

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1.- GENERALIDADES

El mundo globalizado de hoy, dónde las barreras fronterizas se encuentran en una franca tendencia a desaparecer y la apertura en los mercados mundiales es una realidad latente gracias a los tratados de libre comercio y convenios internacionales, han obligado a las empresas nacionales a ser más competitivas para permanecer activas ya que ahora, no solo se compite con las empresas locales, sino que se deben medir con empresas internacionales que ofrecen los mismos productos o servicios pero a un costo mucho menor y con una mayor calidad.

Las empresas que desean sobrevivir en este nuevo panorama deben de optimizar sus procesos y recursos con el fin de crecer y así poder ofrecer al público un producto o servicio competitivo.

En una primera instancia las primeras soluciones propuestas por las empresas, en su mayoría, implican cambios de tecnología y diseño lo que significa una fuerte inversión. Esta no es una tarea sencilla especialmente para las pequeñas y medianas empresas, las cuales sus posibilidades de grandes inversiones para modificar sus procesos son casi nulas.

Pero las grandes inversiones en tecnología de punta no es el primer paso que deben tomar las empresas, primero deben asegurarse que sus procesos actuales son los más óptimos y para lograrlo contamos con una herramienta sencilla pero poderosa para ayudarnos a tomar decisiones encaminadas a mejorar nuestros procesos, la herramienta del “Control Estadístico de Procesos” el cuál es un conjunto de herramientas estadísticas que nos permite recopilar, estudiar y analizar la información de procesos repetitivos para poder tomar decisiones encaminados al mejoramiento de los mismos.

Un proceso de construcción de pavimentos está funcionando bajo control estadístico cuando las únicas causas de variación son causas naturales, ya que estas afectan a todos los procesos de control de calidad de los materiales, y siempre son de esperar y se toleran pequeñas variaciones.

las variaciones imputables suelen deberse a causas específicas, factores como lotes de materiales no homogéneos y de diferente calidad, el desgaste de la maquinaria, equipos mal ajustados, trabajadores fatigados o mal formados,.

En Bolivia en los últimos 20 años se han encarado importantes proyectos viales de pavimentación de carreteras, principalmente en la red fundamental, estos proyectos, sin embargo, no han logrado una uniformidad adecuada en materia de calidad por cuanto algunas de las obras, en etapas muy prematuras, alcanzaron notables deterioros, aspecto que ha derivado en insatisfacción tanto a nivel de la ABC como a nivel de la opinión pública, usuario principal de las vías terrestres.

Estos deterioros prematuros pueden ser resultado de diversas causas, entre las cuales se encuentran deficiencias constructivas por un excesivo apuro en la realización de los trabajos é insuficiencias de control tanto en el control interno propio ejercido por los contratistas como en el control externo realizado por la ABC ó las firmas encargadas de supervisar los trabajos.

Sin embargo en casi la totalidad de las obras se comprueba que tanto Contratista, Supervisor y Fiscal cumplen y atienden las reglas del arte. Por lo tanto si las reglas del arte son cumplidas, lo cual implica que procesos, procedimientos, normas y especificaciones son atendidos, ¿por qué la calidad de las obras es insuficiente ó deficiente? La respuesta no es sencilla, pero si se cumplen las reglas y el resultado no es el mejor, entonces hay fallas en las reglas.

1.2.- JUSTIFICACIÓN

El estudio “Control estadístico de la calidad de materiales en capas de pavimentos”, en la ciudad de Tarija, busca explicar las ventajas que implica aplicar el Control Estadístico y sus aplicaciones en los procesos de control de calidad de materiales en capas de pavimentos, con el fin de mejorar y plantear un cuestionamiento a las reglas del arte establecidas y aplicadas en la construcción de carreteras en Bolivia, mediante el uso adecuado de los procedimientos estadísticos de control de calidad planteado por la AASHTO.

Lo que se pretende con este estudio es disminuir los principales resultados indeseables en el control de calidad de materiales en capas de pavimentos tomando en cuenta la calidad y el costo.

- (Calidad) evitar los defectos, reducir las fallas, evadir quejas, sobre todo que haya Ítems devueltos o se tenga que proceder reparaciones.
- (Costos) reducir la magnitud de las pérdidas, disminuir los gastos innecesarios por reparaciones o demoras.

El problema con el que se atraviesa es determinar cómo se producen capas de pavimento defectuosas de baja calidad y lo que se debe hacer para reducir su número utilizando el control estadístico, con este conjunto de herramientas estadísticas se busca disminuir el número de capas de pavimentos defectuosos identificando las causas particulares desapareciéndolas si se descubren, de esta modo ayudar en la gran problemática como es la insuficiencia y deficiencia en la calidad de las obras viales construidas en Bolivia.

Tiene como aporte novedoso que sirve para llevar a la empresa del Control de Calidad "Correctivo" por inspección, de pendiente de una sola área, al Control de Calidad "Preventivo" por producción, dependiente de las áreas productivas, y posteriormente al Control de Calidad "Predictivo" por diseño, dependiendo de todas las áreas de la empresa.

El presente trabajo pretende mostrar mediante una aplicación práctica en una zona de Tarija, los principales conceptos del control estadístico de la calidad de materiales en capas de pavimentos. Todo esto para realizar un análisis de la situación actual de un proceso de control de calidad planteado la aplicación que permita exhibir las principales características de un análisis de este tipo.

En general nos permite reducir la variabilidad en los procesos o servicios. La mejora de procesos o servicios lleva a la observación del número de fallos y a la disminución de costos y ello permite:

- Mejorar la competitividad de las empresas constructoras.
- Aumentar la calidad y por tanto la satisfacción del cliente y lo hará fiel.

Es por ello que ejercitar nuevos métodos en un enfoque variado permitiría a las empresas afinar los controles de procesos y optimizar la calidad de los bienes y los servicios.

Es aplicable en nuestro medio en una zona donde se cuente con datos suficientes de control de calidad que permiten recopilar, estudiar y analizar la información de procesos de control de calidad para poder tomar decisiones encaminadas a la mejora de los mismos, siempre y cuando cumplan con dos condiciones, que sea observable y que sea repetitivo ya que el propósito fundamental es identificar y eliminar las causas especiales de los problemas variación para llevar a los procesos nuevamente bajo control.

Con este documento se pretende que se detecte, cualquier situación inadecuada; lo que permitirá eliminar las causas especiales de variabilidad en la obtención del resultado final, para lo cual se tiene que tomar en cuenta aspectos de justificaciones teóricas de metodología y práctica, la principal ventaja será el establecer reglas del arte que garanticen construcción de carreteras con un elevado estándar de calidad y que las reglas establecidas deberán ser de aplicabilidad universal

1.3.- OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo General

Establecer los procedimientos para llevar un adecuado control estadístico de la calidad de los materiales en capas de pavimento y de determinar la aplicabilidad de los planes de aceptación y muestreo para la construcción de caminos propuestos por la AASHTO, en la especificación R-9.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Seleccionar las variables que serán susceptibles al control, bajo las recomendaciones R-9 de la AASHTO. Planteando reglas de decisión de interpretación única para el control de cada capa del pavimento y establecer los límites de control para medir las variaciones en calidad.
- Establecer la diferencia operativa entre los métodos “A: Porcentaje Defectuoso” y “B: Porcentaje dentro de Tolerancia”, para su elección adecuada en planes de control y establecer cuáles de los procedimientos planteados son aplicables.
- Utilizar las cartas de control que nos permitan el monitoreo de la estabilidad de la calidad para controlar el avance del proyecto, detectando de forma visual y por tanto sencilla cuándo un proceso se encuentra fuera de control, con una probabilidad de error pequeña y que permita eliminar las causas especiales de variabilidad en la obtención del resultado final .
- Realizar una aplicación práctica con materiales de la región en un proyecto donde se haya obtenido ensayos suficientes para realizar la estadística de control y aplicar los modelos estudiados, proporcionando una señal estadística cuando aparezcan causas de variación imputables logrando obtener una propuesta efectiva para trabajos futuros
- Garantizar mediante el control estadístico que los materiales a utilizar sean sometidos a pruebas que expongan la calidad de los mismos y realizar un adecuado control de tal manera que se optimicen los recursos humanos, materiales y principalmente los financieros.

- Establecer conclusiones y recomendaciones respecto al tema.

1.5.- ALCANCE

En la primera parte se describe en general el control estadístico de procesos, se busca explicar las ventajas que implica aplicar el control estadístico y sus aplicaciones en los procesos de control de calidad de materiales en capas de pavimentos, se determina el problema por el cual se producen las capas de pavimentos defectuosas de baja calidad, el aporte novedoso, a que resultado se quiere llegar analizando su situación, se ve que diferencia de conocimiento y uso se quiere mejorar para optimizar la calidad, también se busca ver si aplicable en nuestro medio bajo que condiciones y que perspectiva se tiene para su uso. Se establece los objetivos tanto generales como específicos que serán un referente de lo que se pretende llegar con este documento, estableciendo los procedimientos para llevar a cabo un control estadístico de calidad de materiales en capa de pavimentos adecuado. Se determina además el alcance que tendrá este estudio, los medios con los que se cuenta y la metodología que será utilizada.

Se describen los aspectos generales de los pavimentos, su definición como conjunto de capas y su funcionamiento, características y condiciones necesarias que debe cumplir para tener un funcionamiento adecuado, se detalla la clasificación tomando en cuenta los tipos de estructuras que existen tanto el pavimento Rígido como el pavimento Flexible, viendo su constitución y los factores que afectan sus espesores. También se describe el dimensionamiento de los pavimentos por los métodos racionales y empíricos, se explicara los procesos de ejecución en pavimentos y la conservación del mismo de acuerdo esto se tratarán con mantenimiento correctivo o mantenimiento preventivo y los trabajos q se deben desarrollar.

Se desarrolla los aspectos de las diferentes capas de pavimentos que existen en la estructura básica del pavimento. Se describe la características de la capa sub base su definición, las diferentes funciones que debe cumplir, los materiales con los que se construye como así también control de calidad de materiales para esta capa, se detalla las características de la capa base su definición, las diferentes funciones que debe

cumplir, los materiales con los que se construye como así también control de calidad de materiales para esta capa. También se describe las características de la capa de rodadura su definición, las diferentes funciones que debe cumplir, los materiales con los que se construye.

Se ve el análisis estadístico en control de calidad, se describe los términos mas importantes estadísticos del control de calidad los como son el conjunto de datos y representación numérica. Se ve el concepto de calidad y como se puede evaluarla Se toma en cuenta que es un el plan de aceptación, como es la interpretación y simplicidad de un plan de control, el alcance de los planes de aceptación, los valores tamaño del lote y tamaño de la muestra, también se vera tipos de Riesgo que corren el vendedor como el comprador, nivel crítico lo diferentes factores que lo afectan. También se toma en cuenta los planes de aceptación y de muestreo para la construcción de camino, son detallados cada uno de los métodos propuestos por AASHTO R9-90.

Se ve la aplicación práctica del control estadístico de calidad de materiales en capas de pavimentos, En este capítulo se toma en cuenta la ubicación en la que se encuentran las muestras y las características con las que cuentan las zonas de estudio, además de ver la caracterización de los materiales, tomando en cuenta los materiales de la capa sub base y la capa base viendo los ensayos. Se mostraran los datos en planillas que van en el resumen del control tecnológico, También se ara un análisis estadístico de control de calidad, para lo cual será necesario describir la agrupación de datos, el procesamiento de datos, haciendo un análisis estadístico y sus gráficos de control, y posteriormente se verán los resultados.

Por último se describen las conclusiones a las que se ha llegado en este documento donde se analizaran los resultados y se verá si se logró obtener los objetivos planteados tanto el general como los específico y veremos si establecimos los procedimientos para llevar un control estadístico adecuado de la calidad de los materiales que se utilizan en cada capa de pavimentos.

1.6.- METODOLOGÍA

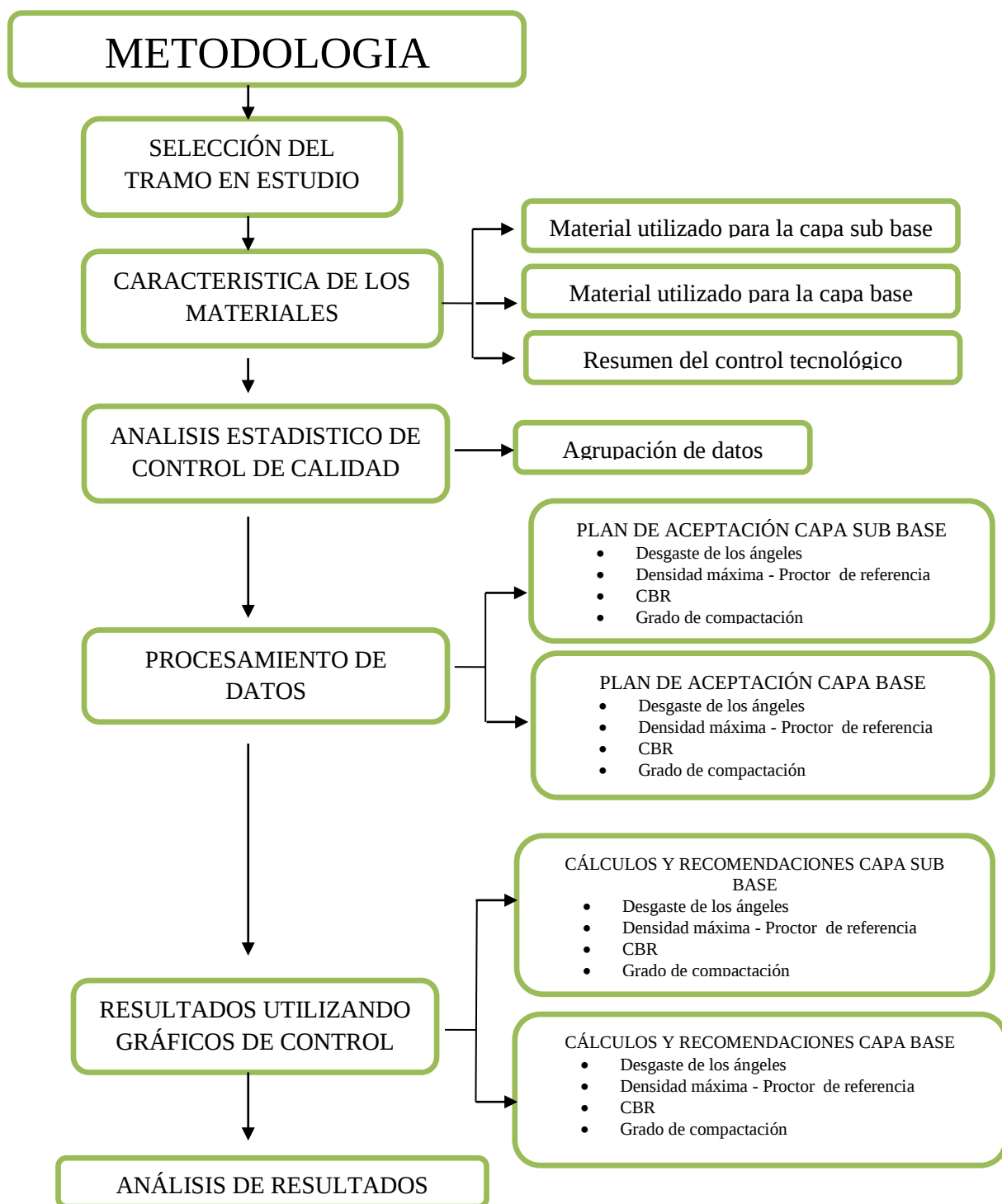


Figura 1.- Esquema de metodología empleada

CAPÍTULO II

ASPECTOS GENERALES DE LOS PAVIMENTOS

2.1. INTRODUCCIÓN

Definición de pavimentos

Se llama pavimento al conjunto de capas de material seleccionado que reciben en forma directa las cargas de tránsito y las transfieren a los estratos inferiores en forma disipada, es decir distribuyen las cargas concentradas de las ruedas de los vehículos, de manera que el suelo subyacente pueda soportarlas sin falla o deformación excesiva. Proporcionando una superficie de rodamiento, la cual debe funcionar eficientemente.

Fuente: Carreteras calles y aeropistas (Raúl Valle Rodas)

Las condiciones necesarias para un adecuado funcionamiento son las siguientes:

Una superficie lisa, no resbaladiza, que resista la intemperie y finalmente debe proteger el suelo de la pérdida de sus propiedades, por efecto del sol, las lluvias y el frío.

Ancho, trazo horizontal y vertical adecuado, resistencia suficiente a las cargas para evitar las fallas y los agrietamientos, además de una adherencia apropiada entre el vehículo y el pavimento aún en condiciones húmedas.

Deberá presentar una resistencia adecuada a los efectos destructivos del tránsito, de la intemperie y del agua. Tendrá una adecuada visibilidad y contar con un paisaje agradable para no provocar fatigas.

Fuente - Ingeniería de carreteras volumen I (Víctor Sánchez Blanco)

2.2. CARACTERÍSTICAS DE LOS PAVIMENTOS

Con la anterior definición hemos dado un avance de las condiciones mínimas que deben exigirse a los materiales que intervienen en la construcción de pavimentos. Pueden aceptarse como normas generales las que se mencionan a continuación:

- Ofrecer una superficie plana, sobre la que pueda caminar sin dificultad.
- Serán resistentes al uso, a fin de prolongar su duración, teniendo en cuenta que habrán de soportar no solamente pesos de importancia, si no también cambios de temperatura y choques con algún cuerpo proyectado con violencia, sobre todo cuando se trate de pavimentos exteriores.
- Procurar que su presencia sea decorativa, extrayendo de cada caso y de los materiales disponibles el mayor partido posible.
- Por último deberán ser económicos.

Estas características que acabamos de citar deberán hallarse atribuidas en mayor o menor grado según sea la aplicación a que vaya a destinarse el pavimento a construir, como es lógico de suponer, cada caso podría variar de acuerdo con sus propias conveniencias de perdurabilidad y de utilidad

Fuente - Ingeniería de carreteras volumen I (Víctor Sánchez Blanco)

2.3. CLASIFICACIÓN DE PAVIMENTOS

La idea básica para la construcción de una ruta o un área de estacionamiento en todas las condiciones, utilizada por vehículos es preparar una adecuada sub base o fundación, proveer un buen drenaje, y construir un pavimento que:

- Tendrá un espesor total suficiente y resistencia interna para soportar cargas de tráfico esperadas.
- Se realice con una oportuna compactación para prevenir la penetración o la acumulación interna de humedad.
- Contará con una superficie final suave, resistente al desplazamiento, al rozamiento, y al deterioro por la acción de químicos anticongelantes.

2.3.1. Tipos de pavimentos

Atendiendo a la forma de cómo se distribuyen las cargas sobre la sub-rasante, se definen dos tipos de pavimento; *los pavimentos rígidos*, que están formados por losas de concreto, los que debido a su consistencia y alto módulo de elasticidad, utilizan la acción de viga para distribuir la carga en un área de suelo relativamente grande. En este tipo de pavimento, la mayor parte de la capacidad estructural es proporcionada por la losa de concreto.

Además, existen *los pavimentos flexibles*, los que están constituidos por asfaltos y en los cuales, la carpeta de rodadura produce una mínima distribución de cargas, las cuales se distribuyen por el contacto de partícula a partícula en todo el espesor del pavimento y en este caso su capacidad estructural es proporcionada por las capas de base, sub-base y sub-rasante.

Fuente: Ingeniería de carreteras volumen I Víctor Sánchez Blanco

2.3.1.1. Pavimento rígido

Se compone de losas de concreto hidráulico que en algunas ocasiones presenta un armado de acero, tiene un costo inicial mas elevado que el flexible, su periodo de vida varia entre 20 y 40 años, el mantenimiento que requiere es mínimo y solo se efectúa comúnmente en las juntas de las losas.

Fuente: Ingeniería de pavimentos “Evaluación estructural, obras de mejoramiento y nuevas tecnologías” Alfonso Montejo Fonseca

Los Pavimento rígido tienen una capa de hormigón que asegura la fundación resistente para su mayor rigidez, Los factores que afectan el espesor de un pavimento rígido, son principalmente el nivel de carga que ha de soportar, es decir, el tipo y cantidad de vehículos que pasaron sobre él, el módulo de reacción del suelo de apoyo y las propiedades mecánicas del concreto. Por lo general el pavimento consta de dos capas que son la base que muchas veces puede ser la sub-base y la losa o superficie de rodadura de concreto hidráulico.

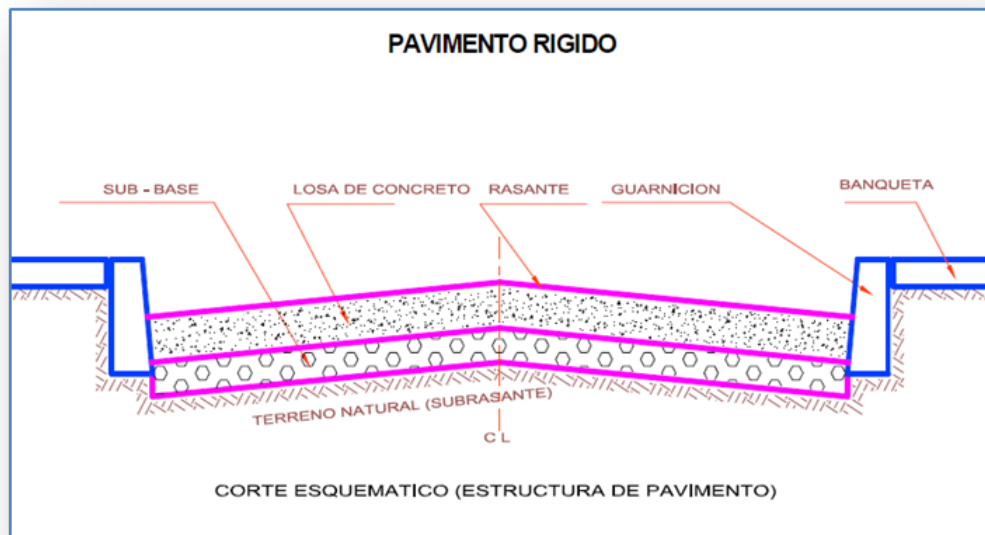


Figura 2. Corte esquemático con cada una de las partes de un pavimento rígido

Como se ve en la figura 2 el pavimento rígido debido a su rigidez y alto módulo de elasticidad tiende a distinguir las cargas sobre una zona relativamente amplia del suelo, por lo cual una gran parte de la capacidad estructural es proporcionada por la misma losa.

Uno de los factores importantes en los pavimentos rígidos es la resistencia del concreto hidráulico. Es debido a esto, que pequeñas variaciones en la resistencia de la sub rasante tiene poca influencia en la capacidad estructural del pavimento.

Las presiones en el suelo dependen de las dimensiones y especificaciones del espesor de la losa, de la elasticidad relativa de la misma y de la posición de la carga sobre esta.

Fuente: Ingeniería de carreteras volumen I, Víctor Sánchez Blanco

En los pavimentos rígidos al aplicarse los las cargas, la losa de concreto hidráulico se flexiona elásticamente, transmitiendo los esfuerzos a distancias y sobre una gran superficie.



Figura 3. Representación del pavimento rígido o del concreto hidráulico

Los pavimentos rígidos para carreteras con elevados volúmenes de tránsito pesado mayor de tres toneladas, generalmente están expuestos a efectos de bombeo si se apoyan directamente sobre sub rasantes arcillosas (plásticas y deformables).

El funcionamiento de los pavimentos rígidos han demostrados que muchos de estos han trabajado satisfactoriamente siempre que se haya tenido la debida atención a la granulometría y a la compactación de los materiales de la sub-base.

Fuente: Ingeniería de carreteras volumen I, Víctor Sánchez Blanco

2.3. 1.2. Pavimento flexible

Resulta mas económico en su construcción inicial, tiene un periodo de vida entre 10 y 15 años, pero tienes la desventaja de requerir mantenimiento constante para cumplir con su vida útil.

Los pavimentos asfálticos deben proporcionar una superficie de rodadura segura, cómoda y de características permanentes que soporten las cargas del tránsito y la acción de desgaste durante un período de tiempo determinado. Las características estructurales de los pavimentos asfálticos están relacionadas con las de los materiales empleados en sus diferentes capas y con sus espesores.

Los pavimentos flexibles están constituidos con los materiales bituminosos empleados en la construcción de pavimentos, como son el asfalto y el alquitrán, en estos pavimentos las cargas del tránsito se distribuyen a través de las diferentes capas, denominadas de arriba hacia abajo, capa de rodadura, capa base, capa sub base en tal forma que los esfuerzos en el suelo de la sub rasante sean los mínimos aceptables. En el medio de la construcción de pavimentos flexibles se utilizan los asfaltos de fraguado lento (S.C.), fraguado medio (M.C.) y fraguado rápido (R.C.).

Fuente: Ingeniería de carreteras volumen I, Víctor Sánchez Blanco

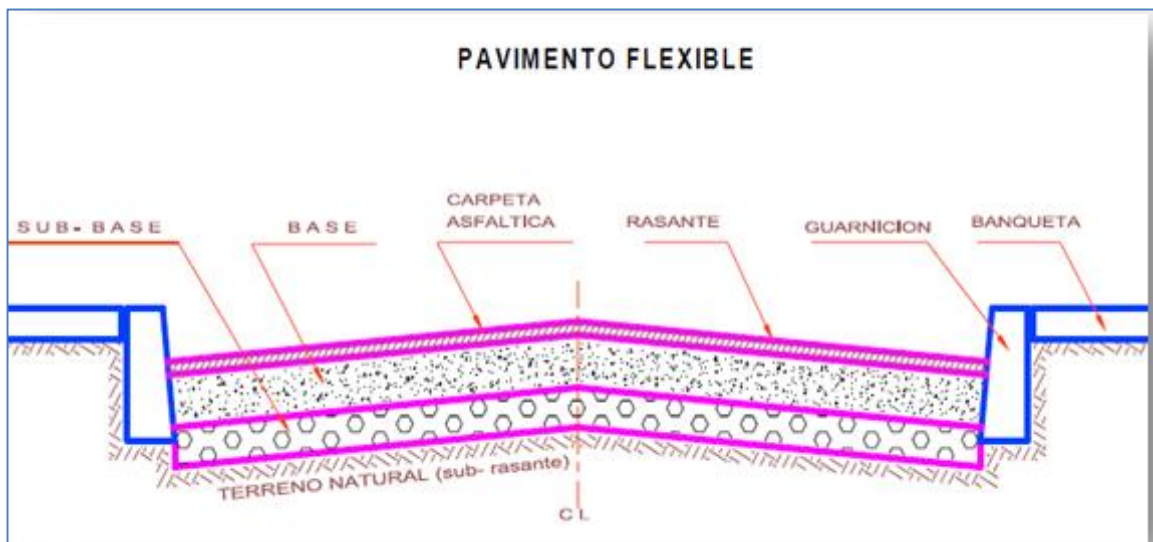


Figura 4. Corte esquemático con cada una de las partes de un pavimento flexible

Los pavimentos flexibles consisten en una superficie de desgaste; carpetas relativamente delgadas generalmente de asfalto, construidas sobre una capa de base y sub base, apoyándose estas sobre una sub rasante compactada. El espesor del conjunto de las capas, dependerá de la capacidad producida para soportar las cargas en los pavimentos flexibles en forma directa.

La distribución de cargas de los vehículos, proporcionada ala carpeta asfáltica y hacia las capas inferiores, se hace por medio de las propiedades de fricción y cohesión de las partículas de los materiales y la carpeta asfáltica. Se pliegan a pequeñas deformaciones de las capas inferiores sin que se rompa su estructura.

Deben repartir las presiones impuestas por el tránsito, de tal forma que a la sub-rasante sólo llegue una pequeña parte de ellas y la misma sea capaz de soportarlas sin sufrir deformaciones.

La parte más elemental de los pavimentos flexibles es la capa de base, generalmente de un espesor de 10 a 20 cm, construida con mucha precaución.

En este tipo de pavimentos las cargas aplicadas sobre la superficie, se trasmiten en forma concéntrica a las demás cagas de la estructura, motivo por el cual estos elementos estructurales son de vital importancia en el buen funcionamiento y apropiado comportamiento de un sistema.



Figura 5. Representación del pavimento flexible

En base a lo anterior se pueden resumir en 6 los requisitos principales de una estructura de pavimento:

- a) Resistir y distribuir de forma homogénea las cargas que se originan por el tránsito, esto quiere decir que las capas que formen una estructura de pavimento asfáltico al momento de recibir las cargas provenientes del tránsito no deberán causar deformaciones permanentes a la subrasante.
- b) Resistir la acción destructora del paso de los vehículos, las llantas de los vehículos generan una fuerza abrasiva que provoca desgaste de la superficie y posterior desprendimiento de las partículas de la carpeta de rodadura, dependiendo del grado de deterioro esté desgaste puede afectar a las capas inferiores de la superficie de rodadura.
- c) Proporcionar la impermeabilidad necesaria para impedir la infiltración del agua de lluvia, ya que la presencia en exceso de ésta causa lubricación entre las partículas ocasionando perdida en el valor soporte, por otro lado la presencia de agua en la capa de sub-rasante en su mayoría de veces ocasiona cambio de volumen perjudicial para la estructura de pavimento.
- d) Resistir los efectos de los agentes climáticos debido a que a lo largo de la vida útil de un pavimento será expuesto a los efectos destructores del sol y la lluvia o a cambios frecuentes de temperatura, los materiales a utilizar deberán tener la capacidad de resistir los efectos de los agentes físicos y químicos al cual estarán expuestos.
- e) Tener una superficie de rodadura adecuada que permita en todo tiempo un desplazamiento fácil y cómodo de los vehículos, esto quiere decir que la carpeta de rodadura debe ser segura y lo suficientemente lisa para generar confort.
- f) La carpeta de rodadura deberá ser lo suficientemente flexible para adaptarse a cualquier deformación que se presente en las capas de base y sub-base o hasta de la propia sub-rasante.

