DISEÑO DE PAVIMENTO PARA EL MEJORAMIENTO DE VÍAS TERCIARIAS EN EL MUNICIPIO DE VALLEDUPAR, DEPARTAMENTO DEL CESAR

VÍAS QUE COMUNICAN A LOS CORREGIMIENTO DE ATÁNQUEZ – GUATAPURÍ, RESGUARDO INDÍGENA KANKUAMO

DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO

CONSULTOR: ING. ALEX ROJAS

DEPARTAMENTO DEL CESAR

ORIGINAL

ESTADO DE REVISIÓN Y APROBACIÓN

DISEÑO DE PAVIMENTO PARA EL MEJORAMIENTO DE VIAS TERCIARIAS EN EL MUNICIPIO DE VALLEDUPAR, DPTO DEL CESAR. VIAS QUE COMUNICAN AL CORREGIMIENTO DE ATÁNQUEZ			
	Elaboró	Nombre	Alex Rojas
		Firma	
		Fecha	Enero de 2018
	Revisó	Nombre	
		Firma	
		Fecha	
	Aprobó	Nombre	
		Firma	
		Fecha	

CONTENIDO

CAPITULO I 8
OBJETIVOS, ALCANCE Y METODOLOGÍA 8
1.1 JUSTIFICACIÓN 8
1.2 OBJETIVOS 8
1.3 ALCANCE 8
1.4 METODOLOGÍA 8
1.5 TIPO DE PAVIMENTO PROPUESTO 9
1.5.1 Placa Huella 9
1.5.2 Características especiales 9
1.5.3 Materiales a utilizar 10
CAPITULO II 11
GENERALIDADES DEL AREA DE ESTUDIO 11
2.1 GENERALIDADES 11
2.1 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO 11
2.1.1 El Departamento del Cesar 11
2.1.2 El municipio de Valledupar 12
2.1.3 Corregimiento De Atánquez 14
2.1.4 Corregimiento De Guatapurí 15
2.2 CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA 17
2.2.1 Pisos Térmicos 17
2.2.2 Temperatura 17
2.2.3 Humedad Relativa 17
2.2.4 Precipitaciones 17
2.2.5 Vientos 18
2.3 HIDROLOGÍA 18
2.4 FISIOGRAFÍA 18
2.5 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS SUELOS 19

2.6 GEOLOGÍA 19
2.6.1 Tectónica 20
CAPITULO III 21
DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO PARA EL PROYECTO 21
3.1 METODOLOGÍA DE LA PCA 21
3.2 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA 22
3.2.1 Subrasante 22
3.2.2 Periodo de Diseño 23
3.2.3 Subbase Granular 23
3.2.4 Tránsito de Diseño 23
3.2.5 Factor de seguridad de carga 24
3.2.6 Propiedades del concreto 24
3.2.7 Módulo de reacción K de la superficie en que se apoya el Pavimento 25
3.3 DETERMINACIÓN DE LOS ESPESORES DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO 27
3.4 CONSIDERACIONES ESPECIALES 29
3.4.1 Separación entre juntas transversales 29
3.4.2 Armadura requerida en el sentido longitudinal 31
3.4.3 Armadura Transversal 31
3.4.4 Riostras o Viguetas de anclaje 31
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 32

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Condiciones geotécnicas para el diseño 23
Tabla 2. Módulo de ruptura 24
Tabla 3. Espesores mínimos recomendados de subbase granular 25
Tabla 4. Relación entre el CBR y el Módulo de Reacción K del Conjunto 26
Tabla 5. Valores de K del conjunto Subrasante subbase granular 26
Tabla 6. Espesores de losa requerido y espesor real 28

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Modelo de placa Huella 9
Figura 2. Localización departamento del Cesar 12
Figura 3. Localización municipio de Valledupar 13
Figura 4. Localización del Corregimiento de Atánquez 14
Figura 5. Tectónica del sector 20
Figura 6. Determinación de espesores de concreto hidráulico, Unidad de Diseño 1 28
Figura 7 Detalle viga riostra 31

INTRODUCCIÓN

En atención a las necesidades de mejorar la infraestructura Vial de los corregimientos de Guatapurí y Atánquez, así como permitir la integración con otros centros poblacionales, se pretende en el presente documento, diseñar la estructura de pavimento de dos tramos de pavimentos que se construirán dentro de estas comunidades.

Actualmente el corredor vial es de difícil acceso, presentando tramos con pendientes longitudinales superiores al 15% y una superficie en muy mal estado, por lo que se requiere de manera urgente mejorar las condiciones de transpirabilidad y desplazamiento de la población asentada en la zona de influencia del proyecto.

Las vías son el alma del desarrollo y la agricultura es la base de la economía. Vías y agricultura van entrelazadas pues sin ellas el campesino se hunde en pobreza y los habitantes de las zonas urbanas estarán consumidos por el atraso, el monoconsumo y el asistencialismo.

CAPITULO I

OBJETIVOS, ALCANCE Y METODOLOGÍA

1.1 JUSTIFICACIÓN

El diseño de la estructura de pavimento planteada en el presente proyecto nace de la necesidad de proporcionar un pavimento acorde con las características topográficas, geométricas y geotécnicas de la zona, con el propósito de proporcionar un permanente tráfico vehicular que permita integrar a estas zonas verdales con el resto del municipio y mejorar la calidad de vida de los beneficiarios.

1.2 OBJETIVOS

El presente Estudio tiene como propósito determinar las propiedades físico-mecánicas del terreno de fundación, evaluar las condiciones de la vía, definir y diseñar la estructura de pavimento requerido para los tramos proyectados por medio de métodos convencionales dando una solución ingenieril acorde a las condiciones del sector a intervenir con el proyecto en mención.

1.3 ALCANCE

Se pretende con el presente proyecto el diseño de la estructura de pavimento de dos tramos en *Placa huella en concreto*, de las vías internas de las comunidades de Atánquez y Guatapurí, departamento del Cesar, con lo cual se espera mejorar las condiciones de vida de la población beneficiarias e incrementar la actividad agro pecuaria y comercial, dado que la zona es una rica despensa de productos agrícolas y pecuarios que se ven afectada su movilización y comercialización, por la dificultad en acceder a ella.

1.4 METODOLOGÍA

Para lograr el objetivo y alcance propuesto se desarrolló la siguiente metodología:

- Recopilación y análisis de la información existente.
- Realización del estudio de suelos con el fin de obtener los parámetros de diseño.
- Definición de materiales, recomendaciones y procesos constructivos.

1.5 TIPO DE PAVIMENTO PROPUESTO

Se propone una alternativa única dada las fuertes pendientes reinantes en la zona, el tipo de tráfico, la dificultad para entrada de otros materiales y maquinarias especializadas para la construcción de pavimentos flexibles, las características geotécnicas de la zona y la economía de dicha alternativa a largo plazo.

1.5.1 Placa Huella

Una placa huella es un elemento estructural utilizado en las vías terciarias, con el fin de mejorar la superficie de tránsito vehicular en terrenos que presentan mal estado de transitabilidad y requiere un mejoramiento a mediano plazo (Ver Figura 1).



