6			28	Fisuras Transversal
23+990	D	FT	BAJA	2	0.4			53	Fisura transversal
22+790	D	FL	BAJA	1.8	0.6			60	Fisura longitudinal
22+775	D	FL	BAJA	2	0.6			62	Fisura longitudinal
22+180	D	FL	BAJA	1.2	0.6			69	Fisuras longitudinal
22+150	Z	FT	BAJA	0.8	0.5			70	Fisura transversal
22+080	Z	FT	BAJA	2	0.6			71	Fisura transversal
21+407	D	FL	BAJA	1	0.5			80	Fisura longitudinal
19+900	Z	FL	BAJA	2	0.5			93	Fisura transversal
18+520	Z	FT	BAJA	2.5	0.3			108	Fisura transversal
18+220	Z	FT	BAJA	0.4	0.3			110	Fisura transversal
17+120	D	FT	BAJA	3	0.3			115	Fisura transversal
16+620	D	FT	BAJA	2	0.3			123	Fisura transversal
15+181	Z	FT	BAJA	1.8	0.3			131	Fisura transversal
14+400	Z	FT	MEDIA	0.5	0.4			133	Fisura transversal
14+040	D	FT	BAJA	1.8	0.3			136	Fisura transversal
13+940	D	FT	BAJA	0.4	0.3			138	Fisura transversal
12+900	D	FT	BAJA	0.8	0.3			141	Fisura transversal
12+495	D	FL	BAJA	0.5	0.3			142	Fisura longitudinal
12+020	Z	FL	BAJA	0.8	0.3			145	Fisura longitudinal
11+610	Z	FT	BAJA	1	0.3			146	Fisura transversal
11+120	Z	FT	BAJA	0.3	0.3			149	Fisura transversal
9+700	Z	FT	BAJA	1	0.6			153	Fisura transversal
9+680	Z	FT	BAJA	0.4	0.3			154	Fisura transversal
9+000	Z	FT	BAJA	0.5	0.3			155	Fisura transversal
8+660	Z	FT	BAJA	1	0.6			158	Fisura transversal
4+841	D	FT	BAJA	0.5	0.3			168	Fisura transversal

Fuente: creación propia

4.6.2.-Fisuras en Bloque (FB).-

Tabla: 4.6.2.1 Puntos en donde se encontraron fallas Fisuras en Bloque (FB):

Pr	Carril	Tipo	Severidad	Daño		Reparación		Foto	Aclaraciones
				Largo(m)	Ancho(m)	Largo(m)	Ancho(m)		
30+999	D	FB	BAJA	2	0.7			17	Fisuras en bloque
30+100	IZ	FB	BAJA	1	0.6			21	Fisuras en bloque
29+820	D	FB	BAJA	2	0.6			24	Fisuras en bloque
22+968	Z	FB	BAJA	0.7	0.4			55	Fisuras en bloques
22+483	D	FB	BAJA	1.8	1.3			63	Fisuras en bloque
22+195	Z	FB	BAJA	1	0.8			68	Fisuras en bloques
21+440	D	FB	BAJA	1	0.6			75	Fisuras en bloques
20+861	D	FB	BAJA	1.7	0.7			83	Fisuras en bloques
16+320	D	FB	BAJA	1	0.8			126	Fisura en bloques
10+340	Z	FB	BAJA	1	0.6			152	Fisuras en bloques
8+020	D	FB	BAJA	1	0.6			164	Fisuras en bloques

Fuente: creación propia

4.6.3.-Piel de cocodrilo (PC).-

Tabla: 4.6.3.1 Puntos en donde se encontraron fallas: Piel de cocodrilo (PC)

Pr	Carril	Tipo	Severidad	Daño		Reparación		Foto	Aclaraciones
				Largo(m)	Ancho(m)	Largo(m)	Ancho(m)		
30+280	D	PC	BAJA	1.5	0.6			20	Piel cocodrilo
29+723	Z	PC	BAJA	6	0.6			25	Piel cocodrilo
22+850	Z	PC	MEDIA	1.6	0.5			58	Piel cocodrilo
22+344	Z	PC	BAJA	1.5	1.2			66	Piel cocodrilo
18+670	D	PC	BAJA	1	1			103	Piel cocodrilo
8+570	Z	PC	BAJA	1	1			159	Piel cocodrilo
8+300	Z	PC	BAJA	3	0.6			162	Piel cocodrilo

Fuente: creación propia

DEFORMACIONES.-

4.6.4.-Abultamiento (AB).-

Tabla: 4.6.4.1 Puntos en donde se encontraron fallas: abultamiento (AB)

Pr	Carril	Tipo	Severidad	Daño		Reparación		Foto	Aclaraciones
				Largo(m)	Ancho(m)	Largo(m)	Ancho(m)		
27+910	D	AB	BAJA	4	0,8			32	Abultamiento
27+820	D	AB	BAJA	1	1			33	Abultamiento

27+100	Z	AB	BAJA	0,8	0,8			36	Abultamiento
21+405	D	AB	BAJA	5	0,5			81	Abultamiento
18+160	D	AB	BAJA	1	0,4			111	Abultamiento
17+050	D	AB	BAJA	2	1,2			116	Abultamiento
17+000	D	AB	BAJA	3	2			117	Abultamiento
16+800	D	AB	BAJA	3	0,8			120	Abultamiento
16+000	Z	AB	BAJA	1	1			128	Abultamiento
15+700	Z	AB	BAJA	1,5	1			130	Abultamiento
13+620	Z	AB	BAJA	1	0,5			140	Abultamiento

Fuente: creación propia

4.6.5.-Hundimiento (HUN)

Tabla: 4.6.5.1 Puntos en donde se encontraron fallas: Hundimiento (HUN)

Pr	Carril	Tipo	Severidad	Daño		Reparación		Foto	Aclaraciones
				Largo(m)	Ancho(m)	Largo(m)	Ancho(m)		
18+580	D	HUN	BAJA	1	0,8			106	Hundimiento

Fuente: creación propia

4.6.6.-Ahuellamiento (AHU)

Tabla: 4.6.6.1 puntos en donde se encontraron fallas: ahuellamiento (ahu):

Pr	Carril	Tipo	Severidad	Daño		Reparación		Foto	Aclaraciones
				Largo(m)	Ancho(m)	Largo(m)	Ancho(m)		
27+160	Z	AHU	BAJA	7	0,6			35	Ahuellamiento

Fuente: creación propia

PÉRDIDA DE LAS CAPAS DE LA ESTRUCTURA

4.6.7.-Baches (BCH)

Tabla: 4.6.7.1 Puntos en donde se encontraron fallas: Bache (BCH)

Pr	Carril	Tipo	Severidad	Daño		Reparación		Foto	Aclaraciones
				Largo(m)	Ancho(m)	Largo(m)	Ancho(m)		
12+056	Z	BCH	MEDIA	0,6	0,3			144	Bache

Fuente: creación propia

4.6.8.-Parche (PCH)

Tabla: 4.6.8.1 Puntos en donde se encontraron fallas: Parche (PCH)

Pr	Carril	Tipo	Severidad	Daño		Reparación		Foto	Aclaraciones
				Largo(m)	Ancho(m)	Largo(m)	Ancho(m)		
31+400	D	PCH	BAJA			1,6	0,6	16	Parche
30+899	D	PCH	BAJA			2,9	0,4	18	Parche
30+450	D	PCH	BAJA			0,9	1,8	19	Parche
29+400	D	PCH	BAJA			5	0,5	26	Parche
29+300	Z	PCH	BAJA			2	1	27	Parche
28+870	D	PCH	BAJA			2	1	29	Parche
28+100	D	PCH	BAJA			2	0,8	30	Parche
28+000	Z	PCH	BAJA			2	1	31	Parche
27+750	Z	PCH	BAJA			2	0,6	34	Parche
23+595	D	PCH	BAJA			9	0,7	43	Parche
23+535	D	PCH	BAJA			2	0,6	44	Parche
23+499	D	PCH	BAJA			14	0,7	45	Parche
23+452	D	PCH	BAJA			4	0,6	46	Parche
23+387	D	PCH	BAJA			7	0,6	47	Parche
23+240	D	PCH	BAJA			9	0,6	48	Parche
23+223	D	PCH	BAJA			3	0,6	49	Parche
23+180	D	PCH	BAJA			10	0,5	52	Parche
22+460	D	PCH	BAJA			4	1,3	64	Parche
22+060	D	PCH	BAJA			6	1	72	Parche
20+400	Z	PCH	BAJA			2	0,5	92	Parche
19+490	Z	PCH	BAJA			3	0,5	95	Parche
19+411	Z	PCH	BAJA			2	0,5	96	Parche
19+410	Z	PCH	BAJA			3	0,5	96	Parche
18+740	Z	PCH	BAJA			20	1,25	101	Parche
17+491	D	PCH	BAJA			3	0,5	114	Parche
16+815	D	PCH	BAJA			2	1	119	Parche
16+650	Z	PCH	BAJA			4	1	122	Parche
16+460	D	PCH	BAJA			5	2	124	Parche
16+260	D	PCH	BAJA			1	0,9	127	Parche
14+450	D	PCH	BAJA			1	0,4	132	Parche
13+780	D	PCH	BAJA			1	0,5	139	Parche
11+410	Z	PCH	BAJA			0.39	0.4	147	Parche
10+580	Z	PCH	BAJA			8	0,5	151	Parche
8+880	D	PCH	BAJA			8	1	156	Parche
8+860	Z	PCH	BAJA			12	0,8	157	Parche

8+200	Z	PCH	BAJA			6	1	163	Parche
7+360	Z	PCH	BAJA			6	1,2	165	Parche
7+080	Z	PCH	BAJA			3	1	166	Parche

Fuente: creación propia

DAÑOS SUPERFICIALES:

4.6.9.-Desgaste Superficial (DSU)

Tabla: 4.6.9.1 Puntos en donde se encontraron fallas: Desgaste Superficial (DSU)

Pr	Carril	Tipo	Severidad	Daño		Reparación		Foto	Aclaraciones
				Largo(m)	Ancho(m)	Largo(m)	Ancho(m)		
18+040	D	DSU	BAJA	10	2			112	Desgaste superficial
16+700	D	DSU	BAJA	8	1			121	Desgaste superficial

Fuente: creación propia

OTROS DAÑOS:

4.6.10.- Separación de la berma (SB):

Tabla: 4.6.10.1 Puntos donde se encontraron fallas: Separación de la berma (SB)

Pr	Carril	Tipo	Severidad	Daño		Reparación		Foto	Aclaraciones
				Largo(m)	Ancho(m)	Largo(m)	Ancho(m)		
26+193	Z	SB	ALTA	3	0,3			37	Separación en berma
25+430	Z	SB	MEDIA	6,7	0,2			39	Separación en berma-Cuneta
24+930	Z	SB	ALTA	9	0,3			40	Separación en berma
23+770	Z	SB	ALTA	3,1	0,7			42	Separación en berma
22+900	Z	SB	ALTA	0,6	0,4			56	Separación en berma
14+120	Z	SB	MEDIA	1	0,8			134	Separación en berma

Fuente: creación propia

4.6.11.-Aplicación del Manual para la inspección visual de pavimento flexible

Para esta parte usamos el método: MANUAL PARA LA INSPECCIÓN VISUAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES (CONVENIO INTERADMINISTRATIVO 0587 – 03) REPÚBLICA DE COLOMBIA MINISTERIO DE TRANSPORTE INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS.

Una vez elaborado el levantamiento de los diferentes tipos de fallas, se estudiaron sus características particulares como ser progresiva del punto donde se encuentra la

falla, descripción de tipo de falla e identificándola con el manual de inspección visual de pavimento flexible.

Proseguimos a un análisis estadístico:

Donde tomamos como abscisa las progresivas en este caso adoptamos cada kilómetro que también esta con la sigla (T), y las ordenadas son las áreas que en este caso son el total que se encuentra en cada kilómetro (T), cabe recalcar que en este método se observa que tipo de falla se encuentra con mayor frecuencia y qué tipo de severidad alta, media y baja.

Donde clasificamos visualmente con estas tablas resumidas:

- ❖ Formato de estudio para la evaluación de fallas en el pavimento flexible aplicado al tramo túnel falda de la Queñua -Cruce San Lorenzo
- ❖ Detalle de la gráfica de área afectada por tramos
- ❖ Distribución de los daños de severidad baja por tipo

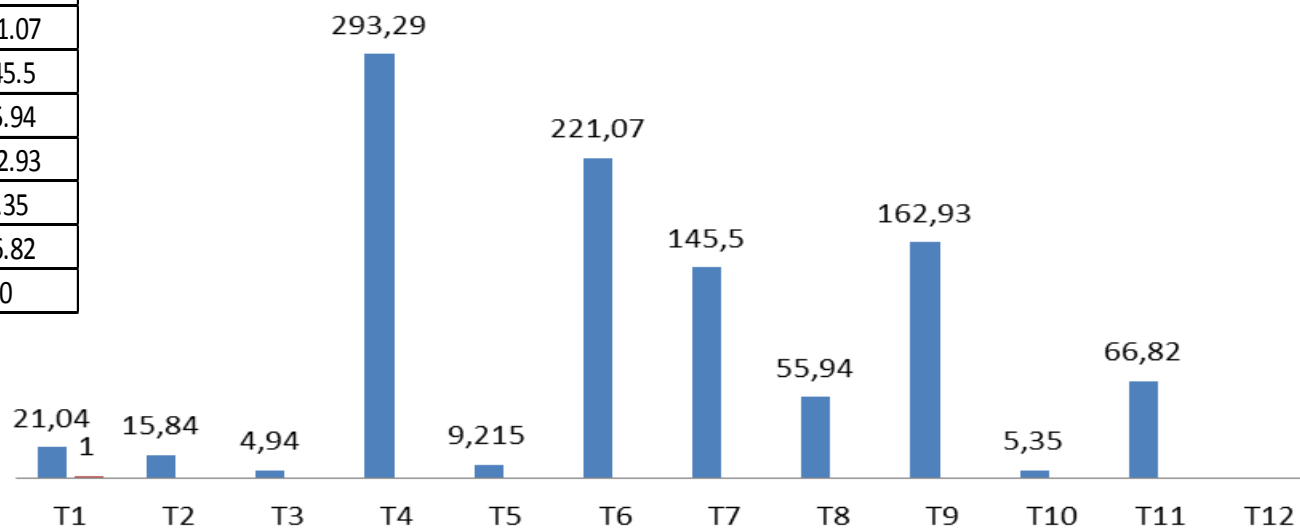
Tabla 4.6.11.1 Formato de estudio para la evaluación de fallas en el pavimento flexible aplicado al tramo túnel Falda de la Queñua -Cruce San Lorenzo

Ancho de calzada: 7				APLICADO AL TRAMO TUNEL FALDA DE LA QUEÑUA - CRUCE SAN LORENZITO																																																																	
TRAMO	ABSCISA		Area	FL			FT			FML			FBD			FB			PC			FDC			FIN			OND			AB			HUN			AHU			DC			BCH			PCH			DSU			PA			PU			CVB			SB			TOTAL	%AFECTACION POR TRAMO				
	desde	hasta		tramo m2	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A																				
T1	31+400	29+000	16800				3.54									3.2			4.5																		9.8															21.04	0.125																
T2	28+870	27+100	12390																									4.84																									15.84	0.128															
T3	26+193	24+930	8841																																																	4.94	4.94	0.056															
T4	23+770	22+060	11970	3			2.4									1.08			2.6																																2.41	293.29	2.450																
T5	21+440	20+400	7280	1.425												1.79																																				9.215	0.127																
T6	19+900	18+040	13020				1.87											1																																		221.07	1.698																
T7	17+491	16+000	10437	1.5												0.8																																					145.5	1.394															
T8	15+700	14+040	11620					0.74																																												0.8	55.94	0.481															
T9	13+940	12+020	13440	0.39			0.36																																														162.93	1.212															
T10	11+610	10+340	8890				0.39									0.6																																					5.35	0.060															
T11	9+700	4+841	34013				1.62									0.6			2.8																																		66.82	0.196															
T12	3+000	1+930	7490																																																			0	0														
area total inspeccionada			156191																																																					area total afectada y porcentaje de atencio												1001.9	0.641
area total afectada por severidad y daño m2				6.315	0	0	10.18	0.74	0	0	0	0	0	0	0	0	8.07	0	0	10.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24	0	0	0.8	0	0	4.2	0	0	0	0	0	47.3	0.2	0	96.06	0	400	64	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.8	7.35	0.00					
area total afectada por daño m2				6.32			10.92			0			0			8.07			10.9			0			0			0			24.04			0.8			4.2			0			47.48			496.06			64			0			0			0			8.15								

Tabla 4.6.11.2 Detalle de la gráfica de área afectada por tramos

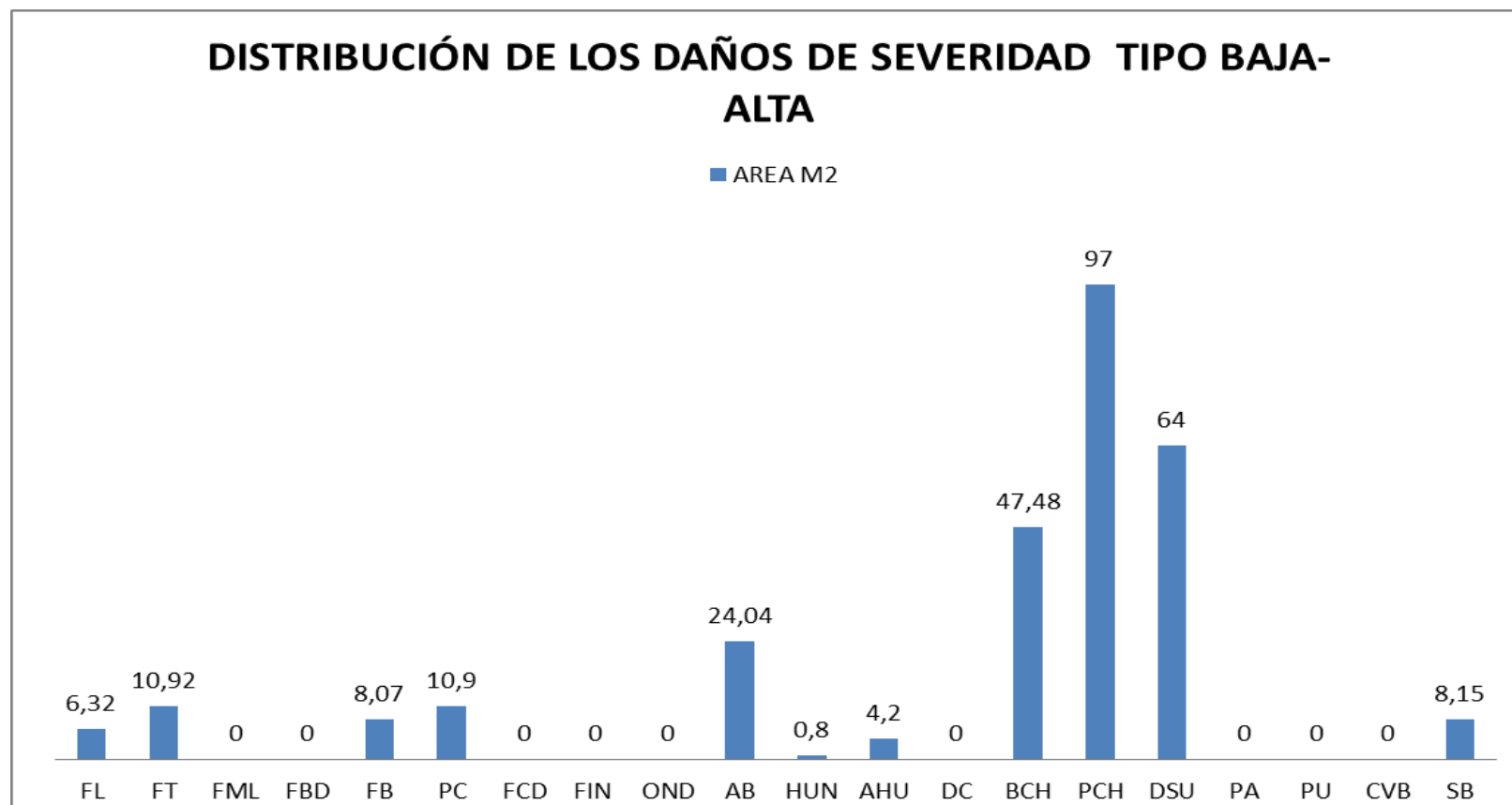
TRAMO	ABSCISA		Area tramo m2
	desde	hasta	
T1	31+400	29+000	21.04
T2	28+870	27+100	15.84
T3	26+193	24+930	4.94
T4	23+770	22+060	293.29
T5	21+440	20+400	9.215
T6	19+900	18+040	221.07
T7	17+491	16+000	145.5
T8	15+700	14+040	55.94
T9	13+940	12+020	162.93
T10	11+610	10+340	5.35
T11	9+700	4+841	66.82
T12	3+000	1+930	0

DETALLE DE LA GRÁFICA DE ÁREA AFECTADA POR TRAMOS



Fuente: creación propia

Tabla 4.6.11.3 Distribución de los daños de severidad baja por tipo

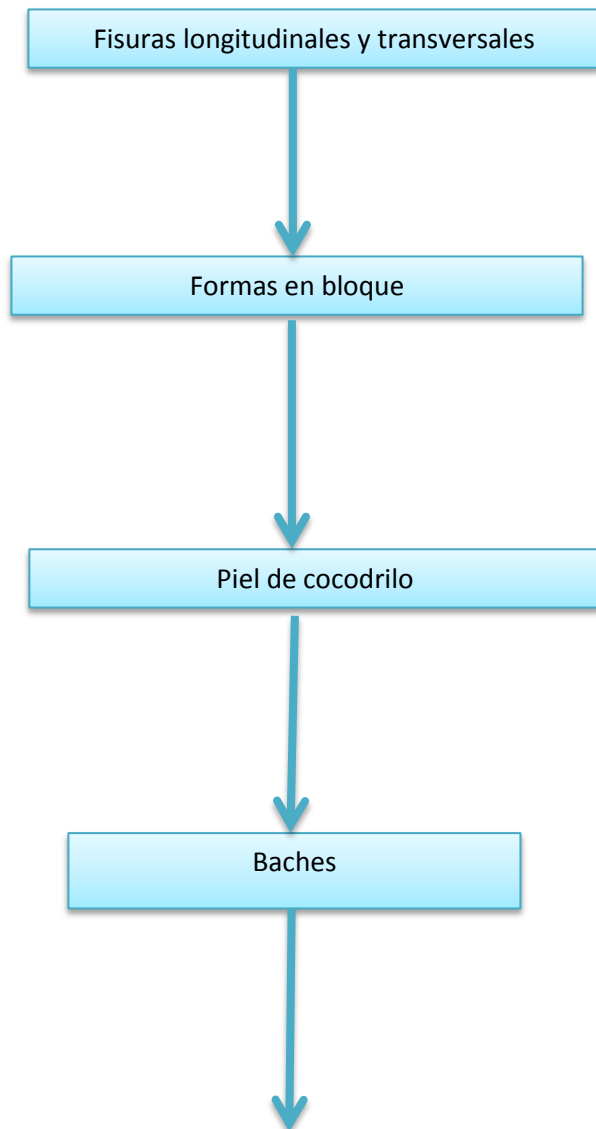


Fuente: creación propia

4.6.12 Secuencia de fallas en generales

Según el estudio teórico buscamos qué tipos de fallas son los primeros en resaltar dando como resultados fallas, y como consecuencia de este hecho, llevan a otro tipo de fallas hasta llegar a afectar a toda la estructura.

Fotos 4.6.12.1 secuencia de fallas en general



Parches



Fuente: creación propia

Las fallas que se presentan en los tramos de estudio son actualmente de severidad media y baja; estas fallas catalogadas en manual para la inspección visual de pavimento flexible son las que con mayor frecuencia se encontraron.

Clasificamos en dos tipos de fallas:

Fallas puntuales son: longitudinales, transversales, bloques

Fallas concentradas que son: los bloques, piel de cocodrilo; éstas van deteriorándose por el transcurso del tiempo, precipitaciones y tránsito de vehículos pesados y livianos y comienzan a perder su estructura formando baches profundos con una profundidad mayor a 50 mm que tiene una alta severidad y causa de ello se tiene que llegar a retirar el material ya sea de la capa de rodadura o en forma completa hasta el material granular como es el caso del tramo Túnel Falda la Queñua-Cruce San Lorenzo.

Estas fallas Ono siempre pueden ser por el drenaje subterráneo o el superficial, es claro que el diseño de la estructura de la carretera depende de muchos factores que se tienen que tomar en cuenta, más si es una zona de tránsito de vehículos pesados y clima en condiciones totalmente desfavorables.

Como aplicación del Manual para la Inspección Visual de Pavimentó Flexible, es un indicativo de qué tipo de fallas se están presentando con más frecuencia y cuánto es su severidad baja, media y alta; estas fallas pueden ser: constructivos, diseños de la estructura del carretera, diseño geométrico y por la influencia del agua de forma superficial y subterránea.

4.7.- Ubicación de los 10 puntos más críticos en el tramo “Túnel Falda de la Queñua-Cruce San Lorenzo”

1.-Punto crítico N: 1

Progresiva: 23+320 L=30 m A=3.6m

Foto 4.7.1 punto crítico 1



Fuente: creación propia

La extracción de suelo se realizó en el carril derecho al lado de la berma con las siguientes dimensiones: 60 cm por 60 cm y una profundidad de 60 cm al nivel de la subrasante, la muestra obtenida se comenzó a extraer después de haber llegado a los 60 cm de profundidad donde extrajimos 80 kg para realizar el estudio de los suelos en laboratorio.

Foto 4.7.2 Punto crítico 1



Fuente: creación propia

2.- Punto crítico N: 2

Progresiva: 22+110 dimensiones: largo=47m ancho=4 tipo

Foto 4.7.3 punto crítico 2



Fuente: creación propia

La extracción de suelo se realizó en el carril derecho al lado de la berma con las siguientes dimensiones 60cm por 60 cm y una profundidad de 60 cm al nivel de la subrasante, la muestra obtenida se comenzó a extraer después de haber llegado a los 60 cm de profundidad donde extrajimos 80 kg para realizar el estudio de los suelos en laboratorio.

Foto 4.7.4 punto crítico 2



Fuente: creación propia

3.- Punto crítico N: 3

Progresiva: 19+960 L=30m A=3.6m

Foto 4.7.5 Punto crítico 3



Fuente: Creación propia

La extracción de suelo se realizó en el carril derecho al lado de la berma con las siguientes dimensiones: 60 cm por 60 cm y una profundidad de 60 cm al nivel de la subrasante, la muestra obtenida se comenzó a extraer después de haber llegado a los 60 cm de profundidad donde extrajimos 80 kg para realizar el estudio de los suelos en laboratorio.

Foto 4.7.6 Punto crítico 3



Fuente: creación propia

4.- Punto crítico N: 4

Progresiva: 18+900 L=40m A=3.6m

Foto 4.7.7 Punto crítico 4



Fuente: creación propia

La extracción de suelo se realizó en el carril izquierdo al lado de la berma con las siguientes dimensiones: 60 cm por 60 cm y una profundidad de 60 cm al nivel de la subrasante, la muestra obtenida se comenzó a extraer después de haber llegado a los 60 cm de profundidad donde extrajimos 80 kg para realizar el estudio de los suelos en laboratorio.

Foto 4.7.8 Punto crítico 4



Fuente: creación propia

5.- Punto crítico N: 5

Progresiva: 16+200 dimensiones: largo=44m ancho=4 FOTO 4.7.9 PUNTO CRITICO 5



Fuente: creación propia

La extracción de suelo se realizó en el carril derecho al lado de la berma con las siguientes dimensiones: 60 cm por 60 cm y una profundidad de 60 cm al nivel de la subrasante, la muestra obtenida se comenzó a extraer después de haber llegado a los 60 cm de profundidad donde extrajimos 80 kg para realizar el estudio de los suelos en laboratorio

Foto 4.7.10 Punto crítico 5



Fuente: creación propia

6.- Punto crítico N: 6

Progresiva: 15+180 L=35m A=3.6

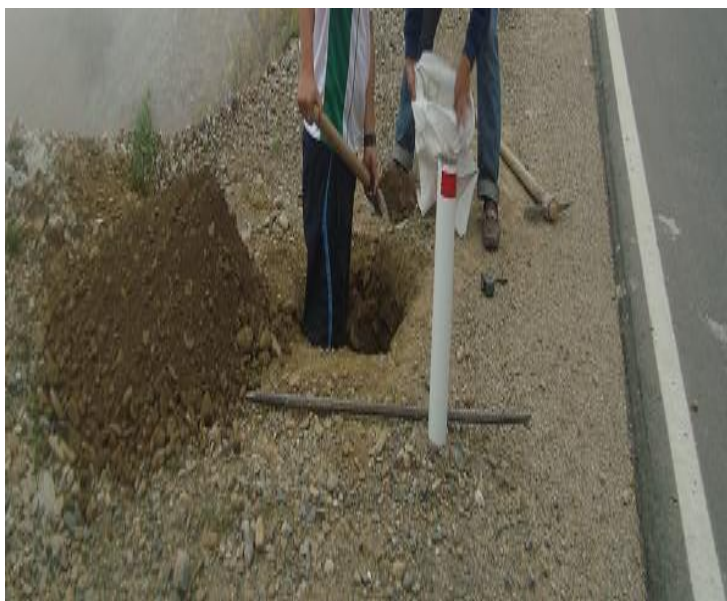
Foto 4.7.11 Punto crítico 6



Fuente: creación propia

La extracción de suelo se realizó en el carril izquierdo al lado de la berma con las siguientes dimensiones: 60 cm por 60 cm y una profundidad de 60 cm al nivel de la subrasante, la muestra obtenida se comenzó a extraer después de haber llegado a los 60 cm de profundidad donde extrajimos 80 kg para realizar el estudio de los suelos en laboratorio.

Foto 4.7.12 Punto crítico 6



Fuente: creación propia

7.- Punto crítico N: 7

Progresiva: 13+331 dimensiones: largo=78m ancho=4

Foto 4.7.13 Punto crítico 7



Fuente: creación propia

La extracción de suelo se realizó en el carril izquierdo al lado de la berma con las siguientes dimensiones: 60 cm por 60 cm y una profundidad de 60 cm al nivel de la subrasante, la muestra obtenida se comenzó a extraer después de haber llegado a los 60 cm de profundidad donde extrajimos 80 kg para realizar el estudio de los suelos en laboratorio.

Foto 4.7.14 Punto crítico 7



Fuente: creación propia

8.- Punto crítico N: 8

Progresiva: 12+900 L=45 A=3.6m

Foto 4.7.15 Punto crítico 8



Fuente: creación propia

La extracción de suelo se realizó en el carril izquierdo al lado de la berma con las siguientes dimensiones: 60 cm por 60 cm y una profundidad de 60 cm al nivel de la subrasante, la muestra obtenida se comenzó a extraer después de haber llegado a los 60 cm de profundidad donde extrajimos 80 kg para realizar el estudio de los suelos en laboratorio.

Foto 4.7.16 Punto crítico 8



Fuente: creación propia

9.- Punto crítico N: 9

Progresiva: 12+280

Foto 4.7.17 Punto crítico 9



Fuente: creación propia

La extracción de suelo se realizó en el carril derecha al lado de la berma con las siguientes dimensiones: 60 cm por 60 cm y una profundidad de 60 cm al nivel de la subrasante, la muestra obtenida se comenzó a extraer después de haber llegado a los 60 cm de profundidad donde extrajimos 80 kg para realizar el estudio de los suelos en laboratorio.

Foto 4.7.18 Punto crítico 9



Fuente: creación propia

10.- Punto crítico N: 10

Progresiva: 11+40

Foto 4.7.19 Punto crítico 10



La extracción de suelo se realizó en el carril derecha al lado de la berma con las siguientes dimensiones: 60 cm por 60 cm y una profundidad de 60 cm al nivel de la subrasante, la muestra obtenida se comenzó a extraer después de haber llegado a los 60 cm de profundidad donde extrajimos 80 kg para realizar el estudio de los suelos en laboratorio.



Fuente: creación propia

Foto 4.7.20 Punto crítico 10



Fuente: creación propia

4.8.- Análisis de estudio de suelos de los 10 pozos.

Este análisis de los suelos es un indicativo de cómo está actuando la muestra de suelo en su interior y así poder clasificarlo según AASTHO y la SUCS y ver qué tipo de suelo es:

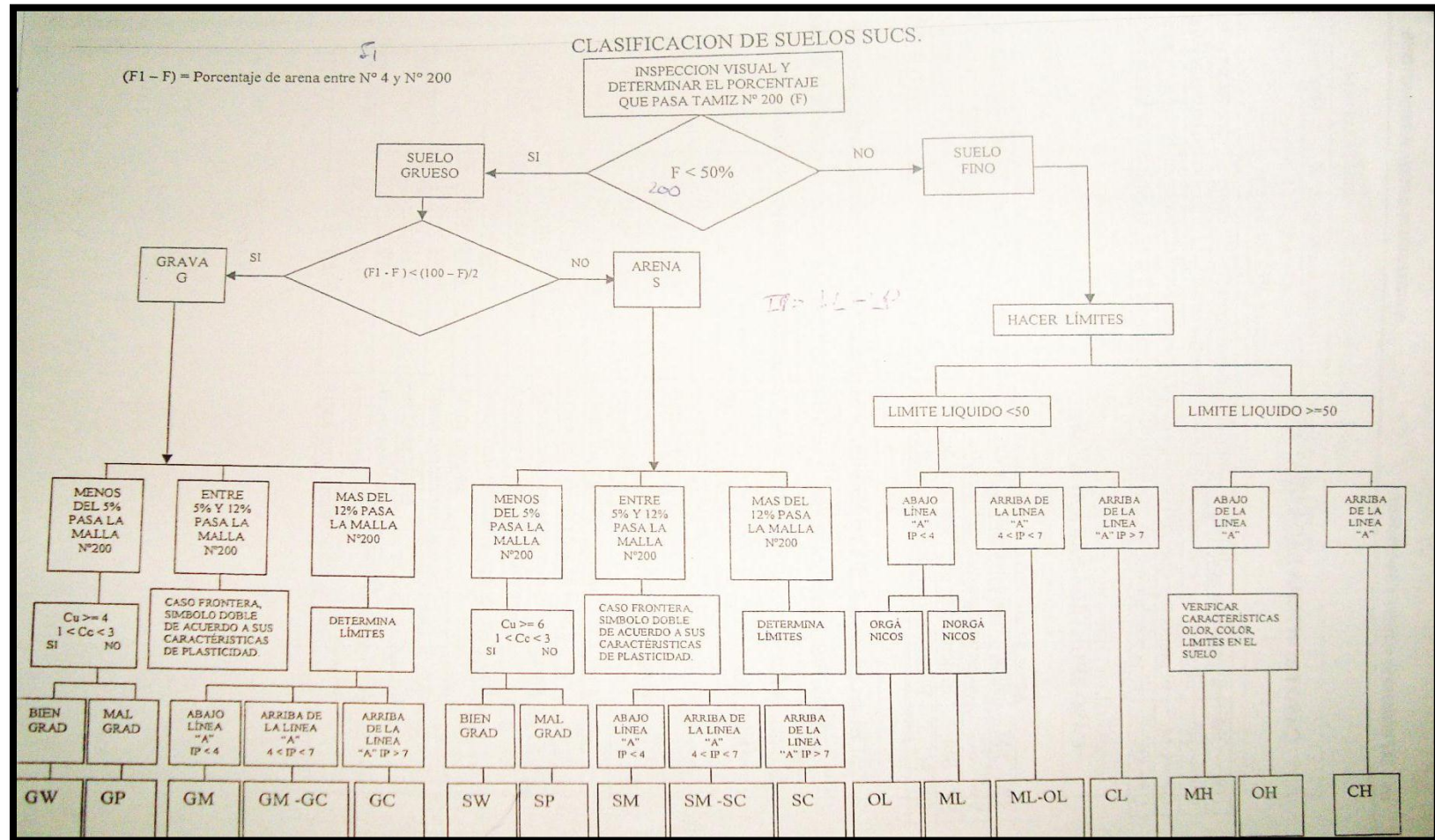
Clasificación de suelos según la AASTHO:

Tabla 4.8.1 Clasificación AASTHO

CLASIFICACIÓN AASHTO											
CLASIFICACIÓN GENERAL	MATERIALES GRANULARES (igual o menor al 35 % pasa el tamiz nro. 200)							MATERIALES LIMO- ARCILLOSOS (más del 35% pasa el tamiz nro. 200)			
GRUPOS	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
SUB GRUPOS	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5
% pasa el tamiz											
Nº 10	50 máx										
Nº 40	30 máx.	50 máx.	51 máx.								
Nº 200	15 máx.	25 máx	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características del material que pasa el tamiz Nº 40											
Límite Líquido			NO	40 máx	41 mín.	40 máx	41 mín.	40 máx	41 mín.	40 máx	41 mín.
Índice de Plasticidad	6 máx	6 máx	PLÁSTICO	10 máx	10 máx	11 mín.	11 mín.	10 máx	10 máx	11 mín.	11 mín.
Índice de grupo	0	0	0	0	0	4 máx	4 máx	8 máx.	12 máx.	16 max.	20 máx.
Tipos de material	Fragmentos de grava y arena		Arena Fina	Grava, arena limosas y arcillosas				Suelos Limosos		Suelos Arcillosos	
Terreno de fundación	Excelente a Bueno					Regular a Deficiente					

Fuente: Mecánica de Suelos Tomo I

Tabla 4.8.2 Clasificación de suelos según la SUSC



Fuente: Mecánica de Suelos Tomo I

Para la clasificación de los CBR

Tabla 4.8.3 Clasificación de suelos para Infraestructura de Pavimentos

CBR	Clasificación general	usos	Sistema de Clasificación	
			Unificado	AASHTO
0 - 3	muy pobre	subrasante	OH,CH,MH,OL	A5,A6,A7
3 - 7	pobre a regular	subrasante	OH,CH,MH,OL	A4,A5,A6,A7
7 - 20	Regular	sub-base	OL,CL,ML,SC SM,SP	A2,A4,A6,A7
20 - 50	Bueno	base,subbase	GM,GC,W,SM SP,GP	A1b,A2-5,A3 A2-6
> 50	Excelente	base	GW,GM	A1-a,A2-4,A3

Fuente: Fundamento de la Mecánica de Suelos

Para la permeabilidad utilizamos:

Tabla 4.8.4 Coeficiente de permeabilidad K en cm/s

k en cm/s	10 ²	10 ¹	1,0	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹
Drenaje			Bueno				Malo		Prácticamente impermeable			
Tipo de suelo	Grava limpia		Arenas limpias, mezclas arenoso gravosas limpias			Arenas muy finas, limos orgánicos e inorgánicos, mezclas de arena limosa y arcillas, depósitos glaciares, arcillas (piratigráficas, etc.		Suelos impermeables como arcillas homogéneas				
			Suelos impermeables por efecto de la vegetación y la intemperie									
Determinación directa de K	Realizar test de permeabilidad, directamente en el emplazamiento a estudiar. Para obtener resultados fidedignos se requiere mucha experiencia.											
	Obtener K mediante el permeámetro de carga constante. Se requiere poca experiencia.											
Determinación indirecta de K			Usar permeámetro de carga variable requiere poca experiencia			Con el permeámetro de carga decreciente, se requiere mucha experiencia.		Con el permeámetro de carga decreciente se requiere bastante experiencia por lo que es medianamente fiable.				
			Obtener K a partir de la curva granulométrica. Solo sirve para arenas y gravas poco cohesivas y limpias					Obtener K a partir de ensayos de consolidación. Se requiere bastante experiencia.				