Fuente: Ingeniería de carreteras - 5ta edición traducida del ingles, Paul H.

WIRCHT

2.4. DIMENSIONAMIENTO DE PAVIMENTOS

Actualmente, los métodos de dimensionamiento de pavimentos con mayor aceptación están basados, en la mayoría de los casos, en la experiencia obtenida mediante la observación “in situ” del deterioro sufrido por el firme debido a la acción continuada de las cargas (método de prueba y error). Como ejemplo de lo comentado, podemos nombrar que el macro ensayo realizado por la American Association of State Highway Officials (AASHTO) entre los años 1959 y 1961 ha sido el gran referente de los métodos empíricos. Debido a que las solicitaciones actuantes sobre un pavimento dependen de un gran número de factores (carga por eje, tipo de ejes, número de aplicaciones de carga, efectos térmicos, efectos medioambientales,

Dentro del contexto del diseño de pavimentos se acepta que el dimensionamiento de estas estructuras permite que se establezcan las características de los materiales de las distintas capas del pavimento y los espesores, de tal forma que el pavimento mantenga un "índice" de servicio aceptable durante la vida de servicio estimada.

2.4.1. Métodos racionales

El procedimiento seguido para el diseño de un pavimento por métodos racionales se planteo inicialmente por medio de modelos bicapas que posteriormente fueron generalizados a tricapas y multicapa.

En la actualidad existen un sinnúmero de métodos de diseño tomando en cuenta diferentes variables desde los gráficos, semigráficos analíticos hasta el uso de matemáticas muy avanzadas. Existen métodos de diseño son: método del CBR, método del índice de grupo, método golbeck

Método del CBR,

Fue propuesto por los ingenieros Staton y partes del Departamento de Carreteras de Estado de California en 1929 desde entonces tanto en Europa como en otros países es utilizado con gran frecuencia, en este método se establece la relación entre la resistencia a la penetración de un suelo y su capacidad soporte.

Para diferentes valores de CBR y por carga por eje o por rueda se han determinado los respectivos valores de los espesores de pavimentos. De la cual nos proporciona el espesor de las distintas capas de pavimentos con un determinado CBR.

Para diferentes valores de CBR y cargas por rueda, o por eje, se han determinado los respectivos espesores de pavimentos, en base a datos experimentales. Los diferentes organismos viales y técnicos, han elaborado curvas para facilitar este cálculo, y en la actualidad se conoce un sinnúmero de gráficos para la determinación de espesores de pavimentos flexibles, en función del CBR.

En la construcción de un pavimento flexible, se recomienda que el material para sub-base tenga un CBR mayor de 15%. El material para base debe tener un CBR mayor a 40% cuando las cargas por rueda son menores de 10000 libras (4540 Kg.) como es el caso de las carreteras en general, y un CBR no menor del 80% cuando las cargas por rueda son mayores de 10000 libras, como sucede en la mayor parte de las pistas de aterrizaje.

Método del índice de grupo

Una vez determinados los ensayos de consistencia de los suelos (LL,LP,IP,LC) se determina el índice de grupo (IG) de los suelos, fundamentalmente del terreno de fundación por lo tanto se deben calcular los espesores de las capas sub-base, base, capa de rodadura, mediante gráficos elaborados para el efecto.

- 1.) Para terrenos de fundación debidamente compactados a la humedad óptima y densidad máxima no menor al 95% de la densidad máxima obtenida por el método Standar T-99.
- 2.) Para sub-bases y bases compactadas a no menos del 100% de su densidad máxima.

Se supone así mismo que los sistemas de drenaje subterráneo y superficial son buenos y que el nivel freático se encuentra a una profundidad no perjudicial para estabilidad del terreno de fundación.

2.4.2. Métodos empíricos

Las metodologías de diseño de pavimentos flexibles son generalmente de carácter empírico o mecánico - empíricas. En el caso de los métodos empíricos se correlaciona el comportamiento de los pavimentos in situ, a través de observaciones y mediciones de campo, con los factores que causan los mecanismos de degradación en estas estructuras. Los factores más importantes son las cargas impuestas por el tránsito, las condiciones ambientales (principalmente temperatura y precipitación) a las cuales se encuentra sometida la estructura, el tipo de suelo o terreno de fundación (subrasante), la calidad de los materiales empleados y deficiencias durante el proceso constructivo. Todos estos factores son controlados y medidos durante las fases de estudio para correlacionarlos con los mecanismos de degradación y crear así el método de diseño.

Dos son los mecanismos principales de degradación que se intentan controlar en las metodologías empíricas (y también en las mecanicistas): fatiga y exceso de deformación permanente. La fatiga ocurre en las capas ligadas, y para el caso de estructuras flexibles, se presenta cuando se generan valores altos de deformación a tracción en la zona inferior de la capa asfáltica. Este tipo de deformación es asociado a la respuesta resiliente que presenta la estructura cuando se mueven las cargas vehiculares. La deformación permanente es la deformación vertical residual que se va acumulando debido al paso de los vehículos la cual puede generar fallas estructurales o funcionales en el pavimento.

2.5. PROCESOS DE EJECUCIÓN EN PAVIMENTOS

Las capas estructurales son aquellas carpetas asfálticas que, por condiciones de mezcla y espesor, forman una estructura resistente, computable en el diseño de un pavimento flexible, según el método constructivo y procesos de ejecución se dividen en dos grupos, mezclas en planta y mezclas en sitio.

Mezcla en planta.

Mezcla en planta es la mezcla de árido y asfalto en una planta central generalmente de alto rendimiento. Existen mezclas en planta en frío y en caliente. En las mezclas en frío se usan asfaltos líquidos, por lo cual la mezcla se efectúa sin calentar los agregados y el asfalto se calienta a una temperatura relativamente baja, solo para obtener la viscosidad necesaria de mezclado. Salvo indicación se emplearán asfaltos cortados que cumplan con lo especificado.

Las mezclas en caliente son las de mayor estabilidad de todas las mezclas asfálticas y consisten en mezclar el agregado pétreo y el cemento asfáltico a alta temperatura (135 a 165°C). Los cementos asfálticos típicos son: CA 60-80 y CA 80-100.

Mezcla en sitio.

Una mezcla en sitio es una carpeta asfáltica que se confecciona mezclando árido con asfalto líquido en la misma faja del camino, mediante moto niveladora o alguna maquinaria especial que efectúe el trabajo.

Los asfaltos líquidos más adecuados para estas mezclas son:

RC-250 clima cálido y medianamente húmedo.

MC-250 clima templado y medianamente húmedo.

CSS-1 ó SS-1 clima frío, templado y húmedo.

Método constructivo para mezclas en caliente

Preparación de la superficie.- Las mezclas obtenidas en la instalación pueden aplicarse sobre cualquier base estable. En superficies no tratadas la base deberá imprimarse. Cuando se aplica la mezcla sobre una superficie pavimentada debe aplicarse un riego de adherencia cuyo fin es cerrar pequeñas grietas de la antigua superficie y enlace con la nueva superficie.

Transporte.-Una vez confeccionadas las mezclas en la planta estas deberán transportarse a los lugares de colocación en camiones tolva convenientemente preparados para ese objeto. Las condiciones de la mezcla a la salida del mezclador y a la llegada a su punto de empleo deben ser iguales.

Colocación de la mezcla.- La superficie deberá estar seca o ligeramente húmeda. La temperatura de la mezcla no deberá ser inferior a 110°C al comienzo y 85°C al término del proceso. Para la distribución de la mezcla usualmente se emplea una terminadora.

Se recomienda una terminadora para extender capas de nivelación de mezclas en caliente o en frío y eventualmente una motoniveladora. Las mezclas en frío deben extenderse y compactarse en varias capas. Las mezclas deberán extenderse sobre superficies secas y previamente imprimadas. Sólo deberán colocarse y compactarse mezclas cuando la temperatura ambiental sea de por lo menos 10°C, sin bruma ni lluvia.

Compactación de la mezcla.- La compactación suele iniciarse utilizando rodillo tándem de dos ruedas de acero, sobre las orillas exteriores de la capa recién tendida para ir luego apisonando hacia el centro del camino.

Durante la compactación las ruedas de las apisonadoras deberán mantenerse húmedas para evitar que se adhieran al material. Tras de haberse hecho las correcciones que fuesen necesarias después del apisonado inicial, se procede a dar pasadas con el rodillo neumático. Cuando se pavimenta una sola franja esta debe apisonarse de la siguiente forma:

Compactación inicial: La compactación inicial debe seguir inmediatamente al de las juntas longitudinales y bordes. Los rodillos deben trabajar lo más cerca de la terminadora para obtener la densidad adecuada sin causar un desplazamiento indebido.

Segunda Compactación: Para la segunda compactación se considera preferible los rodillos neumáticos, que deben seguir a la compactación inicial tan de cerca como sea posible y mientras la mezcla está aún a una temperatura que permita alcanzar la máxima densidad.

Compactación Final: La compactación final debe realizarse con rodillos tandem de dos ruedas o tres, mientras que el material es aún suficientemente trabajable para permitir suprimir las huellas de los rodillos.

La cantidad, peso y tipo de rodillos que se empleen deberán ser el adecuado para alcanzar la compactación requerida dentro del lapso de tiempo durante el cual la mezcla es trabajable.

2.6. CONSERVACIÓN DE PAVIMENTOS

Las técnicas aplicadas para la conservación de los pavimentos de concreto asfálticos, dependen del tipo de falla en la superficie de rodamiento y/o sus capas inferiores. Estas se deben tomar en cuenta y estar basadas en las causas que generan las fallas para que sea efectiva la aplicación y lograr un mantenimiento adecuado.

La clasificación del mantenimiento puede hacerse de acuerdo a:

- Tipo
- Frecuencia
- Grado de deterioro

De acuerdo al tipo se clasifican en:

Mantenimiento Correctivo: corrige las deficiencias que se presentan en la estructura del pavimento después que ha ocurrido un deterioro.

Mantenimiento Preventivo: se anticipa al deterioro de las características estructurales del camino. Se inicia en la etapa del diseño y establece normas de construcción adaptadas a la topografía y geología natural, resolviendo los problemas de drenaje y especificando materiales con sistemas de trabajo que aseguren la calidad de la obra. De acuerdo a la frecuencia con la que cada operación o actividad debe realizarse en un período de tiempo dado, el mantenimiento se clasifica en mantenimiento Normal, este permite realizar trabajos para preservar los propósitos de construcción de la carretera. Dentro de este se encuentran el mantenimiento Rutinario, q son actividades realizadas con intervalos de un año o menos, estas operaciones son esencialmente correctivas y se dividen en operaciones constantes de mantenimiento, varían muy poco con los volúmenes de tránsito que sirve la carretera.

Las operaciones variables de mantenimiento están determinadas por los volúmenes de tránsito, que la carretera sirve y generalmente consisten en reparación de pavimentos y superficie de rodadura.

Entre las técnicas de mantenimiento rutinario se encuentran: Bacheos, Sellos de grietas, Limpiezas, Reparaciones de diferente índole, Mantenimiento Periódico, Sellos de pavimento, Recarpeteos, Reposiciones, Reconstrucciones, Aplicación de Pintura.

Los trabajos a desarrollar son:

- Conservación ordinaria de los pavimentos de las vías publicas
- Inspección periódica del estado de los pavimentos.
- Desarrollo y mantenimiento del inventario de los pavimentos. Estos trabajos se realizarán con el apoyo de una aplicación informática.
- Ejecución sustitutoria, consistente en la reparación del pavimento de actuaciones realizadas por terceros que no han sido subsanadas en el tiempo requerido.

CAPITULO III

CAPAS DE PAVIMENTOS Y SU CONTROL DE CALIDAD

Es indispensable conocer algunos términos y conceptos importantes, que harán comprender el porqué se hace necesario implementar un proceso y una metodología orientada a controlar y verificar la calidad, en cada una de las fases del de la construcción y el mantenimiento de las capas de pavimentos con el que se busque obtener un producto de calidad. Es de nuestro interés utilizar definiciones puntuales para no perder de vista los objetivos planteados en el presente documento. En el Control de Calidad hay que tomar en cuenta ensayos necesarios para controlar la ejecución de las diferentes capas de pavimentos y así determinar la calidad de materiales. Para asegurarse que el pavimento cumpla con todas sus expectativas.

3.1. ESTRUCTURA BÁSICA DEL PAVIMENTO

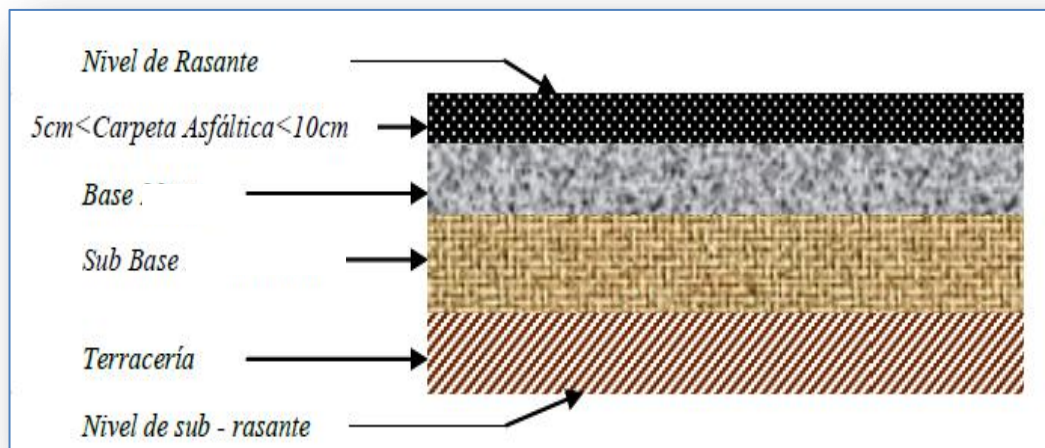


Figura 6. Estructura básica del pavimento

El pavimento flexible estructuralmente está conformado por los siguientes elementos

Base: Es una capa de material que puede ser granular la cual está conformada por piedra triturada y mezcla natural de agregado y suelo, también puede ser una base estabilizada la que está construida con cemento Portland, cal o materiales bituminosos. Estas deben tener la suficiente resistencia para recibir la carga de la superficie arriba de ella y transmitir a un nivel de esfuerzo adecuado a la capa siguiente, que puede ser una sub base o una sub rasante.

Sub base; Capa de material cuya función es transmitir los esfuerzos a la capa sub rasante de manera adecuada y además constituir una transmisión entre los materiales de la sub base y la sub rasante, de tal modo que se evite la contaminación y la interpenetración de dichos materiales, disminuir efectos perjudiciales en el pavimento ocasionados por cambios volumétricos y rebote elástico del material de las terracerías o del terreno de cimentación, reducir el costo de pavimento ya que es una capa que por estar bajo la base queda sujeta a menores esfuerzos y requiere de especificaciones menos rígidas, las cuáles pueden satisfacerse con materiales de menor costo generalmente encontrados en la zona.

Capa de rodadura: Es una capa o un conjunto de capas que se colocan sobre la base y está constituida por material pétreo mezclado con algún producto asfáltico (cemento asfáltico, asfalto líquido, emulsión asfáltica). La función principal de la carpeta, consiste en proporcionar al tránsito una superficie estable, uniforme, impermeable y de textura apropiada

Fuente: Ingeniería de carreteras volumen I, Víctor Sánchez Blanco

3.2. CARACTERÍSTICAS DE LA CAPA DE SÚB BASE

Se define a la capa de sub-base como la capa usada en una estructura de pavimento entre la sub-rasante y la capa base. Sirve de capa de drenaje al pavimento, controlando en cierta forma los cambios de volumen, elasticidad y plasticidad en la sub-rasante que podrían ser perjudiciales en la conformación final del pavimento.

Fuente.- AASHTO M 146-80,

3.2.1. Funciones de la capa sub base

Las funciones principales son:

- Proporcionar un apoyo uniforme a la base de una carpeta asfáltica o a una losa de concreto hidráulico.
- Soportar las cargas que estas transmiten aminorando los esfuerzos inducidos y distribuyéndolos adecuadamente a la capa inmediata inferior, y prevenir la migración de finos hacia las capas superiores, esta capa al igual que el terreno de fundación, no debe presentar problemas mayores.
- Transmitir los esfuerzos a la capa sub rasante de manera adecuada y además constituir una transmisión entre los materiales de la sub base y la sub rasante, de tal modo que se evite la contaminación y la interpenetración de dichos materiales, disminuir efectos perjudiciales en el pavimento ocasionados por cambios volumétricos y rebote elástico del material de las terracerías o del terreno de cimentación.
- Reducir el costo de pavimento ya que es una capa que por estar bajo la base queda sujeta a menores esfuerzos y requiere de especificaciones menos rígidas, las cuales pueden satisfacerse con materiales de menor costo generalmente encontrados en la zona, servir de capa de drenaje al pavimento y Controlar la ascensión capilar del agua proveniente de las capas freáticas cercanas o de otras fuentes.

Fuente: Ingeniería de carreteras volumen I, Víctor Sánchez Blanco

3.2.2. Materiales para capa sub base

- Son materiales granulares, que se colocan sobre la sub rasante, para formar una capa de apoyo para la base de pavimentos asfálticos. Los materiales que se emplean en construcción pueden ser gravas, arenas de ríos, aglomerados, conglomerados o roca masiva que cumplan con la granulometría de las especificaciones.

Especificaciones para la Capa Sub-Base del Pavimento Flexible.

- Uno de los requerimientos más importantes es la granulometría de la capa, todas las especificaciones presentan familias de curvas para que puedan ser seleccionadas las que mejor se adapten a los materiales locales.
- Agregados para capas Sub Base, consisten en partículas duras y durables o fragmentos de piedra, grava o escoria chancada. Los agregados deben ser muestreados y ensayados para su aceptación por métodos estadísticos. Los procedimientos de aceptación definen:
 - Existen algunas especificaciones que establecen requerimiento de partículas con caras fracturadas en sub base para el material retenido en el tamiz No 4.
 - Desgaste por abrasión en la máquina de los ángeles no mayor a 40 a 50%.
 - En general para cualquier granulometría adoptada el tamaño máximo de agregados no deberá ser mayor a 2/3 del espesor de capa a construir
 - Colocado y extendido, la compactación de cada capa se ejecuta hasta alcanzar una densidad no menor al 97% (en general) de la densidad máxima compactada de acuerdo con ASSHTO T-180 u otro método similar aprobado. La densidad en sitio debe ser determinada en concordancia con AASHTO T-191, T-205, ú otros métodos aprobados.
 - Propiedades del agregado gruesos, es común encontrar requerimientos acerca de determinadas propiedades para el agregado retenido en el tamiz No 10 (2.00 mm) ú otro tamiz de corte según cada especificación particular, como ser que el material debe consistir de partículas duras y durables, fragmento de piedra, grava ó escoria, eliminando fracciones fracturadas por congelado-descongelado sucesivo ó por procesos de humedecido-secado.
 - Igualmente para el agregado Fino, que pasa el tamiz No 10 (2.00 mm) se exige arena natural o triturada, y con valor máximo de partículas de material fino que pasen el tamiz No 200 (.0075 mm) dado que elevadas cantidades de material mas fino que 0.0075 mm pueden ocasionar que la capa sea muy sensible a las heladas por lo que este valor debe ser cuidadosamente seleccionado por el Ingeniero.

- Otro valor fundamental es el valor CBR, que por lo general demanda un valor superior a 40%.

Fuente.- AASHTO M 146-80,

3.2.3. Control de calidad de materiales para capa sub base de pavimentos

Como la calidad es inferior a la de la base, la capa de sub base tiene un efecto en la economía de la obra; sin embargo, esta no necesariamente se considera en todos los diseños de un pavimento flexible, si no mas bien solo en aquella cuya estructura es grande la importancia de la obra.

Para realizar un resumen de control de calidad de la **capa sub-base** se realizan ensayos de granulometría, el limite liquido y el índice de plasticidad y su respectiva clasificación, se toma en cuenta la compactación obteniendo la densidad máxima y la humedad optima, también están los valores de CBR al 100% y 97% .

3.3. CARACTERÍSTICAS DE LA CAPA BASE

Se define como la capa usada en una estructura de pavimento para reforzar y proteger las capas de sub-base y sub-rasante. Asimismo hace las veces de una capa drenante y permeable.

Fuente.- AASHTO M 146-80,

Esta capa de materiales pétreos seleccionados que se construye generalmente sobre la sub base, esta capa recibe la mayor parte de los esfuerzos producidos por los vehículos. La carpeta es colocada sobre de ella porque la capacidad de carga del material friccionante es baja en la superficie por falta de confinamiento.

3.3.1. Funciones de la capa base

Sus funciones principales son.

- Producir un apoyo uniforme a la carpeta asfáltica,
- Soportar las cargas que esta transmite aminorando los esfuerzos inducidos y distribuyéndolos adecuadamente a la capa inmediata inferior,

- Proporcionar a la estructura de pavimento la rigidez necesaria para evitar deformaciones excesivas,
- Drenar el agua que pueda infiltrar e impedir el acenso capilar del agua. y deben tener la suficiente resistencia para recibir la carga de la superficie arriba de ella y transmitir a un nivel de esfuerzo adecuado a la capa siguiente, que puede ser una sub base o una sub rasante.
- Esta capa permite reducir los espesores de carpeta, dada su función estructural importante al reducir los esfuerzos cortantes que se transmiten hacia las capas inferiores.

Fuente: Ingeniería de carreteras volumen I, Víctor Sánchez Blanco

3.3.2. Materiales para capa base

Los materiales que se utilicen para la contrición de bases cumplirán con lo establecido en las normas. Esta capa de material puede ser granular la cual esta conformada por piedra triturada y mezcla natural de agregado y suelo; también puede ser una base estabilizada la que esta construida con cemento Portland, cal o materiales bituminosos.

Especificaciones para la Capa Base del Pavimento Flexible.

- Agregado triturado retenido en el tamiz No 4, no tendrá más que el 15% en peso de partículas planas y elongadas.
- Deberá contar con al menos 90% de partículas con 2 caras fracturadas o más y 100% con al menos una cara fracturada. Medido según ASTM C-29 la piedra triturada deberá pesar no menos de 70 libras por pie cúbico. (1.12 kg/m³)
- Desgaste por abrasión en la máquina de los ángeles no será mayor a 50%
- La granulometría presentará materiales bien graduados de grueso a fino y no variará del límite inferior de un tamiz al límite superior del siguiente o viceversa.

- El porcentaje máximo de material menor a 0.02 mm de ser 3%. La fracción que pasa el tamiz No 200 no excederá el 60% de la fracción que pasa el tamiz No 30.
- El espesor máximo a compactar será de 6 pulgadas. (15 cm).
- El contenido de humedad para compactación no variará en mas ni en menos de 1.5 % del contenido óptimo determinado en AASHTO T 180 método D ó ASTM D1557 ó D678 método D.
- Es importante apuntar que las especificaciones técnicas emitidas por las FAA para la capa base de agregados establece que será aceptada por densidades de acuerdo al criterio de lotes; un lote será la producción de un día en la que no se espera que se excedan las 2000 m². Un lote consistirá de medio día de producción, cuando la producción diaria esperada se encuentre entre 2000 m² y 4000 m²). Cada lote será aceptado por densidad si al menos tiene una densidad de 100% de la máxima determinada por AASHTO 180 método D ó ASTM D1557D ó D698D.
- La tolerancia en espesor será de 10 mm del valor de diseño. Por cada lote de material colocado se hará 4 ensayos de espesor (uno por cada sub lote). Deficiencias mayores serán corregidas por los procedimientos apropiados.
- El valor CBR para capa base es al menos 100%.

Fuente.- AASHTO M 146-80,

3.3.3. Control de calidad de materiales para capa base de pavimentos

El control tecnológico planteado por las especificaciones técnicas revisadas para efectos de investigación presenta notables similitudes estandarizando los esquemas y sin mayores diferencias que sobresalgan entre unas y otras, siendo posible generalizar los requerimientos.

para realizar el control de calidad de la **capa base** se realizan ensayos de granulometría, el limite liquido y el índice de plasticidad y su respectiva clasificación, se toma en cuenta la compactación obteniendo la densidad máxima y la humedad óptima, también están los valores de CBR al 100% y 97% .

3.4. CARACTERÍSTICAS DE LA CAPA DE RODADURA

Es la capa sobre la cual se aplican directamente las cargas del tránsito, se coloca encima de la base cuando es un pavimento flexible y muchas veces sobre la sub-base cuando es un pavimento rígido y está formada por una mezcla bituminosa si el pavimento es flexible; o por una losa de concreto hidráulico de cemento Portland si es pavimento rígido o por adoquines si es una pavimento semiflexible.

Es la capa superior de la estructura de un pavimento, está formada por la mezcla homogénea de materiales pétreos, polvo mineral, cemento asfáltico puro o rebajado y aditivos (opcional).

Esta capa protege a las capas inferiores de los efectos del sol, las lluvias y las heladas, además resiste con un desgaste mínimo los esfuerzos producidos por el tránsito.

Ingeniería de carreteras - 5ta edición traducida del idioma ingles, Paul H. Wirth

3.4.1. Funciones de la capa de rodadura

La función principal de la carpeta, consiste en proporcionar al tránsito una superficie estable, uniforme, impermeable y de textura apropiada.

Proteger de la intemperie, lluvia, erosión, fricción de las llantas, así como de proporcionar una rodadura que suministre confort, comodidad, textura, color, desplazamiento y sobre todo proveer seguridad a todos los usuarios de la misma mediante una superficie homogénea tanto en sentido transversal como longitudinal.

Recibe directamente las cargas originadas por el tránsito en forma horizontal y vertical, las distribuye y las transmite en forma disipada hacia las capas inferiores del mismo.

Aportar una adecuada resistencia al deslizamiento mediante un desagüe superficial rápido para evitar el movimiento indeseado y molesto.

Ingeniería de carreteras - 5ta edición traducida del ingles, Paul H. Wirth

3.4.2. Materiales para la capa de rodadura

Esta capa de rodadura está formada por la mezcla homogénea de materiales pétreos, polvo mineral, cemento asfáltico puro o rebajado y aditivos (opcional).

En las mezclas asfálticas es de suma importancia definir la cantidad de asfalto a utilizar debiéndose buscar un contenido óptimo; ya que un exceso o déficit de éste causaría resultados perjudiciales no deseados en la estructura de pavimento.

Asfaltos utilizados en carpetas de rodadura

La mayoría de asfaltos utilizados en proyectos viales provienen de la refinación del petróleo, este proceso produce una gran variedad de tipos y grados de asfaltos que van desde sólidos duros y frágiles a líquidos poco viscosos.

Si bien el asfalto de uso vial es a temperatura ambiente medio sólido o sólido, puede ser rápidamente licuado mediante calentamiento, adicionándole un solvente de petróleo, o mediante emulsificación en agua.

3.4.3. Control de calidad de materiales para capa de rodadura de pavimento

Los controles que se realizan a la capa de rodadura son las siguientes:

- Clasificación granulométrica: Contenido de humedad, Límites de Atterberg
- Control: Adherencia con asfalto, Equivalente de arena, Intemperismo, Forma de la partícula, Desgaste de los ángeles, Densidad y absorción. todas las pruebas que se realizan a los asfaltos.
- Diseño: Marshall y compresión simple.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS ESTADÍSTICO EN CONTROL DE CALIDAD

El Control de Calidad normalmente se refiere a los ensayos necesarios para controlar un producto y así determinar la calidad del producto que se está elaborando. Estos ensayos son usualmente llevados a cabo por el constructor, ya que este los requieren para asegurarse a sí mismo que el producto o sus partes cumplan con sus expectativas de acuerdo a la responsabilidad contractual que ha contraído con el propietario.

Revisando un grupo de especificaciones técnicas se encuentra que, manteniendo el esquema tradicional vigente en las especificaciones utilizadas en Bolivia, el control de calidad es la "inspección" de los trabajos a través de la ejecución de ensayos predeterminados.

Fuente: Control de calidad en obras de carreteras, Ignacio Morilla ABAD

4.1.-TÉRMINOS ESTADÍSTICOS DE CONTROL DE CALIDAD

La estadística es intrínseca en el proceso constructivo del concreto asfáltico y de las demás unidades de la obra que intervienen en la construcción de un pavimento, toda vez que en todos los ensayos y mediciones ejecutadas se cuenta con un conjunto de observaciones cuyos resultados no se pueden predecir con certeza, por lo que las mismas son tabuladas, para ser posteriormente analizadas a fin de obtener algunas conclusiones.

4.1.1. Conjunto de datos

Universo

Es el total de elementos de los que se trata de estudiar una característica particular, por ejemplo es el total de agregados pétreos para la conformación de concreto asfáltico de toda una carretera.

Lote

Es un conjunto de elementos (una parte del universo) con una característica particular, por ejemplo es la cantidad de agregado producido en un día.

Muestra

Es una pequeña muestra del lote, obtenida de acuerdo a una regla determinada, cuyo fin es que sea representativa, para estimar la calidad del lote, por ejemplo es una cantidad de terminada de material que permite establecer la calidad natural se los agregados (desgaste por abrasión, resistencia a los sulfatos) y o la calidad de producción (granulometría equivalente de arena)

Fuente: Ingeniería de pavimentos “Evaluación estructural, obras de mejoramiento y nuevas tecnologías” Alfonso Montejo Fonseca

4.1.2. Representaciones numéricas

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, para $X_1, X_2, X_3 \dots X_n$, de tamaño “n” obtenida de una población, la media se determina por:

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

Esta media, se interpreta como el valor típico o central de los datos. Si es suficiente representar con un sólo número, la media resulta de los datos y es “la mejor descripción” de los valores observados.

Medidas de dispersión

El concepto de dispersión de los datos en correspondencia con la tendencia de estos a extenderse alrededor de un valor medio.

- **Rango**

Denominado también amplitud, es la diferencia entre el mayor y el menor de todos los datos. Anteriormente fue muy empleado por la facilidad de su cálculo pero debido a que es poco significativo ha sido complementado con otros estadígrafos más expresivos.