Figura 1. Modelo de placa Huella

1.5.2 Características especiales

Esta estructura, se recomienda para pendientes mayores del 10%. Las cintas o placas en concreto reforzado, se colocarán en módulos de 2.50 metros y tendrán cada una las

siguientes dimensiones: ancho de 0.90 metros, espesor de variable y una longitud entre centros de viguetas transversales de 2.50 metros. Entre estas cintas se construirá una placa de concreto clase G, también en un ancho de 0.90 metros, todas las cintas serán arriostradas por unas viguetas reforzadas de 0.15 metros de ancho por 0.25 metros de altura localizadas cada de 2.50 metros, las vigas inicial y final serán de 0.20 metros de ancho por 0.30 metros de altura e irán en todo el ancho hasta la cuneta. Se construirá una placa de sobre ancho en concreto ciclópeo para rematar en las cunetas (Cuando la sección sea en corte), en la cuneta – bordillo, (Cuando la sección sea en relleno) o en la cuneta de un lado y en la cuneta bordillo del otro lado (cuando la sección sea mixta) según las exigencias y los anchos de la calzada especificados en el diseño.

1.5.3 Materiales a utilizar

Los materiales estándar a utilizar en la construcción de placa huella serán los recomendados por el INVIAS. Para las cunetas, el concreto será con una resistencia a la flexión de 4.2 Mpa para las losas o huellas, viguetas intermedias, placas de acceso y vigas inicial y final el concreto deberá tener una resistencia de 3500 PSI y para la franja central y sobre anchos será una placa en concreto ciclópeo en proporción 60% concreto de 3500 PSI y 40% de piedra, materiales estos que deben cumplir las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras, INVIAS. En lo concerniente al Hierro: La cinta o huella llevará una armadura o parrilla en hierro de 3/8" – cada 0.20 metros en ambos sentidos. En cuanto al hierro de las viguetas intermedias y vigas extremas, se colocará flejes rectangulares cada 0.20 metros y 4 varillas longitudinales, ambos de 3/8" de pulgada.

CAPITULO II

GENERALIDADES DEL AREA DE ESTUDIO

2.1 GENERALIDADES

Las vías en estudio actualmente se encuentran en superficie destapada en muy mal estado para el tráfico vehicular, lo que hace esta zona de difícil acceso, lo que a su vez impide una interacción para que el mismo estado llegue con sus programas a esta región y la calidad de vida de sus moradores sea relativamente de calidad baja.

2.1 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

2.1.1 El Departamento del Cesar

Se encuentra localizado en el noreste del país, en la región del Caribe, y es el único de los que la conforman que no cuenta con territorio costero. La presencia de la Sierra Nevada de Santa Marta, de la Serranía de Perijá (prolongación de la cordillera oriental que lo separa de la república de Venezuela y del Departamento de Norte de Santander) y de los valles de los ríos Cesar y Magdalena, dan origen a diversos pisos térmicos.

En la figura 2 se presenta el departamento del Cesar con su respectiva división política.



Figura 2. **Localización departamento del Cesar**

2.1.2 El municipio de Valledupar

Valledupar, es la ciudad capital del departamento del Cesar, situada en las estribaciones sur oriental de la Sierra Nevada de Santa Marta y enclavada estratégicamente en la cabecera del rico e inmenso valle que lleva su nombre, tradicionalmente reconocido como uno de los más promisorios de nuestro país.

Lo que hoy se conoce como la Ciudad de Valledupar, fue erigida parroquia en 1560, llegó a ser capital de la provincia de Valledupar de conformidad con la Ley del 15 de abril de 1850; elevada a capital del Departamento de Valledupar del Estado Federal

del Magdalena (de acuerdo con la Ley 29 de diciembre de 1864); al reestructurarse la división político-administrativa del Estado Unitario Colombiano, fue erigida como municipio del departamento del Magdalena, según la Ordenanza No.57 de 1915, la cual estableció su extensión y límites. Al crearse el departamento del Cesar por la Ley 25 de 1967, fue escogida como su capital. Astronómicamente se sitúa a los 10°29' latitud norte y los 73°15' de longitud occidental, con una altura sobre el nivel del mar de 169 m y temperatura media es de 27°C.

Sus límites son: Norte, con los departamentos del Magdalena y La Guajira; Sur, con San Diego, La Paz y El Paso; Este, con San Diego, La Paz y departamento de La Guajira; Oeste con Bosconia, El Copey y Pueblo Bello.

La figura No 3 muestra la localización geográfica del Municipio de Valledupar.

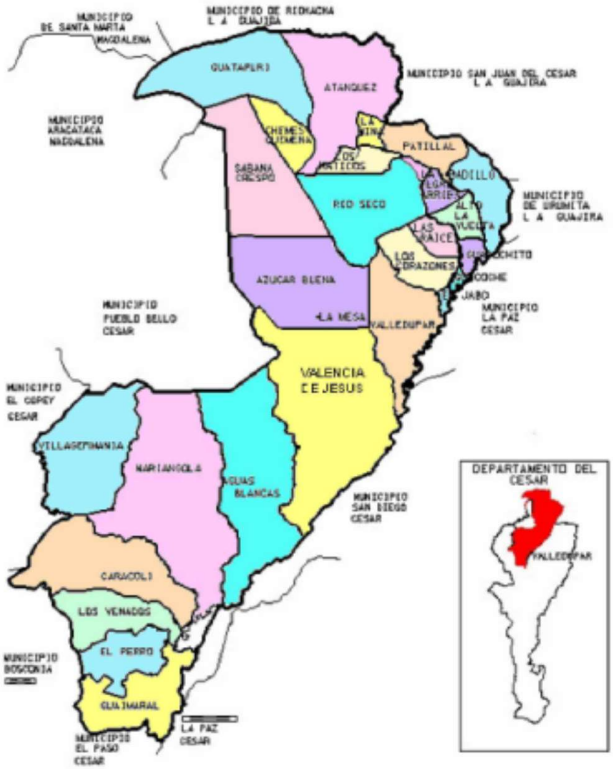


Figura 3. **Localización municipio de Valledupar**

2.1.3 Corregimiento De Atánquez

Desde Valledupar, tomando el curso de Río Badillo, y luego el de su afluente, el río Candela, se llega a la población de Atánquez, la cual se encuentra ubicada en el corazón del territorio Indígena Kankuamo, en las estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta.

