

- **ANTECEDENTES**

Este estudio que se está realizando sobre los problemas constructivos en pavimentos flexibles podremos notar las diversas fallas que sufren nuestras calles asfaltadas, luego de un periodo de que éstas son terminadas.

Hay muchos ejemplos que vienen a avalar ésta idea. Así, en la década de 1970, cuando en España se llevó a cabo el Plan Radial (Plan de Mejora de la Red de Itinerarios Asfálticos) que tenía como objetivo reforzar con aglomerado asfáltico unos 6000 km de carreteras, correspondientes a los 12 itinerarios de mayor intensidad de tráfico, se vio lo que se estaba haciendo en los Estados Unidos de América y se emplearon los mismos tipos de mezclas y dosificaciones, con un fracaso serio. Hubo que modificar estas mezclas, rebajando su contenido de betún y aumentando el rozamiento de su esqueleto mineral, para adaptarlas a nuestro tráfico (mucho más pesado) y a las elevadas temperaturas del pavimento (50-60 °C en verano). Sin embargo, el implementar los procedimientos de estudio y ensayos americanos nos proporcionó una metodología clara y precisa para el diseño de nuestras mezclas, método Marshall, que aún seguimos empleando.

Lo mismo ocurrió, hace unos años, en Colombia en una rehabilitación de algunas carreteras. Habitado a lo que se hacía en España, llamó la atención el buen estado que tenían las vías en esta región, pese a que su espesor era muy inferior a lo empleado en España para esa misma intensidad de tráfico. Se observó que el drenaje era muy bueno y que quizá las solicitaciones de tráfico no eran tan fuertes como en España. Ni qué decir de los espesores de refuerzo que se estaban empleando eran también mucho más reducidos. Nuevamente vemos que no vale la técnica en una carretera al ver que es lo que están haciendo en otro país y aplicarlo directamente en el nuestro, sino que es necesario estudiar y profundizar en las técnicas y procesos, y adaptarlos a nuestra situación.

Esto es todavía más cierto en el caso de los sistemas de gestión de vías en el que los procedimientos seguidos por los diferentes países dependen de muchos factores como:

Tipo de tráfico (cargas máxima de los vehículos) y climatología del país.

Tipos y materiales empleados en la construcción de sus vías.

Procesos y mecanismos de deterioro. Tipologías de fallos.

Equipos y procedimientos empleados en la exploración de las vías así como en la valoración de sus fallos y deterioros.

Índices usados en la evaluación del estado superficial, estructural u otras características del pavimento.

Técnicas de conservación o de refuerzo empleados.

Procedimientos de valoración económica en el trabajo.

Esto hace que no podamos quedarnos directamente con los trabajos ya empleados en los diferentes países, aplicando directamente las fórmulas y relaciones por ello obtenidos, sin analizar y tener en cuenta los factores antes mencionados. En realidad, los trabajos realizados en vías urbanas es casi como un traje a medida.

En primer lugar, las fallas que presentan las vías y los equipos y procedimientos empleados en su exploración, a continuación las técnicas usadas en la construcción, para que presentando todo el proceso en su conjunto, cada uno pueda seleccionar los procedimientos y procesos más adecuados a sus necesidades e incorporar este estudio y las técnicas.

El autor del presente trabajo, pretende estudiar sobre los posibles problemas constructivos que se pueda tener en el momento de realizar el trabajo, para las vías urbanas de nuestra región ya que tenemos muchos problemas en el deterioro prematuro de nuestras vías asfaltadas, ya que con estos estudios podamos resolver estos serios problemas que se va dando en nuestra ciudad.

- **JUSTIFICACIÓN**

El trabajo se justifica, debido a que la construcción que se hace en nuestro medio se lo realiza como recetario y no así a lo que pide la norma que existe como una base de todo proyecto a realizar, donde no se hace un ajuste de parámetros de construcción por la región en que vivimos ni el estudio de suelos necesario que debería tener de acuerdo al tipo de tráfico en cada sector, por tal motivo se da el deterioro prematuro de nuestras calles asfaltadas.

El seguimiento que se va a realizar es que podamos observar la metodología a usar, los diferentes ensayos de suelos que se realicen, la maquinaria a usar, que tipo de agregado se esta utilizando, la dosificación, espesores de asfalto de acuerdo a diseño y clase de tráfico.

A raíz de estos estudios nos brindara un mejor control en la construcción de pavimentos flexibles y una mejor calidad en nuestras futuras vías asfaltadas donde estos estudios nos harán notar en el proceso de construcción, los diferentes problemas constructivos que se presentan en pavimentos flexibles durante la ejecución de estos.

Este problema embarga tópicos sociales, económicos, legales entre otros, pero que están directamente relacionados con el entorno social. Es decir enfoca un aspecto de beneficio en la ciudad que necesita solucionar los problemas de nuestras calles en el diseño de nuestras carpetas asfálticas flexibles.

En lo general cada estudio que se realiza en el campo vial de nuestra ciudad es para el mejoramiento de nuestro modo de proceder en el proceso de construcción, ya que cada proyecto realizado debería tener un estudio independiente, sea estudios de tráfico o de suelos por las características que presenta cada sector en la ciudad o el país, y así poder adaptar y mejorar las normas existentes a nuestra región.

- **OBJETIVOS**

Los objetivos del presente trabajo son:

- **.- OBJETIVO GENERAL**

Realizar un Estudio sobre los problemas constructivos que se tienen en los pavimentos flexibles que se ejecutan en las vías para luego establecer los problemas de construcción que se pueda dar en la ejecución de cada proyecto a realizar, sus causas y consecuencias.

- **.- OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

-.- Analizar las características y aspectos generales de los materiales que intervienen en los pavimentos flexibles, realizando los ensayos necesarios.

-.- Analizar los problemas constructivos que se tienen en las diferentes actividades de la construcción de pavimentos flexibles en las vías, haciendo un estudio de cada uno de ellos.

-.- Establecer las características del área de estudio y caracterizar, sus materiales del área de estudio mediante ensayos a realizar.

-.- Realizar un seguimiento de control de ejecución del pavimento flexible, en base a las especificaciones de cada proyecto que se tiene.

-.- Plantear las posibles soluciones para el problema de los materiales en la construcción del pavimento flexible en el área de estudio, en base a los problemas que se presentan en la etapa de construcción.

-.- Establecer conclusiones y recomendaciones

- **ALCANCE**

El alcance de este Proyecto de Grado que se propone, tiene como objetivo principal el Estudio sobre los Problemas Constructivos en Pavimentos Flexibles, para determinar los problemas de construcción.

La conclusión de todos los ensayos que se puedan realizar y analizar con las normas vigentes de asfaltos en vías urbanas que nos ayudarán a establecer los parámetros de construcción y así interrelacionar con factores incidentes en la ejecución.

El presente trabajo tiene entre uno de sus componentes principales la identificación y descripción de los problemas constructivos de los pavimentos flexibles, en ese sentido se realiza una descripción de los problemas más frecuentes que se presentan en la ejecución de pavimentos flexibles, para una mejor comprensión se describió de acuerdo a cada capa del pavimento, es decir capa subrasante, sub base y base, excluyendo la capa de rodadura porque al existir diferentes tipos de carpetas asfálticas (tratamientos superficiales, macadam, concreto asfaltico, etc.) los problemas tienen una gran diversidad y no podrían generalizarse a todos los pavimentos flexibles.

El otro componente del presente estudio es el control de calidad en la ejecución de pavimentos flexibles, el cual tendrá un tratamiento similar es decir se desarrollara de acuerdo a las capas que componen el pavimento y en cada una de ellas se tomarán los tipos de control más frecuentes que se realizan en la ejecución de pavimentos flexibles.

Con esos dos componentes desarrollados teóricamente el presente estudio pretende realizar una aplicación práctica en el tramo San Andres – Bella Vista, tramo que se encuentra a 23 Km de la ciudad de Tarija donde se ejecuto en las gestiones 2010 y 2011 un pavimento flexible en una longitud de 15.4 Km.

Finalmente establecer las conclusiones referentes al estudio realizado tanto en su parte teórica como práctica y las recomendaciones que pueden extraerse del presente trabajo a objeto de aportar a futuros trabajos o aplicaciones similares.

1.1.- NORMAS NACIONALES E INTERNACIONALES

Las normas nacionales e internacionales tienen por objetivo principalmente el de establecer los principios, normas y condiciones que regulen los procesos de administración de bienes y servicios, asimismo las obligaciones y los derechos que derivan de estos en el marco de la constitución política del estado de cada país.

1.1.1.- ASPECTOS ESPECÍFICOS DE LAS NORMAS PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES

Los aspectos que se van a presentar en las normas generalmente van a ser muy similares ya sean nacionales o internacionales mucho va a depender del lugar o región, ciudad o país que se van a realizar para implementar las especificaciones necesarias para poder atender los requisitos del lugar.

En esto la norma de la Administradora Boliviana de Carreteras recomienda tanto para suelos, y sus aplicaciones como materiales de construcción:

- Que los áridos gruesos, retenidos sobre tamiz 4,75mm. (Nº 4) deben ser partículas resistentes, durables, constituidas de fragmentos de rocas, grava o escorias.
- Materiales que se quiebran con los ciclos alternados de hielo-deshielo y humedad-sequedad, no deben ser usados.
- Mientras los áridos finos, que pasan por el tamiz 4.75mm. (Nº4), deben estar constituidos por arenas naturales o trituradas y por partículas de minerales que pasan por el tamiz 0.075mm. (Nº200).
- Las fracciones que pasan por el tamiz 0.075mm. (Nº200) no deberán ser mayores que los dos tercios de la fracción que pasa por el tamiz 0.475mm. (Nº40).
- Los límites de consistencia de la fracción que pasa por el tamiz 0.475mm., estarán conforme a lo indicado en la tabla.

- Todo el material deberá estar libre de materia orgánica y libre de terrones de arcilla.

	Límite líquido	Índice de plasticidad
Sub-base	Máx.35	Máx.6
Base	Máx.35	Máx.6

Tabla 1.1 Límites De Consistencia O De Atterberg

MATERIALES PARA SUB-BASE:

Los materiales para sub-base deberán cumplir con los requerimientos estipulados en "Requerimientos Generales " y en materiales para sub-base.

En cuanto a las propiedades mecánicas, el material deberá tener un soporte CBR mayor o igual a 50% y la fracción gruesa deberá tener una resistencia al desgaste, medida por el ensayo de Los Ángeles de no más de 40%.

Algo que hay que tener muy en cuenta y de mucha importancia es que en zonas heladas se deben reconsiderar los límites de atterberg y el material bajo 0.08mm., previo estudio de las condiciones locales.

MATERIALES PARA BASE GRANULAR:

Los materiales para base granular cumplirán con los requerimientos indicados en "Requerimientos Generales" y en materiales para sub-base.

- El porcentaje de chancado, no deberá ser menor que 50%. Cuando el material se use como base para tratamiento superficial doble, el contenido mínimo de chancado será de 70% su tamaño máximo absoluto será de 40mm., y su índice de plasticidad máximo será de 4% salvo que el proyecto estipule otro valor, debidamente justificado, en el que en ningún caso podrá exceder el 6%.
- En cuanto a las propiedades mecánicas, el material deberá tener un soporte $CBR \geq 80\%$.

- la fracción gruesa deberá tener una resistencia al desgaste, medida por el ensayo de los Ángeles, de no más de 35%.

En caso de tratamiento superficial doble, el soporte deberá ser $CBR \geq 100\%$.

MATERIALES PARA CARPETA DE RODADURA:

Cuando se prevea que la carpeta de rodadura va a quedar expuesta por varios años, sin una protección asfáltica, el material deberá cumplir con los requerimientos de "Requerimientos Generales" y de "Materiales para carpeta de rodadura", con un contenido mínimo de chancado de 50%.

En cuanto a propiedades mecánicas, el material deberá tener un soporte $CBR \geq 60\%$.

En zonas donde se permite efectuar el ensayo sin inmersión, este valor deberá ser del 80%.

La fracción gruesa deberá tener una resistencia al desgaste, medida por el ensayo de los Ángeles, de no más de 30%.

1.2.- PROCESO CONSTRUCTIVO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE

Analizando el aspecto de la ejecución de la obra, y partiendo de la teoría que se ha establecido de acuerdo al análisis previo correspondiente, al diseño del pavimento (cualesquiera que fuere), así como a las características que tiene el camino, da como resultado el proceso constructivo de la obra.

Se sabe que para establecer este proceso, es necesario conocer en primer lugar la(s) norma(s) de construcción, es decir la legislación vigente, leyes y reglamentos emitidos por el gobierno ; por otra parte es necesario conocer la normatividad en materia de la ejecución y control de obra de la dependencia responsable.

Este proceso constructivo, regirá durante toda la ejecución de la obra, la mayoría de ellos son emitidos principalmente por las dependencias ejecutoras, es decir que muestra la metodología con la cual se debe de ejecutar la obra, su orden y ejecución.

Cabe hacer mención que parte de lo que se manifiesta en el documento podrá sufrir modificaciones que beneficien a la obra en ejecución, por tal motivo dicho proceso

deberá ser elaborado con información real y fidedigna basado principalmente en las características y condiciones que se manifiesten en el lugar donde se ejecutará dicha obra.

Partiendo de que el ejecutor de la obra (empresa constructora) tiene la experiencia suficiente para realizarla, no por ello lo deberá hacer de manera “solitaria”, es decir que tanto los responsables de que los trabajos: empresa, dependencias ejecutoras y normativas tienen que efectuar conjuntamente la supervisión, empleando personal capacitado y actualizado (si es posible certificado) en el rubro de las vías terrestres, garantizando que conocen del tema y podrán realizar (si fuere el caso) las modificaciones que surjan en la construcción de la obra.

Durante esta etapa, que es la más importante, el ejecutor debe emplear la maquinaria y personal capacitado suficiente de acuerdo al trabajo a ejecutar, realizando previamente la planeación y programación de todos y cada uno de los eventos que en ella intervienen.

Así mismo en este proceso y paralelamente al desarrollo del mismo el control de calidad es una parte esencial en la ejecución de la obra, el cual determina las condiciones que presentan los distintos elementos que componen los trabajos ya sean por ejecutarse, en proceso y concluidos.

Elementos que van desde el tipo de material a emplearse, hasta el tratamiento que debe llevar para su empleo los cuales tienen características diversas si son procesados en el laboratorio o si son empleados en el campo, por tal motivo es necesario e indispensable que el personal encargado de efectuarlo, además de conocer dichas características y el comportamiento en todo su conjunto, tengan la capacidad y el criterio para aceptar y/o rechazar su utilización en la ejecución de la estructura del pavimento.

1.2.1 PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVOS PARA LA CAPA SUBRASANTE

La capa subrasante debe seguir el siguiente proceso constructivo:

Se construirá con un espesor de 0.30 m, debiéndose compactar el material que forme dicha capa al 95% de su densidad máxima seca de la prueba AASHTO estándar “los materiales empleados en la formación de las diferentes capas deberán ser procedentes de los bancos de préstamo propuestos para éste fin y de acuerdo con lo que se indique en el proyecto.

La formación y compactación al 95 % por unidad de obra terminada corresponde a la construcción de la capa subrasante de treinta (30) centímetros de espesor en cortes y terraplenes, y cumplan los requisitos para capa subrasante estipulados en las Normas de Calidad de los Materiales, ya sea que deba efectuarse en los bancos la selección de los materiales aprovechables para la capa subrasante y eliminación de los tamaños mayores de setenta y seis (76) milímetros (3") que contengan, o bien deban disgregarse, triturarse parcialmente y/o cernirse a dicho tamaño máximo de setenta y seis (76) mm (3")”

Figura N°1.1 Capa Subrasante



Fuente “www.taringa.net”

"Para formar la capa de Subrasante del proyecto de la nueva estructura se recomienda efectuar con el empleo del equipo de construcción o similar, siempre y cuando cumpla con el rendimiento necesario para la obra, recuperar 20 cm. a partir del nivel de la superficie de rodamiento actual, inmediatamente después se realizara un cajeo de 25 cm., al material producto del cajeo se desechara. Posteriormente al material recuperado, se regresa al tramo incorporándole el agua necesaria hasta alcanzar la

humedad óptima se mezclara, tendera y compactara al 95% de su Densidad Máxima, calculado con la prueba AASHTO estándar en un espesor de 20 cm, formando así la capa de Subrasante"

Figura N° 1.2 Obteniendo la humedad óptima



Fuente "Limacallao.olx.com.pe"

1.3.- PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO PARA CAPAS SUB BASE Y BASE

1.3.1.-ESPECIFICACIONES DE LA BASE GRANULAR

Para la instalación de la base granular (C.B.R.>80%), se deberá cumplir con las siguientes especificaciones ajustándose a la siguiente franja granulométrica.

Tabla 1.2 Tabla De La Granulometría Para La Base Granular

TAMIZ		PORCENTAJE QUE PASA
Normal	Alternativo	BG
37.5mm.	1½"	100
25mm.	1"	77-94
12.5mm.	¾"	62-83
9.5mm.	3/8"	43-65
4.75mm.	Nº4	33-53
2.0mm.	Nº10	22-39
425µm.	Nº40	12-25
75µm.	Nº200	6-12

Estas tablas corresponden a las Normas Para la construcción de Pavimentos En el Valle de Aburra (Versión 1994).

La fracción del material que pasa el tamiz N°4 deberá tener un índice de plasticidad no mayor de 4% y un límite líquido menor de 25%., la fracción del material que pasa por el tamiz N° 4 debe presentar un equivalente de arena mayor del 30%.

El material utilizado deberá presentar un desgaste a la abrasión en la maquina de los Ángeles menor al 45% para la fracción gruesa.

La parte del material que pasa por el tamiz N°4 deberá presentar un equivalente de arena mayor del 30%.

El material no deberá presentar desintegración ni perdida de peso mayor del 15% al someterlo a cinco ciclos alternados, en la prueba de solidez con sulfato de sodio.

La fracción del material retenido en el tamiz N° 4 deberá presentar un índice de aplanamiento inferior al 35% y un índice de alargamiento inferior al 30%., un 50% en peso de dicha fracción deberá presentar por lo menos una cara fracturada.

El C.B.R. del material deberá ser mayor de 80%, y se medirá sobre muestras compactas hasta una densidad seca equivalente al 100% de densidad seca máxima obtenida en el ensayo de Proctor modificado y sometidas a inmersión.

El material se colocará y se extenderá en capas no mayores de 25cm., medido antes de compactación.