- **Desviación estándar**

La expresión matemática es análoga a la de rotación de una sección estructural y resulta ser la raíz cuadrada positiva de la variación (σ^2), tanto la variación (σ^2) como la variación estándar (σ) dependen 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.

Las unidades de la desviación estándar son las mismas que las de los datos originales y después de la media proporciona más información útil al ingeniero que cualquier otro número que se pueda calcular del conjunto de datos. Cuando más pequeña es la desviación estándar (σ) los datos se concentran más alrededor de la media, hecho que denota una mínima dispersión de los resultados mostrando uniformidad en el lote analizado. La siguiente relación permite calcular la desviación estándar de una serie de datos:

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

Fuente: Ingeniería de pavimentos “Evaluación estructural, obras de mejoramiento y nuevas tecnologías” Alfonzo Montejó Fonseca

4.2.- DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD

4.2.1.- CÁLCULO DE PROBABILIDADES

Uno de los objetivos de la estadística es el conocimiento cuantitativo de una determinada parcela de la realidad. Para ello, es necesario construir un modelo de esta realidad particular objeto de estudio, partiendo de la premisa de que lo real es siempre más complejo y multiforme que cualquier modelo que se pueda construir.

De todas formas, la formulación de modelos aceptados por las instituciones responsables y por los usuarios, permite obviar la existencia del error.

Fuente: Probabilidad y Aplicaciones Estadísticas. Meyer PL.

4.2.2.-DISTRIBUCIONES DISCRETAS

Las distribuciones discretas incluidas en el módulo de “Cálculo de probabilidades” son:

- Uniforme discreta
- Geométrica
- Binomial
- Binomial Negativa
- Hipergeométrica
- Poisson

Fuente: Probabilidad y Aplicaciones Estadísticas. Meyer PL.

Distribución Uniforme discreta (a,b)

Describe el comportamiento de una variable discreta que puede tomar n valores distintos con la misma probabilidad cada uno de ellos. Un caso particular de esta distribución. Esta distribución asigna igual probabilidad a todos los valores enteros entre el límite inferior y el límite superior que definen el recorrido de la variable. Si la variable puede tomar valores entre a y b , debe ocurrir que b sea mayor que a , y la

variable toma los valores enteros empezando por a , $a+1$, $a+2$, etc. hasta el valor máximo b . Por ejemplo, cuando se observa el número obtenido tras el lanzamiento de un dado perfecto,

Los valores posibles siguen una distribución uniforme discreta en $\{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$, y la probabilidad de cada cara es $1/6$.

Valores: x : $a, a+1, a+2, \dots, b$, números enteros

Parámetros:

a : mínimo, a entero

b : máximo, b entero con $a < b$

Fuente: Probabilidad y Aplicaciones Estadísticas. Meyer PL.

Distribución Binomial (n, p)

La distribución binomial es una distribución discreta muy importante que surge en muchas aplicaciones bioestadísticas.

Esta distribución aparece de forma natural al realizar repeticiones independientes de un experimento que tenga respuesta binaria, generalmente clasificada como “éxito” o “fracaso”.

Un caso particular se tiene cuando $n=1$, que da lugar a la distribución de Bernoulli.

Valores: x : $0, 1, 2, \dots, n$

Parámetros:

n : número de pruebas, $n > 0$ entero

p : probabilidad de éxito, $0 < p < 1$

Fuente: Probabilidad y Aplicaciones Estadísticas. Meyer PL.

Distribución Hipergeométrica (N, R, n)

La distribución hipergeométrica suele aparecer en procesos de toma de muestras sin reemplazo, en los que se investiga la presencia o ausencia de cierta característica.

Esta distribución se puede ilustrar del modo siguiente: se tiene una población finita con N elementos, de los cuales R tienen una determinada característica que se llama “éxito”. El número de “éxitos” en una muestra aleatoria de tamaño n , extraída sin reemplazo de la población, es una variable aleatoria con distribución hipergeométrica de parámetros N , R y n .

Cuando el tamaño de la población es grande, los muestreos con y sin reemplazo son equivalentes, por lo que la distribución hipergeométrica se aproxima en tal caso a la binomial. jh

Valores: $x: \max\{0, n-(N-R)\}, \dots, \min\{R, n\}$, donde $\max\{0, n-(N-R)\}$ indica el valor máximo entre 0 y $n-(N-R)$ y $\min\{R, n\}$ indica el valor mínimo entre R y n .

Parámetros:

N : tamaño de la población, $N > 0$ entero

R : número de éxitos en la población, $R \geq 0$ entero

n : número de pruebas, $n > 0$ entero

Fuente: Probabilidad y Aplicaciones Estadísticas. Meyer PL.

Distribución Geométrica (p)

Supóngase, que se efectúa repetidamente un experimento o prueba, que las repeticiones son independientes y que se está interesado en la ocurrencia o no de un suceso al que se refiere como “éxito”, siendo la probabilidad de este suceso p . La distribución geométrica permite calcular la probabilidad de que tenga que realizarse un número k de repeticiones hasta obtener un éxito por primera vez. Así pues, se diferencia de la distribución binomial en que el número de repeticiones no está predeterminado, sino que es la variable aleatoria que se mide y, por otra parte, el conjunto de valores posibles de la variable es ilimitado.

Esta distribución presenta la denominada “propiedad de Harkov” o de falta de memoria, que implica que la probabilidad de tener que esperar un tiempo t no depende del tiempo que ya haya transcurrido.

Valores: $x: 0, 1, 2, \dots$

Parámetros:

p : probabilidad de éxito, $0 < p < 1$

Distribución Binomial negativa (r, p)

Una generalización obvia de la distribución geométrica aparece si se supone que un experimento se continúa hasta que un determinado suceso, de probabilidad p , ocurre por enésima vez. La variable aleatoria que proporciona la probabilidad de que se produzcan k fracasos antes de obtener el enésimo éxito sigue una distribución binomial negativa de parámetros r y p , $BN(r, p)$.

La distribución geométrica corresponde al caso particular en que $r=1$. En el caso de que los sucesos ocurran a intervalos regulares de tiempo, esta variable proporciona el tiempo total para que ocurran r éxitos, por lo que también se denomina “distribución binomial de tiempo de espera”.

La distribución binomial negativa fue propuesta, originalmente, como una alternativa a la distribución de Poisson para modelar el número de ocurrencias de un suceso cuando los datos presentan lo que se conoce como variación extra-Poisson o sobredispersión..

Valores: $x: 0, 1, 2, \text{etc.}$

Parámetros:

p : probabilidad de éxito, $0 < p < 1$

r : número de éxitos, $r \geq 0$

Fuente: Probabilidad y Aplicaciones Estadísticas. Meyer PL.

Distribución Poisson (lambda)

En general, la distribución de Poisson se puede utilizar como una aproximación de la binomial, $\text{Bin}(n, p)$, si el número de pruebas n es grande, pero la probabilidad de éxito p es pequeña; una regla es que la aproximación Poisson-binomial es “buena” si $n \geq 20$ y $p \leq 0,05$ y “muy buena” si $n \geq 100$ y $p \leq 0,01$.

La distribución de Poisson también surge cuando un evento o suceso “raro” ocurre aleatoriamente en el espacio o el tiempo. La variable asociada es el número de ocurrencias del evento en un intervalo o espacio continuo, por tanto, es una variable aleatoria discreta que toma valores enteros de 0 en adelante (0, 1, 2,...). Para que una variable recuento siga una distribución de Poisson deben cumplirse varias condiciones:

1. En un intervalo muy pequeño (p. e. de un milisegundo) la probabilidad de que ocurra un evento es proporcional al tamaño del intervalo.
2. La probabilidad de que ocurran dos o más eventos en un intervalo muy pequeño es tan reducida que, a efectos prácticos, se puede considerar nula.
3. El número de ocurrencias en un intervalo pequeño no depende de lo que ocurra en cualquier otro intervalo pequeño que no se solape con aquél.

Observados en una población excede a la variación esperada por la Poisson, se está ante la presencia de un problema conocido como sobredispersión y, en tal caso, la distribución binomial negativa es más adecuada

Observados en una población excede a la variación esperada por la Poisson, se está ante la presencia de un problema conocido como sobredispersión y, en tal caso, la distribución binomial negativa es más adecuada.

Valores: x : 0, 1, 2,... etc.

Parámetros:

Lambda: media de la distribución, $\lambda > 0$

Fuente: Probabilidad y Aplicaciones Estadísticas. Meyer PL.

4.2.3.- DISTRIBUCIONES CONTINUAS

Las distribuciones continuas incluidas en el módulo de “Cálculo de probabilidades” son:

- Uniforme
- Gamma
- Normal
- Exponencial
- Lognormal
- Ji-cuadrado
- Logística
- t de Student
- Beta
- F de Snedecor

Fuente: Peña D. Modelos y métodos

Distribución Uniforme (a,b)

La distribución uniforme es útil para describir una variable aleatoria con probabilidad constante sobre el intervalo $[a,b]$ en el que está definida. Esta distribución presenta una peculiaridad importante: la probabilidad de un suceso dependerá exclusivamente de la amplitud del intervalo considerado y no de su posición en el campo de variación de la variable.

Cualquiera sea la distribución F de cierta variable X , la variable transformada $Y=F(X)$ sigue una distribución uniforme en el intervalo $[0,1]$. Esta propiedad es fundamental por ser la base para la generación de números aleatorios de cualquier distribución en las técnicas de simulación.

Campo de variación:

$a \leq x \leq b$ Parámetros:

a: mínimo del recorrido, b: máximo del recorrido

Distribución Normal (Mu, Sigma)

La distribución normal es, sin duda, la distribución de probabilidad más importante del Cálculo de probabilidades y de la Estadística.

De todas formas, la importancia de la distribución normal queda totalmente consolidada por ser la distribución límite de numerosas variables aleatorias, discretas y continuas, como se demuestra a través de los teoremas centrales del límite.

Las consecuencias de estos teoremas implican la casi universal presencia de la distribución normal en todos los campos de las ciencias empíricas: se aproximan a la distribución normal. Junto a lo anterior, no es menos importante el interés que supone la simplicidad de sus características y de que de ella derivan, entre otras, tres distribuciones (Ji-cuadrado, t y F) que se mencionarán más adelante, de importancia clave en el campo de la contrastación de hipótesis estadísticas.

La distribución normal queda totalmente definida mediante dos parámetros: la media (Mu) y la desviación estándar (Sigma).

Campo de variación: $-\infty < x < \infty$

Parámetros:

Mu: media de la distribución, $-\infty < \text{Mu} < \infty$

Sigma: desviación estándar de la distribución, $\text{Sigma} > 0$

Fuente: Peña D. Modelos y métodos

Distribución Lognormal (Mu, Sigma)

La variable resultante al aplicar la función exponencial a una variable que se distribuye normal con media *Mu* y desviación estándar *Sigma*, sigue una distribución lognormal con parámetros *Mu* (escala) y *Sigma* (forma).

Dicho de otro modo, si una variable X se distribuye normalmente, la variable $\ln X$, sigue una distribución lognormal.

Campo de variación: $0 < x < \infty$

Parámetros:

Mu: parámetro de escala, $-\infty < \mu < \infty$

Sigma: parámetro de forma, $\sigma > 0$

Fuente: Peña D. Modelos y métodos

Distribución Logística (a, b)

La distribución logística se utiliza en el estudio del crecimiento temporal de variables, en particular, demográficas.

La más conocida y generalizada aplicación de la distribución logística se fundamenta en la siguiente propiedad: si U es una variable uniformemente distribuida en transformación, denominada logit, se utiliza para modelar datos de respuesta binaria, especialmente en el contexto de la regresión logística.

Campo de variación: $-\infty < x < \infty$

Parámetros:

a: parámetro de posición, $-\infty < a < \infty$

b: parámetro de escala, $b > 0$

Fuente: Peña D. Modelos y métodos

Distribución Beta (p,q)

La distribución beta es posible para una variable aleatoria continua que toma valores en el intervalo $[0,1]$, lo que la hace muy apropiada para modelar proporciones. En la inferencia bayesiana, por ejemplo, es muy utilizada como distribución a priori cuando las observaciones tienen una distribución binomial. Uno de los principales recursos de esta distribución es el ajuste a una gran variedad de distribuciones empíricas, pues adopta formas muy diversas

dependiendo de cuáles sean los valores de los parámetros de forma p y q , mediante los que viene definida la distribución.

Un caso particular de la distribución beta es la distribución uniforme en $[0,1]$, que se corresponde con una beta de parámetros $p=1$ y $q=1$, denotada $Beta(1,1)$.

Campo de variación: $0 \leq x \leq 1$

Parámetros:

p : parámetro de forma, $p > 0$

q : parámetro de forma, $q > 0$

Fuente: Peña D. Modelos y métodos

Distribución Gamma (a,p)

La distribución gamma se puede caracterizar del modo siguiente: si se está interesado en la ocurrencia de un evento generado por un proceso de Poisson de media λ , la variable que mide el tiempo transcurrido hasta obtener n ocurrencias del evento sigue una distribución gamma con parámetros $a=n \times \lambda$ (escala) y $p=n$ (forma). Se denota $Gamma(a,p)$. Esta distribución presenta como propiedad interesante la “falta de memoria”. Por esta razón, es muy utilizada en las teorías de la fiabilidad, mantenimiento y fenómenos de espera.

Campo de variación: $0 < x < \infty$

Parámetros:

a : parámetro de escala, $a > 0$

p : parámetro de forma, $p > 0$

Fuente: Peña D. Modelos y métodos

Distribución Exponencial (λ)

La distribución exponencial es el equivalente continuo de la distribución geométrica discreta. Esta ley de distribución describe procesos en los que interesa saber el tiempo hasta que ocurre determinado evento.

La distribución exponencial se puede caracterizar como la distribución del tiempo entre sucesos consecutivos generados por un proceso de Poisson.

La media de la distribución de Poisson, λ , que representa la tasa de ocurrencia del evento por unidad de tiempo, es el parámetro de la distribución exponencial, y su inversa es el valor medio de la distribución. También se puede ver como un caso particular de la distribución gamma(a, p), con $a=\lambda$ y $p=1$.

Campo de variación: $0 < x < \infty$

Parámetros:

λ : tasa, $\lambda > 0$

Fuente: Peña D. Modelos y métodos

Distribución Ji-cuadrado (n)

Un caso especial, muy importante, de la distribución Gamma se obtiene cuando $a=1/2$ y $p=n/2$. La distribución resultante se conoce con el nombre de Ji-cuadrado con n grados de libertad. Es la distribución que sigue la suma de los cuadrados de n variables independientes $N(0,1)$.

La Ji-cuadrado es una distribución fundamental en inferencia estadística y en los tests estadísticos de bondad de ajuste. Se emplea, entre muchas otras aplicaciones, para determinar los límites de confianza de la varianza de una población normal, para contrastar la hipótesis de homogeneidad o de independencia en una tabla de contingencia y para pruebas de bondad de ajuste. La distribución Ji-cuadrado queda totalmente definida mediante sus grados de libertad n . Campo de variación: $0 \leq x < \infty$

Parámetros: n : grados de libertad, $n > 0$

Distribución t de Student (n)

La distribución t de Student se construye como un cociente entre una normal y la raíz de una Ji-cuadrado independientes. Esta distribución desempeña un papel importante en la inferencia estadística asociada a la teoría de muestras pequeñas. Se usa habitualmente en el contraste de hipótesis para la media de una población, o para comparar las medias de dos poblaciones, y viene definida por sus grados de libertad n . A medida que aumentan los grados de libertad, la distribución t de Student se aproxima a una normal de media 0 y varianza 1.

Campo de variación: $-\infty < x < \infty$

Parámetros:

n : grados de libertad, $n > 0$

Fuente: Peña D. Modelos y métodos

Distribución F de Snedecor (n,m)

Otra de las distribuciones importantes asociadas a la normal es la que se define como el cociente de dos variables con distribución Ji-cuadrado divididas por sus respectivos grados de libertad, n y m . En este caso la variable aleatoria sigue una distribución F de Snedecor de parámetros n y m . Hay muchas aplicaciones de la F en estadística y, en particular, tiene un papel importante en las técnicas del análisis de la varianza y del diseño de experimentos.

Campo de variación: $0 \leq x < \infty$

Parámetros:

n : grados de libertad del numerador, $n > 0$

m : grados de libertad del denominador, $m > 0$

Fuente: Peña D. Modelos y métodos

4.2.4.- GENERACIÓN DE DISTRIBUCIONES

Para generar muestras de variables aleatorias que se ajusten a determinadas distribuciones, tanto continuas como discretas. Además de las distribuciones disponibles en el sub módulo de “Cálculo de probabilidades”, en el presente se incluyen la multinomial, en las discretas, y la normal bivalente, en las continuas.

Este sub módulo puede ser útil para realizar ejercicios de simulación (principalmente en estudios de investigación) y, además, para calcular probabilidades asociadas a variables obtenidas a partir de otras cuyas distribuciones sean conocidas, aun cuando la variable resultante tenga distribución desconocida.

El empleo de la simulación para verificar un resultado teórico es, hoy en día, una práctica regular, gracias al desarrollo de los ordenadores que permiten obtener, rápida y fácilmente, números aleatorios de cualquier distribución. Esto ha supuesto una auténtica revolución en el campo de la estadística y, en particular, en los métodos bayesianos.

Más que números aleatorios estrictamente, los algoritmos de simulación generan lo que se ha denominado como números *pseudo-aleatorios* a través de fórmulas recursivas que parten de un valor inicial llamado semilla. Existen diferentes métodos de generación que permiten obtener una secuencia de números aleatorios para una distribución dada, pero la mayoría de estos métodos se basan en la generación de observaciones independientes de una distribución uniforme en $[0,1]$. El generador congruencial, propuesto por Lehmer, es uno de los más utilizados para obtener números aleatorios uniformes.

Fuente: Estadística I: Probabilidades. Martín Pliego FJ, Ruiz-Maya L

4.2.4.1.- DISTRIBUCIONES DISCRETAS

Las distribuciones discretas incluidas en el submódulo de “Generación de distribuciones” son:

- Uniforme discreta
- Geométrica
- Binomial
- Binomial Negativa
- Multinomial
- Poisson
- Hipergeométrica

Con excepción de la multinomial, todas fueron descritas en el sub módulo precedente (“Cálculo de probabilidades”), de modo que ahora sólo se explicará dicha distribución.

Distribución Multinomial

Generaliza la distribución binomial al caso en que la población se divida en $m > 2$ grupos mutuamente exclusivos y exhaustivos.

Se supone un proceso estable y sin memoria que genera elementos que pueden clasificarse en m clases distintas. Supóngase que se toma una muestra de n elementos y se definen m variables aleatorias X_i =número de elementos de la clase i ($i=1, \dots, m$), entonces el vector de m -variables es una variable aleatoria m -dimensional que sigue una distribución multinomial de parámetros $n, p_1, \dots, p_m$, donde p_i ($i=1, \dots, m$) es la probabilidad de la clase i .

Valores: $x_i = 0, 1, 2, \dots$ ($i = 1, \dots, m$) Parámetros: n : número de pruebas, $n > 0$ entero
 m : número de clases, $m > 0$ entero m , p_i : probabilidad de la clase i , $0 < p_i < 1$ ($i=1, \dots, m$), donde $\sum_{i=1}^m p_i = 1$.

Fuente: Estadística I: Probabilidades. Martín Pliego FJ, Ruiz-Maya L

4.2.4.2.- DISTRIBUCIONES CONTINUAS

Las distribuciones continuas incluidas en el módulo de “Generación de distribuciones” son:

- Uniforme
- Gamma
- Normal
- Exponencial
- Normal bivalente
- Ji-cuadrado
- Lognormal
- t de Student
- Logística
- F de Snedecor
- Bet

Con excepción de la normal bivalente, todas fueron descritas en el sub módulo precedente “Cálculo de probabilidades”, de modo que ahora sólo se explicará dicha distribución.

Distribución Normal bivalente

Como modelo de distribución teórico continuo, se adapta con gran aproximación a fenómenos reales en diversos campos de las ciencias sociales y la astronomía.

De igual modo que la distribución normal univalente está especificada por su media, μ , y su varianza, σ^2 , la función de densidad de la variable aleatoria normal bivalente $X=(X_1, X_2)$, está determinada por el vector de medias $\mu=(\mu_1, \mu_2)$, el vector de desviaciones $\sigma=(\sigma_1, \sigma_2)$ y el coeficiente de correlación ρ entre las variables X_1 y X_2 . Si las variables aleatorias X_1 y X_2 son independientes, el coeficiente de correlación lineal es nulo y por tanto $\rho=0$.

Campo de variación: $-\infty < x_1 < \infty$; $-\infty < x_2 < \infty$

Parámetros:

$\mu=(\mu_1, \mu_2)$: vector de medias, $-\infty < \mu_1 < \infty$, $-\infty < \mu_2 < \infty$

$\sigma=(\sigma_1, \sigma_2)$: vector de desviaciones, $\sigma_1 > 0$, $\sigma_2 > 0$

ρ : coeficiente de correlación, $-1 \leq \rho \leq 1$

Fuente: Estadística I: Probabilidades. Martín Pliego FJ, Ruiz-Maya L

4.3.-CONCEPTO DE CALIDAD

El concepto de Calidad Total fue definido en 1986, por J.R. Houghton, presidente de una de las compañías más importantes en Estados Unidos, de la siguiente manera: “calidad es saber qué debe hacerse, tener las herramientas para hacerlo correctamente y luego hacerlo correctamente a la primera”.

La calidad también es el conjunto de acciones que permiten mantener las características preestablecidas en la construcción de un pavimento.

Fuente.- Control de calidad en obras de carreteras (Ignacio Morilla ABAD)

La calidad de cualquier pavimento depende de muchos factores como:

- El cumplimiento de las especificaciones
- Elección correcta de los materiales
- Procedimientos constructivos adecuados
- Calidad de la mano de obra
- Utilización de maquinaria idónea
- Un plan de control de calidad adecuado

Si se evalúa oportunamente la calidad de todos los procesos, esto permite que al momento de ejecutar un proyecto, se pueda tomar acciones de corrección y dar soluciones precisas a problemas o errores cometidos durante el proceso de relleno o de cualquier otro proceso constructivo.

Pero no basta con sólo conocer el término de calidad, sino saber cómo es que se controlará, por lo que se necesita un proceso y una planeación de lo que será el Control de Calidad, y esto comprenderá todo el conjunto de procedimientos que permitan conseguir un pavimento con características uniformes y de acuerdo al diseño preestablecido.

4.4.- PLAN DE ACEPTACIÓN

Un plan de aceptación práctico deberá ser de única interpretación y deberá definir la calidad deseada con niveles realistas para las características significativas. Los requerimientos deben ser establecidos en términos de propiedades medibles.

Una característica significativa es aquella que afecta directamente el rendimiento y operación de un determinado material o ítem. Como tal es una medida de calidad.

Para asegurar la calidad es necesario asignar los límites superior, inferior o superior e inferior a las características significativas de un material o ítem de construcción. Tales límites establecen la calidad del material o ítem.

La calidad exacta que el comprador está dispuesto a pagar debe estar especificada en términos de límites y números realistas para las características significativas asumiendo un nivel de riesgo consensuado.

4.4.1.- Interpretación y simplicidad de un plan de control

El plan de control debe ser redactado para comunicar de manera clara, exacta y sin ambigüedades que es lo que se desea.

Una especificación particular, requiere ser explícita y estar sujeta a una y solo una interpretación para el ingeniero, el contratista, el proveedor de materiales, el contador y el abogado.

Por otra parte, los procedimientos estadísticos y los cálculos matemáticos deben ser simples y "cortos", tanto que el método pueda ser entendido y usado por el personal sin excesivo entrenamiento o instrucción especializada.

4.4.2.- Responsabilidades

Para prevenir potenciales disputas legales, el Contratista será responsable por el control del proceso de construcción, mientras que el Servicio Nacional de Caminos (* se adaptan los términos al entorno real de esta aplicación) o su representante será el principal responsable para juzgar la aceptabilidad del trabajo terminado a través del uso apropiado de los planes de aceptación diseñados.

4.4.3 Alcance de los Planes de aceptación

Cada plan de aceptación deberá ser realista en la definición del Nivel de Calidad Aceptable (AQL, Acceptance Quality Level) y del Nivel de Calidad Rechazable (RQL, Rejectable Quality Level).

El AQL (Nivel de Calidad Aceptable) puede ser lo suficientemente alto como para satisfacer los requerimientos de diseño, pero no tanto que requiera de materiales y métodos extraordinarios. Un nivel de calidad muy elevado puede exigir elevados costos de construcción y en casos extremos puede hacer inviable la ejecución de la obra.

El RQL (Nivel de Calidad Rechazable) puede ser lo suficientemente bajo de manera que la decisión de rechazo sea verdaderamente justificada. Un nivel muy bajo puede incurrir en la aceptación de obras defectuosas.

EL AQL y el RQL establecen límites de control, los cuales deben ser razonablemente aceptables tanto para la ABC como para el Contratista. Los límites de tolerancia establecidos por cualquier plan de aceptación realista y práctico deben reflejar razonablemente la experiencia exitosa en alguna construcción anterior.

La principal razón para incluir límites numéricos en un plan de aceptación es la de garantizar que la obra sea construida atendiendo los requerimientos de diseño. Los beneficios esperados de los requerimientos especificados deben ser cuidadosamente analizados contra el probable incremento de los costos bajo un nivel de riesgo aceptado en consenso.

Además se debe considerar que todos los planes de aceptación están basados en muestras y ensayos parciales, por tanto están sujetos al riesgo de tomar decisiones incorrectas. Es responsabilidad del diseñador del plan de aceptación, el control del riesgo a un nivel adecuadamente bajo.

4.4.4.- Tamaño del lote y tamaño de la muestra

Un valor fundamental en todo plan de aceptación es el tamaño del lote y el de la muestra. La selección del tamaño del lote depende del tipo de plan a ser aplicado, sin embargo es importante establecer un tamaño de lote práctico y conveniente y que resulte de la experiencia previa y de determinadas características de la población objeto de estudio. En procedimientos de aceptación por variables para determinar el tamaño del lote, se asume que la población tiene una distribución normal homogénea, en tanto que en procedimientos de aceptación por atributos no asume distribución alguna y se requiere menos cuidado en la determinación del tamaño del lote.

Algunas limitaciones prácticas que han sido usadas para definir el tamaño máximo del lote, con sobrada buena experiencia y buenos resultados, son la producción diaria de concreto, el avance por longitud de una carretera, En el desarrollo de un procedimiento estadístico de aceptación, el tamaño de la muestra, es generalmente una consideración más importante que el tamaño del lote puesto que influye fuertemente en los riesgos y consecuentemente en la efectividad del programa de medida de la calidad.

El tamaño mínimo de muestra que puede ser usado, depende del tipo de procedimiento de aceptación. Un procedimiento de aceptación por variables podrá requerir un tamaño de muestra de por lo menos $n=3$, en tanto que un procedimiento por atributos puede estar basado en un muestreo simple si se desea. Una consideración importante en la selección del tamaño de la muestra es el análisis del riesgo asociado con el plan de aceptación. En complemento, la selección adecuada del tamaño de la muestra debe establecer un balance entre la seguridad de los resultados y el costo de su obtención. El número determinado de ensayos que puedan ser procesados debe ser el apropiado.

4.4.5.- Tipos de Riesgo

Riesgo del comprador (β) es el riesgo de aceptar erróneamente un trabajo insatisfactorio (RQL).

Riesgo del vendedor (α) es el riesgo de rechazar erróneamente un trabajo satisfactorio. Está asociado al error tipo II

Un elevado riesgo del comprador contiene una alta probabilidad de aceptar un trabajo de pobre calidad (RQL). Este riesgo, está asociado con la elección de ofertas de precios bajos con las que la ABC "cierra los ojos" a posibles fallas prematuras o a altos costos de mantenimiento.

Por otra parte un elevado riesgo del vendedor puede establecer el rechazo innecesario de un trabajo satisfactorio (AQL), hecho que eleva demasiado el nivel de calidad e innecesariamente el costo del producto.

En todo caso, el riesgo del comprador y del vendedor debe ser seleccionado de tal manera que tanto el Servicio Nacional de Caminos como el Contratista deben estar satisfechos al aceptar el riesgo asociado con el plan de aceptación establecido para un determinado material o producto terminado.

Los riesgos del comprador y del vendedor están asociados a los errores tipo I y tipo II definidos por la teoría estadística:

Error tipo I: Cuando se rechaza una hipótesis estadística que debía ser aceptada

Error tipo II: Cuando se acepta una hipótesis estadística que debía ser rechazarse

4.4.6.- Nivel “Crítico” – Nivel de Calidad

En la construcción de carreteras no es posible definir puntualmente un nivel de calidad que diferencie claramente los trabajos satisfactorios de los que no los son, pero sí es posible definir un **nivel deseado de calidad** que pueda ser aceptable y otro nivel de calidad tan pobre que sea totalmente inaceptable. Sin embargo un nivel de calidad podrá ser aceptable bajo determinadas condiciones de uso y bajo

determinadas variables, cualquier cambio en estos últimos factores podría establecer la inaceptabilidad de dicho nivel de calidad.

Ahora bien, cada nivel de calidad está asociado a un costo, un muy elevado nivel de calidad implicará un elevado costo, en todo caso el nivel de calidad deberá estar determinado básicamente por el rendimiento del material o del producto terminado, en términos de seguridad, durabilidad, y servicialidad.

La relación del nivel de calidad con tales aspectos, por lo que establece AASHTO R-9, genera el concepto de “nivel crítico” que asocia un nivel de calidad a un determinado nivel de riesgo, bajo costos y a aspectos de orden contractual preestablecidos. A continuación se detallan estos conceptos básicos.

4.4.6.1.- Factores que afectan el “nivel crítico”

Es importante considerar que cada plan de aceptación debe estar basado en el nivel “crítico” de la propiedad medida, vale decir en cómo afecta a la seguridad, rendimiento y durabilidad. Adicionalmente deben considerarse requerimientos legales y contractuales.