Fuente: Casagrande Y R.E FADUM

Realizados los ensayos de suelos en condiciones desfavorables como es la práctica de CBR, en este ensayo se dejó 4 días sumergido y con 10 libras de peso cada día se fue a medir la expansión con el expansímetro y después de los 4 días se rompió el molde, realizar la lecturación correspondientes a las cargas aplicas para penetraciones de 0.025", 0.05", 0.075", 0.01", 0.2", 0.3", 0.4" y 0.5". Y registrar estos datos.

Para el caso de la permeabilidad de las 10 muestras se clasificó según la tabla 4.8.4 donde nos indica un buen drenaje que sería los materiales bien graduados en el tramo de estudio, 8 puntos tienen buen drenaje y 2 tienen un mal drenaje debido a su pésimo suelo clasificado según la AASTO y SUSC

Resultado de la los ensayos:

Tabla 4.8.1 Resultados de estudio de suelos

		Clasificación de suelos			CBR	Coeficiente de permeabilidad K
Pozos	progresivas	AASTHO	SUCS		100%	
1	Progresiva: 23+320	A-2-4	GW	suelo con alto contenido de material grueso, contienen limo y arcilla en cantidades reducidas cuya plasticidad es baja.	30	1.16E-03
2	Progresiva: 22+110	A-2-6	GW	suelo con alto contenido de material grueso, contienen limo y arcilla en cantidades reducidas cuya plasticidad es baja.	41	1.03E-03
3	Progresiva: 19+960	A-2-4	SW	Son gravas y arenas gruesas, que contienen limo y arcilla en cantidades reducidas cuya plasticidad es baja.	47	1.26E-3
4	Progresiva: 18+900	A-2-4	GW	Son gravas y arenas gruesas, que contienen limo y arcilla en cantidades reducidas cuya plasticidad es baja.	43	1.13E-03
5	Progresiva: 16+200	A-2-4	GW-GM	Considerados suelos con presencia relevante de limo inorgánico o arena fina contienen baja plasticidad o media.	22	8.62E-04
6	Progresiva: 15+180	A-2-4	SW	Son gravas y arenas gruesas, que contienen limo y arcilla en cantidades reducidas cuya plasticidad es baja.	48	1.05E-03
7	Progresiva: 13+331	A-6	CL	Arcilla inorgánica de baja plasticidad.	5	9.05E-05
8	Progresiva: 12+900	A-2-6	GW	suelo con alto contenido de material grueso, contienen limo y arcilla en cantidades reducidas cuya plasticidad es baja.	32	1.02E-03
9	Progresiva: 12+280	A-2-6	GW-GM	Son gravas y arenas que contienen limo arcilla en cantidades reducidas, cuya plasticidad es baja.	54	1.03E-03
10	Progresiva: 12+280	A-6	CL	Arcilla inorgánica de baja plasticidad.	9	9.56E-05

Fuente: creación propia

Analizando estos resultados nos podemos dar cuenta que de los 10 pozos 2 pozos tienen un material arcilloso, inorgánicos de baja compresibilidad con CBR regulares.

Pero los otros 8 pozos tienen un material de arenas gruesas y gravas que contienen limo y arcilla en cantidades reducidas con CBR mayores a 20% lo cual nos indica que estas subrasantes fueron mejoradas y que los materiales fueron extraídos y remplazados con otros con un CBR mayor a 10%.

4.8.1 Normas empleadas para la clasificación de los suelos:

- ❖ Granulometría: juego de mallas con tamaño establecido según por las normas ASTM-AASTHO
- ❖ Límite plástico- Límite líquido: El equipo para realizar de acuerdo con la norma ASTM D4318
- ❖ Compactación: Proctor Standard AASTHO T-99 y T-180
- ❖ Permeabilidad: ASTM 2434
- ❖ CBR: “Relación de soporte” y está normado con el número ASTM D 1883-73.

4.9.- Evaluación de las fallas por drenaje interno del tramo TÚNEL FALDA LA QUEÑUA CRUCE-SAN LORENZO.-

Es importante conocer el concepto de drenaje interno en una carretera tal como se está demostrando que existe por fallas de drenaje interno cuando no se hacen ensayos en el punto de extracción de la muestra de suelo.

Después de haber realizado la inspección visual se encontraron diferentes fallas como fisuras longitudinales, transversales, bloques, piel de cocodrilo, deformaciones como abultamiento, hundimiento, pérdida superficial, separación de berma y calzada. Todas estas fallas no son exclusivas del problema del drenaje interno, se comprobó que el drenaje interno cuando no es tomado en cuenta en la carretera va deteriorando la estructura y se va presentando deformación, hundimiento. Se

podría hacer más ensayos al drenaje interno pero se requiere de equipos sofisticados y el costo es muy elevado, lo único que hemos hecho es hacer ensayos de respuesta ante la presencia de agua cual es la respuesta a esos dos ensayos son la permeabilidad y el CBR ante una hipótesis que se ha manejado que ante presencia de agua va a bajar la permeabilidad o va a subir la permeabilidad sí existe más drenaje interno entonces existirá menos fallas prematuras asiendo, que el agua no ingrese a la estructura de la carretera.

Un buen drenaje ocurre en los materiales granulares y un mal drenaje ocurre en los materiales finos, pero no es una cosa nueva haber encontrado valores de permeabilidad bajos si o si tenía que estar entre esos valores bajos de permeabilidad, porque el material era arcilla inorgánica de baja plasticidad, pero esto no es suficiente para confirmar que esta permeabilidad ha sido el problema, lo que pasado es que el material no es permeable, ha mantenido el agua en esa capa y se ha ido saturando y al encontrar saturación debido a una carga esta capa saturada por el agua ha buscado salidas y como consecuencia de esta acción se ha producido deformaciones y al deformarse ha generado fisuramiento múltiple en la superficie.

Como antecedente en el tramo de estudio no había subdren en algunos tramos, en esos sectores se produjeron los problemas por drenaje interno donde las cunetas estaban sin revestir lo cual permitía el ingreso de agua en el interior de la estructura donde la subrasante ya había sido mejorada con un material granular bien graduado donde su permeabilidad es buena y tiene la facilidad de escurrimiento en el subsuelo, el agua satura algunos materiales produciendo deformación, movimiento de placas y cambio de volúmenes.

Una vez evaluada visualmente y catalogada se volvió a ir después de dos mes y se volvió a encontrar nuevas fisuras esto no puede pasar porque la carretera puede recibir cargas durante 20 años y no puede ser por fatigas menores; las fisuras longitudinales y transversales se transformaron en piel de cocodrilo las causas de

estos deterioros son por la consecuencia del agua en su interior y muy drenaje interno.

Los resultados obtenidos en base a mis ensayos podría hacer un comportamiento de cómo se está comportando el interior del suelo pero hay otros ensayos geofísicos los cual son muy caros y sofisticados.

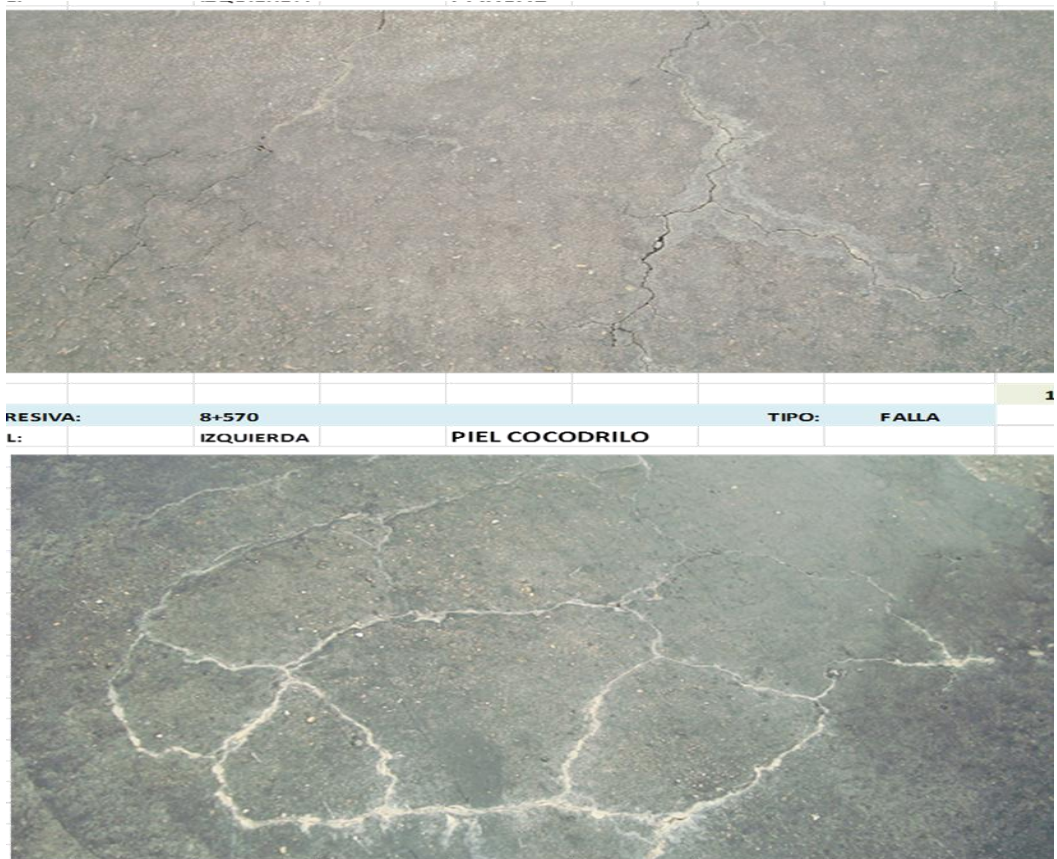
Tabla 4.9.1 Resultados de estudio de suelos

Pozos	progresivas	Clasificación de suelos			CBR 100%	Coeficiente de permeabili- dad K
		AASHTO	SUCS			
1	Progresiva: 23+320	A-2-4	GW	suelo con alto contenido de material grueso, contienen limo y arcilla en cantidades reducidas cuya plasticidad es baja.	30	1.16E-03
2	Progresiva: 22+110	A-2-6	GW	suelo con alto contenido de material grueso, contienen limo y arcilla en cantidades reducidas cuya plasticidad es baja.	41	1.03E-03
3	Progresiva: 19+960	A-2-4	SW	Son gravas y arenas gruesas, que contienen limo y arcilla en cantidades reducidas cuya plasticidad es baja.	47	1.26E-3
4	Progresiva: 18+900	A-2-4	GW	Son gravas y arenas gruesas, que contienen limo y arcilla en cantidades reducidas cuya plasticidad es baja.	43	1.13E-03
5	Progresiva: 16+200	A-2-4	GW-GM	Considerados suelos con presencia relevante de limo inorgánico o arena fina contienen baja plasticidad o media.	22	8.62E-04
6	Progresiva: 15+180	A-2-4	SW	Son gravas y arenas gruesas, que contienen limo y arcilla en cantidades reducidas cuya plasticidad es baja.	48	1.05E-03
7	Progresiva: 13+331	A-6	CL	Arcilla inorgánica de baja plasticidad.	5	9.05E-05
8	Progresiva: 12+900	A-2-6	GW	suelo con alto contenido de material grueso, contienen limo y arcilla en cantidades reducidas cuya plasticidad es baja.	32	1.02E-03
9	Progresiva: 12+280	A-2-6	GW-GM	Son gravas y arenas que contienen limo arcilla en cantidades reducidas, cuya plasticidad es baja.	54	1.03E-03
10	Progresiva: 12+280	A-6	CL	Arcilla inorgánica de baja plasticidad.	9	9.56E-05

Fuente: creación propia

Una revisión bibliografía extensa de estos problemas que provocan deterioros prematuros nos dan muchos conceptos básicos cuando se están ejecutando la carretera pero que por motivos de costos obvian el diseño de estas obras caso que se vio en el tramo Túnel Falda de la Queñua-Cruce San Lorenzo, en este tramo hay mucha humedad, precipitación que se puede decir que es un tramo que trabaja en condiciones atmosféricas desfavorables, entonces es necesario que haya subdrenes longitudinales, transversales, mantos drenantes, trincheras, zanjas, subdrenes de penetración etc.

Foto 4.9.1 fisuras (transversal y piel de cocodrilo)



Fuente: creacion propia

El incremento de la humedad en los materiales que constituyen las capas del firme y la plataforma de la carretera, lleva generalmente asociado a una disminución de su capacidad de soporte y puede dar lugar a fenómenos físico-químicos que modifiquen su estructura y comportamiento de modo perjudicial, tales como erosión, meteorización, disolución, expansión, colapso en el tramo de estudio.

Para tratar de evitar estos problemas, se proyectarán elementos o sistemas específicos de drenaje subterráneo, partiendo de los siguientes criterios básicos:

- ❖ Se debe evitar la penetración de agua superficial por infiltración a través de calzada, bermas, medianas y elementos singulares en su caso, para impedir que aumente la humedad de las capas del firme, especialmente de las no tratadas.

4.10.- Alternativas de solución

Como propuesta para la solución vamos a dar tres alternativas de solución a los dos problemas críticos que encontramos en el tramo túnel falda de la Queñua-Cruce San Lorenzo pero además a los ocho restantes, también vamos a proponer soluciones o alternativas que garantizarán una mayor vida útil:

4.10.1.- Solución de los puntos más críticos:

4.10.1.1.-Primer punto crítico con progresiva: Progresiva: 13+331

- ❖ Como solución a estos dos problemas que encontramos en la carretera Falda la Queñua-Cruce San Lorenzo vamos a dar tres alternativas de solución donde tomaremos las tres estaciones más cercanas, el área de aporte en cada punto, pendiente, el tipo de suelo, la superficie del asfalto o capa de rodadura y permeabilidad del suelo.

Primera alternativa solución:

- ❖ Drenes longitudinales

Segunda alternativa solución:

- ❖ Manto drenante.

Tercera alternativa de solución.

- ❖ Zanja transversal.

DISEÑO DEL PRIMER PUNTO CRÍTICO EN LA PROGRESIVA: 13+331

4.10.1.2.-Segundo punto crítico con progresiva: Progresiva: 11+040

- ❖ Como solución a estos dos problemas que encontramos en la carretera Falda la Queñua-Cruce San Lorenzo vamos a dar tres alternativas de solución donde tomaremos las tres estaciones más cercanas, el área de aporte en cada punto, pendiente, el tipo de suelo, la superficie del asfalto o capa de rodadura, permeabilidad del suelo.

Primera alternativa solución:

- ❖ Drenes longitudinales

Segunda alternativa solución:

- ❖ Manto drenante.

Tercera alternativa de solución.

- ❖ Zanja transversal.

**DISEÑO DEL SEGUNDO PUNTO CRÍTICO
EN LA PROGRESIVA: 11+040**

4.10.1.3.- Una alternativa para los ocho puntos restantes donde hubieron fallas prematuras pero que no se solucionaron.-

Al ver cómo influyen estos diseños de drenajes en una carretera de gran magnitud donde el problema nace por la influencia del agua ya sea de forma superficial como de forma subterránea, si la estructura está bien diseñada geométricamente y estructural, pero que no tomar en cuenta los drenajes subterráneos trae como consecuencia deterioros prematuros del agua como se pudo observar en el análisis visual general en todo el tramo FALDA LA QUEÑUA CRUCE SAN LORENZO y luego del análisis de suelos en esta parte hicimos el estudio clasificándolos según la AASTHO y SUCS para ver qué tipo de suelo está en su interior y ver cómo se comporta en condiciones atmosféricas inestables. En todo el tramo a pesar que se mejoró la subrasante aunque no de todo el tramo sino donde había fallas más notables, pero que a pesar de la búsqueda de estos puntos encontramos lo que habíamos supuesto; unos dos puntos donde se nota la mala calidad de este suelo. Cuando hicimos el análisis suelos aclaramos nuestras dudas, una de ellas que si un suelo es pésimo, arcilloso, limo, arena fina, de mal graduación; ahí es donde el agua influye pero al cien por ciento; porque cuando el agua ingresa en el material se expande, se hincha provocando un inestabilidad a la estructura haciéndola trabajar a su máxima capacidad que por influencia de agua y carga dinámica de los vehículos hace que las partículas se muevan entre sí y comiencen a notarse las fallas, como fisura longitudinal, transversal, piel de cocodrilo, desgastes, ondulaciones, deformaciones y otras fallas. Entonces una alternativa importante para toda la carretera FALDA LA QUEÑUA-CRUCE SAN LORENZO es colocar drenes longitudinales con un filtro bien graduado; estos nos ayudarán a intersectar las aguas de los costados o pies del talud y aguas subterráneas, estos drenes trabajarán de forma que ayudarán a mejorar el drenaje superficial, subterráneo y sobre todo aumentará la vida útil de la carretera para lo que fue diseñada.

Una alternativa para toda la carretera
FALDA DE LA QUEÑUA CRUCE SAN
LORENZO

4.10.-Limitantes del proyecto

Una vez realizado el análisis de evaluación general al todo el tramo TUNEL FALDA DE LA QUEÑUA-CRUCE SAN LORENZO y luego del estudio de suelos en laboratorio y el diseño de los drenes, podemos llegar a la siguiente limitación:

- ❖ La limitante del proyecto de investigación: **Análisis de fallas prematuras por influencia de drenaje interno aplicado al tramo TUNEL FALDA DE LA QUEÑUA-CRUCE SAN LORENZO**, es el conocimiento amplio del drenaje superficial y subterráneo para lo que se hizo una extensiva revisión bibliográfica de las fallas generales de las carreteras, el drenaje en las carreteras en general, la influencia del agua en las carreteras, los criterios de cómo actúa el agua subterránea en la estructura de la carretera, el caudal subterráneo y diseño de drenajes subterráneos. Pero el alcance de nuestro tema es una evaluación en campo y después en laboratorio con una hipótesis que se manejará y que ante la presencia de agua bajará o subirá la permeabilidad y ante presencia de agua va a bajar el CBR, a consecuencia del tema de las fallas prematuras por influencia del agua subterránea en la estructura de la carretera.
- ❖ En el tramo de estudio existen muchas fallas debido al drenaje interno en la estructura, pero estos estudios como sondeos, perforaciones tienen un alto costo lo cual limita al estudiante en el tema de investigación.
- ❖ Un estudio mucho más profundo en el tema de infiltración, es el uso de triaxial, consolidación son equipos que determinan también la infiltración interna en un extracto, pero el alcance y el tiempo de estudio impiden continuar su estudio, propuesta que dejamos para otros estudiantes que lleguen a utilizar estos equipos.

CALCULOS Y RESULTADOS PROGRESIVA 11+40

4.1.1.6.-PRIMERA ALTERNATIVA DE SOLUCION:

MODULO DE DRENAJE.-

Es muy complicado, prácticamente imposible, conocer con exactitud el caudal que en un momento dado fluye hacia los drenes en un sistema de drenaje interno. Por eso es recomendable en estos casos adoptar caudales de diseño un poco excedidos a los caudales normalmente obtenidos con ayuda de fórmulas.

Se propone entonces adoptar como caudales de diseño, aquel que finalmente es recibido por las tuberías de drenaje a la suma de dos caudales el proveniente de la escorrentía superficial que no alcanza a ser evacuada por la red de drenaje externo, y el segundo proveniente de un acuífero o del propio suelo saturado, ósea, en esta forma el módulo de drenaje quedara:

$$Dr = q + q_o \left(\frac{lt}{seg} * ml \right)$$

fuentes:

drenaje vial superficial y
subterráneo (ing Lemos Rodrigo)

Dr= módulo de drenaje. Se puede dar en forma de lámina de agua o en forma de caudal.

q= Caudal de aportado por la escorrentía superficial.

qo= Caudal de aportado por un acuífero o por el suelo saturado.

1.-CALCULO DEL CAUDAL (q):

$$q = 0.00028 * (1 - C) * i * (B * 1 + S) * \frac{b}{B}$$

Cp=	coeficiente de escorrentía de la superficie aportada	0,382206	adm
i=	Intensidad de la lluvia de diseño (mm)	161,68	mm/hrs
B=	Ancho de la calzada(m)	7,2	m
b=	Ancho de la berma (m)	0,85	m
S=	Superficie aportada (A=b*1ml)	20	m2
b=	Derecho de vía (15-50 m)		

$$Cp = \frac{C_1 * A_1 + C_2 * A_2}{A_1 + A_2}$$

C1=	0,36	Coef. De vegetación (cultivo de Bosques)Tabla 3.4.7.3
C2=	0,75	Coef. De Pavimento Tabla 3.4.7.4

A1=	2385	Área de aporte o cauce m2	144
A2=	144	Área de calzada por ml	

q= **0,089807595** lt/seg*ml

2.-CALCULO DEL CAUDAL (qo):

$$q_o = \frac{\Delta F * B * 1m * (A - C)}{100 * S * 1 * t * f}$$

A=	Humedad del suelo a nivel saturado	
c=	Capacidad de campo del suelo	
(A-c)=	8%-20%	14 %
S=	Distancia entre los drenes en casi de tuberias paralelas (m)	7,2 m
ΔF=	Superficie a drenar entre los drenes (m2)	1,2 m2
ΔF=	Tambien puede ser la superficie de influencia de un dren en este caso S habria que tomar en cuenta este concepto.	
t=	Reprenta un dia de drenaje.	86400 seg
f=	Factor de correctivo del tiempo de drenaje (fraccion de un dia)	0,1 adm

la formula queda:

$$q_o = \frac{\Delta F * B * 1m * (A - C)}{8640 * S}$$

qo= 0,10080 lt/seg*ml

calculo del caudal de diseño:

$$Dr = q + q_o \left(\frac{lt}{seg} * ml \right)$$

Tabla 4.1.1.6.1 caudal modulo de drenaje

3.-RESUMEN:

Tramo	lonngitud(m)	Caudal por tramo			Caudal acum (m3/seg)	Caudal unitario (m3/s*m)	DIAMETROS	
		q(lt/s*m)	qo (lt/s*m)	Dr(m3/s)			(Pulg)	(m)
13+331	40	0,089807595	0,10080	0,007624304	0,007624	0,00019	4	0,102

Fuente elaboracion propia

ESTIMACION DEL CAUDAL DE DISEÑO:

los posibles caudales de aporte que conforman el caudal final, los caudales pueden afectar la estructura de un pavimento son:

A) CAUDAL POR INFILTRACION:

el agua de lluvia cae directamente en la carpeta del pavimento. Una parte de este inevitablemente se infiltra en la estructura del pavimento debido a que las carpetas de pavimento debido a que las carpetas de pavimento son tan rígidas como flexibles, no son impermeables en un 100% , por lo tanto el caudal de infiltración se calcula de la siguiente forma.

$$Q_{inf} = P * B * L * F * Fr$$

$$Q_{inf} = 0,00024 \text{ m}^3/\text{seg}$$

P=	precipitación máxima horaria de frecuencia, anual registrada en la zona de proyecto.	9,87E-06 m/s
	Dato que se puede extraer de las curvas anexas a este documento, las cuales son las de intensidad-duración-frecuencia para las diferentes zonas del territorio. Usualmente se toma el intervalo entre 60-120 minutos y se elige la curva de 2 años como periodo de retorno.	
	Fuente: drenaje vial superficial y subterráneo (ing Lemos Rodrigo)	
B=	Para subdrenes longitudinales, B es la semibanca de la vía (ancho de la vía/2). Para el caso de subdrenes transversales, B es la distancia entre subdrenes.	4,5 m
L=	Longitud del tramo de drenaje.	40 m
Fi=	Factor de infiltración (ver tabla 3.4.8.1)	0,4 adm
FR=	Factor de retención de la base, refleja el hecho de las bases. dada su permeabilidad, entregan lentamente el agua al subdren. (tabla 3.4.8.2)	0,33 adm

B) CAUDAL POR ABATIMIENTO DEL NIVEL FREATICO:

En sitios donde el nivel freático o el agua proveniente a presión alcancen una altura tal, que supere el nivel de subrasante afectado a la estructura del pavimento, es necesario abatir este nivel de manera que no genere inconvenientes por exceso de aguas. El cálculo de este caudal se basa en los siguientes parámetros:

$$Q_{NF} = K * i * A_a$$

$$I = \frac{N_d - N_f}{B}$$

$$A_a = (N_d - N_f) * L$$

k=	Es el coef. De permeabilidad del suelo (prog11+40)	9,56E-05 m/s
i=	Es el gradiente hidráulico.	
Nd=	Cota inferior del subdren (ver figura 3.4.7.1)	1,5 m
Nf=	cota superior del nivel freático (ver figura 3.4.7.1)	1,02 m
Aa=	Es el área efectiva para el caso de abatimiento del nivel freático.	
B=	para subdrenes longitudinales, B es la semibanca de la vía. Para el caso de subdrenes transversales, B es la distancia entre subdrenes	4,5 m
L=	Longitud del tramo de drenaje.	40 m

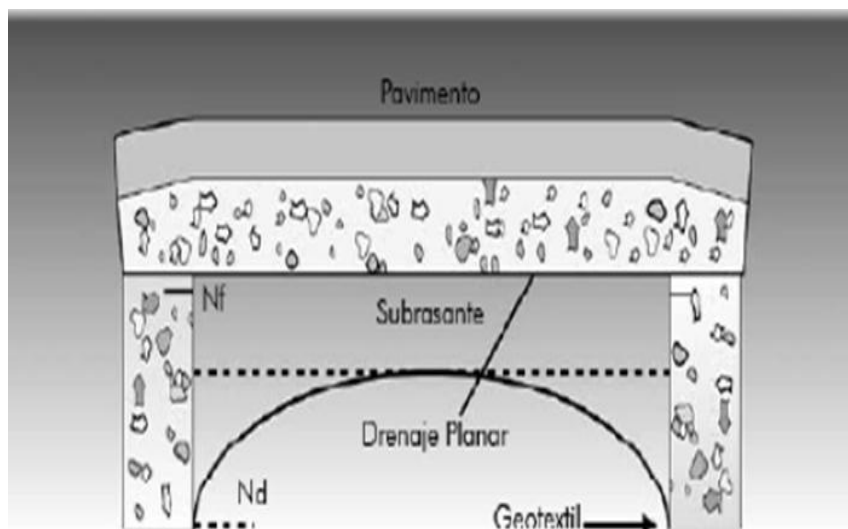
Una vez estimado los caudales de aporte al sistema se obtiene el caudales de diseño.

$$\begin{array}{lcl}
 \text{QNF} = & 0,00020 & \text{m}^3/\text{seg} \\
 \text{I} = & 0,106667 & \\
 \text{Aa} = & 19,2 & \\
 \end{array}
 \quad
 \boxed{Q_T = Q_{inf} + Q_{NF} =}
 \quad
 0,0004326 \text{ m}^3/\text{seg}$$

Tabla 4.1.1.6.2 caudal de diseño

Tramo	lonngitud(m)	Caudal por tramo			Caudal acum (m3/seg)
		Qinf (m3/seg)	QNF (m3/seg)	QT (m3/seg)	
13+331	40	0,00024	0,0001957	0,00043	0,00043

Figura 3.4.7.1 sección transversal de sistemas de subdrenes laterales en una vía



Fuente Drenaje superficial y subterráneo (Ing. Lemos Rodrigo)

DIAMETRO DE LA TUBERIA DE DRENAJE:

DISEÑO DE LA TUBERIA.-

Formila de Manning.-

$$Q = V * A$$

Q= Caudal en metros cubicos por segundo (m3/seg)
V= Velocidad del flujo (m/seg)
A= Area de la seccion transversal (m2)

Formula de Manning para calcular velocidad de caudal de canales abiertos y drenaje

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

D= 0,1 m Norma Bolivia 688 v= 1,13914047 m/seg
V= Velocidad de descarga (m/seg)
n= coeficiente de rugosidad (tabla 3.4.2.3) $0,6 \frac{m}{seg} < v < 4 \frac{m}{seg}$ OK
S= Pendiente del cauce.
R= Radio hidraulico (m) Norma Bolivia 688

$$R = \frac{A}{P}$$

A= Area de la seccion del cauce (m2)
P= perimetro mojado (m)

$$Q = \frac{1}{n} * A * R^{2/3} * S^{1/2}$$

Formula de Manning
Fuente Hidráulica de canales (Máximo Villon)

$$D = \sqrt[8]{\frac{10.0793684 * Q * n}{\pi * \sqrt{S}}}$$

Q= 0,00762 m3/seg
n= 0,013 tabla 3.4.2.3
S= 0,03 m/m

Manual de hidrología y drenaje (ABC)

D= 0,094178092 m diametro minimo 4"
D= 3,707798888 plg

Diametro comercial= 4 pulg diametro comercial

DISEÑO DE LOS ORIFICIOS DE LA TUBERIA COLECTORA:

CALCULO DEL DIAMETRO DE LA PERFORACION.-

Para el caso de la tubería en la mayoría de los subdrenes con material filtro se utiliza un tubo colector perforado que se coloca en parte inferior de la zanja embebido en el material filtrante. En cuanto al tamaño de los orificios del tubo recolector, el U.S Army Corps of Engineers (1953), recomienda la siguiente relación entre el tamaño del filtro y el ancho del orificio.

tamaño de orificios de la tubería colectora

Para huecos circulares
Manual de hidrología y drenaje (ABC)

$$\frac{D_{85 \text{ filtro}}}{\text{Diametro}} > 1$$

donde:

D85= Tamaño tal, que el 85% en peso del suelo, sea igual o menor dato de la curva granulométrica del material de filtro (Grava)

asumiendo **D85=** 28,38 mm Filtro
D= 10 mm

$$\frac{D_{85 \text{ filtro}}}{\text{Diametro}} > 1$$

2,838 > 1 ok

CALCULO DEL NUMERO DE ORIFICIOS TRANSVERSALES Y LONGITUDINALES PARA LA TUBERIA COLECTORA

CALCULO DEL NUMERO Y DIAMETRO DE LAS PERFORACIONES AREA ABIERTA.-

Area abierta por unidad de longitud del conducto (m²/m).

$$A = \frac{Q}{V_e * C_c}$$

El Programa Nacional de Riego PRONAR

donde:

A= 0,0046 m²/m
Q= 0,00019 m³/seg*m
Vc= 0,0750 m/seg
Cd= 0,5500 adm

A= Area abierta por unidad de longitud del conducto (m²/m)
Q= Caudal unitario de diseño por unidad de longitud (m³/seg*m)
Ve= Velocidad de entrada (m/seg)

$2.5 \frac{cm}{seg} \leq Vc \leq 10 \frac{cm}{seg}$ Adoptamos lo recomendad 0,075 PRONAR

Cc= Coeficiente de contraccion recomendado: 0,55

AREA DE UNA PERFORACION.-

Si: $D=$ 10 mm
 $A=$ 0,0000785 m²

$$A = \frac{\pi * D^2}{4}$$

NUMERO DE PERFORACIONES.-

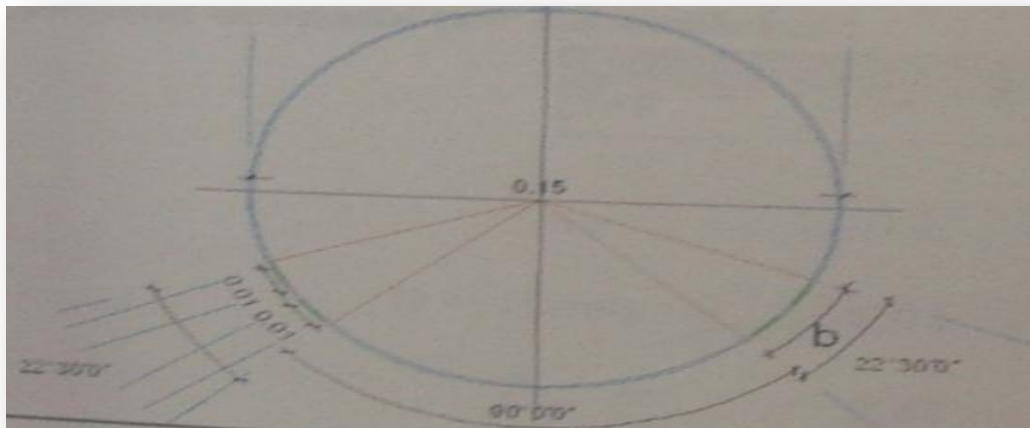
$$N_{perforaciones} = \frac{Area\ abierta}{Area\ de\ una\ perforacion}$$

A abierta= 0,0046 m²/m

A perforada= 0,0000785 m²

$N_{perforaciones}= 59$ perforacion/ml

DISTRIBUCION DE LAS PERFORACIONES.-



N de oroficios en total= 4 unidades

longitud de la secciones=

$$b = \frac{\pi}{180} * R * \alpha$$

R= 0,075 m

$\alpha= 22^{\circ}30''$

$b= 0,03$ mm

LONGITUD OCUPADA POR LOS OROFICIOS TRANSVERSALES.-

$$L_{ORF} = N_{ORF} * D_{ORF}$$

N de oficios en un sector b= 2 unidad

D de oficios = 0,01 mm

$L_{orf}= 0,02$ mm

ESPACIAMIENTO A LO LARGO DE LA SECCION PERIMETRAL "b"

$$e_T = \frac{b - L_{ORF}}{N_{ORF}}$$

b= 0,03 m
Lorf= 0,02 m

N de oroficios en un sector "b" 2 unidad

et= 0,005 m

et= 0,5 cm

ESPACIAMIENTO LONGITUDINAL:

$$\# \text{filas perforaciones} = \frac{N_{\text{perforaciones}}}{N_{\text{orf. en total}}}$$

N perf= 59 perf/ml
N de oroficios en total= 4 transversal

filas perf= 14,70843

REDONDEAR

filas perf= 15,0 Perf/ml

LONGITUD OCUPADA POR LOS OROFICIOS: Para un metro de tubería

$$L_T = 1ml - \#_{perf} * D_{perf}$$

filas perf= 15,0 Perf/ml
D= 0,01 m

LT= 0,85 m

ESPACIAMIENTO:

$$e_L = \frac{L_T}{\#_{PERF} - 1}$$

LT= 0,85 m
perf= 15,0 unidad

el= 0,06 m

eL= 6,07 cm

PORCENTAJE DE AREA ABIERTA:

Se a establecido que el % para tubería PVC, el Area Abierta Maxima este comprendida.

$$3 < \% < 5$$

AREA DE UN 1ml DE TUBERIA:

$$A_{1ml} = \pi * D_{Tub} * 1ml$$

D= 0,15 m

A 1ml= 0,4712 m2

AREA ABIERTA:

$$Area\ Abierta = N_{perf} * \#_{perf} * \frac{\pi D^2}{4}$$

N de oroficios en total= 4 transversales
perf= 15,0 unidades
D orificio= 0,01 m

Area abierta= 0,0047 m2

PORCENTAJE:

$$\% = \frac{Area\ abierta}{A_{1ml}} * 100$$

A 1ml= 0,4712 m2

Area abierta= 0,0047 m2

%= 3,004 OK

GEOTEXTIL.-

DETERMINACION Y SELECCION DE LA TELA DE GEOTEXTIL.-

desde el punto de vista de filtración se utiliza los siguientes criterios de acuerdo al Federal Highway Association de los Estados Unidos.

a) CRITERIO DE LA PERMEABILIDAD DEL SUELO.-

Este criterio asegura que las aberturas sean lo suficientemente pequeñas para evitar la migración del suelo hacia el medio drenante o hacia el medio drenante o hacia donde se dirige el flujo. Un geotextil debe cumplir con la siguiente condición:

$$TAA < B * D_{85} \quad \text{Manual de hidrología y drenaje (ABC)}$$

Donde:

TAA= Tamaño de abertura aparente, dato suministrado por el fabricante correspondiente a la abertura de los espacios libres(en milímetros).

D85= Tamaño de partículas(en milímetros) que corresponde al 85% del suelo que pasa el ser tamizado. Este dato se obtiene de la curva granulométrica del suelo en consideración.

B= Coeficiente que varía entre 1y3 dependiendo del tipo de suelo a filtrar, de las condiciones de flujo y del tipo de geotextil.

En función a la granulometría de la prog 11+0.40 se tiene un suelo fino clasificado: arcilla uinorganica de baja plasticidad.

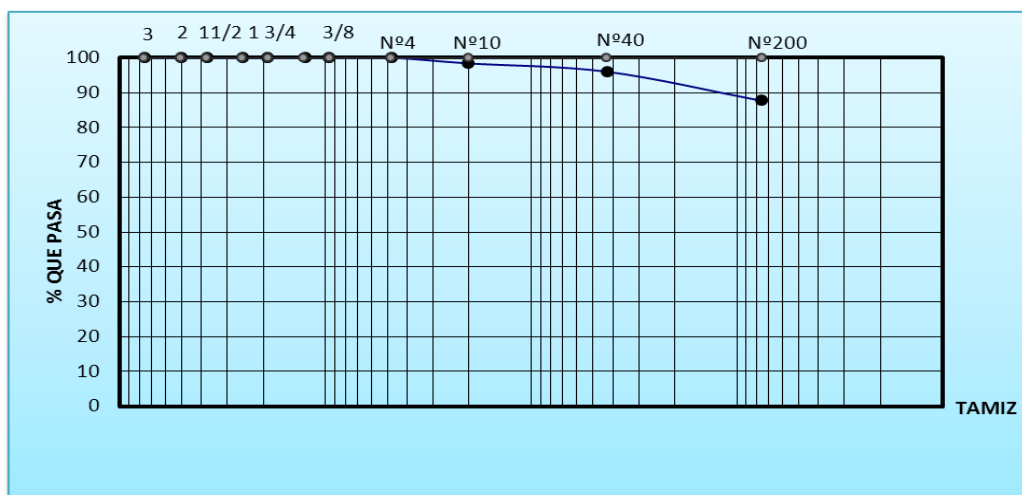
Pozos	progresivas	Clasificación de suelos			CBR 100%	Coeficiente de permeabilidad
		AASHTO	SUCS			
10	Progresiva: 12+280	A-6	CL	Arcilla inorgánica de baja plasticidad.	9	9.56E-05

N°200= 87,67 % que pasa la malla N°200

N°200= 0,075

como se observa la mayor parte de el suelo es fino de un tamaño de partículas 0.075mm, se coloca un geotextil en función a este tamaño de partícula.

