

**ANÁLISIS DE FACTORES QUE ALTERAN LAS CARACTERÍSTICAS DE  
PAVIMENTOS EN ZONAS POR ENCIMA DE 3000 METROS SOBRE EL  
NIVEL DEL MAR**

**LUIS ARMANDO MALDONADO VILLAMIZAR  
1091059704**

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL**

**PAMPLONA**

**2016**

**ANÁLISIS DE FACTORES QUE ALTERAN LAS CARACTERÍSTICAS DE  
PAVIMENTOS EN ZONAS POR ENCIMA DE 3000 METROS SOBRE EL  
NIVEL DEL MAR**

**LUIS ARMANDO MALDONADO  
1091059704**

**TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OPTAR EL  
TITULO DE INGENIERO CIVIL**

**DIRECTOR:  
MARCELINO MALDONADO TRIGOS  
Ingeniero Civil**

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL**

**PAMPLONA**

**2016**

**Nota de aceptación:**

---

---

---

---

---

Firma del presidente del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

Pamplona, 13 de Junio de 2016

## **AGRADECIMIENTOS:**

Quiero agradecer primeramente a Dios por darme salud y por todas la bendiciones que me ha dado a lo largo de mi carrera como estudiante, a mis padres **LUIS ALBERTO MALDONADO** y **GRACIELA VILLAMIZAR** que siempre me han apoyado en todas mis decisiones y colaborado con todo lo que he necesitado, a mis hermanos por estar siempre presente acompañándome dándome consejos y ánimos, además quiero dar un agradecimiento especial a mi hermano y amigo **ALVARO EULALIO VILLAMIZAR** que siempre ha estado a mi lado expresándome su apoyo para poder lograr este objetivo de ser profesional.

Finalmente agradezco a todos los ingenieros, profesores que me transmitieron sus enseñanzas y conocimientos para alcanzar la finalización de mi etapa dentro de mi pregrado.

Luis Armando Maldonado Villamizar

# **TITULO**

**ANÁLISIS DE FACTORES QUE ALTERAN LAS CARACTERÍSTICAS DE  
PAVIMENTOS EN ZONAS POR ENCIMA DE 3000 METROS SOBRE EL  
NIVEL DEL MAR**

## 1 INTRODUCCIÓN

En esta monografía se profundizará sobre el análisis de los factores que alteran las características de pavimentos en zonas por encima de 3000 metros de altura sobre el nivel del mar, el desarrollo en infraestructura vial en el país como producto de los planes de inversión en las obras de 4G ha mostrado en sus proyectos de construcción, el trazado de 28 corredores viales, de cuales 10 proyectos de la Primera Ola ya tienen suscrita el acta de inicio; 9 proyectos de la Segunda Ola se encuentran en proceso de adjudicación y los 9 proyectos de la Tercera Ola están siendo estructurados. De estos proyectos más del 40 por ciento atraviesa zonas con altitud por encima de los 3000 m.s.n.m. (República, 2016)

Dentro de las construcciones viales aquellas que se ubican por encima de los 3,500 msnm, se conocen como “zona de altura” (Aguila P. D., 1995). La implementación de nuevas tecnologías en temas relacionados con las vías ha evolucionado con el tiempo y a su vez se ha enfrentado a nuevos retos uno de ellos es los pavimentos para zonas de grandes alturas sobre el nivel del mar. Debido a que en Colombia gran parte de su territorio se encuentra sobre la cordillera de los Andes se está estudiando los diferentes factores que influyen en el periodo de vida útil de estos pavimentos y como tratarlos con el fin de prevenir el deterioro de estos.

Algunos de los factores son climas extremos cíclicos diarios, en las zonas de altura los períodos de congelamiento son muy cortos, por lo que no se produce un enfriamiento excesivo del pavimento, sino más bien ciclos de calentamiento-enfriamiento en lapsos relativamente muy cortos, generándose un gradiente térmico. Este fenómeno produce cambios volumétricos en el interior de la masa asfáltica, los que a su vez originan esfuerzos de tracción y compresión repetitivos que provocan finalmente su falla por fatiga, radiación solar La radiación solar severa que se produce en las zonas de altura, promueve la evaporación de las fracciones blandas del asfalto y crea un ambiente propicio para la oxidación del ligante y el envejecimiento de las estructuras asfálticas, materiales de construcción inadecuados El problema de disponibilidad de materiales en

las zonas de altura, es un factor que limita la posibilidad de adoptar soluciones adecuadas para la construcción de los pavimentos (Aguila P. D., 1995)

## TABLA DE CONTENIDO

	pág.
TITULO .....	5
1 INTRODUCCIÓN .....	6
2. ANTECEDENTES.....	11
2.1 ANTECEDENTES DE CONSTRUCCIONES PARA PAVIMENTOS EN ZONAS ALTIPLANAS .....	11
3. OBJETIVOS.....	13
3.1 OBJETIVO GENERAL .....	13
3.2 OBJETIVO ESPECIFICO.....	13
4. JUSTIFICACIÓN .....	14
5. MARCO TEORICO.....	15
5.1 PAVIMENTO.....	15
5.2 CARACTERISTICAS QUE DEBE REUNIR UN PAVIMENTO .....	15
5.3 CLASIFICACIÓN DE LOS PAVIMENTOS .....	16
5.3.1 PAVIMENTOS FLEXIBLES.....	16
6. DESCRIPCIÓN DE ZONAS POR ENCIMA DE LOS 3000 METROS SOBRE EL NIVEL DEL MAR EN COLOMBIA Y SU INFRAESTRUCTURA VIAL .....	19
6.1 DEPARTAMENTOS SANTANDER Y NORTE DE SANTANDER.....	20
6.2 DEPARTAMENTO DE BOYACA.....	24
6.3 DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA .....	27
6.4 DEPARTAMENTO DE NARIÑO .....	29
7. PAVIMENTOS PARA ZONAS DE ALTURA.....	33
7.1 DESCRIPCION PARA ZONAS DE ALTURA.....	33
7.2 FACTORES QUE ALTERAN LAS CARACTERISTICAS DE LOS PAVIMENTOS EN ZONAS DE ALTURAS .....	34
7.2.1 METEREOLÓGICOS E HIDROLÓGICOS.....	34
7.2.2 TEMPERATURA AMBIENTE BAJA (NOCHE Y DIA).....	35
7.2.1.2 TEMPERATURA PAVIMENTO ALTA (DIA) .....	35
7.2.1.3 GRADIENTE TERMICO.....	36
7.2.1.4 RADIACION SOLAR.....	37
7.2.2 DISPONIBILIDAD DE MATERIALES .....	38
7.2.3 LIMITACIONES PARA LA PROVISIÓN DE CEMENTO ASFÁLTICO.....	38
7.2.4 MALA CALIDAD DE LOS AGREGADOS .....	39
7.2.5 AGUA SUPERFICIAL Y NIVEL FREATICO .....	39
7.2.6 SELECCIÓN DE MEZCLA ASFALTICA EFICIENTE .....	40
7.2.7 FALTA DE TECNOLOGIA APROPIADA .....	41
8. AVANCES LOGRADOS PARA LA SOLUCION DEL PROBLEMA .....	42
8.1 DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS .....	43
8.1.1 SOLUCIÓN “TODO-ASFÁLTICA” .....	43



8.2.2 SOLUCIÓN CON GEOTEXTIL IMPERMEABILIZANTE .....	44
8.3.3 USO DE ASFALTOS MODIFICADOS .....	45
8.4 DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA CARPETAS DE RODADURA .....	46
8.4.1 RECOMENDACIONES PARA LA SELECCIÓN DE MATERIALES.....	46
8.4.2 CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE LA ÓPTIMA COMBINACIÓN DE AGREGADOS .....	48
8.4.3 RECOMENDACIONES PARA LA SELECCIÓN DEL ÓPTIMO CONTENIDO DE ASFALTO .....	49
9 CONCLUSIONES .....	51
10 RECOMENDACIONES .....	53
11 REFERENCIAS.....	54

### LISTA DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1 PROYECTOS EN EJECUCION INVIAS .....	19
ILUSTRACIÓN 2 SURATA- CALIFORNIA .....	20
ILUSTRACIÓN 3 CUROS-MALAGA .....	21
ILUSTRACIÓN 4 PAMPLONA-BUCARAMANGA .....	22
ILUSTRACIÓN 5 CUCUTA-PAMPLONA .....	24
ILUSTRACIÓN 6 PUENTE DE BOYACA-SAMACA .....	25
ILUSTRACIÓN 7 TRANSVERSAL DE BOYACA .....	26
ILUSTRACIÓN 8 EL CRUCERO-PAJARITO .....	27
ILUSTRACIÓN 9 BOGOTA-GIRARDOT .....	29
ILUSTRACIÓN 10 CIRCUNVALAR GALERAS .....	31
ILUSTRACIÓN 11 RUMICHACA-VARIANTE SUR DE IPIALES .....	32
ILUSTRACIÓN 12 GRADIENTE TERMICO .....	37
ILUSTRACIÓN 13FACTORES QUE AFECTAN UN PAVIMENTO DE ALTURA .....	41

### LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 SECCION TIPICA DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE .....	17
FIGURA 2 SECCION TIPICA DE UN PAVIMENTO RIGIDO .....	18

### LISTA DE TABLAS

TABLA 1 PROYECTOS DESARROLLADOS CONSIDERANDO LOS EFECTOS DE ALTURA.....	43
TABLA 2ESPECIFICACION 6 A DEL INSTITUTO DEL ASFALTO .....	48
TABLA 3ESPECIFICACION SUPERPAVE .....	48

## 2. ANTECEDENTES

### 2.1 ANTECEDENTES DE CONSTRUCCIONES PARA PAVIMENTOS EN ZONAS ALTIPLANAS

Considerando las redes viales de Perú y Bolivia, existen más de 4,000 km de carreteras ubicadas por encima de los 3,500 metros sobre el nivel del mar, Los pavimentos de estas carreteras, comprendidos en la “categoría” de “pavimentos en zonas de altura”, son afectados por una serie de factores climatológicos, como temperaturas bajas, gradiente térmico, radiación solar intensa, y, por los efectos de flujos de agua superficial y subterránea que determinan su deterioro prematuro y acelerado. Además, en dichas altitudes, existen problemas de escasez de materiales, a lo que converge la limitación de los países para contar con productos asfálticos de calidad garantizada. Para dar solución al problema de diseñar y construir los pavimentos, de manera tal que pueda mantenerse estándares de performance adecuados, y, sobre todo, cumplirse con los períodos de diseño establecidos, se han elaborado métodos y criterios basados en la experiencia propia, muchos de los cuales han tenido un proceso evolutivo y otros, aún, se encuentran en fase de “experimentación”. Algunas de las soluciones rompen los cánones de la tecnología convencional. La magnitud de la inversión requerida para la construcción de los proyectos, compromete el esfuerzo de los ingenieros viales, para la búsqueda de cada vez mejores soluciones. (Rodríguez)

La problemática de los pavimentos en zonas de altura y clima cíclico, es un tema exclusivamente compartido por Perú, Bolivia, Chile y Argentina y no existe una tecnología desarrollada por los países adelantados, para el diseño y construcción de pavimentos en altura. Es necesario desarrollar una tecnología propia, en Colombia no se ha implementado avances en cuanto a pavimentos en zona de

grandes alturas sobre el nivel del mar y no se encuentra información acerca de este tipo de pavimentos.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL**

Analizar los factores que alteran las características de pavimentos en zonas por encima de 3000 metros sobre el nivel del mar.