El término "nivel crítico" ha sido seleccionado para su uso en la especificación R-9 para expresar los conceptos cuya importancia relativa atañe a varios factores, que son:

- **Seguridad**, peligro para la vida humana.
- **Servicialidad**, inconvenientes y otras consecuencias como ser la interrupción de servicio de la obra.
- **Costo**, para la construcción, el control, el mantenimiento y el reemplazo de las piezas defectuosas.
- **Requerimientos legales y contractuales**, claridad en la dirección e interpretación de los requerimientos, equitativas responsabilidades y obligaciones claramente definidas, reconocimiento de la práctica corriente en la provisión de normas para la disposición del trabajo.

4.4.6.2.- Rangos del Nivel Crítico

La clasificación de rangos está asociada directamente a los factores que afectan el nivel crítico, estos rangos son:

- **Crítico**, los requerimientos son esenciales para la preservación de la vida.
- **Mayor**, cuando el requerimiento es necesario para la prevención de pérdidas económicas substanciales.
- **Menor**, cuando el requerimiento no afecta el rendimiento de la obra o de los materiales de la obra.
- **Contractual**, cuando los requerimientos están establecidos para proporcionar normas uniformes y equitativas para la ejecución del trabajo.

4.5.-PLANES DE ACEPTACIÓN Y DE MUESTREO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CAMINOS

“Acceptance Sampling Plans for Hihgway Construction”

En 1986 la AASHTO emitió la primera edición de los “Planes de aceptación y de muestreo para la construcción de caminos”, con la designación AASHTO R9-86.

Posteriormente en 1990 y 1997 fueron emitidas dos correcciones sucesivas a la edición original, con arreglos a la redacción y con aclaraciones más específicas, sin cambiar en absoluto los postulados y conceptos básicos aplicados.

Posteriormente la AASHTO a través de la Task 164 emitió la instrucción para la revisión a la R9-97 para que sean introducidas dos adiciones significativas: a) redacción de una guía para el establecimiento de factores de pago individuales y compuestos, y b) redacción de las normas para asignar niveles de riesgo apropiados para usar los factores de pago en los planes de aceptación.

El tema aún se encuentra en desarrollo por lo que no está incluido en el presente análisis, además las adiciones de la tarea encargada por AASHTO no alteran la esencia de esta aplicación.,

A continuación son detallados cada uno de los métodos propuestos por AASHTO R9-90.

4.5.1.- Método “A”: Porcentaje Defectuoso

A.1 Definición

El porcentaje defectuoso, es el porcentaje de una determinada población estadística que cae fuera de un límite especificado inferior o superior o ambos inferior y superior, como se puede apreciar en la figura 2.1 (Nota. La numeración de la figura es la del documento de Origen).

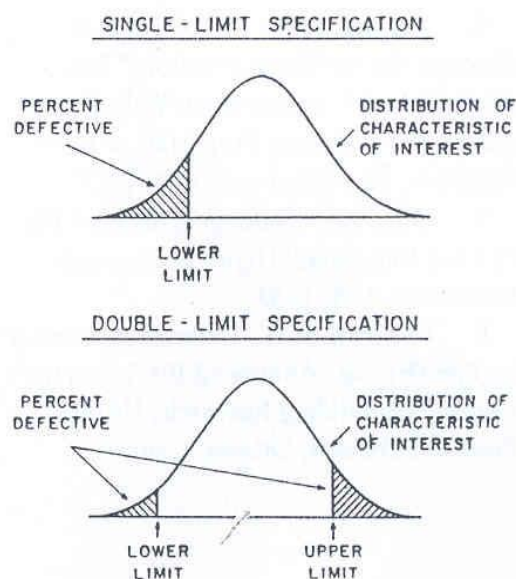


FIGURE 2.1 Illustration of the Concept of Percent Defective

En la figura se puede observar objetivamente el concepto del “porcentaje defectuoso” para especificaciones de límite simple, con un límite inferior en el gráfico de arriba (lower limit), también para especificaciones de doble límite, inferior y superior en el gráfico de abajo (lower limit – upper limit). En ambos casos se considera la distribución estadística de la característica de interés. La zona sombreada corresponde a los porcentajes de la característica de interés que se encuentran “fuera de tolerancia”.

Figura 7. Ilustración del concepto de porcentaje defectuoso

La medida de calidad usada en ésta definición es el **porcentaje defectuoso del lote**.

Este término está bien establecido en el lenguaje de la garantía de la calidad y sirve para ligar a la Norma R9 a los libros de texto y documentos estadísticos.

A.2 Generalidades

Debe quedar establecido que un ítem o material que tiene un apropiado nivel de porcentaje defectuoso es considerado enteramente satisfactorio (ver definición de AQL nivel de calidad de aceptación).

Alternativamente, la calidad puede ser definida en términos del porcentaje dentro de límites el cual es la contraparte o complemento a 100 del porcentaje defectuoso. **Un argumento en favor del término porcentaje dentro de límites es que tiene una connotación psicológica más positiva.**

El uso de cualquiera es apropiado cuando este parámetro describe efectivamente las propiedades que determinan el comportamiento final del producto.

Este procedimiento no recomienda la incorporación de materiales o la aceptación de componentes de construcción que puedan dañar la servicialidad o la seguridad establecidas normalmente.

Los procedimientos descritos permiten la selección de un nivel de calidad de aceptación AQL, el cual determina control sobre el impacto de un porcentaje defectuoso máximo sobre la servicialidad y seguridad.

A.3 Niveles de Calidad para el “Porcentaje defectuoso”

El nivel aceptable de calidad (AQL) y el nivel rechazable de calidad (RQL) son características específicas de un lote o población.

- El **AQL** es aquel nivel de porcentaje defectuoso debajo del cual el trabajo es considerado completamente aceptable.
- El **RQL** es el nivel de porcentaje defectuoso sobre el cual el trabajo es considerado inaceptable y que debe ser reparado o reemplazado.

Las bases para los valores a ser adoptados y para estas definiciones pueden ser de imposición subjetiva a partir de conocimientos previos de ingeniería y a partir de valores históricos experimentales (records) con resultados satisfactorios o de consideraciones teóricas.

El establecimiento de AQL y RQL puede considerarse como una actividad separada a ser realizada antes de desarrollar el plan de aceptación o cualquier consideración de los riesgos asociados con el mismo.

A.4 Selección del riesgo de acuerdo con el "Nivel Crítico"

Un elevado riesgo del comprador indica alta probabilidad de aceptar un trabajo de pobre calidad (RQL).

Un elevado riesgo del vendedor podrá generar un rechazo innecesario de un trabajo satisfactorio (AQL), hecho que podría elevar exageradamente el nivel de calidad e innecesariamente el costo del producto.

Es imperioso diseñar planes de aceptación para control del riesgo a niveles apropiados. La siguiente tabla proporciona los valores probables para niveles críticos específicos, sin embargo AASHTO reconoce que no siempre es necesario o práctico utilizar estos valores ideales.

Clasificación	Probabilidad de aceptación al RQL (riesgo del comprador)	Probabilidad de aceptación al AQL	Riesgo del Vendedor al AQL
Crítico	0.005	0.950	0.050
Mayor	0.050	0.990	0.010
Menor	0.100	0.995	0.005
Contractual	0.200	0.999	0.001

Tabla 1.- Valores probabilísticos

Fuente: "Planes de aceptación y de muestreo para la construcción de caminos", AASHTO R9-86.

A.5 Tipos de planes de aceptación

A.5.1 Planes de aceptación por atributos

Los planes de aceptación por atributos son usados cuando es impracticable o indeseable la medida del valor específico de una característica de calidad y cuando los ítems a inspeccionar se clasifican como satisfactorios o insatisfactorios.

La aplicación típica involucra el conteo de algún tipo de defecto que califica a un elemento particular como aceptable o rechazable. Se pueden “contar” los elementos aceptables y los rechazables.

Los planes por atributos son diseñados para el control del porcentaje defectuoso de la población (lote). A continuación se plantean algunas características básicas de los planes por atributos:

- La decisión a la que se deberá alcanzar será aceptar o rechazar, no estimar, el porcentaje defectuoso del lote.
- La población muestreada no requiere tener distribución "normal" como ocurre para el procedimiento por variables.
- El procedimiento por atributos es menos eficiente estadísticamente y requiere un muestreo grande para proporcionar un poder de discriminación aceptable.
- Un plan por Atributos puede estar basado en una muestra simple, si se desea. El plan por variables descrito en esta norma requiere un tamaño de muestra de al menos $n=3$.

Para planes por atributos, el tamaño del lote, de la muestra, y el máximo número de resultados insatisfactorios permitido deben ser especificados.

A.5.2 Planes de aceptación por variables

Los planes de aceptación por variables son aplicados a las características que pueden ser "medidas" en vez de "contadas" é involucra el cómputo de parámetros estadísticos.

Los planes por variables son diseñados para el control del porcentaje defectuoso de la población. A diferencia de los procedimientos por atributos, puede hacerse una estimación del porcentaje defectuoso para proporcionar las bases que permitan tomar una decisión de aceptación o rechazo.

Como una regla general los planes por variables son estadísticamente más eficientes que los planes por atributos, proporcionando criterios de discriminación para un muestreo determinado.

Los parámetros estadísticos fundamentales requeridos para la aplicación del procedimiento por variables presentados en ésta sección son la media y la desviación estándar de acuerdo a:

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

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

Debido a que la variabilidad de la población, es estimada por la desviación estándar calculada del muestreo, los planes de aceptación de éste tipo están referidos como planes de "variabilidad desconocida".

Para estimar el porcentaje defectuoso del lote primero es necesario calcular uno de los índices de calidad (Q) usando las siguientes ecuaciones:

$$Q_L = \frac{\bar{X} - L}{S}$$

La estimación del porcentaje defectuoso del lote, está asociada con un valor Q (índice de calidad) específico y el tamaño de la muestra se obtiene de la tabla del apéndice C. Se notará que para el uso de la tabla se requiere un número de muestra no menor a 3 en planes de aceptación por variables.

Para los casos en que existen ambos límites (inferior y superior) se emplean las estimaciones individuales del porcentaje defectuoso que son conjuncionados para obtener el porcentaje defectuoso del lote (Note que no es correcto sumar los valores individuales de Q y determinar entonces el porcentaje defectuoso)

Un supuesto básico de la teoría de aceptación por variables es que la población (lote) que está siendo muestreada está distribuida normalmente. Muchas características de la construcción han resultado estrechamente relacionadas a ésta distribución. Sin embargo, antes de decidir el procedimiento de aceptación de variables a usar, deberá verificarse que la suposición de la distribución normal es razonablemente satisfactoria. Una vez hecha ésta determinación se asume la aplicación de la distribución normal a toda la producción futura.

Puede ser suficiente visualizar los histogramas de frecuencias de los datos para verificar que la población muestreada ha sido distribuida aproximadamente "normal".

Si la suposición de una distribución normal no es factible, existen dos remedios posibles:

- a) un gran número de ensayos de aceptación pueden ejecutarse de manera que el promedio de dos o más ensayos puedan emplearse en lugar de ensayos individuales. Esto incrementa fuertemente la tendencia hacia una distribución normal;
- b) alternativamente puede usarse un procedimiento por atributos sin influencia de la forma de la distribución de la población.

Para planes por variables, el tamaño del lote, de la muestra y el máximo porcentaje defectuoso estimado deben estar especificados.

Debido a que es necesario esperar una variabilidad aleatoria del proceso de muestreo, ni el AQL ni el RQL son adecuados como estimadores máximos del porcentaje defectuoso como requerimiento de aceptación.

Alternativamente, en lugar del porcentaje defectuoso estimado permitido, un plan de variables con límite simple (superior o inferior) puede especificar el valor mínimo aceptable (k) del índice de calidad (Q) calculado a partir de la muestra de acuerdo con las ecuaciones. Para planes de doble límite, es matemáticamente preferible y administrativamente simple, usar solo el máximo porcentaje defectuoso (M) estimado permitido.

A.6 Construcción de las Curvas de Operación Característica

Ahora bien, analizando los riesgos asociados con cualquier plan de aceptación, el mismo está usualmente acompañado por la construcción de las curvas de operación característica (OC).

Tanto el riesgo del comprador como del vendedor puede ser especificado en la elección de un plan de aceptación apropiado, sin embargo, debido a que el tamaño de la muestra es una variable discreta puede no ser siempre posible obtener precisamente el nivel de riesgo deseado. Las bases para los valores a ser adoptados y para estas definiciones pueden ser de imposición subjetiva a partir de conocimientos previos de ingeniería y a partir de valores históricos experimentales (records) con resultados satisfactorios o de consideraciones teóricas.

A.6.1 Definición y Uso

- Una Curva de Operación Característica (OC) es una representación gráfica de un plan de aceptación habilitado para discriminar entre un trabajo aceptable y un trabajo inaceptable. La figura 7.1 muestra un ejemplo típico.
- La importancia de la construcción de curvas OC no debe ser mayor que la real. De esta manera el riesgo tanto del comprador como del Contratista puede ser determinado según avance el trabajo y si es necesario pueden hacerse las

modificaciones respectivas del plan, antes que surjan situaciones problemáticas en el campo.

- La construcción de curvas para planes de aceptación por atributos es relativamente amplia y puede estar acompañada por las tablas del apéndice A.
- El instrumento teórico de la construcción de las curvas OC para planes de aceptación de variables, es más complejo y está más allá de los propósitos técnicos proporcionados por AASHTO R-9. En consecuencia solo se tiene un método a través de las tablas proporcionadas en el apéndice B.

A.6.2 Tablas de Operación Características.

- Las tablas del Apéndice A y del Apéndice B proporcionan los datos necesarios para construir las curvas OC para planes de atributos y variables respectivamente.
- Las tablas obtienen un amplio rango de potencial utilidad para los planes de aceptación. Los planes que han tenido curvas relativamente indeseadas han sido omitidos y no en todos los planes estas tablas serán apropiadas para cada situación.
- Debido a que los planes de atributos tratan con datos discretos, existe un número finito de planes prácticos, muchos de los cuales están listados en el apéndice A. Las tablas han sido construidas de tal manera que no es necesario interpolar entre números de aceptación (c) o entre tamaño de muestra, hasta un tamaño de $n=10$.
- alguna interpolación puede ser necesaria para tamaños de muestra grandes o para tamaños de lote específicos, sin embargo las curvas OC son relativamente insensibles al tamaño del lote.
- Debido a que los planes de variables tratan con datos continuos existe un número infinito de planes posibles que pueden ser usados. Para la evaluación de un plan existente o para la selección de un nuevo plan puede ser apropiado interpolar entre los planes de variables listados en la tabla del Apéndice B.

A.6.3. Procedimiento de Uso de tabla de Apéndices A y B.

- Seleccionar apéndice A para planes por atributos o Apéndice B para planes por variables.
- Seleccionar el riesgo considerado más crítico (del comprador ó verdedor) y buscar la tabla apropiada para determinar aquel plan que acompañe aproximadamente el riesgo seleccionado.
- Determinar de la tabla cuál de estos planes corresponde al riesgo crítico menor.
- Si es necesario se debe interpolar entre los planes para obtener el riesgo deseado con la mayor aproximación posible.

A.7 Procedimiento por atributos para lotes pequeños.

El apéndice A proporciona la información para curvas de operación característica para tamaños de lote menores a 20 ($n=20$). Si son necesarios procedimientos de aceptación para lotes de tamaño pequeño puede desarrollarse uno de los siguientes caminos:

- a) Especificar un plan de aceptación y usar la fórmula hipergeométrica del apéndice E para desarrollar para desarrollar la curva OC. Repetir este procedimiento hasta obtener una curva OC satisfactoria.
- b) Especificar inspección del 100% del lote y establecer el número de piezas defectuosas que serán toleradas en el lote.
- c) Especificar inspección del 100% del lote y exigir que cualquier elemento defectuoso sea reparado o reemplazado.

Variabilidad - procedimiento desconocido					TAMAÑO MUESTRAL			Método desviación estándar		
					0.03	05	0.01			
0.0	50.00	49.64	49.29	48.93	48.58	48.22	47.86	47.51	47.15	46.80
0.1	46.44	46.09	45.73	45.38	45.02	44.67	44.31	43.96	43.60	43.25
0.2	42.90	42.54	42.19	41.84	41.48	41.13	40.78	40.43	40.08	39.72
0.3	39.37	39.02	38.67	38.32	37.97	37.62	37.28	36.93	36.58	36.23
0.4	35.88	35.54	35.19	34.85	34.50	34.16	33.81	33.47	33.12	32.78
0.5	32.44	32.10	31.76	31.42	31.08	30.74	30.40	30.06	29.73	29.39
0.6	29.05	28.72	28.39	28.05	27.72	27.39	27.06	26.73	26.40	26.07
0.7	25.74	25.41	25.09	24.76	24.44	24.11	23.79	23.47	23.15	22.83
0.8	22.51	22.19	21.87	21.56	21.24	20.93	20.62	20.31	20.00	19.69
0.9	19.38	19.07	18.77	18.46	18.16	17.86	17.55	17.25	16.96	16.66
1.0	16.36	16.07	15.78	15.48	15.19	14.91	14.62	14.33	14.05	13.76
1.1	13.48	13.20	12.93	12.65	12.37	12.10	11.83	11.56	11.29	11.02
1.2	10.76	10.50	10.23	9.97	9.72	9.46	9.21	8.96	8.71	8.46
1.3	8.21	7.97	7.73	7.49	7.25	7.02	6.79	6.56	6.33	6.10
1.4	5.88	5.66	5.44	5.23	5.02	4.81	4.60	4.39	4.19	3.99
1.5	3.80	3.61	3.42	3.23	3.05	2.87	2.69	2.52	2.35	2.19
1.6	2.03	1.87	1.72	1.57	1.42	1.28	1.15	1.02	0.89	0.77
1.7	0.66	0.55	0.45	0.36	0.27	0.19	0.12	0.06	0.02	0.00

NUMBERS IN THE BODY OF THE TABLE ARE ESTIMATES OF LOT PERCENT DEFECTIVE CORRESPONDING TO SPECIFIC VALUES OF Q, THE QUALITY INDEX. FOR VALUES OF Q GREATER THAN OR EQUAL TO ZERO, THE ESTIMATE OF PERCENT DEFECTIVE IS READ DIRECTLY FROM THE TABLE. FOR VALUES OF Q LESS THAN ZERO, THE TABLE VALUE MUST BE SUBTRACTED FROM 100.

Tabla 2.- Formato de las tablas individuales para estimación de porcentaje de unidades defectuosas

Fuente: "Planes de aceptación y de muestreo para la construcción de caminos",
AASHTO R9-86.

APÉNDICE A
CARACTERÍSTICAS DE FUNCIONAMIENTO PARA PLANES DE ATRIBUTOS
Tabla A características de funcionamiento para planes de aceptación

Attributes Acceptance Plans		Lot Size = 20												
Sample Size (n)	Acceptance Number (e)	Probability of Acceptance for Selected Levels of Lot Percent Defective												
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70
1	0	0.95	0.90	0.85	0.80	0.75	0.70	0.65	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35
2	0	0.90	0.81	0.72	0.63	0.55	0.48	0.41	0.35	0.29	0.24	0.19	0.15	0.11
3	0	0.85	0.72	0.40	0.49	0.40	0.32	0.25	0.19	0.14	0.13	0.07	0.05	0.03
3	1	1.00	0.98	0.95	0.91	0.86	0.80	0.73	0.66	0.58	0.50	0.42	0.34	0.27
4	0	0.80	0.63	0.49	0.30	0.28	0.21	0.15	0.10	0.07	0.04	0.03	0.01	0.01
4	1	1.00	0.97	0.91	0.84	0.75	0.66	0.56	0.47	0.37	0.29	0.22	0.15	0.10
5	1	1.00	0.95	0.86	0.75	0.63	0.52	0.41	0.31	0.22	0.15	0.10	0.06	0.03
5	2	1.00	1.00	0.99	0.97	0.93	0.87	0.79	0.70	0.60	0.50	0.40	0.20	0.21
6	1	1.00	0.92	0.80	0.66	0.52	0.39	0.28	0.19	0.12	0.07	0.04	0.02	0.01
6	2	1.00	1.00	0.98	0.94	0.87	0.77	0.66	0.54	0.43	0.31	0.22	0.14	0.08
7	1	1.00	0.89	0.73	0.56	0.41	0.28	0.18	0.11	0.06	0.03	0.01	0.00	0.00
7	2	1.00	1.00	0.97	0.90	0.79	0.66	0.53	0.39	0.27	0.17	0.10	0.05	0.02
8	1	1.00	0.25	0.66	0.47	0.31	0.19	0.11	0.05	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00
8	2	1.00	1.00	0.95	0.85	0.70	0.54	0.39	0.26	0.16	0.08	0.04	0.02	0.00
8	3	1.00	1.00	1.00	0.99	0.94	0.86	0.75	0.61	0.46	0.32	0.20	0.11	0.05
9	1	1.00	0.81	0.58	0.37	0.22	0.12	0.06	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
9	2	1.00	1.00	0.93	0.78	0.60	0.43	0.27	0.14	0.00	0.03	0.01	0.00	0.00
9	3	1.00	1.00	1.00	0.97	0.90	0.78	0.63	0.46	0.31	0.10	0.09	0.04	0.01
10	1	1.00	0.74	0.50	0.29	0.15	0.07	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	2	1.00	1.00	0.89	0.71	0.50	0.31	0.17	0.08	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00
10	3	1.00	1.00	1.00	0.96	0.85	0.69	0.50	0.32	0.18	0.09	0.03	0.01	0.00
15	2	1.00	1.00	0.60	0.25	0.07	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15	3	1.00	1.00	1.00	0.72	0.37	0.13	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15	4	1.00	1.00	1.00	1.00	0.81	0.48	0.21	0.06	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
15	5	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.87	0.59	0.30	0.10	0.02	0.00	0.00	0.00
20	2	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20	3	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20	4	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20	5	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20	6	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Probability of acceptance is a function of lot size for attributes plans using discrete data. For variable lot sizes, it will be necessary to plot bounding operating characteristic curves. The values in this table are appropriate for both single-limit and double-limit applications and are uninfluenced by the distributional form of the population.

Tabla 3. Características de funcionamiento para planes de aceptación

Fuente: “Planes de aceptación y de muestreo para la construcción de caminos”,

AASHTO R9-86.

Tabla A Características de funcionamiento de atributos para planes de aceptación continuos

Sample Size (n)	Acceptance Number (c)	Probability of Acceptance for Selected Levels of Lot Percent Defective													
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
1	0	0.95	0.90	0.85	0.80	0.75	0.70	0.65	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30
2	0	0.90	0.81	0.72	0.64	0.56	0.49	0.42	0.36	0.30	0.25	0.20	0.16	0.12	0.09
3	0	0.86	0.73	0.61	0.51	0.42	0.34	0.27	0.21	0.16	0.12	0.09	0.06	0.04	0.03
3	1	0.99	0.97	0.94	0.90	0.85	0.79	0.72	0.65	0.58	0.50	0.42	0.28	0.28	0.21
4	0	0.81	0.65	0.52	0.40	0.31	0.23	0.17	0.12	0.09	0.06	0.04	0.02	0.01	0.01
4	1	0.99	0.95	0.89	0.82	0.74	0.65	0.56	0.47	0.39	0.31	0.24	0.17	0.12	0.08
5	1	0.98	0.92	0.84	0.74	0.63	0.53	0.42	0.33	0.25	0.18	0.13	0.08	0.05	0.03
5	2	1.00	0.99	0.98	0.95	0.90	0.84	0.77	0.69	0.60	0.50	0.40	0.31	0.23	0.16
6	1	0.97	0.89	0.78	0.66	0.53	0.41	0.31	0.23	0.16	0.10	0.06	0.04	0.02	0.01
6	2	1.00	0.99	0.96	0.91	0.84	0.75	0.65	0.54	0.44	0.34	0.25	0.17	0.11	0.06
7	1	0.96	0.86	0.72	0.57	0.44	0.32	0.22	0.15	0.09	0.06	0.03	0.02	0.01	0.00
7	2	1.00	0.98	0.93	0.86	0.76	0.65	0.53	0.42	0.31	0.22	0.14	0.09	0.05	0.02
8	1	0.95	0.82	0.66	0.50	0.36	0.24	0.16	0.10	0.06	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00
8	2	1.00	0.97	0.90	0.80	0.68	0.55	0.42	0.31	0.21	0.13	0.08	0.04	0.02	0.01
8	3	1.00	1.00	0.98	0.95	0.90	0.81	0.71	0.60	0.48	0.36	0.25	0.16	0.10	0.05
9	1	0.94	0.78	0.60	0.43	0.29	0.18	0.11	0.06	0.03	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00
9	2	1.00	0.96	0.87	0.74	0.60	0.46	0.33	0.22	0.14	0.08	0.04	0.02	0.01	0.00
9	3	1.00	0.99	0.97	0.92	0.84	0.74	0.61	0.48	0.35	0.24	0.15	0.09	0.05	0.02
10	1	0.92	0.74	0.54	0.36	0.23	0.14	0.07	0.04	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
10	2	0.99	0.94	0.83	0.68	0.52	0.37	0.25	0.15	0.09	0.05	0.02	0.01	0.00	0.00
10	3	1.00	0.99	0.96	0.89	0.79	0.65	0.51	0.37	0.25	0.16	0.09	0.05	0.02	0.01
15	2	0.98	0.83	0.60	0.38	0.21	0.11	0.05	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15	3	1.00	0.96	0.84	0.65	0.45	0.28	0.15	0.07	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
15	4	1.00	0.99	0.95	0.85	0.70	0.51	0.34	0.20	0.10	0.05	0.02	0.01	0.00	0.00
15	5	1.00	1.00	0.99	0.95	0.87	0.73	0.57	0.39	0.24	0.13	0.06	0.02	0.01	0.00
20	2	0.95	0.68	0.38	0.18	0.07	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20	3	0.99	0.89	0.65	0.39	0.20	0.08	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20	4	1.00	0.97	0.85	0.64	0.40	0.21	0.09	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20	5	1.00	1.00	0.95	0.83	0.62	0.40	0.22	0.10	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
20	6	1.00	1.00	0.99	0.94	0.81	0.62	0.40	0.22	0.10	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00
30	3	0.97	0.65	0.28	0.08	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30	4	1.00	0.86	0.51	0.21	0.06	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30	5	1.00	0.96	0.73	0.40	0.16	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30	6	1.00	0.99	0.89	0.62	0.31	0.12	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30	7	1.00	1.00	0.96	0.80	0.51	0.24	0.08	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30	8	1.00	1.00	0.99	0.91	0.70	0.41	0.18	0.06	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
50	5	1.00	0.63	0.13	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
50	6	1.00	0.84	0.29	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
50	7	1.00	0.95	0.50	0.11	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
50	8	1.00	0.99	0.71	0.23	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
50	9	1.00	1.00	0.87	0.40	0.08	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
50	10	1.00	1.00	0.95	0.60	0.18	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
50	11	1.00	1.00	0.99	0.77	0.32	0.06	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
100	8	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
100	9	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
100	10	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Probability of acceptance is a function of lot size for attributes plans using discrete data. For variable lot sizes, it will be necessary to plot bounding operating characteristic curves. The values in this table are appropriate for both single-limit and double-limit applications and are uninfluenced by the distributional form of the population.

Tabla 4. Características de funcionamiento de atributos para planes de aceptación continuos

Fuente: "Planes de aceptación y de muestreo para la construcción de caminos",

AASHTO R9-86.

Tabla A características de funcionamiento de atributos para planes de aceptación continuos

Attributes Acceptance Plans		Lot Size = 100													
Sample Size (n)	Acceptance Number (e)	Probability of Acceptance for Selected Levels of Lot Percent Defective													
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
100	14	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
100	15	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
100	16	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
100	17	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
100	18	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
100	11	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
100	12	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
100	13	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Attributes Acceptance Plans		Lot Size = 500													
Sample Size (n)	Acceptance Number (e)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
1	0	0.95	0.90	0.85	0.80	0.75	0.70	0.65	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30
2	0	0.90	0.81	0.72	0.64	0.56	0.49	0.42	0.36	0.30	0.25	0.20	0.16	0.12	0.09
3	0	0.86	0.73	0.61	0.51	0.42	0.34	0.27	0.22	0.17	0.12	0.09	0.06	0.04	0.03
3	1	0.99	0.97	0.94	0.90	0.84	0.78	0.72	0.65	0.57	0.50	0.43	0.35	0.28	0.22
4	0	0.81	0.66	0.52	0.41	0.32	0.24	0.18	0.13	0.09	0.06	0.04	0.03	0.01	0.01
4	1	0.99	0.95	0.89	0.82	0.74	0.65	0.56	0.47	0.39	0.31	0.24	0.18	0.13	0.08
5	1	0.98	0.92	0.84	0.74	0.63	0.53	0.43	0.34	0.26	0.19	0.13	0.09	0.05	0.03
5	2	1.00	0.99	0.97	0.94	0.90	0.84	0.77	0.68	0.59	0.50	0.41	0.32	0.23	0.16
6	1	0.97	0.89	0.78	0.66	0.53	0.42	0.32	0.23	0.16	0.11	0.07	0.04	0.02	0.01
6	2	1.00	0.98	0.95	0.90	0.83	0.75	0.65	0.54	0.44	0.34	0.25	0.18	0.12	0.07
7	1	0.96	0.85	0.72	0.58	0.44	0.33	0.23	0.16	0.10	0.06	0.03	0.02	0.01	0.00
7	2	1.00	0.98	0.93	0.85	0.76	0.65	0.53	0.42	0.32	0.22	0.15	0.09	0.05	0.03
8	1	0.94	0.81	0.66	0.50	0.37	0.25	0.17	0.10	0.06	0.03	0.02	0.01	0.00	0.00
8	2	0.99	0.96	0.90	0.80	0.68	0.55	0.43	0.31	0.22	0.14	0.09	0.05	0.02	0.01
8	3	1.00	1.00	0.98	0.95	0.89	0.81	0.71	0.59	0.48	0.36	0.26	0.17	0.10	0.06
9	1	0.93	0.78	0.60	0.43	0.30	0.19	0.12	0.07	0.04	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00
9	2	0.99	0.95	0.86	0.74	0.60	0.46	0.34	0.23	0.15	0.09	0.05	0.02	0.01	0.00
9	3	1.00	0.99	0.97	0.92	0.84	0.73	0.61	0.48	0.36	0.25	0.16	0.10	0.05	0.02
10	1	0.92	0.74	0.54	0.37	0.24	0.15	0.08	0.04	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
10	2	0.99	0.93	0.82	0.68	0.52	0.38	0.26	0.16	0.10	0.05	0.03	0.01	0.00	0.00
10	3	1.00	0.99	0.95	0.88	0.78	0.65	0.51	0.38	0.26	0.17	0.10	0.05	0.02	0.01
15	2	0.97	0.82	0.60	0.39	0.23	0.12	0.06	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15	3	1.00	0.95	0.83	0.65	0.46	0.29	0.17	0.09	0.04	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00
15	4	1.00	0.99	0.94	0.84	0.69	0.51	0.35	0.21	0.12	0.06	0.02	0.01	0.00	0.00
15	5	1.00	1.00	0.98	0.94	0.85	0.72	0.56	0.40	0.26	0.15	0.07	0.03	0.01	0.00
20	2	0.93	0.68	0.40	0.20	0.09	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20	3	0.99	0.87	0.65	0.41	0.22	0.10	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20	4	1.00	0.96	0.83	0.63	0.41	0.23	0.11	0.05	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
20	5	1.00	0.99	0.94	0.81	0.62	0.41	0.24	0.12	0.05	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00
20	6	1.00	1.00	0.98	0.92	0.79	0.61	0.41	0.25	0.13	0.05	0.02	0.01	0.00	0.00
30	3	0.95	0.65	0.31	0.12	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30	4	0.99	0.83	0.52	0.25	0.09	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30	5	1.00	0.93	0.71	0.42	0.19	0.07	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30	6	1.00	0.98	0.85	0.61	0.34	0.15	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30	7	1.00	0.99	0.94	0.77	0.51	0.27	0.12	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30	8	1.00	1.00	0.98	0.88	0.68	0.43	0.22	0.09	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00

Probability of acceptance is a function of lot size for attributes plans using discrete data. For variable lot sizes, it will be necessary to plot bounding operating characteristic curves. The values in this table are appropriate for both single-limit and double-limit applications and are uninfluenced by the distributional form of the population.