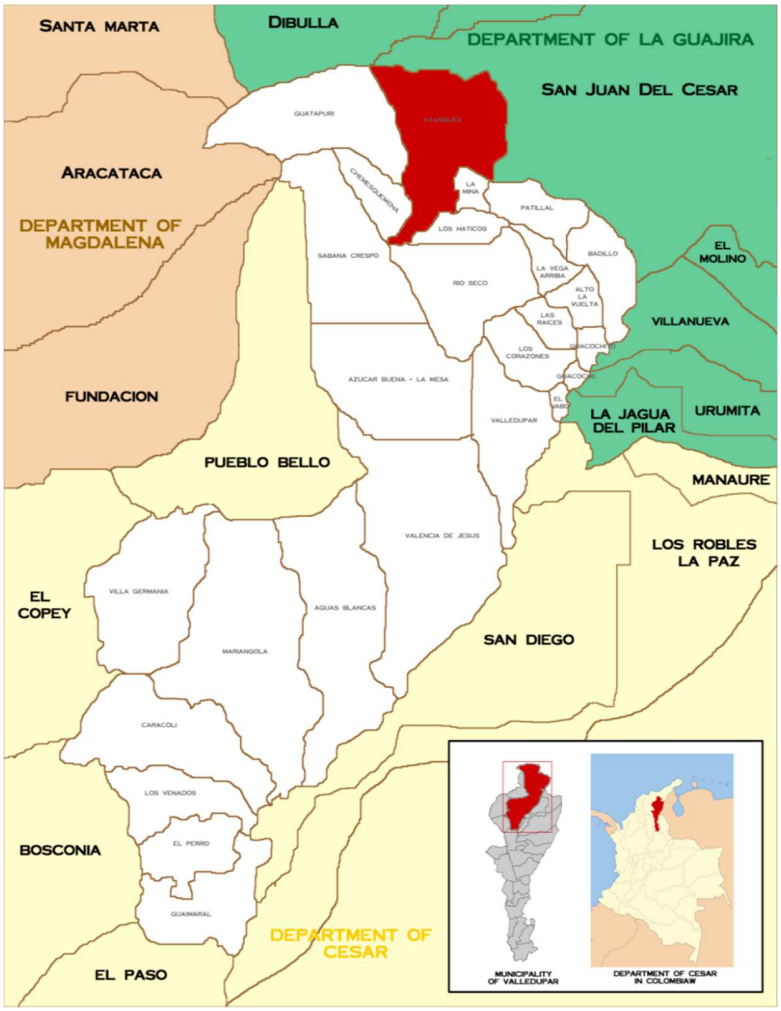


Figura 4. **Localización del Corregimiento de Atánquez**

La región de Atánquez ha sido siempre un área de contacto entre dos tradiciones culturales diferentes, en la cual se encontraban dos formas de vida y de adaptación al ambiente, mientras que en la Sierra se desarrollaron las culturas andinas caracterizadas por sociedades estratificadas, sistemas teocráticos y agricultura intensiva, en las zonas

bajas y en el piedemonte vivían grupos dispersos de horticultores de selva tropical, cuyos sistema de organización social parecen haber sido más simples; en la época prehispánica entonces, la vida de los indígenas del valle de Atánquez se orienta hacia la alta cultura Tairona; sin embargo, en vista de que en los últimos siglos comenzó a predominar en las zonas bajas otra forma de alta cultura, esta vez de tradición hispana, los indígenas kankuamos, influenciados por las comunicaciones, la industrialización y el mestizaje racial, orientaron su vida hacia el Valle del Cesar. Dado que el Valle de Atánquez se ubica entre estas dos zonas, es de suponer que ello haya contribuido en cierto grado a configurar su perfil cultural; de hecho, es común encontrar en Atánquez la fusión de tradiciones culturales indígenas, africanas e hispanas.

Atánquez se encuentra situada entre las coordenadas planas 1´073.000 – 1´074.800 E y 1´673.200 – 1.671.800 N, aproximadamente a unos 42 kilómetros del casco urbano del municipio de Valledupar, departamento del Cesar, a los 10º 42' de latitud norte y a 73º 21' de longitud oeste del meridiano de Greenwich. Limita hacia el norte con el Resguardo Indígena Kogui – Malayo, específicamente con los koguis del alto río Guatapurí y los Wiwas o malayos del río Cherúa; por el oriente con Patillal y Valledupar; por el sur con la población de Río Seco y con Valledupar y por el occidente con la región oriental del resguardo indígena Ika o Arhuaco, sobre el río Donachui y el medio río Guatapurí.

La figura 4 muestra la localización del corregimiento de Atánquez dentro del municipio de Valledupar.

2.1.4 Corregimiento De Guatapurí

Se encuentra ubicado aproximadamente a unos 54 kilómetros de la ciudad de Valledupar, creado como corregimiento según Acuerdo municipal 004 el 11 de agosto de 1980. Dicho territorio fue habitado inicialmente por indígenas Koguis y posteriormente por Kankuamos, caracterizado por encerrar lugares sagrados de pagamentos para los indígenas Limita al norte con el municipio de Riohacha (Guajira), al sur con los Corregimientos de Chemesquemena y Sabana Crespo, al oriente con el Corregimiento de Atánquez y al occidente con Aracataca (Magdalena).

Su distribución geográfica se sitúa a 1.200 m.s.n.m, albergando un área de 25.688,4 Has, con topografía ondulada, la cual es bañada por sus fuentes hídricas principales denominadas: Guatapurí y Donachui, siendo característico de temperatura media de

aproximadamente 22ºC. Se encuentra conformado por trece poblaciones: Avingue, Sarachui, Kuriba, Cangrejal, El Soco, Kaminticua, Santa Marta, San José, Surivaca, Mecedor, Pueblo Hernández, Chenduncua y Maruamake.

Cuenta con una población aproximada de 2.653 habitantes, congregados en 124 familias de las cuales el 79% posee vivienda propia y el 21% vive en arriendo, contando estas en su totalidad con servicio de acueducto, mientras que un 90.77% con saneamiento básico y el 97% con energía.