#### **3.2 OBJETIVO ESPECIFICO**

- Identificar las regiones del país donde se presentan proyectos viales en zonas de altura.
- Categorizar los factores que influyen en el comportamiento de un pavimento en zonas por encima de 3000 metros sobre el nivel del mar.
- Establecer el efecto de cada factor en el comportamiento de un pavimento en zonas por encima de 3000 metros sobre el nivel del mar

#### 4. JUSTIFICACIÓN

A través del tiempo se han creado diversos caminos, vías, carreteras que nos han acortado distancias entre lugares, estas vías se ven afectadas por factores que están presentes en zonas de altura, por esta razón es necesaria la recopilación de información respecto al efecto que causan sobre el comportamiento del pavimento.

En los últimos años en Colombia la Agencia Nacional para la Infraestructura (ANIF) ha ido desarrollando un amplio consenso sobre el pesado lastre que representa la carencia de adecuada infraestructura en el país para los propósitos de lograr acelerar el crecimiento hacia el 6% anual de forma sostenida (respecto del 4.5% que se observa actualmente por quinquenios) y para incrementar la productividad multifactorial hacia un mínimo del 2% (respecto del promedio histórico reciente del 1% anual). Ya es común observar las bajas escalas que registra Colombia en materia de calidad de la infraestructura a nivel mundial. (sergio clavijo, 2012-2020)

El motivo principal para la realización de este trabajo es dar a conocer las diferentes alternativas que se han estudiado y utilizado para la modificación de pavimentos en zonas de grandes alturas sobre el nivel del mar en diversos lugares en donde se tiene tal problema y así poder determinar en base a toda la información obtenida una conclusión que nos permita llegar a la mejor solución respecto a dicho problema.

## **5. MARCO TEORICO**

### **5.1 PAVIMENTO**

Un pavimento está constituido por un conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales, que se diseñan y construyen técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados. Estas estructuras estratificadas se apoyan sobre la subrasante de una vía obtenida por el movimiento de tierras en el proceso de exploración y que han de resistir adecuadamente los esfuerzos que las cargas repetidas del tránsito le transmiten durante el período para el cual fue diseñada la estructura del pavimento.

### **5.2 CARACTERISTICAS QUE DEBE REUNIR UN PAVIMENTO**

Un pavimento para cumplir adecuadamente sus funciones debe reunir los siguientes

Requisitos:

- Ser resistente a la acción de las cargas impuestas por el tránsito.
- Ser resistente ante los agentes de intemperismo.
- Presentar una textura superficial adaptada a las velocidades previstas de circulación de los vehículos, por cuanto ella tiene una decisiva influencia en la seguridad vial. Además, debe ser resistente al desgaste producido por el efecto abrasivo de las llantas de los vehículos.

- Debe presentar una regularidad superficial, tanto transversal como longitudinal, que permitan una adecuada comodidad a los usuarios en función de las longitudes de onda de las deformaciones y de la velocidad de circulación.
- Debe ser durable.
- Presentar condiciones adecuadas respecto al drenaje.
- El ruido de rodadura, en el interior de los vehículos que afectan al usuario, así como en el exterior, que influye en el entorno, debe ser adecuadamente moderado.
- Debe ser económico.
- Debe poseer el color adecuado para evitar reflejos y deslumbramientos, y ofrecer una adecuada seguridad al tránsito.

### **5.3 CLASIFICACIÓN DE LOS PAVIMENTOS**

Los pavimentos se clasifican en:

- Pavimentos flexibles
- Pavimentos rígidos
- Pavimentos semi-rígidos o semi-flexibles,
- Pavimentos articulados.

#### **5.3.1 PAVIMENTOS FLEXIBLES**

Este tipo de pavimentos están formados por una carpeta bituminosa apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y la subbase. No obstante, puede prescindirse de cualquiera de estas capas dependiendo de las necesidades particulares de cada obra.



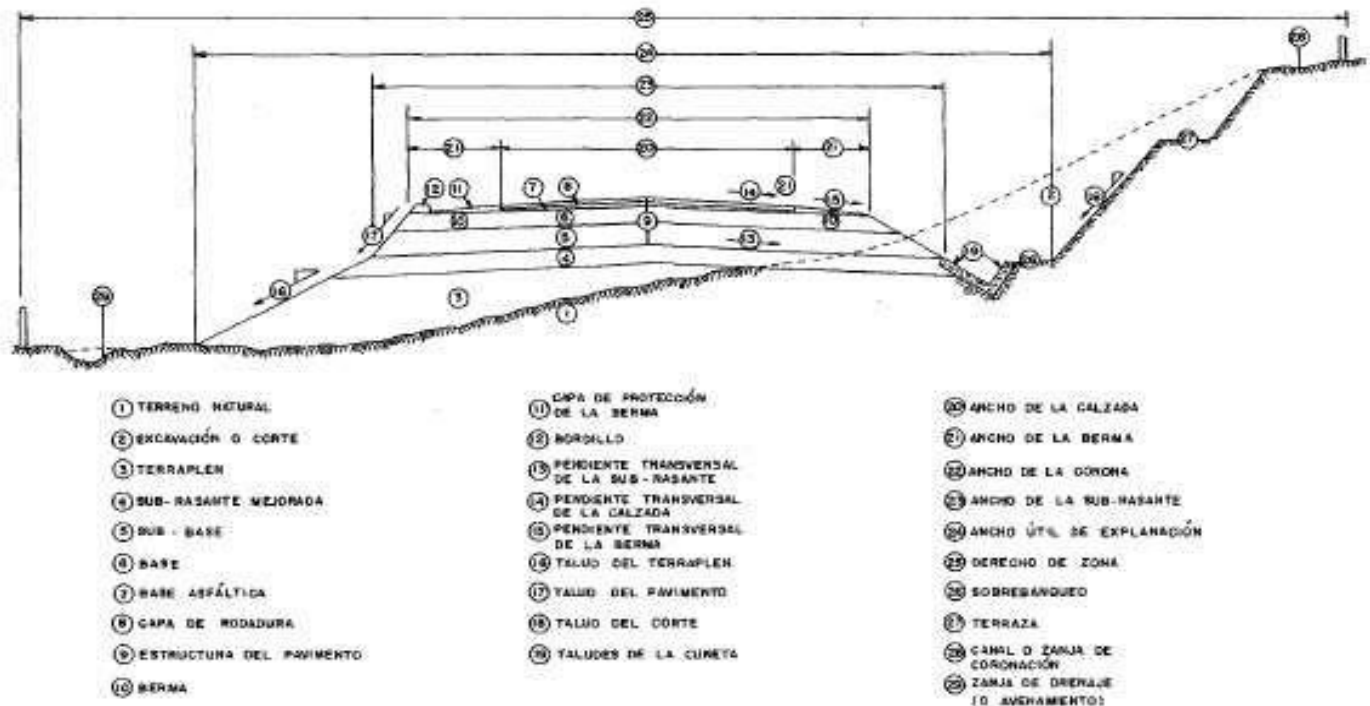


FIGURA 1 SECCION TIPICA DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE

### 5.3.2. PAVIMENTOS SEMI-RÍGIDOS

Aunque este tipo de pavimentos guarda básicamente la misma estructura de un pavimento flexible, una de sus capas se encuentra rigidizada artificialmente con un aditivo que puede ser: asfalto, emulsión, cemento, cal y químicos. El empleo de estos aditivos tiene la finalidad básica de corregir o modificar las propiedades mecánicas de los materiales locales que no son aptos para la construcción de las capas del pavimento, teniendo en cuenta que los adecuados se encuentran a distancias tales que encarecerían notablemente los costos de construcción. (OTONIEL, 1979)

### 5.3.3 PAVIMENTOS RÍGIDOS

Son aquellos que fundamentalmente están constituidos por una losa de concreto hidráulico, apoyada sobre la subrasante o sobre una capa, de material seleccionado, la cual se denomina subbase del pavimento rígido. Debido a la alta rigidez del concreto hidráulico, así como de su elevado coeficiente de elasticidad, la distribución de los esfuerzos se produce en una zona muy amplia. Además, como el concreto es capaz de resistir, en cierto grado, esfuerzos a la tensión, el comportamiento de un pavimento rígido es suficientemente satisfactorio aun cuando existan zonas débiles en la subrasante. La capacidad estructural de un pavimento rígido depende de la resistencia de las losas y, por lo tanto, el apoyo de las capas subyacentes ejerce poca influencia en el diseño del espesor del pavimento. (BADILLO)