ANEXO 10



Fuente: Creación propia

para suelo finos(mas del 50% pasa tamiz N°200)B es funcion tipo de geotextil.

$$TAA < B * D_{85}$$

Si:
 $D_{85} = 0,075 \text{ mm}$
 $0.125\text{mm} < 8 * 0.075\text{mm}$

0.125mm	<	0,135	OK
---------	---	-------	----

Según especificaciones Tecnicas (Geosinteticos Pavco) Amanco 2007 se tiene.-

Tabla Geotextil No Tejidos) ver anexo:

tamaño abertura aparente

TAA= 0,125 mm

permeabilidad,.

Kg= 0,36 cm/seg

B) CRITERIO DE PERMEABILIDAD.-

Se debe permitir un adecuado flujo del agua a través del geotextil considerando su habilidad para esto.

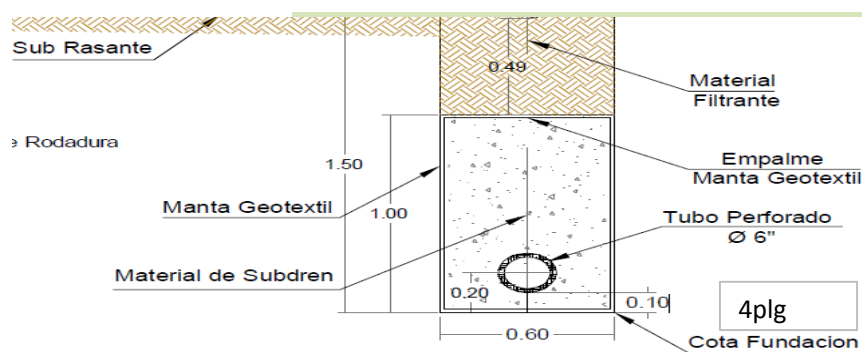
El coeficiente de permeabilidad es la propiedad hidraulica por medio de la cual el geotextil permite un adecuado paso de flujo perpendicular al plano del mismo. Para revisar la permeabilidad del geotextil se debe tener en cuenta lo siguiente:

para condiciones de flujo estable o flujo laminar y suelo no dispersivos.-

Manual de hidrología y drenaje (ABC)

$$K_{geotextil} > K_{suelo}$$

Kg= permeabilidad del geotextil 0,36 cm/seg anexos14
 Ks= permeabilidad del suelo 9,56E-03 cm/seg anexos 11

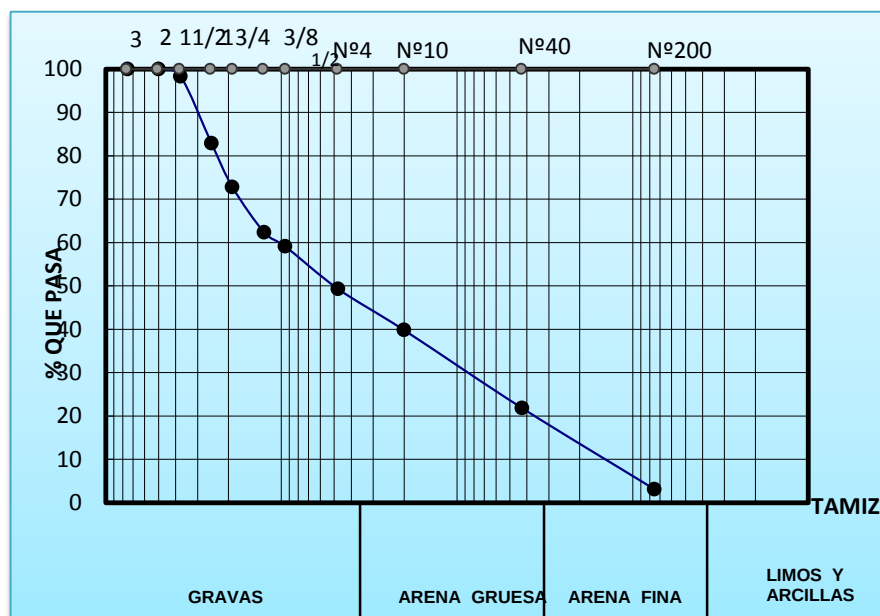


Fuente: Administracion bolivia de carreteras

como filtro encima del tubo colector usamos el material de la cantera:

normas ASTM-AASTHO ANEXO 13

Peso Total (gr.)			5000	A.S.T.M.	
Tamices	Tamaño (mm)	Peso Ret. (gr)	Ret. Acum (gr)	% Ret	% Que Pasa del Total
3"	75	0,00	0,00	0,00	100,00
2"	50	0,00	0,00	0,00	100,00
1 1/2"	37,50	85,00	85,00	1,70	98,30
1"	25,00	770,00	855,00	17,10	82,90
3/4"	19,00	505,00	1360,00	27,20	72,80
1/2"	12,50	525,00	1885,00	37,70	62,30
3/8"	9,50	160,00	2045,00	40,90	59,10
Nº4	4,75	490,00	2535,00	50,70	49,30
Nº10	2,00	475,00	3010,00	60,20	39,80
Nº40	0,425	900,00	3910,00	78,20	21,80
Nº200	0,075	935,00	4845,00	96,90	3,10



Fuente Creacion Propia

D85=	27,38	mm	D15=	0,29	mm
D60=	10,593	mm	D10=	0,173	mm
D50=	5,158	mm			

D 50	1/3 h
D 60	1/3 h
D 85	1/3 h

H=	1,5 m
h=	1,4 m

4.1.1.7.-SEGUNDA ALTERNATIVA DE SOLUCION: MANTO DRENANTE.

En este diseño se utilizara la granulometría del cantera donde hicimos granulometría, este método es más constructivo y tener mucha experiencia, los datos más relevantes son la pendiente de que tendrá estos mantos su longitud, la dirección del flujo estará en función a la pendiente y se evacuara al dren longitudinal.

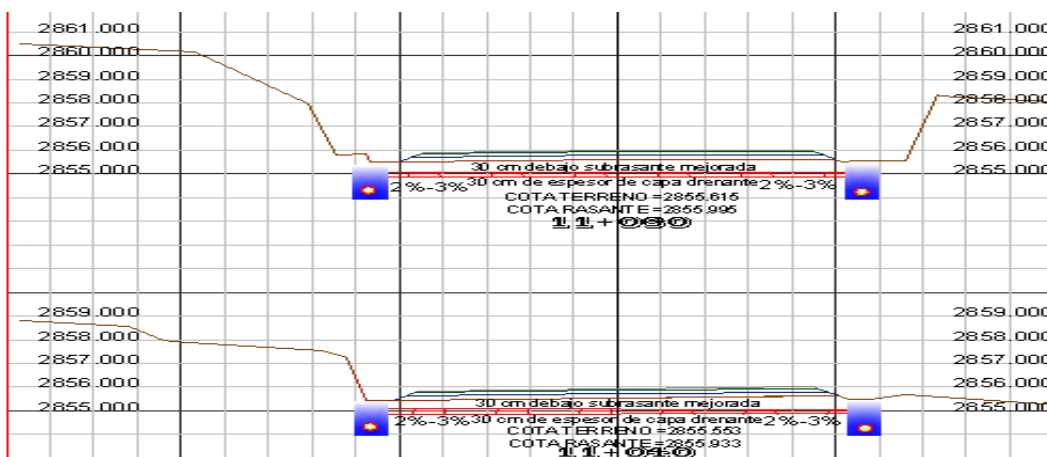
Es una capa que se coloca bajo la superficie pavimentada constituida por un material filtrante de manera que con la ayuda de una pendiente transversal adecuada y unas correctas instalaciones de salida pueda drenar el agua que se infiltre desde la superficie del pavimento, que provenga de las bermas o que ascienda por subpresión desde los niveles inferiores.

Esta capa puede ser granular o tratada con ligantes hidrocarbonados o con cemento, se puede integrar a la estructura del pavimento.

- 1.- Una capa adicional sobre la subrasante, sin función estructural o como parte de la

Las diferencias de humedad en el suelo bajo la calzada y bajo las bermas facilitan los movimientos capilares y, al aumentar el contenido de humedad del suelo de la subrasante bajo la calzada, disminuyen su capacidad resistente. Para evitar esta disminución, las fisuraciones del suelo y los asentamientos diferenciales que con dicho aumento de humedad pueden producirse, deben utilizarse la colocación de capas drenantes sobre la subrasante para romper el ascensocapilar.

En el proyecto en el corte ubicado entre las progresivas 13+331 a 13+409 se ha considerado la posibilidad de colocar una capa drenante, para evitar que el agua proveniente de la ascensión capilar debilite las capas subyacentes y ocasione asentamientos que permitan deformaciones en el pavimento.



ANEXO 17 PLANO 11+040

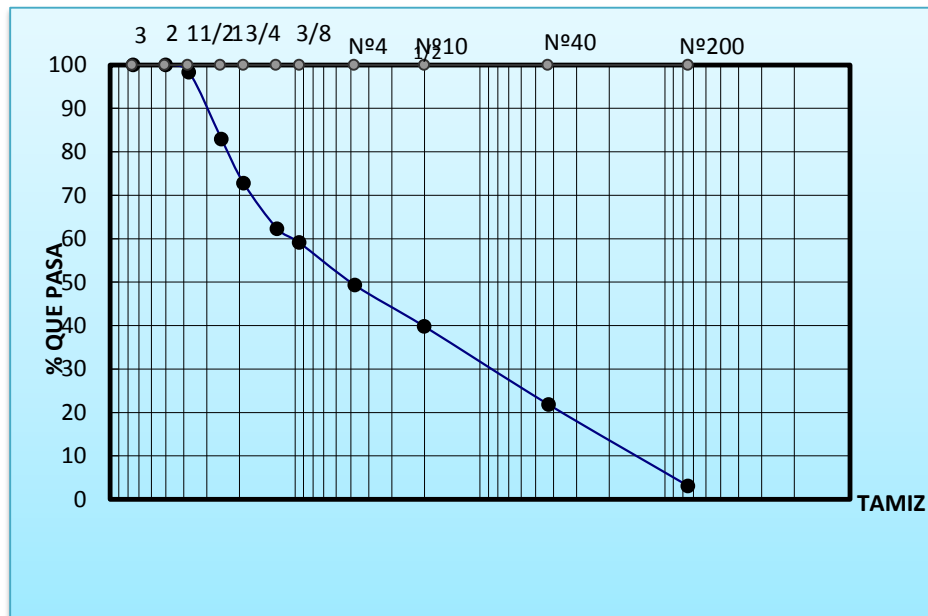
Espesor del manto=	30	cm	Manual de hidrología y drenaje (ABC)
longitud del manto=	38	m	o tambien puede ser el intermedio
granulometria=	19		2"-3/4"
tendra el mismo geotextil que el subdren	T 3000		según la NB
pendiente entre=	2%-3%		
los geotextiles iran por debajo del manto drenante y por encima del manto para que asi los finos no ingresen al manto y no lleguen a colmatar, el flujo de agua ya sea por capilaridad o por infiltracion se direccionara con la pendiente hacia los subdrenes.			

4.1.1.8.-TERCERA ALTERNATIVA DE SOLUCION: SECCION TRANSVERSAL

Esta seccion rectangular con dimensione muy conservadora estara al final de cada falla, estara rellena de con un material filtro con pendiente que permita el escurrimiento de agua subterranea se evacuada al dren longitudinal.

Material filtro:

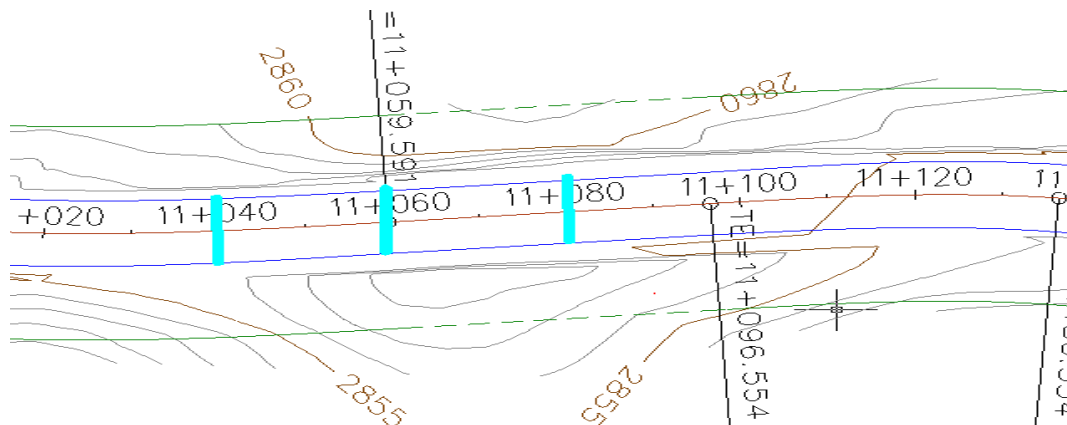
granulometria Canto del rio Gualdalquivir



Fuente Creacion Propia

D85=	27,38	D15=	0,29	mm
D60=	10,593	D10=	0,173	mm
D50=	5,158			

Vista en planta anexo 17 progresiva 11+060

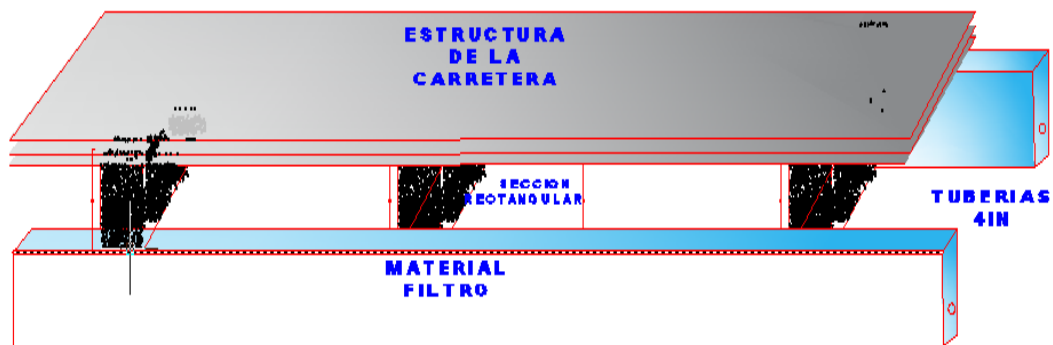


Fuente: Creacion propia

Vista de los 5 secciones transversales con la siguiente dimensiones:

base= 0,5 m
 alto= 0,5 m
 ancho= 7,8 m
 pendinete= 2 a 3 %

$1/3 \cdot h$	D50
$1/3 \cdot h$	D60
$1/3 \cdot h$	D80



Fuente: Creacion Propia

4.1.1.9.-ELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA.-

En este caso de las tres alternativas para este tipo de problema obtaremos por el manto drenante por que no permitira ascencion por capilaridad y tambien protege de la infiltracion por medio de la estructura de la carretera.

Plano de detalles en el ANEXO 16

CALCULOS Y RESULTADOS PROGRESIVA 13+331

4.1.1.2.PRIMERA ALTERNATIVA DE SOLUCION:

MODULO DE DRENAJE.-

Es muy complicado, prácticamente imposible, conocer con exactitud el caudal que en un momento dado fluye hacia los drenes en un sistema de drenaje interno. Por eso es recomendable en estos casos adoptar caudales de diseño un poco excedidos a los caudales normalmente obtenidos con ayuda de fórmulas.

.Se propone entonces adoptar como caudales de diseño, aquel que finalmente es recibido por las tuberías de drenaje a la suma de dos caudales el proveniente de la escorrentía superficial que no alcanza a ser evacuada por la red de drenaje externo, y el segundo proveniente de un acuífero o del propio suelo saturado, ósea, en esta forma el módulo de drenaje quedara:

$$Dr = q + q_o \left(\frac{lt}{seg} * ml \right)$$

fuente:

drenaje vial superficial y
subterráneo (ing Lemos Rodrigo)

Dr= modulo de drenaje.Se puede dar en forma de lamina de agua o en forma de caudal.

q= Caudal de aportado por la escorrentia superficial.

qo= Caudal de aportado por un acuífero o por el suelo saturado.

CALCULO DEL CAUDAL (q):

$$q = 0.00028 * (1 - C) * i * (B * 1 + S) * \frac{b}{B}$$

Cp= coeficiente de escorrentia de la superficie aportada

0,39700441 adm

i= Intensidad de la lluvia de diseño (mm)

161,68 mm/hrs

B= Ancho de la calzada(m)

7,2 m

b= Ancho de la berma (m)

0,85 m

S= Superficie aportada (A=b*1ml)

20 m2

b= Derecho de via (15-50 m)

$$Cp = \frac{C_1 * A_1 + C_2 * A_2}{A_1 + A_2}$$

C1= 0,36 Coef. De vegetacion (cultivo de Bosques)Tabla 3.4.7.3

C2= 0,75 Coef. De Pavimento Tabla 3.4.7.4

A1= 2671 Area de aporte o cauce m2

A2= 280 Area de calzada por ml

q= 0,087656435 lt/seg*ml

CALCULO DEL CAUDAL (qo):

$$q_o = \frac{\Delta F * B * 1m * (A - C)}{100 * S * 1 * t * f}$$

A=	Humedad del suelo a nivel saturado		
c=	Capacidad de campo del suelo		
(A-c)=	8%-20%	14	%
S=	Distancia entre los drenes en casi de tuberias paralelas (m)	7,2	m
ΔF=	Superficie a drenar entre los drenes (m2)	1,2	m2
ΔF=	Tambien puede ser la superficie de influencia de un dren en este caso S habria que tomar en cuenta este concepto.		
t=	Reprenta un dia de drenaje.	86400	seg
f=	Factor de correctivo del tiempo de drenaje (fraccion de un dia)	0,1	adm

la formula queda:

$$q_o = \frac{\Delta F * B * 1m * (A - C)}{8640 * S}$$

qo= 0,10080 lt/seg*ml

calculo del caudal de diseño:

$$Dr = q + q_o \left(\frac{lt}{seg} * ml \right)$$

Tabla 4.1.1.2.1 caudal modulo de drenaje

RESUMEN:

Tramo	lonngitud(m)	Caudal por tramo			Caudal acum (m3/seg)	Caudal unitario (m3/s*m)	DIAMETROS	
		q(lt/s*m)	qo (lt/s*m)	Dr(m3/s)			(Pulg)	(m)
13+331	78	0,087656435	0,10080	0,014699602	0,0147	0,00019	6	0,152

Fuente elaboracion propia

ESTIMACION DEL CAUDAL DE DISEÑO:

los posibles caudales de aporte que conforman el caudal final, los caudales pueden afectar la estructura de un pavimento son:

A) CAUDAL POR INFILTRACION:

El agua de lluvia cae directamente en la carpeta del pavimento. Una parte de este inevitablemente se infiltra en la estructura del pavimento debido a que las carpetas de pavimento debido a que las carpetas de pavimento son tan rígidas como flexibles, no son impermeables en un 100% , por lo tanto el caudal de infiltración se calcula de la siguiente forma.

$$Q_{inf} = P * B * L * F * Fr$$

$$Q_{inf} = 0,00046 \text{ m}^3/\text{seg}$$

P=	precipitacion maxima horaria de frecuencia, anual registrada en la zona de proyecto.	9,87E-06 m/s
	Dato que se puede extraer de las curvas anexas a este documento, las cuales son las de intensidad-duracion-frecuencia para las diferentes zonas del territorio. Usualmente se toma el intervalo entre 60-120 minutos y se escoje la curva de 2 años como periodo como periodo de retorno. drenaje vial superficial y subteraneo (ing Lemos Rodrigo)	
B=	Para subdrenes longitudinales, B es la semibanca de la via (ancho de la via/2).Para el caso de subdrenes transversales, B es la distancia entre subdrenes.	4,5 m
L=	Longitud del tramo de drenaje.	78 m
Fi=	Factor de infiltracion(ver tabla 3.4.7.1)	0,4 adm
FR=	Factor de retencion de la base, refleja el hecho de las bases. dada su permeabilidad, entregan lentamente el agua al subdren.(tabla 3.4.7.2)	0,33 adm

B) CAUDAL POR ABATIMIENTO DEL NIVEL FREATICO:

En sitios donde el nivel freático o el agua proveniente a presión alcancen una altura tal, que supere el nivel de subrasante afectado a la estructura del pavimento, es necesario abatir este nivel de manera que no genere inconvenientes por exceso de aguas. El cálculo de este caudal se basa en los siguientes parámetros:

$$Q_{NF} = K * i * A_a$$

$$I = \frac{N_d - N_f}{B}$$

$$A_a = (N_d - N_f) * L$$

k=	Es el coef. De permeabilidad del suelo (prog13+331) anexos 11	9,05E-06 m/s
i=	Es el gradiente hidraulico.	
Nd=	Cota inferior del subdren (ver figura 3.4.7.1)	1,5 m
Nf=	Cota inferior del subdren (ver figura 3.4.7.1)	1,02 m
Aa=	Es el area efectiva para el caso de abatimiento del nivel freatico.	
B=	para subdrenes longitudinales, B es la semibanca de la via.Par el caso de subdrenes transversales, B es la distancia entre subdrenes	4,5 m
L=	Longitud del tramo de drenaje.	78 m

Una vez estimado los caudales de aporte al sistema se obtiene el caudales de diseño.

QNF= 0,00004 m3/seg

I= 0,1066667

Aa= 37,44

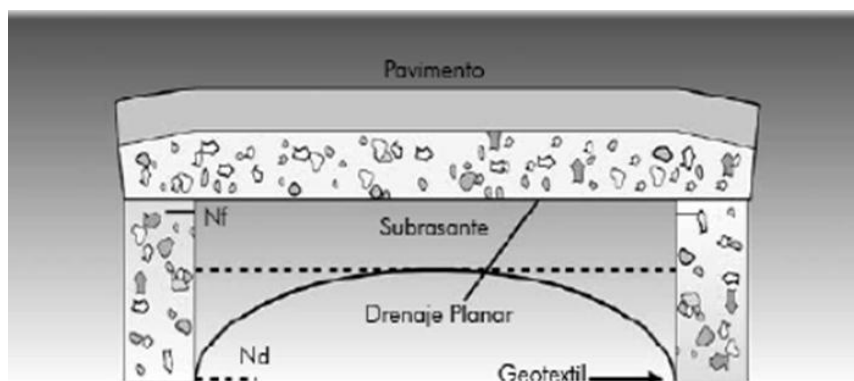
$$Q_T = Q_{inf} + Q_{NF} =$$

0,000498 m3/seg

Tabla 4.1.1.2.2 caudal de diseño

Tramo	lonngitud(m)	Caudal por tramo			Caudal acum (m3/seg)
		Qinf (m3/seg)	QNF (m3/seg)	QT (m3/seg)	
13+331	78	0,00046	0,0000362	0,00050	0,00050

Figura 3.4.7.1 sección transversal de sistemas de subdrenes laterales en una vía



Drenaje superficial y subterráneo (Ing. Lemos Rodrigo)

DIAMETRO DE LA TUBERIA DE DRENAJE:

DISEÑO DE LA TUBERIA.-

Formila de Manning.-

$$Q = V * A$$

Q= Caudal en metros cubicos por segundo (m3/seg)
V= Velocidad del flujo (m/seg)
A= Area de la seccion transversal (m2)

Formula de Manning para calcular velocidad de caudal de canales abiertos y drenaje

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

D= 0,15 m Norma Bolivia 688 v= 1,9270626 m/seg
V= Velocidad de descarga (m/seg)
n= coeficiente de rugosidad (tabla 3.4.2.3) $0.6 \frac{m}{seg} < v < 4 \frac{m}{seg}$ OK
S= Pendiente del cauce.
R= Radio hidraulico (m) Norma Bolivia 688

$$R = \frac{A}{P}$$

A= Area de la seccion del cauce (m2)
P= perimetro mojado (m)

$$Q = \frac{1}{n} * A * R^{2/3} * S^{1/2}$$

Formula de Manning
Fuente Hidráulica de canales (Máximo Villon)

$$D = \sqrt[8]{\left(\frac{10.0793684 * Q * n}{\pi * \sqrt{S}}\right)^3}$$

Q= 0,01470 m3/seg
n= 0,013 tabla 3.4.2.3
S= 0,05 m/m

D= 0,109463105 Manual de hidrología y drenaje (ABC)
D= 4,309571073 plg minimo 4 pulg

Diametro comercial= 6 pulg diametro comercial

DISEÑO DE LOS ORIFICIOS DE LA TUBERIA COLECTORA:

CALCULO DEL DIAMETRO DE LA PERFORACION.-

Para el caso de la tubería en la mayoría de los subdrenes con material filtro se utiliza un tubo colector perforado que se coloca en parte inferior de la zanja embebido en el material filtrante. En cuanto al tamaño de los orificios del tubo recolector, el U.S Army Corps of Engineers (1953), recomienda la siguiente relación entre el tamaño del filtro y el ancho del orificio.

Manual de hidrología y drenaje (ABC)
Para huecos circulares

$$\frac{D_{85 \text{ filtro}}}{\text{Diametro}} > 1$$

donde:

D85= Tamaño tal, que el 85% en peso del suelo, sea igual o menor dato de la curva granulometrica del material de filtro (Grava)

asumiendo **D85=** 28,38 mm Filtro
D= 10 mm

$$\frac{D_{85 \text{ filtro}}}{\text{Diametro}} > 1$$

2,838 > 1 ok

CALCULO DEL NUMERO DE ORIFICIOS TRANSVERSALES Y LONGITUDINALES PARA LA TUBERIA COLECTORA

CALCULO DEL NUMERO Y DIAMETRO DE LAS PERFORACIONES AREA ABIERTA.-

Area abierta por unidad de longitud del conducto (m²/m).

$$A = \frac{Q}{V_e * C_c}$$

El Programa Nacional de Riego PRONAR

donde:

A= 0,0046 m²/m
Q= 0,00019 m³/seg*m
Vc= 0,0750 m/seg
Cd= 0,5500 adm

A= Area abierta por unidad de longitud del conducto (m²/m)
Q= Caudal unitario de diseño por unidad de longitud (m³/seg*m)
Ve= Velocidad de entrada (m/seg)

$$2.5 \frac{cm}{seg} \leq V_c \leq 10 \frac{cm}{seg}$$

Adoptamos lo recomendad 0,075 PRONAR

Cc= Coeficiente de contraccion recomendado: 0,55

AREA DE UNA PERFORACION.-

Si: $D=$ 10 mm
 $A=$ 0,0000785 m²

$$A = \frac{\pi * D^2}{4}$$

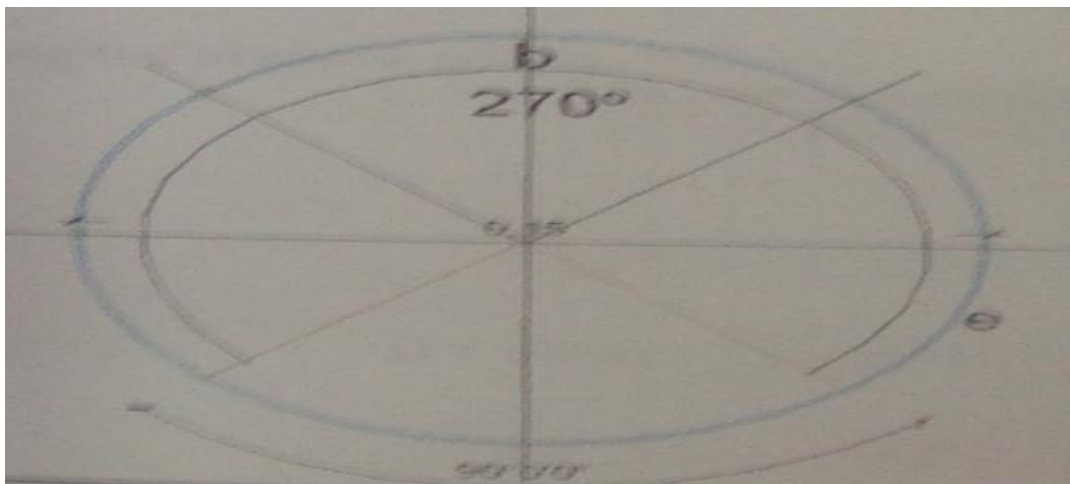
NUMERO DE PERFORACIONES.-

$$N_{perforaciones} = \frac{Area\ abierta}{Area\ de\ una\ perforacion}$$

A abierta= 0,0046 m²/m
A perforada= 0,0000785 m²

$N_{perforaciones}=$ 58 perforacion/ml

DISTRIBUCION DE LAS PERFORACIONES.-



N de oroficios en total= 7 unidades

longitud de la secciones=

$$b = \frac{\pi}{180} * R * \alpha$$

R= 0,05 m

$\alpha=$ 270°

$b=$ 0,24 mm

LONGITUD OCUPADA POR LOS OROFIOS TRANSVERSALES.-

$$L_{ORF} = N_{ORF} * D_{ORF}$$

N de oroficios en un sector b= 7 unidad
D de oroficios = 0,01 mm

$L_{orf}=$ 0,07 mm

ESPACIAMIENTO A LO LARGO DE LA SECCION PERIMETRAL "b"

$$e_T = \frac{b - L_{ORF}}{N_{ORF}}$$

b= 0,24 m
Lorf= 0,07 m

N de oroficios en un sector "b" 7 unidad

et= 0,024286 m
et= 2,428571 cm

ESPACIAMIENTO LONGITUDINAL:

$$\#_{filas perforaciones} = \frac{N_{perforaciones}}{N_{orf. en total}}$$

N perf= 58 perf/ml
N de oroficios en total= 7 transversal

filas perf= 8,309963
filas perf= 9,0 Perf/ml

LONGITUD OCUPADA POR LOS OROFICIOS: Para un metro de tubería

$$L_T = 1ml - \#_{perf} * D_{perf}$$

filas perf= 9,0 Perf/ml
D= 0,01 m

LT= 0,91 m

ESPACIAMIENTO:

$$e_L = \frac{L_T}{\#_{PERF} - 1}$$

LT= 0,91 m
perf= 9,0 unidad

el= 0,11 m

eL= 11 cm

PORCENTAJE DE AREA ABIERTA:

Se a establecido que el % para tuberia PVC, el Area Abierta Maxima este comprendida.

$$3 < \% < 5$$

AREA DE UN 1ml DE TUBERIA:

$$A_{1ml} = \pi * D_{Tub} * 1ml$$

D= 0,15 m

$$A_{1ml} = 0,4712 \text{ m}^2$$

AREA ABIERTA:

$$Area\ Abierta = N_{perf} * \#_{perf} * \frac{\pi D^2}{4}$$

N de oroficios en total= 7 transversales

perf= 9,0 unidades

D orificio= 0,01 m

$$Area\ abierta = 0,0049 \text{ m}^2$$

PORCENTAJE:

$$\% = \frac{Area\ abierta}{A_{1ml}} * 100$$

A 1ml= 0,4712 m²

Area abierta= 0,0049 m²

$$\% = 1,05 \quad \text{OK}$$

GEOTEXTIL.-

DETERMINACION Y SELECCION DE LA TELA DE GEOTEXTIL.-

Desde el punto de vista de filtración se utiliza los siguientes criterios de acuerdo al Federal Highway Association de los Estados Unidos.

a) CRITERIO DE LA PERMEABILIDAD DEL SUELO.-

Este criterio asegura que las aberturas sean lo suficientemente pequeñas para evitar la migración del suelo hacia el medio drenante o hacia el medio drenante o hacia donde se dirige el flujo. Un geotextil debe cumplir con la siguiente condición:

$$TAA < B * D_{85} \quad \text{Manual de hidrología y drenaje (ABC)}$$

Donde:

TAA= Tamaño de abertura aparente, dato suministrado por el fabricante correspondiente a la abertura de los espacios libres(en milímetros).

D85= Tamaño de partículas(en milímetros) que corresponde al 85% del suelo que pasa el ser tamizado. Este dato se obtiene de la curva granulométrica del suelo en consideración.

B= Coeficiente que varía entre 1y3 dependiendo del tipo de suelo a filtrar, de las condiciones de flujo y del tipo de geotextil.

En función a la granulometría de la prog 13+331 se tiene un suelo fino clasificado:

arcilla inorgánica de baja plasticidad.

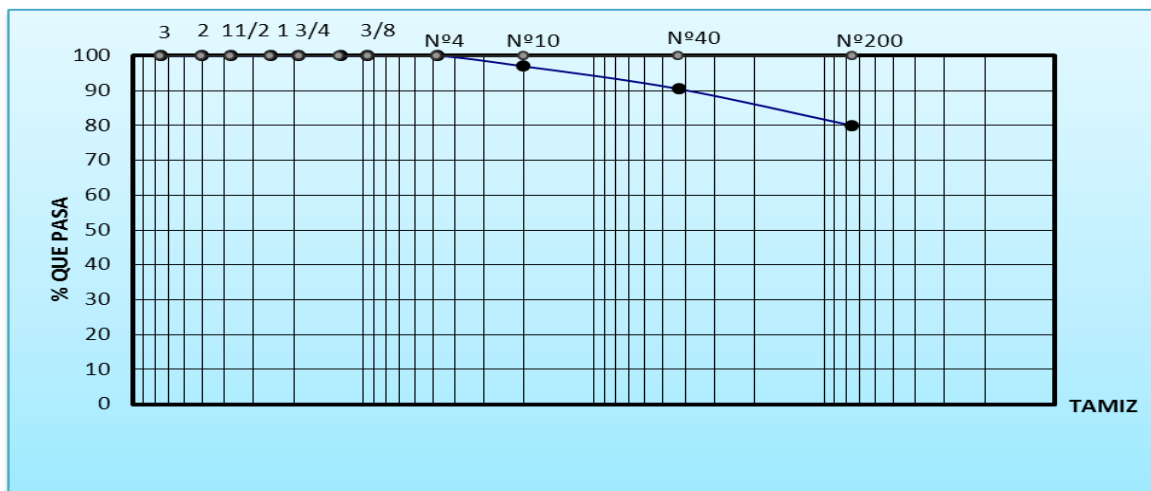
Pozos	progresivas	Clasificación de suelos			CBR	Coeficiente de permeabilidad
		AASTHO	SUCS		100%	
7	Progresiva: 13+331	A-6	CL	Arcilla inorgánica de baja plasticidad.	5	9.05E-05

N°200= 79,76 % que pasa la malla N°200

N°200= 0,075

como se observa la mayor parte de el suelo es fino de un tamaño de partículas 0.075mm, se coloca un geotextil en función a este tamaño de partícula.

ANEXO 7



Fuente: Creación propia

para suelo finos(mas del 50% pasa tamiz N°200)B es funcion tipo de geotextil.

$$TAA < B * D_{85} \quad B= \quad 1,8$$

Si:

D85= 0,075 mm

$$0.125mm < 1.8 * 0.075mm$$

$$0.125mm < 0,135 \quad OK$$

Según especificaciones Tecnicas (Geosinteticos Pavco) Amanco 2007 se tiene.-

Tabla Geotextil No Tejidos) ver anexo:

tamaño abertura aparente

TAA= 0,125 mm
permeabilidad,.

Kg= 0,36 cm/seg

B) CRITERIO DE PERMEABILIDAD.-

Se debe permitir un adecuado flujo del agua atraves del geotextil considerando su habilidad para esto.

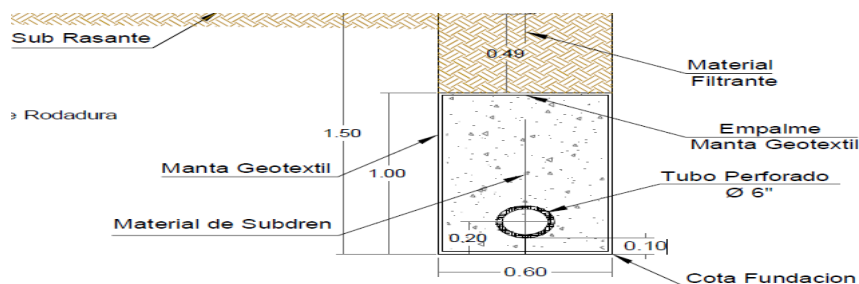
El coeficiente de permeabilidad es la propiedad hidráulica por medio de la cual el geotextil permite un adecuado paso de flujo perpendicular al plano del mismo. Para revisar la permeabilidad del geotextil se debe tener en cuenta lo siguiente:

para condiciones de flujo estable o flujo laminar y suelo no dispersivos.-

Manual de hidrología y drenaje (ABC) $K_{geotextil} > K_{suelo}$ Excavacion
minima 0,75
maxima 6

Kg= permeabilidad del geotextil 0,36 cm/seg anexos14
Ks= permeabilidad del suelo 9,05E-04 cm/seg anexos 11

$$3,60E-01 > 9,05E-04 \quad OK$$

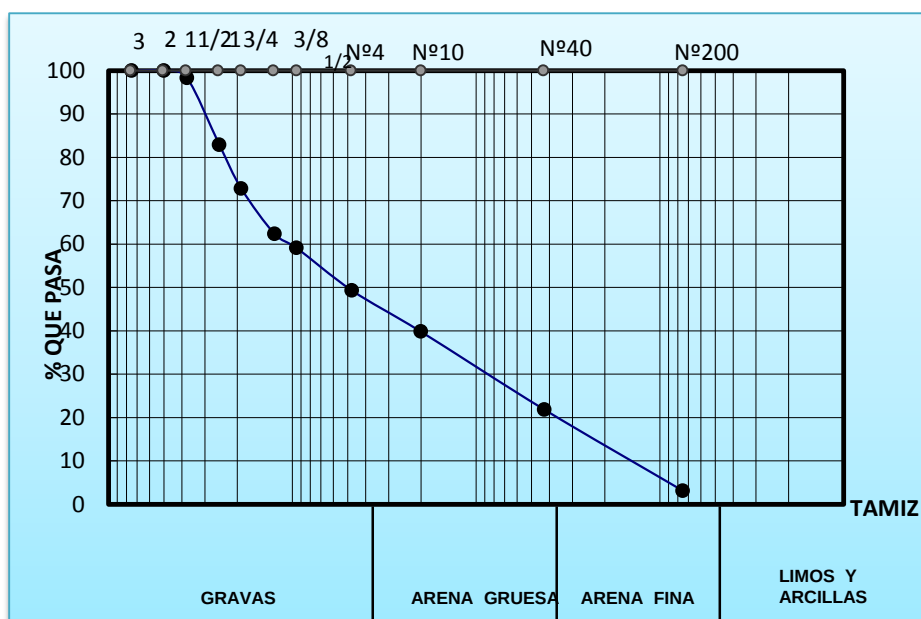


Fuente: Administracion bolivia de carreteras

como filtro encima del tubo colector usamos el material de la cantera:Guadalquivir

normas ASTM-AASTHO ANEXO 13

Peso Total (gr.)			5000	A.S.T.M.	
Tamices	Tamaño (mm)	Peso Ret. (gr)	Ret. Acum (gr)	% Ret	% Que Pasa del Total
3"	75	0,00	0,00	0,00	100,00
2"	50	0,00	0,00	0,00	100,00
1 1/2"	37,50	85,00	85,00	1,70	98,30
1"	25,00	770,00	855,00	17,10	82,90
3/4"	19,00	505,00	1360,00	27,20	72,80
1/2"	12,50	525,00	1885,00	37,70	62,30
3/8"	9,50	160,00	2045,00	40,90	59,10
Nº4	4,75	490,00	2535,00	50,70	49,30
Nº10	2,00	475,00	3010,00	60,20	39,80
Nº40	0,425	900,00	3910,00	78,20	21,80
Nº200	0,075	935,00	4845,00	96,90	3,10



Fuente Creacion Propia

D85=	27,38	mm	D15=	0,29	mm
D60=	10,593	mm	D10=	0,173	mm
D50=	5,158	mm			

D 50	1/3 h
D 60	1/3 h
D 85	1/3 h

H=	1,5	m
h=	1,35	m

4.1.1.3.-SEGUNDA ALTERNATIVA DE SOLUCION: MANTO DRENANTE.