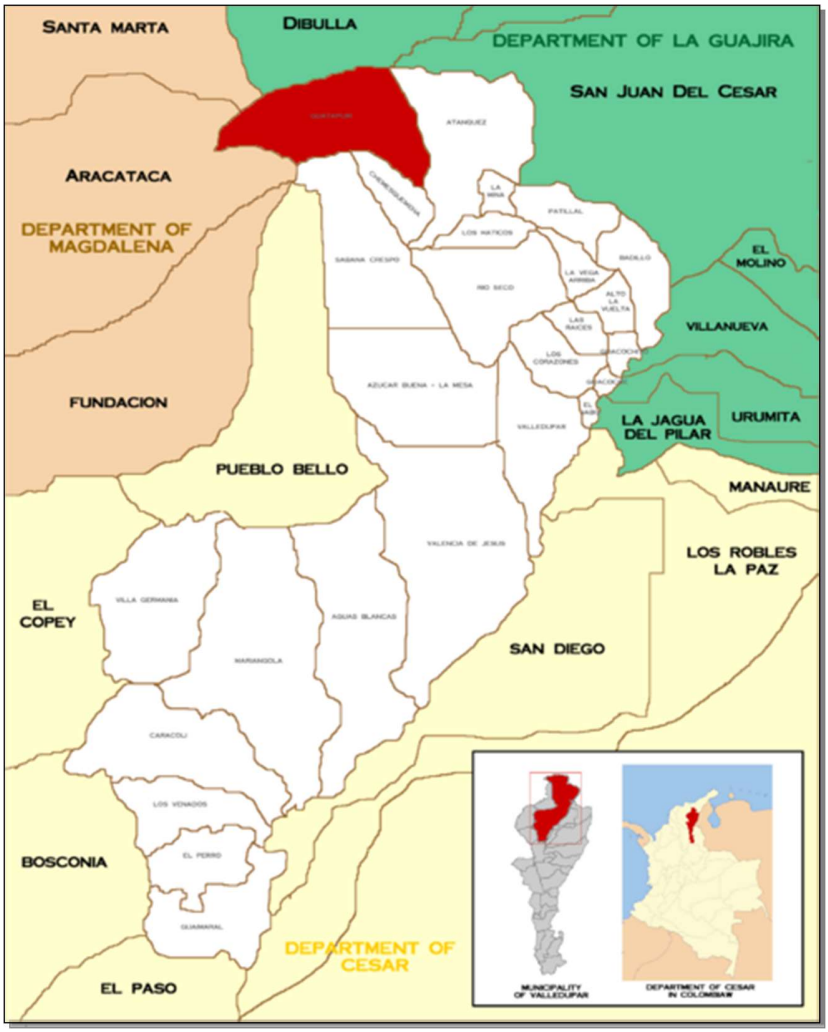


***Figura 5*. Localización del Corregimiento de Guatapurí**

2.2 CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA

El tiempo meteorológico es la condición de la atmósfera en un momento dado y en un lugar determinado; este fenómeno se puede observar directamente de la naturaleza; solo se eligen algunos elementos para caracterizarlo, por ejemplo, la lluvia y la temperatura del aire.

2.2.1 Pisos Térmicos

El territorio donde se desarrollan los proyectos, por su variedad topográfica, presenta diversos pisos térmicos que identifican bandas altitudinales con características similares, según condiciones locales. La temperatura y la humedad dependen tanto de la altitud sobre el nivel del mar, como de la proximidad a la zona de nieve, de la exposición a corrientes frías que bajan por los valles y a los cálidos y secos vientos que suben por ellos, y de la orientación geográfica de las laderas respectivas.

2.2.2 Temperatura

La parte baja se encuentra ubicada sobre el valle que forman los río Chiscuinya y Pontón, en la que se presentan temperaturas medias anual superior a los 24° C. La parte media, localizada entre las estribaciones de los ceros Juaneta, El Brinco y La Pampa presenta un clima templado con alturas predominante de 1.000 a 2.000 m.s.n.m. y temperaturas medias anual entre 18 y 24 °C. La parte alta del territorio de Atánquez se encuentra localizada en los cerros de Chiclaque, La Montaña y Las Palomitas cuyas alturas se sitúan entre los 2.000 y 3.000 m.s.n.m y cuya temperatura media anual se encuentra ente 12 y 18 °C.

2.2.3 Humedad Relativa

En general es baja, y al igual que la precipitación está influenciada por los vientos secos que se desplazan desde la Guajira. La humedad relativa media mensual es del 67% con un mínimo medio de 56% en los meses de enero, febrero y marzo, y máximo de 76% en el mes de octubre.

2.2.4 Precipitaciones

Durante el año hay dos estaciones secas y dos lluviosas: El verano más fuerte dura desde diciembre hasta marzo, cuando comienza la primera estación lluviosa del año que se prolonga hasta finales de Junio; entonces entra el veranillo que es seguido en septiembre por la segunda estación lluviosa que continúa hasta diciembre. Se puede decir que el promedio anual es de 958.5 mm, con valores mínimos de 12.5 mm y máximo de 193.0 mm, en los meses de enero y octubre respectivamente.

2.2.5 Vientos

La dirección predominante de los vientos es de suroeste hacia el noroeste, pero hay variaciones locales determinadas por la acción combinada de los vientos alisios del noroeste, que al llegar a la sierra Nevada de Santa Marta, chocan con esta barrera orográfica impidiendo el paso libre de las masas de aire y ocasionando precipitaciones de tipo orográfico. Las velocidades máximas registradas son del orden de 5.8 m/s, las cuales se presentan en los meses de diciembre y marzo.

2.3 HIDROLOGÍA

Desde el punto de vista hidrológico este territorio es regado por los ríos Guatapurí, Badillo, Pontón, Candela, Chiscuinya, La Macana y otros de menos cauce denominados arroyos. El río Chiscuinya es el más importante en esta región, el cual se extiende desde el cerro El Peligro hacia el sur de la población de Atánquez, siendo sus principales afluentes son el arroyo Güingueka, Soledad, La Gloria, entre otros.

2.4 FISIOGRAFÍA

La fisiografía de la zona está afectada por las formaciones y características geológicas de la región, por lo que está determinada por la composición físico química de los suelos que hacen parte de los valles, lomas, mesetas y zonas con pendientes abruptas.

La zona baja está conformada por el batolito de Atánquez, una masa granodiorítica cuya superficie subhorizontal ha sido disectada por numerosos arroyos y que forman parte de la serie de plutones (o batolitos) que levantaron la sierra durante el jurásico; abarca toda la subcuenca del Río Pontón, así como las partes bajas del alto río Candela y del bajo río Chiscuinya. En la zona baja los valles aluviales están ubicados sobre depósitos sedimentarios de épocas recientes y en su mayoría son producto de los sucesivos deshielos de los glaciales durante el cuaternario, es decir durante el último

millón de años. Forma terrazas de épocas diferentes: las más altas son más antiguas y las menos productivas, mientras que las más bajas son más recientes, y aunque son bastante pedregosas, sus suelos son más productivos pues han recogido más nutrientes lavados de las zonas más altas y cuentan con una mayor disponibilidad de agua.

En la zona alta predominan rocas más jóvenes y estructuralmente mucho más complejas que las del batolito de Atánquez. Estas forman una especie de muro de montaña de la población de Atánquez hacia arriba. El alto río Candela está conformado geológicamente por el lacolito de Atánquez, un pórfido granodiarítico horobléndico emplazado durante el Plioceno (6 millones de años) entre el batolito de Atánquez y las rocas volcánicas no diferenciadas del alto río Chiscuinya.

2.5 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS SUELOS

En la zona baja los valles aluviales están ubicados sobre depósitos sedimentarios de épocas recientes y en su mayoría son producto de los sucesivos deshielos de los glaciales durante el cuaternario, es decir durante el último millón de años. Forma terrazas de épocas diferentes: las más altas son más antiguas y las menos productivas, mientras que las más bajas son más recientes, y aunque son bastante pedregosas, sus suelos son más productivos pues han recogido más nutrientes lavados de las zonas más altas y cuentan con una mayor disponibilidad de agua.
Algunas laderas de las montañas han sido intervenidas por el hombre, quien ha realizado talas y destinados suelos para la ganadería. Las limitaciones de estos suelos no permiten explotaciones agropecuarias y representan áreas óptimas como refugios ecológicos. También es destacable en la región la desprotección generalizada de los suelos, lo cual junto al deficiente manejo y reducida incorporación de prácticas de manejo, han dado como resultado procesos de pérdidas de material por acción del viento.

2.6 GEOLOGÍA

La zona en estudio presenta una geología compleja ya que esta región ha sido sometida a varios ciclos orogénicos por lo menos a tres periodos de fallas. El macizo está constituido por más de un 50% por rocas metamórficas intrusivas y volcánicas. Escasamente presenta rocas sedimentarias. Algunas de las subcuencas, en su parte baja, están ubicadas sobre la granodiorítica del batolito de Atánquez, por lo que sus suelos son arenosos y ácidos, mientras que en su parte alta están conformadas por rocas más jóvenes que el batolito, por lo que presentan grandes gradientes empinados.