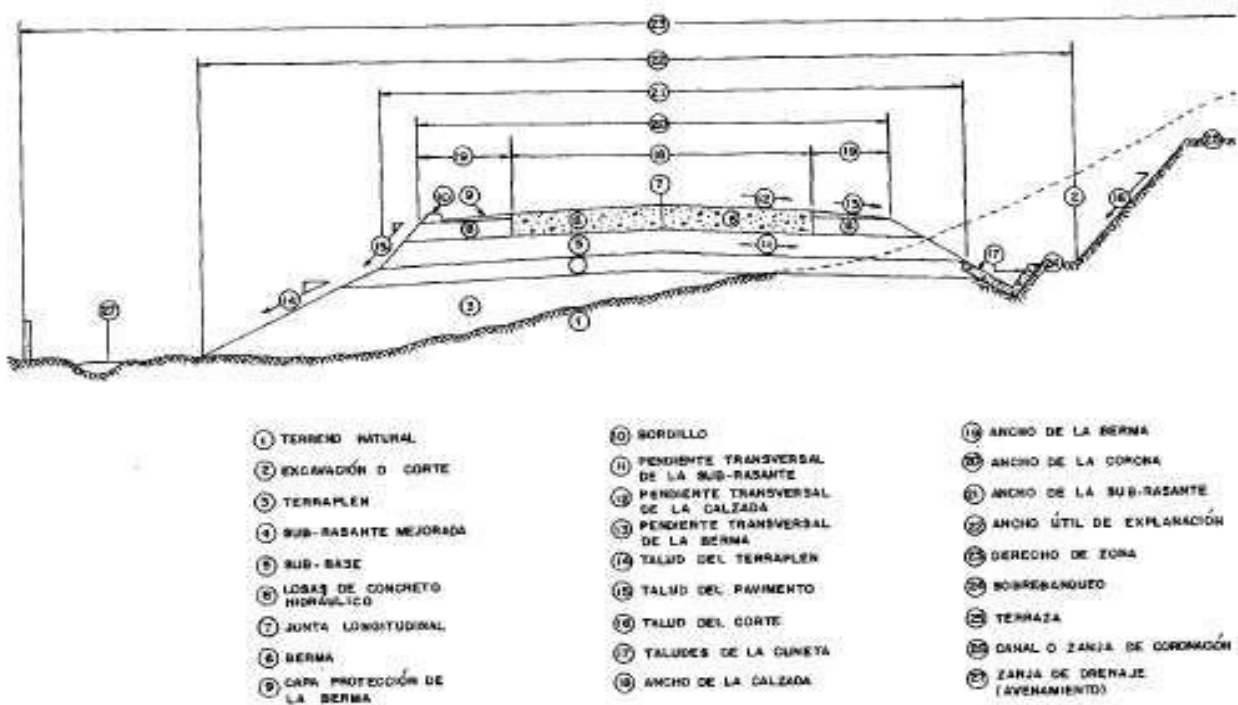


FIGURA 2 SECCION TIPICA DE UN PAVIMENTO RIGIDO



## 6.1 DEPARTAMENTOS SANTANDER Y NORTE DE SANTANDER

### ➤ ADJUDICACIÓN DE LAS OBRAS SURATA – CALIFORNIA

El sueño de conectar a los municipios de Suratá y California en Santander por medio de una vía amplia, segura y eficiente está cada vez más cerca con la adjudicación del contrato de obras al consorcio Atlas 13, integrado por firmas colombianas, para pavimentar 7,8 kilómetros de la vía.

Surata y California son dos municipios santandereanos representativos por su extensa actividad minera y por limitar con el departamento de Norte de Santander, lo que los convierte en paso obligado para quienes se desplazan y comercializan sus productos desde el nororiente del país hacia otras regiones. (Vicepresidencia, Adjudicación de las obras Suratá-California, 2015)



ILUSTRACIÓN 2 SURATA- CALIFORNIA

FUENTE: ADJUDICACIÓN DE LAS OBRAS SURATA – CALIFORNIA (INVIAS)

### ➤ PROYECTO VIA LOS CUROS – MALAGA

Con la rehabilitación de este corredor vial se beneficiarán los habitantes de los municipios de Capitanejo, Enciso, Carcasi, San José de Miranda, Málaga, Concepción, Molagavita, San

Andrés, Guaca, Santa Bárbara, y el sitio conocido como Los Curos, ubicado en Piedecuesta, municipio que hace parte del aérea metropolitana de Bucaramanga, al disminuir los tiempos de trayectos entre estos puntos y al aumentar la seguridad vial La vía Los Curos – Málaga es el principal corredor que comunica La Provincia de García Rovira, compuesta por 13 municipios, con la ciudad de Bucaramanga. Con el mantenimiento y rehabilitación de este trayecto, se facilitará la comercialización de los productos lácteos y agrícolas, principales actividades económicas de la provincia”, resaltó Vargas Lleras, quien además explicó que esta vía se conecta con otro proyecto de Vías para la Equidad: la Troncal Central del Norte (conexión Duitama-Málaga-Presidente), que a su vez atraviesa los departamentos de Boyacá, Santander y Norte de Santander. (Vicepresidencia, proyecto en la vía Los Curos – Málaga, en Santander, 2015)

## LOS CUROS - MÁLAGA SANTANDER

Aporte de la Nación  
\$100 mil millones

Kilómetros  
121



ILUSTRACIÓN 3 CUROS-MALAGA

FUENTE: PROYECTO VIA LOS CUROS – MALAGA (INVIAS)



➤ VIA PAMPLONA- BUCARAMANGA

Santander ocupa en el país el cuarto lugar después de Valle por su importancia poblacional y económica. Cuenta con 87 municipios y ocupa el 2.7% del territorio nacional. Con 30.537 km<sup>2</sup>, su área puede compararse con la superficie de Bélgica. Alto de la Colorada **4.440** msnm; Páramo de la Rusia **4.320**. Picacho del Ture **4.300**. Páramo de Cachirí **4.220**. Páramo Rico **4.200**. Páramo del Almozadero **4.093**. Peña de Saboyá **4.003**. Menempa **3.750**. Alto de Tisquizoque **3.700**. Páramo de Santurbán **3.700**. Alto de Tona **3.700**. Páramo de Guaca **3.500**. Cerro de Armas **3.400**. Páramo de Encino **3.370**. Páramo de Onzaga **3.361**. Cerro de Tisquizoque **3.326**. Mesa de Juan Rodríguez **3.050**. Cerro de Peñablanca **3.002** m.s.n.m. (santander)

Para esta región que comprende los Santanderes se vienen adelantando trabajos en la mega obra doble calzada Bucaramanga-Pamplona, Se han inspeccionado el avance de obras de la Doble Calzada entre el kilómetro 8 y el kilómetro 70 de la Vía, Bucaramanga-Pamplona, este tramo comprende 62 kilómetros y va hasta Berlín, en Cuesta boba, límites entre Santander y Norte de Santander. La obra contempla la rehabilitación de la actual calzada y la construcción de un segundo corredor vial que la deja en Doble calzada. (sergio clavijo, 2012-2020)



Ilustración 4 PAMPLONA-BUCARAMANGA

Fuente: la opinión Adjudican contrato para construcción de Autopista 4G

### Bucaramanga-Pamplona (INVIAS)

#### ➤ NORTE DE SANTANDER

El territorio del departamento de Norte de Santander se caracteriza por un relieve montañoso, aunque se pueden distinguir dos grandes unidades fisiográficas, una montañosa y una plana. La montañosa corresponde a la cordillera Oriental, cuya parte meridional, en límites con el departamento de Santander, forma el nudo de Santurban, del cual se desprenden dos grandes ramales, uno que sigue hacia el norte para formar la serranía de los Motilones y otro hacia el noreste, que se interna en la República de Venezuela. Se destacan numerosas elevaciones, entre ellas los páramos de Tamá con **3.329 m** sobre el nivel del mar, y Santurbán; los cerros de Bobalí Sur, Central y Norte, y Jurisdicciones, y la serranía de Tibú. La unidad plana cubre principalmente el norte del departamento y corresponde al valle del río Catatumbo, formado por los dos ramales antes mencionados. (Martinez, 2015)

En cuestión de infraestructura vial La Agencia Nacional de Infraestructura le notificó al gobernador Edgar Díaz Contreras, que desde los primeros días de octubre están abiertos los pliegos para la contratación de la construcción de la segunda calzada de 47,25 kilómetros que comunicará a Cúcuta con Pamplona, señaló que la obra comenzó a ser una realidad con la aprobación del Conpes de Cuarta Generación Tercera Ola Fase I, el pasado 02 de octubre, siendo este proyecto el de mayor importancia al convertirse en una solución para el intercambio comercial y el tránsito de los más de 6.000 automotores, entre particulares y de carga, que se movilizan por la zona. El proyecto

contempla la construcción de 47,25 kilómetros de segunda calzada, 4 kilómetros más de calzada sencilla y además de 6 túneles de 4,4 kilómetros, una variante, 44 puentes de 5 kilómetros y dos intercambiadores a nivel, trabajos que generarán más de 6,600 empleos directos e indirectos durante la etapa de construcción. Hasta la fecha se espera la adjudicación de esta obra que será de gran impacto para el departamento. (santander G. n., 1015)



*Ilustración 5 CUCUTA-PAMPLONA*

FUENTE: VIA 4G CUCUTA-PAMPLONA (INVIAS)

## 6.2 DEPARTAMENTO DE BOYACA

- ADJUDICACIÓN AL ACM INGENIEROS LA VIA ENTRE EL PUENTE BOYACA Y SACAMA.



La vía entre el Puente de Boyacá y el municipio de Samacá, que hace parte del programa de Obra Pública denominado ‘Plan de Vías para la Equidad’, es uno de los tres proyectos que beneficiarán al departamento de Boyacá con inversiones que alcanzan los \$218.473 millones: Puente de Boyacá- Samacá con \$13.473 millones, El Crucero -Pajarito con \$95.000 millones y Transversal de Boyacá (Chiquinquirá - Dos y Medio) con \$110.000 millones. (Vicepresidencia, ADJUDICACIÓN AL ACM INGENIEROS LA VIA ENTRE EL PUENTE BOYACA Y SACAMA. , 2015)



*Ilustración 6 PUENTE DE BOYACA-SAMACA*

FUENTE: ADJUDICACIÓN AL ACM INGENIEROS LA VIA ENTRE EL PUENTE BOYACA Y SACAMA. (INVIAS)

➤ **ADJUDICACIÓN DEL CONTRATO PARA LA VIA CHIQUINQUIRA- DOS Y MEDIO**

Con la adjudicación del contrato para la rehabilitación y mejoramiento de la vía entre Chiquinquirá y Dos y Medio, el departamento de Boyacá contará con una mejor carretera que le dará salida más rápida y segura hacia todo el Magdalena Medio. Dentro de los trabajos a realizarse en este proyecto,

que hace parte del Plan de Vías para la Equidad, se encuentra la pavimentación de 10 kilómetros entre el sector conocido como Dos y Medio en Puerto Boyacá y el municipio de Otanche, y el mejoramiento de 4,8 kilómetros entre Otanche y Pauna. (EXCELSIO, 2016)



*Ilustración 7 TRANSVERSAL DE BOYACA*

FUENTE: ADJUDICACIÓN DEL CONTRATO PARA LA VIA CHIQUINQUIRA- DOS Y MEDIO (INVIAS)

➤ ADJUDICACIÓN DE EL CRUCERO – PAJARITO AVANZA MEJORAMIENTO DE LA TRASVERSAL DEL CUSIANA

contrato para hacer las obras de mejoramiento en la vía El Crucero-Pajarito fue adjudicado al consorcio ecuatoriano Vías Para La Equidad 046, que en audiencia pública realizada por el Instituto Nacional de Vías (Invias), se impuso entre 38 diferentes empresas de ingeniería. El mejoramiento de esta vía garantiza una adecuada conexión entre los departamentos de Boyacá y Casanare con la Orinoquía, donde unos 450.000 habitantes podrán transitar de forma más cómoda, rápida y segura.