En este diseño se utilizara la granulometría del cantera donde hicimos granulometría, este método es más constructivo y tener mucha experiencia, los datos más relevantes son la pendiente de que tendrá estos mantos su longitud, la dirección del flujo estará en función a la pendiente y se evacuara al dren longitudinal.

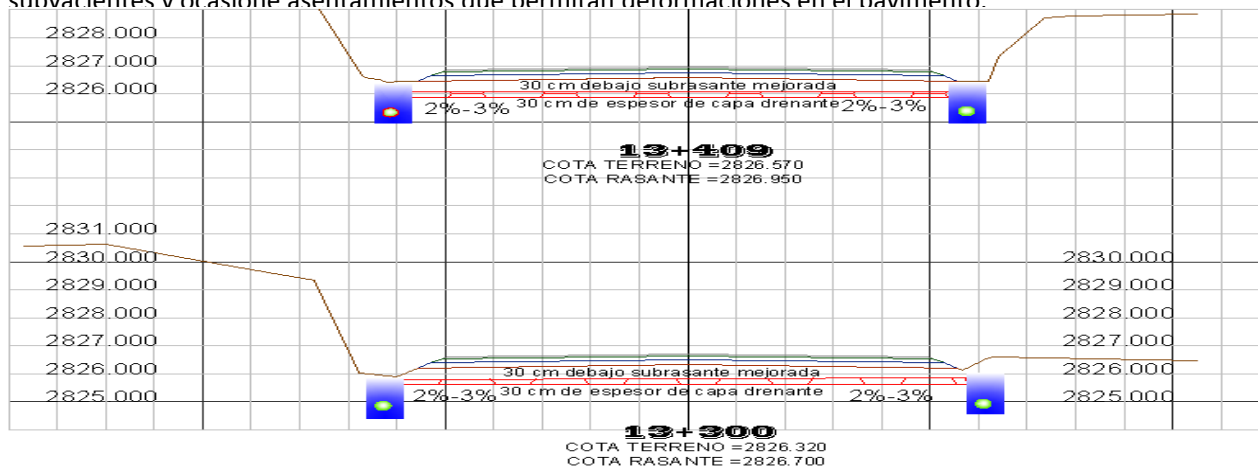
Es una capa que se coloca bajo la superficie pavimentada constituida por un material filtrante de manera que con la ayuda de una pendiente transversal adecuada y unas correctas instalaciones de salida pueda drenar el agua que se infiltre desde la superficie del pavimento, que provenga de las bermas o que ascienda por subpresión desde los niveles inferiores.

Esta capa puede ser granular o tratada con ligantes hidrocarbonados o con cemento, se puede integrar a la estructura del pavimento.

- 1.- Una capa adicional sobre la subrasante, sin función estructural o como parte de la subbase,

Las diferencias de humedad en el suelo bajo la calzada y bajo las bermas facilitan los movimientos capilares y, al aumentar el contenido de humedad del suelo de la subrasante bajo la calzada, disminuyen su capacidad resistente. Para evitar esta disminución, las fisuraciones del suelo y los asentamientos diferenciales que con dicho aumento de humedad pueden producirse, deben utilizarse la colocación de capas drenantes sobre la subrasante para romper el ascensocapilar.

En el proyecto en el corte ubicado entre las progresivas 13+331 a 13+409 se ha considerado la posibilidad de colocar una capa drenante, para evitar que el agua proveniente de la ascensión capilar debilite las capas subvacientes y ocasione asentamientos que permitan deformaciones en el pavimento.



ANEXO 17 PLANO 13+331

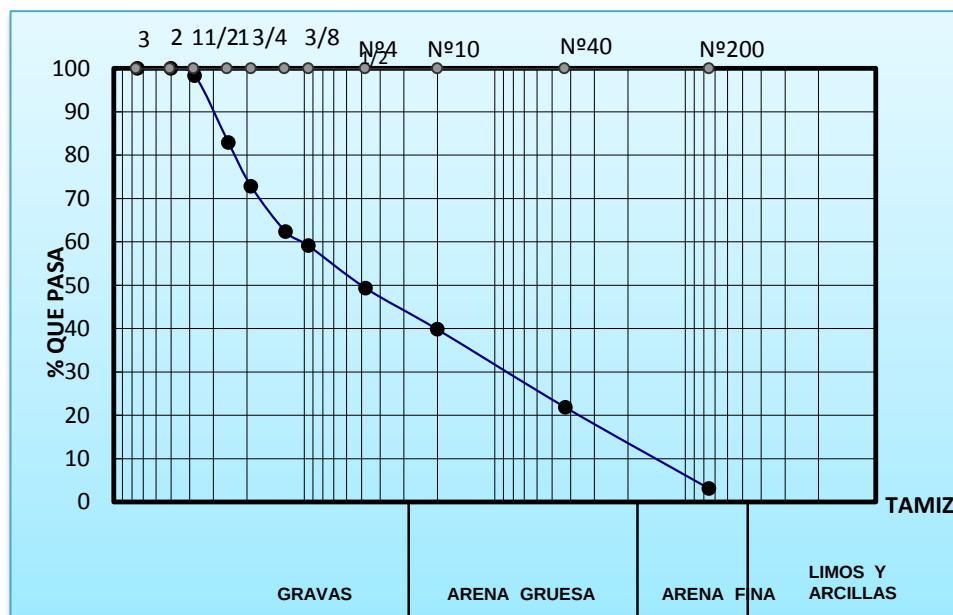
Espesor del manto=	30	cm	Manual de hidrología y drenaje (ABC)
longitud del manto=	78	m	o tambien puede ser el intermedio
granulometria=	19	mm	2"-3/4"
mismo geotextil que el subdren =	T3000		según la NB ABC
pendiente entre=	2%-3%		

los geotextiles iran por debajo del manto drenante y por encima del manto para que asi los finos no ingresen al manto y no lleguen a colmatar, el flujo de agua ya sea por capilaridad o por infiltracion se direccionara con la pendiente hacia los subdrenes.

4.1.1.4.-TERCERA ALTERNATIVA DE SOLUCION: SECCION TRANSVERSAL

Esta sección rectangular con dimensione muy conservadora estará al final de cada falla, estará rellena de con un material filtro con pendiente que permita el escurrimiento de agua subterránea se evacuada al dren longitudinal.

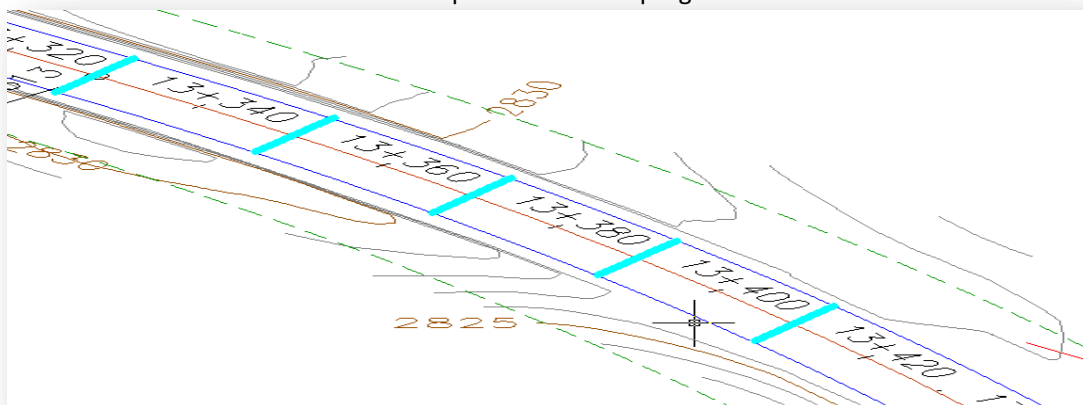
Material filtro: granulometria Canto del rio Gualdalquivir
ANEXO 13



Fuente Creacion Propia

D85=	27,38	mm	D15=	0,29	mm
D60=	10,593	mm	D10=	0,173	mm
D50=	5,158	mm			

Vista en planta anexo 17 progresiva 13+331

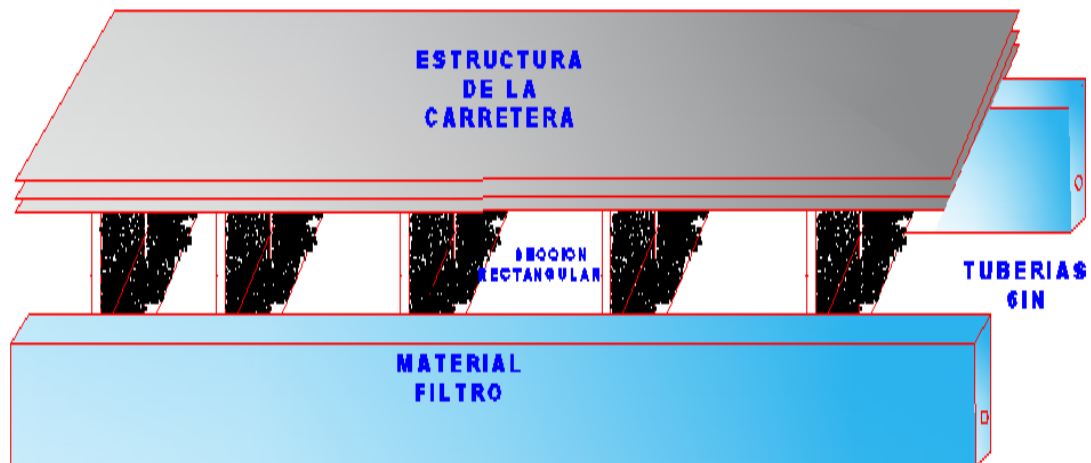


Fuente: Creacion Propia

Vista de los 5 secciones transversales con la siguiente dimensiones:

base= 0,5 m
 alto= 0,5 m
 ancho= 7,8 m
 pendinete= 2 a 3 %

1/3*h	D50
1/3*h	D60
1/3*h	D80



Fuente: Creacion Propia

4.1.1.5.-ELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA.-

despues de calcular las tres alternativas de solucion al drenaje interno entonces buscamos las mas eficiente según los calculos realizados es el subdren longitudinal por que no permite el ingreso del agua hacia la carretera, tambien es un medio para bajar el nivel fratico en el sub suelo.

Plano de detalles en el ANEXO 16

PUNTO 1: CALCULOS Y RESULTADOS PROGRESIVA 23+320

1.-PRIMERA ALTERNATIVA DE SOLUCION:

MODULO DE DRENAJE.-

Es muy complicado, prácticamente imposible, conocer con exactitud el caudal que en un momento dado fluye hacia los drenes en un sistema de drenaje interno. Por eso es recomendable en estos casos adoptar caudales de diseño un poco excedidos a los caudales normalmente obtenidos con ayuda de fórmulas. Se propone entonces adoptar como caudales de diseño, aquel que finalmente es recibido por las tuberías de drenaje a la suma de dos caudales el proveniente de la escorrentía superficial que no alcanza a ser evacuada por la red de drenaje externo, y el segundo proveniente de un acuífero o del propio suelo saturado, ósea, en esta forma el módulo de drenaje quedara:

$$Dr = q + q_o \left(\frac{lt}{seg} * ml \right)$$

fuente:
drenaje vial superficial y
subterráneo (ing Lemos Rodrigo)

Dr= modulo de drenaje. Se puede dar en forma de lamina de agua o en forma de caudal.
q= Caudal de aportado por la escorrentia superficial.
qo= Caudal de aportado por un acuífero o por el suelo saturado.

1.-CALCULO DEL CAUDAL (q):

$$q = 0.00028 * (1 - C) * i * (B * 1 + S) * \frac{b}{B}$$

Cp=	coeficiente de escorrentia de la superficie aportada	0,37386	adm
i=	Intensidad de la lluvia de diseño (mm)	161,68	mm/hrs
B=	Ancho de la calzada(m)	7,2	m
b=	Ancho de la berma (m)	0,85	m
S=	Superficie aportada (A=b*1ml)	20	m2
b=	Derecho de via (15-50 m)		

$$Cp = \frac{C_1 * A_1 + C_2 * A_2}{A_1 + A_2}$$

			3,33
C1=	0,36	Coef. De vegetacion (cultivo de Bosques)Tabla 3.4.7.3	
C2=	0,75	Coef. De Pavimento Tabla 3.4.7.4	
A1=	2931	Area de aporte o cauce m2	144
A2=	108	Area de calzada por ml	

q= **0,091021** lt/seg*ml

2.-CALCULO DEL CAUDAL (qo):

$$q_o = \frac{\Delta F * B * 1m * (A - C)}{100 * S * 1 * t * f}$$

A=	Humedad del suelo a nivel saturado	
c=	Capacidad de campo del suelo	
(A-c)=	8%-20%	14 %
S=	Distancia entre los drenes en casi de tuberias paralelas (m)	1,0 m
ΔF=	Superficie a drenar entre los drenes (m2)	1,2 m2
ΔF=	Tambien puede ser la superficie de influencia de un dren en este caso S habria que tomar en cuenta este concepto.	
t=	Reprenta un dia de drenaje.	86400 seg
f=	Factor de correctivo del tiempo de drenaje (fraccion de un dia)	0,1 adm

la formula queda:

$$q_o = \frac{\Delta F * B * 1m * (A - C)}{8640 * S}$$

qo= 0,01400 lt/seg*ml

calculo del caudal de diseño:

$$Dr = q + q_o \left(\frac{lt}{seg} * ml \right)$$

3.-RESUMEN:

Tramo	lonngitud(m)	Caudal por tramo			Caudal acum (m3/seg)	Caudal unitario (m3/s*m)	DIAMETROS	
		q(lt/s*m)	qo (lt/s*m)	Dr(m3/s)			(Pulg)	(m)
23+320	30	0,0910209	0,01400	0,00315063	0,003151	0,00011	4	0,1016

Fuente elaboracion propia

ESTIMACION DEL CAUDAL DE DISEÑO:

los posibles caudales de aporte que conforman el caudal final, los caudales pueden afectar la estructura de un pavimento son:

A) CAUDAL POR INFILTRACION:

El agua de lluvia cae directamente en la carpeta del pavimento. Una parte de este inevitablemente se infiltra en la estructura del pavimento debido a que las carpetas de pavimento debido a que las carpetas de pavimento son tan rígidas como flexibles, no son impermeables en un 100% , por lo tanto el caudal de infiltración se calcula de la siguiente forma.

$$Q_{inf} = P * B * L * F * Fr$$

$$Q_{inf} = 0,00013 \text{ m}^3/\text{seg}$$

P=	precipitacion maxima horaria de frecuencia, anual registrada en la zona de proyecto.	9,87E-06 m/s
	Dato que se puede extraer de las curvas anexas a este documento, las cuales son las de intensidad-duracion-frecuencia para las diferentes zonas del territorio. Usualmente se toma el intervalo entre 60-120 minutos y se escoje la curva de 2 años como periodo como periodo de retorno.drenaje vial superficial y subteraneo (ing Lemos Rodrigo)	
B=	Para subdrenes longitudinales, B es la semibanca de la via (ancho de la via/2).Para el caso de subdrenes transversales, B es la distancia entre subdrenes.	4,5 m
L=	Longitud del tramo de drenaje.	30 m
Fi=	Factor de infiltracion(ver tabla 3.4.8.1)	0,4 adm
FR=	Factor de retencion de la base, refleja el hecho de las bases. dada su permeabilidad, entregan lentamente el agua al subdren.(tabla 3.4.8.2)	0,25 adm

B) CAUDAL POR ABATIMIENTO DEL NIVEL FREATICO:

En sitios donde el nivel freático o el agua proveniente a presión alcancen una altura tal, que supere el nivel de subrasante afectado a la estructura del pavimento, es necesario abatir este nivel de manera que no genere inconvenientes por exceso de aguas. El cálculo de este caudal se basa en los siguientes

$$Q_{NF} = K * i * A_a$$

$$I = \frac{N_d - N_f}{B}$$

$$A_a = (N_d - N_f) * L$$

k=	Es el coef. De permeabilidad del suelo (prog23+320)	1,16E-03 m/s
i=	Es el gradiente hidraulico.	
Nd=	Cota inferior del subdren (ver figura 3.4.7.1)	1,5 m
Nf=	cota superior del nivel freatico (ver figura 3.3.7.1)	1,02 m
Aa=	Es el area efectiva para el caso de abatimiento del nivel freatico.	
B=	para subdrenes longitudinales, B es la semibanca de la via.Para el caso de subdrenes transversales, B es la distancia entre subdrenes	4,5 m
L=	Longitud del tramo de drenaje.	30 m

Una vez estimado los caudales de aporte al sistema se obtiene el caudales de diseño.

$Q_{NF} = 0,00178$ m3/seg

$I = 0,106667$

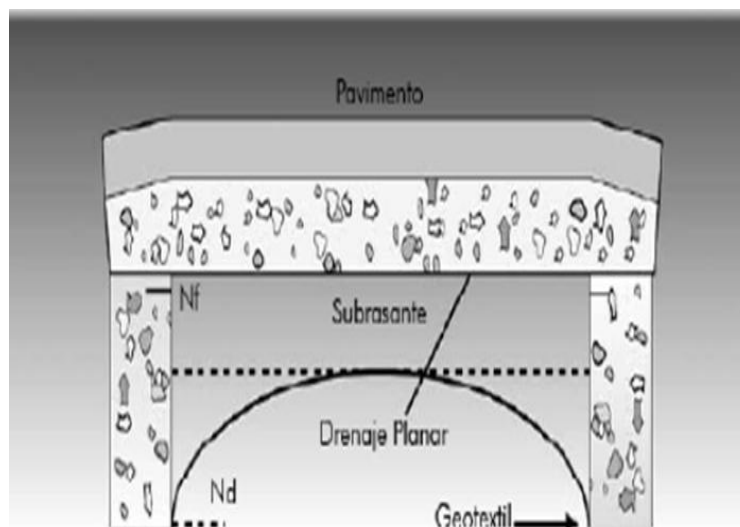
$Aa = 14,4$

$$Q_T = Q_{inf} + Q_{NF} =$$

$0,001912$ m3/seg

Tramo	lonngitud(m)	Caudal por tramo			Caudal acum (m3/seg)
		Q_{inf} (m3/seg)	Q_{NF} (m3/seg)	Q_T (m3/seg)	
23+320	30	0,00013	0,001779	0,00191	0,001912

Figura 3.4.7.1 sección transversal de sistemas de subdrenes laterales en una vía



Fuente Drenaje superficial y subterráneo (Ing. Lemos Rodrigo)

DIAMETRO DE LA TUBERIA DE DRENAJE:

DISEÑO DE LA TUBERIA.-

Formila de Manning.-

$$Q = V * A$$

Q= Caudal en metros cubicos por segundo (m3/seg)

V= Velocidad del flujo (m/seg)

A= Area de la seccion transversal (m2)

Formula de Manning para calcular velocidad de caudal de canales abiertos y drenaje

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

D= **0,1** m Norma Bolivia 688

v= **1,610988** m/seg

V= Velocidad de descarga (m/seg)

n= coeficiente de rugosidad (tabla 3.4.2.3)

$$0.7 \frac{m}{seg} < v < 4 \frac{m}{seg} \quad \text{OK}$$

S= Pendiente del cauce.

R= Radio hidraulico (m)

Norma Bolivia 688

$$R = \frac{A}{P}$$

A= Area de la seccion del cauce (m2)

P= perimetro mojado (m)

$$Q = \frac{1}{n} * A * R^{2/3} * S^{1/2}$$

Formula de Manning

Fuente Hidráulica de canales (Máximo Villon)

$$D = \sqrt[8]{\left(\frac{10.0793684 * Q * n}{\pi * \sqrt{S}}\right)^3}$$

Q= **0,00315** m3/seg

n= **0,013** tabla 3.4.2.3

S= **0,06** m/m

Manual de hidrología y drenaje (ABC)

D= 0,05937185 m diametro minimo 4"

D= 2,3374745 plg

Diametro comercial=

4

pulg

diametro comercial

DISEÑO DE LOS ORIFICIOS DE LA TUBERIA COLECTORA:

CALCULO DEL DIAMETRO DE LA PERFORACION.-

Para el caso de la tubería en la mayoría de los subdrenos con material filtro se utiliza un tubo colector perforado que se coloca en parte inferior de la zanja embebido en el material filtrante. En cuanto al tamaño de los orificios del tubo recolector, el U.S Army Corps of Engineers (1953), recomienda la siguiente relación entre el tamaño del filtro y el ancho del orificio.

tamaño de orificios de la tuberia colectora

Para huecos circulares
Manual de hidrología y drenaje (ABC)

$$\frac{D_{85 \text{ filtro}}}{\text{Diametro}} > 1$$

donde:

D85= Tamaño tal, que el 85% en peso del suelo, sea igual o menor dato de la curva granulometrica del material de

asumiendo **D85=** 28,38 mm Filtro
D= 10 mm

$$\frac{D_{85 \text{ filtro}}}{\text{Diametro}} > 1$$

2,838 > 1 ok

CALCULO DEL NUMERO DE ORIFICIOS TRANSVERSALES Y LONGITUDINALES PARA LA TUBERIA COLECTORA

CALCULO DEL NUMERO Y DIAMETRO DE LAS PERFORACIONES AREA ABIERTA.-

Area abierta por unidad de longitud del conducto (m2/m).

$$A = \frac{Q}{V_e * C_c}$$

El Programa Nacional de Riego PRONAR

donde:

A=	0,0025	m2/m
Q=	0,00011	m3/seg*m
Vc=	0,0750	m/seg
Cd=	0,5500	adm

A= Area abierta por unidad de longitud del conducto (m2/m)
Q= Caudal unitario de diseño por unidad de longitud (m3/seg*m)
Ve= Velocidad de entrada (m/seg)

$$2.5 \frac{cm}{seg} \leq Vc \leq 10 \frac{cm}{seg}$$

Adoptamos lo recomendamos 0,075

Cc= Coeficiente de contraccion recomendado: 0,55

AREA DE UNA PERFORACION.-

Si: D= 10 mm
A= 0,000079 m²

$$A = \frac{\pi * D^2}{4}$$

NUMERO DE PERFORACIONES.-

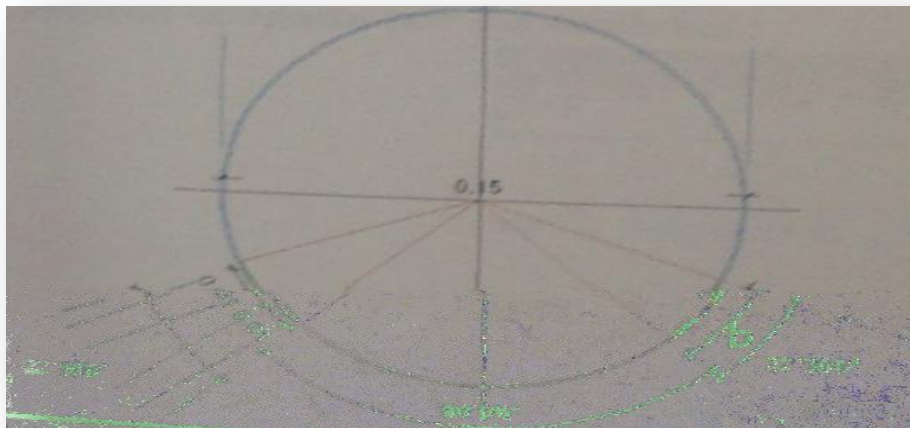
$$N_{perforaciones} = \frac{Area\ abierta}{Area\ de\ una\ perforacion}$$

A abierta= 0,0025 m²/m

A perforada= 0,000079 m²

N perforaciones= 32 perforacion/ml

DISTRIBUCION DE LAS PERFORACIONES.-



N de oroficios en total= 4 unidades

longitud de la secciones=

$$b = \frac{\pi}{180} * R * \alpha$$

R= 0,075 m

α = 22°30'

b= 0,03 mm

LONGITUD OCUPADA POR LOS OROFICIOS TRANSVERSALES.-

$$L_{ORF} = N_{ORF} * D_{ORF}$$

N de oroficios en un sector b= 2 unidad

D de oroficios = 0,01 mm

L orf= 0,02 mm

ESPACIAMIENTO A LO LARGO DE LA SECCION PERIMETRAL "b"

$$e_T = \frac{b - L_{ORF}}{N_{ORF}}$$

b= 0,03 m
Lorf= 0,02 m

N de oroficios en un sector "b" 2 unidad

et= 0,005 m

et= 0,5 cm

ESPACIAMIENTO LONGITUDINAL:

$$\#_{\text{filas perforaciones}} = \frac{N_{\text{perforaciones}}}{N_{\text{orf. en total}}}$$

N perf= 32 perf/ml
N de oroficios en total= 4 transversal

filas perf= 8,104048

REDONDEAR

filas perf= 15,0 Perf/ml

LONGITUD OCUPADA POR LOS OROFICIOS: Para un metro de tubería

$$L_T = 1ml - \#_{perf} * D_{perf}$$

filas perf= 15,0 Perf/ml
D= 0,01 m

LT= 0,85 m

ESPACIAMIENTO:

$$e_L = \frac{L_T}{\#_{PERF} - 1}$$

LT= 0,85 m
perf= 15,0 unidad

el= 0,06 m

eL= 6,07 cm

PORCENTAJE DE AREA ABIERTA:

Se a establecido que el % para tubería PVC, el Area Abierta Maxima este comprendida.

$$3 < \% < 5$$

AREA DE UN 1ml DE TUBERIA:

$$A_{1ml} = \pi * D_{Tub} * 1ml$$

D= 0,15 m

A 1ml= 0,4712 m2

AREA ABIERTA:

$$Area\ Abierta = N_{perf} * \#_{perf} * \frac{\pi D^2}{4}$$

N de oroficios en total= 4 transversales
perf= 15,0 unidades
D orificio= 0,01 m

Area abierta= 0,0047 m2

PORCENTAJE:

$$\% = \frac{Area\ abierta}{A_{1ml}} * 100$$

A 1ml= 0,4712 m2

Area abierta= 0,0047 m2

%= 3,004 OK

MATERIAL GRANULAR PARA FILTRO:

El material filtro debe cumplir los siguientes objetivos:

- 1.- Impedir el paso de las partículas finas del suelo que se va a proteger. Se debe tener en cuenta que los drenes tratan de taponearse por el transporte y el depósito de las partículas más finas del suelo.
- 2.- Permitir la filtración rápida del agua, para cumplir con estos objetivos, el material filtro debe cumplir ciertos requisitos de granulometría. Los materiales deben ser suficientemente gruesos para facilitar el drenaje y suficientemente finos para evitar el paso del suelo que se va a proteger.

a) CRITERIO DE FILTRACION O PROTECCION CONTRA LA EROSION INTERNA.-

El propósito de un filtro es proteger el suelo contra la erosión interna y al mismo tiempo, permitir el paso del agua. En la literatura técnica se han presentado varias relaciones entre los diversos parámetros granulométricos del suelo y del filtro, que se deben cumplir para garantizar su funcionamiento óptimo. En suelos granulares y limosos se establecen las siguientes relaciones entre el material del filtro y el suelo alrededor del filtro.

Basado en los ensayos realizados por Bertran, Terzaghi y Peck (1967) presenta la siguiente relación:

$$\frac{D_{15}(\text{filtro})}{D_{85}(\text{suelo})} \leq 4$$

Manual de hidrología y drenaje (ABC)

Filtro:

$$D_{15} = 0,29 \text{ mm}$$

$$0,014 \leq 4 \quad \text{OK}$$

Suelo:

$$D_{85} = 20,16 \text{ mm}$$

Algunas normas de instituciones recomiendan utilizar un límite de 5 para suelos bien graduados y de 6 para suelos uniformes, es decir:

para grava bien graduada:

Manual de hidrología y drenaje (ABC)

$$\frac{D_{15}(\text{filtro})}{D_{85}(\text{suelo})} \leq 5$$

$$0,014 \leq 5 \quad \text{OK}$$

De acuerdo con Geotechnical Engineering Office de Hong Kong, se debe cumplir, adicionalmente, las siguientes condiciones:

Manual de hidrología y drenaje (ABC)

$$\frac{D_{15}(\text{filtro})}{D_{15}(\text{suelo})} \leq 40$$

Filtro:

$$D_{15} = 0,29 \text{ mm}$$

Suelo:

$$D_{15} = 0,83 \text{ mm}$$

$$0,349398 \leq 40 \quad \text{OK}$$

$$\frac{D_{50}(\text{filtro})}{D_{50}(\text{suelo})} \leq 25$$

Filtro:

$$D_{50} = 5,158 \text{ mm}$$

Suelo:

$$D_{50} = 8,1 \text{ mm}$$

$$0,63679 \leq 25 \quad \text{OK}$$

b) PORCENTAJE DE FINOS.-

Es muy importante que el material del filtro no posea mas de un 5% de material que pase la malla 200, para evitar la migracion de finos del filtro hacia las tuberias de drenaje y para garantizar una permeabilidad suficiente a fin de que el agua drene facilmente.

Manual de hidrología y drenaje (ABC)

N° 200 > 5% Porcentaje que pasa del filtro

N° 200 = 3,22% Porcentaje que pasa del total del analisis granulometrico.

c) FORMA DE LA CURVAS DE GRADACION

Se debe evitar los filtros cuya gradacion tenga vacios de algunos tamaños de granos, osea los materiales con curvas granulometricas que presentan gradas.

El Geotechnical Engineering Office de Hong Kong recomienda que se cumpla las siguientes relaciones para evitar las segregacion.

Manual de hidrología y drenaje (ABC)

$$4 < \frac{D_{60} \text{ (filtro)}}{D_{10} \text{ (suelo)}} < 20$$

Filtro:

$D_{60} = 10,59 \text{ mm}$

Suelo:

$D_{10} = 0,36 \text{ mm}$

4 < 29,4166667 < 20 OK

D85= 20,16 mm

D15= 0,85 mm

D60= 11,56 mm

D10= 0,36 mm

D50= 8,1 mm

D 50	1/3 h
D 60	1/3 h
D 85	1/3 h

H= 1,5 m

h= 1,4 m

PUNTO 2: CALCULOS Y RESULTADOS PROGRESIVA22+110

1.-PRIMERA ALTERNATIVA DE SOLUCION:

MODULO DE DRENAJE.-

Es muy complicado, prácticamente imposible, conocer con exactitud el caudal que en un momento dado fluye hacia los drenes en un sistema de drenaje interno. Por eso es recomendable en estos casos adoptar caudales de diseño un poco excedidos a los caudales normalmente obtenidos con ayuda de fórmulas.

Se propone entonces adoptar como caudales de diseño, aquel que finalmente es recibido por las tuberías de drenaje a la suma de dos caudales el proveniente de la escorrentía superficial que no alcanza a ser evacuada por la red de drenaje externo, y el segundo proveniente de un acuífero o del propio suelo saturado, ósea, en esta forma el módulo de drenaje quedara:

$$Dr = q + q_o \left(\frac{lt}{seg} * ml \right)$$

fuente:
drenaje vial superficial y
subterráneo (ing Lemos Rodrigo)

Dr= modulo de drenaje. Se puede dar en forma de lamina de agua o en forma de caudal.

q= Caudal de aportado por la escorrentia superficial.

qo= Caudal de aportado por un acuífero o por el suelo saturado.

1.-CALCULO DEL CAUDAL (q):

$$q = 0.00028 * (1 - C) * i * (B * 1 + S) * \frac{b}{B}$$

Cp=	coeficiente de escorrentia de la superficie aportada	0,376562	adm
i=	Intensidad de la lluvia de diseño (mm)	161,68	mm/hrs
B=	Ancho de la calzada(m)	7,2	m
b=	Ancho de la berma (m)	0,85	m
S=	Superficie aportada (A=b*1ml)	20	m2
b=	Derecho de via (15-50 m)		

$$Cp = \frac{C_1 * A_1 + C_2 * A_2}{A_1 + A_2}$$

C1= 0,36 Coef. De vegetacion (cultivo de Bosques)Tabla 3.4.7.3

C2= 0,75 Coef. De Pavimento Tabla 3.4.7.4

A1= 3815 Area de aporte o cauce m2

A2= 169,2 Area de calzada por ml

3,33

144

q= 0,090628051 lt/seg*ml

2.-CALCULO DEL CAUDAL (qo):

$$q_o = \frac{\Delta F * B * 1m * (A - C)}{100 * S * 1 * t * f}$$

A=	Humedad del suelo a nivel saturado	
c=	Capacidad de campo del suelo	
(A-c)=	8%-20%	14 %
S=	Distancia entre los drenes en casi de tuberias paralelas (m)	7,2 m
ΔF=	Superficie a drenar entre los drenes (m2)	1,2 m2
ΔF=	Tambien puede ser la superficie de influencia de un dren en este caso S habria que tomar en cuenta este concepto.	
t=	Reprenta un dia de drenaje.	86400 seg
f=	Factor de correctivo del tiempo de drenaje (fraccion de un dia)	0,1 adm

la formula queda:

$$q_o = \frac{\Delta F * B * 1m * (A - C)}{8640 * S}$$

qo= 0,10080 lt/seg*ml

calculo del caudal de diseño:

$$Dr = q + q_o \left(\frac{lt}{seg} * ml \right)$$

3.-RESUMEN:

Tramo	lonngitud(m)	Caudal por tramo			Caudal acum (m3/seg)	Caudal unitario (m3/s*m)	DIAMETROS	
		q(lt/s*m)	qo (lt/s*m)	Dr(m3/s)			(Pulg)	(m)
22+110	47	0,090628051	0,10080	0,008997118	0,008997	0,00019	4	0,102

Fuente elaboracion propia

ESTIMACION DEL CAUDAL DE DISEÑO:

los posibles caudales de aporte que conforman el caudal final, los caudales pueden afectar la estructura de un pavimento son:

A) CAUDAL POR INFILTRACION:

El agua de lluvia cae directamente en la carpeta del pavimento. Una parte de este inevitablemente se infiltra en la estructura del pavimento debido a que las carpetas de pavimento debido a que las carpetas de pavimento son tan rígidas como flexibles, no son impermeables en un 100% , por lo tanto el caudal de infiltración se calcula de la siguiente forma.

$$Q_{inf} = P * B * L * F * Fr$$

$$Q_{inf} = 0,00017 \text{ m}^3/\text{seg}$$

P= precipitación máxima horaria de frecuencia, anual registrada en la zona de proyecto. 9,87E-06 m/s

Dato que se puede extraer de las curvas anexas a este documento, las cuales son las de intensidad-duración-frecuencia para las diferentes zonas del territorio. Usualmente se toma el intervalo entre 60-120 minutos y se elige la curva de 2 años como periodo de retorno.

B= Para subdrenes longitudinales, B es la semibanca de la vía (ancho de la vía/2). Para el caso de subdrenes transversales, B es la distancia entre subdrenes. 4,5 m

L= Longitud del tramo de drenaje. 47 m

Fi= Factor de infiltración (ver tabla 3.4.8.1) 0,25 adm

FR= Factor de retención de la base, refleja el hecho de las bases. 0,33 adm
dada su permeabilidad, entregan lentamente el agua al subdren. (tabla 3.4.8.2)

B) CAUDAL POR ABATIMIENTO DEL NIVEL FREÁTICO:

En sitios donde el nivel freático o el agua proveniente a presión alcancen una altura tal, que supere el nivel de subrasante afectado a la estructura del pavimento, es necesario abatir este nivel de manera que no genere inconvenientes por exceso de aguas. El cálculo de este caudal se basa en los siguientes parámetros:

$$Q_{NF} = K * i * A_a$$

$$I = \frac{N_d - N_f}{B}$$

$$A_a = (N_d - N_f) * L$$

k= Es el coef. de permeabilidad del suelo (prog22+210) 1,03E-03 m/s

i= Es el gradiente hidráulico.

Nd= Cota inferior del subdren (ver figura 3.4.7.1) 1,5 m

Nf= Cota superior del subdren (ver figura 3.4.7.1) 1,02 m

Aa= Es el área efectiva para el caso de abatimiento del nivel freático.