Geomorfológicamente la zona del proyecto se caracteriza por presentar una zona montañosa con abundantes fenómenos geodinámicos, tales como deslizamientos, carcavamientos y reptación; De los 1.000 m.s.n.m hacia abajo los gradientes de las laderas son menores y las montañas se convierten en pequeñas colinas que se desatan hacia el Valle del Cesar. Las diferentes geoformas de esta región, además de la composición litológica, están dadas por la deforestación y el mal uso de la tierra, lo cual ha acelerado los procesos erosivos.

2.6.1 Tectónica

La zona está delimitada por tres rasgos tectónicos de importancia: por el norte con la Falla de Oca, por el suroeste con el sistema de fallas de rumbo Santa Marta – Bucaramanga y por el este con el sistema de fallas Cesar – Cesarito.

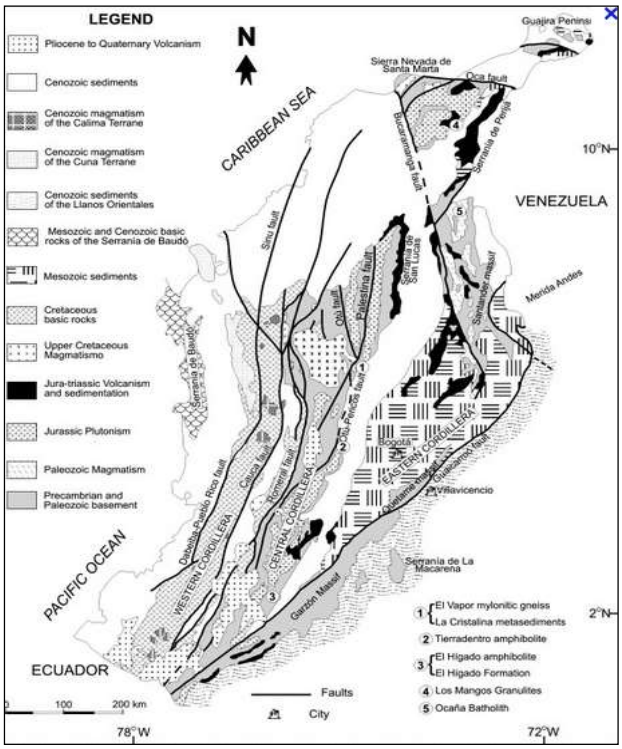


Figura 5. **Tectónica del sector**

En el perímetro urbano y zonas aledañas no se evidencian rasgos tectónicos destacables.

CAPITULO III

DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO PARA EL PROYECTO

En este volumen se presenta el diseño de estructura del pavimento, incluyendo las características de los materiales que se deben emplear, así como las recomendaciones constructivas requeridas para el buen desarrollo de la obra.

El método de diseño utilizado se basa exclusivamente en los conceptos de fatiga mecánica para determinar mediante modelos matemáticos, el espesor y la calidad del concreto. Es decir, el diseño se orienta fundamentalmente a dimensionar la placa para unas condiciones de fundación generalizada y un tránsito tipificado, para diseñar el espesor del pavimento rígido. Los métodos de diseño de espesores de pavimentos más ampliamente usados a nivel mundial, corresponden al de la American Association of State Highways and Transportation Officials (AASHTO) y el de la Portland Cement Association (PCA).

El método escogido y utilizado para diseñar el espesor del pavimento en Placa Huella en Concreto, fue el establecido por las especificaciones de la asociación de cemento Pórtland "PCA" de los estados Unidos y contenidas en el manual de diseño del Instituto Colombiano de Productores de cemento I.C.P.C.

3.1 METODOLOGÍA DE LA PCA

Este método de diseño está basado en las teorías de Westergaard, Pickett y Ray, y se complementa con base en elementos finitos con los que se estudió el comportamiento de una losa de concreto de espesor variable y dimensiones establecidas, a la cual se le aplicaron cargas en el centro, bordes y esquinas, considerando diferentes condiciones de apoyo y soporte. Se deben controlar especialmente la fatiga (para prevenir el agrietamiento debido a las cargas) y la erosión (para limitar la deflexión en los bordes de la losa). La vida útil del pavimento termina cuando se da la ruptura del concreto por las repeticiones de carga.

El propósito de este método es obtener el espesor mínimo de la losa, para soportar las cargas que se le impondrán en determinado período de tiempo. Si el espesor es mayor de lo necesario, el pavimento prestará un buen servicio con bajos costos de

mantenimiento, pero el costo inicial será alto. En caso de que el espesor no sea el adecuado, los costos prematuros y elevados de mantenimiento e interrupciones en el tráfico sobrepasarán los bajos costos iniciales. Una correcta ingeniería requiere que los diseños de espesores balanceen apropiadamente el costo inicial y los costos de mantenimiento.

Mientras que el método PCA 84 se centra en el tópico del diseño de espesores, otros aspectos de diseño son igualmente importantes para asegurar el buen funcionamiento y la duración del pavimento de concreto:

- Provisión para un soporte razonablemente uniforme.
- Prevención del bombeo de material de base en caso de que el tráfico esperado sea suficientemente alto como para causarlo.
- Diseño de juntas que garantice una adecuada transferencia de cargas y facilite el uso de sellos si son requeridos para hacerlas efectivas y prevenga daños de las mismas debido a filtraciones.
- Uso de mezclas que proporcionen un concreto de buena calidad con la resistencia y durabilidad necesarias, según las condiciones de exposición.

3.2 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA

El espesor y características establecidas en el diseño para el pavimento Placa Huella en Concreto de la Vía, se determinaron para la situación de soporte de la subrasante acorde a los C.B.R de diseño obtenido en el presente estudio y considerando dos condiciones básicas:

1. Los esfuerzos generados por las cargas del trafico sobre las losas del pavimento son básicamente "de flexión".

2. La falla de las losas del pavimento ocurren por fatiga, considerando que los esfuerzos inducidos en las losas y originados por la carga no sobrepasan la resistencia a la flexión del concreto.

3.2.1 Subrasante

Se entiende como subrasante a la parte superior de las explanaciones sobre la cual se construye el pavimento su función básica es proporcionar a la estructura del pavimento

un cimiento adecuado. Para lograr las condiciones adecuadas de la subrasante se hace necesario la optimización de la capa superior de esta por medio de compactación, desechando el material inservible y reemplazándolo por uno que posea las condiciones requeridas o por medio de la adición de estabilizantes que mejoren su resistencia.

De acuerdo con los estudios de suelos, a la subrasante se le debe realizar un proceso de compactación y nivelación a lo largo de todo el eje de la vía, para que éste sirva como un sustento ideal a las demás capas que conforman la estructura del pavimento.

Tabla 1. Condiciones geotécnicas para el diseño

UNIDAD	SECTOR	CBR DE DISEÑO (%)	OBSERVACIONES
1	Vía Interna Atánquez	7.50%	
2	Vía Interna Guatapurí	7.00%	

3.2.2 Periodo de Diseño

Teniendo en cuenta que pueden pasar un (1) año a partir de la fecha, para que entre en funcionamiento la vía en estudio y el hecho de que el periodo de diseño es de 20 años, se establece como periodo de diseño el comprendido 2020 y 2040.