Durante los 31 meses que debe durar la ejecución de las obras, contados a partir de la suscripción del acta de inicio del contrato, se crearán más de 480 nuevos empleos. (BOGOTÁ, 1015)



*Ilustración 8 EL CRUCERO-PAJARITO*

FUENTE: ADJUDICACIÓN DE EL CRUCERO – PAJARITO AVANZA MEJORAMIENTO DE LA TRASVERSAL DEL CUSIANA (INVIAS)

### 6.3 DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA

El territorio del departamento de Cundinamarca presenta relieves bajos, planos y montañosos, todos correspondientes a la cordillera Oriental en ambos flancos. En este contexto, en el departamento, se pueden distinguir cuatro regiones fisiográficas denominadas flanco occidental, altiplano de Bogotá, flanco oriental y el piedemonte llanero.

La primera es una faja en dirección sur - norte y se inicia en el páramo de Sumapaz; las alturas están comprendidas entre los 300 y los **3.500** m sobre el nivel del mar, siendo los más bajos los accidentes

situados en el valle del río Magdalena. La segunda comprende el centro del departamento; por el sur limita con las estribaciones del páramo de Sumapaz y por el norte se extiende hasta el departamento de Boyacá; es de relieve plano enmarcado por los dos cordones cordilleranos y algunos cerros dispersos en el mismo altiplano.

La tercera es una faja paralela a la anterior, de relieve alto y abrupto reflejado en las formaciones de Medina y la cuchilla de Ubalá. (Martinez, 2015)

En cuestión de infraestructura vial que pueden intervenir tramos considerados por encima de los 3000 m.s.n.m están

#### ❖ TERCER CARRIL BOGOTA-GIRARDOT

A partir de 18 de marzo de 2016 la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), inicia el proceso de recepción de propuestas de los consorcios interesados en construir un tercer carril, en cada sentido, de la autopista Bogotá-Girardot por medio de una Asociación Público Privada de Iniciativa Privada (APP-IP Las obras del Tercer Carril en la vía Bogotá-Girardot permitirán que esta autopista sea de seis carriles puesto que en la actualidad es de doble calzada, con dos carriles de lado y lado. La inversión estimada para su construcción es de \$1,71 billones, y contempla frentes de obra que iniciarán en el Túnel de Sumapaz e irán hasta el municipio de Granada, a lo largo de 67 kilómetros. Igualmente, el proyecto estipula el mantenimiento y la rehabilitación de 154,81 kilómetros de vía existente. (Vicepresidencia, 2016)



*Ilustración 9 BOGOTA-GIRARDOT*

FUENTE: VICEPRECIDENCIA TERCER CARRIL BOGOTA. GIRARDOT

## 6.4 DEPARTAMENTO DE NARIÑO

- ❖ Nariño es un departamento de Colombia ubicado al suroeste del país, sobre la frontera con Ecuador y con orillas en el océano Pacífico. Su capital es San Juan de Pasto. El departamento recibe su nombre del prócer de la independencia y presidente Antonio Nariño. El relieve permite que Nariño disfrute de temperaturas cálidas, templadas, frías y de páramo. Las lluvias en el área interandina son mayores a **3.000 mm**, disminuyendo en el altiplano nariñense donde son inferiores a los 1.000 mm; en el piedemonte amazónico las lluvias son superiores a los **4.000 mm** (nariño)

Está dividido por tres regiones;

- ❖ Llanura del Pacífico, que se caracteriza por altas temperaturas, abundantes lluvias y exuberante vegetación; se subdivide en la zona de mangle y la llanura del bosque húmedo, que se extiende hasta las estribaciones de la Cordillera Occidental.
- ❖ Región andina, el rasgo más sobresaliente del departamento y que es la más poblada, donde se encuentra el centro político del departamento. La cordillera de los Andes forma el nudo de los Pastos, de donde se desprende dos ramales:
- ❖ La Cordillera Occidental, la cual presenta los volcanes Chiles (**4.718** m), Cumbal (**4.764** m), Azufral (**4.070** m) y una profunda depresión denominada Hoz de Minamá.
- ❖ La Cordillera Centro-Oriental que presenta el altiplano de Túquerres-Ipiales, el valle de Atriz y los volcanes Galeras (**4.276** m), uno de los volcanes más activos en el mundo y el Doña Juana (**4.250** m)

#### ➤ OBRAS DE LA CIRCUNVALAR GALERAS

Para el departamento de Nariño y la Región Andina con la adjudicación del contrato para pavimentar y rehabilitar 16 kilómetros de la vía que comunica a Pasto con varios municipios ubicados alrededor del volcán Galeras El desarrollo de estas obras, que hacen parte del Plan de Vías para la Equidad impulsado por el Gobierno Santos, estarán a cargo del consorcio Colombo - Costarricense Galeras 2015, que ganó la licitación pública al ofrecer las mejores condiciones económicas y técnicas, lo cual se traduce en menores costos y mayores beneficios para los habitantes de Nariño y sus visitantes. Con una inversión de \$55.823 millones y un plazo máximo de 33 meses, el consorcio seleccionado deberá pavimentar 10 kilómetros en el tramo Consacá-Sandoná, adelantar trabajos de rehabilitación en seis kilómetros entre Cebadal y Yacuanquer, y atender la zona crítica de La Cernidera. (Vicepresidencia, Obras de la circunvalar galera , 2015)



*Ilustración 10 CIRCUNVALAR GALERAS*

FUENTE: OBRAS DE LA CIRCUNVALAR GALERAS (INVIAS)

➤ RUMICHACA- VARIANTE SUR DE IPIALES

El proyecto Rumichaca - Variante Sur de Ipiales, en el departamento de Nariño, es el primero de los 57 corredores viales a cargo del Invías en comenzar su proceso de licitación dentro del Plan Estratégico Vías para la Equidad. Este corredor vial tendrá una longitud de 0.98 kilómetros y contempla la construcción de la doble calzada de tres carriles en cada sentido entre el Puente Internacional de Rumichaca y la variante sur de Ipiales. Así mismo, prevé el mejoramiento del Centro Binacional de Atención Fronteriza (CEBAF) y la construcción de sus vías de acceso. “Esta obra es fundamental para fortalecer la conectividad, el comercio y el turismo con Ecuador, y en su construcción esperamos generar, entre empleos directos e indirectos. (Vicepresidencia, Con Rumichaca- Variante Sur de Ipiales, 2015)

## RUMICHACA - VARIANTE SUR DE IPIALES NARIÑO

Aporte de la Nación  
\$ 30 mil millones

Kilómetros  
1



*Ilustración 11 RUMICHACA-VARIANTE SUR DE IPIALES*

FUENTE: RUMMICHACA- VARIANTE SUR DE IPIALES (INVIAS)

APORTE: En Colombia son innumerables las obras de infraestructuras viales en regiones que son consideración de altura, principalmente las que están mencionadas son las más significativas, pero existen muchas más obras en el país que sobrepasan los 3000 m.s.n.m



## **7. PAVIMENTOS PARA ZONAS DE ALTURA**

### **7.1 DESCRIPCION PARA ZONAS DE ALTURA**

Se puede decir que un pavimento pertenece a la categoría de “pavimento en zona de altura” cuando se encuentra ubicado por encima de los 3,500 msnm. Sin embargo, esta es una referencia altimétrica que de ninguna manera pretende ser limitativa, ya que el problema de un pavimento asociado a la altura está relacionado con una serie de factores hidro-metereológicos que pueden darse a alturas menores o, caso contrario, pueden no darse a alturas mayores.

La problemática de un pavimento en zona de altura está asociada directamente con los factores hidro-metereológicos y escasez de materiales, que suelen producirse en tales regiones, y que afectan el normal desarrollo del proceso constructivo, la durabilidad y el comportamiento en servicio de las diversas capas que lo componen.

Los intentos por dar solución al problema del diseño y construcción de pavimentos para zonas de altura, basados en la tecnología convencional, han terminado la mayoría de ellos en fracasos (GREENSTEIN, 1982), ya que la problemática particular de estas zonas no está contemplada en su totalidad por los métodos de diseño elaborados en los países desarrollados. La intensidad de la radiación solar o el gradiente térmico, son problemas que afectan a una porción mínima de los pavimentos en el hemisferio norte y en la mayor parte de países latinoamericanos, siendo Perú y Bolivia las únicas naciones con un desarrollo importante de su red vial, por encima de los 3,500 m de altitud. (Rodriguez)

La tarea de diseñar y construir pavimentos que puedan resistir las condiciones adversas a las que estarán expuestos, propias de las zonas de cordillera, plantea en consecuencia un reto difícil

que compromete los esfuerzos de los especialistas en pavimentos, para la búsqueda de soluciones originales que necesariamente deberán basarse en el análisis de las propias experiencias.

## **7.2 FACTORES QUE ALTERAN LAS CARACTERISTICAS DE LOS PAVIMENTOS EN ZONAS DE ALTURAS**

### **7.2.1 METEREOLÓGICOS E HIDROLÓGICOS**

Las zonas de altura están sujetas durante el año a dos estaciones marcadamente definidas, la estación lluviosa o verano y la estación fría o invierno. La estación de lluvias suele presentarse entre los meses de noviembre y Abril, llegando a acumularse una precipitación media mensual entre 400 y 600 mm, en los meses de mayor incidencia. La precipitación media anual característica suele estar entre 500 y 1500 mm. Entre los meses de Junio y Setiembre se produce la estación invernal o de “heladas”, en donde se producen temperaturas mínimas absolutas de hasta  $-20^{\circ}\text{C}$  por las madrugadas, mientras que durante el día la temperatura ambiente media se eleva hasta los  $20^{\circ}\text{C}$ ; el gradiente térmico, que es la diferencia entre la temperatura más alta y la más baja que se produce al interior de una capa asfáltica, en un determinado intervalo de tiempo, llega hasta los  $60^{\circ}\text{C}$  en 8 horas. La radiación solar en las zonas de altura tiene una intensidad 4 a 5 veces mayor que la correspondiente al litoral. Mediciones efectuadas a 4,000 msnm, indican una radiación de  $5.5 \times 10^6 \text{ cal/m}^2/\text{día}$ .