Tabla 4.1. Características de funcionamiento de atributos para planes de aceptación continuos

Fuente: "Planes de aceptación y de muestreo para la construcción de caminos",

AASHTO R9-86.

Tabla A características de funcionamiento de atributos para planes de aceptación continuos

Attributes Acceptance Plans		Lot Size = 500													
Sample Size (n)	Acceptance Number (e)	Probability of Acceptance for Selected Levels of Lot Percent Defective													
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
50	5	0.97	0.62	0.21	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
50	6	0.99	0.78	0.35	0.09	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
50	7	1.00	0.89	0.52	0.18	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
50	8	1.00	0.95	0.67	0.30	0.08	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
50	9	1.00	0.98	0.80	0.44	0.15	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
50	10	1.00	0.99	0.89	0.59	0.25	0.07	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
50	11	1.00	1.00	0.95	0.72	0.37	0.13	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
100	8	0.96	0.30	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
100	9	0.99	0.44	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
100	10	1.00	0.59	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
100	11	1.00	0.72	0.14	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
100	12	1.00	0.83	0.22	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
100	13	1.00	0.90	0.33	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
100	14	1.00	0.95	0.45	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
100	15	1.00	0.98	0.57	0.10	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
100	16	1.00	0.99	0.69	0.16	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
100	17	1.00	1.00	0.79	0.25	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
100	18	1.00	1.00	0.86	0.34	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Attributes Acceptance Plans		Lot Size = Infinite													
1	0	0.95	0.90	0.85	0.80	0.75	0.70	0.65	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30
2	0	0.90	0.81	0.72	0.64	0.56	0.49	0.42	0.36	0.30	0.25	0.20	0.16	0.12	0.09
3	0	0.86	0.73	0.61	0.51	0.42	0.34	0.27	0.22	0.17	0.13	0.09	0.06	0.04	0.03
3	1	0.99	0.97	0.94	0.90	0.84	0.78	0.72	0.65	0.57	0.50	0.43	0.35	0.28	0.22
4	0	0.81	0.66	0.52	0.41	0.32	0.24	0.18	0.13	0.09	0.06	0.04	0.03	0.02	0.01
4	1	0.99	0.95	0.89	0.82	0.74	0.65	0.56	0.48	0.39	0.31	0.24	0.18	0.13	0.08
5	1	0.98	0.92	0.84	0.74	0.63	0.53	0.43	0.34	0.26	0.19	0.13	0.09	0.05	0.03
5	2	1.00	0.99	0.97	0.94	0.90	0.84	0.76	0.68	0.59	0.50	0.41	0.32	0.24	0.16
6	1	0.97	0.89	0.78	0.66	0.53	0.42	0.32	0.23	0.16	0.11	0.07	0.04	0.02	0.01
6	2	1.00	0.98	0.95	0.90	0.83	0.74	0.65	0.54	0.44	0.34	0.26	0.18	0.12	0.07
7	1	0.96	0.85	0.72	0.58	0.44	0.33	0.23	0.16	0.10	0.06	0.04	0.02	0.01	0.00
7	2	1.00	0.97	0.93	0.85	0.76	0.65	0.53	0.42	0.32	0.23	0.15	0.10	0.06	0.03
8	1	0.94	0.81	0.66	0.50	0.37	0.26	0.17	0.11	0.06	0.04	0.02	0.01	0.00	0.00
8	2	0.99	0.96	0.89	0.80	0.68	0.55	0.43	0.32	0.22	0.14	0.09	0.05	0.03	0.01
8	3	1.00	0.99	0.98	0.94	0.89	0.81	0.71	0.59	0.48	0.36	0.26	0.17	0.11	0.06
9	1	0.93	0.77	0.60	0.44	0.30	0.20	0.12	0.07	0.04	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00
9	2	0.99	0.95	0.86	0.74	0.60	0.46	0.34	0.23	0.15	0.09	0.05	0.03	0.01	0.00
9	3	1.00	0.99	0.97	0.91	0.83	0.73	0.61	0.48	0.36	0.25	0.17	0.10	0.05	0.03
10	1	0.91	0.74	0.54	0.38	0.24	0.15	0.09	0.05	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
10	2	0.99	0.93	0.82	0.68	0.53	0.38	0.26	0.17	0.10	0.05	0.03	0.01	0.00	0.00
10	3	1.00	0.99	0.95	0.88	0.78	0.65	0.51	0.38	0.27	0.17	0.10	0.05	0.03	0.01
15	2	0.96	0.82	0.60	0.40	0.24	0.13	0.06	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15	3	0.99	0.94	0.82	0.65	0.46	0.30	0.17	0.09	0.04	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00
15	4	1.00	0.99	0.94	0.84	0.69	0.52	0.35	0.22	0.12	0.06	0.03	0.01	0.00	0.00
15	5	1.00	1.00	0.98	0.94	0.85	0.72	0.56	0.40	0.26	0.15	0.08	0.03	0.01	0.00
20	2	0.92	0.68	0.40	0.21	0.09	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20	3	0.98	0.87	0.65	0.41	0.23	0.11	0.04	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabla 4.2. Características de funcionamiento de atributos para planes de aceptación continuos

Fuente: "Planes de aceptación y de muestreo para la construcción de caminos",

AASHTO R9-86.

Tabla A características de funcionamiento de atributos para planes de aceptación continuos

Attributes Acceptance Plans		Lot Size = Infinite													
Sample Size (n)	Acceptance Number (e)	Probability of Acceptance for Selected Levels of Lot Percent Defective													
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
20	4	1.00	0.96	0.83	0.63	0.41	0.24	0.12	0.05	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
20	5	1.00	0.99	0.93	0.80	0.62	0.42	0.25	0.13	0.06	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00
20	6	1.00	1.00	0.98	0.91	0.79	0.61	0.42	0.25	0.13	0.06	0.02	0.01	0.00	0.00
30	3	0.94	0.65	0.32	0.12	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30	4	0.98	0.82	0.52	0.26	0.10	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30	5	1.00	0.93	0.71	0.43	0.20	0.08	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30	6	1.00	0.97	0.85	0.61	0.35	0.16	0.06	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30	7	1.00	0.99	0.93	0.76	0.51	0.28	0.12	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30	8	1.00	1.00	0.97	0.87	0.67	0.43	0.22	0.09	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
50	5	0.96	0.62	0.22	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
50	6	0.99	0.77	0.36	0.10	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
50	7	1.00	0.88	0.52	0.19	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
50	8	1.00	0.94	0.67	0.31	0.09	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
50	9	1.00	0.98	0.79	0.44	0.16	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
50	10	1.00	0.99	0.88	0.58	0.26	0.08	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
50	11	1.00	1.00	0.94	0.72	0.38	0.14	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
100	8	0.94	0.32	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
100	9	0.97	0.45	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
100	10	0.99	0.58	0.10	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
100	11	1.00	0.70	0.16	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
100	12	1.00	0.80	0.25	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
100	13	1.00	0.88	0.35	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
100	14	1.00	0.93	0.46	0.08	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
100	15	1.00	0.96	0.57	0.13	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
100	16	1.00	0.98	0.67	0.19	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
100	17	1.00	0.99	0.76	0.27	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
100	18	1.00	1.00	0.84	0.34	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Probability of acceptance is a function of lot size for attributes plans using discrete data. For variable lot sizes, it will be necessary to plot bounding operating characteristic curves. The values in this table are appropriate for both single-limit and double-limit applications and are uninfluenced by the distributional form of the population.

Tabla 4.3 características de funcionamiento de atributos para planes de aceptación continuos

Fuente: "Planes de aceptación y de muestreo para la construcción de caminos",

AASHTO R9-86.

APÉNDICE B
CARACTERÍSTICAS DE FUNCIONAMIENTO PARA PLANES POR VARIABLES
Tabla B características de funcionamiento de variables para planes de aceptación

Variables Acceptance Plans			*** Variability—Unknown Procedure ***			Standard Deviation Method			
Sample Size (n)	Maximum Allowable Estimated Percent Defective (m)	Minimum Allowable Quality Index (k)	Probability of Acceptance for Selected Levels of Lot Percent Defective						
			10	20	30	40	50	60	70
3	34	0.556	0.89	0.71	0.52	0.35	0.22	0.12	0.05
3	36	0.492	0.91	0.74	0.56	0.39	0.24	0.13	0.06
3	38	0.425	0.93	0.78	0.60	0.42	0.27	0.15	0.07
3	40	0.357	0.95	0.81	0.64	0.46	0.30	0.17	0.08
3	42	0.287	0.96	0.84	0.68	0.50	0.33	0.20	0.09
3	44	0.216	0.97	0.87	0.71	0.54	0.37	0.22	0.11
3	46	0.145	0.98	0.89	0.75	0.58	0.41	0.26	0.13
3	48	0.073	0.98	0.91	0.79	0.63	0.46	0.29	0.15
4	28	0.660	0.88	0.66	0.44	0.27	0.14	0.06	0.02
4	30	0.600	0.91	0.70	0.48	0.29	0.16	0.07	0.02
4	32	0.540	0.93	0.74	0.52	0.33	0.18	0.08	0.03
4	34	0.480	0.94	0.77	0.56	0.36	0.20	0.10	0.03
4	36	0.420	0.96	0.81	0.60	0.40	0.23	0.11	0.04
4	38	0.360	0.97	0.84	0.64	0.44	0.26	0.13	0.05
4	40	0.300	0.97	0.86	0.69	0.48	0.30	0.15	0.06
4	42	0.240	0.98	0.89	0.72	0.53	0.33	0.18	0.07
4	44	0.180	0.99	0.91	0.74	0.57	0.37	0.20	0.09
4	46	0.120	0.99	0.93	0.79	0.61	0.41	0.23	0.10
5	26	0.692	0.89	0.65	0.40	0.22	0.10	0.04	0.01
5	28	0.632	0.92	0.69	0.45	0.25	0.12	0.04	0.01
5	30	0.572	0.94	0.73	0.49	0.28	0.14	0.05	0.01
5	32	0.513	0.95	0.77	0.54	0.32	0.16	0.06	0.02
5	34	0.455	0.96	0.81	0.58	0.36	0.18	0.07	0.02
5	36	0.397	0.97	0.84	0.43	0.40	0.21	0.09	0.03
5	38	0.339	0.78	0.87	0.67	0.44	0.25	0.11	0.03
5	40	0.282	0.99	0.90	0.71	0.49	0.28	0.13	0.04
5	42	0.225	0.99	0.92	0.75	0.54	0.32	0.15	0.05
5	44	0.169	0.99	0.93	0.79	0.58	0.36	0.18	0.06
6	24	0.740	0.89	0.62	0.35	0.17	0.06	0.02	0.00
6	26	0.678	0.92	0.67	0.40	0.20	0.08	0.02	0.00
6	28	0.618	0.94	0.71	0.45	0.23	0.10	0.03	0.01
6	30	0.558	0.95	0.76	0.49	0.27	0.11	0.04	0.01
6	32	0.500	0.97	0.80	0.55	0.31	0.14	0.05	0.01
6	34	0.442	0.98	0.84	0.60	0.35	0.16	0.06	0.01
6	36	0.386	0.98	0.87	0.64	0.39	0.19	0.07	0.02
6	38	0.329	0.99	0.90	0.69	0.44	0.23	0.09	0.02
6	40	0.274	0.99	0.92	0.74	0.49	0.27	0.11	0.03
6	42	0.219	1.00	0.94	0.78	0.54	0.31	0.13	0.04
7	22	0.796	0.88	0.57	0.29	0.12	0.04	0.01	0.00
7	24	0.732	0.91	0.63	0.34	0.15	0.05	0.01	0.00
7	26	0.670	0.93	0.68	0.39	0.18	0.06	0.02	0.00
7	28	0.610	0.95	0.73	0.44	0.21	0.08	0.02	0.00
7	30	0.550	0.97	0.78	0.50	0.25	0.10	0.03	0.00
7	32	0.492	0.98	0.82	0.55	0.29	0.12	0.04	0.01
7	34	0.435	0.98	0.86	0.61	0.34	0.15	0.05	0.01
7	36	0.379	0.99	0.89	0.66	0.39	0.18	0.06	0.01

The acceptance probabilities in this table are accurate for single-limit plans and are approximately correct for double-limit plans. For single-limit plans, either the maximum allowable estimated percent defective (m) or the minimum allowable quality index (k) may be specified. For double-limit plans, only the maximum allowable estimated percent defective should be used.

Tabla 5 características de funcionamiento de variables para planes de aceptación

Tabla B Características de funcionamiento de variables para planes de aceptación continuos

Variables Acceptance Plans			***		Variability—Unknown Procedure				***		Standard Deviation Method	
Sample Size Size (n)	Maximum Allowable Estimated Percent Defective (m)	Minimum Allowable Quality Index (k)	Probability of Acceptance for Selected Levels of Lot Percent Defective									
			5	10	15	20	25	30	35			
7	38	0.324	0.99	0.91	0.71	0.44	0.21	0.07	0.02			
7	40	0.269	1.00	0.80	0.75	0.49	0.25	0.09	0.02			
8	22	0.792	0.90	0.58	0.28	0.11	0.03	0.01	0.00			
8	24	0.727	0.92	0.64	0.33	0.13	0.04	0.01	0.00			
8	26	0.665	0.95	0.70	0.38	0.16	0.05	0.01	0.00			
8	28	0.604	0.96	0.75	0.44	0.20	0.07	0.01	0.00			
8	30	0.545	0.98	0.80	0.50	0.24	0.08	0.02	0.00			
8	32	0.488	0.98	0.84	0.56	0.28	0.11	0.03	0.00			
8	34	0.431	0.99	0.87	0.62	0.33	0.13	0.04	0.01			
8	36	0.375	0.99	0.90	0.67	0.38	0.16	0.05	0.01			
8	38	0.320	1.00	0.93	0.70	0.44	0.20	0.06	0.01			
9	20	0.855	0.87	0.52	0.22	0.07	0.02	0.00	0.00			
9	22	0.788	0.91	0.58	0.27	0.09	0.02	0.00	0.00			
9	24	0.724	0.94	0.65	0.32	0.12	0.03	0.01	0.00			
9	26	0.661	0.96	0.71	0.38	0.15	0.04	0.01	0.00			
9	28	0.401	0.97	0.76	0.44	0.18	0.05	0.01	0.00			
9	30	0.542	0.98	0.81	0.50	0.22	0.07	0.01	0.00			
9	32	0.484	0.99	0.85	0.56	0.27	0.09	0.02	0.00			
9	34	0.428	0.99	0.89	0.62	0.32	0.12	0.03	0.00			
9	36	0.373	1.00	0.92	0.68	0.38	0.15	0.04	0.01			
10	20	0.853	0.89	0.51	0.21	0.06	0.01	0.00	0.00			
10	22	0.786	0.92	0.59	0.26	0.08	0.02	0.00	0.00			
10	24	0.721	0.95	0.63	0.31	0.10	0.02	0.00	0.00			
10	26	0.459	0.97	0.72	0.37	0.13	0.03	0.01	0.00			
10	28	0.598	0.98	0.77	0.43	0.17	0.05	0.01	0.00			
10	30	0.539	0.99	0.82	0.50	0.21	0.06	0.01	0.00			
10	32	0.482	0.99	0.87	0.57	0.26	0.08	0.02	0.00			
10	34	0.426	1.00	0.90	0.63	0.31	0.11	0.02	0.00			
15	11	1.216	0.90	0.60	0.33	0.15	0.06	0.02	0.01			
15	12	1.168	0.93	0.66	0.37	0.18	0.08	0.03	0.01			
15	13	1.122	0.95	0.71	0.42	0.22	0.10	0.04	0.01			
15	14	1.079	0.96	0.75	0.47	0.25	0.12	0.05	0.02			
15	15	1.037	0.97	0.79	0.53	0.29	0.14	0.06	0.02			
15	16	0.996	0.98	0.83	0.57	0.34	0.17	0.08	0.03			
15	17	0.958	0.99	0.86	0.62	0.38	0.20	0.09	0.04			
15	18	0.920	0.99	0.89	0.67	0.42	0.23	0.11	0.05			
15	19	0.883	0.99	0.91	0.71	0.47	0.26	0.13	0.06			
15	20	0.848	1.00	0.93	0.75	0.51	0.30	0.15	0.07			
15	21	0.813	1.00	0.95	0.79	0.56	0.34	0.18	0.08			
15	22	0.780	1.00	0.96	0.82	0.60	0.38	0.21	0.10			
15	23	0.747	1.00	0.97	0.85	0.64	0.42	0.24	0.12			
15	24	0.715	1.00	0.98	0.87	0.69	0.46	0.27	0.14			
15	25	0.683	1.00	0.98	0.90	0.72	0.51	0.31	0.16			
15	26	0.652	1.00	0.99	0.92	0.76	0.55	0.34	0.19			
15	27	0.422	1.00	0.99	0.93	0.79	0.59	0.38	0.21			
15	28	0.592	1.00	0.99	0.95	0.82	0.63	0.42	0.24			
15	29	0.562	1.00	1.00	0.96	0.85	0.67	0.46	0.27			
20	10	1.271	0.90	0.54	0.24	0.09	0.03	0.01	0.00			
20	11	1.219	0.93	0.61	0.29	0.11	0.04	0.01	0.00			
20	12	1.170	0.95	0.67	0.35	0.14	0.05	0.01	0.00			

The acceptance probabilities in this table are accurate for single-limit plans and are approximately correct for double-limit plans. For single-limit plans, either the maximum allowable estimated percent defective (m) or the minimum allowable quality index (k) may be specified. For double-limit plans, only the maximum allowable estimated percent defective should be used.

Tabla 5.1. Características de funcionamiento de variables para planes de aceptación continuos

Tabla B Características de funcionamiento de variables para planes de aceptación continuos

Variables Acceptance Plans			Variability—Unknown Procedure							Standard Deviation Method	
Sample Size (n)	Maximum Allowable Estimated Percent Defective (m)	Minimum Allowable Quality Index (k)	Probability of Acceptance for Selected Levels of Lot Percent Defective								
			5	10	15	20	25	30	35		
20	13	1.123	0.97	0.73	0.40	0.18	0.06	0.02	0.01		
20	14	1.079	0.98	0.78	0.46	0.22	0.08	0.03	0.01		
20	15	1.036	0.99	0.82	0.52	0.26	0.11	0.04	0.01		
20	16	0.996	0.99	0.86	0.58	0.31	0.13	0.05	0.01		
20	17	0.956	0.99	0.89	0.64	0.35	0.16	0.06	0.02		
20	18	0.918	1.00	0.92	0.69	0.41	0.19	0.08	0.03		
20	19	0.882	1.00	0.94	0.74	0.46	0.23	0.10	0.03		
20	20	0.846	1.00	0.96	0.78	0.51	0.27	0.12	0.04		
20	21	0.811	1.00	0.97	0.82	0.56	0.31	0.14	0.05		
20	22	0.777	1.00	0.98	0.85	0.62	0.36	0.17	0.07		
20	23	0.744	1.00	0.98	0.88	0.66	0.41	0.20	0.08		
20	24	0.712	1.00	0.99	0.91	0.71	0.46	0.24	0.10		
20	25	0.680	1.00	0.99	0.93	0.75	0.51	0.28	0.12		
20	26	0.649	1.00	1.00	0.95	0.79	0.55	0.32	0.15		
30	9	1.332	0.90	0.44	0.13	0.03	0.00	0.00	0.00		
30	10	1.275	0.94	0.53	0.18	0.04	0.01	0.00	0.00		
30	11	1.221	0.96	0.62	0.24	0.06	0.01	0.00	0.00		
30	12	1.171	0.98	0.69	0.30	0.09	0.02	0.00	0.00		
30	13	1.124	0.99	0.76	0.37	0.12	0.03	0.01	0.00		
30	14	1.079	0.99	0.82	0.44	0.16	0.04	0.01	0.00		
30	15	1.036	1.00	0.87	0.52	0.21	0.06	0.01	0.00		
30	16	0.995	1.00	0.91	0.59	0.26	0.08	0.02	0.00		
30	17	0.955	1.00	0.93	0.66	0.32	0.11	0.03	0.01		
30	18	0.917	1.00	0.96	0.72	0.38	0.14	0.04	0.01		
30	19	0.880	1.00	0.97	0.78	0.44	0.18	0.05	0.01		
30	20	0.844	1.00	0.98	0.83	0.51	0.22	0.07	0.02		
30	21	0.809	1.00	0.99	0.87	0.57	0.27	0.09	0.02		
30	22	0.775	1.00	0.99	0.90	0.64	0.33	0.12	0.03		
30	23	0.742	1.00	1.00	0.93	0.70	0.38	0.15	0.04		
50	8	1.398	0.90	0.29	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00		
50	9	1.335	0.95	0.41	0.07	0.01	0.00	0.00	0.00		
50	10	1.277	0.97	0.52	0.11	0.01	0.00	0.00	0.00		
50	11	1.223	0.99	0.64	0.17	0.02	0.00	0.00	0.00		
50	12	1.173	0.99	0.73	0.24	0.04	0.00	0.00	0.00		
50	13	1.125	1.00	0.82	0.33	0.06	0.01	0.00	0.00		
50	14	1.080	1.00	0.88	0.42	0.10	0.01	0.00	0.00		
50	15	1.036	1.00	0.92	0.51	0.14	0.02	0.00	0.00		
50	16	0.995	1.00	0.95	0.61	0.20	0.03	0.00	0.00		
50	17	0.955	1.00	0.97	0.69	0.26	0.05	0.01	0.00		
50	18	0.916	1.00	0.99	0.77	0.34	0.08	0.01	0.00		
50	19	0.879	1.00	0.99	0.83	0.42	0.11	0.02	0.00		
50	20	0.843	1.00	1.00	0.80	0.51	0.16	0.03	0.00		
100	7	1.471	0.89	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
100	8	1.402	0.96	0.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
100	9	1.338	0.99	0.35	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00		
100	10	1.279	1.00	0.52	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00		
100	11	1.225	1.00	0.68	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00		
100	12	1.174	1.00	0.80	0.15	0.01	0.00	0.00	0.00		
100	13	1.126	1.00	0.89	0.25	0.01	0.00	0.00	0.00		
100	14	1.080	1.00	0.95	0.37	0.03	0.00	0.00	0.00		
100	15	1.036	1.00	0.98	0.51	0.06	0.00	0.00	0.00		
100	16	0.995	1.00	0.99	0.64	0.11	0.00	0.00	0.00		
100	17	0.954	1.00	1.00	0.76	0.10	0.01	0.00	0.00		

Tabla 5.2. Características de funcionamiento de variables para planes de aceptación continuos

Fuente: "Planes de aceptación y de muestreo para la construcción de caminos",
AASHTO R9-86.

4.5.2.- Método “B”: Porcentaje dentro de tolerancia

B.1 Definición

El porcentaje “dentro de tolerancia”, es el porcentaje de una determinada población estadística cuyo valor se encuentra dentro del ó los límites especificados inferior o superior o ambos inferior y superior, respectivamente.

La medida de calidad usada en ésta definición es el **porcentaje dentro de tolerancia del lote**.

B.2 Generalidades

Para ser realistas y prácticos, cualquier plan de aceptación debe satisfacer con certeza los prerequisites, los cuales además involucran algunas facetas adicionales del problema total. Los prerequisites más importantes son los siguientes:

- Debe haber una directa relación entre los "niveles críticos" y los requerimientos de la especificación definida por el comprador y la medida o estimación del riesgo.
- El riesgo del comprador y del vendedor debe ser seleccionado de tal manera que tanto la ABC como el Contratista deben estar satisfechos al aceptar el riesgo asociado con el plan de aceptación, el cual corresponde al nivel crítico del requerimiento de una especificación particular.

Debe quedar establecido que un ítem o material cuya característica medida se encuentra DENTRO DE TOLERANCIA es considerado enteramente satisfactorio.

B.3 Selección del riesgo de acuerdo con el "Nivel Crítico"

Como fue planteado anteriormente, existe riesgo tanto para el comprador como para el vendedor cada vez que se toma una decisión de aceptar o rechazar un lote de material o de construcción ejecutada.

Los límites de asignación de estos riesgos y la manera de dividirlos entre el comprador y el vendedor dependen grandemente del rango de requerimientos del nivel crítico.

Valores sugeridos de probabilidad asociados con el nivel crítico están tabulados en la siguiente tabla. Por conveniencia se usan éstos valores en ecuaciones y cuando están referidos a tablas, los riesgos están establecidos en términos de:

- P_g . La probabilidad aproximada de rechazar un material aceptable o un ítem con el valor medio deseable X'_g de la característica analizada (riesgo del vendedor).
- P_p La probabilidad de rechazar un material inaceptable o ítem que tenga un valor medio X'_p de la característica medida, no aceptable. (riesgo del comprador).

Clasificación del requerimiento	P_g (riesgo del vendedor)	P_p (riesgo del comprador)
Crítico	0.050	0.995
Mayor	0.010	0.950
Menor	0.005	0.900
Contractual	0.001	0.800

Tabla 6: Probabilidad de rechazo en relación al "Nivel Crítico"

Fuente: "Planes de aceptación y de muestreo para la construcción de caminos",
AASHTO R9-86.

En general una alta probabilidad de rechazo incrementa la seguridad de que sólo será aceptado material de alta calidad, pero de esto resulta un incremento de costos debido a que adicionalmente podrá ser rechazado material con promedio superior al esperado creando un irrealista alto nivel. Los planes de aceptación funcionan en tanto que la desviación estándar, σ , de la construcción o de los materiales estudiados no es menor que el valor aceptable, por tanto la probabilidad de rechazar un buen material, disminuye. Lo inverso también es cierto. **Cuando esto es entendido por el contratista o el proveedor de materiales, se crea un incentivo fuerte para suministrar uniformidad a la construcción o la producción de materiales.**

B.4 Tipos de planes de aceptación

B.4.1 Planes de aceptación por atributos

Planes de aceptación por atributos son aquellos que pueden usarse cuando no es práctica la medida de una característica y el ítem inspeccionado puede clasificarse como aceptable o defectuoso.

Para usar un plan por atributos debe ser previamente establecido el porcentaje esperado de defectos en un lote aceptable.

El procedimiento de muestreo que aceptará un lote con un predeterminado número de elementos defectuosos consiste en el sorteo aleatorio de una muestra de n ítems del lote y la inspección de los elementos con defectos. De las n observaciones se determina el número de elementos defectuosos. El número de defectos encontrado entre los n ítems es comparado con el valor tabular, predeterminado como aceptable. Si el número de defectos en la muestra es mayor que el valor tabular el lote es rechazado. Los valores tabulares para varios valores de AQL y " n " son dados en la tabla 10.

B.4.2 Planes de aceptación por variables

Los planes para inspección por variables se aplican a todos los casos donde las características son "medibles".

Existen 2 casos, en los que la variabilidad del proceso es medida por la desviación estándar (σ): uno donde σ es conocida, y otro en el que no.

Actualmente en la mayoría de las aplicaciones de métodos estadísticos para especificación de construcción de carreteras, la desviación estándar real no es conocida. De cualquier modo puede asumirse conocida si es estimada de un gran número de medidas de los valores de una característica determinada, y el proceso que produce el material o construcción puede asumirse estable y libre de causas de variación externas (asignables a agentes ajenos al proceso).

Si la desviación estándar real es conocida, tanto el riesgo del comprador como del vendedor puede ser asignado a un valor deseado.

Cuando la desviación estándar real σ no es conocida puede ser estimada de las medidas de la muestra o de valores típicos de condiciones similares.

El plan presentado por el procedimiento AASHTO R-9 hace uso del método del rango estimado R o s . Cuando la desviación estándar no es conocida sólo un riesgo, el del vendedor o el del comprador, puede ser controlado. El otro dependerá del valor real de la desviación estándar.