3.2.3 Subbase Granular

Con el objetivo de proporcionar un mayor sustento a la estructura del pavimento, en especial a la capa de rodadura, se hace necesaria la colocación de una capa de subbase o base. Los materiales que la conformen deben de ser resistentes al desgaste, no presentar partículas deleznables, y preferiblemente deben provenir de la trituración mecánica de su roca madre o de fragmentos de mayor tamaño.

3.2.4 Tránsito de Diseño

El mal estado de la vía, las fuertes pendiente topográficas limitan el tráfico pesado en la zona. Actualmente solo transitan vehículos de doble tracción con capacidad de

transportar cargas hasta 5 Toneladas por lo que se considera para efectos de diseño una carga máxima de 8 Toneladas, valor este que tiene en cuenta el peso el vehículo más la carga.

3.2.5 Factor de seguridad de carga

Los valores recomendados para este factor son 1.0 para calles y carretas con bajos volúmenes de tránsito; 1.1 para rutas con tránsito de peso y frecuencia medios, y 1.2 para vías con tránsito pesado y frecuente. Para el caso que nos corresponde y teniendo en cuenta el uso que tendrán las vías del proyecto se adopta como FSC el valor de 1.00.

3.2.6 Propiedades del concreto

Son dos las propiedades del concreto que influyen en el diseño y en su comportamiento a lo largo de su vida útil.

- Resistencia a la tensión por flexión o Módulo de Ruptura (MR)
- Módulo de elasticidad del concreto (Ec)

Debido a que los pavimentos de concreto trabajan principalmente a flexión es recomendable que su especificación de resistencia sea acorde con ello, por eso el diseño considera resistencia del concreto trabajando a flexión, que se conoce como resistencia a la flexión por tensión (S'_c) o Módulo de ruptura **(M_R)** normalmente especificada a los 28 días.

En la Tabla 2 se muestra el Módulo de Rotura (MR) recomendado dependiendo el tipo de vía.

Tabla 2. Módulo de ruptura

Tipo de Pavimento	MR recomendado	
	Kg/cm²	psi
Autopistas	48.0	682.7
Carreteras	48.0	682.7
Zonas industriales	45.0	640.1
Urbanas principales	45.0	640.1
Urbanas secundarias	42.0	597.4

Para nuestro caso el módulo de rotura (MR) será de 42 Kg/cm^2.

3.2.7 Módulo de reacción K de la superficie en que se apoya el Pavimento

Con el fin de prevenir fenómenos de bombeo, mejorar la capacidad de soporte del suelo de subrasante y proporcionar una superficie limpia y estable para los trabajos de pavimentación se debe usar una sub-base del siguiente espesor:

Tabla 3. Espesores mínimos recomendados de subbase granular

UNIDAD	ESPESOR DE LA SUBBASE GRANULAR (mm)
1	150
2	150

Los anteriores espesores se deberán colocar previo al mejoramiento y/o estabilización de la subrasante.

Para los espesores de subbase granular recomendada se obtienen los siguientes módulos de reacción compuesto de la subrasante, acorde a lo consignado en la Tabla 4:

Tabla 4. Relación entre el CBR y el Módulo de Reacción K del Conjunto

VALOR DE K DE LA SUBRASANTE		VALOR DE K (MPa / m) DEL CONJUNTO SUBRASANTE - SUB - BASE GRANULAR			
C.B. R. (%)	K (MPa / m)	100 (mm)	150 (mm)	200 (mm)	300 (mm)
2	16	19	22	27	33
3	24	27	31	37	45
4	30	34	38	44	54
5	34	38	42	49	59
6	38	42	46	53	65
7	41	45	50	56	69
8	44	48	53	60	72
9	47	52	56	63	76
10	49	54	58	65	79
11	51	56	60	67	81
12	53	58	62	69	84
13	54	59	63	70	85
14	56	61	65	72	87
15	57	62	66	73	88
16	59	64	68	75	91
17	60	65	69	76	92
18	61	66	70	77	93
19	62	67	71	78	94
20	63	68	72	79	96

Tabla 5. Valores de K del conjunto Subrasante subbase granular

UNIDAD #	CBR DE DISEÑO (%)	K de la Subrasante (Mpa/m)	K del conjunto subrasante – subbase granular (Mpa/m)
1	7.50%	42	58
2	7.00%	41	50

3.3 DETERMINACIÓN DE LOS ESPESORES DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO

El procedimiento utilizado corresponde al método simplificado de diseño de pavimentos rígidos, el cual es un método sencillo cuando se conoce la carga común que transitará por la vía. El método nos permite obtener los espesores necesarios de losas de concreto en función del módulo de reacción de la fundación y de la magnitud de la carga.

Para este caso se tendrán en cuenta la carga máxima de un vehículo con eje Simple doble de 8 Tonelada, teniendo en cuenta el hecho que por la zona no se espera que transiten vehículos con grandes cargas, pues está limitado por la topografía de la zona.

DATOS:

Carga de diseño:	Se adopta como carga de diseño la correspondiente a un eje Simple de 8 Ton.
FSC:	Para el tipo de tráfico esperado se adopta un FS de 1.00 considerando la frecuencia y presencia de vehículos de peso medio.
Carga de cálculo:	8.00 Toneladas considerando el factor de seguridad de carga de 1.00.
CBR de Diseño:	Se adopta trabajar con un CBR DE 7.00% para las dos unidades
$K_{Subrasante}$:	Para un CBR del 7.0% el K de la subrasante es de 41 Mpa/m
K conjunto:[1]	Considerando la colocación de una subbase granular de 15.00 cm el K del conjunto Subrasante – subbase Granular es de 50 Mpa/m.
Mr de concreto:	4.2 Mpa

Espesor requerido: Este se determina en base al siguiente ábaco.

[1] Fuente: Canadian Portland Cement Association. – Ingeniería de pavimentos – Alfonso Montejo Fonseca.