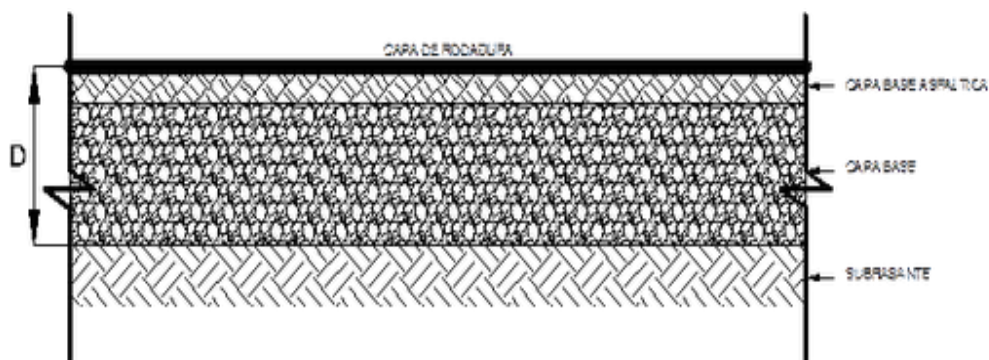
El espesor de cada capa y el número de pasadas estarán determinadas por el equipo que disponga en constructor y por las características del material.

El material se deberá humedecer hasta obtener un contenido de humedad cercano al óptimo y se compactará hasta obtener como mínimo el 100% de la densidad seca máxima del ensayo de Proctor modificado como promedio de los ensayos realizados, siempre y cuando ningún valor individual sea inferior al 98%.

1.3.2.- ESPECIFICACIONES DE LA SUB-BASE GRANULAR

Para la instalación de la sub base se deberá cumplir con las siguientes especificaciones ajustándose a la siguiente franja granulométrica.

Figura N° 1.3 Carpeta Asfáltica



Fuente "www.taringa.net"

Tabla 1.3 Granulometría Para La Sub-Base Granular

TAMIZ		PORCENTAJE QUE PASA
Normal	Alterno	SBG
75.0mm.	3"	100
50.0mm.	2"	65-100
25mm.	1"	45-75
9.5mm.	3/8"	30-60
4.75mm.	N°4	25-50
2.0mm.	N°10	20-40
75µm.	N°200	3-15

Estas tablas corresponden a las Normas Para la construcción de Pavimentos En el Valle de Aburra (Versión 1994).

La fracción del material que pasa el tamiz N°40 deberá tener un índice de plasticidad no mayor de 6% y un límite líquido menor de 25%. , la fracción del material que pasa por el tamiz N°4 debe presentar un equivalente de arena mayor del 20%

El material utilizado deberá presentar un desgaste a la abrasión en la maquina de los Ángeles menor al 50% para la fracción gruesa.

El C.B.R. del material deberá ser mayor de 25%, y se medirá sobre muestras compactas hasta una densidad seca equivalente al 95.0% de densidad seca máxima obtenida en el ensayo de Proctor modificado y sometidas a inmersión.

El material se colocará y se extenderá en capas no mayores de 25cm., medido antes de compactación.

El espesor de cada capa y el número de pasadas estarán determinadas por el equipo que disponga en constructor y por las características del material.

El material se deberá humedecer hasta obtener un contenido de humedad cercano al óptimo y se compactará hasta obtener como mínimo el 95% de la densidad seca máxima del ensayo de Proctor modificado.

1.3.3.- FUENTE DE LOS MATERIALES A IMPLEMENTAR EN LA OBRA

Los materiales se extraerán de canteras o de depósitos aluviales previamente estudiados y aceptados por la interventora. Los estudios previos y los controles de calidad deberán ser realizados por entidades de reconocida competencia e idoneidad.

Figura 1.4 Pala Cargadora



Fuente “Construcciones–at.blogspot.com”

1.3.4.- EQUIPO A UTILIZAR EN LAS ACTIVIDADES

Los equipos a utilizar en la obra serán del tipo:

- Equipo de producción y clasificación del material.
- Equipo de transporte.
- Volquetas para transportar el material.
- Pala para cargar el material.

-Motoniveladora debidamente equipada con cuchilla y escarificadores en buenas condiciones.

-Carro tanque de agua que permita un riego uniforme sobre la superficie.

-Equipo de compactación que corresponda con las necesidades del material a compactar.

La cantidad, capacidad y calidad de los equipos a utilizar en la obra deberán ser los que no generen deficiencias en la calidad de la obra.

Figura 1.5 equipos utilizados



Fuente “www.viarural.com.uy”

1.3.5.- PROCESO CONSTRUCTIVO

En el proceso constructivo se deberá tener mucho cuidado que cuando se transporte los materiales al sitio de disposición final, esto no genere efectos negativos en el material que ya este dispuesto en su sitio.



Los niveles de enrase de cada capa de material deberán marcarse por medio de estacas y al final de la última capa se deberá perfilar la base y las bermas si las hay.

Todos los materiales para la obra se deberán proteger para que no se contaminen y al ser instalados, estos conserven sus características iniciales.

Si en algunas vías se contempla construir bermas, antes de iniciar la compactación de la base en la calzada, éstas deberán conformarse y compactarse en capas iguales y con un espesor igual al de cada una de las capas de base extendidas, esto con el fin de que sirvan de contención al material de base, esto se realizará desde los bordes hacia adentro, excepto en las curvas donde la compactación se realizará desde la parte inferior del peralte hacia la parte superior.

Figura N° 1.6 Mejoramiento De Capas



Fuente “nuevaingenieria.com”

1.4.- PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS PARA LA CARPETA ASFÁLTICA

Para la conformación de la carpeta asfáltica se debe seguir el procedimiento siguiente:

"En la superficie de rodamiento, deberá construirse una carpeta de concreto asfáltico compactado al noventa y cinco por ciento (95 %) de los espesores fijados en el

proyecto el cual deberá ser elaborada en planta estacionaria en caliente, con material pétreo de tamaño máximo de 19 mm (3/4") y cemento asfáltico AC-20 ó similar con una dosificación aproximada de 150 kg por metro cúbico de material pétreo seco y suelto así mismo, el concreto asfáltico deberá estar diseñado por el procedimiento Marshall y cumplir con lo señalado en la columna para tránsito diario de más de 2,000 vehículos pesados.

La construcción de la carpeta de concreto asfáltico deberá apegarse a las Normas para Construcción. ***Figura 1.7 Colocado De La Carpeta De Concreto Asfáltico***



Fuente "www.taringa.net"

”Sobre la capa de base asfáltica y después de la aplicación del riego de liga, se construirá una carpeta de concreto asfáltico de 0.05 m. de espesor elaborada en planta y en caliente con materiales procedentes que elija el contratista y cemento asfáltico AC-20 con una dosificación aproximada de 145 kg/m³ de material pétreo seco y suelto, debiendo compactar el material que forme dicha capa al 95% de su Peso Volumétrico determinado en la Prueba Marshall. Los materiales deberán cumplir con las Normas especificadas.

La mezcla se proyectará por el procedimiento Marshall para que cumpla con los requisitos de diseño que se indican en la columna de intensidad de tránsito de más de 2000 vehículos pesados diarios

Dado que se utilizará cemento asfáltico AC-20, la mezcla deberá realizarse a una temperatura entre 140°C y 165°C. La mezcla al momento de colocarla en la

pavimentadora deberá tener una temperatura no menor a 135°C. La temperatura se mediará en el camión antes de descargar en la pavimentadora. La compactación se efectuará inmediatamente después de tendida la mezcla y antes de que su temperatura baje a menos de 130°C.

"Sobre la base impregnada y libre de material suelto, (barrida) se procederá a aplicar el riego de liga para la carpeta, con emulsión asfáltica de rompimiento rápido del tipo ECR-65 a razón de 0.5 a 0.7 lt /m².

Una vez alcanzado el rompimiento de la emulsión asfáltica del riego de liga, se procederá al tendido de la carpeta de concreto asfáltico, con mezcla elaborada en planta estacionaria en caliente, utilizando agregado pétreo a tamaño máximo de ¾", debiendo tener un espesor (compacto) de 5.0 cm. y compactación del 95% como mínimo de su Peso Volumétrico Máximo Marshall. Cabe resaltar que para alcanzar los parámetros de calidad de la carpeta asfáltica, se debe cuidar que el equipo que se utilice en todo el proceso, se encuentre en buenas condiciones de operación, además de que sea el adecuado para cada etapa, principalmente en lo que respecta a la compactación de la mezcla, donde será necesario contar con un rodillo metálico liso tipo tándem con peso de 4.0 a 6.0 ton, para estar en condiciones de iniciar la compactación entre los 100° y 110°c.

En los procesos mostrados anteriormente referente a la construcción de la capa de rodamiento (carpeta asfáltica), en el procedimiento manifiesta que la compactación debe efectuarse antes de que su temperatura baje a menos de 130°C establece una temperatura entre los 100° y 110°C, en la normatividad establece solamente la temperatura de fabricación de mezclas asfálticas AC-20 entre 130°C y 160°C, y por lo referente a la temperatura de compactación no indica exactamente entre que rangos deberá ser, sino que ésta se establece mediante la curva "Viscosidad-temperatura" del material asfáltico que se emplee.

Como resultado del análisis de los procesos constructivos concluimos que son realizados de manera correcta, indicando casi la totalidad de los elementos que se puedan encontrar durante la construcción de la obra.

1.5.- TIPOS DE CARPETAS ASFÁLTICAS

En el presente ítem se presentará una breve descripción de cada tipo de asfalto utilizado en soluciones viales de pavimentos flexibles, además de algunas aplicaciones de cada tipo de estos ligantes.

1.5.1.- CEMENTOS ASFÁLTICOS

Los Cementos Asfálticos son designados como CA, y son asfaltos obtenidos especialmente de la destilación del petróleo, para presentar características adecuadas para uso en la construcción de pavimentos, la mayor o menor dureza que presenten los cementos asfálticos dependen principalmente de las condiciones de destilación de las cuales fueron extraídos, tales como presión, temperatura de destilación y tiempo. Por lo cual estos ligantes se pueden diferenciar por el grado de dureza que estos presentan, medido mediante el ensayo de penetración, el cual es inverso a la dureza.

El conocimiento del cemento asfáltico, sus características y comportamiento es de suma importancia, dado que desde él se elabora los asfaltos.

Para elegir el tipo adecuado de cemento asfáltico a utilizar deben considerarse los siguientes criterios:

Si se desea tener una mayor estabilidad se debe utilizar un asfalto de baja penetración dado que mientras menor sea su penetración, mayor ha de ser la dureza de este y aportará mayor rigidez a la mezcla.

Para climas con bajas temperaturas deben usarse asfaltos con penetraciones más altas (80 – 100, 120 – 150), debido a que los asfaltos duros tienden a cristalizarse fácilmente ante heladas, fracturándose y perdiendo finalmente su estructura.

En cambio para climas cálidos deberían usarse asfaltos con penetraciones mas bajas (60 – 80), dado que las temperaturas elevadas incitan una disminución en la viscosidad del asfalto, provocando una perdida de estabilidad.

El clima es solo uno de los factores importantes en la elección de un asfalto, otro limitante de la elección del tipo de asfalto a utilizar es el tipo de trafico dado que en

zonas de tránsito pesado ha de seleccionarse asfaltos con menor penetración dado que estos son más estables.

Otro factor importante es el tipo de áridos, como por ejemplo para agregados finos debe aplicarse asfaltos con penetraciones bajas por razones de un buen esparcido y bañado de los áridos en asfalto.

Los asfaltos de altas penetraciones (120 – 150, 200 – 300) son utilizados mayormente en tratamientos doble, no utilizándose en la construcción de carpetas estructurales.

Por consiguiente los Cementos Asfálticos más utilizados son los siguientes:

CA 40 – 50: Comúnmente utilizado para relleno de juntas y grietas de pavimentos de hormigón a través de un mastic (mezcla con filler).

CA 60 – 80: Utilizado en la elaboración de Bases, Binder, Carpetas y para la elaboración de Asfalto espumado.

CA 80 – 100: Principalmente utilizado en la elaboración de Carpetas asfálticas y Asfalto espumado.

CA 120 – 150: Utilizado en la confección de tratamientos superficiales.

Cabe mencionar que la nomenclatura que se poseen los cementos asfálticos han sido modificadas a partir del año 2005, donde a partir del mes de septiembre de ese año el capítulo 8.300 “Asfaltos”, sección 8.301 “Especificaciones para asfaltos” del Manual de Carreteras fue innovado en la clasificación de los cementos asfálticos, donde ahora su especificación se hará según grado de viscosidad.

Las siguientes especificaciones envuelven los cementos asfálticos CA 24 cuya viscosidad absoluta será mayor o igual a 2400 poises, y CA 14 cuya viscosidad será mayor o igual a 1400 poises y menor a 2400 poises. La viscosidad será medida a 60°C y 300 mm. Hg

A continuación se mostrará las especificaciones para los cementos asfálticos, de acuerdo a su grado de viscosidad.

Tabla 1.4 “Especificaciones para los cementos asfálticos según grado de viscosidad”.

Ensayos	Grado de Viscosidad	
	CA 24	CA 14
Viscosidad Absoluta a 60o C,300mm.,Hg., poises	Mayor o igual a 2400	Mayor o igual a 1400 y menor a 2400
Ductilidad 25oC,5cm./min.,cm.	Min. 100	Min. 100
Ensayo de la mancha (% Xilol).	Máx. 30%	Máx. 30%
Solubilidad en tricloroetileno, %.	Min. 99	Min. 99
Punto de inflamación, Co	Min. 232	Min. 232
Punto de ablandamiento, Co	Informar	Informar
Índice de penetración.	-1.5 a +1.0	-1.5 a +1.0
Película delgada rotatoria: -Pérdida por calentamiento (%). -Viscosidad absoluta a 60oC, 300mm., Hg, poises. -Ductilidad	Máx. 08 Informar Min. 100	Máx. 08 Informar Min. 100
Índice de durabilidad	Máx. 3.5	Máx. 3.5

Los asfaltos cortados son diluciones de cementos asfálticos en solventes volátiles derivados del petróleo, estas diluciones son de consistencia más fluida, es decir poseen una menor viscosidad, y su característica menos viscosa hace que se salga del rango en que se aplica el ensayo de penetración, el cual posee como limite máximo el valor de 300.

Figura N° 1.8 colocado de uno de los tipos de asfaltos



Fuente “www.arqhys.com”

El uso de solventes es proporcionar trabajabilidad al asfalto para ser mezclado con agregados a bajas temperaturas, luego de esto el solvente se evapora, dejando el residuo asfáltico que envuelve y cohesiona los áridos en la mezcla final.

Conforme al tipo de solvente utilizado en la mezcla estos asfaltos pueden clasificarse tres tipos dependiendo de la velocidad de volatización del solvente.

- Asfalto cortado de curado rápido.
- Asfalto cortado de curado medio.
- Asfalto cortado de curado lento.

Todos los asfaltos cortados poseen una nomenclatura específica para cada tipo, donde las letras van acompañadas de un número el cual indica su grado de viscosidad cinemática en centistokes medida a 60 °C.

Este tipo de asfalto cortado se designa con las letras RC (Rapid Curing), cuyo fluidificante es Bencina, la cual permite un menor tiempo de evaporación, por su alto nivel de volatización.

A continuación los principales asfaltos de curado rápido:

Tabla 1.5 Asfaltos De Curado Rápido

Grado	Residuo asfáltico en volumen
RC-70	55%
RC-250	65%
RC-800	75%
RC-3000	80%

Asfalto cortado cuyo fluidificante es Kerosene, el cual es un solvente menos volátil que el solvente anterior. Estos asfaltos poseen como nomenclatura las letras MC (Médium Curing).

Los asfaltos cortados de curado medio más utilizados son los de a continuación:

Tabla 1.6 Asfaltos Cortados De Curado Medio Más Utilizados

Grado	Residuo asfáltico en volumen
MC- 30	50%
MC- 70	55%
MC- 250	67%
MC- 800	75%
MC- 3000	80%

Corresponden a asfaltos cortados de curado lento cuyo fluidificante es diesel, por lo que el grado de volatilización es mínimo. Estos ligantes se designan con las letras SC (Slow Curing), seguidos por el número correspondiente a la viscosidad cinemática que posee.

Los asfaltos de curado lento más utilizados fueron los SC – 70 y SC – 250, pero actualmente la norma AASHTO ha discontinuado su uso debido al tiempo de quiebre que requerían.

Figura N° 1.9 Colocado De Tipos De Asfaltos



Fuente “www.arqhys.com”

. Como en cada país, ciudad, región y en cada lugar que se realice un asfaltado, siempre se presentara los problemas constructivos en la ejecución de los pavimentos, ya sean por uno u otro motivo, es por eso que vamos a detectar los problemas que se presentaran en ciertas etapas de cada ejecución de los pavimentos.

2.1.- EN LA COMPACTACIÓN

Para las finalidades de este estudio la compactación es un proceso mecánico destinado a mejorar las características de comportamiento de los materiales térreos que constituyen la sección estructural de las carreteras.

Aunque en forma general, es evidente que conviene detallar cuales son las características de comportamiento que pueden ser mejoradas al compactar una carretera.

Existen tres de ellas cuya mejoría se busca prácticamente en todos los casos. Son la deformabilidad, que implica la intención de disminuir la compresibilidad de los suelos e incrementar su estabilidad volumétrica, especialmente ante la absorción o pérdida de agua; la resistencia, especialmente al esfuerzo cortante, obviamente en el sentido de obtener los mayores valores posibles y unas adecuadas relaciones esfuerzo-deformación que garanticen un balance conveniente en el comportamiento.

Algunas otras características cuya mejoría se busca en ocasiones son la flexibilidad de la formación (es decir, la no susceptibilidad al agrietamiento); la permeabilidad (cuyo control es mucho más típico en la construcción de presas de tierra), y el incremento de la resistencia de los suelos compactados a la erosión.

De la enumeración del inciso anterior se desprende que la compactación puede ser un procesó de objetivos múltiples; además, es evidente que esos objetivos pueden ser contradictorios entre si en muchos problemas concretos, en el sentido de que las acciones que se emprendan para cumplir uno pudieran perjudicar a algún otro. Por ejemplo, en términos generales puede ser cierto que una compactación muy intensa produce un material más resistente, pero seguramente muy susceptible al agrietamiento o poco estable al absorber agua.

Figura N° 2.1 Compactación



Fuente” www.freepik.es”

Al considerar que los suelos compactados han de tener una vida larga, conservando básicamente sus características, se comprende que alguno de los objetivos anteriores podrá ser inclusive contradictorio consigo mismo. Por ejemplo, un suelo fino intensamente compactado podrá ser poco deformable, pero si absorbe agua, su deformabilidad puede hacerse extrema, de manera que el esfuerzo al compactarlo pueda resultar altamente contraproducente, dando lugar a un suelo aún más deformable que en su estado natural.

Cuando por compactar de más un suelo se le hacen adquirir características indeseables, se dice que el suelo ha sido sobrecompactado. El convertir a los suelos finos en altamente expansivos a costa del dinero y el esfuerzo que representa la compactación es uno de los pecados más frecuentes, pero no el único, de la sobrecompactación.

