

EXPERIENCIAS SOBRE EL DISEÑO Y CRITERIOS PARA LA CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS EN ZONAS DE ALTURA^a

Por

Ing. Pablo del Águila Rodríguez^b

RESUMEN

Considerando las redes viales de Perú y Bolivia, existen mas de 4,000 km de carreteras ubicadas por encima de los 3,500 metros sobre el nivel del mar, que requieren una inversión de unos 3,000 millones de dólares, para ser asfaltadas o rehabilitadas. 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.

^a Presentado al 10° Congreso Ibero Latinoamericano del Asfalto, Sevilla, Noviembre 1999.

^b Consultor en Suelos y Pavimentos, Gerente General Camineros S.A.C. Tecnológica, Consultoría y Capacitación para la Ingeniería Vial.

1. INTRODUCCION

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-meteorológicos que pueden darse a alturas menores o, caso contrario, pueden no darse a alturas mayores. Este criterio se fijó durante las investigaciones de campo llevadas a cabo para el proyecto de la Carretera Ilo-Desaguadero⁽¹⁾, teniendo en consideración los datos climatológicos recopilados para diferentes alturas, y, como una manera de adecuar los criterios de diseño a lo largo de todo el tramo.

La problemática de un pavimento en zona de altura está asociada directamente con los factores hidro-meteorológicos 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.

La extensión de la red vial ubicada por encima de los 3,500 msnm, considerando las carreteras de Perú y Bolivia, fácilmente sobrepasa los 4,000 km de longitud. El Cuadro N° 1 presenta una relación de estas vías. La inversión necesaria para la construcción y/o rehabilitación de esta infraestructura es aproximadamente 3,000 millones de dólares.

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⁽²⁾, 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.

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.

2. CARACTERISTICAS DE LAS ZONAS DE ALTURA

2.1 Factores meteorológicos 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°C por las madrugadas, mientras que durante el día la temperatura ambiente media se eleva hasta los 20°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°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 5.5×10^6 cal/m²/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.

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.

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 cuál 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.

3. PROBLEMAS QUE AFECTAN A LOS PAVIMENTOS EN ZONAS DE ALTURA

Las temperaturas bajas afectan las propiedades reológicas 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.

El gradiente térmico, es un fenómeno típico que se produce en las zonas de altura, del cuál no se ocupa la tecnología convencional incluido 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.

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 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.

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 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.

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.

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 esta garantizada, lo que genera la necesidad de controles frecuentes para asegurar la calidad de los pavimentos.

4. 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. El Cuadro N°2 presenta una relación de proyectos, para los cuales se han adoptado algún tipo de medida específica con relación al problema de la altura.

4.1 Diseño estructural de pavimentos

4.1.1 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⁽³⁾, 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 Perú-Finlandia, 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 fisuramiento 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.

4.1.2 Solución con geotextil impermeabilizante

Ante la persistencia del fisuramiento 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 interfase 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⁽⁴⁾, 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.

4.1.3 Uso de asfaltos modificados

Sin embargo, considerando la tecnología actual respecto a la calificación del bitumen en función a su performance⁽⁵⁾ 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.

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⁽⁶⁾. 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 mas ventajosa.

La solución de pavimento flexible utilizando asfalto modificado, fue propuesta para el diseño del tramo Sicuani-Santa Rosa⁽⁷⁾, 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⁽⁸⁾, actualmente en construcción con financiamiento del Banco Interamericano de Desarrollo.

4.2 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.

4.2.1 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:

a. Con el Asfalto Virgen:

- Punto de Inflamación (°C)
- Ensayo con Reómetro de corte dinámico, $G^*/\sin d$ (kPa)
- Viscosidad Brookfield a 135°C (Pa.s)

b. 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)
- c. 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
- d. 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 (ASTM D 2041).

4.2.2 Criterios para la selección de la óptima combinación de agregados

1. Considerar un tamaño máximo de 1/4 pulgada, para lo cuál se recomienda utilizar la especificación 6 A del Instituto del Asfalto:

Tamaño de Abertura	Porcentaje Pasante
1/2	100
3/8"	90-100
Nº 4	60-80
Nº 8	35-65
Nº 50	6-25
Nº 200	2-10

2. 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		

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

1. 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.

4.2.2 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.

4.3 Recomendaciones para la fabricación de la mezcla y construcción de las capas asfálticas

La temperatura de calentamiento del cemento asfáltico y la temperatura de mezcla, deberá verificarse en función al resultado de la pérdida de masa, luego de efectuado el Ensayo de Película Fina en Horno Rotatorio.

Como medida de precaución, y considerando los resultados de pérdida de masa encontrados con los asfaltos empleados en los proyectos⁽⁹⁾, se recomienda calentar el cemento asfáltico y los agregados, a una temperatura máxima de 140°C. La temperatura de la mezcla deberá determinarse considerando: La distancia al punto de asfaltado, la temperatura ambiente, y, que la temperatura de la mezcla esparcida en pista debe ser tal que permita la inmediata compactación de la capa.