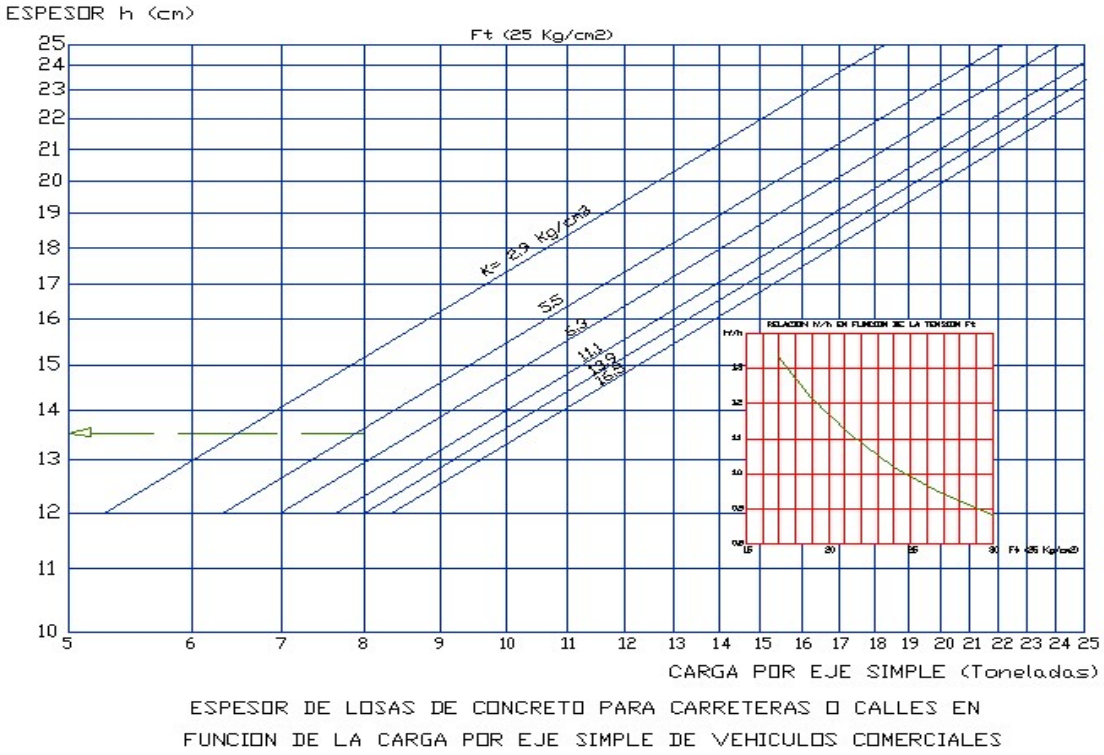


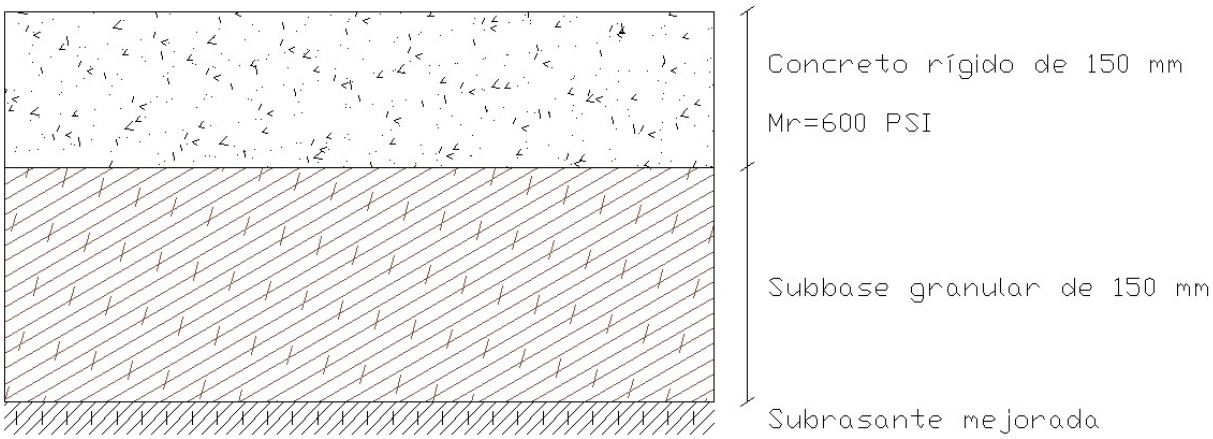
Figura 6. **Determinación de espesores de concreto hidráulico, Unidad de Diseño 1**

Teniendo en cuenta que el Módulo de rotura del concreto a utilizar será de 4.2 Mpa, aplicando la corrección por el esfuerzo del módulo de rotura con lo que se obtiene los espesores obtenidos deben incrementarse en 12%, luego el espesor real a colocar es:

Tabla 6. Espesores de losa requerido y espesor real

UNIDAD #	Espesor de losa requerido para Mr de 5.0 Mpa (mm)	Espesor real a colocar con Mr de 4.2 Mpa (mm)
1	135	150

De acuerdo a lo anterior las estructuras encontradas son las siguientes:



ESQUEMA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO
UNIDAD # 1

3.4 CONSIDERACIONES ESPECIALES

3.4.1 Separación entre juntas transversales

S_{Jt} = (21 a 24) x Espesor pavimento.
SJt= 21*0.15=3.15 mt

Atendiendo la recomendación de que Relación largo/ancho < 1,25

Ancho Placa Huella: 1.00 mt
Largo: 1.25*B= 1.25 mt.

Con el fin de disminuir el número de juntas se adopta una longitud de 2.50 metros como separación de estas transversales y se refuerza la placa con el fin de tener en cuenta el efecto de las tensiones excesivas de alabeo. Esta solución admite que el concreto se agriete, pero la grietas de por sí no son perjudiciales en la medida que se mantengan firmemente unidas las caras de la losa de tal forma que esté garantizada la transmisión de la carga de una cara de la osa a la otra por el efecto de la trabazón del agregado grueso del concreto.

Para evitar la apertura de la grieta se coloca acero cuyas funciones son las siguientes:

- Mantiene las caras de las grietas firmemente unidas después de producirse ésta, por lo que funciona como barras de amarre.
- Evita la propagación de las grietas.
- No adiciona prácticamente capacidad estructural a las losas y por lo tanto el espesor se calcula igual que para las losas sin armaduras de acero.

La cantidad de acero longitudinal que se debe colocar, se calcula en función de la cantidad necesaria para evitar el deslizamiento de la losa suponiendo que se ha formado una grieta en su centro. El esquema de análisis es similar al usado para el cálculo de las tensiones producidas en el concreto por la fricción entre la losa y la base, pero en el caso que nos ocupa, la fuerza total que compensa la fricción, debe ser tomada por las barras de acero que atraviesan la grieta.

a) Acero mínimo por retracción y fraguado:

La cantidad requerida de refuerzo por unidad de ancho o largo de la losa (As) será:

$$\underline{As= (\gamma_c * h * L * f_a)/2f_s}$$

Donde:

γ_c = peso unitario del concreto.
h = espesor de la losa
L = longitud de la losa.
f_a = factor de fricción, que se adopta de la siguiente tabla:

Tipo de material bajo la losa	**Factor de fricción (f_a)**
Tratamiento superficial	2.2
Estabilización con cal	1.8
Estabilización con asfalto	1.8
Estabilización con cemento	1.8
Grava de río	1.5
Piedra triturada	1.5
Arenisca	1.2
Subrasante natural	0.9

f_s = esfuerzo admisible del acero

3.4.2 Armadura requerida en el sentido longitudinal

As= 2400*0.17*3.00*1.50/(2*2100)
As= 0.87 cm^2/ml de placa huella
Colocar una varilla de 3/8" cada 0.30 mt en la mitad de la losa.

3.4.3 Armadura Transversal

El acero transversal por metro de longitud se coloca, por recomendación, igual a la mitad del acero longitudinal.

Se utilizara en las placas una armadura de hierro de diámetro 3/8", espaciadas cada treinta (30) cm en ambas direcciones.

3.4.4 Riostras o Viguetas de anclaje

Las viguetas de anclaje o riostras deben tener sección de 15 cm de ancho por 27 cm de alto, se localizarán en los extremos de las placas cada 3 m y estarán reforzadas por cuatro (4) barras de acero de diámetro 3/8", colocadas dos (2) barras arriba y dos (2) barras abajo.