Al final debe concluirse que no existe una relación fija entre la compactación que se da a un suelo y los resultados obtenidos, mucho habrá de depender de las circunstancias futuras en que la obra se desenvuelva y la consideración que se haga de tales circunstancias al planear el proceso de compactación.

2.2.- EN LA GRANULOMETRÍA

En esta es muy importante un riguroso cuidado por que mucho dependerá de una buena granulometría para tener una buena dosificación y tener resultados adecuados.

Los problemas que se van presentar generalmente van a ser por el tamaño de los agregados por lo que puede tener una mala aplicación en el proceso de la dosificación.

El tamaño máximo del agregado para conformar capas de base en pavimentos por lo general se encuentra entre 2 cm y 5 cm, requiriendo en los ensayos experimentales grandes especímenes de al menos 15,2 cm de diámetro, algo muy importante y que es necesario saber es que el comportamiento de la muestra en el laboratorio es diferente al de campo.

Un exceso de agregado grueso puede resultar en una mezcla áspera, la cual produce una superficie desigual de textura áspera.

El exceso de finos en la mezcla puede causar una estabilidad baja, permitiendo que se formen ondulaciones en la superficie.

2.3.- EN LA DOSIFICACIÓN

En la dosificación se tiene que tener muy en cuenta las proporciones, las cuales deben estar bien definidas los diferentes componentes para luego obtener buenos resultados.

En la dosificación se pueden presentar problemas los cuales no vayan a cumplir con la resistencia, docilidad, durabilidad y las demás exigencias requeridas en dicho proyecto.

En todo caso, para cualquier estudio de dosificación realizado estará respaldado por ensayos que lo acrediten a una resistencia característica a la flexotracción mínima de 4.6MPa a los 90 días u otra que especifique el proyecto, considerando una fracción defectuosa del 20%.

2.4.- EN EL FACTOR CLIMATOLÓGICO

Aunque el clima se reconozca como un factor a considerar en el comportamiento de los pavimentos, son muy pocos los métodos que tienen en cuenta algún aspecto del mismo por la dificultad de estimar cuantitativamente su influencia. En la Instrucción únicamente se dan directrices relacionadas con el clima al que va a estar sometido el pavimento al tratar de juntas transversales de contracción del mismo.

La capacidad estructural de los pavimentos flexibles posee una alta sensibilidad a las variaciones de las condiciones hídricas de los materiales. Se ha demostrado que el agua libre al interior de un pavimento puede deteriorar de 20 a 50 veces más su capacidad estructural que cuando se restringe su presencia, constituyéndose en el factor climático erosivo más peligroso (Loradi et al, 1998; Robertson y Birgisson, 1998, Bleuzen, 1998; Hornyeh et al, 1998, Simonsen et al, 1997; Backstrom, 2000, Alonso, 1998). A. Cañete (2000) afirma que la presencia de agua libre dentro del pavimento se debe principalmente a dos causas de diferente naturaleza:

- infiltración de agua a través de grietas en el pavimento, zanjas laterales, cunetas sin pavimentar, etc.
- ascensión capilar desde el nivel freático.

Cada uno de estos aspectos contribuye a la degradación de la capacidad portante de las estructuras. H. H. Ridgeway (1976) atribuye los mayores daños en los pavimentos a la infiltración de agua por las fisuras que se generan en la carpeta de rodadura.

En cuanto al efecto de la temperatura y del flujo de calor sobre los pavimentos flexibles, como los materiales asfálticos son extremadamente sensibles a los cambios de temperatura debido a su comportamiento viscoso. La resistencia de estos materiales es inversamente proporcional a la temperatura.

Ante la presencia de altas temperaturas y/o altos periodos de aplicación de carga (bajas frecuencias), se generan deformaciones irreversibles o plásticas en el pavimento denominadas huellas.

Las mezclas asfálticas presentan una variación de su resistencia con la temperatura similar a la registrada en los materiales asfálticos.

Otro aspecto el cual debemos tener en cuenta son los problemas que van a ocasionar si llega a presentar un mal clima durante la ejecución del pavimento, los problema a acarrear sería el de atrasar el proyecto a realizar ya que con una precipitación no se podría llevar a cabo un asfaltado.

2.5.- POR EL TIPO DE VALOR PORTANTE

Los problemas que se van a presentar son muchas:

- Entre esta tenemos la mala granulometría.
- Mala dosificación
- La mala compactación
- El clima, donde sea su ejecución del proyecto

Todo esto va influir en el tipo de cada capa portante y mucho mas dependiendo en el tipo de suelo en el que se presente el proyecto a realizar, en nuestra zona se presenta en su mayoría suelos expansivos , ya que uno de estos sea el principal problemas de las fallas que presentan los pavimentos en nuestra ciudad.

2.6 CONTROL DE CALIDAD EN PAVIMENTOS FLEXIBLES

La Organización del Control de Calidad", muestra en forma esquemática el ordenamiento de las actividades del Supervisor y su relación con el control de calidad,

2.6.1.- ENCARGADO DEL CONTROL

El control de calidad recae principalmente en el Supervisor de los trabajos. El papel del Supervisor es el controlar, revisar, observar y registrar las actividades en ejecución. Son funciones básicas del Supervisor:

- Garantizar el cumplimiento de las especificaciones técnicas y las reglas del buen arte, para el diseño y ejecución de los trabajos.

- Efectuar la medición y valorizar los trabajos apropiados para su pago, y llevar un control de la marcha de los mismos.
- Registrar la información recopilada durante la etapa de ejecución, que será de utilidad en el futuro para establecer la eficiencia y productividad de los procedimientos.
- Mantener una relación fluida entre el contratista y el cliente, a manera de asegurar la mejor operación y eficiencia de los trabajos, para la comunidad.

La mayoría de las actividades requieren, un control permanente del Supervisor y con este criterio, se elaboran las especificaciones técnicas. Esto implica una permanencia física en el lugar de trabajo, contrariamente a la práctica de limitar su participación en las instancias iniciales para delimitar las áreas a reparar y finales, para comprobar la calidad final, efectuar la medición y preparar la evaluación.

Algunos principios básicos en los que se apoya el esquema de control permanente o integrado son:

- El control de calidad antes y durante la ejecución permite corregir sobre la marcha prácticas inapropiadas, evitando que se prolonguen las obras por reparar trabajos defectuosos inspeccionados a destiempo.
- Muchas etapas del proceso constructivo pueden vigilarse por simple observación, resultando más sencillo y económico que un intenso muestreo y ensayos finales que puedan poner en evidencia dichos aspectos. Un ejemplo característico es el control de compactación, para el cual puede establecerse un número mínimo de pasadas de rodillo que asegure un nivel de compactación adecuado, en vez de tener que efectuar ensayos de densidad.
- Habiendo seguido las etapas constructivas, el Supervisor podrá eventualmente interpretar las anomalías que puedan hallar en algunos resultados, que de otra manera resultarían siendo interrogantes. Esto es esencial en el desarrollo de "experiencia".

- El control durante la ejecución y su aprobación por parte del Supervisor, facilita la aceptación definitiva del producto al concluir los trabajos. El control posterior a la ejecución del trabajo deja como alternativa la no aceptación de lo construido, que no beneficia ni al contratista ni al cliente, originando conflictos.
- El control integrado o continuo, armoniza los recursos del contratista con los del Supervisor, permitiendo comprobar la real aplicación de las exigencias. El Supervisor se orienta a asegurar la calidad de la obra y no a comprobar la mala calidad.

El Supervisor no puede cambiar, revocar o suspender los requisitos de las especificaciones, tampoco debe forzar al contratista a la aplicación de métodos rígidos, sino darle la posibilidad de acceder a nuevos procesos, que al fin se traducirán en adelantos de la técnica y en beneficios económicos, aunque siempre salvaguardando los requerimientos de calidad definidos en las especificaciones.

El Supervisor tampoco debe caer en el riesgo de convertirse en Director de los Trabajos, tarea que recae sobre el Ingeniero a cargo de la obra, por parte del contratista.

El control de calidad comprende tanto materiales, equipos y procesos constructivos, siendo necesario establecer los parámetros relevantes de cada actividad o etapa.

2.6.2.- INSTRUMENTOS DE CONTROL

Las especificaciones y normas para el diseño y construcción de una carretera si bien están orientadas a incrementar su calidad, es imprescindible disponer de un sistema que permita conducir el proceso de control de calidad de la manera más apropiada.

La inspección de los trabajos, el muestreo de materiales y las pruebas de laboratorio son procedimientos de control de calidad, destinados a hacer cumplir las especificaciones técnicas.

Es a través de éstas que se establecen:

- Los parámetros que definen el nivel de calidad.

- Los procedimientos y equipos para lograrlo.
- Los ensayos y su interpretación para comprobarlo.

El Supervisor cuenta con instrumentos legales y físicos para llevar a cabo con éxito sus funciones.

Los instrumentos legales están constituidos por los documentos de licitación y las especificaciones técnicas, éstos componen la documentación del contrato, en la que debe existir una definición precisa de los trabajos, con especificaciones concisas y actualizadas y un medio flexible, apto para conducir con éxito los trabajos de cada una de las actividades de construcción de pavimentos.

Los instrumentos físicos están constituidos por el laboratorio de materiales y los equipos de medición, actuando en forma armonizada con el Supervisor. Se espera de éste, preparación técnica, experiencia de obra, sentido común y ecuanimidad.

2.6.3.- REQUERIMIENTO EN EL PROCESO DE CONTROL DE CALIDAD

En obras viales una vez superada la necesidad de “Cantidad”, surge el interés por la “Calidad” de las mismas, hecho que deriva en un control más o menos organizado correspondiente al proceso constructivo.

Los elementos que se consideran importantes dentro de la ejecución del control de calidad (cuando no determinantes), son el factor humano y el procedimiento de muestreo.

Como punto de partida dos elementos fundamentales que no dejan de ser indispensables para la elaboración del “Control de Calidad” son el factor humano y las técnicas de muestreo.

Factor Humano

Las principales fallas en la construcción en general se deben al factor humano, que en el futuro deberá ser objeto de mayor atención, al tener una importancia capital en el resultado final del proceso constructivo.

Muestreo

El criterio de muestreo tradicional señala el muestreo como la toma de las partes “representativas” del conjunto, donde el muestreo lo realiza el inspector con determinada experiencia y criterio como para escoger la muestra que represente la calidad media del total del conjunto.

Las técnicas modernas del control de calidad establecen un muestreo aleatorio, que no es otra cosa que un procedimiento objetivo en el que una muestra es tomada al azar por cualquier persona sin que ésta necesite una preparación para el efecto.

En el presente estudio se realizó el muestreo de acuerdo a las especificaciones técnicas del proyecto, obteniendo de este modo datos representativos de la zona en estudio.

Tamaño de la muestra: Se debe plantear una metodología para la obtención de datos, que debe ser adoptada de manera que el muestreo no sea excesivo a fin de evitar incrementos importantes que afecten la economía del proyecto y asimismo sea el suficiente como para orientar la toma de decisiones en el menor tiempo posible en la consiguiente aceptación o rechazo del lote.

2.6.4.- TÉRMINOS ESTADÍSTICOS DE CONTROL DE CALIDAD

Se enunciará de una manera simple y concreta los términos estadísticos a emplear en la elaboración del control de calidad propuesto.

Medidas de Valor Central.- La medida de valor central más representativa es “la media” y es el número más simple y más útil, asociado a un conjunto de datos. Se define como el promedio aritmético de todos los datos de la muestra; así para: $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ que son todos los valores observados en una muestra de tamaño “n” obtenida de una población, \bar{X} la media se determina por:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$$

Medidas de Dispersión: El concepto de dispersión de los datos está en correspondencia con la tendencia de éstos a extenderse alrededor de un valor medio, entre los elementos más empleados citamos a continuación:

Varianza: Es una medida de dispersión mucho más satisfactoria, se presenta como un concepto análogo al momento de inercia, debido a que relaciona el cuadrado de distancias desde un centro de gravedad (que no es otra cosa que la media). La expresión que la define es:

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2$$

Desviación Estándar: La expresión matemática es análoga al radio de rotación de una sección estructural, y resulta ser la raíz cuadrada positiva de la varianza (σ^2); tanto la varianza (σ^2) como la desviación estándar (σ) depende de la forma y no de la dimensión, así, la adición de una constante a todos los valores observados alteraría la media pero no la desviación estándar. La desviación estándar (σ) cuanto más pequeña es su magnitud, los datos se concentran más alrededor de la media, hecho que denota una mínima dispersión de los resultados.

La siguiente relación nos permite calcular la desviación estándar de una serie de

datos:
$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}$$

Errores: Asociado al concepto de las medidas de dispersión se encuentra el concepto del “error” que está inmerso en toda medida experimental, siendo la determinación de su magnitud fundamental para evaluar la validez del valor medido.

La siguiente relación define el error en su valor absoluto determinado en la obtención de los resultados que comprende la variable X_1 :

$$\delta X_1 = |X - X_1|$$

Donde X_1 es el valor medido y X es el valor real generalmente desconocido; así la siguiente relación permite, a partir de una serie de medidas, estimar la magnitud del

error de acuerdo con los valores extremos, que en la práctica estadística se constituyen en los límites superior e inferior.

Cartas de Control: El apunte gráfico de las pruebas de control tiene el propósito principal de mostrar las tendencias de los resultados (en unidades de variable u otras dimensiones), respecto a los valores límites especificados máximo y mínimo, los cuales representados por líneas, dividen el gráfico en dos áreas: el área de productos aceptables y el área de productos defectuosos.

Una carta de control incluye los “límites de control” superior e inferior, los cuales definen una banda con la inclusión de los límites especificados. El exigir que el producto se enmarque entre los “límites de control”, equivale a exigir una mayor precisión en el proceso de producción. Sin embargo el producto resultante entre las líneas de control y los límites de tolerancia especificados (área denominada de corrección).

Los límites de control superior e inferior deben ser calculados por los procedimientos estadísticos recomendados según el método de control adoptado de manera de no desvirtuar el proceso en sí, sin embargo, algunos autores adoptan la determinación de estos límites por medio de resultados previamente obtenidos en alguna experiencia anterior.

El principal propósito de la elaboración de cartas de control estadísticas es el diferenciar las variaciones de carácter sistemático (inevitables) del proceso en estudio, de aquellos de carácter accidental (que podrían evitarse). Esto permite determinar cuando el proceso está fuera de control y conlleva al planteamiento de medidas correctivas en algún punto del proceso de producción.

2.6.5.- NIVELES DE CONTROL

Una gran variedad de materiales y equipos influye en la calidad del producto final según características propias, de manera que algunos actúan en forma decisiva, mientras que otros cumplen una labor simplemente complementaria.

El nivel de control es el grado de control a ejercer sobre un determinado elemento de la producción en relación a su influencia con la calidad del resultado final.

Los niveles de control deberán adecuarse a los objetivos planteados para la ejecución de un determinado proyecto debiendo ser concordantes con lo especificado para la construcción de manera que sirvan de garantía para alcanzar el nivel de calidad esperado.

La esencia del control de calidad en pavimentos rígidos, es la utilización de los resultados y de pruebas en relación con las materias primas, la planta, el concreto fresco y el concreto endurecido, con el objeto de mantener y regular la calidad de la producción de acuerdo con los requisitos especificados y en una forma económica.

2.6.5.1.- Formas de control

El control propiamente dicho y los niveles que debe alcanzar se circunscriben a dos formas de control:

- **Control normal**

Este nivel de control es el que se aplica sobre aquellos elementos que son básicos para la elaboración del producto final, y tiene por objeto determinar si el material, equipo o procedimiento es aceptable para poder alcanzar la calidad deseada de acuerdo con los criterios y especificaciones previamente establecidas.

Ejm:

Tabla 2.1 Control Normal

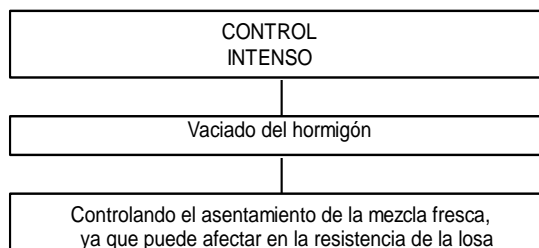
CONTROL NORMAL
Calidad de un material de capa sub - base
Su composición granulométrica permitirá clasificar el material como aceptable o no aceptable como para alcanzar el grado de compactación que asegure el adecuado rendimiento de la estructura del pavimento.

- **Control intenso**

Es el nivel de control a aplicar sobre elementos decisivos para la calidad del producto final y que permite clasificarlos en aceptables o rechazables para la producción propiamente dicha. Este control tiende a eliminar en grado extremo la falla del elemento construido, que de producirse constituye un elemento de alto riesgo para la seguridad y la vida humana, además de ocasionar pérdidas económicas de consideración.

Ejm:

Tabla 2.2 Control Intenso



2.6.5.2.- Nivel de Confianza

Asociado al concepto de nivel de control se encuentra el nivel de confianza, que puede definirse como el factor que permite establecer el grado de riesgo a la probabilidad de acierto al que se somete el resultado final de un proceso productivo en su aceptación o rechazo.

Se presentan dos tipos de riesgo:

Riesgo del productor: Que está en directa relación con la probabilidad de rechazar un producto aceptable que cumpla con los requisitos establecidos por las especificaciones.

Riesgo del receptor: Que corresponde a la probabilidad de rechazar un producto inaceptable que no cumpla con los requisitos de producción.

El nivel de confianza estará definido por el factor de riesgo del receptor puesto que una alta probabilidad de rechazo aumenta la seguridad de que aceptarán solamente productos de alta calidad, sin embargo deberá ser manejado con mucho criterio debido a que podría determinar un incremento innecesario en los costos de producción.

La siguiente Tabla 3.3 presenta una relación entre los niveles de control descritos y los niveles de confianza a aplicar.

Tabla 2.3

NIVEL	REDUCIDO	NORMAL	INTENSO
Grado de independencia entre control y proceso	Independencia entre control y proceso, no es ningún requisito	Puede existir interdependencia en algunos puntos del proceso	Totalmente independiente a objeto de buscar un 100% en la calidad
Frecuencia y extensión	Los controles son esporádicos breves y por simple inspección	Control sistemático, no permanente. Se cumple un plan de muestreos para analizar el producto.	El control es permanente y se aplica en todas las etapas y componentes del proceso
Criterio de aceptación y acciones a seguir	Verifica el cumplimiento de requerimientos contractuales. Instruir ejecución acorde con especificaciones y la "buena ejecución"	Plantea tolerancias en función a lo especificado. Controlar puntos importantes para determinar fallas y corregirlas en su origen	Se aplican las exigencias del proyecto con mayor rigidez. Exigir estricto cumplimiento a los requerimientos de calidad del proyecto.
Comentarios adicionales	Es la forma de control más económica. No requiere de personal especializado	Requiere personal relativamente preparado para el control	Los costos de control son elevados al requerir equipo y personal altamente capacitados
Nivel de confianza	0.80 – 0.90	0.90 – 0.95	0.95 – 0.995

2.6.6.- FRECUENCIAS DE CONTROL EN LA EJECUCIÓN

El control de ejecución de los trabajos se basa en un conjunto de tareas de control, las que se repiten con cierta frecuencia. Sin entrar en los detalles propios de cada actividad o trabajos, las frecuencias con que se realizan estas tareas de inspección se pueden dividir en:

a) Inspección Única.