La presencia de depósitos de agua subterránea es característica de las zonas de altiplano o de las denominadas “pampas”, en donde, por falta de drenaje natural, los suelos suelen mantener acumulada importantes cantidades de agua durante todo el año. La presencia de aguas estancadas permanentes, da origen a estratos potentes de suelos finos, orgánicos, saturados, de coloración

oscura, a los que se denomina “bofedales”. También es común encontrar suelos finos saturados en las zonas aledañas a los cursos altos de los ríos o en las riveras de las lagunas. Al efectuarse los cortes a media ladera se suele encontrar flujos de agua subterránea, aflorando en los taludes.

### **7.2.2 TEMPERATURA AMBIENTE BAJA (NOCHE Y DIA)**

Las temperaturas bajas afectan las propiedades geológicas del asfalto y en consecuencia las propiedades físicas de las mezclas, originando el fisuramiento de las capas asfálticas, por contracción térmica y/o por el incremento de la rigidez con la acción combinada del tráfico pesado.

Temperaturas ambiente negativas (hasta temperaturas ambiente negativas (hasta -20°C)

Dependiente de la altitud (-6.5/KM) velocidad del viento

Sus efectos sobre el pavimento son:

- ❖ Endurecimiento del bitumen (susceptibilidad térmica)
- ❖ Rigidización de la mezcla
- ❖ Fragilidad
- ❖ Fisuramiento ante cargas del tráfico
- ❖ Se afecta la superficie del pavimento (condición vítrea)
- ❖ Los efectos se hacen críticos con el tiempo (envejecimiento)
- ❖ Cargas pesadas y lentas

#### **7.2.1.2 TEMPERATURA PAVIMENTO ALTA (DIA)**

- ❖ Temperatura ambiente hasta 28-30°C
- ❖ Dependiente de la altitud (-6.5/km)
- ❖ Dependiente de la radiación (presión atmosférica y masa volumétrica de aire)
- ❖ Pavimento asfáltico (black body)
- ❖ Relación entre temperatura ambiente y temperatura del pavimento (+ 15-20°)
- ❖ Temperatura del pavimento hasta 50 -55°C

Sus efectos sobre el pavimento son:

- ❖ Radiación solar
- ❖ Litoral vs. Zona Alta
- ❖ Promueve oxidación (calentamiento, envejecimiento, endurecimiento)
- ❖ Eleva el gradiente térmico

### **7.2.1.3 GRADIENTE TERMICO**

El gradiente térmico, es un fenómeno típico que se produce en las zonas de altura, del cual no se ocupa la tecnología convencional incluida el programa SHRP y SUPERPAVE. El gradiente térmico genera diariamente cambios volumétricos en el interior de la capa asfáltica, los que a su vez producen esfuerzos cíclicos de tracción y compresión, que provocan finalmente su falla por fatiga.

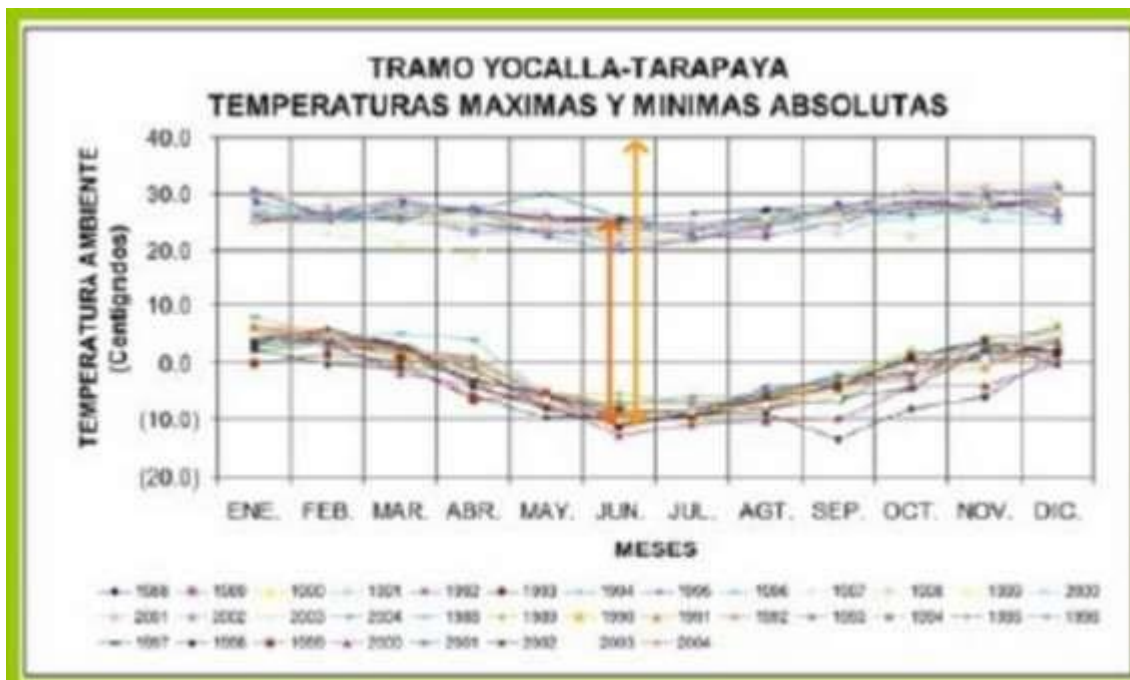


Ilustración 12 GRADIENTE TERMICO

#### 7.2.1.4 RADIACION SOLAR

- La radiación solar, con la altura disminuye la presión atmosférica con la presión disminuye la masa volumétrica del aire debido a la menor densidad del aire aumenta la radiación solar la radiación en altura es aproximadamente 5 veces la radiación a nivel del mar

Efectos sobre el pavimento:

- Promueve la evaporación de las fracciones blandas del asfalto y crea un ambiente propicio para la oxidación y envejecimiento de las estructuras asfálticas.
- La radiación solar provoca, la decoloración inmediata de la superficie asfáltica.
- la pérdida del material fino de la mezcla (peladuras) y el incremento la permeabilidad de la capa.
- Se produce un mayor calentamiento por parte del pavimento

### **7.2.2 DISPONIBILIDAD DE MATERIALES**

En las zonas de altura no existen cauces de ríos explotables, o si existen, no tienen la suficiente cantidad de material de arrastre requerido para la construcción de los pavimentos. Por otro lado, los bancos rocosos existentes son generalmente de origen volcánico. Los agregados con que se cuenta para la fabricación de las mezclas asfálticas son de bajo peso específico y alta absorción de agua. El ángulo de fricción interna de los materiales es bajo, debido a la superficie pulida y aristas redondeadas de las partículas. Generalmente no se encuentran arenas de grano grueso y el contenido de polvo es excesivo.

### **7.2.3 LIMITACIONES PARA LA PROVISIÓN DE CEMENTO ASFÁLTICO**

Esta es una situación particularmente importante y que es característica del Perú y Bolivia, y tiene que ver con la oferta limitada relacionada con el asfalto. El asfalto utilizado en el Perú procede de la única refinería que existe en el país, perteneciente a una empresa estatal, la cual es favorecida con un virtual proteccionismo que impide la importación de otras alternativas. En el caso de Bolivia la situación es menos crítica, sin embargo, por cuestiones de transporte y de economía, se depende sólo de dos fuentes de aprovisionamiento, Perú y Chile.

Las limitaciones para la provisión de cemento asfáltico, de cuya calidad depende en gran parte el comportamiento de los pavimentos sujetos a condiciones extremas de clima, configuran también un problema que debe ser tomado en cuenta al momento de establecer las soluciones para el diseño de los pavimentos.

#### **7.2.4 MALA CALIDAD DE LOS AGREGADOS**

El problema de disponibilidad de materiales en las zonas de altura, es un factor que limita la posibilidad de adoptar soluciones adecuadas para la construcción de los pavimentos. El empleo de agregados altamente absorbentes, por ejemplo, demanda el uso de cantidades adicionales de cemento asfáltico en las mezclas, a fin de preservar la durabilidad de las mismas, cantidades que representan un costo perdido. El tema de la absorción requiere de cálculos precisos sobre la cantidad de asfalto que absorbe el agregado, lo que a través de los ensayos convencionales es complicado de efectuar, debido a las características gravitacionales que existen a determinadas alturas geográficas.

Otro aspecto es lo referente a la posibilidad de lograr combinaciones granulométricas, a fin de alcanzar las gradaciones recomendadas. Ante la carencia de arenas gruesas, en la práctica se produce la tendencia a usar mezclas de gradación fina, de alto consumo de asfalto en función a su área específica. Las mezclas resultan demasiado blandas y en consecuencia, presentan mala trabajabilidad, lo que a su vez determina procedimientos de compactación inadecuados.

Efectos sobre el pavimento:

- ❖ Pérdida de agregados
- ❖ Perdida de la capa de rodadura
- ❖ Fisuramiento
- ❖ Grietas longitudinales

#### **7.2.5 AGUA SUPERFICIAL Y NIVEL FREÁTICO**

El agua superficial también contribuye a la oxidación del asfalto, al ingresar por los vacíos de la capa de rodadura. Sin embargo, su mayor efecto destructivo se manifiesta en forma combinada con las cargas de tráfico, ya que el agua alojada en las fisuras del pavimento, por efecto de la presión de los neumáticos, genera una presión de poros que gradualmente destruye el pavimento asfáltico.

Suelos finos con presencia de agua subterránea o nivel freático son susceptibles de congelamiento, lo que provoca el hinchamiento de los mismos y de las capas granulares del pavimento, la aparición de deformaciones permanentes y el fisuramiento de las capas asfálticas. La ascensión capilar del agua subterránea produce también problemas de pérdida de espesor efectivo en las capas granulares y, en consecuencia, el acortamiento de la vida útil de los pavimentos.