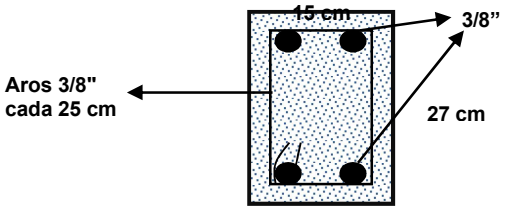
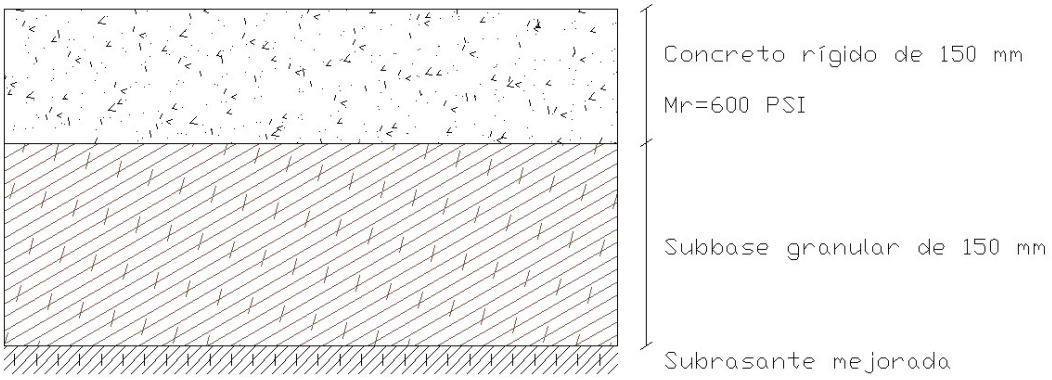


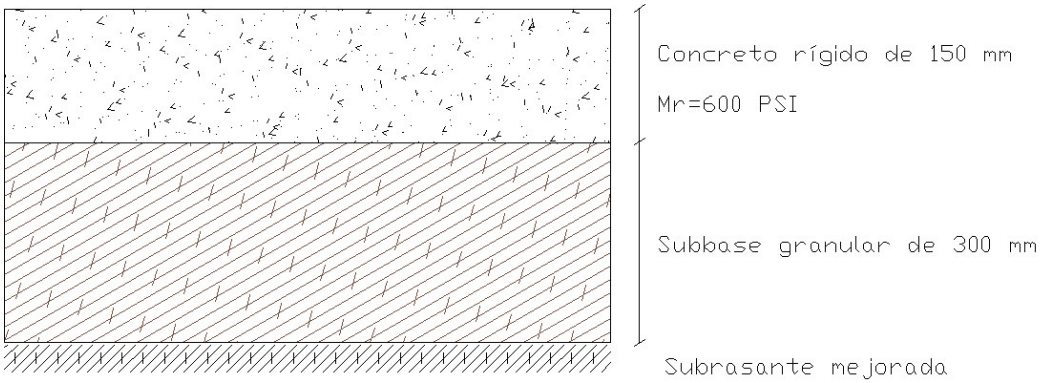
Figura 7 **Detalle viga riostra**

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El análisis anteriormente efectuado propone la construcción de las siguientes estructuras de pavimento como se detalla en el siguiente esquema:



ESQUEMA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO
UNIDAD # 1



ESQUEMA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO
UNIDAD # 2

- Debido a la conformación de un relieve bastante quebrado y accidentado con pendientes mayores del 10% es aconsejable aplicar el sistema de construcción de pavimento en **Placa Huella en concreto** debido a que la afluencia de vehículos es poca.

- La losa de concreto para la construcción el pavimento en **Placa Huella en concreto** debe cumplir con las especificaciones establecidas por el INVIAS 2013.

- El ancho de cada placa huella deberá ser de 0.90 mt con un espesor indicado en el diseño y una longitud entre centros de viguetas transversales de 2.50 mt.

- Entre estas cintas se construirá una placa de concreto clase G, también en un ancho de 0.90 metros, todas las cintas serán arriostradas por unas viguetas reforzadas de 0.15 metros de ancho por 0.27 metros de altura localizadas cada de 3.0 metros, las vigas inicial y final serán de 0.20 metros de ancho por 0.30 metros de altura e irán en todo el ancho hasta la cuneta. Se construirá una placa de sobre ancho en concreto ciclópeo para rematar en las cunetas (Cuando la sección sea en corte), en la cuneta – bordillo, (Cuando la sección sea en relleno) o en la cuneta de un lado y en la cuneta bordillo del otro lado (cuando la sección sea mixta) según las exigencias y los anchos de la calzada especificados en el diseño.

- Se recomienda utilizar una subbase en material granular compuesto por grava, Arena, mezclas de grava y arena, roca triturada, Escoria triturada o granulada, o combinaciones de estos materiales, para que actúen efectivamente contrarrestando el fenómeno de "BOMBEO" o "SURGENCIA", para proporcionar una capa drenante, para proporcionar una plataforma de trabajo más estable durante la construcción del pavimento y adicionalmente aumentar el módulo de reacción de subrasante (K).

- El concreto debe cumplir con una resistencia a la flexión mínima de 4.2 Mpa. Se hace absolutamente necesario, que los materiales y los procedimientos constructivos a utilizar en el presente proyecto, sigan estrictamente las normas y especificaciones generales de construcción de carreteras INVIAS, debido a que los cálculos del presente análisis contemplaron la utilización de materiales que cumplen dichas especificaciones y se parte de la premisa que los métodos constructivos son los adecuados.

- Si durante la construcción de la estructura del pavimento se observan zonas con fallos puntuales, lo cual es fácilmente detectable al observar el suelo de subrasante al paso de la maquinaria y volquetas, se recomienda excavar el material de subrasante en por lo menos 30 cm y su reemplazo con 30 cm de rajón, el cual irá hincado en una profundidad no inferior a 10 cm dentro del material de subrasante y con una capa de recebo de material seleccionado y compactado,

cuyo espesor será el necesario hasta llegar al nivel de subrasante previsto en el diseño.

- Con el fin de garantizar homogeneidad de la subrasante se debe retirar todo suelo inadecuado de las zonas que contiene material orgánico plástico u otros materiales extraños que tengan una calidad inferior a la predominante y sustituirlos por otros adecuados.

- Con el propósito de minimizar la infiltración del agua superficial y de materiales incompresibles al interior de la junta del pavimento, se deben utilizar sellos líquidos o sellos a compresión los cuales deben soportar esfuerzos alternados de compresión y de tensión, producidos por los cambios de temperatura y de humedad.

- El material sellante debe ser un material adherente al concreto, resistente a la infiltración de agua y a la penetración de partículas sólidas entre las caras de las juntas. Además, debe ser un material resistente a la fatiga, a la cizalladura, a la tracción, al envejecimiento y los ataques químicos.

- Para el sello de las juntas entre placas huellas se podrá emplear material pre moldeado, como Sika Rod 10mm con Sikaflex-15L M SL, o similares, que cumplan con las mismas especificaciones de sellado.