B= para subdrenes longitudinales, B es la semibanca de la vía. Para el caso de subdrenes transversales, B es la distancia entre subdrenes 4,5 m

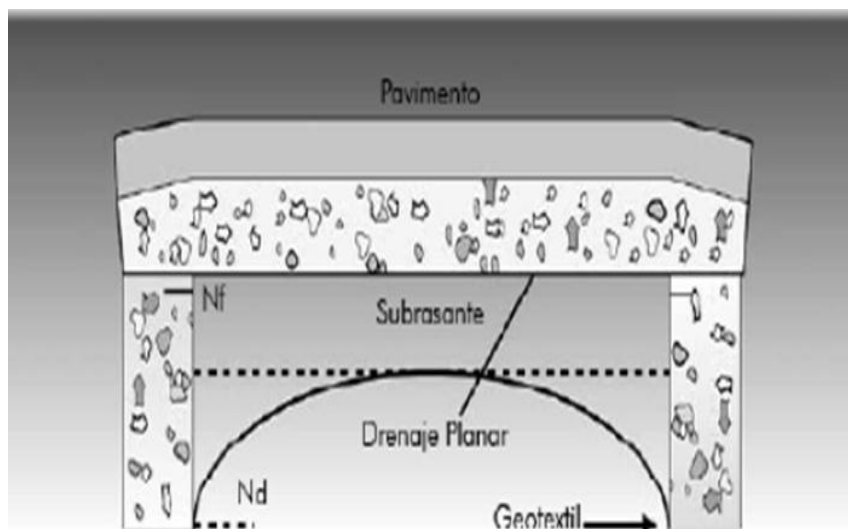
L= Longitud del tramo de drenaje. 47 m

Una vez estimado los caudales de aporte al sistema se obtiene el caudales de diseño.

$$\begin{aligned}
 Q_{NF} &= 0,00248 \text{ m}^3/\text{seg} \\
 I &= 0,106667 \\
 Aa &= 22,56
 \end{aligned}
 \quad
 Q_T = Q_{inf} + Q_{NF} = 0,00265424 \text{ m}^3/\text{seg}$$

Tramo	lonngitud(m)	Caudal por tramo			Caudal acum (m3/seg)
		Qinf (m3/seg)	QNF (m3/seg)	QT (m3/seg)	
22+110	47	0,00017	0,0024803	0,00265	0,002654

Figura 3.4.7.1 sección transversal de sistemas de subdrenes laterales en una vía



Fuente Drenaje superficial y subterráneo (Ing. Lemos Rodrigo)

DIAMETRO DE LA TUBERIA DE DRENAJE:

DISEÑO DE LA TUBERIA.-

Formila de Manning.-

$$Q = V * A$$

Q= Caudal en metros cubicos por segundo (m3/seg)

V= Velocidad del flujo (m/seg)

A= Area de la seccion transversal (m2)

Formula de Manning para calcular velocidad de caudal de canales abiertos y drenaje

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

D= **0,1** m Norma Bolivia 688

V= Velocidad de descarga (m/seg)

n= coeficiente de rugosidad (tabla 3.4.2.3)

S= Pendiente del cauce.

R= Radio hidraulico (m)

v= **1,97304917** m/seg

$$0.7 \frac{m}{seg} < v < 4 \frac{m}{seg} \text{ OK}$$

Norma Bolivia 688

$$R = \frac{A}{P}$$

A= Area de la seccion del cauce (m2)

P= perimetro mojado (m)

$$Q = \frac{1}{n} * A * R^{2/3} * S^{1/2}$$

Formula de Manning

Fuente Hidráulica de canales (Máximo Villon)

$$D = \sqrt[8]{\frac{10.0793684 * Q * n}{\pi * \sqrt{S}}}$$

Q= **0,00900** m3/seg

n= **0,013** tabla 3.4.2.3

S= **0,09** m/m

Manual de hidrología y drenaje (ABC)

D= 0,081555521 m diametro minimo 4"

D= 3,210847291 plg

Diametro comercial=

4

pulg

diametro comercial

DISEÑO DE LOS ORIFICIOS DE LA TUBERIA COLECTORA:

CALCULO DEL DIAMETRO DE LA PERFORACION.-

Para el caso de la tubería en la mayoría de los subdrenes con material filtro se utiliza un tubo colector perforado que se coloca en parte inferior de la zanja embebido en el material filtrante. En cuanto al tamaño de los orificios del tubo recolector, el U.S Army Corps of Engineers (1953), recomienda la siguiente relación entre el tamaño del filtro y el ancho del orificio.

tamaño de orificios de la tuberia colector

Para huecos circulares

Manual de hidrología y drenaje (ABC)

donde:

$$\frac{D_{85 \text{ filtro}}}{\text{Diametro}} > 1$$

D85= Tamaño tal, que el 85% en peso del suelo, sea igual o menor dato de la curva granulometrica del material de filtro (Grava)

asumiendo **D85=** 28,38 mm Filtro
D= 10 mm

$$\frac{D_{85 \text{ filtro}}}{\text{Diametro}} > 1$$

2,838 > 1 ok

CALCULO DEL NUMERO DE ORIFICIOS TRANSVERSALES Y LONGITUDINALES PARA LA TUBERIA COLECTORA

CALCULO DEL NUMERO Y DIAMETRO DE LAS PERFORACIONES AREA ABIERTA.-

Area abierta por unidad de longitud del conducto (m2/m).

$$A = \frac{Q}{V_e * C_c}$$

El Programa Nacional de Riego PRONAR

donde:

A= 0,0046 m2/m
Q= 0,00019 m3/seg*m
Vc= 0,0750 m/seg
Cd= 0,5500 adm

A= Area abierta por unidad de longitud del conducto (m2/m)
Q= Caudal unitario de diseño por unidad de longitud (m3/seg*m)
Ve= Velocidad de entrada (m/seg)

$$2.5 \frac{cm}{seg} \leq V_c \leq 10 \frac{cm}{seg}$$

Adoptamos lo recomendad 0,075

Cc= Coeficiente de contraccion recomendado: 0,55

AREA DE UNA PERFORACION.-

Si: $D=$ 10 mm
 $A=$ 0,0000785 m²

$$A = \frac{\pi * D^2}{4}$$

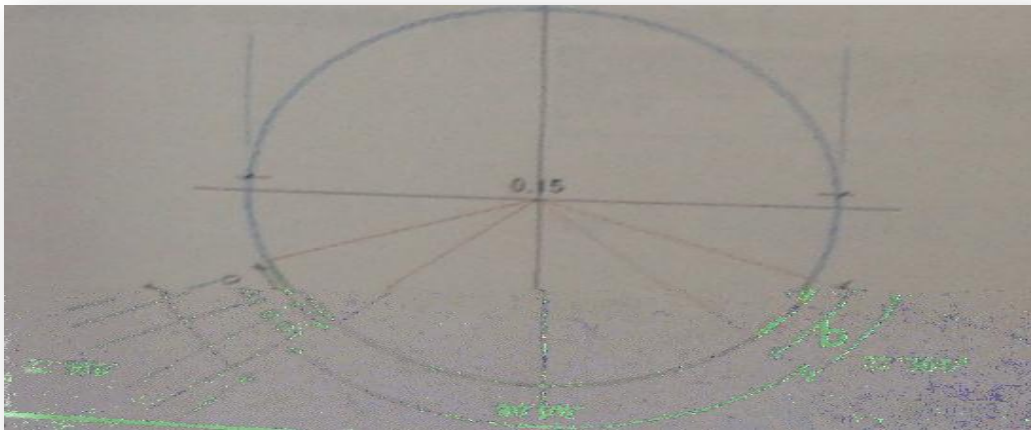
NUMERO DE PERFORACIONES.-

$$N_{perforaciones} = \frac{Area\ abierta}{Area\ de\ una\ perforacion}$$

A abierta= 0,0046 m²/m
A perforada= 0,0000785 m²

$N_{perforaciones}=$ 59 perforacion/ml

DISTRIBUCION DE LAS PERFORACIONES.-



N de oroficios en total= 4 unidades

longitud de la secciones=

$$b = \frac{\pi}{180} * R * \alpha$$

R= 0,075 m
 $\alpha=$ 22°30''
 $b=$ 0,03 mm

LONGITUD OCUPADA POR LOS OROFICIOS TRANSVERSALES.-

$$L_{ORF} = N_{ORF} * D_{ORF}$$

N de oroficios en un sector b= 2 unidad
D de oroficios = 0,01 mm

$L_{orf}=$ 0,02 mm

ESPACIAMIENTO A LO LARGO DE LA SECCION PERIMETRAL "b"

$$e_T = \frac{b - L_{ORF}}{N_{ORF}}$$

b= 0,03 m
Lorf= 0,02 m

N de oroficios en un sector "b" 2 unidad

et= 0,005 m

et= 0,5 cm

ESPACIAMIENTO LONGITUDINAL:

$$\#_{\text{filas perforaciones}} = \frac{N_{\text{perforaciones}}}{N_{\text{orf. en total}}}$$

N perf= 59 perf/ml
N de oroficios en total= 4 transversal

filas perf= 14,77174

REDONDEAR

filas perf= 15,0 Perf/ml

LONGITUD OCUPADA POR LOS OROFICIOS: Para un metro de tubería

$$L_T = 1ml - \#_{\text{perf}} * D_{\text{perf}}$$

filas perf= 15,0 Perf/ml
D= 0,01 m

LT= 0,85 m

ESPACIAMIENTO:

$$e_L = \frac{L_T}{\#_{\text{PERF}} - 1}$$

LT= 0,85 m
perf= 15,0 unidad

el= 0,06 m

eL= 6,07 cm

PORCENTAJE DE AREA ABIERTA:

Se a establecido que el % para tubería PVC, el Área Abierta Máxima este comprendida.

$$3 < \% < 5$$

AREA DE UN 1ml DE TUBERIA:

$$A_{1ml} = \pi * D_{Tub} * 1ml$$

D= 0,15 m

A 1ml= 0,4712 m²

AREA ABIERTA:

$$Area\ Abierta = N_{perf} * \#_{perf} * \frac{\pi D^2}{4}$$

N de oroficios en total= 4 transversales

perf= 15,0 unidades

D orificio= 0,01 m

Area abierta= 0,0047 m²

PORCENTAJE:

$$\% = \frac{Area\ abierta}{A_{1ml}} * 100$$

A 1ml= 0,4712 m²

Area abierta= 0,0047 m²

%= 1,000 OK

MATERIAL GRANULAR PARA FILTRO:

El material filtro debe cumplir los siguientes objetivos:

- 1.- Impedir el paso de las partículas finas del suelo que se va a proteger. Se debe tener en cuenta que los drenes tratan de taponearse por el transporte y el depósito de las partículas más finas del suelo.
- 2.- Permitir la filtración rápida del agua, para cumplir con estos objetivos, el material filtro debe cumplir ciertos requisitos de granulometría. Los materiales deben ser suficientemente gruesos para facilitar el drenaje y suficientemente finos para evitar el paso del suelo que se va a proteger.

a) CRITERIO DE FILTRACION O PROTECCION CONTRA LA EROSION INTERNA.-

El propósito de un filtro es proteger el suelo contra la erosión interna y al mismo tiempo, permitir el paso del agua. En la literatura técnica se han presentado varias relaciones entre los diversos parámetros granulométricos del suelo y del filtro, que se deben cumplir para garantizar su funcionamiento óptimo. En suelos granulares y limosos se establecen las siguientes relaciones entre el material del filtro y el suelo alrededor del filtro.

Basado en los ensayos realizados por Bertran, Terzaghi y Peck (1967) presenta la siguiente relación:

$$\frac{D_{15}(\text{filtro})}{D_{85}(\text{suelo})} \leq 4$$

Manual de hidrología y drenaje (ABC)

Filtro: $D_{15} = 0,29 \text{ mm}$

Suelo: $D_{85} = 20,34 \text{ mm}$

0,014 ≤ 4 OK

Algunas normas de instituciones recomiendan utilizar un límite de 5 para suelos bien graduados y de 6 para suelos uniformes, es decir:

para grava bien graduada:
Manual de hidrología y drenaje (ABC)

$$\frac{D_{15}(\text{filtro})}{D_{85}(\text{suelo})} \leq 5$$

0,014 ≤ 5 OK

De acuerdo con Geotechnical Engineering Office de Hong Kong, se debe cumplir, adicionalmente, las siguientes condiciones:

Manual de hidrología y drenaje (ABC)

$$\frac{D_{15}(\text{filtro})}{D_{15}(\text{suelo})} \leq 40$$

Filtro: $D_{15} = 0,29 \text{ mm}$

Suelo: $D_{15} = 0,81 \text{ mm}$

0,358025 ≤ 40 OK

$$\frac{D_{50}(\text{filtro})}{D_{50}(\text{suelo})} \leq 25$$

Filtro: $D_{50} = 5,158 \text{ mm}$

Suelo: $D_{50} = 5,58 \text{ mm}$

0,924373 ≤ 25 OK

b) PORCENTAJE DE FINOS.-

Es muy importante que el material del filtro no posea mas de un 5% de material que pase la malla 200, para evitar la migracion de finos del filtro hacia las tuberias de drenaje y para garantizar una permeabilidad suficiente a fin de que el agua drene facilmente.

Manual de hidrología y drenaje (ABC)

N° 200 > 5% Porcentaje que pasa del filtro

N° 200 = 2,50% Porcentaje que pasa del total del analisis granulometrico.

c) FORMA DE LA CURVAS DE GRADACION

Se debe evitar los filtros cuya gradacion tenga vacios de algunos tamaños de granos, osea los materiales con curvas granulometricas que presentan gradadas.

El Geotechnical Engineering Office de Hong Kong recomienda que se cumpla las siguientes relaciones para evitar las segregacion.

Manual de hidrología y drenaje (ABC)

$$4 < \frac{D_{60}(\text{filtro})}{D_{10}(\text{suelo})} < 20$$

Filtro:

$D_{60} = 10,59$ mm

Suelo:

$D_{10} = 0,42$ mm

4 < 25,21428571 < 20 OK

D85= 24,34 mm

D15= 0,81 mm

D60= 8,35 mm

D10= 0,42 mm

D50= 5,58 mm

D 50	1/3 h
D 60	1/3 h
D 85	1/3 h

H= 1,5 m

h= 1,4 m

PUNTO 3: CALCULOS Y RESULTADOS PROGRESIVA 19+960

1.-PRIMERA ALTERNATIVA DE SOLUCION:

MODULO DE DRENAJE.-

Es muy complicado, prácticamente imposible, conocer con exactitud el caudal que en un momento dado fluye hacia los drenes en un sistema de drenaje interno. Por eso es recomendable en estos casos adoptar caudales de diseño un poco excedidos a los caudales normalmente obtenidos con ayuda de fórmulas.

.Se propone entonces adoptar como caudales de diseño, aquel que finalmente es recibido por las tuberías de drenaje a la suma de dos caudales el proveniente de la escorrentía superficial que no alcanza a ser evacuada por la red de drenaje externo, y el segundo proveniente de un acuífero o del propio suelo saturado, ósea, en esta forma el módulo de drenaje quedara:

$$Dr = q + q_o \left(\frac{lt}{seg} * ml \right)$$

fuente:
drenaje vial superficial y
subterráneo (ing Lemos)

- Dr=** modulo de drenaje.Se puede dar en forma de lamina de agua o en forma de caudal.
q= Caudal de aportado por la escorrentia superficial.
qo= Caudal de aportado por un acuífero o por el suelo saturado.

1.-CALCULO DEL CAUDAL (q):

$$q = 0.00028 * (1 - C) * i * (B * 1 + S) * \frac{b}{B}$$

Cp=	coeficiente de escorrentia de la superficie aportada	0,3787	adm
i=	Intensidad de la lluvia de diseño (mm)	161,68	mm/hrs
B=	Ancho de la calzada(m)	7,2	m
b=	Ancho de la berma (m)	0,85	m
S=	Superficie aportada (A=b*1ml)	20	m2
b=	Derecho de via (15-50 m)		

$$Cp = \frac{C_1 * A_1 + C_2 * A_2}{A_1 + A_2}$$

C1=	0,36	Coef. De vegetacion (cultivo de Bosques)Tabla 3.4.7.3
C2=	0,75	Coef. De Pavimento Tabla 3.4.7.4
A1=	2144	Area de aporte o cauce m2
A2=	108	Area de calzada por ml

q= 0,0903 lt/seg*ml

2.-CALCULO DEL CAUDAL (qo):

$$q_o = \frac{\Delta F * B * 1m * (A - C)}{100 * S * 1 * t * f}$$

A=	Humedad del suelo a nivel saturado	
c=	Capacidad de campo del suelo	
(A-c)=	8%-20%	14 %
S=	Distancia entre los drenes en casi de tuberias paralelas (m)	7,2 m
ΔF=	Superficie a drenar entre los drenes (m2)	1,2 m2
ΔF=	Tambien puede ser la superficie de influencia de un dren en este caso S habria que tomar en cuenta este concepto.	
t=	Reprenta un dia de drenaje.	86400 seg
f=	Factor de correctivo del tiempo de drenaje (fraccion de un dia)	0,1 adm

la formula queda:

$$q_o = \frac{\Delta F * B * 1m * (A - C)}{8640 * S}$$

qo= 0,10080 lt/seg*ml

calculo del caudal de diseño:

$$Dr = q + q_o \left(\frac{lt}{seg} * ml \right)$$

3.-RESUMEN:

Tramo	lonngitud(m)	Caudal por tramo			acum (m3/seg)	unitario	DIAMETROS	
		q(lt/s*m)	qo (lt/s*m)	Dr(m3/s)			(Pulg)	(m)
19+960	30	0,0903168	0,10080	0,005734	0,005734	0,0	4	0,1016

Fuente elaboracion propia

ESTIMACION DEL CAUDAL DE DISEÑO:

los posibles caudales de aporte que conforman el caudal final, los caudales pueden afectar la estructura de un pavimento son:

A) CAUDAL POR INFILTRACION:

El agua de lluvia cae directamente en la carpeta del pavimento. Una parte de este inevitablemente se infiltra en la estructura del pavimento debido a que las carpetas de pavimento debido a que las carpetas de pavimento son tan rígidas como flexibles, no son impermeables en un 100% , por lo tanto el caudal de infiltración se calcula de la siguiente forma.

$$Q_{inf} = P * B * L * F * Fr$$

$$Q_{inf} = 0,0001 \text{ m}^3/\text{seg}$$

P= precipitación máxima horaria de frecuencia, anual registrada en la zona de proyecto. 9,87E-06 m/s

Dato que se puede extraer de las curvas anexas a este documento, las cuales son las de intensidad-duración-frecuencia para las diferentes zonas del territorio. Usualmente se toma el intervalo entre 60-120 minutos y se elige la curva de 2 años como periodo de retorno. drenaje vial superficial y subterráneo (ing Lemos Rodrigo)

B= Para subdrenes longitudinales, B es la semibanca de la vía (ancho de la vía/2). Para el caso de subdrenes transversales, B es la distancia entre subdrenes. 4,5 m

L= Longitud del tramo de drenaje. 30 m

Fi= Factor de infiltración (ver tabla 3.4.8.1) 0,25 adm

FR= Factor de retención de la base, refleja el hecho de las bases. 0,33 adm
dada su permeabilidad, entregan lentamente el agua al subdren. (tabla 3.4.8.2)

B) CAUDAL POR ABATIMIENTO DEL NIVEL FREÁTICO:

En sitios donde el nivel freático o el agua proveniente a presión alcancen una altura tal, que supere el nivel de subrasante afectado a la estructura del pavimento, es necesario abatir este nivel de manera que no genere inconvenientes por exceso de aguas. El cálculo de este caudal se basa en los siguientes parámetros:

$$Q_{NF} = K * i * A_a$$

$$I = \frac{N_d - N_f}{B}$$

$$A_a = (N_d - N_f) * L$$

k= Es el coef. de permeabilidad del suelo (prog19+960) 5,92E-04 m/s

i= Es el gradiente hidráulico.

Nd= Cota inferior del subdren (ver figura 3.4.7.1) 1,5 m

Nf= Cota superior del subdren (ver figura 3.4.7.1) 1,02 m

Aa= Es el área efectiva para el caso de abatimiento del nivel freático.

B= para subdrenes longitudinales, B es la semibanca de la vía. Para el caso de subdrenes transversales, B es la distancia entre subdrenes 4,5 m

L= Longitud del tramo de drenaje. 30 m

Una vez estimado los caudales de aporte al sistema se obtiene el caudales de diseño.

QNF= 0,0009 m3/seg

I= 0,106667

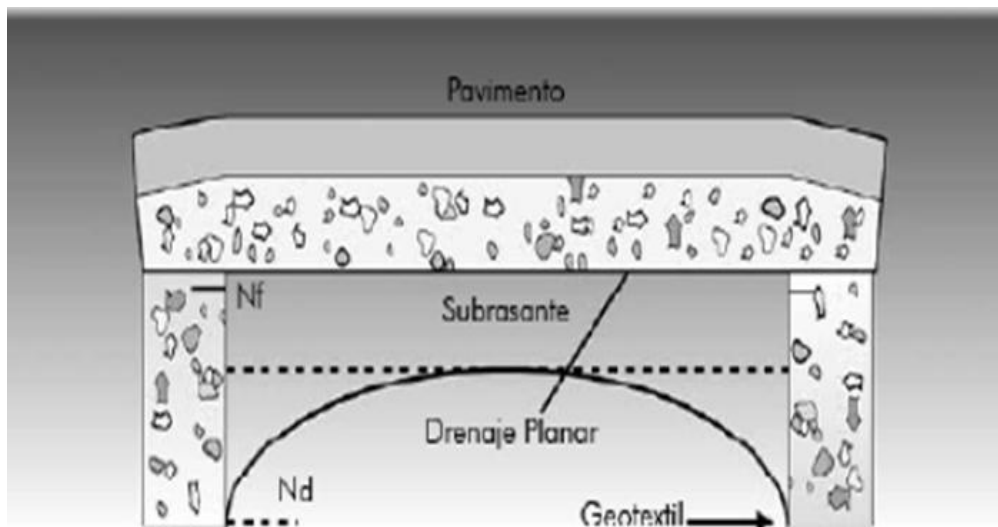
Aa= 14,4

$$Q_T = Q_{inf} + Q_{NF} =$$

0,001021 m3/seg

Tramo	lonngitud(m)	Caudal por tramo			Caudal acum (m3/seg)
		Qinf (m3/seg)	QNF (m3/seg)	QT (m3/seg)	
19+960	30	0,00011	0,0009	0,0010	0,001020628

Figura 3.4.7.1 sección transversal de sistemas de subdrenes laterales en una vía



Fuente Drenaje superficial y subterráneo (Ing. Lemos Rodrigo)

DIAMETRO DE LA TUBERIA DE DRENAJE:

DISEÑO DE LA TUBERIA.-

Formila de Manning.-

$$Q = V * A$$

Q= Caudal en metros cubicos por segundo (m3/seg)

V= Velocidad del flujo (m/seg)

A= Area de la seccion transversal (m2)

Formula de Manning para calcular velocidad de caudal de canales abiertos y drenaje

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

D= **0,1** m

Norma Bolivia 688

v= **1,13914** m/seg

V= Velocidad de descarga (m/seg)

n= coeficiente de rugosidad (tabla 3.4.2.3)

$$0.7 \frac{m}{seg} < v < 4 \frac{m}{seg} \quad \text{OK}$$

S= Pendiente del cauce.

R= Radio hidraulico (m)

Norma Bolivia 688

$$R = \frac{A}{P}$$

A= Area de la seccion del cauce (m2)

P= perimetro mojado (m)

$$Q = \frac{1}{n} * A * R^{2/3} * S^{1/2}$$

Formula de Manning

Fuente Hidráulica de canales (Máximo Villon)

$$D = \sqrt[8]{\left(\frac{10.0793684 * Q * n}{\pi * \sqrt{S}}\right)^3}$$

Q= **0,00573** m3/seg

n= **0,013**

tabla 3.4.2.3

S= **0,03** m/m

Manual de hidrología y drenaje (ABC)

D= 0,084632 m

diametro minimo 4"

D= 3,331951 plg

Diametro comercial=

4

pulg

diametro
comercial

DISEÑO DE LOS ORIFICIOS DE LA TUBERIA COLECTORA:

CALCULO DEL DIAMETRO DE LA PERFORACION.-

Para el caso de la tubería en la mayoría de los subdrenes con material filtro se utiliza un tubo colector perforado que se coloca en parte inferior de la zanja embebido en el material filtrante. En cuanto al tamaño de los orificios del tubo recolector, el U.S Army Corps of Engineers (1953), recomienda la siguiente relación entre el tamaño del filtro y el ancho del orificio.

tamaño de orificios de la tubería colector

Para huecos circulares

Manual de hidrología y drenaje (ABC)
donde:

$$\frac{D_{85 \text{ filtro}}}{\text{Diametro}} > 1$$

D85= Tamaño tal, que el 85% en peso del suelo, sea igual o menor dato de la curva granulometrica del material de

asumiendo

D85= 28,38 nm Filtro
D= 10 mm

$$\frac{D_{85 \text{ filtro}}}{\text{Diametro}} > 1$$

2,838 > 1 ok

CALCULO DEL NUMERO DE ORIFICIOS TRANSVERSALES Y LONGITUDINALES PARA LA TUBERIA COLECTORA

CALCULO DEL NUMERO Y DIAMETRO DE LAS PERFORACIONES AREA ABIERTA.-

Area abierta por unidad de longitud del conducto (m²/m).

$$A = \frac{Q}{V_e * C_c}$$

El Programa Nacional de Riego PRONAR

donde:

A= 0,0046 m²/m
Q= 0,00019 m³/seg*m
Vc= 0,0750 m/seg
Cd= 0,5500 adm

A= Area abierta por unidad de longitud del conducto (m²/m)
Q= Caudal unitario de diseño por unidad de longitud (m³/seg*m)
Ve= Velocidad de entrada (m/seg)

$$2.5 \frac{cm}{seg} \leq V_c \leq 10 \frac{cm}{seg} \quad \text{Adoptamos lo recomen} \quad 0,075$$

Cc= Coeficiente de contraccion recomendado: 0,55

AREA DE UNA PERFORACION.-

Si: $D=$ 10 mm
 $A=$ 0,0001 m²

$$A = \frac{\pi * D^2}{4}$$

NUMERO DE PERFORACIONES.-

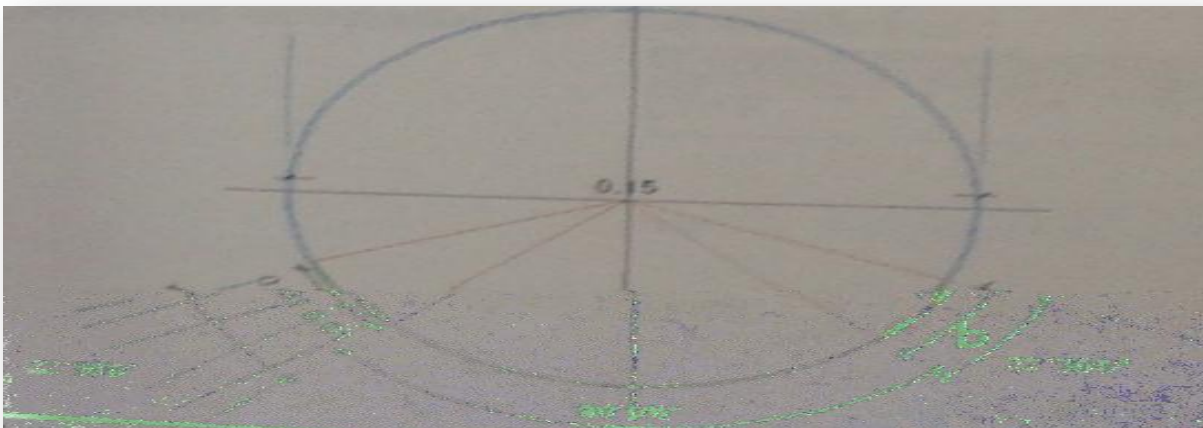
$$N_{perforaciones} = \frac{Area\ abierta}{Area\ de\ una\ perforacion}$$

A abierta= 0,0046 m²/m

A perforada= 0,0001 m²

N perforaciones= 59 perforacion/ml

DISTRIBUCION DE LAS PERFORACIONES.-



N de oroficios en total= 4 unidades

longitud de la secciones=

$$b = \frac{\pi}{180} * R * \alpha$$

R= 0,075 m

$\alpha=$ 22°30'

b= 0,03 mm

LONGITUD OCUPADA POR LOS OROFICIOS TRANSVERSALES.-

$$L_{ORF} = N_{ORF} * D_{ORF}$$

N de oroficios en un sector b= 2 unidad

D de oroficios = 0,01 mm

L orf= 0,02 mm

ESPACIAMIENTO A LO LARGO DE LA SECCION PERIMETRAL "b"

$$e_T = \frac{b - L_{ORF}}{N_{ORF}}$$

b= 0,03 m
Lorf= 0,02 m

N de oroficios en un sector "b" 2 unidad

et= 0,005 m

et= 0,5 cm

ESPACIAMIENTO LONGITUDINAL:

$$\#_{filas perforaciones} = \frac{N_{perforaciones}}{N_{orf. en total}}$$

N perf= 59 perf/ml
N de oroficios en total= 4 transversal

filas perf= 14,74773

REDONDEAR

filas perf= 15,0 Perf/ml

LONGITUD OCUPADA POR LOS OROFICIOS: Para un metro de tubería

$$L_T = 1ml - \#_{perf} * D_{perf}$$

filas perf= 15,0 Perf/ml
D= 0,01 m

LT= 0,85 m

ESPACIAMIENTO:

$$e_L = \frac{L_T}{\#_{PERF} - 1}$$

LT= 0,85 m
perf= 15,0 unidad

el= 0,06 m

eL= 6,07 cm

PORCENTAJE DE AREA ABIERTA:

Se a establecido que el % para tubería PVC, el Area Abierta Maxima este comprendida.

$$3 < \% < 5$$

AREA DE UN 1ml DE TUBERIA:

$$A_{1ml} = \pi * D_{Tub} * 1ml$$

D= 0,15 m

A 1ml= 0,4712 m2

AREA ABIERTA:

$$Area\ Abierta = N_{perf} * \#_{perf} * \frac{\pi D^2}{4}$$

N de oroficios en total= 4 transversales
perf= 15,0 unidades
D orificio= 0,01 m

Area abierta= 0,0047 m2

PORCENTAJE:

$$\% = \frac{Area\ abierta}{A_{1ml}} * 100$$

A 1ml= 0,4712 m2

Area abierta= 0,0047 m2

%= 1,000 OK

MATERIAL GRANULAR PARA FILTRO:

El material filtro debe cumplir los siguientes objetivos:

- 1.- Impedir el paso de las partículas finas del suelo que se va a proteger. Se debe tener en cuenta que los drenes tratan de taponearse por el transporte y el depósito de las partículas más finas del suelo.
- 2.- Permitir la filtración rápida del agua, para cumplir con estos objetivos, el material filtro debe cumplir ciertos requisitos de granulometría. Los materiales deben ser suficientemente grueso para facilitar el drenaje y suficientemente finos para evitar el paso del suelo que se va a proteger.

a) CRITERIO DE FILTRACION O PROTECCION CONTRA LA EROSION INTERNA.-

El propósito de un filtro es proteger el suelo contra la erosión interna y al mismo tiempo, permitir el paso del agua. En la literatura técnica se han presentado varias relaciones entre los diversos parámetros granulométricos del suelo y del filtro, que se deben cumplir para garantizar su funcionamiento óptimo. En suelos granulares y limosos se establecen las siguientes relaciones entre el material del filtro y el suelo alrededor del filtro.

Basado en los ensayos realizados por Bertran, Terzaghi y Peck (1967) presenta la siguiente relación:

$\frac{D_{15}(\text{filtro})}{D_{85}(\text{suelo})} \leq 4$	Manual de hidrología y drenaje (ABC)
Filtro:	
$D_{15} =$	0,29 mm
	0,016 ≤ 4 OK
Suelo:	
$D_{85} =$	18,25 mm

Algunas normas de instituciones recomiendan utilizar un límite de 5 para suelos bien graduados y de 6 para suelos uniformes, es decir:

para grava bien graduada: Manual de hidrología y drenaje (ABC)	$\frac{D_{15}(\text{filtro})}{D_{85}(\text{suelo})} \leq 5$	
	0,016 ≤ 5 OK	

De acuerdo con Geotechnical Engineering Office de Hong Kong, se debe cumplir, adicionalmente, las siguientes condiciones:

Manual de hidrología y drenaje (ABC)

$\frac{D_{15}(\text{filtro})}{D_{15}(\text{suelo})} \leq 40$ Filtro: $D_{15} =$ 0,29 mm Suelo: $D_{15} =$ 0,36 mm 0,80555556 ≤ 40 OK	$\frac{D_{50}(\text{filtro})}{D_{50}(\text{suelo})} \leq 25$ Filtro: $D_{50} =$ 5,158 mm Suelo: $D_{50} =$ 4,05 mm 1,27358 ≤ 25 OK
--	--

b) PORCENTAJE DE FINOS.-

Es muy importante que el material del filtro no posea mas de un 5% de material que pase la malla 200, para evitar la migracion de finos del filtro hacia las tuberias de drenaje y para garantizar una permeabilidad suficiente a fin de que el agua drene facilmente.

Manual de hidrología y drenaje (ABC)

N° 200 > 5% Porcentaje que pasa del filtro

N° 200 = 3,19% Porcentaje que pasa del total del analisis granulometrico.

c) FORMA DE LA CURVAS DE GRADACION

Se debe evitar los filtros cuya gradacion tenga vacios de algunos tamaños de granos, osea los materiales con curvas granulometricas que presentan gradas.

El Geotechnical Engineering Office de Hong Kong recomienda que se cumpla las siguientes relaciones para evitar las segregacion.

Manual de hidrología y drenaje (ABC)

$$4 < \frac{D_{60}(\text{filtro})}{D_{10}(\text{suelo})} < 20$$

Filtro:

$D_{60} = 10,59 \text{ mm}$

Suelo:

$D_{10} = 0,36 \text{ mm}$

4 < 29,41667 < 20 OK

D85=	18,23	mm	D15=	0,63	mm
D60=	6,43	mm	D10=	0,36	mm
D50=	4,05	mm			

D 50	1/3 h
D 60	1/3 h
D 85	1/3 h

H= 1,5 m
h= 1,4 m

PUNTO 4: CALCULOS Y RESULTADOS PROGRESIVA 18+900

1.-PRIMERA ALTERNATIVA DE SOLUCION:

MODULO DE DRENAJE.-

Es muy complicado, prácticamente imposible, conocer con exactitud el caudal que en un momento dado fluye hacia los drenes en un sistema de drenaje interno. Por eso es recomendable en estos casos adoptar caudales de diseño un poco excedidos a los caudales normalmente obtenidos con ayuda de fórmulas.

.Se propone entonces adoptar como caudales de diseño, aquel que finalmente es recibido por las tuberías de drenaje a la suma de dos caudales el proveniente de la escorrentía superficial que no alcanza a ser evacuada por la red de drenaje externo, y el segundo proveniente de un acuífero o del propio suelo saturado, ósea, en esta forma el módulo de drenaje quedara:

$$Dr = q + q_o \left(\frac{lt}{seg} * ml \right)$$

fuente:
drenaje vial superficial y
subterráneo (ing Lemos Rodrigo)

- Dr=** modulo de drenaje.Se puede dar en forma de lamina de agua o en forma de caudal.
q= Caudal de aportado por la escorrentia superficial.
qo= Caudal de aportado por un acuífero o por el suelo saturado.

1.-CALCULO DEL CAUDAL (q):

$$q = 0.00028 * (1 - C) * i * (B * 1 + S) * \frac{b}{B}$$

Cp=	coeficiente de escorrentia de la superficie aportada	0,38084	adm
i=	Intensidad de la lluvia de diseño (mm)	161,68	mm/hrs
B=	Ancho de la calzada(m)	7,2	m
b=	Ancho de la berma (m)	0,85	m
S=	Superficie aportada (A=b*1ml)	20	m2
b=	Derecho de via (15-50 m)		

$$Cp = \frac{C_1 * A_1 + C_2 * A_2}{A_1 + A_2}$$

			3,33
C1=	0,36	Coef. De vegetacion (cultivo de Bosques)Tabla 3.4.7.3	
C2=	0,75	Coef. De Pavimento Tabla 3.4.7.4	
A1=	2551	Area de aporte o cauce m2	144
A2=	144	Area de calzada por ml	

q= 0,090006 lt/seg*ml

2.-CALCULO DEL CAUDAL (qo):

$$q_o = \frac{\Delta F * B * 1m * (A - C)}{100 * S * 1 * t * f}$$

A=	Humedad del suelo a nivel saturado	
c=	Capacidad de campo del suelo	
(A-c)=	8%-20%	14 %
S=	Distancia entre los drenes en casi de tuberias paralelas (m)	7,2 m
ΔF=	Superficie a drenar entre los drenes (m2)	1,2 m2
ΔF=	Tambien puede ser la superficie de influencia de un dren en este caso S habria que tomar en cuenta este concepto.	
t=	Reprenta un dia de drenaje.	86400 seg
f=	Factor de correctivo del tiempo de drenaje (fraccion de un dia)	0,1 adm

la formula queda:

$$q_o = \frac{\Delta F * B * 1m * (A - C)}{8640 * S}$$

qo= 0,10080 lt/seg*ml

calculo del caudal de diseño:

$$Dr = q + q_o \left(\frac{lt}{seg} * ml \right)$$

3.-RESUMEN:

Tramo	lonngitud(m)	Caudal por tramo			Caudal acum (m3/seg)	unitario (m3/s* m)	DIAMETROS	
		q(lt/s*m)	qo (lt/s*m)	Dr(m3/s)			(Pulg)	(m)
18+900	40	0,0900064	0,10080	0,007632	0,00763226	0,00019	4	0,1016

Fuente elaboracion propia

ESTIMACION DEL CAUDAL DE DISEÑO:

los posibles caudales de aporte que conforman el caudal final, los caudales pueden afectar la estructura de un pavimento son:

A) CAUDAL POR INFILTRACION:

El agua de lluvia cae directamente en la carpeta del pavimento. Una parte de este inevitablemente se infiltra en la estructura del pavimento debido a que las carpetas de pavimento debido a que las carpetas de pavimento son tan rígidas como flexibles, no son impermeables en un 100% , por lo tanto el caudal de infiltración se calcula de la siguiente forma.

$$Q_{inf} = P * B * L * F * Fr$$

$$Q_{inf} = 0,00015 \text{ m}^3/\text{seg}$$

P= precipitación máxima horaria de frecuencia, anual registrada en la zona de proyecto. 9,87E-06 m/s

Dato que se puede extraer de las curvas anexas a este documento, las cuales son las de intensidad-duración-frecuencia para las diferentes zonas del territorio. Usualmente se toma el intervalo entre 60-120 minutos y se elige la curva de 2 años como periodo de retorno. drenaje vial superficial y subterráneo (ing Lemos Rodrigo)

B= Para subdrenes longitudinales, B es la semibanca de la vía (ancho de la vía/2). Para el caso de subdrenes transversales, B es la distancia entre subdrenes. 4,5 m

L= Longitud del tramo de drenaje. 40 m

Fi= Factor de infiltración (ver tabla 3.4.8.1) 0,25 adm

FR= Factor de retención de la base, refleja el hecho de las bases. 0,33 adm
dada su permeabilidad, entregan lentamente el agua al subdren. (tabla 3.4.8.2)

B) CAUDAL POR ABATIMIENTO DEL NIVEL FREÁTICO:

En sitios donde el nivel freático o el agua proveniente a presión alcancen una altura tal, que supere el nivel de subrasante afectado a la estructura del pavimento, es necesario abatir este nivel de manera que no genere inconvenientes por exceso de aguas. El cálculo de este caudal se basa en los siguientes parámetros:

$$Q_{NF} = K * i * A_a$$

$$I = \frac{N_d - N_f}{B}$$

$$A_a = (N_d - N_f) * L$$

k= Es el coef. de permeabilidad del suelo (prog18+900) 1,13E-03 m/s

i= Es el gradiente hidráulico.