Ciertas actividades requieren una sola inspección en circunstancias normales. Por ejemplo, la revisión del equipo del contratista, cuando llega por primera vez al sitio, a menos que el equipo no funcione apropiadamente o que una unidad haya sido reemplazada, normalmente no hay necesidad de revisar otra vez.

b) Inspección en Punto Crítico.

Una inspección de punto crítico, es esencialmente la que se lleva a cabo sólo una vez y que debe ser realizada en un momento específico en la secuencia de ejecución, antes que se lleve a cabo la siguiente etapa de ésta. Un ejemplo es la inspección de moldes y disposición de barras de acero, antes del colado del concreto. En las especificaciones técnicas se indican algunas situaciones que, para continuar requieren de la aprobación del Supervisor. Es necesario que el contratista de aviso anticipado para que el Supervisor proceda a efectuar la inspección del punto crítico; la falta de aviso puede considerarse como una infracción seria de las especificaciones, por parte del contratista.

c) Inspecciones Intermitentes del Sitio.

Muchas de las actividades pueden ser inspeccionadas y controladas adecuadamente a través de inspecciones casuales o regulares de los sitios donde se realizan, a medida que avanza el trabajo.

d) Control Continuo.

Debido a su naturaleza inherente, crítica o variable, algunas operaciones requieren la

presencia plena del Supervisor. La colocación del concreto por ejemplo en la cual, la inspección permanente es justificada.

2.6.7.- ELEMENTOS DEL CONTROL DE CALIDAD

Control Tecnológico.- El control tecnológico de calidad, es el que se ejerce en relación con las propiedades constitutivas de los materiales (Granulometría, límites de consistencia) y a las características mecánicas del producto (densidad máxima – humedad óptima y control de compactación) a lo largo de todo el proceso de ejecución.

Este elemento del control de calidad es el que define las características esenciales de durabilidad y seguridad de la obra, otorgando de acuerdo con criterios previamente establecidos, las alternativas de decisión para la respectiva aceptación o rechazo del ítem ejecutado.

De esta manera, el control tecnológico estará orientado fundamentalmente verificar los elementos básicos para garantizar un buen desempeño de los materiales.

Los procedimientos estadísticos se prestan a facilitar tanto el procedimiento del control, como el análisis de los resultados. Los niveles de control en los que se desarrollan los procedimientos de control tecnológico corresponden a un nivel normal e intenso.

- **Control Geométrico.-** Es el control complementario al control tecnológico y es el que se aplica sobre las características físico – geométricas del producto durante su conformación y en el acabado final del mismo a fin de garantizar la seguridad y funcionalidad.

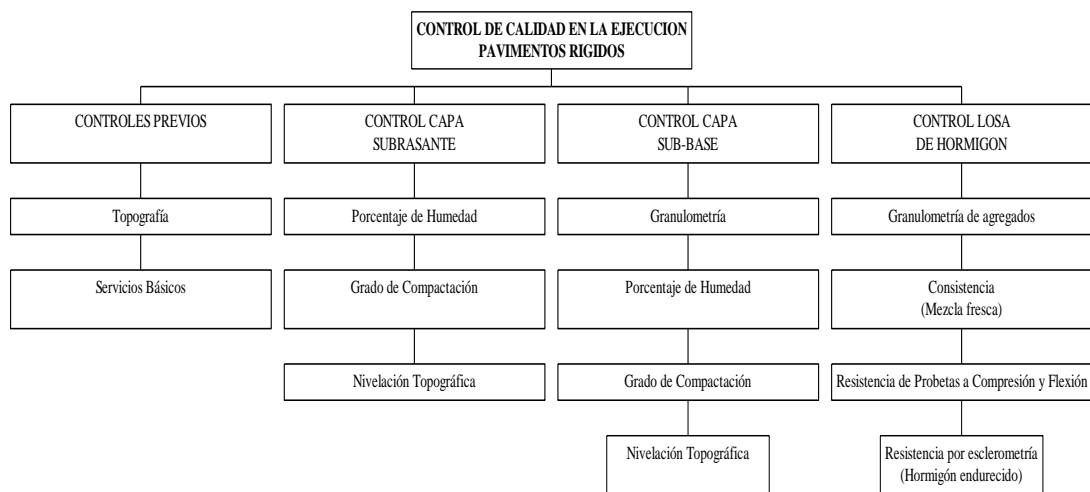
El control geométrico de acuerdo a lo especificado, determina la aprobación o rechazo de un lote de obra ejecutada.

Este control a efectuarse a niveles normal e intenso, se refiere básicamente a dos características:

- Espesor de la capa
- Nivel de acabado y tolerancias

A continuación será descrita la metodología recomendada para el control de calidad de los ítems más importantes en la conformación de los pavimentos rígidos, el objetivo principal es el de obtener un criterio de control de calidad sencillo y simple.

Tabla 2.4 Metodología Recomendada Para El Control De Calidad



2.6.8.- CONTROL DE ACTIVIDADES PREVIAS

Trabajos de Topografía.-

Los trabajos previos para el control de la Topografía son los siguientes:

- Inventario de parámetros de casas, carpetas asfálticas existentes, así como la descripción de su estado actual y su localización, incluyendo una breve descripción de los cruces con otras vías.
- Levantamiento de niveles existentes indicando niveles de todo tipo de registros y elementos fijos que sirvan de puntos de referencia.

- Debe recopilarse cualquier información de trabajos de topografía en planta o perfiles longitudinales y secciones transversales. Estas mediciones deben hacerse antes y después de la ejecución de los trabajos para garantizar la cubicación exacta de los volúmenes de acuerdo con el proyecto.

Control Geométrico:

Para tener un mayor control de los niveles del proyecto, es decir de cada una de las capas que conforman el pavimento; es preciso realizar un levantamiento previo de la zona a pavimentar, en condiciones naturales, para poder compararlas con las cotas del diseño, y usarlas como parámetro para establecer el control geométrico de todo el proyecto.

El control geométrico en la conformación de una estructura de pavimento rígido fundamentalmente está referido a los siguientes parámetros:

- Espesor de capa considerando las tolerancias especificadas.
- Diferencias de nivel de acabado.

El control geométrico queda establecido por las especificaciones técnicas en cuanto a límites y tolerancias. La determinación de las cotas de acabado, de todas las capas que conforman el paquete estructural se deben realizar de la siguiente manera:

La toma de niveles será al menos cada 20 metros lineales tanto al lado izquierdo, derecho y eje en forma alternada, de acuerdo a las especificaciones técnicas establecidas para cada caso.

El control de verificación de las cotas de campo con respecto a las cotas de diseño para todas las capas, tienen una secuencia análoga; esto es tomando como referencia las especificaciones de tolerancia de cada una de ellas y comparando que las diferencias de cotas respectivas (de diseño y campo) ingresen dentro de los niveles esperados.

Para ello es preciso construir una tabla con el fin de determinar si los elementos en exceso y en defecto encontrados en ambos casos, se pueda comparar con las

tolerancias exigidas por las especificaciones técnicas del proyecto, para cada caso de no ingresar la totalidad de los valores registrados, denotar la cantidad de ellos que se encuentran fuera de control.

Verificación de las instalaciones.-

Habrá que verificar en el departamento de servicios públicos municipales que correspondan a cada localidad si los servicios básicos: Agua Potable, Drenaje Sanitario, Drenaje Pluvial, Alumbrado Público, Teléfonos, etc., están completos y corresponden a sus alineamientos, de esta manera se evitará que el pavimento recién construido sea demolido para hacer corregir dichas instalaciones.

- Se debe verificar el estado actual del alcantarillado y del drenaje pluvial existente en la vialidad y, en caso necesario, hacer la reposición de las tuberías.
- Cuando el alcantarillado se encuentre a cargo de las dependencias municipales, éstas deben ser informadas para que hagan el retiro o la sustitución de los drenajes que interfieran en la ejecución de los trabajos.
- Deben realizarse todas las instalaciones necesarias para drenaje pluvial y/o sanitario, antes de empezar los trabajos de pavimentación.

2.6.8.1.- Control Capa Subrasante

Para realizar el control de calidad en la capa subrasante se debe tomar en cuenta los siguientes aspectos:

Las capas de apoyo del pavimento de concreto podrán ser los suelos naturales o terreno natural, siempre y cuando éstos sean de buena calidad. Si no cumpliera con los requisitos de calidad se debe construir una capa de transición o de sub-base, a fin de que cumpla una función estructural, y de esta manera los espesores de losa requeridos se reduzcan. Esta capa, al ser de tipo granular servirá también para drenar el agua que tiende a acumularse en la parte inferior de la losa de concreto, ya sea por lluvia o por elevaciones del nivel freático del terreno. En casos especiales será

necesario realizar la estabilización adicional a la capa sub-base. Particularmente en casos en que el terreno natural sea excesivamente deformable.

Verificación del material del terreno natural:

Es recomendable realizar una verificación del material que constituye el terreno natural para poder comparar los resultados con los datos que se usaron para el diseño del pavimento, a modo de garantizar el diseño y asegurar un buen comportamiento durante su vida útil.

Entre las prácticas que se recomiendan para su evaluación destacan las siguientes:

Extracción de muestras para determinar las características de resistencia y deformación. La secuencia de los ensayos son los siguientes:

- Humedad natural
- Granulometría
- Límite líquido
- Límite plástico
- Índice de plasticidad
- Clasificación de suelos.
- Ensayos Proctor modificado
- CBR de laboratorio, con una frecuencia tal, que equivalga por lo menos, a la ejecución de un ensayo de CBR, por cada 100 ml de la longitud total de calzada contratada en el estudio, por cada tipo de material de subrasante y de las capas granulares de los pavimentos existentes.

Las especificaciones AASHTO M57-80 (1990), especifican que los materiales no cohesivos clasificados como A-1 (gravas), A-2 (arenas) ó A-3 (limos), pueden ser usados como subrasantes cuando estén disponibles, debiendo compactarse al 95% de su capacidad máxima AASTHO T-180.

Los materiales cohesivos clasificados como A-4 (limos), A-5, A-6 ó A-7 (arcillas), pueden ser usados compactados a la profundidad especificada en el estudio de suelos, al 90% como mínimo de su densidad máxima AASHTO T-99.

Tramos en cortes

Si a nivel de la subrasante es necesaria la sustitución de los suelos en cortes, a menos que exista una indicación contraria del ingeniero, el material será compactado como mín. al 95% de la densidad máxima seca dado por el ensayo AASTHO T-180.

Tramos en terraplenes

En las capas superiores la compactación será como mínimo el 95% de la densidad máxima seca dada por el ensayo AASTHO T-180, por debajo de 60 cm de profundidad el grado de compactación requerido con relación al mismo ensayo será del 90%, para suelos con IP mayor a 6 y 95% para suelos con IP menor a 6.

Los sectores que no hubieran alcanzado las condiciones mínimas de compactación deberán ser escarificadas, homogeneizados, llevadas a la humedad adecuada y nuevamente compactados de acuerdo con las densidades exigidas.

La subrasante es de vital importancia para evitar muchas causas de fallas en los pavimentos, por esto debe ponerse especial cuidado en su compactación.

Control Tecnológico de la capa subrasante.-

El control tecnológico en la conformación de la subrasante deberá constar principalmente de los elementos que se especifican a continuación:

Densidad Máxima y Humedad Óptima.- El control de la densidad máxima obtenida a óptima humedad, representa el problema típico en la ejecución de una obra vial.

Con el cálculo de la densidad máxima determinada en laboratorio a una humedad óptima, se podrá evitar discusiones innecesarias a diferentes criterios entre supervisor y contratista y a su vez se ahorra tiempo y dinero, al organizar el número de pruebas (proctor) de referencia para establecer rangos de control correspondientes a las

densidades en campo. El control a ejercer sobre la humedad óptima está basado en las especificaciones técnicas establecidas por el proyecto, la cual no deberá variar en $\pm 2\%$ del límite superior e inferior.

Tabla 2.5 Secuencia De Control

Determinar el Nivel de control a emplear (Control Normal)
Determinar el nivel de confianza a emplear $R = 95\%$
Identificar el tamaño de la muestra n de acuerdo a las pruebas obtenidas en campo para su respectivo procesamiento.
Elaboración el control de acuerdo a la muestra obtenida en campo, para determinar luego los límites de control y verificar si las humedades y densidades están dentro especificaciones.

Control de Compactación.- El control de la compactación en el avance de la obra vial para la conformación de la capa subrasante, establece la regularidad de la ejecución.

El desarrollo de esta parte en pavimentos corresponde a un nivel de control normal, dado que el control efectuado es sistemático basándose en un plan de muestreo y apoyado en la inspección tradicional del proceso. Este control podrá efectuarse mediante:

1. Pruebas destructivas en la capa subrasante a saber, obtención de pesos volumétricos secos máximos en campo, por ejemplo mediante el cono de arena.
2. Pruebas no destructivas, por ejemplo el densímetro nuclear. Este método tiene la ventaja de que no se requiere esperar la determinación de los contenidos de agua de las muestras recuperadas como requisito para la obtención del resultado de la compactación del sitio en cuestión. Ello reduce substancialmente el tiempo

requerido para la definición de la calidad de compactación de la capa recién tendida, pudiéndose así tomar medidas correctivas de manera oportuna.

Tabla 2.6 Secuencia De Control

Determinar el Nivel de control a emplear (Control Normal)
Determinar el nivel de confianza a emplear $R = 95\%$
Identificar el tamaño de la muestra n de acuerdo a las pruebas obtenidas en campo para su respectivo procesamiento.
Elaboración de las cartas de control de calidad de todos los datos recabados en campo, con la finalidad de depurar los datos malos provenientes de errores accidentales y sistemáticos a un nivel del 95% de confianza, determinando el conjunto de datos que se encuentran bajo control estadístico.

2.6.8.2- Control Capas Sub Base y Base

Para la conformación de la capas sub-base y base de un pavimento flexible, se plantea un nivel de control normal basado en las especificaciones técnicas.

Control Tecnológico de la capa Sub-base y base.-

En la conformación de la sub-base y base las actividades en las que se realiza el control de calidad, de los cuales depende su aceptación o rechazo son:

Granulometría.- Este factor permitirá establecer, si el material analizado es apto o no para su empleo como capa sub-base y base.

El procedimiento estadístico para el análisis de la granulometría, será función de la disponibilidad del equipo y personal, también del número de pruebas que se puedan realizar con el fin de analizar los materiales producidos para la conformación de una estructura de pavimento rígido.

La granulometría de los materiales preferentemente deberá ser analizada en dos etapas:

Etapa preliminar: en esta etapa se definen los límites de control mediante un procedimiento estadístico derivado de las muestras obtenidas en banco. Este estudio permite a su vez definir posibles correcciones en la fórmula de dosificación adoptada en el caso de una mezcla de materiales en forma previa a la conformación de la capa sub-base.

Etapa constructiva: es la etapa en la que el control de granulometría se lo efectúa sobre el material producido en intervalos previamente establecidos, (podrá ser por longitud de plataforma o por máxima producción diaria), bajo los parámetros definidos en la etapa preliminar.

Debido a que los recursos, disponibilidad de equipo y material; podrían hacer que la etapa preliminar forme parte de la etapa constructiva en la producción inicial de materiales y en la respectiva colocación en obra.

Límites de control: Para la determinación de los límites de control se toma fundamentalmente como puntos de partida los valores de tolerancia establecidos por las especificaciones correspondientes a objeto de determinar los límites estadísticos para el correspondiente control de calidad.

Tabla 2.7 Secuencia De Control

Determinar el Nivel de control a emplear (Control Normal)
Establecer el nivel de confianza a emplear $R = 95\%$
De acuerdo con el tamaño de la muestra “n” obtenida, se deberá definir las tolerancias tanto inferiores como las superiores.

Normalmente en el control granulométrico, el término “rechazo” no implica el cambio de materiales, salvo en casos en que las fallas granulométricas se presentan en tres o más tamices, hecho que afectaría de la estabilidad de la capa a construir.

El rechazar una muestra por su composición granulométrica pretende la corrección en la dosificación de agregados a fin de uniformizar la producción para la obtención de un material acorde con los requerimientos especificados.

Una vez obtenida la muestra, y analizada según las reglas anteriormente indicadas se procederá a la elaboración de las cartas de control para las muestras a fin de apreciar de manera objetiva, si la producción del tamaño del grano analizado es o no satisfactoria y definir en consecuencia las correcciones necesarias.

Finalmente establecer conclusiones enfatizando la aceptación o rechazo y así emitir las sugerencias pertinentes.

En forma complementaria y siguiendo los requerimientos establecidos; los datos de la fracción que pasa el tamiz N° 200 serán analizados como “atributos” del material, que serán determinados para cada muestra a fin de poder corregir la dosificación en caso de presentarse un exceso de material fino. De la misma manera, los límites de consistencia serán considerados como “atributos” los cuales definirán a la fracción que pasa el tamiz N° 40 plásticos o no plásticos para la correspondiente aprobación o rechazo.

Densidad Máxima y Humedad Óptima.- El control de la densidad máxima obtenida a la humedad óptima para una capa sub-base y base, al igual que en la capa subrasante representa el problema típico en la ejecución de una obra vial.

Con el cálculo de la densidad máxima determinada en laboratorio a una humedad óptima, se podrá aplicar el criterio de análisis de comparación de las humedades obtenidas en campo con respecto a la humedad de referencia determinada en laboratorio, las cuales están basadas en las especificaciones técnicas del proyecto, donde la humedad obtenida en campo no deberá variar en $\pm 2\%$ del límite superior e inferior.

La siguiente secuencia detalla los pasos a seguir con el propósito de establecer el control:

Tabla 2.8 Secuencia De Control

Determinar el Nivel de control a emplear (Control Normal)
Determinar el nivel de confianza a emplear $R = 95\%$
Identificar el tamaño de la muestra n de acuerdo a las pruebas obtenidas en campo para su respectivo procesamiento.
Elaboración de las cartas de control de acuerdo a la muestra obtenida en campo, para determinar luego los límites de control, superior e inferior, y verificar si las humedades obtenidas en campo se encuentran bajo control de acuerdo al rango definido por las especificaciones técnicas del proyecto.