En el procedimiento R-9 el método ha fijado el riesgo del comprador.

El plan asigna entonces un "premio" a la uniformidad, debido a que el material o ítem de construcción debe tener una media aceptable de calidad así como un valor uniforme para las características medidas, así se hace menos susceptible al rechazo que aquel material o trabajo con valores ampliamente variables.

La uniformidad y un valor medio aceptablemente bueno, es deseado en la construcción de caminos; un plan de aceptación con estas características será generalmente apropiado.

Otras ventajas son: Si se asume que la desviación estándar no es conocida, los planes pueden ser diseñados apropiando planes de materiales similares producidos por diferentes procesos y para ítems de construcción iguales ejecutados por métodos diferentes y con distintos tipos de material.

Con un plan de aceptación de variables, los límites de especificación pueden tomar 3 formas para la medida de las características; pueden tener un límite superior, un límite inferior, o ambos (superior e inferior).

El plan puede emplearse en una de dos maneras:

- Puede especificar un porcentaje mínimo de material o ítem de construcción que tenga el valor de la característica medida dentro de los límites,
- ó puede especificarse un valor máximo o mínimo o ambos (máximo y mínimo).

B.5 Guía para el desarrollo de los límites de aceptación

El objetivo de la determinación numérica de los límites en un plan de aceptación, es asegurar un adecuado rendimiento a un costo económico.

En todos los casos el incremento de la calidad sube el costo de la obra en forma de un elevado precio y de tiempo adicional de ingeniería. El uso adecuado de los valores límite puede balancear el costo adecuadamente.

La calidad exacta que el comprador está dispuesto a pagar debe estar especificada en términos de límites y números realistas é irrefutables de las características significativas.

B.5.1 Definición de calidad

- Una característica significativa es aquella que afecta directamente el rendimiento y operación de un determinado material o ítem. Como tal es una medida de calidad. Para asegurar la calidad es necesario asignar los límites relativos al rendimiento de las características significativas de un material o ítem de construcción.
- Un plan de aceptación práctico deberá definir la calidad deseada en términos de niveles realistas para características significativas. Donde esto no es enteramente posible los requerimientos deben ser establecidos en términos de propiedades **medibles** teniendo en cuenta que las exigencias de los requerimientos probablemente incrementarán el costo pudiendo no ser necesario el empleo de éste valor incrementado.
- El propósito de predeterminar los límites numéricos para una propiedad **medible** es para asegurar que no existan elementos que puedan afectar el rendimiento y que no excedan éstos límites para asegurar la uniformidad.

B.5.2 Procedimiento para establecer límites realistas.

- Primero, deben ser determinadas las características significativas que controlan el rendimiento del material o de un ítem de construcción.
- Si una característica significativa no puede ser medida directamente, se deben determinar las propiedades que son conocidas o que pueden ser correlacionadas con una característica significativa y prácticamente medible.
- Posteriormente se debe seleccionar el método de ensayo que sea como el más práctico y económico para medir las propiedades. Esto involucra la consideración de:
 - a) Selección de un método que proporcione una rápida indicación de una posible deficiencia para hacer posible la acción adecuada de remedio.
 - b) Evaluación del Costo del equipo y mano de obra.
 - c) Verificación de la exactitud de la medida.

Un método con menos precisión puede ser preferible a un método más preciso si es posible obtener mayor cantidad de resultados en un tiempo corto, debido a que con muchos más resultados el valor de la desviación estándar puede reducirse.

- Usando el ensayo seleccionado, el cual podrá emplearse para propósitos de aceptación, realizar el número suficiente de medidas para proporcionar estimaciones aceptables de la media y de la desviación estándar de la propiedad medida.
- Realizar el ensayo el número de veces suficiente (en diferentes lugares) para determinar si la desviación estándar de la propiedad medida:
 - a. varía ampliamente debido a diferentes condiciones de construcción, equipo o materiales y que también el valor medio de la característica tiene una amplia variación.

- b. varía ampliamente pero el valor medio de la propiedad medida permanece cerca del valor esperado.
- c. es prácticamente constante bajo condiciones normales de construcción.
- En base al análisis de los resultados obtenidos seleccionar el plan de aceptación apropiado según la "guía para la selección del tipo de plan de aceptación" dada en el apartado B.6.

B.5.3 Otros métodos de establecimiento de los límites numéricos.

- Los límites pueden ser asignados en base a valores de requerimientos de ingeniería o como especificaciones estándar. Sin embargo debe tenerse cuidado en tomar el límite adecuado para asegurar que **éste sea realista para materiales locales** y adecuados para los requerimientos de rendimiento. El método de ensayo especificado para aceptación debe ser el mismo que se usa para la deducción de los límites.
- Los límites estadísticos basados en especificaciones existentes o en el análisis de un historial de datos pueden no ser realistas, esto debido a que los límites estadísticos son diseñados para incluir las variaciones normales de la probabilidad de muestreo de la propiedad medida. Los límites corrientes especificados u obtenidos de un historial de datos están basados frecuentemente en muestras representativas y en algunos casos son los resultados de un remuestreo.

B.6 Guía para la selección del tipo de plan de aceptación

La guía ofrecida por AASHTO R-9 presenta 4 casos, a saber:

B.6.1 Caso 1.- Plan para estimar el porcentaje dentro de tolerancia.

La media y la desviación estándar son desconocidas o si son conocidas varían en un amplio rango, el criterio para el plan de aceptación puede ser el porcentaje de medidas que puede esperarse con fallas con un límite o límites dados.

Cada límite puede ser un valor arbitrario, pero para ser un valor realista en el porcentaje dentro de tolerancia esperado para el material o construcción, deberá estar derivado de las medidas sobre muestras probabilísticas tomadas de materiales o construcciones aceptables.

B.6.2 Caso 2.- Plan para proporcionar protección contra la aceptación de materiales pobres; la desviación estándar es desconocida.

- Este es el plan más eficiente porque utiliza al máximo toda la información disponible para las situaciones de aceptación. En diferencia a los planes usualmente empleados en la industria, éste plan está diseñado para proporcionar una probabilidad fija de rechazo de los sectores y lotes pobres, sobre la responsabilidad del vendedor (contratista o proveedor) de suplir el material o construcción con otro de calidad aceptable y uniforme.
- Incrementos en la variación de calidad o disminución en el nivel de calidad, incrementan grandemente el riesgo de rechazo del vendedor.
- Para tomar una decisión, de rechazo o aceptación de un lote es necesario solamente tomar 4 o más muestras, calcular su media ($\bar{X}$) y rango (R) o si se está usando el método de la desviación estándar calcular la desviación estándar σ de la muestra, entonces dividir la diferencia entre la media de las medidas y el valor medio del material pobre (inaceptable) por el valor computado del rango o de la desviación estándar de la muestra medida. Si el resultado es mayor o menor que los límites superior e inferior respectivamente, el lote es rechazado.
- Este es probablemente el plan más apropiado para el uso general en todos los casos, donde materiales y construcciones inaceptables pueden definirse en términos del valor medio de alguna característica o propiedad medible. No es necesaria información adicional para fijar el riesgo del comprador. Para estimar el riesgo del vendedor debe estar disponible una estimación razonablemente buena de la desviación estándar σ , o debe ser deducida. Una estimación puede obtenerse de medidas de muestras de probabilidades tomadas de materiales o construcciones similares. (En esta investigación se considera exclusivamente métodos de cálculo con la desviación estándar, los métodos asociados al rango han sido desestimados)

B.6.3 Caso 3.- Plan para fijar protección contra la aceptación de materiales pobres o el rechazo de buenos materiales; la desviación estándar es conocida.

- Este plan es apropiado para usarlo con cualquier material o construcción aceptables o inaceptables, y puede estar definido en términos del valor medio de alguna característica significativa o propiedad medible con la desviación estándar conocida.
- Las ventajas de éste tipo de plan son que tanto el riesgo del comprador como del vendedor pueden ser fijados y que requiere un número menor de medidas como base de una decisión de aceptación.

B.6.4 Caso 4.- Plan para proporcionar protección contra la aceptación de lotes que contienen un excesivo porcentaje de ítems defectuosos.

- Este tipo de plan puede ser usado **cuando las características significativas no pueden ser medidas** y no están asociadas a una propiedad medible. En tal situación la decisión de aceptación está basada en el número de defectos en el lote.
- El plan recomendado tiene riesgo de vendedor o probabilidad de rechazar un material o construcción buenos, del 11% al 1%, dependiendo del tamaño del lote proporcionando una selección de valores para el riesgo del comprador. Para usar el plan debe hacerse un número definido de observaciones por muestreo probabilístico. El número de observaciones que indica condiciones fuera de tolerancia o defectos es entonces comparado con un valor tabular (ver cuadro 2). Si este valor es excedido el lote es rechazado (asimismo este tipo de plan es fácil de diseñar y usar, pero no es tan eficiente como los planes que usan medidas como base de decisiones de aceptación, en otras palabras se requieren más observaciones que medidas para el mismo riesgo de caer en un error del tipo I o del tipo II.

B.7 Guía para el diseño de especificaciones de planes de aceptación.

B.7.1 Caso I. Plan para estimar el porcentaje dentro de tolerancia. Media y desviación Estándar son desconocidas.

Paso 1.- Establecer el valor nominal deseado de las medidas registradas.

Paso 2.- Establecer el tamaño de la muestra o el número de localizaciones aleatorias para que se ejecuten las medidas de aceptación. Se sugieren números basados en el "nivel crítico" de las características significativas para la aplicación del plan.

Clasificación del requerimiento	Número de medidas
Crítico	10
Mayor	7
Menor	5
Contractual	4

Tabla 7. Número de medidas en relación al "Nivel Crítico"

*Fuente: "Planes de aceptación y de muestreo para la construcción de caminos",
AASHTO R9-86.*

Paso 3- Establecer la tolerancia o tolerancias (superior e inferior) para éstas medidas y el porcentaje de material o construcción que debe caer dentro de tolerancia.

La tolerancia y el porcentaje esperado dentro de tolerancia deben ser realistas y podría estar basado en los valores obtenidos en las medidas de una construcción aceptable.

Paso 4.- Establecer la acción a ser tomada si el porcentaje dentro de tolerancia del material o construcción es menor que el especificado.

Paso 5.- Establecer los límites extremos de la medida para materiales o ítems aceptables y la acción a ser tomada si este requerimiento no es alcanzado.

Paso 6.- Suministrar las direcciones para la aplicación de planes de aceptación usando símbolos estándar. En este trabajo se descartan los procedimientos en los que se aplica el rango R, únicamente se consideran los procedimientos con desviación estándar.

a) Media de todas las medias

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

b) En casos donde el tamaño de la muestra es menor a 10 ($n < 10$) calcular la desviación estándar de la muestra.

$$Q_U = \frac{U - \bar{X}}{S}$$

c) Calcular el índice de calidad Q_U

$$Q_L = \frac{\bar{X} - L}{S}$$

d) Calcular el índice de calidad Q_L

e) Estimar el porcentaje del lote dentro del límite superior de tolerancia entrando en la tabla 4A si se está usando el método de la desviación estándar. (Los valores tabulares pueden ser graficados cuando se fija un número de medidas para ser usado en concordancia con un plan particular de aceptación)

f) Estimar el porcentaje del lote dentro del límite inferior de tolerancia utilizando la tabla 4ª con Q_L usando la columna apropiada para el número total de medidas (n) de la muestra. (Los valores tabulares pueden ser graficados cuando se fija un número de medidas para ser usado en concordancia con un plan particular de aceptación).

g) En casos donde ambos límites inferior y superior están determinados calcular el porcentaje del lote dentro de tolerancia de:

$$P_{U,L} = (P_U + P_L) - 100$$

B.7.2 Caso 2 Plan para proporcionar protección contra la aceptación de materiales pobres. Desviación estándar desconocida.

- Definición de Símbolos

$\bar{X}'_g$ = Valor medio de un lote aceptable el cual debería tener una pequeña probabilidad de rechazo P_g .

$\bar{X}'_p$ = Valor medio de un lote que está fuera de los límites de calidad o es inaceptable, el cual deberá tener una alta probabilidad de rechazo P_p .

P_p = Ver $\bar{X}'_g$ pequeña probabilidad de rechazo de un material bueno.

$P = (\bar{X}'_p)$; Alta probabilidad de rechazo de un material malo

$K_p = \frac{\bar{X}'_g - \bar{X}'_p}{\sigma}$ = El número de la desviación estándar en unidades entre el valor promedio de la característica medida de materiales o construcción aceptable o inaceptable.

T_a = La distancia entre medias ($\bar{X}'_g - \bar{X}'_p$) en unidades medidas

R = El rango de las medidas de la característica tomada en la muestra, o la diferencia entre el valor más grande y el más pequeño de la muestra.

$\bar{R}$ = Media aritmética del rango

M = Un factor usado para convertir la desviación estándar de la muestra, S , en el rango R ,

$S = M * R$ Los valores necesarios de M son 0.486, 0.430, 0.370 y 0.337 para $n=4, 5, 7$ y 9 respectivamente.

t = Es el número de unidades correspondiente a la desviación estándar con el que se define un área dada sobre la curva de distribución "t"

s = Es un estimado de la desviación estándar σ , en éste plan computado a partir del rango (R) o a partir de la muestra.

n = número de elementos a ser medidos y sobre los cuales estará basada la decisión de aceptación. Nótese que esto es un número fijo de medidas y no un mínimo. En general otros factores permanecen constantes, **incrementando el número de medidas decrecerá el riesgo de aceptación de un material inaceptable o de rechazar un material aceptable.**

U = Límite superior especificado

L = Límite inferior especificado

- **Consideraciones generales.** Para diseñar éste tipo de plan, con una probabilidad fija, P_p , de rechazo del material pobre, para una especificación particular, es necesario especificar el valor de $X'p$ para lotes inaceptables. Como fue descrito previamente este valor estaría basado en requerimientos (propiamente ingenieriles) razonables o en características de materiales o construcciones aceptables. La calidad exacta requerida deberá estar especificada tan cercana como sea posible, incluidas las tolerancias correspondientes al plan de aceptación. Se reitera que el uso de valores altos solamente puede resultar en un incremento de costo o de dificultades de construcción.
- La probabilidad P_p deberá estar escogida en base al "nivel crítico" de las características. La probabilidad P_g , de rechazar un material inaceptable está dada en la tabla 8, usando el valor presente de la desviación estándar que sería igual al valor estimado o reducido.

Clasificación del requerimiento	Probabilidad (a) de rechazo de un buen material P_g .	Probabilidad de rechazo de un mal material P_p .	t	Número de medidas n	Diferencia entre medias T_a (b)	Límites de aceptación (c)
Crítico	0.0640	0.995	3.355	9	$\pm 1.75\sigma$	$X'p \pm 0.367R$
Mayor	0.0085	0.950	1.943	7	$\pm 1.75\sigma$	$X'p \pm 0.271R$
Menor	0.0043	0.900	1.533	5	$\pm 2.00\sigma$	$X'p \pm 0.295R$
Contractual	0.0005	0.800	0.978	4	$\pm 2.25\sigma$	$X'p \pm 0.237R$

(a) Probabilidades para especificaciones de límite simple. Cuando la especificación es de dos límites la probabilidad de rechazar material aceptable teóricamente puede ser el doble.

(b) La diferencia entre las medias es aproximadamente igual al valor estimado de σ multiplicado por los valores tabulados.

(c) $\bar{X}'_p \pm T_s$ donde $T_s = \frac{ts}{\sqrt{n}} = \frac{tMR}{\sqrt{n}}$

Tabla 8. Balance sugerido para la especificación de factores de aceptación, Desviación estándar desconocida.

Fuente: "Planes de aceptación y de muestreo para la construcción de caminos", AASHTO R9-86.

- Por conveniencia se sugieren valores de P_g y P_p dados en la tabla 8 para diferentes clasificaciones de "nivel crítico" de las características significativas o de la propiedad medida. Si esta clasificación de "nivel crítico" y los pares asociados

Pg. y PP. son aceptados, toda la información necesaria para asignar los límites de especificación para el uso de éste plan están dados en la tabla 8.

- Cuando se usa este plan particular de muestre, se tienen los materiales inaceptables en medio de materiales extraídos de un lote cuya media es $\bar{X}$; Pg es la probabilidad de rechazar éste material.
- Por ejemplo si la especificación tiene solamente un límite superior o inferior y si 1000 lotes de materiales críticos de calidad inaceptable son ofrecidos para la prueba correspondiente por éste plan, 99.5 % ó cerca de 995 lotes deberán ser rechazados.
- Si la especificación tiene solo un límite superior o inferior y el valor presente de la desviación estándar del lote, " σ ", es igual al valor asumido o deducido, tal que la distancia entre las medias, T_a , de materiales inaceptables y aceptables es aproximadamente igual a $K_p \sigma$, la probabilidad de rechazar un lote aceptable de materiales críticos es 6,4%. Por ejemplo si 1000 lotes de materiales críticos son ofrecidos para la prueba para ser aceptados o rechazados por éste plan, cerca de 64 lotes deberán ser rechazados.
- Si la especificación tiene ambos límites la probabilidad de rechazar un buen material se duplica y Pg pasa a ser 12.8%, tanto que alrededor de 128 lotes inaceptables deberían ser rechazados.

Existen 3 posibles casos:

2a) La especificación establece un límite inferior de aceptabilidad.

2b) La especificación establece un límite superior.

2c) La especificación establece límites superior e inferior

B.7.3 Caso 3. Plan para proporcionar protección fija contra aceptación de materiales pobres o contra el rechazo de materiales buenos. La desviación estándar es conocida.

Este plan es muy similar al usado en el caso 2, la principal diferencia es que el valor real de la desviación estándar σ de la característica es considerado conocido no susceptible a cambios. Como antes, P_g se refiere a la probabilidad de rechazar un material o construcción buenos y P_p se refiere a la probabilidad de rechazar los materiales o construcciones fuera del límite o en el límite mismo de la especificación.

Como en caso 2 los valores sugeridos de probabilidad para características con diferentes grados de "nivel crítico" han sido seleccionados y se presentan en la tabla 9 la cual contiene toda la información necesaria para preparar un plan de aceptación para las probabilidades dadas.

Clasificación del requerimiento	Probabilidad (a) de rechazo de un buen material P_g	Probabilidad de rechazo de un mal material P_p	Número de medidas n	Diferencia entre medias T_a	Límites de aceptación (b)
Crítico	0.050	0.995	9	$\pm 1.72\sigma$	$\bar{X}'_p \pm 1.051R$
Mayor	0.010	0.950	7	$\pm 1.78\sigma$	$\bar{X}'_p \pm 0.736R$
Menor	0.005	0.900	5	$\pm 1.93\sigma$	$\bar{X}'_p \pm 0.642R$
Contractual	0.001	0.800	4	$\pm 2.27\sigma$	$\bar{X}'_p \pm 0.486R$

(a) Probabilidades para especificaciones de límite simple. Cuando la especificación es de dos límites la probabilidad de rechazar material aceptable teóricamente puede ser el doble.

(b) $\bar{X}'_p \pm T_s$

Tabla 9. Balance sugerido para la especificación de factores de aceptación, Desviación estándar conocida.

Fuente: "Planes de aceptación y de muestreo para la construcción de caminos", AASHTO R9-86.

Tabla 10 planes de muestreo simple para inspección normal

Lot or Batch Size	Sample Size (No.)	Acceptable Quality Levels* (Normal Inspection)																100	150	250	400	650	1,000				
		0.010	0.015	0.025	0.040	0.065	1.0	1.5	2.5	4.0	6.5	10	15	25	40	65											
		AC	RE	AC	RE	AC	RE	AC	RE	AC	RE	AC	RE	AC	RE	AC	RE	AC	RE	AC	RE	AC	RE	AC	RE	AC	RE
2 to 8	2																										
9 to 15	3																										
16 to 25	5																										
26 to 50	8																										
51 to 90	13																										
91 to 150	20																										
151 to 280	32																										
281 to 500	50																										
501 to 1,200	80																										
1,201 to 3,200	125																										
3,201 to 10,000	200																										
10,001 to 35,000	315																										
35,001 to 450,000	500																										
450,001 to 500,000	800																										
500,001 and over	1,250																										

* ▼ = Use first sampling plan below arrow. If sample size equals or exceeds lot or batch size, do 100 percent inspection. ▲ = Use first sampling plan above arrow.

AC = Acceptance number. RE = Rejection number.

^b Table 2 taken from Military Standard 105—Sampling Procedures and Tables for Inspection by Attributes.

Tabla 10 planes de muestreo simple para inspección normal

Fuente: "Planes de aceptación y de muestreo para la construcción de caminos", AASHTO R9-86.

CAPÍTULO V

APLICACIÓN PRÁCTICA DEL CONTROL ESTADÍSTICO DE CALIDAD DE MATERIALES EN CAPAS DE PAVIMENTO.

5.1. UBICACIÓN DE MUESTRAS DE ESTUDIO

El tramo de estudio “Puerta del Chaco-Canaletas” esta ubicado en la parte central del Departamento de Tarija en las provincias cercado y Oconnor. Limita al norte con el Departamento de Tarija en las provincias cercado y Oconnor. Limita al norte con el Departamento de Chuquisaca al Sur con la provincia Arce, al Este con la Provincia Gran Chaco, al Oeste con la Provincia Mendes y Avilés. Las comunidades que abarca el proyecto son: San Agustín, Carlazo, Junacas, Abra el Cóndor, Piedra Larga, Canaletas.

Figura 8. Ubicación internacional



Figura 9. Ubicación nacional

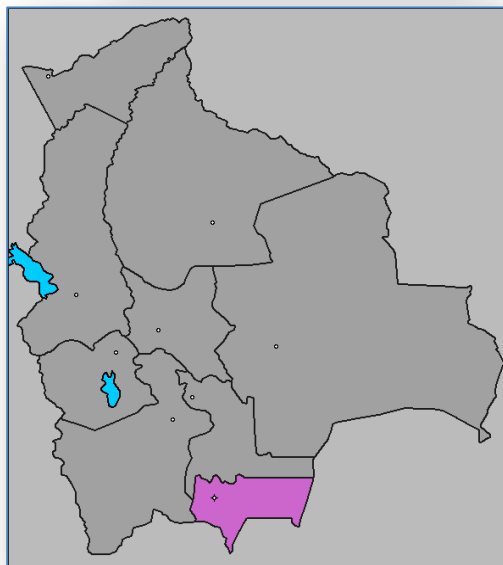


Figura 10. Ubicación local



5.2. CARACTERÍSTICAS DE LAS ZONAS DE ESTUDIO

El tramo en estudio cuenta aproximadamente con 34 km de longitud, uniando los municipios de Cercado y Entre Ríos.

Este tramo esta constituido por habitantes campesinos o guaraníes. Aproximadamente el 86 % de la población vive en forma dispersa a excepción de Entre Ríos centro poblado principal de la Provincia, alrededor de 440 familias son las beneficiadas

CLIMA

El clima de la ciudad de Tarija y el valle predomina durante la mayor parte del año un clima templado, sin embargo durante los inviernos (especialmente durante el mes de julio) la temperatura suele bajar de los 0° C llegando a disminuciones térmicas

increíbles para la latitud y altitud (la zona es en los mapas "tropical"): todos los inviernos son fríos.

De acuerdo a la clasificación climática de SENAMI, la zona en estudio presenta características de clima seco. La región presenta temperaturas elevadas que oscilan entre los 25°C y 35°C manteniéndose igual a lo largo de todo el año, descendiendo un poco en invierno, en cuanto a los vientos predominantes, se encuentran con una velocidad que va de los 3 a 10 Km./h, en el periodo entre enero y agosto incrementándose luego en los meses entre septiembre y octubre, donde su velocidad promedio es de 17 Km./h. esto debido a la poca pendiente, el viento al encontrarse con colinas redondas de poca pendiente, origina una turbulencia mecánica mínima y en caso de vientos débiles o moderados..

La época lluviosa se presenta en el periodo del mes de Octubre hasta Abril, caracterizado por precipitaciones cortas con frecuencia e intensidad variable, mientras en el periodo restante meses de Mayo hasta Septiembre la época de estiaje.

TOPOGRAFÍA

Este tramo presenta una variación de acuerdo a las comunidades que integran esta zona, en las comunidades de San Agustín, Carlazo Junacas, Abra el Cóndor, se tiene una zona ondulada constituido por un relieve de constantes cambios de cota lo que obliga a emplear frecuentemente pendientes de distinto sentido que pueden fluctuar entre 3 y 6% de acuerdo a si es un terreno ondulado medio, o uno franco o fuerte según la categoría de la ruta.

En las comunidades Piedra Larga, Canaletas aprecia una zona compuesta por cordones montañosos o cuevas en las cuales el trazado salva desniveles considerables en términos absolutos. La rasante del proyecto presenta pendientes sostenidas de 4 a 9% según la categoría del camino subiendo o bajando, la planta está controlada por el relieve del terreno presentando puntillas, laderas de fuerte inclinación transversal, quebradas profundas.

De acuerdo a las características topográficas del terreno se puede clasificar como un terreno ondulado medio ya que está constituido por un relieve con frecuentes cambios de cota.

GEOLOGIA

El tramo geológicamente está conformado por una cubierta sedimentaria cuaternaria, compuesta por arcilla, grava y arena de origen fluvio lacustre, con terrazas aluviales que dan al paisaje un aspecto relativamente llano, dicha cubierta es atravesada por depresiones y por lechos planos de ríos semi secos. En la zona también se puede observar que su base está representada por arena de color gris oscuro, y en la parte superior por areniscas finas de color gris olivo claro.



Figura 11. Foto del tramo Puerta el Chaco – Canaletas

VEGETACIÓN

La flora está conformada por especies vegetales, que conjuntamente con el clima y demás factores, determinan la vegetación existente en el área. Aproximadamente el 80% del territorio Provincial está cubierto por bosques de diferente tipología y potencialidad ubicados íntegramente en paisajes de serranía y colinas. El 20%

restante tiene cobertura de matorrales, pastizales y cultivos agrícolas; gran parte de esta superficie coincide con los diferentes valles secos y húmedos.

5.3. CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES

El control tecnológico planteado por las especificaciones técnicas revisadas para efectos de esta investigación presenta notables similitudes estandarizando los esquemas y sin mayores diferencias que sobresalgan entre unas y otras.

5.3.1. Materiales de capa sub base

El material utilizado en la capa Sub Base tiene diferente procedencia:

En 4 ensayos los material son de suelo natural de Carlazo, en 11 ensayos los material son de rio Carlazo, en 6 ensayos los material son de rio Carlazo- Santa Ana, en 7 ensayos los material son de material de corte 30+100, en 3 ensayos los materiales son de rio canaletas, en 5 ensayos los materiales son de corte 30+100-30+140 , en 5 ensayos los materiales son de corte 30+100-30+180(50%):Material Rio canaletas(50%), en 3 ensayos los materiales son de corte 30+400(50%) :Material Rio canaletas(50%), en 6 ensayos los material son de corte 30+100-30+180(50%):Material Rio canaletas(50%) . Estos están detallados en la planilla de resumen de control tecnológico que se presenta más adelante:

La calidad y graduación de la sub base en estudio se determino a partir de mezclas de arena-arcilla; gravas, piedras y escoria zarandeadas.

A continuación se enuncian algunos de los requerimientos básicos tomados en cuenta para la conformación de esta capa.

- Uno de los requerimientos mas importantes es la granulometría de la capa, todas las especificaciones presentan familias de curvas para que puedan ser seleccionadas las que mejor se adapten a los materiales locales.
- Los agregados para la capa sub base, consisten de partículas duras y durables o fragmentos de piedra, grava o escoria chancada.

- Existen algunas especificaciones que establecen requerimiento de partículas con caras fracturadas en sub base para el material retenido en el tamiz No 4.
- Desgaste por abrasión en la máquina de los ángeles no mayor a 40 a 50%.
- En general para cualquier granulometría adoptada el tamaño máximo de agregados no deberá ser mayor a 2/3 del espesor de capa a construir
- Colocado y extendido, la compactación de cada capa se ejecuta hasta alcanzar una densidad no menor al 97% (en general) de la densidad máxima compactada de acuerdo
- Las propiedades del agregado grueso y Fino, es común encontrar requerimientos acerca de determinadas propiedades
- Otro valor fundamental es el valor CBR, un valor superior a 40%.

5.3.2. Materiales de capa base

El material utilizado en la capa Sub Base tiene diferente procedencia:

En 18 ensayos los material son de rio Carlazo, en 15 ensayos los material zarandeados son de rio canaletas.

Los materiales que se emplearon para su construcción de esta capa fueron gravas, arenas de río, que cumplen con la granulometría de las especificaciones, a continuación se enuncian algunos de los requerimientos básicos para la conformación de esta capa base.

- Agregado triturado retenido en el tamiz No 4, no tiene más que el 15% en peso de partículas planas y elongadas,
- Cuenta con al menos 90% de partículas con 2 caras fracturadas o mas y 100% con al menos una cara fracturada.
- El desgaste por abrasión en la máquina de los ángeles es mayor a 50%
- La granulometría, presentan materiales bien graduados de grueso a fino y no variará del límite inferior de un tamiz al limite superior del siguiente o viceversa.
- El espesor máximo a ser compactado es de 6 pulg. (15 cm).

- Se tomo en cuenta la tolerancia en espesor será de 10 mm del valor de diseño. Por cada lote de material colocado se hará 4 ensayos de espesor (uno por cada sublote).
- Para la selección de cualquiera de las graduaciones propuestas por cada especificación, el tamaño máximo de agregado no excede $2/3$ del espesor de la capa a construir.
- El valor CBR para esta capa base es al menos 100%.

5.3.3. Ensayos

Los ensayos de suelos se hicieron a partir de una muestra representativa que se tomaron a cada 200 metros más o menos del tramo a pavimentar.

Ensayo de granulometría

El conocimiento de la composición granulométrica de un suelo grueso, sirve para discernir sobre la influencia que puede tener en la densidad del material compactado, el ensayo granulométrico se basa en dos normas que son la AASHTO-T27 y la AASHTO-T11.