Nd= Cota inferior del subdren (ver figura 3.4.7.1) 1,5 m

Nf= Cota superior del subdren (ver figura 3.4.7.1) 1,02 m

Aa= Es el área efectiva para el caso de abatimiento del nivel freático.

B= para subdrenes longitudinales, B es la semibanca de la vía. Para el caso de subdrenes transversales, B es la distancia entre subdrenes 4,5 m

L= Longitud del tramo de drenaje. 40 m

Una vez estimado los caudales de aporte al sistema se obtiene el caudales de diseño.

$Q_{NF} = 0,00232 \text{ m}^3/\text{seg}$

$I = 0,10666667$

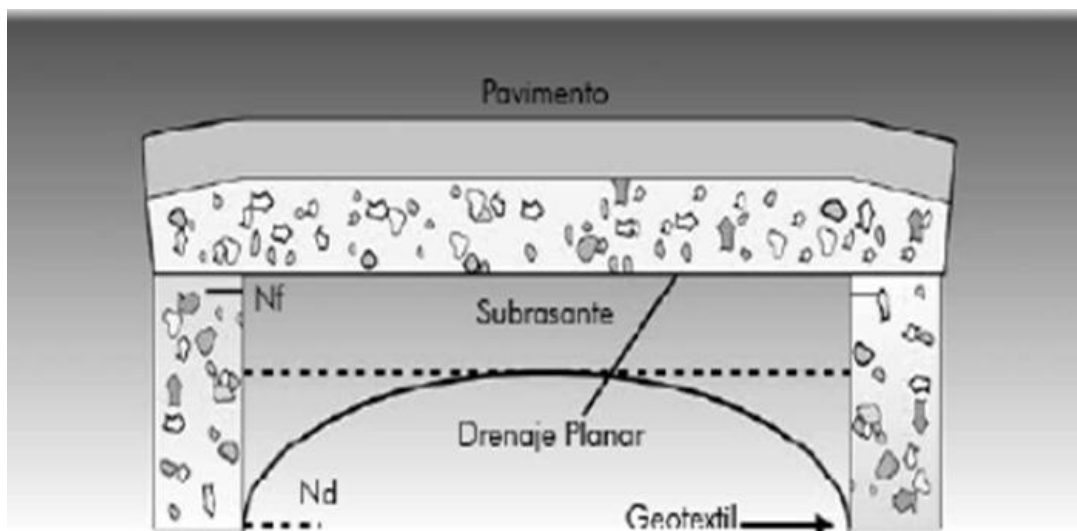
$Aa = 19,2$

$$Q_T = Q_{inf} + Q_{NF} =$$

$0,002468 \text{ m}^3/\text{seg}$

Tramo	lonngitud(m)	Caudal por tramo			acum (m3/seg)
		Q_{inf} (m3/seg)	Q_{NF} (m3/seg)	Q_T (m3/seg)	
18+900	40	0,00015	0,00232	0,00247	0,00247

Figura 3.4.7.1 sección transversal de sistemas de subdrenes laterales en una vía



Fuente Drenaje superficial y subterráneo (Ing. Lemos Rodrigo)

DIAMETRO DE LA TUBERIA DE DRENAJE:

DISEÑO DE LA TUBERIA.-

Formila de Manning.-

$$Q = V * A$$

Q= Caudal en metros cubicos por segundo (m3/seg)

V= Velocidad del flujo (m/seg)

A= Area de la seccion transversal (m2)

Formula de Manning para calcular velocidad de caudal de canales abiertos y drenaje

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

D= **0,1** m Norma Bolivia 688

v= **2,460825** m/seg

V= Velocidad de descarga (m/seg)

n= coeficiente de rugosidad (tabla 3.4.2.3)

$$0.7 \frac{m}{seg} < v < 4 \frac{m}{seg} \quad \text{OK}$$

S= Pendiente del cauce.

R= Radio hidraulico (m)

Norma Bolivia 688

$$R = \frac{A}{P}$$

A= Area de la seccion del cauce (m2)

P= perimetro mojado (m)

$$Q = \frac{1}{n} * A * R^{2/3} * S^{1/2}$$

Formula de Manning

Fuente Hidráulica de canales (Máximo Villon)

$$D = \sqrt[8]{\left(\frac{10.0793684 * Q * n}{\pi * \sqrt{S}}\right)^3}$$

Q= **0,00763** m3/seg

n= **0,013** tabla 3.4.2.

S= **0,14** m/m

Manual de hidrología y drenaje (ABC)

D= 0,07058 m diametro minimo 4"

D= 2,778735 plg

Diametro comercial=

4

pulg

diametro comercial
comercial

DISEÑO DE LOS ORIFICIOS DE LA TUBERIA COLECTORA:

CALCULO DEL DIAMETRO DE LA PERFORACION.-

Para el caso de la tubería en la mayoría de los subdrenes con material filtro se utiliza un tubo colector perforado que se coloca en parte inferior de la zanja embebido en el material filtrante. En cuanto al tamaño de los orificios del tubo recolector, el U.S Army Corps of Engineers (1953), recomienda la siguiente relación entre el tamaño del filtro y el ancho del orificio.

tamaño de orificios de la tuberia colector

Para huecos circulares

Manual de hidrología y drenaje (ABC)
donde:

$$\frac{D_{85 \text{ filtro}}}{\text{Diametro}} > 1$$

D85= Tamaño tal, que el 85% en peso del suelo, sea igual o menor dato de la curva granulometrica del material de

asumiendo

D85= 28,38 nm Filtro
D= 10 mm

$$\frac{D_{85 \text{ filtro}}}{\text{Diametro}} > 1$$

2,838 > 1 ok

CALCULO DEL NUMERO DE ORIFICIOS TRANSVERSALES Y LONGITUDINALES PARA LA TUBERIA COLECTORA

CALCULO DEL NUMERO Y DIAMETRO DE LAS PERFORACIONES AREA ABIERTA.-

Area abierta por unidad de longitud del conducto (m²/m).

$$A = \frac{Q}{V_e * C_c}$$

El Programa Nacional de Riego PRONAR

donde:

A= 0,0046 m²/m
Q= 0,00019 m³/seg*m
Vc= 0,0750 m/seg
Cd= 0,5500 adm

A= Area abierta por unidad de longitud del conducto (m²/m)
Q= Caudal unitario de diseño por unidad de longitud (m³/seg*m)
Ve= Velocidad de entrada (m/seg)

$$2.5 \frac{cm}{seg} \leq V_c \leq 10 \frac{cm}{seg}$$

Adoptamos lo recomend 0,075

Cc= Coeficiente de contraccion recomendado: 0,55

AREA DE UNA PERFORACION.-

Si: $D = 10 \text{ mm}$
 $A = 0,00008 \text{ m}^2$

$$A = \frac{\pi * D^2}{4}$$

NUMERO DE PERFORACIONES.-

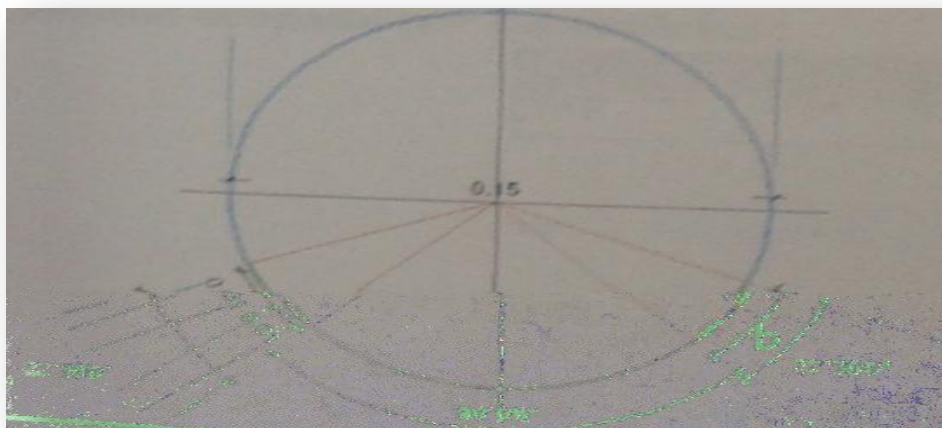
$$N_{\text{perforaciones}} = \frac{\text{Area abierta}}{\text{Area de una perforacion}}$$

A abierta= 0,0046 m²/m

A perforada= 0,00008 m²

$N_{\text{perforaciones}} = 59 \text{ perforacion/ml}$

DISTRIBUCION DE LAS PERFORACIONES.-



N de oroficios en total= **4** unidades

longitud de la secciones=

$$b = \frac{\pi}{180} * R * \alpha$$

R= 0,075 m

$\alpha = 22^{\circ}30''$

$b = 0,03 \text{ mm}$

LONGITUD OCUPADA POR LOS OROFICIOS TRANSVERSALES.-

$$L_{ORF} = N_{ORF} * D_{ORF}$$

N de oroficios en un sector b= **2** unidad

D de oroficios = 0,01 mm

$L_{\text{orf}} = 0,02 \text{ mm}$

ESPACIAMIENTO A LO LARGO DE LA SECCION PERIMETRAL "b"

$$e_T = \frac{b - L_{ORF}}{N_{ORF}}$$

b= 0,03 m
Lorf= 0,02 m

N de oroficios en un sector "b" 2 unidad

et= 0,005 m

et= 0,5 cm

ESPACIAMIENTO LONGITUDINAL:

$$\#_{filas perforaciones} = \frac{N_{perforaciones}}{N_{orf. en total}}$$

N perf= 59 perf/ml
N de oroficios en total= 4 transversal

filas perf= 14,7237754

REDONDEAR

filas perf= 15,0 Perf/ml

LONGITUD OCUPADA POR LOS OROFICIOS: Para un metro de tubería

$$L_T = 1ml - \#_{perf} * D_{perf}$$

filas perf= 15,0 Perf/ml
D= 0,01 m

LT= 0,85 m

ESPACIAMIENTO:

$$e_L = \frac{L_T}{\#_{PERF} - 1}$$

LT= 0,85 m
perf= 15,0 unidad

el= 0,06 m

eL= 6,07 cm

PORCENTAJE DE AREA ABIERTA:

Se a establecido que el % para tubería PVC, el Area Abierta Maxima este comprendida.

$$3 < \% < 5$$

AREA DE UN 1ml DE TUBERIA:

$$A_{1ml} = \pi * D_{Tub} * 1ml$$

D= 0,15 m

A 1ml= 0,4712 m2

AREA ABIERTA:

$$Area\ Abierta = N_{perf} * \#_{perf} * \frac{\pi D^2}{4}$$

N de oroficios en total= 4 transversales
perf= 15,0 unidades
D orificio= 0,01 m

Area abierta= 0,0047 m2

PORCENTAJE:

$$\% = \frac{Area\ abierta}{A_{1ml}} * 100$$

A 1ml= 0,4712 m2

Area abierta= 0,0047 m2

%= 1,000 OK

MATERIAL GRANULAR PARA FILTRO:

El material filtro debe cumplir los siguientes objetivos:

- 1.- Impedir el paso de las partículas finas del suelo que se va a proteger. Se debe tener en cuenta que los drenes tratan de taponearse por el transporte y el depósito de las partículas más finas del suelo.
- 2.- Permitir la filtración rápida del agua, para cumplir con estos objetivos, el material filtro debe cumplir ciertos requisitos de granulometría. Los materiales deben ser suficientemente gruesos para facilitar el drenaje y suficientemente finos para evitar el paso del suelo que se va a proteger.

a) CRITERIO DE FILTRACION O PROTECCION CONTRA LA EROSION INTERNA.-

El propósito de un filtro es proteger el suelo contra la erosión interna y al mismo tiempo, permitir el paso del agua. En la literatura técnica se han presentado varias relaciones entre los diversos parámetros granulométricos del suelo y del filtro, que se deben cumplir para garantizar su funcionamiento óptimo. En suelos granulares y limosos se establecen las siguientes relaciones entre el material del filtro y el suelo alrededor del filtro.

Basado en los ensayos realizados por Bertran, Terzaghi y Peck (1967) presenta la siguiente relación:

$$\frac{D_{15}(\text{filtro})}{D_{85}(\text{suelo})} \leq 4$$

Manual de hidrología y drenaje (ABC)

Filtro:
 $D_{15} = 0,29 \text{ mm}$

Suelo:
 $D_{85} = 24,87 \text{ mm}$

0,012 ≤ 4 OK

Algunas normas de instituciones recomiendan utilizar un límite de 5 para suelos bien graduados y de 6 para suelos uniformes, es decir:

para grava bien graduada:

$$\frac{D_{15}(\text{filtro})}{D_{85}(\text{suelo})} \leq 5$$

Manual de hidrología y drenaje (ABC)

0,012 ≤ 5 OK

De acuerdo con Geotechnical Engineering Office de Hong Kong, se debe cumplir, adicionalmente, las siguientes condiciones:

Manual de hidrología y drenaje (ABC)

$$\frac{D_{15}(\text{filtro})}{D_{15}(\text{suelo})} \leq 40$$

$$\frac{D_{50}(\text{filtro})}{D_{50}(\text{suelo})} \leq 25$$

Filtro:
 $D_{15} = 0,29 \text{ mm}$

Suelo:
 $D_{15} = 0,34 \text{ mm}$

Filtro:
 $D_{50} = 5,158 \text{ mm}$

Suelo:
 $D_{50} = 6,37 \text{ mm}$

0,85294118 ≤ 40 OK **0,80973312 ≤ 25 OK**

b) PORCENTAJE DE FINOS.-

Es muy importante que el material del filtro no posea mas de un 5% de material que pase la malla 200, para evitar la migracion de finos del filtro hacia las tuberias de drenaje y para garantizar una permeabilidad suficiente a fin de que el agua drene facilmente.

Manual de hidrología y drenaje (ABC)

N° 200 > 5% Porcentaje que pasa del filtro

N° 200 = 2,98% Porcentaje que pasa del total del analisis granulometrico.

c) FORMA DE LA CURVAS DE GRADACION

Se debe evitar los filtros cuya gradacion tenga vacios de algunos tamaños de granos, osea los materiales con curvas granulometricas que presentan gradas.

El Geotechnical Engineering Office de Hong Kong recomienda que se cumpla las siguientes relaciones para evitar las segregacion.

Manual de hidrología y drenaje (ABC)

$$4 < \frac{D_{60}(\text{filtro})}{D_{10}(\text{suelo})} < 20$$

Filtro:

$D_{60} = 10,59 \text{ mm}$

Suelo:

$D_{10} = 0,4 \text{ mm}$

4 < 26,475 < 20 OK

D85= 27,87 mm D15= 0,76 mm

D60= 9,84 mm D10= 0,39 mm

D50= 6,37 mm

D 50	1/3 h
D 60	1/3 h
D 85	1/3 h

H= 1,5 m

h= 1,4 m

PUNTO 5: CALCULOS Y RESULTADOS PROGRESIVA 16+200

1.-PRIMERA ALTERNATIVA DE SOLUCION:

MODULO DE DRENAJE.-

Es muy complicado, prácticamente imposible, conocer con exactitud el caudal que en un momento dado fluye hacia los drenes en un sistema de drenaje interno. Por eso es recomendable en estos casos adoptar caudales de diseño un poco excedidos a los caudales normalmente obtenidos con ayuda de fórmulas.

.Se propone entonces adoptar como caudales de diseño, aquel que finalmente es recibido por las tuberías de drenaje a la suma de dos caudales el proveniente de la escorrentía superficial que no alcanza a ser evacuada por la red de drenaje externo, y el segundo proveniente de un acuífero o del propio suelo saturado, ósea, en esta forma el módulo de drenaje quedara:

$$Dr = q + q_o \left(\frac{lt}{seg} * ml \right)$$

fuente:

drenaje vial superficial y
subterráneo (ing Lemos Rodrigo)

Dr= modulo de drenaje.Se puede dar en forma de lamina de agua o en forma de caudal.

q= Caudal de aportado por la escorrentia superficial.

qo= Caudal de aportado por un acuífero o por el suelo saturado.

1.-CALCULO DEL CAUDAL (q):

$$q = 0.00028 * (1 - C) * i * (B * 1 + S) * \frac{b}{B}$$

Cp=	coeficiente de escorrentia de la superficie aportada	0,398195	adm
i=	Intensidad de la lluvia de diseño (mm)	161,68	mm/hrs
B=	Ancho de la calzada(m)	7,2	m
b=	Ancho de la berma (m)	0,85	m
S=	Superficie aportada (A=b*1ml)	20	m2
b=	Derecho de via (15-50 m)		

$$Cp = \frac{C_1 * A_1 + C_2 * A_2}{A_1 + A_2}$$

			3,33
C1=	0,36	Coef. De vegetacion (cultivo de Bosques)Tabla 3.4.7.3	
C2=	0,75	Coef. De Pavimento Tabla 3.4.7.4	
A1=	1459	Area de aporte o cauce m2	144
A2=	158,4	Area de calzada por ml	

q= **0,0874834** lt/seg*ml

2.-CALCULO DEL CAUDAL (qo):

$$q_o = \frac{\Delta F * B * 1m * (A - C)}{100 * S * 1 * t * f}$$

A=	Humedad del suelo a nivel saturado		
c=	Capacidad de campo del suelo		
(A-c)=	8%-20%	14	%
S=	Distancia entre los drenes en casi de tuberias paralelas (m)	7,2	m
ΔF=	Superficie a drenar entre los drenes (m2)	1,2	m2
ΔF=	Tambien puede ser la superficie de influencia de un dren en este caso S habria que tomar en cuenta este concepto.		
t=	Reprenta un dia de drenaje.	86400	seg
f=	Factor de correctivo del tiempo de drenaje (fraccion de un dia)	0,1	adm

la formula queda:

$$q_o = \frac{\Delta F * B * 1m * (A - C)}{8640 * S}$$

qo= 0,10080 lt/seg*ml

calculo del caudal de diseño:

$$Dr = q + q_o \left(\frac{lt}{seg} * ml \right)$$

3.-RESUMEN:

Tramo	lonngitud(m)	Caudal por tramo			Caudal acum (m3/seg)	unitario (m3/s*m)	DIAMETROS	
		q(lt/s*m)	qo (lt/s*m)	Dr(m3/s)			(Pulg)	(m)
16+200	44	0,0874834	0,10080	0,0082845	0,00828447	0,00019	4	0,1016

Fuente elaboracion propia

ESTIMACION DEL CAUDAL DE DISEÑO:

los posibles caudales de aporte que conforman el caudal final, los caudales pueden afectar la estructura de un pavimento son:

A) CAUDAL POR INFILTRACION:

El agua de lluvia cae directamente en la carpeta del pavimento. Una parte de este inevitablemente se infiltra en la estructura del pavimento debido a que las carpetas de pavimento debido a que las carpetas de pavimento son tan rígidas como flexibles, no son impermeables en un 100% , por lo tanto el caudal de infiltración se calcula de la siguiente forma.

$$Q_{inf} = P * B * L * F * Fr$$

$$Q_{inf} = 0,00016 \text{ m}^3/\text{seg}$$

P=	precipitacion maxima horaria de frecuencia, anual registrada en la zona de proyecto.	9,87E-06	m/s
	Dato que se puede extraer de las curvas anexas a este documento, las cuales son las de intensidad-duracion-frecuencia para las diferentes zonas del territorio. Usualmente se toma el intervalo entre 60-120 minutos y se escoje la curva de 2 años como periodo como periodo de retorno. drenaje vial superficial y subteraneo (ing Lemos Rodrigo)		
B=	Para subdrenes longitudinales, B es la semibanca de la via (ancho de la via/2).Para el caso de subdrenes transversales, B es la distancia entre subdrenes.	4,5	m
L=	Longitud del tramo de drenaje.	44	m
Fi=	Factor de infiltracion(ver tabla 3.4.8.1)	0,25	adm
FR=	Factor de retencion de la base, refleja el hecho de las bases. dada su permeabilidad, entregan lentamente el agua al subdren.(tabla 3.4.8.2)	0,33	adm

B) CAUDAL POR ABATIMIENTO DEL NIVEL FREATICO:

En sitios donde el nivel freático o el agua proveniente a presión alcancen una altura tal, que supere el nivel de subrasante afectado a la estructura del pavimento, es necesario abatir este nivel de manera que no genere inconvenientes por exceso de aguas. El cálculo de este caudal se basa en los siguientes parámetros:

$$Q_{NF} = K * i * A_a$$

$$I = \frac{N_d - N_f}{B}$$

$$A_a = (N_d - N_f) * L$$

k=	Es el coef. De permeabilidad del suelo (prog16+200)	8,62E-04	m/s
i=	Es el gradiente hidraulico.		
Nd=	Cota inferior del subdren (ver figura 3.4.7.1)	1,5	m
Nf=	Cota superior del subdren (ver figura 3.4.7.1)	1,02	m
Aa=	Es el area efectiva para el caso de abatimiento del nivel freatico.		
B=	para subdrenes longitudinales, B es la semibanca de la via.Para el caso de subdrenes transversales, B es la distancia entre subdrenes	4,5	m
L=	Longitud del tramo de drenaje.	44	m

Una vez estimado los caudales de aporte al sistema se obtiene el caudales de diseño.

$Q_{NF} = 0,00194 \text{ m}^3/\text{seg}$

$I = 0,1066667$

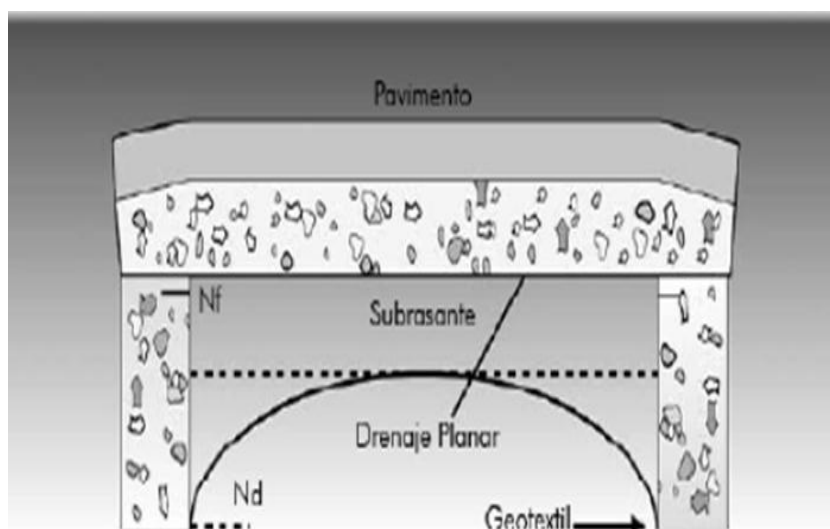
$Aa = 21,12$

$$Q_T = Q_{inf} + Q_{NF} =$$

$0,002104 \text{ m}^3/\text{seg}$

Tramo	lonngitud(m)	Caudal por tramo			Caudal acum (m3/seg)
		Q_{inf} (m3/seg)	Q_{NF} (m3/seg)	Q_T (m3/seg)	
16+200	44	0,00016	0,001941	0,00210	0,002104

Figura 3.4.7.1 sección transversal de sistemas de subdrenes laterales en una vía



Fuente Drenaje superficial y subterráneo (Ing. Lemos Rodrigo)

DIAMETRO DE LA TUBERIA DE DRENAJE:

DISEÑO DE LA TUBERIA.-

Formila de Manning.-

$$Q = V * A$$

Q= Caudal en metros cubicos por segundo (m3/seg)

V= Velocidad del flujo (m/seg)

A= Area de la seccion transversal (m2)

Formula de Manning para calcular velocidad de caudal de canales abiertos y drenaje

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

D= 0,1 m

Norma Bolivia 688

v= 5,882496 m/seg

V= Velocidad de descarga (m/seg)

n= coeficiente de rugosidad (tabla 3.4.2.3)

$$0.7 \frac{m}{seg} < v < 4 \frac{m}{seg} \quad \text{OK}$$

S= }

R= Radio hidraulico (m)

Norma Bolivia 688

$$R = \frac{A}{P}$$

A= Area de la seccion del cauce (m2)

P= perimetro mojado (m)

$$Q = \frac{1}{n} * A * R^{2/3} * S^{1/2}$$

Formula de Manning

Fuente Hidráulica de canales (Máximo Villon)

$$D = \sqrt[8]{\left(\frac{10.0793684 * Q * n}{\pi * \sqrt{S}}\right)^3}$$

Q= 0,00828 m3/seg

n= 0,013

tabla 3.4.2.3

S= 0,8 m/m

Manual de hidrología y drenaje (ABC)

D= 0,0524934 m

diametro minimo 4"

D= 2,0666705 plg

Diametro comercial=

4

pulg

diametro comercial

DISEÑO DE LOS ORIFICIOS DE LA TUBERIA COLECTORA:

CALCULO DEL DIAMETRO DE LA PERFORACION.-

Para el caso de la tubería en la mayoría de los subdrenos con material filtro se utiliza un tubo colector perforado que se coloca en parte inferior de la zanja embebido en el material filtrante. En cuanto al tamaño de los orificios del tubo recolector, el U.S Army Corps of Engineers (1953), recomienda la siguiente relación entre el tamaño del filtro y el ancho del orificio.

tamaño de orificios de la tuberia colector

Para huecos circulares

Manual de hidrología y drenaje (ABC)

donde:

$$\frac{D_{85 \text{ filtro}}}{\text{Diametro}} > 1$$

D85= Tamaño tal, que el 85% en peso del suelo, sea igual o menor dato de la curva granulometrica del material de filtro (Grava)

asumiendo

D85=
D=

28,38 mm Filtro
10 mm

$$\frac{D_{85 \text{ filtro}}}{\text{Diametro}} > 1$$

2,838 > 1 ok

CALCULO DEL NUMERO DE ORIFICIOS TRANSVERSALES Y LONGITUDINALES PARA LA TUBERIA COLECTORA

CALCULO DEL NUMERO Y DIAMETRO DE LAS PERFORACIONES AREA ABIERTA.-

Area abierta por unidad de longitud del conducto (m2/m).

$$A = \frac{Q}{V_e * C_c}$$

El Programa Nacional de Riego PRONAR

donde:

A= 0,0046 m2/m
Q= 0,00019 m3/seg*m
Vc= 0,0750 m/seg
Cd= 0,5500 adm

A= Area abierta por unidad de longitud del conducto (m2/m)
Q= Caudal unitario de diseño por unidad de longitud (m3/seg*m)
Ve= Velocidad de entrada (m/seg)

$$2.5 \frac{cm}{seg} \leq Vc \leq 10 \frac{cm}{seg}$$

Adoptamos lo recomend: 0,075

Cc= Coeficiente de contraccion recomendado: 0,55

AREA DE UNA PERFORACION.-

Si: $D = 10 \text{ mm}$
 $A = 0,000079 \text{ m}^2$

$$A = \frac{\pi * D^2}{4}$$

NUMERO DE PERFORACIONES.-

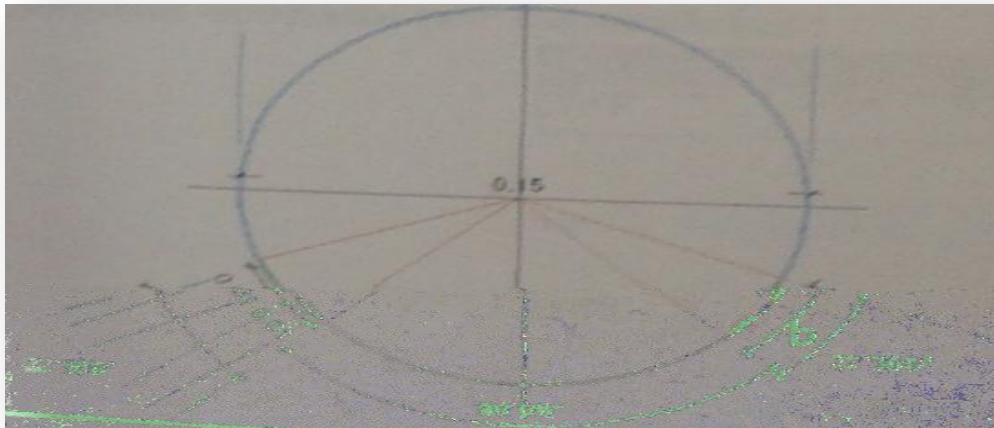
$$N_{\text{perforaciones}} = \frac{\text{Area abierta}}{\text{Area de una perforacion}}$$

A abierta= $0,0046 \text{ m}^2/\text{m}$

A perforada= $0,000079 \text{ m}^2$

$N_{\text{perforaciones}} = 58 \text{ perforacion/ml}$

DISTRIBUCION DE LAS PERFORACIONES.-



N de oroficios en total= **4** unidades

longitud de la secciones=

$$b = \frac{\pi}{180} * R * \alpha$$

R= $0,075 \text{ m}$

$\alpha = 22^\circ 30''$

$b = 0,03 \text{ mm}$

LONGITUD OCUPADA POR LOS OROFICIOS TRANSVERSALES.-

$$L_{ORF} = N_{ORF} * D_{ORF}$$

N de oroficios en un sector b= **2** unidad

D de oroficios = $0,01 \text{ mm}$

$L_{orf} = 0,02 \text{ mm}$

ESPACIAMIENTO A LO LARGO DE LA SECCION PERIMETRAL "b"

$$e_T = \frac{b - L_{ORF}}{N_{ORF}}$$

b= 0,03 m
Lorf= 0,02 m

N de oroficios en un sector "b" 2 unidad

et= 0,005 m

et= 0,5 cm

ESPACIAMIENTO LONGITUDINAL:

$$\#_{filas perforaciones} = \frac{N_{perforaciones}}{N_{orf. en total}}$$

N perf= 58 perf/ml
N de oroficios en total= 4 transversal

filas perf= 14,5290841

REDONDEAR

filas perf= 15,0 Perf/ml

LONGITUD OCUPADA POR LOS OROFICIOS: Para un metro de tubería

$$L_T = 1ml - \#_{perf} * D_{perf}$$

filas perf= 15,0 Perf/ml
D= 0,01 m

LT= 0,85 m

ESPACIAMIENTO:

$$e_L = \frac{L_T}{\#_{PERF} - 1}$$

LT= 0,85 m
perf= 15,0 unidad

el= 0,06 m

eL= 6,07 cm

PORCENTAJE DE AREA ABIERTA:

Se a establecido que el % para tuberia PVC, el Area Abierta Maxima este comprendida.

$$3 < \% < 5$$

AREA DE UN 1ml DE TUBERIA:

$$A_{1ml} = \pi * D_{Tub} * 1ml$$

D= 0,15 m

$$A_{1ml} = 0,4712 \text{ m}^2$$

AREA ABIERTA:

$$Area\ Abierta = N_{perf} * \#_{perf} * \frac{\pi D^2}{4}$$

N de oroficios en total= 4 transversales
perf= 15,0 unidades
D orificio= 0,01 m

$$Area\ abierta = 0,0047 \text{ m}^2$$

PORCENTAJE:

$$\% = \frac{Area\ abierta}{A_{1ml}} * 100$$

A 1ml= 0,4712 m²

Area abierta= 0,0047 m²

$$\% = 1,000 \quad \text{OK}$$

MATERIAL GRANULAR PARA FILTRO:

El material filtro debe cumplir los siguientes objetivos:

- 1.- Impedir el paso de las partículas finas del suelo que se va a proteger. Se debe tener en cuenta que los drenes tratan de taponearse por el transporte y el depósito de las partículas más finas del suelo.
- 2.- Permitir la filtración rápida del agua, para cumplir con estos objetivos, el material filtro debe cumplir ciertos requisitos de granulometría. Los materiales deben ser suficientemente gruesos para facilitar el drenaje y suficientemente finos para evitar el paso del suelo que se va a proteger.

a) CRITERIO DE FILTRACION O PROTECCION CONTRA LA EROSION INTERNA.-

El propósito de un filtro es proteger el suelo contra la erosión interna y al mismo tiempo, permitir el paso del agua. En la literatura técnica se han presentado varias relaciones entre los diversos parámetros granulométricos del suelo y del filtro, que se deben cumplir para garantizar su funcionamiento óptimo. En suelos granulares y limosos se establecen las siguientes relaciones entre el material del filtro y el suelo alrededor del filtro.

Basado en los ensayos realizados por Bertran, Terzaghi y Peck (1967) presenta la siguiente relación:

$$\frac{D_{15}(\text{filtro})}{D_{85}(\text{suelo})} \leq 4$$

Manual de hidrología y drenaje (ABC)

Filtro:

$$D_{15} = 0,29 \text{ mm}$$

$$0,014 \leq 4 \quad \text{OK}$$

Suelo:

$$D_{85} = 20,82 \text{ mm}$$

Algunas normas de instituciones recomiendan utilizar un límite de 5 para suelos bien graduados y de 6 para suelos uniformes, es decir:

para grava bien graduada:

Manual de hidrología y drenaje (ABC)

$$\frac{D_{15}(\text{filtro})}{D_{85}(\text{suelo})} \leq 5$$

$$0,014 \leq 5 \quad \text{OK}$$

De acuerdo con Geotechnical Engineering Office de Hong Kong, se debe cumplir, adicionalmente, las siguientes condiciones:

Manual de hidrología y drenaje (ABC)

$$\frac{D_{15}(\text{filtro})}{D_{15}(\text{suelo})} \leq 40$$

Filtro:

$$D_{15} = 0,29 \text{ mm}$$

Suelo:

$$D_{15} = 0,72 \text{ mm}$$

$$0,4027778 \leq 40 \quad \text{OK}$$

$$\frac{D_{50}(\text{filtro})}{D_{50}(\text{suelo})} \leq 25$$

Filtro:

$$D_{50} = 5,158 \text{ mm}$$

Suelo:

$$D_{50} = 7,93 \text{ mm}$$

$$0,65044136 \leq 25 \quad \text{OK}$$

b) PORCENTAJE DE FINOS.-

Es muy importante que el material del filtro no posea mas de un 5% de material que pase la malla 200, para evitar la migracion de finos del filtro hacia las tuberias de drenaje y para garantizar una permeabilidad suficiente a fin de que el agua drene facilmente.

Manual de hidrología y drenaje (ABC)

N° 200 > 5% Porcentaje que pasa del filtro

N° 200 = 6,93% Porcentaje que pasa del total del analisis granulometrico.

c) FORMA DE LA CURVAS DE GRADACION

Se debe evitar los filtros cuya gradacion tenga vacios de algunos tamaños de granos, osea los materiales con curvas granulometricas que presentan gradas.

El Geotechnical Engineering Office de Hong Kong recomienda que se cumpla las siguientes relaciones para evitar las segregacion.

Manual de hidrología y drenaje (ABC)

$$4 < \frac{D_{60}(\text{filtro})}{D_{10}(\text{suelo})} < 20$$

Filtro:

$D_{60} = 10,59 \text{ mm}$

Suelo:

$D_{10} = 0,28 \text{ mm}$

4 < 37,821429 < 20 OK

D85= 20,82 mm

D15= 0,72 mm

D60= 11,16 mm

D10= 0,28 mm

D50= 7,93 mm

D 50	1/3 h
D 60	1/3 h
D 85	1/3 h

H= 1,5 m

h= 1,4 m

PUNTO 6: CALCULOS Y RESULTADOS PROGRESIVA 15+180

1.-PRIMERA ALTERNATIVA DE SOLUCION:

MODULO DE DRENAJE.-

Es muy complicado, prácticamente imposible, conocer con exactitud el caudal que en un momento dado fluye hacia los drenes en un sistema de drenaje interno. Por eso es recomendable en estos casos adoptar caudales de diseño un poco excedidos a los caudales normalmente obtenidos con ayuda de fórmulas.

.Se propone entonces adoptar como caudales de diseño, aquel que finalmente es recibido por las tuberías de drenaje a la suma de dos caudales el proveniente de la escorrentía superficial que no alcanza a ser evacuada por la red de drenaje externo, y el segundo proveniente de un acuífero o del propio suelo saturado, ósea, en esta forma el módulo de drenaje quedara:

$$Dr = q + q_o \left(\frac{lt}{seg} * ml \right)$$

fuente:

drenaje vial superficial y subterráneo
(ing Lemos Rodrigo)

Dr= modulo de drenaje. Se puede dar en forma de lamina de agua o en forma de caudal.

q= Caudal de aportado por la escorrentia superficial.

qo= Caudal de aportado por un acuífero o por el suelo saturado.