#### **7.2.6 SELECCIÓN DE MEZCLA ASFALTICA EFICIENTE**

El cemento asfáltico de procedencia única, utilizado para la construcción de pavimentos en zonas de altura, entra en la categoría de “problema”, cuando no presenta características adecuadas para su uso en condiciones severas de clima. La susceptibilidad térmica al igual que el grado de penetración y la susceptibilidad al envejecimiento, son aspectos que inciden en forma determinante en el comportamiento de los materiales asfálticos y, finalmente, en el de las mezclas. En este asunto juega un papel importante la calidad de los crudos empleados, generalmente resultantes de mezclas de productos de diversa procedencia y en donde las fórmulas varían frecuentemente en función a la escasez o abundancia de los componentes, y por el empuje de la demanda. Para esas condiciones



la permanencia de la calidad no está garantizada, lo que genera la necesidad de controles frecuentes para asegurar la calidad de los pavimentos.

### 7.2.7 FALTA DE TECNOLOGIA APROPIADA

- ❖ Solo hay pavimentos en altura en Argentina, Chile, Bolivia y Perú
- ❖ No hay una tecnología oficial para el diseño estructural o diseño de mezclas asfálticas (aashto, asphalt institute)
- ❖ La aplicación de la tecnología convencional no ha dado resultados positivos
- ❖ Es necesario una normatividad específica para el diseño y construcción de los pavimentos en altura

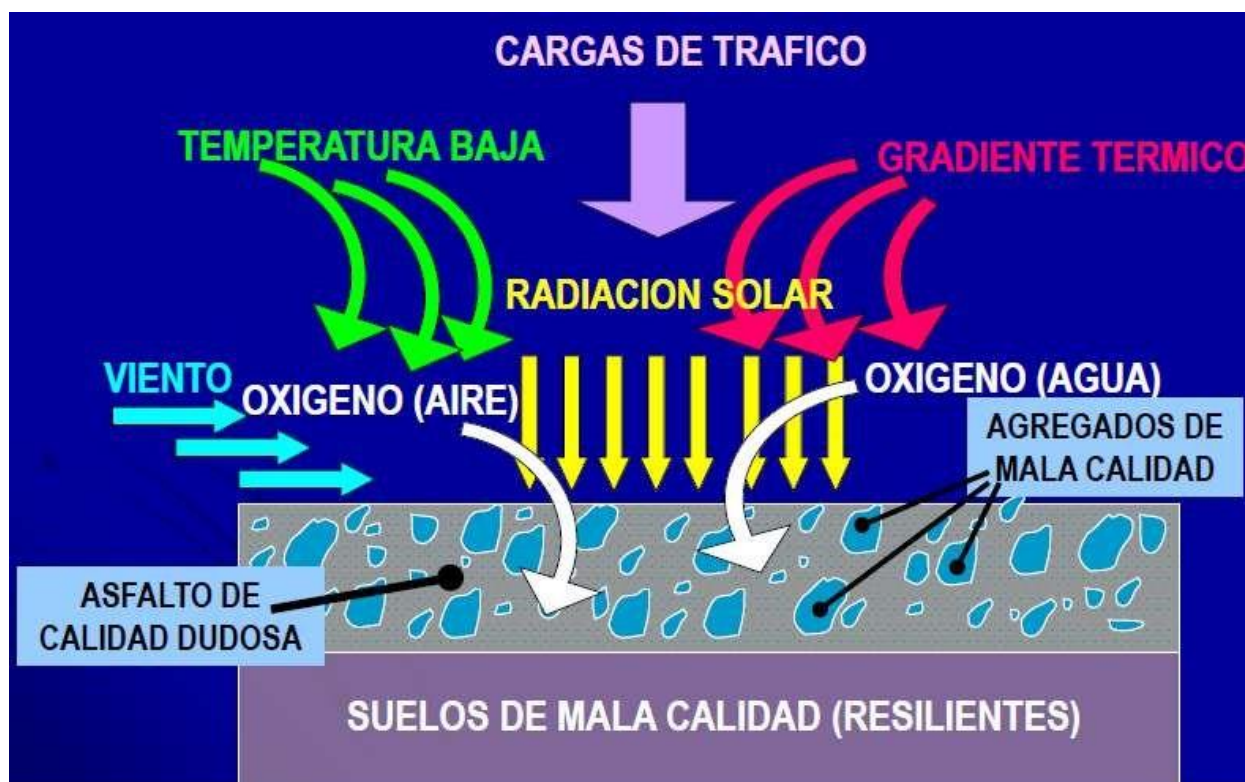


Ilustración 13 FACTORES QUE AFECTAN UN PAVIMENTO DE ALTURA

## **APORTE**

El clima presente en las zonas de altura contiene los factores más influyentes sobre los pavimentos como lo son las bajas y altas temperaturas, el gradiente térmico, la radiación solar, estos factores son los más dañinos para las obras de infraestructura vial, debido a que el clima cambia conforme a la altura sobre el nivel del mar se hace necesario implementar nuevas soluciones respecto a diseño y construcción de pavimentos en ciertas zonas.

La poca disponibilidad de agregados de buena calidad en zonas de altura hace que las obras viales no tengan una buena calidad y eso influye en la vida útil del pavimento.

## **8. AVANCES LOGRADOS PARA LA SOLUCION DEL PROBLEMA**

La experiencia peruano-boliviana en lo referente al diseño y construcción de pavimentos para zonas de altura, se ha basado en tres aspectos fundamentales: el diseño estructural utilizando materiales no convencionales, la adopción de criterios de diseño de mezclas asfálticas, también no convencionales, y el refinamiento de las recomendaciones para los procedimientos constructivos. Las soluciones se han ido planteado paulatinamente, en función a los resultados obtenidos. La figura 1.8 presenta una relación de proyectos, para los cuales se han adoptado algún tipo de medida específica con relación al problema de la altura.

N°	PROYECTO	DISEÑO DEL PAVIMENTO				Diseño Mezclas	Aspectos Constr.
		PFC	PTA	PFG	PFM		
	<b>PERU</b>						
1	Pativilca-Huaraz-Caraz			X			
2	La Oroya-Huánuco	X				X	X
3	Lima-La Oroya		X			X	X
4	Pisco-Ayacucho	X				X	X
5	Nazca-Puquio-Chalhuanca	X				X	X
6	Ilo-Desaguadero			X		X	X
7	Arequipa-Juliacá			X		X	X
8	Puno-Cusco				X	X	X
	<b>BOLIVIA</b>						
1	Río Seco-Guaqui			X			
2	Guaqui-Desaguadero			X	X	X	X
3	Tiquina-Copacabana				X		
4	Oruro-Cochabamba	X				X	X

PFC : Pavimento flexible convencional

PTA : Pavimento todo asfáltico

PFG : Pavimento flexible con geotextil impermeabilizador

PFM : Pavimento flexible con asfalto modificado

*Tabla 1 PROYECTOS DESARROLLADOS CONSIDERANDO LOS EFECTOS DE ALTURA*

## 8.1 DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS

### 8.1.1 SOLUCIÓN “TODO-ASFÁLTICA”

La solución “todo asfáltica” para el diseño estructural del pavimento, se empleó por primera y única vez, para la construcción del tramo carretero San Mateo-Morococha (MONTALVO, 1997), sector de la Carretera Central que atraviesa la Cordillera de Los Andes a una altitud de 4,818 m. Este diseño fue desarrollado en el marco del proyecto de Cooperación Técnica PerúFinlandia, en el año 1991. El paquete estructural está conformado por un geotextil separador sobre la subrasante, una base drenante granular de 0.15 m de espesor, una base asfáltica de 0.10 m de espesor, una carpeta asfáltica de 0.05 m de espesor y una carpeta de rodadura asfáltica de 0.05 m de espesor.

El proyecto se construyó entre los años 1992 y 1993. A fines de 1994, el pavimento ya reportaba fisura miento térmico en la capa asfáltica superficial, sin embargo, se observó que las capas asfálticas subyacentes actuaban como elementos impermeabilizantes de las capas inferiores, facilitando el mantenimiento de la vía al no producirse deformaciones permanentes al nivel del suelo de subrasante.

### **8.2.2 SOLUCIÓN CON GEOTEXTIL IMPERMEABILIZANTE**

Ante la persistencia de la fisura miento térmico, a pesar del uso de una estructura “todo asfáltica” y la adopción de cuidados especiales para el diseño y la construcción del pavimento, la tendencia posterior fue la de elaborar una solución adoptando una posición más realista, primero, buscando una solución más económica y, segundo, aceptando el fisuramiento como un hecho inevitable a costos razonables. Esta nueva solución busca que obtener el efecto impermeabilizante observado en la solución “todo asfáltica” pero utilizando un material más económico. Considerando una solución flexible convencional, se busca que impermeabilizar las capas granulares y suelo de sub-rasante, mediante el uso de una membrana asfáltica (geotextil impregnado de asfalto) ubicada en la interface base granular-carpeta de rodadura. De esa manera, producidos los fisuramientos en la capa de rodadura, el agua no penetra y la capacidad estructural del pavimento se mantiene inalterable.

Esta solución fue empleada por primera vez en 1994, para el diseño del tramo carretero Conococha-Puente Sahuay (AGUILA, 1994), sector de la Carretera Pativilca-Huaraz-Caraz que atraviesa la Cordillera de los Andes a una altitud de 4,200 m. Esta carretera se construyó en 1997, presentando durante el primer año un buen comportamiento y sin fisuramiento térmico. La

solución con geotextil se ha utilizado para diseñar más de 800 km de pavimentos, de los cuáles se han construido o se están construyendo más de 400 km, tanto en el Perú como en Bolivia.