El análisis granulométrico, se refiere a la determinación de la cantidad en porcentaje de diversos tamaños de las partículas que constituyen el suelo.

Conocidas las composiciones granulométricas del material, se le representa gráficamente. Según los resultados obtenidos en el laboratorio, y se determina si el suelo posee un porcentaje de arena, que porcentaje de grava y que porcentaje de finos. Y como se clasifica el suelo. La granulometría adoptada para esta capa tiene el tamaño máximo de agregados no mayor a $2/3$ del espesor de capa a construir.

Límites de Atterberg

Límite líquido

Es el contenido de humedad expresado en porcentaje, respecto del peso seco de la muestra con el cual el suelo cambia del estado líquido al estado plástico, el método que actualmente se utiliza para determinar el límite líquido es el que ideó Casagrande.

El límite líquido debe determinarse, con muestras del suelo que hayan cruzado la malla o tamiz No. 40, si el espécimen es arcilloso, es preciso que nunca haya sido secado a humedades menores que su límite plástico.

Límite plástico

Es el contenido de humedad, expresado en porcentaje de su peso secado al horno, que tiene el material cuando permite su arrollamiento en tiras de 1/8 de pulgada, según los ensayos de laboratorio el suelo no posee plasticidad debido a que no se pudo formar cilindros con el material.

Índice plástico

Representa la variación de humedad que puede tener un suelo, que se conserva en estado plástico, tanto el límite líquido como el plástico, dependen de la calidad y del tipo arcilla; sin embargo, el índice de plasticidad depende generalmente de la cantidad de arcilla del suelo.

Ensayo de compactación o proctor modificado

La prueba de proctor modificado según la norma AASHTO T-180, se refiere a la determinación del peso por unidad de volumen, de un suelo que se ha sido compactado a diferentes contenidos de humedad.

Los resultados indican que el suelo posee una densidad seca máxima, y una humedad óptima de. La humedad que contenga el suelo, representa la cantidad de agua necesaria para que el suelo pueda alcanzar el grado máximo de resistencia y acomodo de sus partículas.

Ensayo de valor soporte (C.B.R.)

El ensayo de razón soporte california (C.B.R.), según la norma AASHTO-T193, se expresa como un porcentaje del esfuerzo requerido para hacer penetrar un pistón en el suelo que se ensaya, en relación con el esfuerzo requerido para hacer penetrar el mismo pistón hasta la misma profundidad de una muestra patrón de piedra triturada bien graduada.

Para determinar el C.B.R. se toma como material de comparación o patrón piedra triturada bien graduada, que tiene un C.B.R. igual al 100%. Los resultados de laboratorio demuestran un valor soporte, clasificando al suelo de apto para una capa dada.

Ensayo desgaste por abrasión

En los agregados gruesos una de las propiedades físicas en los cuáles su importancia y su conocimiento es indispensable en el diseño de mezclas es la RESISTENCIA A LA ABRASIÓN O DESGASTE, es importante porque con ella conoceremos la durabilidad y la resistencia que tendrá el concreto para la fabricación de losas, estructuras simples o estructuras que requieran que la resistencia del concreto sea la adecuada para ellas.

Los agregados deben ser capaces de resistir el desgaste irreversible y degradación durante la producción, colocación y compactación de las obras de pavimentación, y sobre todo durante la vida de servicio del pavimento; debido a las condiciones de esfuerzo-deformación, la carga de la rueda es transmitida a la superficie del pavimento a través de la llanta como una presión vertical aproximadamente uniforme y alta.

La estructura del pavimento distribuye los esfuerzos de la carga, de una máxima intensidad en la superficie hasta una mínima en la sub-rasante. Por esta razón los agregados que están cerca de la superficie, como son los materiales de base y carpeta asfáltica, deben ser más resistentes que los agregados usados en las capas inferiores, sub base, de la estructura del pavimento, la razón se debe a que las capas superficiales reciben los mayores esfuerzos y el mayor desgaste por parte de cargas del tránsito

5.3.4. Resumen del control tecnológico.

Las muestras corresponden al Tramo “Puerta del Chaco- Canaletas” y consisten en el resumen del control tecnológico planteado por las especificaciones técnicas revisadas para efectos de esta investigación.

Tabla 11.- Contiene un resumen de control tecnológico de la **capa sub base** en esta planilla cada ensayo cuenta con un número de registro, la fecha de realización, el origen del material, el sub tramo donde se aplica, la descripción de la granulometría, el límite líquido y el índice de plasticidad y su respectiva clasificación, se toma en cuenta la compactación obteniendo la densidad máxima y la humedad optima, también están los valores de CBR al 100% y 97% y su % de exp. Los datos consisten en 49 controles de calidad realizados a esta capa.

Tabla 12.- Contiene un resumen de control tecnológico de la **capa base** al igual que la anterior en esta planilla cada ensayo cuenta con numero de registro, la fecha de realización, el origen del material, el sub tramo donde se aplica, la descripción de la granulometría, el límite líquido y el índice de plasticidad y su respectiva clasificación, se toma en cuenta la compactación obteniendo la densidad máxima y la humedad optima , también están los valores de CBR al 100% y 97% y su % de exp. Los datos consisten en 33 controles de calidad realizados a esta capa.

(Tabla 11)..... RESUMEN CONTROL TECNOLÓGICO CAPA SUB BASE

RESUMEN CONTROL TECNOLÓGICO CAPA SUB BASE																													
	Reg. No	Fecha	Origen	Tramo		Granulometria										Límites		Clasif.	I.G.	pctor T-180		C.B.R.					Observaciones		
			Material	Inicial	final	3"	21/2"	2"	11/2"	1"	3/4"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº200	L.L.	I.P.	AASHTO		D. Máx.	H.Opt.	100%	97%	%Exp				
1	1	05-sep-07	Material Carlazo,suelo natural														11,90	N.P	A-1-a	0	2,130	9,79						Mescla Capa Sub Base . Rio Carlazo	
2	2	12-sep-07	Material Carlazo,suelo natural			100	84,8	74,8	66,00	61,80	56,70	51,50	43,40	35,30	20,40	1,00	15,24	N.P	A-1-a	0	2,110	7,52						Mescla Capa Sub Base . Rio Carlazo	
3	3	14-sep-07	Material Carlazo,suelo natural			100	82,8	75,80	71,90	66,70	61,80	56,80	48,40	40,80	24,60	5,80	14,24	N.P	A-1-a	0	2,13	7,87						Mescla Capa Sub Base . Rio Carlazo	
4	4	15-sep-07	Material Carlazo,suelo natural	estudio		100	94,7	81,50	76,40	71,30	64,10	61,10	52,50	44,90	26,40	6,10	12,72	N.P	A-1-a	0	2,17	8,94	72,40	51,70	0,2			Mescla Capa Sub Base . Rio Carlazo	
5	6	10-ene-08	Material Rio Carlazo	5+560	5+720	92,56	81,7	75,10	63,80	55,00	49,90	40,20	34,60	25,60	17,50	4,20	15,98	N.P	A-1-a	0	2,210	6,48	74,00	55,00	0,17			Mescla Capa Sub Base . Rio Carlazo	
6	7	05-ene-08	Material Rio Carlazo	0+040	0+280	89,9	86,8	74,1	60,4	52,4	47,1	38,5	32,8	24,8	18,6	8,9	18,3	1,65	A-1-a	0	2,22	5,79	58,40	44,30	0,13			Mescla Capa Sub Base . Rio Carlazo	
7	8	05-ene-08	Material Rio Carlazo	0+480	0+680	79,75	70,1	64,6	58,9	49,8	44,7	35,6	29,2	25,2	18,6	9,9	18,7	3,79	A-1-a	0	2,24	6	68,90	51,50	0,17			Mescla Capa Sub Base . Rio Carlazo	
8	9	10-ene-08	Material Rio Carlazo-Santa Ana	0+680	1+100	91,98	85,2	69,8	58,9	52,8	49,3	41,3	35,2	28,2	19,3	8	16,1	0,98	A-1-a	0	2,26	5,16	71,20	53,20	0,17			Mescla Capa Sub Base . Rio Carlazo	
9	10	15-nov-07	Material Rio Carlazo-Santa Ana	1+100	1+500	100	86,1	63,30	62,80	59,50	53,60	44,10	37,00	31,50	22,70	8,50	17,75	1,76	A-1-a	0	2,250	5,24	78,30	56,10	0,17			Mescla Capa Sub Base . Rio Carlazo- Santa Ana	
10	11	31-oct-07	Material Rio Carlazo	1+100	1+500	100	66,7	60,50	52,70	46,80	42,10	33,40	27,30	24,50	18,50	7,60	17,50	1,16	A-1-a	0								Mescla Capa Sub Base . Rio Carlazo	
11	12	01-nov-07	Material Rio Carlazo	1+500	2+000	96,6	79,2	60,60	58,00	55,30	50,00	38,80	33,30	29,50	22,00	8,70	18,24	1,83	A-1-a	0								Mescla Capa Sub Base . Rio Carlazo	
12	13	20-nov-07	Material Rio Carlazo	1+500	2+000	100	80,9	68,40	67,00	59,90	52,90	42,50	35,10	29,30	22,80	8,70	16,92	0,95	A-1-a	0	2,23	5,58	72,40	51,70	0,2			Mescla Capa Sub Base . Rio Carlazo	
13	14	20-nov-07	Material Rio Carlazo	2+000	2+500	87,5	81,7	76,50	74,00	65,10	55,90	43,90	35,80	30,80	23,60	8,90	17,54	1,13	A-1-a	0	2,220	6,04	88,30	62,30	0,16			Mescla Capa Sub Base . Rio Carlazo	
14	15	20-nov-07	Material Rio Carlazo	2+500	3+000	88	73,3	70,70	64,00	55,40	48,20	39,00	32,00	26,40	19,90	6,20	17,43	1,47	A-1-a	0	2,230	6,24	77,10	53,40	0,12			Mescla Capa Sub Base . Rio Carlazo	
15	16	26-dic-07	Material Rio Carlazo	3+000	3+500	86,7	82,9	80,40	70,50	65,70	59,90	51,00	41,70	34,60	26,60	11,30	17,89	1,84	A-1-a	0	2,23	6,18	83,90	62,60	0,17			Mescla Capa Sub Base . Rio Carlazo	
16	17	03-dic-07	Material Rio Carlazo	3+500	4+000	87,8	83,7	79,50	71,70	66,90	63,90	54,70	48,00	41,60	30,70	9,40	17,17	1,13	A-1-a	0	2,22	6,07	70,20	52,40	0,16			Mescla Capa Sub Base . Rio Carlazo	
17	18	15-dic-07	Material Rio Carlazo	4+000	4+500	100	100	94,80	85,90	70,10	61,70	50,00	39,70	33,80	27,20	11,10	18,38	3,38	A-1-a	0	2,20	6,42	69,10	54,80	0			Mescla Capa Sub Base . Rio Carlazo- Santa Ana	
18	19	22-ene-08	Material Rio Carlazo-Santa Ana	6+000	6+400	100	92,7	89,20	78,30	68,50	59,20	49,80	42,80	35,80	27,60	10,20	16,30	0,60	A-1-a	0	2,228	6,01	83,90	97,10	0			Mescla Capa Sub Base . Rio Carlazo- Santa Ana	
19	20	22-ene-08	Material Rio Canaletas	estudio	29+000	100	100	90,70	84,00	70,90	84,00	70,90	62,30	47,40	35,30	23,70	13,40	3,80	A-1-a	0	2,218	6,50	83,80	67,10	0			Capa Sub Base . Rio Canaletas estudio	
20	21	14-feb-08	Material Rio Carlazo-Santa Ana	4+500	5+000	100	82,6	75,20	65,60	59,50	56,00	46,20	38,30	32,50	26,50	12,00	15,90	1,90	A-1-a	0	2,23	6,01	76,60	62,00	0,16			Capa Sub Base . Rio Carlazo	
21	22	18-feb-08	Material Rio Carlazo-Santa Ana	5+000	5+540	93,2	86,5	78,30	67,70	60,20	54,60	45,00	37,20	31,20	21,90	8,20	15,80	0,90	A-1-a	0	2,24	6,38	79,00	59,90	0,22			Capa Sub Base . Rio Carlazo	
22	23	15-feb-08	Material Rio Carlazo-Santa Ana	5+720	6+000	94,6	90,4	79,70	73,90	66,00	60,90	49,10	39,90	33,40	25,10	8,80	15,70	1,30	A-1-a	0	2,22	6,22	84,90	69,90	0,17			Capa Sub Base . Rio Carlazo	

Fuente: UNIDAD PROCHACO SEDECA - TARIJA

(Tabla 11)..... RESUMEN CONTROL TECNOLÓGICO CAPA SUB BASE

RESUMEN CONTROL TECNOLÓGICO CAPA SUB BASE																										
	Reg.	Fecha	Origen	Tramo		Granulometria										Limites		Clasif.	I.G.	Proctor T-180		C.B.R.			Observaciones	
	No		Material	Inicial	final	4"	3"	2"	1"	3/4"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº200	LL	I.P.	AASHTO		D. Máx.	H.Opt.	100%	97%	%Exp		
23	24	22-may-09	Material de corte-Rio Canaletas	25+900	26+070	100	96	89,20	84,00	68,80	52,90	46,80	37,90	23,50	11,80	19,70	N.P	A-1-a	0	2,105	8,04	63,70	41,80	0,14	Material capa Sub Base	
24	25	25-may-09	Material de corte 30+100	estudio		100	100	91,10	73,00	62,20	38,90	33,20	25,00	19,10	9,10	21,00	N.P	A-1-a	0	2,094	6,84	99,80	79,80	0,02	Material capa Sub Base estudio banco	
25	26	27-may-09	Material de corte 30+100	26+070	26+500	100	96	79,10	64,00	56,70	43,10	35,80	28,30	20,70	10,50	20,60	4,00	A-1-a	0	2,191	6,53	106,20	83,90	0,02	Material capa Sub Base	
26	27	28-may-09	Material de corte 30+100	26+300	26+500	100	92	79,70	59,00	48,70	32,90	23,60	17,30	14,10	6,70	20,60	4,20	A-1-a	0						Material capa Sub Base observado	
27	28	15-jun-09	Material de corte 30+100	26+500	26+800	100	100	91,30	76,60	64,40	41,20	31,10	24,10	18,80	11,30	22,50	5,00	A-1-a	0	2,168	6,39	81,00	65,40	0,05	Material capa Sub Base	
28	29	16-jun-09	Material de corte 30+100	26+620	26+720	100	100	85,50	70,00	61,60	46,60	37,30	29,70	22,00	12,50	22,00	5,10	A-1-a	0						Material capa Sub Base	
29	30	16-jun-09	Material de corte 30+101	26+720	26+800	100	96	81,80	59,60	52,90	40,60	32,70	25,00	19,00	10,90	22,50	N.P	A-1-a	0						Material capa Sub Base	
30	31	22-jun-09	Material Banco Rio Canaletas Acopio 27+400	26+800	27+000	100	100	73,30	55,30	50,30	40,00	32,60	25,70	18,20	9,80	19,20	N.P	A-1-a	0	2,197	5,42	108,80	66,60	0,05	Material capa Sub Base	
31	32	25-jun-09	Material Banco 30+100	27+000	27+200	100	100	86,70	58,40	52,60	37,50	33,30	25,70	19,50	9,80	20,70	2,50	A-1-a	0	2,186	5,86	94,20	65,80	0,05	Material capa Sub Base	
32	33	26-jun-09	Material Banco Rio Canaletas 30+100	27+200	27+400	100	100	84,90	67,00	58,90	47,00	39,10	32,50	23,80	9,40	19,10	N.P	A-1-a	0	2,178	6,55	88,80	69,10	0,10	Material capa Sub Base	
33	34	01-jul-09	Material de corte 30+100-30+140	27+400	27+600	100	100	87,30	72,30	66,30	53,50	32,70	25,60	19,40	10,90	19,90	4,24	A-1-a	0	2,143	6,83	57,00	41,50	0,08	Material capa Sub Base	
34	35	24-jul-09	Material de corte 30+100-30+140	28+800	29+000	100	93,4	92,00	75,80	69,90	59,90	42,10	34,70	26,00	12,40	21,46	3,61	A-1-a	0	2,145	7,27	939,00	64,40	0,07	Material capa Sub Base	
35	36	28-jul-09	Material de corte 30+100-30+140	30+300	30+500	100	98,8	86,10	61,70	55,10	44,30	37,20	30,60	24,40	11,60	21,51	5,06	A-1-a	0	2,102	6,81	83,80	60,40	0,06	Material capa Sub Base	
36	37	31-jul-09	Material de corte 30+100-30+141	29+000	29+200	100	94,4	89,60	68,30	60,10	42,60	33,70	26,00	19,90	10,90	19,20	3,20	A-1-a	0	2,168	6,29	66,30	49,00	0,10	Material capa Sub Base	
37	39	18-ago-09	Material de corte 30+100-30+140	28+140	28+420	100	100	88,40	70,90	64,60	50,40	40,50	32,50	23,70	12,50	21,40	4,20	A-1-a	0	2,208	6,21	121,20	78,30	0,06	Material capa Sub Base	
38	40	07-sep-09	Material de corte 30+100-30+180(50%):Material Rio canaletas(50%)	32+300	32+500	100	100	85,41	61,41	56,35	42,87	32,97	26,17	18,20	9,56	16,06	N.P	A-1-a	0	2,197	6,12	94,70	69,60	0,09	Material capa Sub Base	
39	41	11-sep-09	Material de corte 30+100-30+180(50%):Material Rio canaletas(50%)	32+660	32+860	100	100	84,24	62,84	56,76	41,86	32,68	24,34	16,59	0,56	17,77	N.P	A-1-a	0	2,183	5,93	84,10	62,30	0,09	Material capa Sub Base	
40	42	15-sep-09	Material de corte 30+100-30+180(50%):Material Rio canaletas(50%)	27+970	28+150	100	100	87,65	72,37	64,01	48,62	37,88	29,28	19,50	9,27	17,01	N.P	A-1-a	0	2,218	5,97	85,70	62,40	0,08	Material capa Sub Base	
41	43	25-sep-09	Material de corte 30+100-30+180	25+750	25+900	100	100	91,28	77,82	68,93	54,59	45,25	35,64	25,45	14,22	17,98	2,57	A-1-a	0	2,214	6,36	86,00	62,00	0,10	Material capa Sub Base	
42	44	05-oct-09	Material de corte 30+100-30+180(50%):Material Rio canaletas(50%)	30+860	33+100	100	100	91,43	66,49	60,14	45,55	37,77	31,39	22,70	12,26	19,93	3,51	A-1-a	0	2,186	6,51	92,60	67,20	0,08	Material capa Sub Base	
43	45	08-oct-09	Material de corte 30+100-30+180(50%):Material Rio canaletas(50%)	29+200	29+470	100	100	95,51	73,96	67,29	54,14	44,46	35,86	25,54	12,06	17,50	N.P	A-1-a	0	2,163	6,49	82,90	56,00	0,10	Material capa Sub Base	
44	46	10-oct-09	Material de corte 30+400(50%):Material Rio canaletas(50%)	30+500	30+800	100	100	89,32	68,24	62,95	50,95	42,21	35,05	26,87	13,30	17,62	1,67	A-1-a	0	2,169	6,41	98,70	64,60	0,09	Material capa Sub Base	
45	47	15-oct-09	Material de corte 30+400(50%):Material Rio canaletas(50%)	31+200	31+400	100	100	85,52	73,00	68,53	57,97	47,85	40,47	29,13	14,66	17,29	N.P	A-1-a	0	2,163	6,35	79,01	56,50	0,05	Material capa Sub Base	
46	48	21-oct-09	Material de corte 30+400(50%):Rio canaletas(50%)	31+400	31+600	100	100	82,43	75,82	62,63	50,59	42,32	30,93	14,89	17,35	N.P	A-1-a	0	2,195	6,13	97,01	76,70	0,10	Material capa Sub Base		
47	49	23-oct-09	Material de corte 30+400	31+600	31+800	100	100	96,48	84,90	78,54	64,40	54,82	46,86	33,88	14,97	18,77	2,94	A-1-a	0	2,178	5,99	90,50	65,90	0,08	Material capa Sub Base	
48	50	27-oct-09	Material de corte 30+400(50%):Material Rio canaletas(50%)	31+000	31+200	100	100	95,04	71,98	66,29	55,30	44,45	38,52	28,05	12,44	16,62	N.P	A-1-a	0	2,158	6,76	83,50	56,90	0,04	Material capa Sub Base	
49	51	27-nov-09	Material de corte 30+400-31+040 (50%):Rio canaletas(50%)	30+800	31+040	100	100	91,01	70,10	64,47	53,31	45,30	35,77	25,71	13,48	17,85	N.P	A-1-a	0	2,178	6,63	66,40	53,20	0,06	Material capa Sub Base	

Fuente: UNIDAD PROCHACO SEDECA - TARIJA

(Tabla 12)..... RESUMEN CONTROL TECNOLÓGICO CAPA BASE

RESUMEN CONTROL TECNOLÓGICO CAPA BASE																										
	Reg.	Fecha	Origen	Destino		Granulometria										Limites		Clasif.	I.G.	Proctor T-180		C.B.R.				Observaciones
	No		Material	inicial	final	3"	21/2"	2"	11/2"	1"	3/4"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº200	L.L.	I.P.		AASHTO	D. Máx.	H.Opt.	100%	97%	%Exp	
1	1	03-nov-07	Rio Carlazo, material para base	0+080	0+500	100	100	89,97	83,52	71,15	65,38	52,20	44,71	37,00	23,90	6,50	15,87	N.P	A-1-a	0	2,213	6,31	81	61,5	0,00	Capa Base . Rio Carlazo
2	2	03-nov-07	Rio Carlazo, material para base	0+081	0+500	100	90,8	88,33	78,80	71,35	63,67	55,45	42,86	33,00	21,40	5,70	16,49	N.P	A-1-a	0	2,223	5,87	81,2	62,1	0,00	Capa Base . Rio Carlazo
3	3	08-nov-07	Rio Carlazo, material para base	0+500	0+900	100	100	85,07	83,35	75,55	66,94	53,40	44,30	37,70	25,80	8,90	16,08	N.P	A-1-a	0	2,206	5,80	73	60,0	0,00	Capa Base . Rio Carlazo
4	4	14-nov-07	Rio Carlazo, material para base	0+900	1+500	100	100	92,43	83,39	71,08	64,05	50,36	41,15	32,30	22,00	6,50	15,66	N.P	A-1-a	0	2,210	6,13	74,7	58,5	0,00	Capa Base . Rio Carlazo
5	5	15-nov-07	Rio Carlazo, material para base	1+500	1+900	100	100	92,17	78,30	70,80	62,07	49,51	41,19	33,10	23,40	6,80	15,64	N.P	A-1-a	0	2,210	5,49	74,2	59,8	0,00	Capa Base . Rio Carlazo
6	6	19-feb-08	Rio Carlazo, material para base	2+060	2+400	100	93,9	90,20	74,80	65,40	59,70	47,00	38,80	29,90	20,40	6,20	14,30	N.P	A-1-a	0	2,221	6,03	89,9	69,6	0,00	Capa Base . Rio Carlazo
7	7	21-feb-08	Rio Carlazo, material para base	5+460	5+960	100	100	91,00	84,40	73,50	63,20	47,80	38,40	29,20	18,40	5,60	14,20	N.P	A-1-a	0	2,235	6,02	88,2	68,4	0,00	Capa Base . Rio Carlazo
8	8	03-mar-08	Rio Carlazo, material para base	5+960	6+200	100	96,5	85,10	74,00	67,60	59,40	46,60	38,00	31,80	23,90	7,70	16,00	N.P	A-1-a	0	2,228	5,71	83,1	60,8	0,00	Capa Base . Rio Carlazo
9	9	26-mar-08	Rio Carlazo, material para base	5+000	5+460	100	97,8	85,20	74,30	67,30	60,20	46,40	40,50	32,80	24,10	9,80	18,50	N.P	A-1-a	0	2,237	6,25	90,4	72,6	0,00	Capa Base . Rio Carlazo
10	10	28-mar-08	Rio Carlazo, material para base	4+400	4+700	100	92,7	90,60	83,90	78,00	71,60	56,80	46,10	37,70	26,70	9,20	18,00	N.P	A-1-a	0	2,226	6,01	92,2	70,8	0,00	Capa Base . Rio Carlazo
11	11	02-abr-08	Rio Carlazo, material para base	4+700	5+000	100	96	93,20	85,30	73,00	64,70	52,30	43,60	37,70	26,40	6,70	17,80	N.P	A-1-a	0	2,228	6,04	89,1	68,8	0,00	Capa Base . Rio Carlazo
12	12	10-abr-08	Rio Carlazo, material para base	4+100	4+400	100	91,8	84,70	77,40	63,00	54,90	42,70	34,60	28,20	19,00	5,80	17,30	N.P	A-1-a	0	2,232	5,26	87	64,0	0,00	Capa Base . Rio Carlazo
13	13	23-abr-08	Rio Carlazo, material para base	3+700	4+100	100	100	92,30	84,90	73,80	65,20	53,50	43,20	35,60	25,80	6,80	16,50	N.P	A-1-a	0	2,230	6,32	89	69,5	0,00	Capa Base . Rio Carlazo
14	14	29-abr-08	Rio Carlazo, material para base	3+300	3+700	100	94	85,70	84,50	76,30	69,40	59,70	49,80	42,60	29,90	7,80	17,30	N.P	A-1-a	0	2,223	6,28	93,2	74,4	0,00	Capa Base . Rio Carlazo
15	15	05-may-08	Rio Carlazo, material para base	1+700	2+060	100	97,5	87,00	78,30	72,00	65,40	54,40	46,20	38,20	28,10	9,70	15,20	N.P	A-1-a	0	2,234	6,08	85,9	66,5	0,00	Capa Base . Rio Carlazo
16	16	13-may-08	Rio Carlazo, material para base	2+900	3+300	100	100	91,40	81,60	68,00	61,30	50,60	42,10	35,00	25,50	11,60	16,50	N.P	A-1-a	0	2,225	6,18	84,9	61,4	0,00	Capa Base . Rio Carlazo
17	17	22-may-08	Rio Carlazo, material para base	2+400	2+900	100	100	97,30	73,10	61,10	55,90	45,80	38,20	31,30	20,20	5,10	16,50	N.P	A-1-a	0	2,230	6,18	89,4	70,3	0,00	Capa Base . Rio Carlazo
18	18	25-may-08	Rio Carlazo, material para base	2+060	2+400	100	100	83,10	76,40	67,70	53,80	44,10	36,70	24,70	7,40	16,10	N.P	A-1-a	0	2,235	6,32	89	65,3	0,00	Capa Base . Rio Carlazo	

Fuente: UNIDAD PROCHACO SEDECA - TARIJA

(Tabla 12)..... RESUMEN CONTROL TECNOLÓGICO CAPA BASE

RESUMEN CONTROL TECNOLÓGICO CAPA BASE																									
	Reg.	Fecha	Origen	Tramo		Granulometria										Límites		Clasif.	I.G.	Proctor T-180		C.B.R.			Observaciones
	No		Material	Inicial	final	4"	3"	2"	1"	3/4"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº200	L.L.	I.P.	AASHTO		D. Máx.	H.Opt.	100%	97%	%Exp	
19	22	07-ago-09	Rio canaletas. Zarandeado	26+500	26+700	100	100	100	77,00	71,00	55,60	36,20	29,90	22,20	10,70	16,60	N.P	A-1-a	0	2,169	7,38	88,3	64,2	0,04	Material capa Base
20	23	14-ago-09	Rio canaletas. Zarandeado	26+700	26+900	100	100	100	81,20	73,60	60,50	52,00	44,10	34,10	15,13	18,20	N.P	A-1-b	0	2,167	6,29	88,2	55,5	0,07	Material capa Base
21	24	14-ago-09	Rio canaletas. Zarandeado	26+900	27+100	100	100	100	79,20	71,90	58,10	47,70	40,40	31,50	14,90	17,80	N.P	A-1-b	0	2,183	6,41	93,9	62,3	0,07	Material capa Base
22	25	14-ago-09	Rio canaletas. Zarandeado	27+100	27+300	100	100	100	76,00	67,80	54,30	45,40	37,40	27,60	11,50	17,27	N.P	A-1-a	0	2,187	5,59	101,2	71,0	0,5	Material capa Base
23	26	25-ago-09	Rio canaletas. Zarandeado	26+300	26+500	100	100	100	78,90	70,80	58,60	47,40	37,30	26,10	12,80	13,80	N.P	A-1-a	0	2,201	5,92	101,7	67,2	0,05	Material capa Base
24	27	27-ago-09	Rio canaletas. Zarandeado	26+100	26+300	100	100	100	80,70	74,70	60,70	51,00	42,30	32,00	15,60	12,70	N.P	A-1-b	0	2,197	6,61	113,5	74,3	0,1	Material capa Base
25	28	28-ago-09	Rio canaletas. Zarandeado	25+900	26+100	100	100	100	86,60	75,30	59,10	46,90	38,80	29,30	13,20	14,70	N.P	A-1-a	0	2,195	6,26	98,8	64,7	0,04	Material capa Base
26	29	18-sep-09	Rio canaletas. Zarandeado	27+300	27+500	100	100	97,22	76,63	68,14	53,29	44,85	36,78	25,29	11,51	16,18	N.P	A-1-a	0	2,176	6,82	88,1	64,0	0,05	Material capa Base
27	30	18-sep-09	Rio canaletas. Zarandeado	27+500	27+700	100	100	98,57	77,46	71,02	57,38	49,61	39,60	27,28	13,55	18,29	N.P	A-1-a	0	2,194	6,40	93,6	61,8	0,07	Material capa Base
28	31	21-sep-09	Rio canaletas. Zarandeado	27+700	27+900	100	100	97,93	75,72	68,89	54,97	45,41	37,37	26,90	12,41	17,13	N.P	A-1-a	0	2,190	6,19	96,9	64,6	0,06	Material capa Base
29	32	22-sep-09	Rio canaletas. Zarandeado	27+900	28+100	100	100	92,75	85,07	78,32	64,76	50,12	41,78	28,71	14,37	15,51	N.P	A-1-a	0	2,203	5,74	110,6	71,8	0,09	Material capa Base
30	33	23-sep-09	Rio canaletas. Zarandeado	28+100	28+400	100	100	95,51	73,08	65,45	51,96	42,57	33,96	18,04	10,35	16,72	N.P	A-1-a	0	2,190	6,09	85,5	61,4	0,07	Material capa Base
31	34	19-oct-09	Rio canaletas. Zarandeado	29+000	29+200	100	100	95,1	82,6	72,66	58,11	44,44	36,64	24,3	11,17	15,54	N.P	A-1-a	0	2,194	5,78	84	58	0,08	Material capa Base
32	35	19-oct-09	Rio canaletas. Zarandeado	29+000	29+200	100	100	98,5	76,6	70,03	56,48	43,21	34,34	22,8	10,66	16,48	N.P	A-1-a	0	2,202	5,71	108,9	69	0,07	Material capa Base
33	37	20-nov-09	Rio canaletas. Zarandeado	25+760	25+900	100	100	99,3	78,8	73,1	58,1	45,6	33,8	21,6	11,2	16,59	N.P	A-1-a	0	2,206	5,93	109,4	71	0,07	Material capa Base

Fuente: UNIDAD PROCHACO SEDECA - TARIJA

5.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE CONTROL DE CALIDAD

Para llevar adelante esta investigación es fundamental seguir los pasos recomendados por la R-9 de AASHTO. Estos pasos deben ser aplicados sobre los ítems seleccionados para el análisis en esta especificación.