No se recomienda esparcir la capa a una temperatura demasiado elevada, ya que el “tiempo de espera,” hasta que la capa permita el ingreso del rodillo sin que se produzcan deformaciones y/o fisuramiento, es “tiempo” en que la mezcla abierta y sin compactar absorberá una alta tasa de oxígeno, lo que inevitablemente producirá la oxidación y envejecimiento prematuro de la mezcla, fenómenos no deseados con mucha mayor razón para las mezclas asfálticas en zonas de altura.

Se debe proceder a la cobertura de los camiones transportadores de mezclas, con lonas herméticas, que impidan igualmente la oxigenación superficial de la mezcla; aunque el área expuesta sea menor que para el caso de la mezcla extendida en la pista, siempre es recomendable eliminar toda fuente de oxidación. La cobertura también se proporcionará para evitar el enfriamiento del material.

No es recomendable la construcción de capas cuyo espesor promedio resulte menor de 7.5 cm, luego de concluida la compactación.

Si la mezcla asfáltica presentase defectos superficiales o segregación del agregado grueso, luego de haber sido extendida por la pavimentadora, se efectuarán las correcciones o reparaciones correspondientes después de la primera pasada del rodillo, cuando la carpeta ya tenga un cierto grado de compactación y el riesgo de oxidación de la mezcla sea mínimo.

Si la superficie asfáltica presentase una textura demasiado abierta, y el rodillo neumático no es capaz de cerrarlo, se deberán efectuar correcciones en la granulometría de la combinación de los agregados o se deberá verificar la dosificación en planta.

N°	RUTA PRINCIPAL	>3500msnm (km)
PERU		
1	Pativilca-Huaraz-Caraz	50
2	La Oroya-Huánuco	180
3	Lima-La Oroya	70
4	Pisco-Ayacucho	170
5	Nazca-Puquio-Chalhuanca	200
6	Ilo-Desaguadero	265
7	Arequipa-Juliaca	150
8	Huancayo-Ayacucho	300
9	Izcuchaca-Huanta-Huancavelica	40
10	Puno-Cusco	300
11	Tacna-Tarata-Candarave-Huaytire	150
12	Cusco-Abancay	50
13	Ayacucho-San Francisco	200
14	Mazocruz-Ilave	75
15	Puno-Desaguadero	150
16	Lima-Canta-Cerro de Pasco	125
17	Las Vegas-Tarma	25
	Total	2500
BOLIVIA		
1	Río Seco-Desaguadero	95
2	El Alto-Viacha-Charaña	220
3	El Alto-Tiquina-Copacabana	150
4	El Alto-Oruro-Potosí-Tarija	570
5	Patacamaya-Tambo Quemado	220
6	Oruro-Cochabamba	40
7	Oruro-Toledo-Pisiga	230
	Total	1525

Cuadro N° 1
Relación de carreteras en zonas de altura

N°	PROYECTO	DISEÑO DEL PAVIMENTO				Diseño Mezclas	Aspectos Constr.
		PFC	PTA	PFG	PFM		
PERU							
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-Juliaca			X		X	X
8	Puno-Cusco				X	X	X
BOLIVIA							
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

Cuadro N° 2
Proyectos desarrollados considerando los efectos de la altura

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Del Aguila, P.M. Memoria de Suelos y Pavimentos. Carretera Ilo-Desaguadero." P. y V. Ingenieros S.A. Lima, 1995.
2. Greenstein, J. "Evaluación de los procedimientos de construcción y del control de calidad del concreto asfáltico usado en la carretera Oroya-Huánuco." Louis Berger International, Inc. Lima, 1982
3. Montalvo, M. "Proyecto de Carreteras en Zonas Andinas." Memorias del I Congreso Nacional del Asfalto. Asociación Peruana de Caminos, Lima, 1997.
4. Del Aguila, P.M. Memoria de Suelos y Pavimentos. Carretera Conococha-Puente Sahuay." Oficina de Ingeniería y Servicios Técnicos S.A. Lima, 1994.
5. FHWA. "Background of SUPERPAVE asphalt mixture design and analysis." Publication N° FHWA-SA-95-003. Lexington, 1994.
6. DNER-IPR. "Estudo dos Asfaltos Modificados por Polímero." Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Instituto de Pesquisas Rodoviarias. Río de Janeiro, 1998.
7. Del Aguila, P.M. Carretera Sicuani-Santa Rosa. Informe de Revisión del Diseño del Pavimento." Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, Dirección General de Caminos. Lima, 1997.
8. Del Aguila, P.M. Carretera Río Seco-Desaguadero. Evaluación del Pavimento del Tramo Río Seco-Guaqui. Diseño del Pavimento del Tramo Guaqui-Desaguadero." Servicio Nacional de Caminos de Bolivia, Dirección Ejecutiva, La Paz, 1998.
9. Del Aguila, P.M. "Criterios para el diseño y construcción de pavimentos en zonas de altura." Memorias del II Congreso Nacional del Asfalto. Asociación Peruana de Caminos. Lima, 1998.