Control de Compactación.- El control de compactación será ejecutado de acuerdo con el proctor de referencia obtenido en laboratorio, para la determinación de las densidades correspondientes en campo.

Los procedimientos de control de compactación para un nivel de control normal es el siguiente:

Tabla 2.9 Secuencia De Control

Determinar el Nivel de control a emplear (Control Normal)
Determinar el nivel de confianza a emplear $R = 95\%$
Identificar el tamaño de la muestra n de acuerdo a las pruebas obtenidas en campo para su respectivo procesamiento.
Elaboración de las cartas de control de acuerdo a la muestra obtenida en campo, para depurar datos malos provenientes de errores a un nivel del 95% de confianza, determinando de esta manera el conjunto de datos que se encuentra bajo control estadístico.

Además de acuerdo con las normas AASHTO debe cumplir las siguientes características:

Tabla 2.10 Características De La Norma AASHTO

Limite liquido (LL)	25 %	Max.
Índice de plasticidad (IP)	6 %	Max.
Poder de soporte (CBR)	40 %	Min.
Desgaste de los Ángeles	60 %	Max.
Finos que pasa malla N° 200	15 %	Max.
Tamaño máximo menos a 1/3 del espesor de la capa		

Las especificaciones permiten utilizar como material de Sub-Base y base de acuerdo a especificaciones de cada proyecto.

3.1.- UBICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL LUGAR DE ESTUDIO

El área de estudio está ubicada al norte de la ciudad de Tarija, concretamente en el tramo de San Andrés - Bellavista, entre las progresivas 11+400 a 15+400 cuyas alturas oscilan entre los 1800 a 1890 m.s.n.m. La zona tiene una fisiografía subandina, constituida por un conjunto de paisajes dominados por colinas y valles estrechos. La geología de la zona es bastante constante, observándose materiales que van desde el cuaternario, ordovícico y siluriano, considerando a la zona de San Andrés una llanura lacustre no consolidada. Entre las unidades de terreno existentes en la zona tenemos conglomerados, areniscas, limonitas y arcillitas. La zona tiene una vegetación característica, que van desde matorrales xeromórficos y arbustivos hasta la vegetación herbácea graminoide alta. De manera global la zona se caracteriza por el uso extendido del ganado además de añadirse la alteración del relieve producto de la construcción civil.

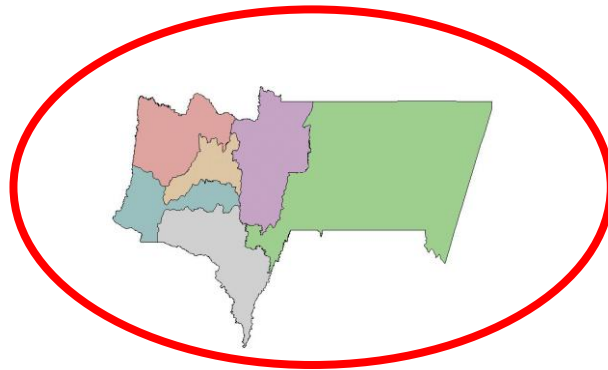


Figura N° 3.1 Mapa De Ubicación De La Zona De Estudio



La necesidad de integración entre la ciudad de Tarija y las comunidades aledañas como San Andrés ha dado como resultado la construcción de una importante carretera y por consiguiente la modificación del equilibrio del terreno, generando la exposición de considerables superficies a fenómenos atmosféricos, que son uno de los principales causantes del problema de inestabilidad. Este tramo presenta a lo largo de su curso zonas

que favorecen al estudio de planteado.

La carretera en estudio San Andrés – Bella Vista tiene como paquete estructural del pavimento flexible el siguiente:

Figura N° 3.2 Paauete Estructural

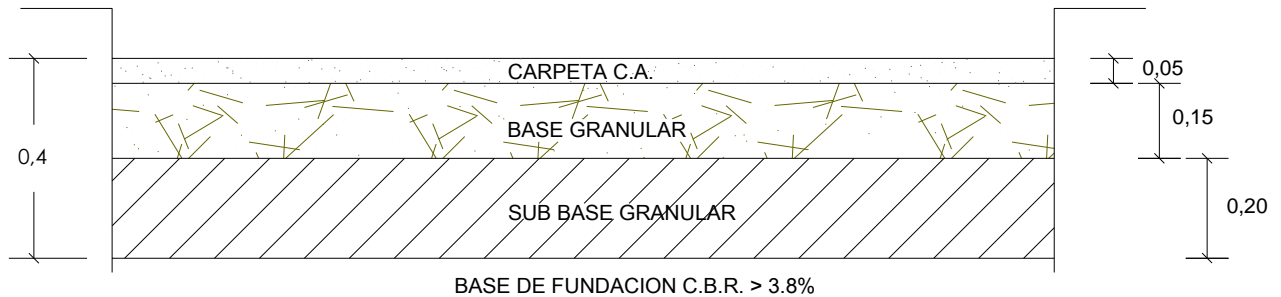


Figura N° 3.3 Compactado De una Capa



Fuente “elaboración Propia”

3.2.- CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES DEL ÁREA DE ESTUDIO

3.2.1 MATERIAL DE LA SUBRASANTE

Para el material de la capa subrasante se debe tomar en cuenta los siguientes aspectos:

Las capas de apoyo del pavimento flexible podrán ser los suelos naturales o terreno natural, siempre y cuando éstos sean de buena calidad. Si no cumpliera con los requisitos de calidad se debe construir una capa de subrasante mejorada, a fin de que cumpla una mejor función.

Esta capa, al ser de tipo granular servirá también para drenar el agua que tiende a acumularse en la parte inferior del pavimento ya sea por lluvia o por elevaciones del nivel freático del terreno.

Es recomendable realizar una verificación del material que constituye el terreno natural para poder comparar los resultados con los datos que se usaron para el diseño del pavimento, a modo de garantizar el diseño y asegurar un buen comportamiento durante su vida útil.

Entre las prácticas que se recomiendan para su evaluación destacan las siguientes:

- Humedad natural
- Granulometría
- Límites de Aterberg
- Índice de plasticidad
- Clasificación de suelos.
- Ensayos Proctor modificado
- CBR de laboratorio

Los resultados de los materiales utilizados en el tramo de estudio como materiales de subrasante son los siguientes:

TABLA 3.1 RESUMEN DE ENSAYOS REALIZADOS

TRAMO SAN ANDRES – BELLA VISTA

Designación	Profundidad	Humedad	IDENTIFICACIÓN DEL MATERIAL																	
			Progresiva	Pozo (m)	Natural (%)	GRANULOMETRÍA (% PASA)											LIMITES DE CONSISTENCIA			CLASIFIC. AASHTO
						3"	2 1/2"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	No.4	No.10	No.40	No.200	LL	LP	IP	
10+000	1,00	19,36	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,38	99,26	99,14	82,92	78,86	33	19	14	A - 6 - (2)			
10+200	1,00	4,85	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,58	98,03	91,42	81,25	73,74	32	24	8	A - 6 - (2)			
10+400	1,00	3,07	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,78	98,58	93,07	84,33	31	19	12	A - 6 - (1)			
10+600	1,00	5,29	100,00	95,33	91,99	90,82	83,06	74,20	66,84	62,47	55,11	45,55	41,62	31	24	7	A - 4			
10+800	1,00	20,13	100,00	92,08	92,08	78,35	71,24	62,32	46,79	37,41	25,80	20,70	16,56	31	24	7	A - 4			
11+000	1,00	13,91	100,00	100,00	88,09	79,97	66,92	59,75	39,02	26,15	17,15	10,38	7,35	31	24	7	A - 4			
11+200	1,00	20,92	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,42	94,42	80,95	71,98	35	31	4	A - 4			
11+400	1,00	12,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,64	98,01	96,96	88,89	77,79	22	16	6	A - 4			
11+600	1,00	36,95	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,79	99,23	97,70	95,55	63	52	11	A - 7 - (1)			
11+800	1,00	19,07	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	98,86	98,21	96,47	93,44	66,16	21	15	6	A - 7 - (1)			
12+000	1,00	6,18	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,89	99,76	97,92	93,03	70,04	16	7	9	A - 7 - (1)			
12+300	1,00	29,23	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,52	99,45	80,32	69,06	38	28	10	A - 7 - (1)			
12+600	1,00	26,33	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,79	99,79	91,21	82,09	38	28	10	A - 4			
12+900	1,00	10,75	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,38	99,26	99,14	82,92	78,86	33	19	14	A - 6 - (2)			
13+200	1,00	24,81	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,58	98,03	91,42	81,25	73,74	32	24	8	A - 6 - (2)			
13+600	1,00	11,07	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,78	98,58	93,07	84,33	31	19	12	A - 6 - (1)			
14+000	1,00	12,04	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,79	99,23	97,70	95,55	63	52	11	A - 7 - (1)			
14+400	1,00	11,25	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	98,86	98,21	96,47	93,44	66,16	21	15	6	A - 7 - (1)			
14+800	1,00	11,27	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,89	99,76	97,92	93,03	70,04	16	7	9	A - 7 - (1)			
15+200	1,00	13,12	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,52	99,45	80,32	69,06	38	28	10	A - 7 - (1)			
15+400	1,00	12,84	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,79	99,79	91,21	82,09	38	28	10	A - 4			

Tabla 3.2 Resumen de Ensayos de Laboratorio
Compactación T-180 Modificado y CBR para Subrasante natural

Proctor T – 180			CBR		Expansión %
AASHTO	Den. Max.	Wop.	100%	95%	
A - 6 - (2)	2.010	10.20	7.120	1.20	2.420
A - 6 - (2)	1.942	11.98	7.050	4.20	2.5000
A - 6 - (1)	1.930	10.00	6.000	3.50	2.2000
A - 4	1.850	10.00	19.700	13.20	0.6000
A - 4	2.145	6.80	15.300	11.00	0.5000
A - 4	2.025	8.40	11.300	9.40	0.5000
A - 4	2.049	8.60	17.500	16.30	0.5000
A - 4	2.145	6.80	15.200	10.60	0.5000
A - 7 - (1)	1.982	10.40	3.600	1.850	5.2000
A - 7 - (1)	1.968	9.60	3.900	3.20	4.3000
A - 7 - (1)	1.900	12.60	3.700	3.18	5.9000
A - 7 - (1)	1.968	8.20	3.300	3.10	4.0000
A - 4	1.850	10.00	19.700	13.20	0.7000
A - 6 - (2)	2.145	6.80	9.300	7.00	1.9000
A - 6 - (2)	2.025	8.40	11.300	9.00	2.2000
A - 6 - (1)	2.049	8.60	12.500	10.50	2.6000
A - 7 - (1)	1.870	9.70	4.000	3.10	4.4000
A - 7 - (1)	1.931	12.50	4.500	3.60	3.3400
A - 7 - (1)	1.917	12.55	3.900	1.20	4.2900
A - 7 - (1)	1.960	10.00	14.800	10.50	4.6000
A - 4	1.930	11.87	14.900	11.90	0.8200

3.2.2 MATERIAL DE LA CAPA SUB BASE

Los materiales de sub base fueron obtenidos en el proyecto de distintos bancos de préstamo y procesados en la planta de agregados cuyos resultados de su caracterización son los siguientes: **Tabla 3.3**

MATERIAL DE SUB BASE															
Banco	GRANULOMETRIA (% PASA)							LIMITES DE CONSISTENCIA						CLASIFIC. AASHTO	
	3"	2 1/2"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	No.4	No.10	No.40	No.200	LL	LP		IP
1	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,38	99,26	99,14	82,92	78,86	33	19	14	A - 6 - (2)
2	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,58	98,03	91,42	81,25	73,74	32	24	8	A - 6 - (2)
3	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,78	98,58	93,07	84,33	31	19	12	A - 6 - (1)
4	100,00	95,33	91,99	90,82	83,06	74,20	66,84	62,47	55,11	45,55	41,62	31	24	7	A - 4

Tabla 3.4

Compactación T-180 Modificado y CBR para Sub Base

Proctor T - 180			CBR		Expansión %
Muestra	Den. Max.	Wop.	100%	95%	
1	2.240	7.20	37.1	31.0	1.420
2	2.242	6.98	37.5	32.0	1.5000
3	2.330	7.00	36.0	30.5	1.2000
4	2.250	6.00	39.7	33.2	1.6000

3.2.3 MATERIAL DE LA CAPA BASE

Los materiales de base fueron obtenidos en el proyecto de distintos bancos de préstamo y procesados en la planta de agregados cuyos resultados de su caracterización son los siguientes: **Tabla 3.5**

MATERIAL DE BASE															
Banco	GRANULOMETRIA (% PASA)							LIMITES DE CONSISTENCIA						CLASIFIC. AASHTO	
	3"	2 1/2"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	No.4	No.10	No.40	No.200	LL	LP		IP
1	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,38	99,26	99,14	82,92	78,86	33	19	14	A - 6 - (2)
2	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,58	98,03	91,42	81,25	73,74	32	24	8	A - 6 - (2)
3	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,78	98,58	93,07	84,33	31	19	12	A - 6 - (1)
4	100,00	95,33	91,99	90,82	83,06	74,20	66,84	62,47	55,11	45,55	41,62	31	24	7	A - 4

Tabla 3.6 Compactación T-180 Modificado y CBR para Base

Proctor T – 180			CBR		Expansión
Muestra	Den. Max.	Wop.	100%	95%	%
1	2.320	8.20	65.0	51.0	0.98
2	2.330	7.98	67.0	53.0	1.10
3	2.315	8.00	66.0	51.0	0.95
4	2.310	8.00	67.0	54.0	1.01

3.3.- PROBLEMAS DE LOS MATERIALES PARA CADA CAPA DEL PAVIMENTO

3.3.1 PROBLEMAS EN MATERIALES DE SUBRASANTE

Los materiales de subrasante así como los de otras capas tienen algunos problemas que son comunes en las obras viales, en el presente estudio los más representativos fueron los siguientes:

Figura N° 3.4 Problemas En Materiales De Subrasante



Fuente “fcpa.org.pe”

PROBLEMA DE MATERIALES EN LA SUBRASANTE.-

- La HOMOGENEIDAD de los materiales debido a que la subrasante en su superficie tiene un material que puede proviene de los cortes del movimiento de tierras o la conformación de los terraplenes con materiales de corte, con material de banco de préstamo o combinación de estos, siendo muy probable una diversidad de materiales cuyas características físico-mecánicas es variable tanto en su granulometría como en su valor soporte.
- No existe por lo tanto homogeneidad de los materiales de subrasante, si bien en la etapa de diseño puede adoptarse un criterio para el dimensionamiento, en la ejecución se multiplica el problema porque a lo largo del proyecto se tienen diversos tipos de material de subrasante con una homogeneidad que debe ser corregida.
- Una de las características fue que las subrasantes tengan una excesiva plasticidad representada por su Índice Plástico, muy desfavorable en un proyecto vial por la posibilidad de cambios de volumen que originan deformaciones en la estructura.
- Otro problema que se presenta en el material de la subrasante en el momento de ejecución es el exceso de humedad natural.
- Cuando las subrasantes son producto de la ejecución de terraplenes con material de corte o banco de préstamo es muy probable la presencia de exceso de sobre tamaño es decir partículas mayores al tamaño máximo especificado.
- En el caso específico de nuestro tramo de estudio de acuerdo a los datos que tenemos se tiene 4 tipos de materiales de subrasante suelos A-7, A-6 y A-4, lo que muestran que en los 4 Km de estudio no hay homogeneidad en los materiales de subrasante.
- Los materiales diferentes de subrasante originan diferentes características en sus propiedades físico-mecánicas y de valor soporte como lo muestran las tablas resumen de los ensayos de laboratorio correspondientes.

- **PROBLEMA DEL FACTOR CLIMATOLÓGICO.-**
- En un proyecto vial el factor climatológico es preponderante en sus actividades ya que los extremos en precipitación, temperatura y viento son perjudiciales para las actividades de ejecución de obra.
- En particular en el proyecto este factor es muy influyente ya que la zona es muy lluviosa y tiene corrientes de agua casi permanentes proveniente del río Sola y San Andrés, esto hace que la zona sea húmeda casi en todo el tramo de estudio.
- Si bien no existen temperaturas extremas en época de verano se han registrado temperaturas mayores a los 34°C lo cual influye sobre todo en la colocación de materiales del pavimento flexible que para este proyecto fue de tratamiento superficial triple.
- En cuanto al fenómeno de vientos este también es frecuente en la zona principalmente en época de otoño donde los registros dan una velocidad del viento de 15 Km/h, aspecto que también influye en las actividades de conformación de las diferentes capas del pavimento, creando una pérdida del material fino con mayor frecuencia.

Figura N° 3.5 Problemas En Materiales De Subrasante



Fuente "fcpa.org.pe"

PROBLEMAS EN LA CONFORMACIÓN DE LA SUBRASANTE

- La subrasante ha sido conformada con materiales que provienen de cortes pequeños en el tramo y material de banco de préstamo.
- La dificultad en la conformación de la subrasante se presento en los tramos donde existía corrientes de agua transversales a la carretera de quebradas pequeñas, por lo tanto se tuvo que generar una capa drenante con material granular debajo de la subrasante de manera que permita el flujo transversal para luego colocar el material de la subrasante en condiciones aceptables.
- La poca homogeneidad de los materiales de la subrasante obligo a mayor cantidad de mezclado con la motoniveladora de manera de conseguir una mejor homogeneidad de los materiales evitando de esta manera la segregación.

PROBLEMAS DE COMPACTACION DE LA SUBRASANTE

- El único problema que se tuvo en la compactación del material de la subrasante es que en algunos sectores debido a las corrientes transversales de aguas superficiales se tuvo sectores saturados cuyo exceso de humedad dio lugar a un acolchonamiento que evito la compactación adecuada, lo que obligo a realizar actividades previas a la compactación como el escarificado, dejar que el material pierda la humedad en exceso y el mezclado y la conformación para luego proceder a la compactación con la humedad óptima con el propósito de conseguir que la compactación tenga una densidad máxima.

PROBLEMAS DE TERMINADO DE LA CAPA SUBRASANTE

- La capa subrasante tiene como tolerancia dentro de las especificaciones técnicas del proyecto -5 cm, lo cual dificulta un buen terminado sobre todo en la geometría considerando la sección transversal del diseño, es posible que en la sección terminada se tenga cierta irregularidad que después es corregida por el material de la siguiente capa.

- Otro de los problemas es la presencia de material de sobre tamaño que debe ser retirado de la plataforma en forma manual para que no perjudique las actividades de compactado y permita un mejor terminado, este material debe colocarse lateralmente fuera de la plataforma.
- Un problema frecuente que se tuvo fue la segregación lo cual debe corregirse y al realizar esta actividad, se pierde prolijidad del terminado de la capa.