### **8.3.3 USO DE ASFALTOS MODIFICADOS**

Sin embargo, considerando la tecnología actual respecto a la calificación del bitumen en función a su performance y la calidad de los materiales asfálticos disponibles para la construcción de los pavimentos, la solución al problema de los fisuramientos térmicos de las estructuras asfálticas, trabajando en climas fríos y zonas de altura, se encuentra en utilizar un ligante asfáltico modificado que permita obtener una mezcla capaz de mantenerse flexible y elástica a la temperatura más baja prevista para su vida en servicio, y con una mejor resistencia a la fatiga y al envejecimiento. (DNER-IPR, 1998)

Para la elaboración de los diseños, se ha tomado en consideración el efecto beneficioso que se obtiene, al emplear un asfalto modificado, en la resistencia a la fatiga de la mezcla. Estudios efectuados en Brasil concluyen que puede considerarse en forma conservadora, un valor de 0.65/pulgada para el coeficiente estructural de una mezcla asfáltica modificada con 3% de polímero tipo SBS. Esta conclusión es sumamente importante, ya que significa que, el empleo de un polímero, además de incidir en la durabilidad de la obra, permite la obtención de una solución económica bastante más ventajosa. (FHWA, 1994)

La solución de pavimento flexible utilizando asfalto modificado, fue propuesta para el diseño del tramo Sicuani-Santa Rosa (AGUILA, 1997), ubicado en la carretera Puno-Cusco, en la zona sur del Perú, en donde el cruce de la cordillera de los Andes se encuentra a una altitud de 4,500 m. En Bolivia, la solución se ha empleado para el diseño del tramo Guaqui Desaguadero (AGUILA, 1998), actualmente en construcción con financiamiento del Banco Interamericano de Desarrollo.

## **8.4 DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA CARPETAS DE RODADURA**

La experiencia en el tema del diseño de mezclas asfálticas, abarca tres rubros: la selección de materiales, el ajuste de la combinación de agregados y la determinación del óptimo contenido de bitumen. Al respecto, no existe consenso aún con relación a los criterios más convenientes a emplear en cada uno de estos temas, por lo tanto, lo que se refiere a continuación es una recopilación de las recomendaciones más empleadas.

### **8.4.1 RECOMENDACIONES PARA LA SELECCIÓN DE MATERIALES**

La oferta de cemento asfáltico permite elegir sólo entre dos alternativas, cemento asfáltico con penetración 85-100 y cemento asfáltico con penetración 120-150. Ante este reducido número de posibilidades, el criterio recomendado es que para la selección del ligante debe primar el parámetro de susceptibilidad térmica antes que la penetración. El valor mínimo especificado para el Índice de Penetración (IP) es  $-0.5$ . A igualdad de resultados de IP se recomienda elegir el asfalto de mayor penetración.

Elegido el tipo de asfalto, se recomienda el estudio del material mediante la ejecución de los siguientes ensayos, correspondientes a la tecnología SUPERPAVE:

- Con el Asfalto Virgen:
  - ❖ Punto de Inflamación ( $^{\circ}\text{C}$ )
  - ❖ Ensayo con Reómetro de corte dinámico,  $G^*/\sin d$  (kPa)
  - ❖ Viscosidad Brookfield a  $135^{\circ}\text{C}$  (Pa)
- Con el residuo después del Ensayo de Película Delgada en Horno Rotatorio:
  - ❖ Pérdida de masa (%)
  - ❖ Ensayo con Reómetro de corte dinámico,  $G^*/\sin d$  (kPa)

- Con el residuo después del ensayo de Envejecimiento a presión:
  - ❖ Ensayo con Reómetro de corte dinámico,  $G^*/\sin d$  (kPa)
  - ❖ Ensayo con Reómetro de flexión, Stiffness (Mpa)
  - ❖ Ensayo con Reómetro de flexión, m Value
  
- Grado de Performance del ligante (PG)

Los límites que se aplican para cada uno de los parámetros, corresponden a las especificaciones SUPERPAVE.

Para el caso de los agregados pétreos, se debe efectuar ensayos para evaluar la afinidad asfalto-agregado, tanto para la piedra como para la arena, utilizando el método de Revestimiento Desprendimiento (ASTM D-1664) y Riedel-Weber (NLT-355/74).

No se debe utilizar, en lo posible, arena producto de trituración, a fin de no incrementar el Índice de Rigidez de la mezcla. De ser necesario el uso de arena de trituración, se deberá minimizar la cantidad empleada.

No se debe abusar del uso de cal hidratada como filler o rellenanante mineral, ya que, tal como lo hace el cemento portland, la cal tiende también a rigidizar la mezcla asfáltica, ya que incrementa la estabilidad. En lo posible, no deberá utilizarse.

Los agregados en zonas de altura presentan usualmente bajo peso específico y alto contenido de absorción de agua, por lo que absorben una importante fracción del asfalto proporcionado a la mezcla, fenómeno que continua aún después de concluido el proceso constructivo. En consecuencia, se recomienda poner especial cuidado para que el cálculo de la cantidad de asfalto absorbido por los agregados.

Para tal fin el único método que será empleado para la determinación de la Máxima

Gravedad Específica de la mezcla suelta, será el Ensayo Rice.

#### 8.4.2 CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE LA ÓPTIMA COMBINACIÓN DE AGREGADOS

- Considerar un tamaño máximo de ½ pulgada, para lo cual se recomienda utilizar la especificación 6 A del Instituto del Asfalto:

Tamaño de Abertura	Porcentaje Pasante
½	100
3/8"	90-100
Nº 4	60-80
Nº 8	35-65
Nº 50	6-25
Nº 200	2-10

Tabla 2 ESPECIFICACION 6 A DEL INSTITUTO DEL ASFALTO

- Evitar que la granulometría de la combinación cruce por la zona restringida, recomendada por las especificaciones SUPERPAVE, haciendo pasar la curva por debajo de la línea de máxima densidad.

La especificación SUPERPAVE para el tamaño máximo 12.5 mm es:

Abertura (mm)	Puntos de Control		Zona Restringida	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
12.5	100	-		
9.5	90	100		
2.36	32	67	47.2	47.2
1.18	-	-	31.6	37.6
0.60	-	-	23.5	27.5
0.30	-	-	18.7	18.7
0.075	2	10		

Tabla 3 ESPECIFICACION SUPERPAVE



Los resultados que se buscan al seleccionar la combinación de agregados bajo estos criterios, son:

- Contar con un esqueleto mineral fuerte que posibilite la compactación de la mezcla inmediatamente después de colocada, sin que se produzcan deformaciones y/o fisuramientos de la masa asfáltica.
- 2. Contar con una gradación que permita minimizar la superficie específica de los agregados, incrementar el VMA, y, en consecuencia, obtener un recubrimiento de las partículas de espesor suficiente para garantizar la durabilidad de la mezcla.

### **8.4.3 RECOMENDACIONES PARA LA SELECCIÓN DEL ÓPTIMO CONTENIDO DE ASFALTO**

Para el caso de los pavimentos en zonas de altura, se requiere de una mezcla asfáltica con las siguientes características: Trabajabilidad, Impermeabilidad, y Flexibilidad.

La mezcla debe ser lo suficientemente trabajable que permita una adecuada y rápida compactación. La trabajabilidad estará en función a una adecuada combinación de agregados.

La impermeabilidad de la mezcla es vital, a fin de evitar la oxidación y envejecimiento precoz de la capa asfáltica. Se deberá considerar una relación de vacíos mínima y un tamaño máximo de agregados pequeño. La afinidad asfalto agregado deberá estar garantizada, debiéndose efectuar un estudio específico para tal fin.

La flexibilidad es fundamental para los efectos de comportamiento a bajas temperaturas. Se deberá dosificar una mezcla rica en cemento asfáltico y el cemento asfáltico deberá tener baja susceptibilidad térmica.

Es recomendable que los diseños de mezcla asfáltica mediante el método Marshall, se efectúen considerando mezclas de prueba con contenidos de cemento asfáltico entre 5.5 y 7.5%,

desde que el óptimo contenido, de acuerdo a la experiencia en los proyectos efectuados, suele estar en 6.5% para los agregados típicos.

Efectuar mezclas de pruebas con alto contenido de bitumen (7.5 u 8%), pueden dar resultados erráticos, por cuanto son contenidos que corresponden al estado de saturación de las mezclas asfálticas normales. De hecho, se recomienda no emplear, para fines de los ensayos Marshall, un contenido de bitumen igual o mayor que 8%.

El óptimo contenido de cemento asfáltico, se deberá determinar como el promedio de los siguientes parámetros: Contenido de asfalto para el Máximo Peso Unitario; Contenido de asfalto para 2% de vacíos; Contenido de asfalto para un flujo de 4 mm.

El contenido efectivo de cemento asfáltico de la mezcla asfáltica, para pavimentos en altura, no deberá ser inferior a 6%, o, calculada la superficie específica de los agregados, el recubrimiento de las partículas no deberá ser inferior a 8 micrones.

La estabilidad de la mezcla deberá estar entre 750 y 1000 kg. El Índice de Rigidez será como máximo 2,500 kg/mm, debiendo buscarse un óptimo de 2,000 kg/mm

## 9 CONCLUSIONES

- A partir de la revisión bibliográfica se analizaron cada uno de los factores que afectan el comportamiento de los pavimentos en alturas encontrándose las de mayor influencia en la estructura y durabilidad de la capa asfáltica la temperatura ambiente baja (noche--día), temperatura pavimento alta (día), por encima del gradiente térmico y la radiación solar. Estos factores son predominantes y representados por los cambios climáticos que se presenten en las distintas épocas del año y causan una diferenciación importante entre los pavimentos con significativas variaciones de altitud.
- Al recolectar información sobre el relieve colombiano se pudo conocer las obras viales que se encuentran en zonas de altura que deberían implementar las tecnologías descritas en esta monografía.
- Se definieron los factores que modifican las características de este tipo de pavimentos en alturas y se establecieron los efectos de cada uno de ellos.
- Se conoció algunas de las alternativas de solución para la implementación de las nuevas tecnologías aplicadas a la elaboración de este tipo de pavimentos en vías en Perú y Bolivia.
- En Colombia se están realizando un sin número de construcciones de infraestructura vial en las cuales se podría realizar una investigación en cuanto a los factores que alteran el pavimento

en las zonas por encima de los 3000 m.s.n.m y establecer alternativas propias de solución para este tipo de procesos que mitigar los efectos producidos por cada uno de los factores.

- Después de conocer todos los factores que afecta la calidad de los pavimentos en zonas de alturas podemos observar que entre los más significativos están los cambios climáticos, la calidad de los materiales y la forma en que son implementados.
  
- Se pudo observar que los métodos constructivos juegan un papel importante puesto que este tipo de pavimentos están sujetos a muchos factores que hacen que pierdan su resistencia optima y vayan perdiendo vida útil con mucha más rapidez, por esta razón la buena práctica en el método constructivo ayuda enormemente a garantizar la calidad y durabilidad del pavimento que es expuesto altas temporadas de frio.