1.-CALCULO DEL CAUDAL (q):

$$q = 0.00028 * (1 - C) * i * (B * 1 + S) * \frac{b}{B}$$

Cp=	coeficiente de escorrentia de la superficie aportada	0,38910275	adm
i=	Intensidad de la lluvia de diseño (mm)	161,68	mm/hrs
B=	Ancho de la calzada(m)	7,2	m
b=	Ancho de la berma (m)	0,85	m
S=	Superficie aportada (A=b*1ml)	20	m2
b=	Derecho de via (15-50 m)		

$$Cp = \frac{C_1 * A_1 + C_2 * A_2}{A_1 + A_2}$$

3,33

C1=	0,36	Coef. De vegetacion (cultivo de Bosques)Tabla 3.4.7.3
C2=	0,75	Coef. De Pavimento Tabla 3.4.7.4

A1=	1562,5	Area de aporte o cauce m2	144
A2=	126	Area de calzada por ml	

q= **0,088805** lt/seg*ml

2.-CALCULO DEL CAUDAL (qo):

$$q_o = \frac{\Delta F * B * 1m * (A - C)}{100 * S * 1 * t * f}$$

A=	Humedad del suelo a nivel saturado		
c=	Capacidad de campo del suelo		
(A-c)=	8%-20%	14	%
S=	Distancia entre los drenes en casi de tuberias paralelas (m)	7,2	m
ΔF=	Superficie a drenar entre los drenes (m2)	1,2	m2
ΔF=	Tambien puede ser la superficie de influencia de un dren en este caso S habria que tomar en cuenta este concepto.		
t=	Reprenta un dia de drenaje.	86400	seg
f=	Factor de correctivo del tiempo de drenaje (fraccion de un dia)	0,1	adm

la formula queda:

$$q_o = \frac{\Delta F * B * 1m * (A - C)}{8640 * S}$$

qo= 0,10080 lt/seg*ml

calculo del caudal de diseño:

$$Dr = q + q_o \left(\frac{lt}{seg} * ml \right)$$

3.-RESUMEN:

Tramo	lonngitud(m)	Caudal por tramo			acum (m3/seg)	unitario (m3/s*m)	DIAMETROS	
		q(lt/s*m)	qo (lt/s*m)	Dr(m3/s)			(Pulg)	(m)
15+180	35	0,088805	0,10080	0,006636	0,00664	0,00019	4	0,1016

Fuente elaboracion propia

ESTIMACION DEL CAUDAL DE DISEÑO:

los posibles caudales de aporte que conforman el caudal final, los caudales pueden afectar la estructura de un pavimento son:

A) CAUDAL POR INFILTRACION:

El agua de lluvia cae directamente en la carpeta del pavimento. Una parte de este inevitablemente se infiltra en la estructura del pavimento debido a que las carpetas de pavimento debido a que las carpetas de pavimento son tan rígidas como flexibles, no son impermeables en un 100% , por lo tanto el caudal de infiltración se calcula de la siguiente forma.

$$Q_{inf} = P * B * L * F * Fr$$

$$Q_{inf} = 0,00013 \text{ m}^3/\text{seg}$$

P=	precipitacion maxima horaria de frecuencia, anual registrada en la zona de proyecto.	9,87E-06 m/s
	Dato que se puede extraer de las curvas anexas a este documento, las cuales son las de intensidad-duracion-frecuencia para las diferentes zonas del territorio. Usualmente se toma el intervalo entre 60-120 minutos y se escoje la curva de 2 años como periodo como periodo de retorno. drenaje vial superficial y subteraneo (ing Lemos Rodrigo)	
B=	Para subdrenes longitudinales, B es la semibanca de la via (ancho de la via/2). Para el caso de subdrenes transversales, B es la distancia entre subdrenes.	4,5 m
L=	Longitud del tramo de drenaje.	35 m
Fi=	Factor de infiltracion(ver tabla 3.4.7.1)	0,25 adm
FR=	Factor de retencion de la base, refleja el hecho de las bases. dada su permeabilidad, entregan lentamente el agua al subdren.(tabla 3.4.7.2)	0,33 adm

B) CAUDAL POR ABATIMIENTO DEL NIVEL FREATICO:

En sitios donde el nivel freático o el agua proveniente a presión alcancen una altura tal, que supere el nivel de subrasante afectado a la estructura del pavimento, es necesario abatir este nivel de manera que no genere inconvenientes por exceso de aguas. El cálculo de este caudal se basa en los siguientes parámetros:

$$Q_{NF} = K * i * A_a$$

$$I = \frac{N_d - N_f}{B}$$

$$A_a = (N_d - N_f) * L$$

k=	Es el coef. De permeabilidad del suelo (prog15+180)	7,82E-04 m/s
i=	Es el gradiente hidraulico.	
Nd=	Cota inferior del subdren (ver figura 3.4.7.1)	1,5 m
Nf=	Cota superior del subdren (ver figura 3.4.7.1)	1,02 m
Aa=	Es el area efectiva para el caso de abatimiento del nivel freatico.	
B=	para subdrenes longitudinales, B es la semibanca de la via. Para el caso de subdrenes transversales, B es la distancia entre subdrenes	4,5 m
L=	Longitud del tramo de drenaje.	35 m

Una vez estimado los caudales de aporte al sistema se obtiene el caudales de diseño.

QNF= 0,00140 m3/seg

I= 0,1066667

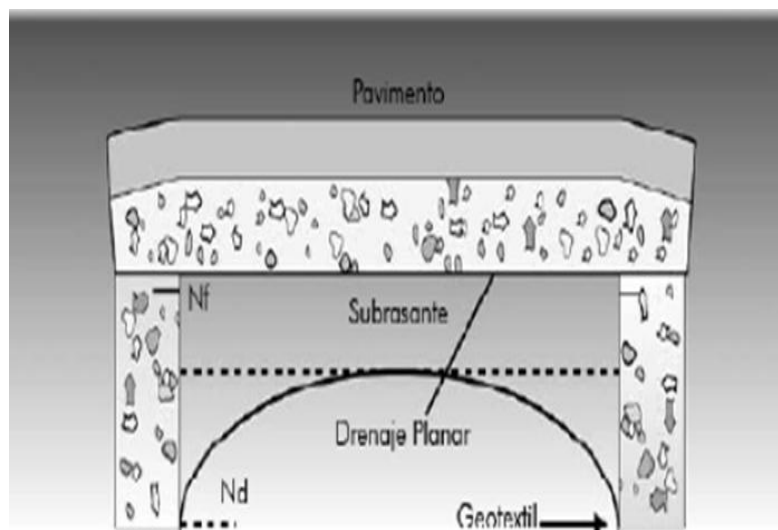
Aa= 16,8

$$Q_T = Q_{inf} + Q_{NF} =$$

0,00153071 m3/seg

Tramo	lonngitud(m)	Caudal por tramo			Caudal acum (m3/seg)
		Qinf (m3/seg)	QNF (m3/seg)	QT (m3/seg)	
15+180	35	0,00013	0,0014	0,0015	0,00153071

Figura 3.4.7.1 sección transversal de sistemas de subdrenes laterales en una vía



Fuente Drenaje superficial y subterráneo (Ing. Lemos Rodrigo)

DIAMETRO DE LA TUBERIA DE DRENAJE:

DISEÑO DE LA TUBERIA.-

Formila de Manning.-

$$Q = V * A$$

Q= Caudal en metros cubicos por segundo (m3/seg)

V= Velocidad del flujo (m/seg)

A= Area de la seccion transversal (m2)

Formula de Manning para calcular velocidad de caudal de canales abiertos y drenaje

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

D= **0,1** m Norma Bolivia 688

V= Velocidad de descarga (m/seg)

n= coeficiente de rugosidad (tabla 3.4.2.3)

S= Pendiente del cauce.

R= Radio hidraulico (m)

v= **3,08480697** m/seg

$$0.7 \frac{m}{seg} < v < 4 \frac{m}{seg} \quad \text{OK}$$

Norma Bolivia 688

$$R = \frac{A}{P}$$

A= Area de la seccion del cauce (m2)

P= perimetro mojado (m)

$$Q = \frac{1}{n} * A * R^{2/3} * S^{1/2}$$

Formula de Manning

Fuente Hidráulica de canales (Máximo Villon)

$$D = \sqrt[8]{\left(\frac{10.0793684 * Q * n}{\pi * \sqrt{S}}\right)^3}$$

Q= **0,00664** m3/seg

n= **0,013** tabla 3.4.2.

S= **0,22** m/m

Manual de hidrología y drenaje (ABC)

D= 0,061532 m diametro minimo 4"

D= 2,422514 plg

diametro comercial

Diametro comercial= **4** pulg

DISEÑO DE LOS ORIFICIOS DE LA TUBERIA COLECTORA:

CALCULO DEL DIAMETRO DE LA PERFORACION.-

Para el caso de la tubería en la mayoría de los subdrenos con material filtro se utiliza un tubo colector perforado que se coloca en parte inferior de la zanja embebido en el material filtrante. En cuanto al tamaño de los orificios del tubo recolector, el U.S Army Corps of Engineers (1953), recomienda la siguiente relación entre el tamaño del filtro y el ancho del orificio.

tamaño de orificios de la tubería colector

Para huecos circulares

Manual de hidrología y drenaje (ABC)
donde:

$$\frac{D_{85 \text{ filtro}}}{\text{Diametro}} > 1$$

D85= Tamaño tal, que el 85% en peso del suelo, sea igual o menor dato de la curva granulometrica del material de filtro (Grava)

asumiendo **D85=** 28,38 mm Filtro
D= 10 mm

$$\frac{D_{85 \text{ filtro}}}{\text{Diametro}} > 1$$

2,838 > 1 ok

CALCULO DEL NUMERO DE ORIFICIOS TRANSVERSALES Y LONGITUDINALES PARA LA TUBERIA COLECTORA

CALCULO DEL NUMERO Y DIAMETRO DE LAS PERFORACIONES AREA ABIERTA.-

Area abierta por unidad de longitud del conducto (m²/m).

$$A = \frac{Q}{V_e * C_c}$$

El Programa Nacional de Riego PRONAR

donde:

A= 0,0046 m²/m
Q= 0,00019 m³/seg*m
Vc= 0,0750 m/seg
Cd= 0,5500 adm

A= Area abierta por unidad de longitud del conducto (m²/m)

Q= Caudal unitario de diseño por unidad de longitud (m³/seg*m)

Ve= Velocidad de entrada (m/seg)

$$2.5 \frac{cm}{seg} \leq V_c \leq 10 \frac{cm}{seg} \quad \text{Adoptamos lo recom} \quad 0,075$$

Cc= Coeficiente de contraccion recomendado: 0,55

AREA DE UNA PERFORACION.-

Si: $D = 10 \text{ mm}$
 $A = 0,00008 \text{ m}^2$

$$A = \frac{\pi * D^2}{4}$$

NUMERO DE PERFORACIONES.-

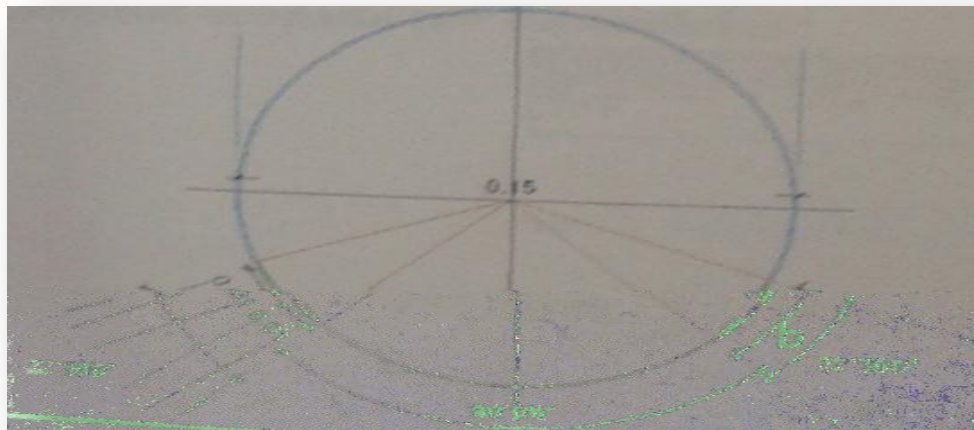
$$N_{\text{perforaciones}} = \frac{\text{Area abierta}}{\text{Area de una perforacion}}$$

A abierta= $0,0046 \text{ m}^2/\text{m}$

A perforada= $0,00008 \text{ m}^2$

$N_{\text{perforaciones}} = 59 \text{ perforacion/ml}$

DISTRIBUCION DE LAS PERFORACIONES.-



N de oroficios en total= **4** unidades

longitud de la secciones=

$$b = \frac{\pi}{180} * R * \alpha$$

R= $0,075 \text{ m}$

$\alpha = 22^\circ 30''$

$b = 0,03 \text{ mm}$

LONGITUD OCUPADA POR LOS OROFICIOS TRANSVERSALES.-

$$L_{ORF} = N_{ORF} * D_{ORF}$$

N de oroficios en un sector b= **2** unidad

D de oroficios = $0,01 \text{ mm}$

$L_{orf} = 0,02 \text{ mm}$

ESPACIAMIENTO A LO LARGO DE LA SECCION PERIMETRAL "b"

$$e_T = \frac{b - L_{ORF}}{N_{ORF}}$$

b= 0,03 m
Lorf= 0,02 m

N de oroficios en un sector "b" 2 unidad

et= 0,005 m

et= 0,5 cm

ESPACIAMIENTO LONGITUDINAL:

$$\#_{filas perforaciones} = \frac{N_{perforaciones}}{N_{orf. en total}}$$

N perf= 59 perf/ml
N de oroficios en total= 4 transversal

filas perf= 14,6311

REDONDEAR

filas perf= 15,0 Perf/ml

LONGITUD OCUPADA POR LOS OROFICIOS: Para un metro de tubería

$$L_T = 1ml - \#_{perf} * D_{perf}$$

filas perf: 15,0 Perf/ml
D= 0,01 m

LT= 0,85 m

ESPACIAMIENTO:

$$e_L = \frac{L_T}{\#_{PERF} - 1}$$

LT= 0,85 m
perf= 15,0 unidad

el= 0,06 m

eL= 6,07 cm

PORCENTAJE DE AREA ABIERTA:

Se a establecido que el % para tubería PVC, el Area Abierta Maxima este comprendida.

$$3 < \% < 5$$

AREA DE UN 1ml DE TUBERIA:

$$A_{1ml} = \pi * D_{Tub} * 1ml$$

$$D = 0,15 \text{ m}$$

$$A_{1ml} = 0,4712 \text{ m}^2$$

AREA ABIERTA:

$$Area\ Abierta = N_{perf} * \#_{perf} * \frac{\pi D^2}{4}$$

$$N \text{ de oroficios en total} = 4 \text{ transversales}$$

$$\# \text{ perf} = 15,0 \text{ unidades}$$

$$D \text{ orificio} = 0,01 \text{ m}$$

$$Area \text{ abierta} = 0,0047 \text{ m}^2$$

PORCENTAJE:

$$\% = \frac{Area \text{ abierta}}{A_{1ml}} * 100$$

$$A_{1ml} = 0,4712 \text{ m}^2$$

$$Area \text{ abierta} = 0,0047 \text{ m}^2$$

$$\% = 3,004 \text{ OK}$$

MATERIAL GRANULAR PARA FILTRO:

El material filtro debe cumplir los siguientes objetivos:

- 1.- Impedir el paso de las partículas finas del suelo que se va a proteger. Se debe tener en cuenta que los drenes tratan de taponearse por el transporte y el depósito de las partículas más finas del suelo.
- 2.- Permitir la filtración rápida del agua, para cumplir con estos objetivos, el material filtro debe cumplir ciertos requisitos de granulometría. Los materiales deben ser suficientemente gruesos para facilitar el drenaje y suficientemente finos para evitar el paso del suelo que se va a proteger.

a) CRITERIO DE FILTRACION O PROTECCION CONTRA LA EROSION INTERNA.-

El propósito de un filtro es proteger el suelo contra la erosión interna y al mismo tiempo, permitir el paso del agua. En la literatura técnica se han presentado varias relaciones entre los diversos parámetros granulométricos del suelo y del filtro, que se deben cumplir para garantizar su funcionamiento óptimo.

En suelos granulares y limosos se establecen las siguientes relaciones entre el material del filtro y el suelo alrededor del filtro.

Basado en los ensayos realizados por Bertran, Terzaghi y Peck (1967) presenta la siguiente relación:

$$\frac{D_{15}(\text{filtro})}{D_{85}(\text{suelo})} \leq 4$$

Manual de hidrología y drenaje (ABC)

Filtro:
 $D_{15} = 0,29 \text{ mm}$

Suelo:
 $D_{85} = 14,96 \text{ mm}$

0,019 ≤ 4 OK

Algunas normas de instituciones recomiendan utilizar un límite de 5 para suelos bien graduados y de 6 para suelos uniformes, es decir:

para grava bien graduada:
 Manual de hidrología y drenaje (ABC)

$$\frac{D_{15}(\text{filtro})}{D_{85}(\text{suelo})} \leq 5$$

0,019 ≤ 5 OK

De acuerdo con Geotechnical Engineering Office de Hong Kong, se debe cumplir, adicionalmente, las siguientes condiciones:

Manual de hidrología y drenaje (ABC)

$\frac{D_{15}(\text{filtro})}{D_{15}(\text{suelo})} \leq 40$ Filtro: $D_{15} = 0,29 \text{ mm}$ Suelo: $D_{15} = 0,61 \text{ mm}$ 0,4754098 ≤ 40 OK	$\frac{D_{50}(\text{filtro})}{D_{50}(\text{suelo})} \leq 25$ Filtro: $D_{50} = 5,158 \text{ mm}$ Suelo: $D_{50} = 3,62 \text{ mm}$ 1,42486 ≤ 25 OK
---	--

b) PORCENTAJE DE FINOS.-

Es muy importante que el material del filtro no posea mas de un 5% de material que pase la malla 200, para evitar la migracion de finos del filtro hacia las tuberias de drenaje y para garantizar una permeabilidad suficiente a fin de que el agua drene facilmente.

Manual de hidrología y drenaje (ABC)

N° 200 > 5% Porcentaje que pasa del filtro

N° 200 = 3,45% Porcentaje que pasa del total del analisis granulometrico.

c) FORMA DE LA CURVAS DE GRADACION

Se debe evitar los filtros cuya gradacion tenga vacios de algunos tamaños de granos, osea los materiales con curvas granulometricas que presentan gradas.

El Geotechnical Engineering Office de Hong Kong recomienda que se cumpla las siguientes relaciones para evitar las segregacion.

Manual de hidrología y drenaje (ABC)

$$4 < \frac{D_{60}(\text{filtro})}{D_{10}(\text{suelo})} < 20$$

Filtro:

$D_{60} = 10,59 \text{ mm}$

Suelo:

$D_{10} = 0,34 \text{ mm}$

4 < 31,14706 < 20 OK

D85= 14,96 mm

D15= 0,61 mm

D60= 5,04 mm

D10= 0,34 mm

D50= 3,62 mm

D 50	1/3 h
D 60	1/3 h
D 85	1/3 h

H= 1,5 m

h= 1,4 m

PUNTO 8: CALCULOS Y RESULTADOS PROGRESIVA 12+900

1.-PRIMERA ALTERNATIVA DE SOLUCION:

MODULO DE DRENAJE.-

Es muy complicado, prácticamente imposible, conocer con exactitud el caudal que en un momento dado fluye hacia los drenes en un sistema de drenaje interno. Por eso es recomendable en estos casos adoptar caudales de diseño un poco excedidos a los caudales normalmente obtenidos con ayuda de fórmulas.

.Se propone entonces adoptar como caudales de diseño, aquel que finalmente es recibido por las tuberías de drenaje a la suma de dos caudales el proveniente de la escorrentía superficial que no alcanza a ser evacuada por la red de drenaje externo, y el segundo proveniente de un acuífero o del propio suelo saturado, ósea, en esta forma el módulo de drenaje quedara:

$$Dr = q + q_o \left(\frac{lt}{seg} * ml \right)$$

fuente:
drenaje vial superficial y
subterráneo (ing Lemos Rodrigo)

Dr= modulo de drenaje.Se puede dar en forma de lamina de agua o en forma de caudal.
q= Caudal de aportado por la escorrentia superficial.
qo= Caudal de aportado por un acuífero o por el suelo saturado.

1.-CALCULO DEL CAUDAL (q):

$$q = 0.00028 * (1 - C) * i * (B * 1 + S) * \frac{b}{B}$$

Cp=	coeficiente de escorrentia de la superficie aportada	0,38529223	adm
i=	Intensidad de la lluvia de diseño (mm)	161,68	mm/hrs
B=	Ancho de la calzada(m)	7,2	m
b=	Ancho de la berma (m)	0,85	m
S=	Superficie aportada (A=b*1ml)	20	m2
b=	Derecho de via (15-50 m)		

$$Cp = \frac{C_1 * A_1 + C_2 * A_2}{A_1 + A_2}$$

C1=	0,36	Coef. De vegetacion (cultivo de Bosques)Tabla 3.4.7.3
C2=	0,75	Coef. De Pavimento Tabla 3.4.7.4
A1=	2336	Area de aporte o cauce m2
A2=	162	Area de calzada por ml

q= 0,089359 lt/seg*ml

2.-CALCULO DEL CAUDAL (qo):

$$q_o = \frac{\Delta F * B * 1m * (A - C)}{100 * S * 1 * t * f}$$

A=	Humedad del suelo a nivel saturado	
c=	Capacidad de campo del suelo	
(A-c)=	8%-20%	14 %
S=	Distancia entre los drenes en casi de tuberias paralelas (m)	7,2 m
ΔF=	Superficie a drenar entre los drenes (m2)	1,2 m2
ΔF=	Tambien puede ser la superficie de influencia de un dren en este caso S habria que tomar en cuenta este concepto.	
t=	Reprenta un dia de drenaje.	86400 seg
f=	Factor de correctivo del tiempo de drenaje (fraccion de un dia)	0,1 adm

la formula queda:

$$q_o = \frac{\Delta F * B * 1m * (A - C)}{8640 * S}$$

qo= 0,10080 lt/seg*ml

calculo del caudal de diseño:

$$Dr = q + q_o \left(\frac{lt}{seg} * ml \right)$$

3.-RESUMEN:

Tramo	lonngitud(m)	Caudal por tramo			Caudal acum (m3/seg)	caudal unitario (m3/s*m)	DIAMETROS	
		q(lt/s*m)	qo (lt/s*m)	Dr(m3/s)			(Pulg)	(m)
12+900	45	0,0893590	0,10080	0,0085572	0,0085572	0,00019	4	0,1016

Fuente elaboracion propia

ESTIMACION DEL CAUDAL DE DISEÑO:

los posibles caudales de aporte que conforman el caudal final, los caudales pueden afectar la estructura de un pavimento son:

A) CAUDAL POR INFILTRACION:

El agua de lluvia cae directamente en la carpeta del pavimento. Una parte de este inevitablemente se infiltra en la estructura del pavimento debido a que las carpetas de pavimento debido a que las carpetas de pavimento son tan rígidas como flexibles, no son impermeables en un 100% , por lo tanto el caudal de infiltración se calcula de la siguiente forma.

$$Q_{inf} = P * B * L * F * Fr$$

$$Q_{inf} = 0,00020 \text{ m}^3/\text{seg}$$

P=	precipitacion maxima horaria de frecuencia, anual registrada en la zona de proyecto.	9,87E-06 m/s
	Dato que se puede extraer de las curvas anexas a este documento, las cuales son las de intensidad-duracion-frecuencia para las diferentes zonas del territorio. Usualmente se toma el intervalo entre 60-120 minutos y se elige la curva de 2 años como periodo como periodo de retorno. drenaje vial superficial y subterráneo (ing Lemos Rodrigo)	
B=	Para subdrenes longitudinales, B es la semibanca de la via (ancho de la via/2). Para el caso de subdrenes transversales, B es la distancia entre subdrenes.	4,5 m
L=	Longitud del tramo de drenaje.	45 m
Fi=	Factor de infiltracion(ver tabla 3.4.8.1)	0,4 adm
FR=	Factor de retencion de la base, refleja el hecho de las bases. dada su permeabilidad, entregan lentamente el agua al subdren.(tabla 3.4.8.2)	0,25 adm

B) CAUDAL POR ABATIMIENTO DEL NIVEL FREATICO:

En sitios donde el nivel freático o el agua proveniente a presión alcancen una altura tal, que supere el nivel de subrasante afectado a la estructura del pavimento, es necesario abatir este nivel de manera que no genere inconvenientes por exceso de aguas. El cálculo de este caudal se basa en los siguientes parámetros:

$$Q_{NF} = K * i * A_a$$

$$I = \frac{N_d - N_f}{B}$$

$$A_a = (N_d - N_f) * L$$

k=	Es el coef. De permeabilidad del suelo (prog12+900)	1,02E-03 m/s
i=	Es el gradiente hidraulico.	
Nd=	Cota inferior del subdren (ver figura 3.4.7.1)	1,5 m
Nf=	Cota superior del subdren (ver figura 3.4.7.1)	1,02 m
Aa=	Es el area efectiva para el caso de abatimiento del nivel freatico.	
B=	para subdrenes longitudinales, B es la semibanca de la via. Para el caso de subdrenes transversales, B es la distancia entre subdrenes	4,5 m
L=	Longitud del tramo de drenaje.	45 m

Una vez estimado los caudales de aporte al sistema se obtiene el caudales de diseño.

$Q_{NF} = 0,00235 \text{ m}^3/\text{seg}$

$I = 0,1066667$

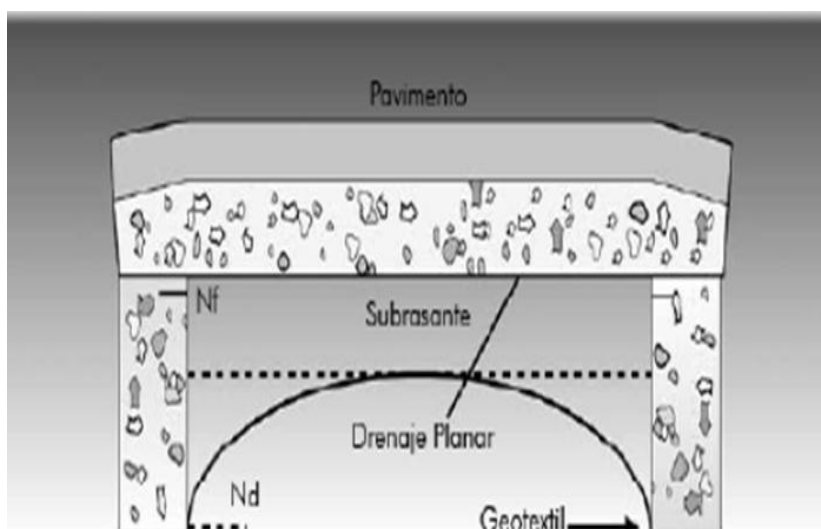
$Aa = 21,6$

$$Q_T = Q_{inf} + Q_{NF} =$$

$0,002547 \text{ m}^3/\text{seg}$

Tramo	lonngitud(m)	Caudal por tramo			Caudal acum (m3/seg)
		Q_{inf} (m3/seg)	Q_{NF} (m3/seg)	Q_T (m3/seg)	
12+900	45	0,00020	0,002347	0,00255	0,00254712

Figura 3.4.7.1 sección transversal de sistemas de subdrenes laterales en una vía



Fuente Drenaje superficial y subterráneo (Ing. Lemos Rodrigo)

DIAMETRO DE LA TUBERIA DE DRENAJE:

DISEÑO DE LA TUBERIA.-

Formila de Manning.-

$$Q = V * A$$

Q= Caudal en metros cubicos por segundo (m3/seg)

V= Velocidad del flujo (m/seg)

A= Area de la seccion transversal (m2)

Formula de Manning para calcular velocidad de caudal de canales abiertos y drenaje

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

D= **0,1** m Norma Bolivia 688

V= Velocidad de descarga (m/seg)

n= coeficiente de rugosidad (tabla 3.4.2.3)

S= Pendiente del cauce.

R= Radio hidraulico (m)

v= **1,860209** m/seg

$$0.7 \frac{m}{seg} < v < 4 \frac{m}{seg} \text{ OK}$$

Norma Bolivia 688

$$R = \frac{A}{P}$$

A= Area de la seccion del cauce (m2)

P= perimetro mojado (m)

$$Q = \frac{1}{n} * A * R^{2/3} * S^{1/2}$$

Formula de Manning

Fuente Hidráulica de canales (Máximo Villon)

$$D = \sqrt[8]{\left(\frac{10.0793684 * Q * n}{\pi * \sqrt{S}}\right)^3}$$

Q= **0,00856** m3/seg

n= **0,013** tabla 3.4.2.3

S= **0,08** m/m

Manual de hidrología y drenaje (ABC)

D= 0,0818237 m diametro minimo 4"

D= 3,2214062 plg

Diametro comercial= **4** **pulg** diametro comercial

DISEÑO DE LOS ORIFICIOS DE LA TUBERIA COLECTORA:

CALCULO DEL DIAMETRO DE LA PERFORACION.-

Para el caso de la tubería en la mayoría de los subdrenes con material filtro se utiliza un tubo colector perforado que se coloca en parte inferior de la zanja embebido en el material filtrante. En cuanto al tamaño de los orificios del tubo recolector, el U.S Army Corps of Engineers (1953), recomienda la siguiente relación entre el tamaño del filtro y el ancho del orificio.

tamaño de orificios de la tubería colector

Para huecos circulares

Manual de hidrología y drenaje (ABC)

donde:

$$\frac{D_{85 \text{ filtro}}}{\text{Diametro}} > 1$$

D85= Tamaño tal, que el 85% en peso del suelo, sea igual o menor dato de la curva granulométrica del material de filtro (Grava)

asumiendo **D85=** 28,38 mm Filtro
D= 10 mm

$$\frac{D_{85 \text{ filtro}}}{\text{Diametro}} > 1$$

2,838 > 1 ok

CALCULO DEL NUMERO DE ORIFICIOS TRANSVERSALES Y LONGITUDINALES PARA LA TUBERIA COLECTORA

CALCULO DEL NUMERO Y DIAMETRO DE LAS PERFORACIONES AREA ABIERTA.-

Area abierta por unidad de longitud del conducto (m²/m).

$$A = \frac{Q}{V_e * C_c}$$

El Programa Nacional de Riego PRONAR

donde:

A= 0,0046 m²/m
Q= 0,00019 m³/seg*m
Vc= 0,0750 m/seg
Cd= 0,5500 adm

A= Area abierta por unidad de longitud del conducto (m²/m)

Q= Caudal unitario de diseño por unidad de longitud (m³/seg*m)

Ve= Velocidad de entrada (m/seg)

$$2.5 \frac{cm}{seg} \leq V_c \leq 10 \frac{cm}{seg}$$

Adoptamos lo recomend: 0,075

Cc= Coeficiente de contracción recomendado:

0,55

AREA DE UNA PERFORACION.-

Si: $D=$ 10 mm
 $A=$ 0,000079 m²

$$A = \frac{\pi * D^2}{4}$$

NUMERO DE PERFORACIONES.-

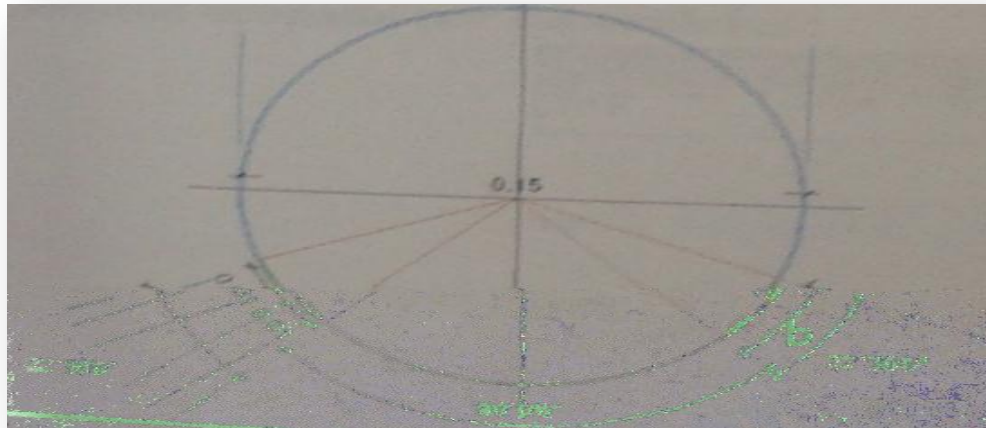
$$N_{\text{perforaciones}} = \frac{\text{Area abierta}}{\text{Area de una perforacion}}$$

A abierta= 0,0046 m²/m

A perforada= 0,000079 m²

$N_{\text{perforaciones}}=$ 59 perforacion/ml

DISTRIBUCION DE LAS PERFORACIONES.-



N de oroficios en total= 4 unidades

longitud de la secciones=

$$b = \frac{\pi}{180} * R * \alpha$$

R= 0,075 m

$\alpha=$ 22°30"

$b=$ 0,03 mm

LONGITUD OCUPADA POR LOS OROFICIOS TRANSVERSALES.-

$$L_{ORF} = N_{ORF} * D_{ORF}$$

N de oroficios en un sector b= 2 unidad

D de oroficios = 0,01 mm

L orf= 0,02 mm

ESPACIAMIENTO A LO LARGO DE LA SECCION PERIMETRAL "b"

$$e_T = \frac{b - L_{ORF}}{N_{ORF}}$$

b= 0,03 m
Lorf= 0,02 m

N de oroficios en un sector "b" 2 unidad

et= 0,005 m

et= 0,5 cm

ESPACIAMIENTO LONGITUDINAL:

$$\#_{\text{filas perforaciones}} = \frac{N_{\text{perforaciones}}}{N_{\text{orf. en total}}}$$

N perf= 59 perf/ml
N de oroficios en total= 4 transversal

filas perf= 14,673817

REDONDEAR

filas perf= 15,0 Perf/ml

LONGITUD OCUPADA POR LOS OROFICIOS: Para un metro de tubería

$$L_T = 1ml - \#_{perf} * D_{perf}$$

filas perf= 15,0 Perf/ml
D= 0,01 m

LT= 0,85 m

ESPACIAMIENTO:

$$e_L = \frac{L_T}{\#_{PERF} - 1}$$

LT= 0,85 m
perf= 15,0 unidad

el= 0,06 m

eL= 6,07 cm

PORCENTAJE DE AREA ABIERTA:

Se a establecido que el % para tuberia PVC, el Area Abierta Maxima este comprendida.

$$3 < \% < 5$$

AREA DE UN 1ml DE TUBERIA:

$$A_{1ml} = \pi * D_{Tub} * 1ml$$

D= 0,15 m

$$A_{1ml} = 0,4712 \text{ m}^2$$

AREA ABIERTA:

$$Area\ Abierta = N_{perf} * \#_{perf} * \frac{\pi D^2}{4}$$

N de oroficios en total= 4 transversales

perf= 15,0 unidades

D orificio= 0,01 m

$$Area\ abierta = 0,0047 \text{ m}^2$$

PORCENTAJE:

$$\% = \frac{Area\ abierta}{A_{1ml}} * 100$$

A 1ml= 0,4712 m²

Area abierta= 0,0047 m²

$$\% = 1,000 \quad \text{OK}$$

MATERIAL GRANULAR PARA FILTRO:

El material filtro debe cumplir los siguientes objetivos:

- 1.- Impedir el paso de las partículas finas del suelo que se va a proteger. Se debe tener en cuenta que los drenes tratan de taponearse por el transporte y el depósito de las partículas más finas del suelo.
- 2.- Permitir la filtración rápida del agua, para cumplir con estos objetivos, el material filtro debe cumplir ciertos requisitos de granulometría. Los materiales deben ser suficientemente gruesos para facilitar el drenaje y suficientemente finos para evitar el paso del suelo que se va a proteger.

a) CRITERIO DE FILTRACION O PROTECCION CONTRA LA EROSION INTERNA.-

El propósito de un filtro es proteger el suelo contra la erosión interna y al mismo tiempo, permitir el paso del agua. En la literatura técnica se han presentado varias relaciones entre los diversos parámetros granulométricos del suelo y del filtro, que se deben cumplir para garantizar su funcionamiento óptimo. En suelos granulares y limosos se establecen las siguientes relaciones entre el material del filtro y el suelo alrededor del filtro.

Basado en los ensayos realizados por Bertran, Terzaghi y Peck (1967) presenta la siguiente relación:

$$\frac{D_{15}(\text{filtro})}{D_{85}(\text{suelo})} \leq 4$$

Manual de hidrología y drenaje (ABC)

Filtro:
 $D_{15} = 0,29 \text{ mm}$

Suelo:
 $D_{85} = 24 \text{ mm}$

0,012 ≤ 4 OK

Algunas normas de instituciones recomiendan utilizar un límite de 5 para suelos bien graduados y de 6 para suelos uniformes, es decir:

para grava bien graduada:

$$\frac{D_{15}(\text{filtro})}{D_{85}(\text{suelo})} \leq 5$$

Manual de hidrología y drenaje (ABC)

0,012 ≤ 5 OK

De acuerdo con Geotechnical Engineering Office de Hong Kong, se debe cumplir, adicionalmente, las siguientes condiciones:

Manual de hidrología y drenaje (ABC)

$$\frac{D_{15}(\text{filtro})}{D_{15}(\text{suelo})} \leq 40$$

Filtro:
 $D_{15} = 0,29 \text{ mm}$

Suelo:
 $D_{15} = 0,67 \text{ mm}$

0,4328358 ≤ 40 OK

$$\frac{D_{50}(\text{filtro})}{D_{50}(\text{suelo})} \leq 25$$

Filtro:
 $D_{50} = 5,158 \text{ mm}$

Suelo:
 $D_{50} = 6,89 \text{ mm}$

0,7486212 ≤ 25 OK

b) PORCENTAJE DE FINOS.-

Es muy importante que el material del filtro no posea mas de un 5% de material que pase la malla 200, para evitar la migracion de finos del filtro hacia las tuberias de drenaje y para garantizar una permeabilidad suficiente a fin de que el agua drene facilmente.

Manual de hidrología y drenaje (ABC)

N° 200 > 5% Porcentaje que pasa del filtro

N° 200 = 2,10% Porcentaje que pasa del total del analisis granulometrico.

c) FORMA DE LA CURVAS DE GRADACION

Se debe evitar los filtros cuya gradacion tenga vacios de algunos tamaños de granos, osea los materiales con curvas granulometricas que presentan gradadas.

El Geotechnical Engineering Office de Hong Kong recomienda que se cumpla las siguientes relaciones para evitar las segregacion.

Manual de hidrología y drenaje (ABC)

$$4 < \frac{D_{60}(\text{filtro})}{D_{10}(\text{suelo})} < 20$$

Filtro:

$D_{60} = 10,593$ mm

Suelo:

$D_{10} = 0,33$ mm

4 < 32,1 < 20 OK

D85= 24 mm

D15= 0,67 mm

D60= 11,05 mm

D10= 0,33 mm

D50= 6,89 mm

D 50	1/3 h
D 60	1/3 h
D 85	1/3 h

H= 1,5 m

h= 1,4 m

PUNTO 9: CALCULOS Y RESULTADOS PROGRESIVA 12+280

1.-PRIMERA ALTERNATIVA DE SOLUCION:

MODULO DE DRENAJE.-

Es muy complicado, prácticamente imposible, conocer con exactitud el caudal que en un momento dado fluye hacia los drenes en un sistema de drenaje interno. Por eso es recomendable en estos casos adoptar caudales de diseño un poco excedidos a los caudales normalmente obtenidos con ayuda de fórmulas.

.Se propone entonces adoptar como caudales de diseño, aquel que finalmente es recibido por las tuberías de drenaje a la suma de dos caudales el proveniente de la escorrentía superficial que no alcanza a ser evacuada por la red de drenaje externo, y el segundo proveniente de un acuífero o del propio suelo saturado, ósea, en esta forma el módulo de drenaje quedara:

$$Dr = q + q_o \left(\frac{lt}{seg} * ml \right)$$

fuente:
drenaje vial superficial y subterráneo
(ing Lemos Rodrigo)

- Dr=** modulo de drenaje. Se puede dar en forma de lamina de agua o en forma de caudal.
q= Caudal de aportado por la escorrentia superficial.
qo= Caudal de aportado por un acuífero o por el suelo saturado.