3.3.2 PROBLEMAS CONSTRUCTIVOS EN LA CAPA SUB BASE

La capa Sub Base es intermedia en la estructura de los pavimentos, las cual se coloca sobre la sub-rasante, se construyen con agregados seleccionados.

Existe en la posibilidad la obtención de diferentes tipos de materiales de sub base como ser:

- Granulares naturales
- Granulares triturados
- Estabilizados

Esta capa cumple varias funciones entre las más importantes tenemos:

- La sub-base contribuye con el espesor, alejando la sub-rasante y disipando esfuerzos.
- Función drenante
- La sub-base absorbe los cambios volumétricos del material de sub-rasante.
- La sub-base al ser un material no triturado, contribuye en economía a la estructura.

Bajo esas condiciones que tiene una capa sub base los problemas más frecuentes con los materiales de esta capa son los siguientes:

PROBLEMA DE MATERIALES EN LA SUB BASE

- Si es de procedencia de bancos de préstamo naturales que no cumpla con las especificaciones técnicas exigidas en cada proyecto.
- La limpieza de los materiales ya sean de bancos de materiales o de la elaboración en plantas de agregados sin los dispositivos de lavado.
- La resistencia a la abrasión controlada con el ensayo de desgaste de los ángulos que establezca porcentajes más altos a los permisibles.
- En el caso de materiales provenientes de banco de préstamo ó yacimientos la producción no es sencilla por lo que debe tenerse todos los controles necesarios para obtener un resultado óptimo, de manera que se produzca un material homogéneo de sub base y con las características requeridas de acuerdo a las especificaciones técnicas de cada proyecto vial.
- El transporte de material de sub base se convierte en un problema cuando los bancos de préstamo ó yacimientos y la planta de procesamiento de agregados esta a una distancia apreciable de la plataforma del proyecto generando un incremento geométrico de las distancias de transporte en unidades de m³/km.

En el caso particular del tramo de estudio el material de sub base fue producido en planta la cuál estaba ubicada en el Km 18+700 utilizando los bancos de préstamo más cercanos por lo que no se tuvo mayores problemas tanto en su homogeneidad, producción y transporte a plataforma.

PROBLEMA DEL FACTOR CLIMATOLÓGICO

- En un proyecto vial el factor climatológico es preponderante en sus actividades ya que los extremos en precipitación, temperatura y viento son perjudiciales para las actividades de ejecución de obra.
- En particular en el proyecto este factor es muy influyente ya que la zona es muy lluviosa y tiene corrientes de agua casi permanentes proveniente del río Sola y San Andrés, esto hace que la zona sea húmeda casi en todo el tramo de estudio.

- Si bien no existen temperaturas extremas en época de verano se han registrado temperaturas mayores a los 34°C lo cual influye sobre todo en la colocación de materiales del pavimento flexible que para este proyecto fue de tratamiento superficial triple.
- En cuanto al fenómeno de vientos este también es frecuente en la zona principalmente en época de otoño donde los registros dan una velocidad del viento de 15 Km/h, aspecto que también influye en las actividades de conformación de las diferentes capas del pavimento, creando una pérdida del material fino con mayor frecuencia.

PROBLEMAS EN LA CONFORMACIÓN DE LA SUB BASE

- La sub base ha sido conformada con materiales que provienen de material de bancos de préstamo ya sean naturales o triturados.
- La dificultad en la conformación de la sub base se presento en los tramos donde por la forma de extender el material se generen lugares de segregación que deben ser corregidos con una escarificación y repetición del conformado.
- La homogeneidad de los materiales de la sub base mejora el rendimiento en la cantidad de mezclado con la motoniveladora de manera de conseguir una mejor homogeneidad de los materiales evitando de esta manera la segregación.

PROBLEMAS DE COMPACTACIÓN DE LA SUB BASE

- El problema que se tuvo en la compactación del material de la sub base es que en algunos sectores debido al clima se pierde demasiada humedad en el proceso de mezclado de manera que en el proceso de compactación estamos fuera de la densidad óptima por lo que debe hacerse riegos adicionales si se quiere obtener las densidades especificadas, caso contrario se corre el riesgo que los grados de compactación sean menores al especificado, en cuyo caso debe repetirse la actividad.

La forma de la compactación y el equipo en ocasiones representan también un problema porque si el operador no tiene la suficiente eficiencia y eficacia puede realizar un trabajo desprolijo, en otra situación es importante el funcionamiento del compactador que debe estar con su peso, frecuencia de vibración y otros en condiciones adecuadas a fin de lograr el resultado óptimo en cuanto a la compactación.

Figura N° 3.6 Problemas De Compactación De La Sub Base



Fuente “Elaboración propia”

PROBLEMAS DE TERMINADO DE LA CAPA SUB BASE

- La capa sub base tiene como tolerancia dentro de las especificaciones técnicas del proyecto -2 cm, lo cual permite un mejor terminado sobre todo en la geometría considerando la sección transversal del diseño, es posible que en la sección terminada se tenga cierta irregularidad que después es corregida por el material de la siguiente capa.
- Otro de los problemas es la presencia de material de sobre tamaño que debe ser retirado de la plataforma en forma manual para que no perjudique las actividades

de compactado y permita un mejor terminado, este material debe colocarse lateralmente fuera de la plataforma.

- Un problema frecuente que se tuvo fue la segregación lo cual debe corregirse y al realizar esta actividad, se pierde prolijidad del terminado de la capa.

3.3.3 PROBLEMAS CONSTRUCTIVOS EN LA CAPA BASE

La capa Base es intermedia en la estructura de los pavimentos, la cual se coloca sobre la sub base, se construyen con agregados seleccionados.

Existe en la posibilidad la obtención de diferentes tipos de materiales de base como ser:

- Granulares naturales
- Granulares triturados
- Estabilizados

Esta capa cumple varias funciones entre las más importantes tenemos:

- La base es la capa estructural del pavimento.

Bajo esas condiciones que tiene una capa base los problemas más frecuentes con los materiales de esta capa son los siguientes:

PROBLEMA DE MATERIALES EN LA BASE

- Si es de procedencia de bancos de préstamo naturales que no cumpla con las especificaciones técnicas exigidas en cada proyecto.
- La limpieza de los materiales ya sean de bancos de materiales o de la elaboración en plantas de agregados sin los dispositivos de lavado.
- La resistencia a la abrasión controlada con el ensayo de desgaste de los ángeles que establezca porcentajes más altos a los permisibles.
- En el caso de materiales provenientes de banco de préstamo ó yacimientos la producción no es sencilla por lo que debe tenerse todos los controles necesarios

para obtener un resultado óptimo, de manera que se produzca un material homogéneo de base y con las características requeridas de acuerdo a las especificaciones técnicas de cada proyecto vial.

- El transporte de material de base se convierte en un problema cuando los bancos de préstamo ó yacimientos y la planta de procesamiento de agregados esta a una distancia apreciable de la plataforma del proyecto generando un incremento geométrico de las distancias de transporte en unidades de m³/km.
 - En el caso particular del tramo de estudio el material de base fue producido en planta la cuál estaba ubicada en el Km 18+700 utilizando los bancos de préstamo más cercanos por lo que no se tuvo mayores problemas tanto en su homogeneidad, producción y transporte a plataforma.

PROBLEMA DEL FACTOR CLIMATOLÓGICO

- En un proyecto vial el factor climatológico es preponderante en sus actividades ya que los extremos en precipitación, temperatura y viento son perjudiciales para las actividades de ejecución de obra.
- En particular en el proyecto este factor es muy influyente ya que la zona es muy lluviosa y tiene corrientes de agua casi permanentes proveniente del rio Sola y San Andrés, esto hace que la zona sea húmeda casi en todo el tramo de estudio.
- Si bien no existen temperaturas extremas en época de verano se han registrado temperaturas mayores a los 34°C lo cual influye sobre todo en la colocación de materiales del pavimento flexible que para este proyecto fue de tratamiento superficial triple.
- En cuanto al fenómeno de vientos este también es frecuente en la zona principalmente en época de otoño donde los registros dan una velocidad del viento de 15 Km/h, aspecto que también influye en las actividades de conformación de las diferentes capas del pavimento, creando una pérdida del material fino con mayor frecuencia.

PROBLEMAS EN LA CONFORMACIÓN DE LA BASE

- La base ha sido conformada con materiales que provienen de material de bancos de préstamo ya sean naturales o triturados.
- La dificultad en la conformación de la base se presento en los tramos donde por la forma de extender el material se generen lugares de segregación que deben ser corregidos con una escarificación y repetición del conformado.
- La homogeneidad de los materiales de la base mejora el rendimiento en la cantidad de mezclado con la motoniveladora de manera de conseguir una mejor homogeneidad de los materiales evitando de esta manera la segregación.

PROBLEMAS DE COMPACTACIÓN DE LA BASE

- El problema que se tuvo en la compactación del material de la base es que en algunos sectores debido al clima se pierde demasiada humedad en el proceso de mezclado de manera que en el proceso de compactación estamos fuera de la densidad óptima por lo que debe hacerse riegos adicionales si se quiere obtener las densidades especificadas, caso contrario se corre el riesgo que los grados de compactación sean menores al especificado, en cuyo caso debe repetirse la actividad.
- La forma de la compactación y el equipo en ocasiones representan también un problema porque si el operador no tiene la suficiente eficiencia y eficacia puede realizar un trabajo desprolijo, en otra situación es importante el funcionamiento del compactador que debe estar con su peso, frecuencia de vibración y otros en condiciones adecuadas a fin de lograr el resultado óptimo en cuanto a la compactación.

PROBLEMAS DE TERMINADO DE LA CAPA BASE

- La capa base tiene como tolerancia dentro de las especificaciones técnicas del proyecto -2 cm, lo cual permite un mejor terminado sobre todo en la geometría considerando la sección transversal del diseño, es posible que en la sección

terminada se tenga cierta irregularidad que después es corregida por el material de la siguiente capa.

- Otro de los problemas es la presencia de material de sobre tamaño que debe ser retirado de la plataforma en forma manual para que no perjudique las actividades de compactado y permita un mejor terminado, este material debe colocarse lateralmente fuera de la plataforma.
- Un problema frecuente que se tuvo fue la segregación lo cual debe corregirse y al realizar esta actividad, se pierde prolijidad del terminado de la capa.

Diseño de carpeta estructural

La carpeta estructural es la que se encarga de absorber los esfuerzos provenientes de la superficie de rodadura y transmitir las mismas a la subrasante o suelo de fundación, está conformado compuesto por la capa sub base y capa base.

Capa sub base

La sub base es la porción del pavimento entre la base y la subrasante, esta capa está formada por una mezcla graduada y homogénea de suelo(A-2-4 o mejor), y material triturado de tamaño no superior a 2” en proporciones adecuadas para que su capacidad portante cumpla con un $CBR > 40\%$ de la densidad máxima del ensayo AASHTO T –180. Para el diseño se ha empleado el método AASHTO, como dato se tiene el CBR del material que se empleará para la ejecución de esta capa sub base.80 La función principal de esta capa es la economía, sirve también como elemento estructural y protege a la capa base de la intrusión de grano fino.

Capa base

La base es la capa entre la subbase y la capa de rodadura. Construida encima de la subbase. La base estabilizada granulométricamente consiste en la ejecución de una capa de suelos con gravas naturales y gravas con agregados triturados y/o materiales con un porcentaje de por lo menos un 50% de material triturado en conformidad con los espesores capacidad portante cumpla con un $CBR > 90\%$.

Para el diseño se ha empleado el método AASHTO, como dato se tiene el CBR del material que se empleará para la ejecución de esta capa sub base.

Procedimiento para el diseño

Con el CBR de diseño de la subrazante entrando al ábaco se obtiene el valor de H, luego tomamos el CBR de diseño de la capa base y obtenemos el valor de H1, el valor de H2 está definido por el espesor de la capa de rodadura en este caso tiene un valor de 2.5 cm porque se trata de un tratamiento superficial triple, de donde se obtiene las siguientes relaciones.

Espesor capa sub base: $H_{sb} = H - H1$

Espesor capa base: $H_b = H1 - H2$

Si: CBR sub base al 95 % = 5.2% $H = 37.50$ cm.

Si: CBR base al 95 % = 26 % $H1 = 17.5.0$ cm.

Capa de rodadura: $H2 = 2.50$ cm.

Luego tenemos:

$$H_{sb} = 37.5 - 17.5$$

$$H_{sb} = 20.0 \text{ cm}$$

$$H_b = 17.5 - 2.50$$

$$H_{sb} = 15.0 \text{ cm}$$

Superficie de Rodadura.

La capa de rodadura de una estructura flexible consiste en una mezcla de agregado mineral con material bituminoso. Esta por encima de la capa base. Aparte de su función como capa estructural, debe resistir los esfuerzos abrasivos del tráfico, impermeabilizar, dar fricción, y proveer una superficie suave, segura y confortable para el viaje.

Ya que este elemento tiene una gran incidencia en los costos de operación de los vehículos y el presupuesto general de la obra, en la elaboración del Proyecto se analizó el Tratamiento Superficial Triple como alternativa de superficie de rodadura. El espesor total de la estructura del pavimento, influye en las cantidades de movimientos de tierras. De acuerdo al diseño de pavimentos, se tienen los siguientes espesores para cada uno de los tramos del proyecto.

RESUMEN ESPESORES DE PAVIMENTO

San Andrés - Bella Vista

TRAT BASE SUB BASE

SUPERF

TRIPLE

2.5 cm 15 cm 20 cm

3.4.- SEGUIMIENTO Y CONTROL EN LA EJECUCIÓN DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE

3.4.1 CONTROL EN LA EJECUCIÓN DE SUBRASANTE

En el siguiente cuadro se determinan los parámetros de calidad que se tomo en cuenta para el control de calidad

Tabla 3.7 Parámetros De Calidad

<i>Propiedad</i>	<i>Límite</i>	<i>Clasif.</i>	<i>Tipo</i>	<i>Prioridad</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Plan</i>
Análisis Granulométrico	S/tablas	Mayor	Variable	Principal	c/250 m	SI
Límite Líquido	≤ 25%	Menor	Atributo	Secundario	c/250 m	NO
Índice Plástico	≤ 6%	Menor	Atributo	Secundario	c/2500 m	NO
Densidad Máxima		Mayor	Variable	Principal	c/250 m	SI
Humedad óptima		Menor	Variable	Secundario	c/250 m	SI
CBR	≥ 40%	Mayor	Variable	Principal	c/250 m	SI
Expansión	≤ 1%	Menor	Atributo	Principal	c/250 m	SI

Los controles de calidad que se realizaron en el proyecto San Andrés – Bella Vista fueron las de Densidad Máxima. y Valor Soporte CBR.

PREPARACIÓN DEL TERRENO

Como primer paso antes de iniciar la construcción propiamente dicha, deberá controlarse el perfil transversal y la rasante de la superficie sobre la cual se va construir la capa estabilizada, si es necesario se debe completar el perfilado de la superficie

Figura N° 3.7 Preparación Del Terreno



Fuente” www.euromontages.com”

Esta etapa tiene una importancia especial, ya que la rasante que presenta la vía al iniciar la construcción de la capa se mantiene una vez terminada esta, pues durante el proceso constructivo las variaciones en el alineamiento longitudinal son insignificantes.

HUMEDECIMIENTO PARA COMPACTACIÓN

En la práctica, se trata de hacer una o dos pasadas por carga del camión. No obstante, y a efectos de distribuir la cantidad necesaria de cal pueden necesitarse varias cargas y varias pasadas, dependiendo de los requerimientos en cuanto a la cantidad de cal, la humedad óptima del suelo y el tipo de mezclado que se emplea.

Figura N°3.8 Humedecimiento con camión tanque cisterna y barras de rociado a gravedad



Fuente “limacallao.olx.com ”

Por cualquiera de los métodos de distribución de cal, ya sea seco o de lechada, se recomienda que las operaciones de distribución y mezclado sean realizadas en el plazo máximo de 6 horas después de la aplicación, esto con el fin de evitar la carbonatación de la cal.

MEZCLADO DEL AGREGADO CON AGUA

Una vez concluida la distribución de la cal sobre el suelo escarificado, debe realizarse la etapa de mezclado preliminar (Figura 5.24.). El cual es necesario para distribuir la cal en forma uniforme dentro de la masa de suelo, tanto a lo largo como en la profundidad especificada de la capa tratada.

Figura N°3.9 Humedecimiento con camión tanque cisterna



Fuente “limacallao.olx.com”

La compactación preliminar es muy recomendable, ya que ayuda a evitar las pérdidas debido a la evaporación del agua durante el curado preliminar, la carbonatación de la cal y además evita un exceso de humedad debido a posibles lluvias torrenciales que pudieran ocurrir y demorar la construcción.

COMPACTACIÓN

Para obtener una máxima resistencia y estabilidad de las capas compactarse hasta alcanzar por lo menos el 95 % de la densidad máxima de la prueba AASTHO T-180 para el caso de subbases y, 98 % en el caso de una estabilización de base.

Figura N°3.10 Compactación





Fuente “nuevaingenieria.com”

RIEGO DE ASFALTO DILUIDO

Esta etapa consiste en producir una superficie de buena calidad de la capa de rodadura

EXTENDIDO DEL AGREGADO POR CAPAS.-

Una vez que todos los componentes han sido mezclados, estos deben ser transportados hasta el lugar de la construcción. Para ello, se utilizan volquetas cuyas cajas deben estar cubiertas.

Figura N°3.11 Extendido Del Agregado Por Capas



Fuente “www.taringa.net”

La máquina distribuidora debe ser regulada para distribuir la mezcla en forma bastante pareja y con el espesor deseada de la capa compactada. Asimismo, se recomienda no echar el material con volquetas y luego proceder al esparcido con una motoniveladora, ya que esto produce una desigual densificación una vez extendido.

Luego de distribuido el material, se procede con los mismos pasos que la mezcla en sitio, es decir: compactación, curado y acabado, para lo cual son validos los mismos requerimientos y especificaciones descritos en anteriores secciones.

APERTURA AL TRÁFICO

El suelo-cal durante el período de curado y antes de colocar la superficie de rodadura está en condiciones de soportar el tránsito con un peso menor que el equipo de construcción. Sin embargo, esta posibilidad debe ser aprovechada solo en casos extremos, ya que de no tomar medidas precautorias se podría dañar la superficie estabilizada.



Figura 3.12 Maquina Distribuidora De Material De Base

Lo ideal es habilitar la vía una vez colocada la capa de rodadura o, al menos esperar a que haya transcurrido el período de curado; pero si es necesario dar la vía al servicio inmediatamente y no haya posibilidad de desviar el tráfico por otro lado, es necesario esperar primero a que el suelo-cal haya endurecido lo suficiente para evitar daños en la superficie de la capa, como ser: desconchamientos y huellas de neumáticos. Además, es necesario esperar a que se haya sido colocada por lo menos la membrana de curado. Si esta membrana no ha secado completamente, se puede colocar encima una capa de material arenoso para que no se adhiera a las llantas de los vehículos.