## 10 RECOMENDACIONES

- Gracias a la investigación que se realizó y al análisis de la misma se aconseja implementar este tipo de tecnología que ha ido avanzado en países con la misma problemática que el nuestro así podríamos avanzar en materia de infraestructura vial logrando una mayor vida útil de estas obras y lograr una buena prestación de servicio de los corredores viales.
- En los contenidos programáticos de las áreas referentes a pavimentos se debería incluir el estudio de las especificaciones que deben tener este tipo de pavimentos en zona de altiplano, puesto que es muy poca la información que se ha encontrado sobre este tema.
- Se debe promover investigaciones en cuanto al comportamiento de este tipo de pavimentos en zonas de altura teniendo en cuenta todos los factores que intervienen para su calidad, ya que deben cumplir los mismos estándares de calidad que los pavimentos en zonas planas.
- También se debe implementar el uso de nuevas alternativas respecto a los materiales de construcción de obras viales ya que se puede mejorar y traer beneficios en forma económica y ambiental.
- Realizar estudios del comportamiento meteorológico del clima en zonas de altura para así determinar las variaciones de los factores que influyen sobre un pavimento
- En nuestra región ciertas zonas están ubicadas a 3000 metros de altura sobre el nivel del mar, sería bueno realizar estudios en cuanto a la calidad de los agregados presentes en estas zonas.

## 11 REFERENCIAS

- AGUILA, P. D. (1994). *Memoria de Suelos y Pavimentos. Carretera Conococha-Puente*. LIMA.
- AGUILA, P. D. (1997). *Carretera Sicuani-Santa Rosa. Informe de Revisión del Diseño*. LIMA.
- AGUILA, P. D. (1998). *Carretera Río Seco-Desaguadero. Evaluación del Pavimento*. LA PAZ.
- BADILLO, J. (s.f.). MACANICA DE SUELOS. En L. BADILLO, *MECANICA DE SUELOS*. TOMO III.
- BOGOTA, V. (2 de 10 de 1015). *Adjudicación de El Crucero-Pajarito avanza mejoramiento de la Transversal del Cusiana*. Obtenido de Adjudicación de El Crucero-Pajarito avanza mejoramiento de la Transversal del Cusiana: <http://www.vicepresidencia.gov.co/prensa/2015/Paginas/Con-la-adjudicaciOn-de-El-Crucero-Pajarito-avanza-mejoramiento-de-la-Transversal-del-Cusiana-151002.aspx>
- Boyaca, E. D. (s.f.). *Localizacion Geografica* . Obtenido de Localizacion Geografica : <https://es.wikipedia.org/wiki/Boyac%C3%A1>
- Colombia, A. d. (26 de 05 de 2010). *altimétricas de colombia* . Obtenido de altimétricas de colombia : <http://altimétricascolombia.blogspot.com.co/2010/05/paramo-de-letras-el-puerto-mas-alto-de.html>
- DNER-IPR. (1998). *ESTUDIO DE ASFALTOS MODIFICADOS*. RIO DE JANEIRO.
- EXCELSIO. (10 de 06 de 2016). *Invías adjudicó el contrato para la vía Chiquinquirá - Dos y Medio* . Obtenido de Invías adjudicó el contrato para la vía Chiquinquirá - Dos y Medio : <http://www.excelsio.net/2015/11/invias-adjudico-el-contrato-para-la-via.html>
- FHWA. (1994). *Background of SUPERPAVE asphalt mixture design and analysis*. Lexington.

Fonseca, I. A. (s.f.). *CAPITULO 1 PAVIMENTOS Y CONSTRUCCION*. EDICCIÓN 3 TOMO 1 .

Obtenido de APITULO 1 PAVIMENTOS Y CONSTRUCCION.

GREENSTEIN, J. (1982). *EVALUACION DE LOS PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCION Y CONTROL*. LIMA.

Martinez, A. (2015). *toda colombia la cara amable de colombia* . Obtenido de toda colombia la cara amable de colombia : <http://www.todacolombia.com/departamentos-de-colombia/norte-de-santander.html>

MONTALVO. (1997). *Proyecto de Carreteras en Zonas Andinas*. LIMA: MOMERIAS DE UN CONGRESO.

nariño, E. d. (s.f.). *Geografía de nariño*. Obtenido de Geografía de nariño: [https://es.wikipedia.org/wiki/Nari%C3%B1o\\_%28Colombia%29](https://es.wikipedia.org/wiki/Nari%C3%B1o_%28Colombia%29)

nororiental, c. a. (19 de 03 de 2010). *paramos santruban almorzadero y berlin* . Obtenido de <http://corponor.gov.co/es/index.php/es/estaticos/60-estaticos/660-areas-naturales-estrategicas>

OTONIEL, F. (1979). Curso de pavimento instituto de vias. En F. Otoniel, *curso de pavimentos*. Universidad del Cauca.

Rodríguez, I. P. (s.f.). *EXPERIENCIAS SOBRE EL DISEÑO Y CRITERIOS PARA LA CONSTRUCCION DE* . Obtenido de EXPERIENCIAS SOBRE EL DISEÑO Y CRITERIOS PARA LA CONSTRUCCION DE : <http://www.camineros.com/docs/cam008.pdf>

Rodriguez, P. d. (s.f.). *EXPERIENCIAS SOBRE EL DISEÑO Y CRITERIOS PARA LA CONSTRUCCION DE*. Obtenido de EXPERIENCIAS SOBRE EL DISEÑO Y CRITERIOS PARA LA CONSTRUCCION DE: <http://www.camineros.com/docs/cam008.pdf>

santander, e. l. (s.f.). *santander geografía*. Obtenido de santander geografía:  
[https://es.wikipedia.org/wiki/Santander\\_%28Colombia%29](https://es.wikipedia.org/wiki/Santander_%28Colombia%29)

santander, G. n. (08 de 10 de 1015). *Adjudicación doble calzada CucuTa-Pamplona* . Obtenido de  
 Adjudicación doble calzada CucuTa-Pamplona :  
<http://www.nortedesantander.gov.co/Noticias-Gobernaci%C3%B3n-Norte-de-Santander/ArticleID/472/En-abril-ser%C3%A1-adjudicada-doble-calzada-C%C3%BAcuta-Pamplona>

sergio clavijo, a. v. (2012-2020). *La inversión en infraestructura* . Obtenido de La inversión en  
 infraestructura : <http://docplayer.es/4596571-En-los-ultimos-anos-se-ha-ido.html>

*Toda Colombia Departamento de Cundinamarca*. (s.f.). Obtenido de Toda Colombia Departamento  
 de Cundinamarca: <http://www.todacolombia.com/departamentos-de-colombia/cundinamarca.html>

Vicepresidencia. (1 de 12 de 2015). *En Boyacá, Vargas Lleras pone en marcha dos proyectos viales*.  
 Obtenido de En Boyacá, Vargas Lleras pone en marcha dos proyectos viales:  
<http://www.vicepresidencia.gov.co/prensa/2015/Paginas/En-Boyaca-Vargas-Lleras-pone-en-marcha-dos-proyectos-viales-y-entrega-62-viviendas-Casa-Ahorro-151201.aspx>

Vicepresidencia. (22 de 09 de 2015). *ADJUDICACIÓN AL ACM INGENIEROS LA VIA ENTRE EL  
 PUENTE BOYACA Y SACAMA* . Obtenido de ADJUDICACIÓN AL ACM INGENIEROS  
 LA VIA ENTRE EL PUENTE BOYACA Y SACAMA. :  
<http://www.vicepresidencia.gov.co/prensa/2015/Paginas/Adjudicada-a-ICM-Ingenieros-la-via-entre-el-Puente-de-Boyaca-y-Samaca-150922.aspx>

Vicepresidencia. (30 de 09 de 2015). *Adjudicación de las obras Suratá-California*. Obtenido de  
 Adjudicación de las obras Suratá-California:



<http://www.vicepresidencia.gov.co/prensa/2015/Paginas/Plan-de-Vias-para-la-Equidad-avanza-en-Santander-con-la-adjudicacion-de-las-obras-Surata-California-150930.aspx>

Vicepresidencia. (7 de 07 de 2015). *Con Rumichaca- Variante Sur de Ipiales*. Obtenido de Con

Rumichaca- Variante Sur de Ipiales:

<http://www.vicepresidencia.gov.co/prensa/2015/Paginas/Con-Rumichaca-Variante-Sur-de-Ipiales-comenzo-proceso-de-contratacion-de-Vias-para-la-Equidad-150707.aspx>

Vicepresidencia. (13 de 10 de 2015). *Obras de la circunvalar galera* . Obtenido de Obras de la

circunvalar galera : [http://www.vicepresidencia.gov.co/prensa/2015/Paginas/Obras-de-la-](http://www.vicepresidencia.gov.co/prensa/2015/Paginas/Obras-de-la-Circunvalar-Galeras-fueron-adjudicadas-al-consorcio-Colombo-Costarricense-Galeras-151013.aspx)

[Circunvalar-Galeras-fueron-adjudicadas-al-consorcio-Colombo-Costarricense-Galeras-151013.aspx](http://www.vicepresidencia.gov.co/prensa/2015/Paginas/Obras-de-la-Circunvalar-Galeras-fueron-adjudicadas-al-consorcio-Colombo-Costarricense-Galeras-151013.aspx)

Vicepresidencia. (26 de 08 de 2015). *proyecto en la vía Los Curos – Málaga, en Santander*. Obtenido

de proyecto en la vía Los Curos – Málaga, en Santander:

<http://www.vicepresidencia.gov.co/prensa/2015/Paginas/Via-Los-Curos-Malaga-es-el-quinto-proyecto-de-Vias-para-la-Equidad-que-beneficiara-a-Santander-150826.aspx>

Vicepresidencia. (18 de 03 de 2016). *Tercer Carril Bogotá-Girardot inicia proceso de recepción de*

*propuestas*. Obtenido de Tercer Carril Bogotá-Girardot inicia proceso de recepción de

propuestas: [http://www.vicepresidencia.gov.co/prensa/2016/Paginas/tercer-carril-bogota-](http://www.vicepresidencia.gov.co/prensa/2016/Paginas/tercer-carril-bogota-girardot-inicia-proceso-de-recepcion-de-propuestas-160318.aspx)

[girardot-inicia-proceso-de-recepcion-de-propuestas-160318.aspx](http://www.vicepresidencia.gov.co/prensa/2016/Paginas/tercer-carril-bogota-girardot-inicia-proceso-de-recepcion-de-propuestas-160318.aspx)