1.-CALCULO DEL CAUDAL (q):

$$q = 0.00028 * (1 - C) * i * (B * 1 + S) * \frac{b}{B}$$

Cp=	coeficiente de escorrentia de la superficie aportada	0,3798152	adm
i=	Intensidad de la lluvia de diseño (mm)	161,68	mm/hrs
B=	Ancho de la calzada(m)	7,2	m
b=	Ancho de la berma (m)	0,85	m
S=	Superficie aportada (A=b*1ml)	20	m2
b=	Derecho de via (15-50 m)		

$$Cp = \frac{C_1 * A_1 + C_2 * A_2}{A_1 + A_2}$$

			3,33
C1=	0,36	Coef. De vegetacion (cultivo de Bosques)Tabla 3.4.7.3	
C2=	0,75	Coef. De Pavimento Tabla 3.4.7.4	
A1=	2055	Area de aporte o cauce m2	144
A2=	110	Area de calzada por ml	

q= 0,090155 lt/seg*ml

2.-CALCULO DEL CAUDAL (qo):

$$q_o = \frac{\Delta F * B * 1m * (A - C)}{100 * S * 1 * t * f}$$

A=	Humedad del suelo a nivel saturado	
c=	Capacidad de campo del suelo	
(A-c)=	8%-20%	14 %
S=	Distancia entre los drenes en casi de tuberias paralelas (m)	7,2 m
ΔF=	Superficie a drenar entre los drenes (m2)	1,2 m2
ΔF=	Tambien puede ser la superficie de influencia de un dren en este caso S habria que tomar en cuenta este concepto.	
t=	Reprenta un dia de drenaje.	86400 seg
f=	Factor de correctivo del tiempo de drenaje (fraccion de un dia)	0,1 adm

la formula queda:

$$q_o = \frac{\Delta F * B * 1m * (A - C)}{8640 * S}$$

qo= 0,10080 lt/seg*ml

calculo del caudal de diseño:

$$Dr = q + q_o \left(\frac{lt}{seg} * ml \right)$$

3.-RESUMEN:

Tramo	lonngitud(m)	Caudal por tramo			Caudal acum (m3/seg)	unitario (m3/s*m)	DIAMETROS	
		q(lt/s*m)	qo (lt/s*m)	Dr(m3/s)			(Pulg)	(m)
12+180	15	0,090155	0,10080	0,0028643	0,00286433	0,00019	4	0,1016

Fuente elaboracion propia

ESTIMACION DEL CAUDAL DE DISEÑO:

los posibles caudales de aporte que conforman el caudal final, los caudales pueden afectar la estructura de un pavimento son:

A) CAUDAL POR INFILTRACION:

El agua de lluvia cae directamente en la carpeta del pavimento. Una parte de este inevitablemente se infiltra en la estructura del pavimento debido a que las carpetas de pavimento debido a que las carpetas de pavimento son tan rígidas como flexibles, no son impermeables en un 100% , por lo tanto el caudal de infiltración se calcula de la siguiente forma.

$$Q_{inf} = P * B * L * F * Fr$$

$$Q_{inf} = 0,00007 \text{ m}^3/\text{seg}$$

P=	precipitacion maxima horaria de frecuencia, anual registrada en la zona de proyecto.	9,87E-06 m/s
	Dato que se puede extraer de las curvas anexas a este documento, las cuales son las de intensidad-duracion-frecuencia para las diferentes zonas del territorio. Usualmente se toma el intervalo entre 60-120 minutos y se elige la curva de 2 años como periodo como periodo de retorno.	
	drenaje vial superficial y subterráneo (ing Lemos Rodrigo)	
B=	Para subdrenes longitudinales, B es la semibanca de la vía (ancho de la vía/2). Para el caso de subdrenes transversales, B es la distancia entre subdrenes.	4,5 m
L=	Longitud del tramo de drenaje.	15 m
Fi=	Factor de infiltración(ver tabla 3.4.8.1)	0,4 adm
FR=	Factor de retención de la base, refleja el hecho de las bases. dada su permeabilidad, entregan lentamente el agua al subdren.(tabla 3.4.8.2)	0,25 adm

B) CAUDAL POR ABATIMIENTO DEL NIVEL FREÁTICO:

En sitios donde el nivel freático o el agua proveniente a presión alcancen una altura tal, que supere el nivel de subrasante afectado a la estructura del pavimento, es necesario abatir este nivel de manera que no genere inconvenientes por exceso de aguas. El cálculo de este caudal se basa en los siguientes parámetros:

$$Q_{NF} = K * i * A_a$$

$$I = \frac{N_d - N_f}{B}$$

$$A_a = (N_d - N_f) * L$$

k=	Es el coef. De permeabilidad del suelo (prog12+180)	1,03E-03 m/s
i=	Es el gradiente hidraulico.	
Nd=	Cota inferior del subdren (ver figura 3.4.7.1)	1,5 m
Nf=	Cota superior del subdren (ver figura 3.4.7.1)	1,02 m
Aa=	Es el area efectiva para el caso de abatimiento del nivel freatico.	
B=	para subdrenes longitudinales, B es la semibanca de la vía. Para el caso de subdrenes transversales, B es la distancia entre subdrenes	4,5 m
L=	Longitud del tramo de drenaje.	15 m

Una vez estimado los caudales de aporte al sistema se obtiene el caudales de diseño.

$Q_{NF} = 0,00079 \text{ m}^3/\text{seg}$

$I = 0,1066667$

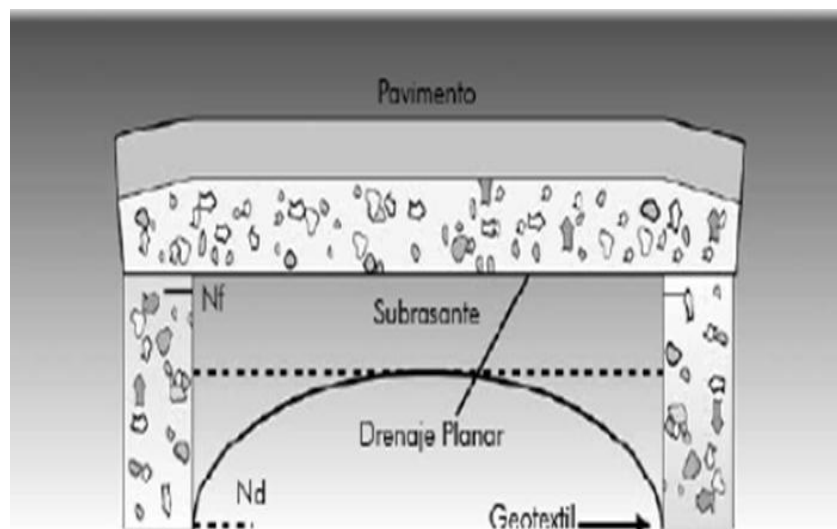
$Aa = 7,2$

$$Q_T = Q_{inf} + Q_{NF} =$$

$0,000861 \text{ m}^3/\text{seg}$

Tramo	longnitud(m)	Caudal por tramo			Caudal acum (m3/seg)
		Q_{inf} (m3/seg)	Q_{NF} (m3/seg)	Q_T (m3/seg)	
12+180	15	0,00007	0,000794	0,00086	0,000861

Figura 3.4.7.1 sección transversal de sistemas de subdrenes laterales en una vía



Fuente Drenaje superficial y subterráneo (Ing. Lemos Rodrigo)

DIAMETRO DE LA TUBERIA DE DRENAJE:

DISEÑO DE LA TUBERIA.-

Formila de Manning.-

$$Q = V * A$$

Q= Caudal en metros cubicos por segundo (m3/seg)

V= Velocidad del flujo (m/seg)

A= Area de la seccion transversal (m2)

Formula de Manning para calcular velocidad de caudal de canales abiertos y drenaje

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

D= **0,1** m Norma Bolivia 688

v= **1,860209** m/seg

V= Velocidad de descarga (m/seg)

n= coeficiente de rugosidad (tabla 3.4)

$$0.7 \frac{m}{seg} < v < 4 \frac{m}{seg} \quad \text{OK}$$

S= Pendiente del cauce.

R= Radio hidraulico (m)

Norma Bolivia 688

$$R = \frac{A}{P}$$

A= Area de la seccion del cauce (m2)

P= perimetro mojado (m)

$$Q = \frac{1}{n} * A * R^{2/3} * S^{1/2}$$

Formula de Manning

Fuente Hidráulica de canales (Máximo Villon)

$$D = \sqrt[8]{\left(\frac{10.0793684 * Q * n}{\pi * \sqrt{S}}\right)^3}$$

Q= **0,00286** m3/seg

n= **0,013**

S= **0,08** m/m

Manual de hidrología y drenaje (ABC)

D= 0,0542799 m

diametro minimo 4"

D= 2,1370047 plg

Diametro comercial=

4

pulg

DISEÑO DE LOS ORIFICIOS DE LA TUBERIA COLECTORA:

CALCULO DEL DIAMETRO DE LA PERFORACION.-

Para el caso de la tubería en la mayoría de los subdrenos con material filtro se utiliza un tubo colector perforado que se coloca en parte inferior de la zanja embebido en el material filtrante. En cuanto al tamaño de los orificios del tubo recolector, el U.S Army Corps of Engineers (1953), recomienda la siguiente relación entre el tamaño del filtro y el ancho del orificio.

Para huecos circulares
Manual de hidrología y drenaje (ABC)

$$\frac{D_{85 \text{ filtro}}}{\text{Diametro}} > 1$$

donde:

D85= Tamaño tal, que el 85% en peso del suelo, sea igual o menor dato de la curva granulometrica del material de filtro (Grava)

asumiendo **D85=** 28,38 mm Filtro
D= 10 mm

$$\frac{D_{85 \text{ filtro}}}{\text{Diametro}} > 1$$

2,838 > 1 ok

CALCULO DEL NUMERO DE ORIFICIOS TRANSVERSALES Y LONGITUDINALES PARA LA TUBERIA COLECTORA

CALCULO DEL NUMERO Y DIAMETRO DE LAS PERFORACIONES AREA ABIERTA.-

Area abierta por unidad de longitud del conducto (m²/m).

$$A = \frac{Q}{V_e * C_c}$$

El Programa Nacional de Riego PRONAR

donde:

A= 0,0046 m²/m
Q= 0,00019 m³/seg*m
Vc= 0,0750 m/seg
Cd= 0,5500 adm

A= Area abierta por unidad de longitud del conducto (m²/m)
Q= Caudal unitario de diseño por unidad de longitud (m³/seg*m)
Ve= Velocidad de entrada (m/seg)

$$2.5 \frac{cm}{seg} \leq Vc \leq 10 \frac{cm}{seg} \quad \text{Adoptamos lo recomendamos} \quad 0,075$$

Cc= Coeficiente de contraccion recomendado: 0,55

AREA DE UNA PERFORACION.-

Si: $D=$ 10 mm
 $A=$ 0,000079 m²

$$A = \frac{\pi * D^2}{4}$$

NUMERO DE PERFORACIONES.-

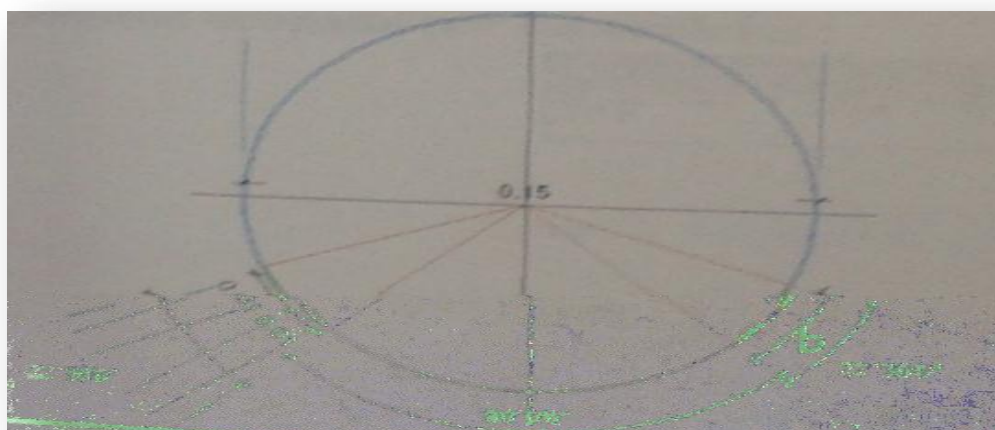
$$N_{\text{perforaciones}} = \frac{\text{Area abierta}}{\text{Area de una perforacion}}$$

A abierta= 0,0046 m²/m

A perforada= 0,000079 m²

$N_{\text{perforaciones}}=$ 59 perforacion/ml

DISTRIBUCION DE LAS PERFORACIONES.-



N de oroficios en total= 4 unidades

longitud de la secciones=

$$b = \frac{\pi}{180} * R * \alpha$$

R= 0,075 m

$\alpha=$ 22°30''

$b=$ 0,03 mm

LONGITUD OCUPADA POR LOS OROFICIOS TRANSVERSALES.-

$$L_{ORF} = N_{ORF} * D_{ORF}$$

N de oroficios en un sector b= 2 unidad

D de oroficios = 0,01 mm

$L_{orf}=$ 0,02 mm

ESPACIAMIENTO A LO LARGO DE LA SECCION PERIMETRAL "b"

$$e_T = \frac{b - L_{ORF}}{N_{ORF}}$$

b= 0,03 m
Lorf= 0,02 m

N de oroficios en un sector "b" 2 unidad

et= 0,005 m

et= 0,5 cm

ESPACIAMIENTO LONGITUDINAL:

$$\#_{filas perforaciones} = \frac{N_{perforaciones}}{N_{orf. en total}}$$

N perf= 59 perf/ml
N de oroficios en total= 4 transversal 60

filas perf= 14,7352548

REDONDEAR

filas perf= 15,0 Perf/ml

LONGITUD OCUPADA POR LOS OROFICIOS: Para un metro de tubería

$$L_T = 1ml - \#_{perf} * D_{perf}$$

filas perf= 15,0 Perf/ml
D= 0,01 m

LT= 0,85 m

ESPACIAMIENTO:

$$e_L = \frac{L_T}{\#_{PERF} - 1}$$

LT= 0,85 m
perf= 15,0 unidad

el= 0,06 m

eL= 6,07 cm

PORCENTAJE DE AREA ABIERTA:

Se a establecido que el % para tubería PVC, el Area Abierta Maxima este comprendida.

$$3 < \% < 5$$

AREA DE UN 1ml DE TUBERIA:

$$A_{1ml} = \pi * D_{Tub} * 1ml$$

D= 0,15 m

A 1ml= 0,4712 m2

AREA ABIERTA:

$$Area\ Abierta = N_{perf} * \#_{perf} * \frac{\pi D^2}{4}$$

N de oroficios en total= 4 transversales

perf= 15,0 unidades

D orificio= 0,01 m

Area abierta= 0,0047 m2

PORCENTAJE:

$$\% = \frac{Area\ abierta}{A_{1ml}} * 100$$

A 1ml= 0,4712 m2

Area abierta= 0,0047 m2

%= 3,004 OK

MATERIAL GRANULAR PARA FILTRO:

El material filtro debe cumplir los siguientes objetivos:

- 1.- Impedir el paso de las partículas finas del suelo que se va a proteger. Se debe tener en cuenta que los drenes tratan de taponearse por el transporte y el depósito de las partículas más finas del suelo.
- 2.- Permitir la filtración rápida del agua, para cumplir con estos objetivos, el material filtro debe cumplir ciertos requisitos de granulometría. Los materiales deben ser suficientemente gruesos para facilitar el drenaje y suficientemente finos para evitar el paso del suelo que se va a proteger.

a) CRITERIO DE FILTRACION O PROTECCION CONTRA LA EROSION INTERNA.-

El propósito de un filtro es proteger el suelo contra la erosión interna y al mismo tiempo, permitir el paso del agua. En la literatura técnica se han presentado varias relaciones entre los diversos parámetros granulométricos del suelo y del filtro, que se deben cumplir para garantizar su funcionamiento óptimo. En suelos granulares y limosos se establecen las siguientes relaciones entre el material del filtro y el suelo alrededor del filtro.

Basado en los ensayos realizados por Bertran, Terzaghi y Peck (1967) presenta la siguiente relación:

$$\frac{D_{15}(\text{filtro})}{D_{85}(\text{suelo})} \leq 4$$

Manual de hidrología y drenaje (ABC)

Filtro:

$$D_{15} = 0,29 \text{ mm}$$

$$0,010 \leq 4 \quad \text{OK}$$

Suelo:

$$D_{85} = 29,44 \text{ mm}$$

Algunas normas de instituciones recomiendan utilizar un límite de 5 para suelos bien graduados y de 6 para suelos uniformes, es decir:

para grava bien graduada:

Manual de hidrología y drenaje (ABC)

$$\frac{D_{15}(\text{filtro})}{D_{85}(\text{suelo})} \leq 5$$

$$0,010 \leq 5 \quad \text{OK}$$

De acuerdo con Geotechnical Engineering Office de Hong Kong, se debe cumplir, adicionalmente, las siguientes condiciones:

Manual de hidrología y drenaje (ABC)

$$\frac{D_{15}(\text{filtro})}{D_{15}(\text{suelo})} \leq 40$$

Filtro:

$$D_{15} = 0,29 \text{ mm}$$

Suelo:

$$D_{15} = 0,18 \text{ mm}$$

$$1,611111 \leq 40 \quad \text{OK}$$

$$\frac{D_{50}(\text{filtro})}{D_{50}(\text{suelo})} \leq 25$$

Filtro:

$$D_{50} = 5,158 \text{ mm}$$

Suelo:

$$D_{50} = 9,95 \text{ mm}$$

$$0,51839196 \leq 25 \quad \text{OK}$$

b) PORCENTAJE DE FINOS.-

Es muy importante que el material del filtro no posea mas de un 5% de material que pase la malla 200, para evitar la migracion de finos del filtro hacia las tuberias de drenaje y para garantizar una permeabilidad suficiente a fin de que el agua drene facilmente.

Manual de hidrología y drenaje (ABC)

N° 200 > 5% Porcentaje que pasa del filtro

N° 200 = 3,90% Porcentaje que pasa del total del analisis granulometrico.

c) FORMA DE LA CURVAS DE GRADACION

Se debe evitar los filtros cuya gradacion tenga vacios de algunos tamaños de granos, osea los materiales con curvas granulometricas que presentan gradas.

El Geotechnical Engineering Office de Hong Kong recomienda que se cumpla las siguientes relaciones para evitar las segregacion.

Manual de hidrología y drenaje (ABC)

$$4 < \frac{D_{60}(\text{filtro})}{D_{10}(\text{suelo})} < 20$$

Filtro:

$$D_{60} = 10,593 \text{ mm}$$

Suelo:

$$D_{10} = 0,24 \text{ mm}$$

$$4 < 44,1375 < 20 \quad \text{OK}$$

$$D_{85} = 29,44 \text{ mm}$$

$$D_{15} = 0,18 \text{ mm}$$

$$D_{60} = 14,72 \text{ mm}$$

$$D_{10} = 0,24 \text{ mm}$$

$$D_{50} = 9,95 \text{ mm}$$

D 50	1/3 h
D 60	1/3 h
D 85	1/3 h

$$H = 1,5 \text{ m}$$

$$h = 1,4 \text{ m}$$

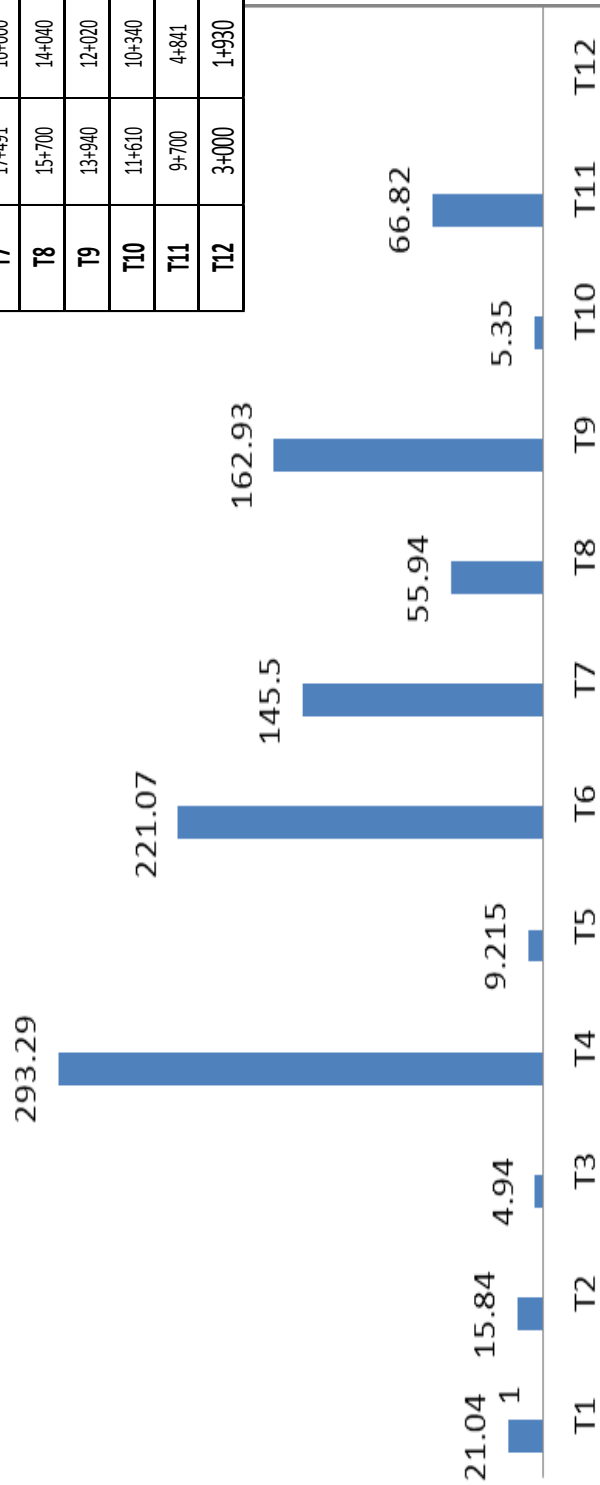
5.1.- Conclusiones

Después de haber utilizado una extensa bibliografía sobre las fallas prematuras por influencia del agua en las carreteras, cómo podemos determinar estas fallas visuales, del trabajo de investigación sacamos las siguientes conclusiones:

- ❖ Se realizó una extensiva revisión bibliográfica de las fallas prematuras en las carreteras, influencia del agua superficial y subterránea, el estudio de los suelos, los materiales como filtros, diseños de drenaje.
- ❖ Luego tomamos un modelo para evaluar toda la carretera MANUAL PARA LA INSPECCIÓN VISUAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES (República de Colombia, Ministerio de Transporte, Instituto Nacional de Vías). En este manual estudiamos fisuras, deformaciones, pérdida de capa estructural, daños superficiales y otros daños. Después de leer y comprender como es su metodología fuimos a la práctica, hicimos una planilla para la evaluación de las fallas, colocamos la progresiva de la falla, tipo de falla, severidad de la falla y dimensiones largo y ancho; una vez recorrido todo el tramo que son 31+600 km, comenzamos a procesar la información de la práctica donde aplicamos un método de áreas que nos indica en qué progresivas existe más fallas, que tipo de falla es el que más se presenta en todo el tramo de estudio. La importancia de estos gráficos es que nos indica en qué progresiva hay más fallas lo cual nos hace pensar que este método es un indicativo de la posición. Clasificar en qué tipo de falla se está presentando más; en nuestro caso hay parches con gran dimensión 45m largo y ancho 3.6m a lo largo de la carretera, pero en conclusión, esta primera etapa de evaluación del tramo de estudio nos dio varios parámetros para analizar qué es lo que está pasando en este tramo porque las fallas existen.

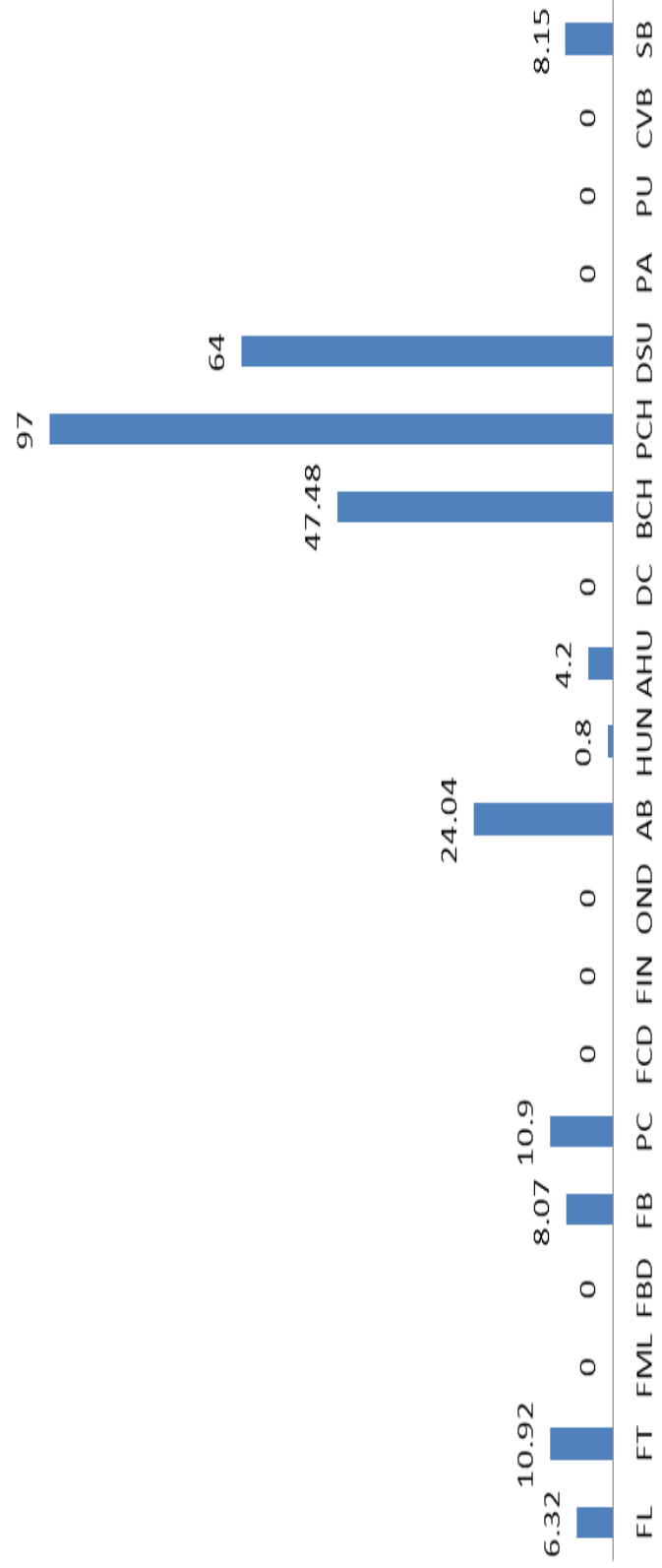
DETALLE DE LA GRAFICA DE AREA AFECTADA POR TRAMOS

TRAMO	ABSCISA		Area
	desde	hasta	
T1	31+400	29+000	21.04
T2	28+870	27+100	15.84
T3	26+193	24+930	4.94
T4	23+770	22+060	293.29
T5	21+440	20+400	9.215
T6	19+900	18+040	221.07
T7	17+491	16+000	145.5
T8	15+700	14+040	55.94
T9	13+940	12+020	162.93
T10	11+610	10+340	66.82
T11	9+700	4+841	5.35
T12	3+000	1+930	0



DISTRIBUCION DE LOS DAÑOS DE SEVERIDAD BAJA POR TIPO

■ AREA M2



Como se puede observar estos resultados salieron de la evaluación general del tramo TUNEL FALDA DE LA QUEÑUA CRUCE SAN LORENZO.

Después pasamos a un estudio de suelos donde queríamos ver en su interior de la estructura de la carretera en el análisis de los suelos:

- ❖ En esta segunda etapa marcamos 10 puntos de todo el tramo los puntos fueron los que más se destacaban su magnitud, de estos puntos cavamos una profundidad de 60 cm y recién extrajimos su muestra estos fueron llevado en bolsas a laboratorio de la universidad.
- ❖ como primer estudio fuimos clasificando según AASTHO y SUCS los diez pozos donde nos salían resultado muy coherentes con lo visual y teórico estos suelos tenían casi todos los pozos la misma clasificación lo cual nos hacía pensar que este tramo fue mejorado su suelo, pero dos puntos nos salieron críticos lo cual estábamos buscando en estos dos puntos nos dimos cuenta que ahí partes que mejoraron su suelos y algunos no:

Tabla 5.1.1 de resultados del estudio de suelos

Pozos	progresivas	Clasificación de suelos			CBR 100%	Coeficiente de permeabili- dad K
		AASTHO	SUCS			
1	Progresiva: 23+320	A-2-4	GW	suelo con alto contenido de material grueso, contienen limo y arcilla en cantidades reducidas cuya plasticidad es baja.	30	1.16E-03
2	Progresiva: 22+110	A-2-6	GW	suelo con alto contenido de material grueso, contienen limo y arcilla en cantidades reducidas cuya plasticidad es baja.	41	1.03E-03
3	Progresiva: 19+960	A-2-4	SW	Son gravas y arenas gruesas, que contienen limo y arcilla en cantidades reducidas cuya plasticidad es baja.	47	1.26E-3
4	Progresiva: 18+900	A-2-4	GW	Son gravas y arenas gruesas, que contienen limo y arcilla en cantidades reducidas cuya plasticidad es baja.	43	1.13E-03
5	Progresiva: 16+200	A-2-4	GW-GM	Considerados suelos con presencia relevante de limo inorgánico o arena fina contienen baja plasticidad o media.	22	8.62E-04
6	Progresiva: 15+180	A-2-4	SW	Son gravas y arenas gruesas, que contienen limo y arcilla en cantidades reducidas cuya plasticidad es baja.	48	1.05E-03
7	Progresiva: 13+331	A-6	CL	Arcilla inorgánica de baja plasticidad.	5	9.05E-05
8	Progresiva: 12+900	A-2-6	GW	suelo con alto contenido de material grueso, contienen limo y arcilla en cantidades reducidas cuya plasticidad es baja.	32	1.02E-03
9	Progresiva: 12+280	A-2-6	GW-GM	Son gravas y arenas que contienen limo arcilla en cantidades reducidas, cuya plasticidad es baja.	54	1.03E-03
10	Progresiva: 12+280	A-6	CL	Arcilla inorgánica de baja plasticidad.	9	9.56E-05

Fuente: Creación propia

Donde podemos observar en la siguiente tabla valores donde podíamos ver analizar cómo se estaba comportando estos suelos, cuando comenzamos hacer compactación nos daba valores de un suelo aluvial donde su densidad máxima era mayor de 2 y su contenida humedad menor a 10%, excepto eso dos puntos donde nos dio valores de humedad del 20% y su densidad menor a dos, entonces ya había un parámetro de cómo nos iba a salir los CBR y que si la teoría está bien entonces íbamos a llegar a resultados satisfactorios para comprobar que un material pésimo con un mal drenaje y un CBR pobre no es recomendable para un suelo de fundación tal es el caso de nuestro tramo de estudio porque es un material que se expande con el contactó del agua en esta parte hubo algunos problemas porque los estudiante de otras materias manipulaban los vástagos haciendo lectura mal.

Tabla 5.1.2 valores de los CBR

CBR	Clasificación general	usos	Sistema de Clasificación	
			Unificado	AASHTO
0 - 3	muy pobre	subrasante	OH,CH,MH,OL	A5,A6,A7
3 - 7	pobre a regular	subrasante	OH,CH,MH,OL	A4,A5,A6,A7
7 - 20	regular	sub-base	OL,CL,ML,SC	A2,A4,A6,A7
			SM,SP	
20 - 50	bueno	base,subbase	GM,GC,W,SM	A1b,A2-5,A3
			SP,GP	A2-6
> 50	excelente	base		A1-a,A2-4,A3

Fuente: Fundamento de la mecánica de suelos

Pero cuando teníamos que romper estos moldes que estaban sumergidos 4 días, en la lectura nos salían casi los mismos valores donde era otro parámetro que ya nos decía que en algunos puntos habían mejorado su suelo, los dos puntos que críticos nos daban valores muy bajo de CBR entonces era satisfactorio porque de esos puntos nacen la idea de las fallas prematuras por drenaje interno en la carreteras. Se podrían hacer más ensayos al drenaje interno pero se requiere equipos más sofisticados.

Los ensayo de permeabilidad fueron realizado con la ayuda de un compañero que su tema está relacionado con permeabilidad, cuando realizábamos este ensayo ya íbamos dando cuenta que estos valores eran buenos que tenían un buen drenaje porque el material está bien graduado lo cual era cierto por que la granulometría nos indicaba eso, pero cuando nos tocó esos dos puntos vimos ahí como es la diferencia entre suelo por que estos puntos tarda mucho más el ensayo:

Tabla 4.8.4 Coeficiente de permeabilidad K en cm/s

k en cm/s	10^2	10^1	1,0	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}
Drenaje			Bueno				Malo		Prácticamente impermeable			
Tipo de suelo	Grava limpia		Arenas limpias, mezclas arenoso gravosas limpias			Arenas muy finas, limos orgánicos e inorgánicos, mezclas de arena limosa y arcillas, depósitos glaciares, arcillas (piratigráficas, etc.		Suelos impermeables como arcillas homogéneas				
			Suelos impermeables por efecto de la vegetación y la intemperie									
Determinación directa de K	Realizar test de permeabilidad, directamente en el emplazamiento a estudiar. Para obtener resultados fidedignos se requiere mucha experiencia.											
	Obtener K mediante el permeámetro de carga constante. Se requiere poca experiencia.											
Determinación indirecta de K			Usar permeámetro de carga variable requiere poca experiencia			Con el permeámetro de carga decreciente, se requiere mucha experiencia.			Con el permeámetro de carga decreciente se requiere bastante experiencia por lo que es medianamente fiable.			
	Obtener K a partir de la curva granulométrica. Solo sirve para arenas y gravas poco cohesivas y limpias								Obtener K a partir de ensayos de consolidación. Se requiere bastante experiencia.			

Fuente: Casagrande Y R.E FADUM

Estos valores son un indicativo cuando un drenaje es bueno y cuando no es.

- ❖ Una vez estudiado el suelo y todo lo que son las fallas por drenaje interno proseguimos a tomar el criterio de cómo o que valores con un indicativo o

parámetro para ver la necesidad de subdrenes ya sea longitudinal, transversal, cama drenante, zanjas, trincheras etc.

Esta parte ya entrabamos al tema de drenajes subterráneos esta parte había muchas dudas de caudal de diseño para el dimensionamiento del dren pero según modelos y bibliografía podemos encontrar el caudal de diseño según las bibliografías (Drenaje superficial y subterráneo Ing. Lemos Rodrigo) es complicado asumir el caudal para eso se estima valores que sean coherentes uno de eso es MÓDULO DE DRENAJE que es la suma que del caudal aportado por la escorrentía superficial más el caudal aportado por un acuífero o por suelo saturado en este caudal es creíble porque nos da un diámetro de 4plg a 6plg según Manual de hidrología y drenaje (ABC) un diámetro mínimo es de 4plg.

Pero antes hicimos el estudio hidrológico con tres estaciones que: Sama Cumbre, Sama Iscayachi, Tucumillas, la idea era encontrar la precipitación de diseño con un periodo de vida útil de 25 años según están para diseño de drenes. Manual de hidrología y drenaje (ABC).

Una vez calculado estos diámetros teníamos que tener una granulometría que compruebe que las perforaciones de la tubería Iván a hacer los correctos se tomó como granulometría del rio Guadalquivir lo cual usamos para nuestros diseños posteriores, para los ocho puntos buenos, se trabajó comprobó entre suelo de cada punto con el de granulometría de rio Guadalquivir, pero los dos puntos malos se usó geo textiles donde el objetivo era de no dejar pasar material del suelo a la estructura de filtro así para que no erosione y colmate a los drenes.

Como otra alternativa se usó capa dren ante a lo largo de la falla este como mínimo tiene que tener un espeso de 20cm-30cm y una pendiente 2-3% este método es más constructivo y como filtro se usó el mismo de la cantera. Según Manual de hidrología y drenaje (ABC)

Otra opción como diseño de 3 zanjas pequeña colocada transversalmente en donde se estaba presentando estas fallas, esta zanja según datos de otros proyectos son dimensiones de 50cm ancho y 50cm de alto y se usó el mismo material de la cantera.

En conclusión:

- ❖ Se ha llegado a la hipótesis ante presencia de agua va a bajar la permeabilidad o va a subir la permeabilidad sí existe más drenaje interno entonces existirá menos fallas prematuras en la estructura de la carretera del tramo Túnel Falda de Queñua Cruce San Lorenzo.
- ❖ El objetivo general del proyecto se logró alcanzar ya que primero era evaluar todo el tramo y luego encontrar puntos críticos pero que estos puntos estén basados en un análisis de suelos lo cual hicimos y de estos puntos dar tres alternativas de diseño.
- ❖ Podemos decir en base a bastantes bibliografías estudiadas que si hubiese más en fase en diseño de drenes ya sea superficial y subterráneo estamos garantizando una mayor vida útil porque la carretera estará no al 100% pero si 90% sin ingreso de agua a la estructura.

5.2.-Recomendación

- ❖ Todas las bibliografías tienen mucha importancia ya que en ellos podemos observar o leer detalles que son la base de diseño y el criterio cuando podemos decir que las fallas prematuras fue por causa del agua.
- ❖ La instalación de subdrenes es de gran importancia para la preservación de una vía, pues permite interceptar el agua subterránea, agua de infiltración e incluso la conducción de aguas de escorrentía superficial.
- ❖ Para optimizar el funcionamiento del sistema de subdrenaje, se recomienda la colocación de obras de drenaje superficial tales como, cunetas de

coronación, drenes en espina de pescado, etc., y con ello reducir el caudal aportante al subdrenaje.

- ❖ Con la elaboración del presente trabajo es conveniente indicar o hacer notar la importancia que tiene un sistema de subdrenaje dentro de las carreteras, si bien es cierto, en un principio todos coinciden en que un subdrenaje es conveniente y beneficioso, sin embargo este tiene un costo y muchas de las veces es bastante elevado, razón por la cual se lo omite con mucha frecuencia, cabe recalcar la importancia que este sistema tiene por tanto independientemente del costo se lo debe colocar si las condiciones del medio así lo requieren.
- ❖ Será necesario también desarrollar un estudio geológico general del área en relación al agua subterránea, identificación de los posibles puntos de recarga ubicación de los estratos impermeables y características físicas de los acuíferos.
- ❖ Es importante hacer notar que para los tramos donde se requiera considerar un caudal de escorrentía superficial, este será mínimo pues en su mayor parte dicho caudal será captado por obras de drenaje superficial, además, para el diseño de este sistema de subdrenaje se considera un nivel freático sobre la subrasante, lo cual en caso de existir caudal de escorrentía superficial por efecto de saturación este será evacuado directamente hacia las cunetas.
- ❖ Se debe tener un amplio conocimiento de suelos sus propiedades físicas, químicas y cómo podemos clasificarlos.
- ❖ Cuando se vaya hacer otro trabajo de investigación al tramo túnel falda de la Queñua hay que tener mucho en cuenta las movilidades ya que es muy peligroso andar en la vía, o secar de la berma en lo posible es ir entre dos personas.