CARPETA DE SELLO

En el caso de carreteras con tránsito continuo, es recomendable antes de dar la vía al servicio público la colocación de una carpeta de rodadura. La única excepción a esta regla serían los caminos provisorios de acceso o caminos secundarios. Sin embargo, estos caminos también requieren una carpeta si se usan por un período largo de tiempo.

Las carpetas de rodadura pueden ser tratamientos superficiales, mezclas bituminosas en calientes o carpetas de hormigón. Pero el tipo y el espesor de la carpeta de rodadura, dependerá del volumen de tránsito, la disponibilidad de los materiales, los costos y las prácticas locales. Sin embargo, el espesor de la carpeta de rodadura varía generalmente de 2" a 3". Y a medida que crece el tránsito se requieren carpetas de mayor espesor y de mejor calidad.

Control de Densidad Máxima.- Proctor de Referencia.-

La determinación de la densidad máxima es fundamental para poder realizar los controles de densidad en sitio. Si bien esta característica no es propiamente objeto de control y de aprobación, sin embargo requiere de un control de uniformidad cuando las fuentes de los materiales son también uniformes.

Se busca aplicar los procedimientos de AASHTO para determinar rangos aceptables de variabilidad del valor proctor.

Tabla 3.8 Rangos Aceptables De Variabilidad Del Valor Proctor

Proctor T – 180			CBR		Expansión %
AASHTO	Den. Max.	Wop.	100%	95%	
A - 6 - (2)	2.010	10.20	7.120	1.20	2.420
A - 6 - (2)	1.942	11.98	7.050	4.20	2.5000
A - 6 - (1)	1.930	10.00	6.000	3.50	2.2000
A - 4	1.850	10.00	19.700	13.20	0.6000
A - 4	2.145	6.80	15.300	11.00	0.5000
A - 4	2.025	8.40	11.300	9.40	0.5000
A - 4	2.049	8.60	17.500	16.30	0.5000
A - 4	2.145	6.80	15.200	10.60	0.5000
A - 7 - (1)	1.982	10.40	3.600	1.850	5.2000
A - 7 - (1)	1.968	9.60	3.900	3.20	4.3000

A - 7 - (1)	1.900	12.60	3.700	3.18	5.9000
A - 7 - (1)	1.968	8.20	3.300	3.10	4.0000
A - 4	1.850	10.00	19.700	13.20	0.7000
A - 6 - (2)	2.145	6.80	9.300	7.00	1.9000
A - 6 - (2)	2.025	8.40	11.300	9.00	2.2000
A - 6 - (1)	2.049	8.60	12.500	10.50	2.6000
A - 7 - (1)	1.870	9.70	4.000	3.10	4.4000
A - 7 - (1)	1.931	12.50	4.500	3.60	3.3400
A - 7 - (1)	1.917	12.55	3.900	1.20	4.2900
A - 7 - (1)	1.960	10.00	14.800	10.50	4.6000
A - 4	1.930	11.87	14.900	11.90	0.8200

El cuadro corresponden a datos de control de la capa subrasante en el tramo del proyecto.

Se considera que la desviación estándar es conocida $\sigma = 89,98$ se adopta 90 y se determinan los valores límite según:

- $Ta = \pm 1.78 * \sigma = \pm 1.78 * 90 = \pm 160.2$
- El límite inferior de control $L = \bar{X}'p - 0.736 \sigma = -160.2 + 0.736 * 90$
 $L = -160.2 + 66.2 = -94$
- El límite superior de control $U = \bar{X}'p + 0.736 \sigma = +160.2 - 0.736 * 90$
 $U = +160.2 - 66.2 = +94$

Las reglas de decisión serán:

- Al inicio de la campaña deberán ser obtenidos al menos 5 ensayos de densidad máxima. El promedio de las cinco densidades será el valor de control inicial y la referencia fundamental.

- A partir de la sexta densidad, será apta como densidad de referencia la obtenida en laboratorio que se encuentre en un rango de ± 94 alrededor del valor medio inicial. Valores fuera de rango deben ser eliminados.

Control de Valor Soporte CBR.-

El valor CBR recibe clasificación “mayor” dada su radical importancia en la estabilidad de la estructura de pavimento.

En el cuadro de Ensayos de Capa Subrasante se tienen consignados los valores CBR para densidad al 100% y para densidad al 95%. La columna correspondiente a la densidad máxima tiene un sesgo importante toda vez que los valores CBR mayores a 100% se encuentran consignados con 100%. Para efectos de ejercicio académico consideraremos la columna correspondiente al CBR al 95% de compactación.

Se busca determinar el límite inferior.

Se considera que el caso es de desviación estándar conocida $\sigma=4.66$, se adopta 5 como mas desfavorable.

El valor mínimo especificado para el CBR es 3%.

- El límite inferior de control $L = \bar{X}'p + 0.736 \sigma = 3 + 0.736*5$
 $L = 3 + 4 = 7 \%$

Si se considera el promedio más conveniente:

- $\bar{X}'g =$ Valor medio de un lote aceptable con una pequeña probabilidad de rechazo
 $Pg., \quad \bar{X}'g = \bar{X}'p + T_a = \bar{X}'p + 1.78 \sigma$
 $\bar{X}'g = 3 - 0.4 * 5 = 1 \%$

Las reglas de decisión serán:

- El CBR, como muestra individual admisible será mayor ó igual a 7 %.
- Valores entre 3% y 7% podrán ser aprobados considerando que se encuentran bajo probabilidad de rechazo de materiales bueno. En todo caso esta

consideración deberá ser revisada si la tendencia de sucesivos resultados se acerca más el límite especificado de 3%. La producción requiere correcciones.

3.4.2 CONTROL EN LA EJECUCIÓN DE SUB BASE

En el cuadro se determinan los parámetros de calidad cuya importancia demanda la emisión de planes de control. La frecuencia de los ensayos es un valor promedio establecido por la documentación revisada.

Tabla 3.9 Parámetros De Calidad

<i>Propiedad</i>	<i>Límite</i>	<i>Clasif.</i>	<i>Tipo</i>	<i>Prioridad</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Plan</i>
Análisis Granulométrico	S/tablas	Mayor	Variable	Principal	c/250 m	SI
Límite Líquido	≤ 25%	Menor	Atributo	Secundario	c/250 m	NO
Índice Plástico	≤ 6%	Menor	Atributo	Secundario	c/2500 m	NO
Densidad Máxima		Mayor	Variable	Principal	c/250 m	SI
Humedad óptima		Menor	Variable	Secundario	c/250 m	SI
CBR	≥ 40%	Mayor	Variable	Principal	c/250 m	SI
Expansión	≤ 1%	Menor	Atributo	Principal	c/250 m	SI
Una cara fracturada	≥ 97%	Menor	Atributo	Secundario	c/250 m	NO
Partículas planas y alarg	≤ 15%	Menor	Atributo	Secundario	c/250 m	NO
Cont. materia orgánica	≤ 1%	Menor	Atributo	Secundario	c/250 m	NO
Grado d/compact.	≥ 97%	Mayor	Variable	Principal	c/100 m	SI
Control geométrico	- 2 cm.	Mayor	Atributo	Principal	c/20 m	SI

Control de Desgaste por abrasión.-

Este parámetro es una propiedad intrínseca del material. Corresponde rango de nivel crítico clasificado como “menor”.

El desgaste por abrasión corresponde a una única fuente de material. Tomando en consideración valores históricos de materiales similares se considera que la desviación estándar es conocida.

Se aplica procedimiento de Porcentaje dentro de tolerancia.

- Valor máximo especificado 40%
- Desviación estándar media en materiales similares 4%

$$T_a = -1.93 * \sigma = -1.93 * 4 = 7.72$$

- X'_p = Valor medio de un lote que está fuera de los límites de calidad ó es inaceptable, el cual deberá tener una alta probabilidad de rechazo P_p ,

$$X'_p = 40\%$$

- X'_g = Valor medio de un lote aceptable con una pequeña probabilidad de rechazo P_g ,

$$X'_g = X'_p - T_a$$

$$X'_g = 40 - 7.72 = 32.28\%$$

- El límite superior de control $U = X'_p - 0.642 \sigma = 40 - 0.642 * 4$

$$U = 40 - 2.6 = 37.4\%$$

Las reglas de decisión serán:

- El porcentaje máximo promedio de desgaste por los ángulos deberá ser 32%.
- Será aceptable una muestra individual con porcentaje de desgaste hasta 37.4%.

Control de Densidad Máxima.- Proctor de Referencia.-

La determinación de la densidad máxima es fundamental para poder realizar los controles de densidad en sitio. Si bien esta característica no es propiamente objeto de control y de aprobación, sin embargo requiere de un control de uniformidad cuando las fuentes de los materiales son también uniformes.

Se busca aplicar los procedimientos de AASHTO para determinar rangos aceptables de variabilidad del valor proctor.

ENSAYOS CAPA SUB-BASE

CLASIF.		PROCTOR T180		C.B.R.			OBSERVACION
AASHTO	I.G.	Ds	% W	100%	95%	EXP.	
A - 1a	0	2252	5,8	100,0	62,4	0,0	Mat. de chancadora para 2da sub-base
A - 1a	0	2257	5,7	96,4	42,3	0,0	Material de chancadora para sub base
A - 1a	0	2263	5,6	100,0	58,6	0,0	Material de chancadora para sub base
A - 1a	0	2256	5,8				Material de chancadora para sub base
A - 1a	0	2253	5,6	100,0	67,4	0,0	Mat. de chancadora para 1ra de sub-base
A - 1a	0	2255	5,6				Mat. de chancadora para 1ra de sub-base
A - 1a	0	2276	5,8				Mat. de chancadora para 2da sub-base
A - 1a	0	2279	5,5	100,0	89,3	0,0	Material de chancadora para 2da sub base
A - 1a	0	2276	5,6				Material de chancadora para 2da sub base
A - 1a	0	2273	5,6	100,0	88,9	0,0	Material de chancadora para 2da sub base
A - 1a	0	2260	5,7	100,0	93,6	0,0	Material de chancadora para 1ra sub base
A - 1a	0	2270	5,5				Material de chancadora para 1ra sub base
A - 1a	0	2278	5,7				Material de chancadora para 2da sub base
A - 1a	0	2260	5,7	100,0	79,0	0,0	Material de chancadora para 2da sub base
A - 1a	0	2275	5,5				Material de chancadora para 2da sub base
A - 1a	0	2261	5,5				Material de chancadora para 1ra sub base
A - 1a	0	2262	5,6	100,0	75,1	0,0	Material de chancadora para 1ra sub base
A - 1a	0	2272	5,7	100,0	63,2	0,0	Material de chancadora para 2da sub base
A - 1a	0	2271	5,3				Material de chancadora para 1ra sub base
A - 1a	0	2265	5,6				Material de chancadora para 2da sub base
A - 1a	0	2271	5,6				Material de chancadora para 1ra sub base
A - 1a	0	2272	5,6				Material de chancadora para 1ra sub base
A - 1a	0	2270	5,6				Material de chancadora para 1ra sub base
A - 1a	0	2266	5,6				Material de chancadora para 2da sub base
A - 1a	0	2268	5,3	100,0	80,7	0,0	Material de chancadora para 2da sub base
A - 1a	0	2267	5,5				Material de chancadora para 2da sub base
A - 1a	0	2267	5,6	88,5	59,7	0,0	Material de chancadora para 1ra sub base
A - 1a	0	2274	5,5				Material de chancadora para 1ra sub base
A - 1a	0	2277	5,8	100,0	80,3	0,0	Material de chancadora para 1ra sub base
A - 1a	0	2264	5,6	85,0	57,6	0,0	Material de chancadora para 2da sub base
A - 1a	0	2269	5,5				Material de chancadora para 2da sub base
A - 1a	0	2277	5,6				Material de chancadora para 2da sub base
A - 1a	0	2265	5,7	100,0	78,1	0,0	Material de chancadora para 2da sub base
A - 1a	0	2270	5,5				Material de chancadora para 2da sub base
A - 1a	0	2271	5,7	100,0	76,9	0,0	Material de chancadora para 1ra sub base
A - 1a	0	2275	5,5				Material de chancadora para 1era Sub-Base
A - 1a	0	2266	5,8				Material de chancadora para 2da sub base
A - 1a	0	2264	5,8	100,0	73,8	0,0	Material de chancadora para 2da sub base
A - 1a	0	2269	5,7	100,0	67,5	0,0	Material de chancadora para 2da sub base
A - 1a	0	2270	5,5	93,6	67,5	0,0	Material de chancadora para 1era Sub-Base
A - 1a	0	2268	5,4				Material de chancadora para 1era Sub-Base
A - 1a	0	2273	5,4				Material de chancadora para 2da sub base
A - 1a	0	2263	5,6				Material de chancadora para 2da sub base
A - 1a	0	2269	5,2				Material de chancadora para 1ra sub base
A - 1a	0	2273	5,6				Material de chancadora para 2da sub base
A - 1a	0	2266	5,6	100,0	73,5	0,0	Material de chancadora para 1ra sub base
A - 1a	0	2276	5,6				Material de chancadora para 2da sub base
A - 1a	0	2279	5,6	81,7	52,3	0,0	Material de chancadora para 1ra sub base
A - 1a	0	2282	5,5	100,0	58,7	0,0	Material de chancadora para 1ra sub base
A - 1a	0	2286	5,4				Material de chancadora para 2da sub base
A - 1a	0	2289	5,6				Material de chancadora para 2da sub base
A - 1a	0	2272	5,4	100,0	66,6	0,0	Material de chancadora para 1ra sub base
A - 1a	0	2277	5,4				Material de chancadora para 1ra sub base
A - 1a	0	2274	5,6	100,0	75,9	0,0	Material de chancadora para 2da sub base
A - 1a	0	2276	5,6				Material de chancadora para 2da sub base
estandar		2272	5,5	101	66,3	0	
		12,2	0,27	9,14	12,5	0	
		2298	6,9	153,3	93,6	0	

Los cuadros presentados en las páginas precedentes corresponden a datos de control de la capa sub base de el tramo del proyecto.

Se considera que la desviación estándar es conocida $\sigma = 16$ a 20 , se adopta 20 como más desfavorable y se determinan los valores límite según:

- $Ta = \pm 1.78 * \sigma = \pm 1.78 * 20 = \pm 35.6$
- El límite inferior de control $L = \bar{X}'p - 0.736 \sigma = -35.6 + 0.736 * 20$
 $L = -35.6 + 14.7 = -20.9$
- El límite superior de control $U = \bar{X}'p + 0.736 \sigma = +35.6 - 0.736 * 20$
 $U = +35.6 - 14.7 = +20.9$

Las reglas de decisión serán:

- Al inicio de la campaña deberán ser obtenidos al menos 5 ensayos de densidad máxima. El promedio de las cinco densidades será el valor de control inicial y la referencia fundamental.
- A partir de la sexta densidad, será apta como densidad de referencia la obtenida en laboratorio que se encuentre en un rango de ± 20.9 alrededor del valor medio inicial. Valores fuera de rango deben ser eliminados.

Control de Valor Soporte CBR

El valor CBR recibe clasificación “mayor” dada su radical importancia en la estabilidad de la estructura de pavimento.

En el cuadro de Ensayos de Capa Sub Base se tienen consignados los valores CBR para densidad al 100% y para densidad al 95%. La columna correspondiente a la densidad máxima tiene un sesgo importante toda vez que los valores CBR mayores a 100% se encuentran consignados con 100%. Para efectos de ejercicio académico consideraremos la columna correspondiente al CBR al 95% de compactación.

Se busca determinar el límite inferior.

Se considera que el caso es de desviación estándar conocida $\sigma=12$ a 15, se adopta 15 como mas desfavorable.

El valor mínimo especificado para el CBR es 40%.

- El límite inferior de control $L = X'p + 0.736 \sigma = 40 + 0.736 * 15$
 $L = 40 + 11 = 51 \%$

Si se considera el promedio más conveniente:

- $X'g =$ Valor medio de un lote aceptable con una pequeña probabilidad de rechazo P_g ,
 $X'g = X'p + T_a = X'p + 1.78 \sigma$
 $X'g = 40 + 1.78 * 15 = 67 \%$

Las reglas de decisión serán:

- El CBR, como muestra individual admisible será mayor ó igual a 51 %.
- Valores entre 40% y 51% podrán ser aprobados considerando que se encuentran bajo probabilidad de rechazo de materiales bueno. En todo caso esta consideración deberá ser revisada si la tendencia de sucesivos resultados se acerca más el límite especificado de 40%. La producción requiere correcciones.

Control del Grado de Compactación.-

El grado de compactación, por su importancia corresponde a rango de nivel crítico clasificado como “mayor”.

El parámetro de control es el grado de compactación obtenido como una relación entre la densidad en sitio y la densidad máxima aprobada para el tramo. Para efectos de análisis se adopta un grado de compactación mínimo de 97%.

Se busca determinar el límite inferior.

Se considera que el caso es de desviación estándar conocida $\sigma=1.8$ a 2.0%, se adopta 2 como mas desfavorable.

- $X'g$ = Valor medio de un lote aceptable, con una pequeña probabilidad de rechazo.

$$X'g = X'p + 1.78 \sigma = 97 + 1.78 * 2$$

$$L = 97 + 3.6 = 100.6 \%$$
- El límite inferior de control

$$L = X'p + 0.736 \sigma = 97 + 0.736 * 2$$

$$L = 97 + 1.5 = 98.5 \%$$

Las reglas de decisión serán:

- El promedio de la muestra de 5 unidades al menos, deberá ser mayor a 98.5 %
- El grado de compactación para muestra individual deberá ser mayor ó igual a 97 %.
- Valores entre 97% y 98.5% son aprobados considerando que se encuentran bajo probabilidad de rechazo de material bueno. En todo caso esta consideración deberá ser revisada si la tendencia de sucesivos resultados se acerca más el límite especificado de 97%. La producción requiere correcciones.
- Será admitida una muestra individual menor a 97% cuando el promedio es al menos 98.5%. Si el promedio es menor a 98.5 y existe al menos una muestra individual menor a 97%, el tramo debe ser reprocesado.

Control Geométrico de la Sub Base.-

El control geométrico de la capa sub base podrá ser realizado aplicando equipo topográfico convencional, por nivelación de eje y bordes cada 10 ó 20 m. En general en capa sub base se opta por control por nivelación en tres puntos por progresiva cada 20 m.

Si consideramos que un lote corresponde a 250 m, es posible asumir 13 estaciones con 3 puntos por estación, serán 39 muestras.

Se verifica la cota de acabado en comparación con la cota teórica en cada punto, si la cota de acabado es superior a la teórica el punto debe ser perfilado, si la cota de

- Si los puntos en defecto están contiguos, formando racimos, los sectores afectados deben ser corregidos mediante escarificación y reconfiguración del tramo. El esquema muestra un ejemplo de un tramo con defectos en racimo. Aun sin superar los seis elementos fuera de tolerancia el tramo debe ser corregido en las estacas 3-4-5 puesto que presenta una depresión apreciable concentrada.

Tabla 3.13 Corrección De Puntos

Sección por progresiva													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Borde Derecho													
Eje													
Borde Izquierdo													

- Los valores en defecto no deben superar los 30 mm caso contrario igualmente deberá ser reconfigurado el sub tramo afectado.

3.4.3.- CONTROL EN LA EJECUCIÓN DE LA BASE

En el cuadro se determinan los parámetros de calidad cuya importancia demanda la emisión de planes de control. La frecuencia de los ensayos es un valor promedio establecido por la documentación revisada.

Tabla 3.14 Parámetros De Calidad

<i>Propiedad</i>	<i>Límite</i>	<i>Clasif.</i>	<i>Tipo</i>	<i>Prioridad</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Plan</i>
Análisis Granulométrico	S/tablas	Mayor	Variable	Principal	c/250 m	SI
Límite Líquido	≤ 25%	Menor	Atributo	Secundario	c/250 m	NO
Índice Plástico	≤ 6%	Menor	Atributo	Secundario	c/250 m	NO
Equivalente de arena	> 30	Menor	Atributo	Principal	Si IP=8	
Densidad Máxima		Mayor	Variable	Principal	c/250 m	SI
Humedad óptima		Mayor	Variable	Secundario	c/250 m	SI
CBR	≥ 100%	Mayor	Variable	Principal	c/250 m	SI
Expansión	≤ 0.5 %	Mayor	Atributo	Principal	c/250 m	SI
Desgaste por abrasión	≤ 40%	Menor	Atributo	Principal	c/250 m	SI
Una cara fracturada	≥ 80%	Mayor	Atributo	Secundario	c/250 m	NO
Partículas planas y alarg	exenta	Menor	Atributo	Secundario	c/250 m	NO
Cont. materia orgánica	exenta	Menor	Atributo	Secundario	c/250 m	NO
Cont. Terrones de arcilla	exenta	Menor	Atributo	Secundario	c/250 m	NO
Grado d/compact.	≥ 100%	Mayor	Variable	Principal	c/100 m	SI
Control geométrico	- 1 cm.	Mayor	Atributo	Principal	c/20 m	SI

Control de Desgaste por abrasión

Este parámetro es una propiedad intrínseca del material. Corresponde rango de nivel crítico clasificado como “menor”.

El desgaste por abrasión corresponde a una única fuente de material. Tomando en consideración valores históricos de materiales similares se considera que la desviación estándar es conocida.

Se aplica procedimiento de Porcentaje dentro de tolerancia.

- Valor máximo especificado 40%
- Desviación estándar media en materiales similares 4%

$$T_a = -1.93 * \sigma = -1.93 * 4 = 7.72$$

- X'_p = Valor medio de un lote que está fuera de los límites de calidad ó es inaceptable, el cual deberá tener una alta probabilidad de rechazo P_p ,

$$X'_p = 40\%$$

- X'_g = Valor medio de un lote aceptable con una pequeña probabilidad de rechazo P_g ,

$$X'_g = X'_p - T_a$$

$$X'_g = 40 - 7.72 = 32.28\%$$

- El límite superior de control $U = X'_p - 0.642 \sigma = 40 - 0.642 * 4$

$$U = 40 - 2.6 = 37.4\%$$

Las reglas de decisión serán:

- El porcentaje máximo promedio de desgaste por los ángulos deberá ser 32%.
- Será aceptable una muestra individual con porcentaje de desgaste hasta 37.4%.

Control de Densidad Máxima.- Proctor de Referencia.-

La determinación de la densidad máxima es fundamental para poder realizar los controles de densidad en sitio. Si bien esta característica no es propiamente objeto de

control y de aprobación, sin embargo requiere de un control de uniformidad cuando las fuentes de los materiales son también uniformes.

Se busca aplicar los procedimientos de AASHTO para determinar rangos aceptables de variabilidad del valor proctor.

ENSAYOS CAPA BASE

CLASIF.		PROCTOR T180		C.B.R.			OBSERVACION
AASHTO	I.G.	Ds	%W	100%	95%	EXP.	
A - 1a	0	2269	5,5				1ra capa base
A - 1a	0	2270	5,5	100,0	70,0	0,0	1ra capa base
A - 1a	0	2274	5,7	100,0	75,6	0,0	1ra capa base
A - 1a	0	2276	5,6				1ra capa base
A - 1a	0	2279	5,5				1ra capa base
A - 1a	0	2277	5,7				1ra capa base
A - 1a	0	2267	5,6	97,5	68,8	0,0	1ra capa base
A - 1a	0	2268	5,5				1ra capa base
A - 1a	0						1ra capa base
A - 1a	0						1ra capa base
A - 1a	0						1ra capa base
A - 1a	0						1ra capa base
A - 1a	0						1ra capa base
A - 1a	0						1ra capa base
A - 1a	0						1ra capa base
A - 1a	0	2274	5,6	100,0	94,9	0,0	2da capa base
A - 1a	0	2277	5,5				2da capa base
A - 1a	0	2274	5,6				2da capa base
A - 1a	0	2271	5,5				2da capa base
A - 1a	0						1ra capa base
A - 1a	0						1ra capa base
A - 1a	0	2259	5,6	100,0	84,1	0,0	2da capa base
A - 1a	0	2269	5,6				2da capa base
A - 1a	0	2271	5,5				2da capa base
A - 1a	0	2265	5,6	95,1	65,0	0,0	2da capa base
A - 1a	0	2270	5,5				1ra capa base
A - 1a	0						Capa base faja A
A - 1a	0						Capa base faja A
A - 1a	0						Capa base faja A
A - 1a	0	2205	5,6	100,0	76,7	0,0	Capa base faja A
A - 1a	0	2210	5,5				2da capa base
A - 1a	0	2220	5,6	100,0	69,0	0,0	Capa base faja A
A - 1a	0						Capa base faja A
A - 1a	0						Capa base faja A
A - 1a	0						Capa base faja A
A - 1a	0			100,0	63,6	0,0	2da capa base
A - 1a	0	2210	5,5				2da capa base
A - 1a	0	2205	5,5	100,0	75,7	0,0	1ra capa base
A - 1a	0	2222	5,4				1ra capa base
A - 1a	0	2191	4,9	111,4	65,2	0,0	1ra capa base
A - 1a	0	2218	5,2				1ra capa base
A - 1a	0	2226	5,3				2da capa base
A - 1a	0	2205	5,6	100,8	70,6	0,0	2da capa base
A - 1a	0						1ra capa base
A - 1a	0						1ra capa base
A - 1a	0						1ra capa base
A - 1a	0						1ra capa base
A - 1a	0			100,0	64,2	0,0	2da capa base
A - 1a	0	2216	5,7	100,0	73,5	0,0	2da capa base
A - 1a	0	2204	5,6	96,3	66,6	0,0	2da capa base
A - 1a	0	2215	5,7	100,0	56,1	0,0	1ra capa base
A - 1a	0	2229	5,5				2da capa base
A - 1a	0	2219	5,6	100,0	60,9	0,0	1ra capa base
A - 1a	0	2229	5,5				2da capa base
A - 1a	0	2251	5,5				1ra capa base
A - 1a	0	2253	5,4	100,0	78,7	0,0	1ra capa base
A - 1a	0	2250	5,5	100,0	69,6	0,0	2da capa base
A - 1a	0	2251	5,6				2da capa base
A - 1a	0	2251	5,5				2da capa base
		2253,95	5,6	100,2	69,9	0,0	
on estandar		19,4578	0,2	5,0	11,0	0,1	
		2282	6,0	136,2	94,9	0,4	
		2191	4,9	87,2	38,5	0,0	
de datos		197	197,0	122,0	122,0	122,0	

Los cuadros presentados en las páginas precedentes corresponden a datos de control de la capa base de el tramo del proyecto.

Se considera que la desviación estándar es conocida $\sigma = 19.5$, se adopta 20 como mas desfavorable y se determinan los valores límite según:

- $Ta = \pm 1.78 * \sigma = \pm 1.78 * 20 = \pm 35.6$
- El límite inferior de control $L = \bar{X}'p - 0.736 \sigma = -35.6 + 0.736 * 20$
 $L = -35.6 + 14.7 = -20.9$
- El límite superior de control $U = \bar{X}'p + 0.736 \sigma = +35.6 - 0.736 * 20$
 $U = +35.6 - 14.7 = +20.9$

Las reglas de decisión serán:

- Al inicio de la campaña deberán ser obtenidos al menos 5 ensayos de densidad máxima. El promedio de las cinco densidades será el valor de control inicial y la referencia fundamental.
- A partir de la sexta densidad, será apta como densidad de referencia la obtenida en laboratorio que se encuentre en un rango de ± 20.9 alrededor del valor medio inicial. Valores fuera de rango deben ser eliminados.

Control de Valor Soporte CBR

El valor CBR recibe clasificación “mayor” dada su radical importancia en la estabilidad de la estructura de pavimento.

En el cuadro de Ensayos de Capa Sub Base se tienen consignados los valores CBR para densidad al 100% y para densidad al 95%. La columna correspondiente a la densidad máxima tiene un sesgo importante toda vez que los valores CBR mayores a 100% se encuentran consignados con 100%. Para efectos de ejercicio académico consideraremos la columna correspondiente al CBR al 95% de compactación.

Se busca determinar el límite inferior.

Se considera que el caso es de desviación estándar conocida $\sigma=12$ a 15, se adopta 15 como mas desfavorable.

El valor mínimo especificado para el CBR es 80%.

- El límite inferior de control $L = X'p + 0.736 \sigma = 80 + 0.736 * 15$
 $L = 80 + 11 = 91 \%$

Si se considera el promedio más conveniente:

- $X'g =$ Valor medio de un lote aceptable con una pequeña probabilidad de rechazo $P_g,$
 $X'g = X'p + T_a = X'p + 1.78 \sigma$
 $X'g = 80 + 1.78 * 15 = 107 \%$

Las reglas de decisión serán:

- El CBR, como muestra individual admisible será mayor ó igual a 91 %.
- Valores entre 80% y 91% podrán ser aprobados considerando que se encuentran bajo probabilidad de rechazo de materiales bueno. En todo caso esta consideración deberá ser revisada si la tendencia de sucesivos resultados se acerca más el límite especificado de 80%. La producción requiere correcciones.

Control del Grado de Compactación.-

El grado de compactación, por su importancia corresponde a rango de nivel crítico clasificado como “mayor”.

El parámetro de control es el grado de compactación obtenido como una relación entre la densidad en sitio y la densidad máxima aprobada para el tramo. Para efectos de análisis se adopta un grado de compactación mínimo de 100%.

Se busca determinar el límite inferior.

Se considera que el caso es de desviación estándar conocida $\sigma=1.8$ a 2.0%, se adopta 2 como mas desfavorable.

- $X'g$ = Valor medio de un lote aceptable, con una pequeña probabilidad de rechazo.

$$X'g = X'p + 1.78 \sigma = 100 + 1.78 * 2$$

$$L = 100 + 3.6 = 103.6 \%$$

- El límite inferior de control $L = X'p + 0.736 \sigma = 100 + 0.736 * 2$

$$L = 100 + 1.5 = 101.5 \%$$

Las reglas de decisión serán:

- El promedio de la muestra de 5 unidades al menos, deberá ser mayor a 101.5 %
- El grado de compactación, para muestra individual deberá ser mayor ó igual a 100 %.
- Valores entre 100% y 103.6% son aprobados considerando que se encuentran bajo probabilidad de rechazo de material bueno. En todo caso esta consideración deberá ser revisada si la tendencia de sucesivos resultados se acerca más el límite especificado de 100%. La producción requiere correcciones.
- Será admitida una muestra individual menor a 100% cuando el promedio es al menos 101.5%. Si el promedio es menor a 101.5 y existe al menos una muestra individual menor a 100%, el tramo debe ser reprocesado.

Control Geométrico de la Base

El control geométrico de la capa base podrá ser realizado aplicando equipo topográfico convencional, por nivelación de eje y bordes cada 10 ó 20 m. En general en capa base se opta por control por nivelación en tres puntos por progresiva cada 20 m.

Si consideramos que un lote corresponde a 250 m, es posible asumir 13 estaciones con 3 puntos por estación, serán 39 muestras.

Se verifica la cota de acabado en comparación con la cota teórica en cada punto, si la cota de acabado es superior a la teórica el punto debe ser perfilado, si la cota de

- Si los puntos en defecto están contiguos, formando racimos, los sectores afectados deben ser corregidos mediante escarificación y re conformación del tramo. El esquema muestra un ejemplo de un tramo con defectos en racimo. Aun sin superar los seis elementos fuera de tolerancia el tramo debe ser corregido en las estacas 3-4-5 puesto que presenta una depresión apreciable concentrada.

Tabla 3.18 Corrección De Puntos

		Seccion por progresiva												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Borde Derecho														
Eje														
Borde Izquierdo														

- Los valores en defecto no deben superar los 20 mm caso contrario igualmente deberá ser re conformado el sub tramo afectado.

- **CONCLUSIONES**

La metodología de campo que fue empleada en la aplicación práctica de este trabajo de investigación fue de manera simple realizando una inspección visual de las actividades que se realizaron en la ejecución del pavimento flexible San Andrés – Bella Vista, llevando un registro de los problemas que se presentaron en el proceso de ejecución de la misma.

En el proceso de gabinete se realizó un análisis de los problemas identificados de manera de clasificarlos según la capa del pavimento subrasante, sub base y base.

Como es de conocimiento general la bibliografía que se tiene sobre pavimentos en la parte constructiva identifican posibles problemas constructivos, sin embargo en cada proyecto se presentan sus propias particularidades de manera que en nuestro caso en el tramo San Andrés – Bella Vista, se identificaron problemas que bien podrían o no presentarse en otros pavimentos flexibles.

En nuestro medio no se cuenta con equipos de medición precisa para control de calidad, motivo por el cual los instrumentos a utilizar para la medición fueron instrumentos más simples.

Los problemas identificados en la ejecución del pavimento flexibles de San Andrés – Bella Vista fueron clasificados en:

- Problemas de Materiales
- Problemas originados por la climatología
- Problemas por el conformado de materiales
- Problemas de Compactación de los materiales en cada capa
- Problemas de terminado en cada capa

Observando que en cada capa los problemas son similares aunque en mayor magnitud por la exigencia en las capas sub base y base.

El proceso de control de calidad en la ejecución de los pavimentos flexibles es muy importante porque garantiza la calidad de la obra y por tanto la seguridad de que tendrá la durabilidad establecida en el diseño.

El particular control de calidad en los pavimentos flexibles tiene varios procesos de los cuales se realizaron en el presente trabajo considerando que es de orden académico los siguientes:

En la capa SUBRASANTE:

- Control de Densidad de Compactación en Subrasante.

Cuyos limites de tolerancia en la densidad máxima es de ± 0.94 a los valores de densidad máxima de compactación obtenida en el material de la subrasante.

- Control del Valor Soporte de la subrasante

Cuya tolerancia de acuerdo a la estadística realizada que serán aceptados los CBR de subrasante entre 3 y 7 % con una probabilidad de rechazo si es -1% del especificado.

En la capa SUB BASE:

- Control de Desgaste de Abrasión del material de Sub Base

Cuya tolerancia en una muestra individual será de 37.4% sabiendo que la especificación es de menor a 40%

- Control de Densidad de Compactación en Sub Base

Cuyos limites de tolerancia en la densidad máxima es de ± 0.209 a los valores de densidad máxima de compactación obtenida en el material de la Sub Base...

- Control de Valor Soporte CBR en material de Sub Base

Cuya tolerancia de acuerdo a la estadística realizada que serán aceptados los CBR de sub base entre 40 y 51% .

- Control del Grado de Compactación de la capa Sub Base

Cuya tolerancia de acuerdo a la estadística realizada que serán aceptados los Grados de Compactación de la capa sub base entre 98,5 y 100.6 %. Teniendo como referencia de especificación el 97%.

- Control Geométrico de la Capa Sub Base

De acuerdo a la estadística de mediciones de las cotas terminadas en la capa sub base y tomando en consideración la tolerancia de -2 cm se tiene las siguientes tolerancias

Tamaño de la muestra	5	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90
Defectos admisibles	1	2	3	3	5	6	8	9	10	12	13
Tamaño de la muestra	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
Defectos admisibles	14	16	17	18	20	21	23	24	25	27	28

En la capa BASE:

- Control de Desgaste de Abrasión del material de Base

Cuya tolerancia en una muestra individual será de 37.4% sabiendo que la especificación es de menor a 40%

- Control de Densidad de Compactación en capa Base

Cuyos limites de tolerancia en la densidad máxima es de +-20.9 a los valores de densidad máxima de compactación obtenida en el material de la Base...

- Control de Valor Soporte CBR en material de capa Base

Cuya tolerancia de acuerdo a la estadística realizada que serán aceptados los CBR de sub base entre 91 y 107 %.

- **RECOMENDACIONES**

De lo estudiado podemos recomendar lo siguiente:

En la construcción de pavimento flexible se debe dar cumplimiento estricto al empleo de materiales adecuados y que cumplan las especificaciones técnicas, emplear equipo en condición adecuada y tener una ejecución eficiente de las operaciones constructivas.

En el momento de la construcción se debe tener un estricto control de la ejecución haciendo cumplir las especificaciones técnicas.

Que se cuente con una planificación de actividades por la empresa que ejecuta la obra de pavimentos flexibles para realizar en forma oportuna las actividades y evitando que se presenten inconvenientes en el proceso constructivo para así poder asegurar la vida útil de la obra.

En nuestro medio se debería trabajar y/o gestionar, con recursos con los cuales se tenga un apoyo tecnológico, para obtener equipos de medición acorde a lo solicita para realizar un mejor control de calidad y así poder utilizar datos mas precisos para la aceptación o rechazo en cada una de las actividades del proceso de ejecución de los pavimentos.

Es de gran importancia considerar durante el proceso constructivo la producción de los materiales de manera que estos estén acorde a las exigencias de las especificaciones técnicas de las capas del paquete estructural. También es de importancia el proceso de control de calidad de manera que se garantice la calidad de la obra.

El proceso de compactación es una de las actividades más importantes en las capas del pavimento, por lo que debe realizarse con los controles necesarios de manera que se garantice lograr los valores de grado de compactación especificado y no tener que repetir el proceso lo cual es un perjuicio en tiempo y en costo.

El terminado de las capas de pavimento es importante porque garantizan el buen acabado de la sección transversal de la carretera y por consiguiente aseguran el confort y la seguridad de la misma.