Secuencia de pasos: Desarrollo de un plan de aceptación

- a) Al escribir una especificación se debe decidir que ítems de construcción particulares son lo suficientemente importantes como para que el esfuerzo y el costo de elaborar un procedimiento formal de aceptación valga la pena.
- b) En segundo lugar deben ser elegidas las características a ser controladas. Idealmente, estas deberían estar fuertemente relacionadas al comportamiento del ítem o del material controlado. Los métodos de ensayo tendrán que ser procedimientos estándar diseñados por AASHTO, ASTM ó alguna otra agencia organizada.
- c) Debe ser entonces elegido un parámetro estadístico específico sobre el cual estará basado el procedimiento de aceptación: a) el Porcentaje defectuoso, ó b) el Porcentaje dentro de tolerancia.
- d) En el orden de desarrollar un procedimiento de aceptación, el AQL debe ser definido en términos de uno de los parámetros estadísticos seleccionados. Este paso requiere del juicio basado en la experiencia acerca de los materiales y procedimientos concernientes.
- e) Si bien no es absolutamente necesario, frecuentemente es útil definir también un NIVEL DE CALIDAD DE RECHAZO. También requiere de un juicio que depende de la experiencia.
- f) Debe notarse que las definiciones de los NIVELES DE CALIDAD DE ACEPTACIÓN Y DE RECHAZO en términos de cualquiera de los parámetros estadísticos seleccionados están íntimamente ligados a los LÍMITES ESPECIFICADOS que son utilizados.
- g) Una vez que han sido definidos los niveles de calidad, deben ser establecidos los niveles de RIESGO para aceptación incorrecta de trabajo insatisfactorio (riesgo

del COMPRADOR), y para el rechazo incorrecto de un buen trabajo (riesgo del VENDEDOR).

- h) Determinado lo anterior, al escribir las especificaciones se deberá decidir entre uno de los dos tipos de planes de aceptación: ATRIBUTOS ó VARIABLES.
- i) Dependiendo de si se desea un plan por ATRIBUTOS ó VARIABLES, para determinar tamaños de muestra y otros valores necesarios para el cálculo y toma de decisiones.
- j) Posteriormente una vez determinado el tamaño de muestra, debe ser definido el tamaño del lote del cual serán obtenidas las muestras. Generalmente hay una flexibilidad considerable en tomar esta decisión.
- k) En estas circunstancias cada procedimientos de aceptación debe ser reexaminado en términos de cuan práctico resulta, esto es establecer cuán beneficioso resulta para los fines del control versus los recursos humanos y los costos requeridos para su desarrollo; asimismo debe ser evaluada la habilidad del laboratorio para realizar el número de ensayos requeridos, la habilidad del contratista para cumplir la especificación, etc. Si es necesario, algunas de las opciones (tamaño del lote, AQL, RQL, riesgos del comprador y del vendedor) pueden ser revisadas y comparadas con planes alternativos.
- l) Si se siguen los métodos recomendados así como las suposiciones teóricas básicas de la distribucionalidad del muestreo aleatorio, entonces puede esperarse que el plan de aceptación se comporte como indican las consideraciones teóricas. Sin embargo, antes de adoptar ampliamente un plan, es aconsejable realizar una ó más pruebas para eliminar cualquier potencial dificultad operacional ó administrativa.
- m) Los planes de muestreo y remuestreo, cuando sea considerado oportuno, deben ser predeterminados, en ningún caso se deberá improvisar planes de muestreo porque esta acción da lugar a interpretaciones subjetivas.
- n) Es fundamental, a tiempo de escribir las especificaciones, escribir las reglas de decisión evitando y descartando toda ambigüedad ó interpretación subjetiva.

Los planes de aceptación serán elaborados para parámetros de calidad como características mecánicas de los agregados, valor soporte california (CBR), densidad máxima (obtenida mediante el ensayo AASHTO T-180), densidades en sitio, etc.

Se establecerá claramente qué y cómo observar, detallando la recolección de la información estrictamente necesaria, descartando aquella que por sus características y condiciones sea accesorio y que no ayuden al análisis correspondiente.

La aplicación será realizada sobre datos numéricos reales de tal forma que permita una evaluación objetiva de la aplicabilidad de los métodos y procedimientos seleccionados.

5.4.1. AGRUPACIÓN DE DATOS

En base a la (tabla11) “RESUMEN CONTROL TECNOLÓGICO CAPA SUB BASE” y a la (tabla 12) “RESUMEN CONTROL TECNOLÓGICO CAPA BASE” que se describieron anteriormente del Tramo en estudio.

Se produjo a seleccionar los datos completos y depurar los datos que estaban incompletos, posteriormente se calculo:

- Promedio
- Desviación Estándar
- El valor Máximo
- El valor Mínimo
- Numero de datos

Tabla 13.- contiene un resumen de los ensayos de la **capa sub base** en esta planilla cada ensayo cuenta con numero de registro, la fecha de realización, el origen del material, el sub tramo donde se aplica, clasificación y su compactación obteniendo la densidad máxima y la humedad optima, también están los valores de CBR al 100% y 97% y su % de expansión. En total quedan 38 controles de calidad realizados a esta capa.

Tabla 14.- contiene un resumen de los ensayos de la **capa base** en esta planilla cada ensayo cuenta con numero de registro, la fecha de realización, el origen del material, el sub tramo donde se aplica, clasificación y su compactación obteniendo la densidad máxima y la humedad optima, también están los valores de CBR al 100% y 97% y su % de expansión. En total quedan 33 controles de calidad realizados a esta capa

(Tabla 13).....ENSAYOS CAPA SUB-BASE

ENSAYOS CAPA SUB BASE															
	Reg.	Fecha	Origen	Tramo		Limites		Clasif.	I.G.	Proctor T-180		C.B.R.			Observaciones
	No		Material	Inicial	final	L.L.	I.P.	AASHTO		D. Máx.	H.Opt.	100%	97%	%Exp	
1	4	15-sep-07	Material Carlazo,suelo natural	estudio		12,72	N.P	A-1-a	0	2170	8,94	72,40	51,70	0,2	Mescla Capa Sub Base . Rio Carlazo
2	6	10-ene-08	Material Rio Carlazo	5+560	5+720	15,98	N.P	A-1-a	0	2210	6,48	74,00	55,00	0,17	Mescla Capa Sub Base . Rio Carlazo
3	7	05-ene-08	Material Rio Carlazo	0+040	0+280	18,34	1,65	A-1-a	0	2220	5,79	58,40	44,30	0,13	Mescla Capa Sub Base . Rio Carlazo
4	8	05-ene-08	Material Rio Carlazo	0+480	0+680	18,7	3,79	A-1-a	0	2240	6	68,90	51,50	0,17	Mescla Capa Sub Base . Rio Carlazo
5	9	10-ene-08	Material Rio Carlazo-Santa Ana	0+680	1+100	16,07	0,98	A-1-a	0	2260	5,16	71,20	53,20	0,17	Mescla Capa Sub Base . Rio Carlazo
6	10	15-nov-07	Material Rio Carlazo-Santa Ana	1+100	1+500	17,75	1,76	A-1-a	0	2250	5,24	78,30	56,10	0,17	Mescla Capa Sub Base . Rio Carlazo
7	13	20-nov-07	Material Rio Carlazo	1+500	2+000	16,92	0,95	A-1-a	0	2230	5,58	72,40	51,70	0,2	Mescla Capa Sub Base . Rio Carlazo
8	14	20-nov-07	Material Rio Carlazo	2+000	2+500	17,54	1,13	A-1-a	0	2220	6,04	88,30	62,30	0,16	Mescla Capa Sub Base . Rio Carlazo
9	15	20-nov-07	Material Rio Carlazo	2+500	3+000	17,43	1,47	A-1-a	0	2230	6,24	77,10	53,40	0,12	Mescla Capa Sub Base . Rio Carlazo
10	16	26-dic-07	Material Rio Carlazo	3+000	3+500	17,89	1,84	A-1-a	0	2230	6,18	83,90	62,60	0,17	Mescla Capa Sub Base . Rio Carlazo
11	17	03-dic-07	Material Rio Carlazo	3+500	4+000	17,17	1,13	A-1-a	0	2220	6,07	70,20	52,40	0,16	Mescla Capa Sub Base . Rio Carlazo
12	21	14-feb-08	Material Rio Carlazo-Santa Ana	4+500	5+000	15,90	1,90	A-1-a	0	2230	6,01	76,60	62,00	0,16	Capa Sub Base . Rio Carlazo
13	22	18-feb-08	Material Rio Carlazo-Santa Ana	5+000	5+540	15,80	0,90	A-1-a	0	2236	6,38	79,00	59,90	0,22	Capa Sub Base . Rio Carlazo
14	23	15-feb-08	Material Rio Carlazo-Santa Ana	5+720	6+000	15,70	1,30	A-1-a	0	2223	6,22	84,90	69,90	0,17	Capa Sub Base . Rio Carlazo
15	24	22-may-09	Material de corte-Rio Canaletas	25+900	26+070	19,70	N.P	A-1-a	0	2205	8,04	63,70	41,80	0,14	Material capa Sub Base
16	25	25-may-09	Material de corte 30+100	estudio		21,00	N.P	A-1-a	0	2094	6,84	99,80	79,80	0,02	Material capa Sub Base estudio banco
17	26	27-may-09	Material de corte 30+100	26+070	26+500	20,60	4,00	A-1-a	0	2191	6,53	106,20	83,90	0,02	Material capa Sub Base
18	28	15-jun-09	Material de corte 30+100	26+500	26+800	22,50	5,00	A-1-a	0	2168	6,39	81,00	65,40	0,05	Material capa Sub Base
19	31	22-jun-09	Material Banco Rio Canaletas Acopio 27+400	26+800	27+000	19,20	N.P	A-1-a	0	2197	5,42	108,80	66,60	0,05	Material capa Sub Base
20	32	25-jun-09	Material Banco 30+100	27+000	27+200	20,70	2,50	A-1-a	0	2186	5,86	94,20	65,80	0,05	Material capa Sub Base
21	33	26-jun-09	Material Banco Rio Canaletas 30+100	27+200	27+400	19,10	N.P	A-1-a	0	2178	6,55	88,80	69,10	0,10	Material capa Sub Base

(Tabla 14).....ENSAYOS CAPA BASE

ENSAYOS CAPA BASE															
	Reg.	Fecha	Origen	Destino		Limites		Clasif.	I.G.	Proctor T-180		C.B.R.			Observaciones
	No		Material	Inicial	final	L.L.		I.P.		AASHTO	D. Máx.	H.Opt.	100%	97%	
1	1	03-nov-07	Rio Carlazo, material para base	0+080	0+500	15,87	N.P	A-1-a	0	2213	6,31	81	61,5	0,00	Capa Base . Rio Carlazo
2	2	03-nov-07	Rio Carlazo, material para base	0+081	0+500	16,49	N.P	A-1-a	0	2223	5,87	81,2	62,1	0,00	Capa Base . Rio Carlazo
3	3	08-nov-07	Rio Carlazo, material para base	0+500	0+900	16,08	N.P	A-1-a	0	2206	5,80	73	60,0	0,00	Capa Base . Rio Carlazo
4	4	14-nov-07	Rio Carlazo, material para base	0+900	1+500	15,66	N.P	A-1-a	0	2210	6,13	74,7	58,5	0,00	Capa Base . Rio Carlazo
5	5	15-nov-07	Rio Carlazo, material para base	1+500	1+900	15,64	N.P	A-1-a	0	2210	5,49	74,2	59,8	0,00	Capa Base . Rio Carlazo
6	6	19-feb-08	Rio Carlazo, material para base	2+060	2+400	14,30	N.P	A-1-a	0	2221	6,03	89,9	69,6	0,00	Capa Base . Rio Carlazo
7	7	21-feb-08	Rio Carlazo, material para base	5+460	5+960	14,20	N.P	A-1-a	0	2235	6,02	88,2	68,4	0,00	Capa Base . Rio Carlazo
8	8	03-mar-08	Rio Carlazo, material para base	5+960	6+200	16,00	N.P	A-1-a	0	2228	5,71	83,1	60,8	0,00	Capa Base . Rio Carlazo
9	9	26-mar-08	Rio Carlazo, material para base	5+000	5+460	18,50	N.P	A-1-a	0	2237	6,25	90,4	72,6	0,00	Capa Base . Rio Carlazo
10	10	28-mar-08	Rio Carlazo, material para base	4+400	4+700	18,00	N.P	A-1-a	0	2226	6,01	92,2	70,8	0,00	Capa Base . Rio Carlazo
11	11	02-abr-08	Rio Carlazo, material para base	4+700	5+000	17,80	N.P	A-1-a	0	2228	6,04	89,1	68,8	0,00	Capa Base . Rio Carlazo
12	12	10-abr-08	Rio Carlazo, material para base	4+100	4+400	17,30	N.P	A-1-a	0	2232	5,26	87	64,0	0,00	Capa Base . Rio Carlazo
13	13	23-abr-08	Rio Carlazo, material para base	3+700	4+100	16,50	N.P	A-1-a	0	2230	6,32	89	69,5	0,00	Capa Base . Rio Carlazo
14	14	29-abr-08	Rio Carlazo, material para base	3+300	3+700	17,30	N.P	A-1-a	0	2223	6,28	93,2	74,4	0,00	Capa Base . Rio Carlazo
15	15	05-may-08	Rio Carlazo, material para base	1+700	2+060	15,20	N.P	A-1-a	0	2234	6,08	85,9	66,5	0,00	Capa Base . Rio Carlazo
16	16	13-may-08	Rio Carlazo, material para base	2+900	3+300	16,50	N.P	A-1-a	0	2225	6,18	84,9	61,4	0,00	Capa Base . Rio Carlazo
17	17	22-may-08	Rio Carlazo, material para base	2+400	2+900	16,50	N.P	A-1-a	0	2230	6,18	89,4	70,3	0,00	Capa Base . Rio Carlazo
18	18	25-may-08	Rio Carlazo, material para base	2+060	2+400	16,10	N.P	A-1-a	0	2235	6,32	89	65,3	0,00	Capa Base . Rio Carlazo
19	22	07-ago-09	Rio canaletas. Zarandeado	26+500	26+700	16,60	N.P	A-1-a	0	2169	7,38	88,3	64,2	0,04	Material capa Base

[illegible]

5.4.2. PROCESAMIENTO DE DATOS

Para el procesamiento de datos primero se realizarán los planes de aceptación tanto para la capa sub base como para la capa base.

PLANES DE ACEPTACIÓN PARA LA CAPA SUB BASE

El siguiente cuadro presenta los parámetros principales objeto de control en una capa sub base. A criterio del autor de esta investigación se determina el nivel de importancia correspondiente a cada parámetro según su influencia en la conformación de la capa.

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.

Propiedad	Límite	Clasificación	Tipo	Prioridad	Frecuencia	Plan
Análisis Granulométrico	S/tablas	Mayor	Variable	Principal	c/250 m	SI
Límite Líquido	$\leq 25\%$	Menor	Atributo	Secundario	c/250 m	NO
Índice Plástico	$\leq 6\%$	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	$\geq 30\%$	Mayor	Variable	Principal	c/250 m	SI
Expansión	$\leq 1\%$	Menor	Atributo	Principal	c/250 m	SI
Desgaste por abrasión	$\leq 50\%$	Menor	Atributo	Principal	c/250 m	SI
Una cara fracturada	$\geq 97\%$	Menor	Atributo	Secundario	c/250 m	NO
Partículas planas y alargadas	$\leq 15\%$	Menor	Atributo	Secundario	c/250 m	NO
Cont. materia orgánica	$\leq 1\%$	Menor	Atributo	Secundario	c/250 m	NO
Cont. Terrones de arcilla	$\leq 1\%$	Menor	Atributo	Secundario	c/250 m	NO
Grado d/compact.	$\geq 97\%$	Mayor	Variable	Principal	c/100 m	SI
Control geométrico	- 2 cm.	Mayor	Atributo	Principal	c/20 m	NO

Tabla 15. Parámetros de calidad capa sub base

Fuente: “Planes de aceptación y de muestreo para la construcción de caminos”,
AASHTO R9-86.

Definidos los parámetros que requieren el diseño de planes de control se determinan los riesgos para el comprador y para el vendedor.

El siguiente cuadro contempla las estimaciones correspondientes. Todos los elementos seleccionados corresponden a clasificación mayor, esto es que el requerimiento es necesario para la prevención de pérdidas económicas sustanciales.

Propiedad	Clasificación.	Pp	Pg	Tipo	Límites	% en defecto	% en tolerancia
Desgaste abrasión	Menor	0.900	0.005	Atributo	$\leq 50\%$	10	90
Densidad Máxima	Mayor	0.950	0.010	Variable		10	95
Humedad óptima	Menor	0.950	0.010	Variable		10	90
CBR	Mayor	0.950	0.010	Variable	$\geq 30\%$	10	95
Expansión	Menor	0.950	0.010	Atributo	$\leq 1\%$	10	90
Grado d/compact.	Mayor	0.950	0.010	Variable	$\geq 97\%$	10	95
Control geométrico	Mayor	0.950	0.010	Atributo	-2cm +0cm	10	95

Tabla 16. Estimaciones a los parámetros de calidad capa sub base

*Fuente: “Planes de aceptación y de muestreo para la construcción de caminos”,
AASHTO R9-86.*

Se asigna para todos los elementos seleccionados una probabilidad de 95% de rechazar materiales inaceptables (5% de probabilidad de aprobar materiales inaceptables).

Se asigna un 1% de probabilidad de rechazar materiales aceptables (99 % de probabilidad de aprobar materiales aceptables). Esta probabilidad es racional puesto que incrementar el riesgo del vendedor derivaría en un incremento en los costos de producción.

También han sido establecidos valores admisibles de porcentaje defectuoso y porcentaje dentro de tolerancia para las estimaciones subsecuentes.

A continuación se desarrollan planes de aceptación para las variables seleccionadas.

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 especificado50%
- Desviación estándar media en materiales similares ..4%

Siendo un caso con desviación estándar conocida se acude a la **tabla 9**, donde se indica que para requerimiento de nivel crítico menor son necesarias 4 muestras, y se determinan los valores límite según.

Clasificación del requerimiento	Probabilidad (a) de rechazo de un buen material (Pg)	Probabilidad de rechazo de un mal material (Pp)	Número de medidas (n)	Diferencia entre medias (Ta)	Límites de aceptación (b)
Crítico	0.050	0.995	9	$\pm 1.72\sigma$	$X'p \pm 1.051R$
Mayor	0.010	0.950	7	$\pm 1.78\sigma$	$X'p \pm 0.736R$
Menor	0.005	0.900	5	$\pm 1.93\sigma$	$X'p \pm 0.642R$
Contractual	0.001	0.800	4	$\pm 2.27\sigma$	$X'p \pm 0.486R$

Tabla 9. Balance sugerido para la especificación de factores de aceptación, Desviación estándar conocida.

Fuente: “Planes de aceptación y de muestreo para la construcción de caminos”, AASHTO R9-86.

- $Ta = -1.93 * \sigma = -1.93 * 4 = 7.72$
- $X'p$ = 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 Pp , $X'p = 50$
- $X'g$ = Valor medio de un lote aceptable con una pequeña probabilidad de rechazo Pg ,
 $X'g = X'p - Ta$
 $X'g = 50 - 7.72 = 42.28\%$

- El límite superior de control $U = \bar{X} + 0.642 \sigma = 50 - 0.642 * 4$
 $U = 50 - 2.6 = 47.4\%$

Las reglas de decisión serán:

- El porcentaje máximo promedio de desgaste por los ángeles deberá ser 42.28%.
- Será aceptable una muestra individual con porcentaje de desgaste hasta 47.4%.
- Por otra parte, las especificaciones no establecen una frecuencia regular para la realización de este ensayo. Es entonces oportuno especificar:
- Si la producción de la capa sub base es regular, deberá ser realizado al menos un ensayo de los ángeles al mes.
- Si la producción no es regular, es decir cuando la producción media diaria mensual no supera los 250 m, deberá ser realizado un ensayo de los ángeles al menos cada 5,000 m lineales de sub base colocada.

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, entonces debería estar establecida cierta variabilidad controlada de este valor de referencia. Esta variable ha sido clasificada como **“MAYOR”**

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

Comparando información de varios proyectos viales ejecutados en Bolivia, primero se ha establecido que la población de datos de valores proctor tiene un histograma de frecuencias que adopta forma de campana sugiriendo que esta variable se aproxima a una distribución normal. El histograma de frecuencias que se presenta ratifica esta afirmación.

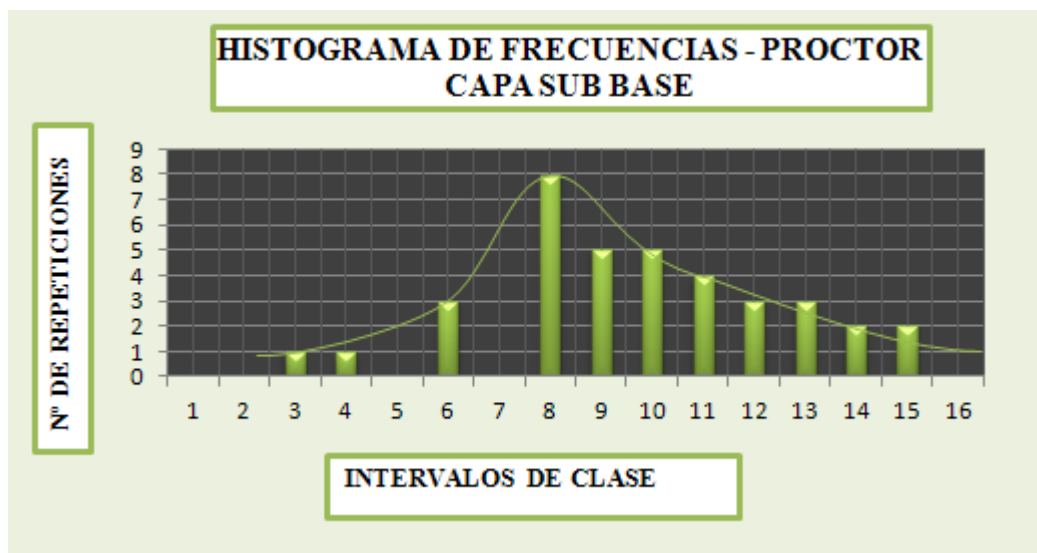


Figura 12. Histograma de frecuencias porctor - capa sub base

Se busca establecer los límites superior é inferior dentro de los cuales deben caer todas las densidades proctor de la capa Sub Base. Densidades que se encuentren fuera de este rango deberán ser descartadas y no podrán ser aplicadas como referencia para control de densidades en sitio.

Se considera que la desviación estándar es conocida:

SUB BASE	Proctor T-180		C.B.R.		
	D. Máx.	H.Opt.	100%	97%	%Exp
PROMEDIO	2196	6,34	83	61	0,109
DES. ESTÁNDAR	34	0,68	14	10	0,054
MÁXIMO	2260	8,94	121	84	0,220
MÍNIMO	2094	5,16	57	42	0,020
NUMERO DE DATOS	38	38	38	38	38

Tabla 17. Desviación estándar obtenida para proctor T- 180 capa sub base

Se adopta 34. Siendo un caso con desviación estándar conocida se acude a la tabla 9, donde se indica que para requerimiento de nivel crítico mayor son necesarias al menos 7 muestras, y se determinan los valores límite según:

- $T_a = \pm 1.78 * \sigma = \pm 1.78 * 34 = \pm 60.52$
- $X'g$ = Valor medio aceptable “0”, con una pequeña Probabilidad de rechazo P_g , $X'g = “0”$
- $X'p$ = Valor medio de un lote que está fuera de los límites, el cual deberá tener una alta probabilidad de rechazo P_p ,
 $X'p = X'g \pm T_a$
 $X'p = 0 \pm 60.52 = \pm 60.52$
- El límite inferior de control
 $L = X'p - 0.736 \sigma = -60.52 + 0.736 * 34$
 $L = -60.52 + 25.024 = -35.5$ se adopta **-36**
- El límite superior de control
 $U = X'p + 0.736 \sigma = +60.52 + 0.736 * 34$
 $U = +60.52 + 25.024 = +85.5$ se adopta **+86**

Las reglas de decisión serán:

- Al inicio de la campaña deberán ser obtenidos al menos 7 ensayos de densidad máxima. El promedio de las siete 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 ± 86 alrededor del valor medio inicial. Valores fuera de rango deben ser eliminados.
- El promedio de la densidad máxima podrá ser móvil con cada nuevo proctor de referencia obtenido. Esto permite también ir ajustando la desviación estándar que tendrá tendencia a ser menor a medida que sea obtenida de un mayor número de muestras.

Índice de soporte california – 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 97%. 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%.

El siguiente gráfico presenta el histograma de frecuencias para el CBR al 97% de compactación, al igual que curvas similares de otros proyectos, este histograma se asemeja a una función de distribución de probabilidades correspondiente a la distribución normal.

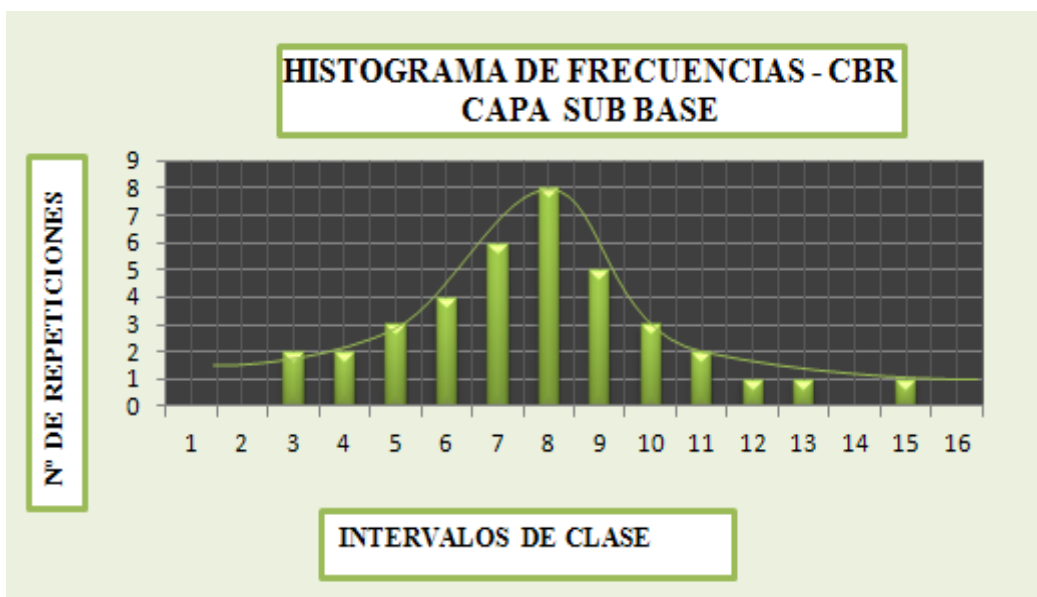


Figura 13. Histograma de frecuencias CBR capa sub base

Se busca determinar el límite inferior.

SUB BASE	Proctor T-180		C.B.R.		
	D. Máx.	H.Opt.	100%	97%	%Exp
PROMEDIO	2196	6,34	83	61	0,109
DES. ESTÁNDAR	34	0,68	14	10	0,054
MÁXIMO	2260	8,94	121	84	0,220
MÍNIMO	2094	5,16	57	42	0,020
NUMERO DE DATOS	38	38	38	38	38

Tabla 18. Valores obtenidos para CBR capa sub base

Se considera que el caso es de desviación estándar conocida $\sigma=14$

El valor mínimo especificado para el CBR es 60%.

Al ser la desviación estándar conocida se **acude a la tabla 9**.

- $X'p$ = 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 Pp ,
 $X'p= 60\%$

- El límite inferior de control
 $L = X'p + 0.736 \sigma = 60 + 0.736*14$
 $L = 60 + 14 = \mathbf{70 \%}$

Si se considera el promedio más conveniente:

- $X'g$ = Valor medio de un lote aceptable con una pequeña probabilidad de rechazo Pg ,
 $X'g= X'p + Ta = X'p + 1.78 \sigma$
 $X'g= 60 + 1.78 * 14=84.92 \% \text{ se adopta } \mathbf{85 \%}$

Las reglas de decisión serán:

- El CBR, como muestra individual admisible será mayor ó igual a 70 %.
- Valores entre 60% y70% 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 60%. La producción requiere correcciones.

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%.

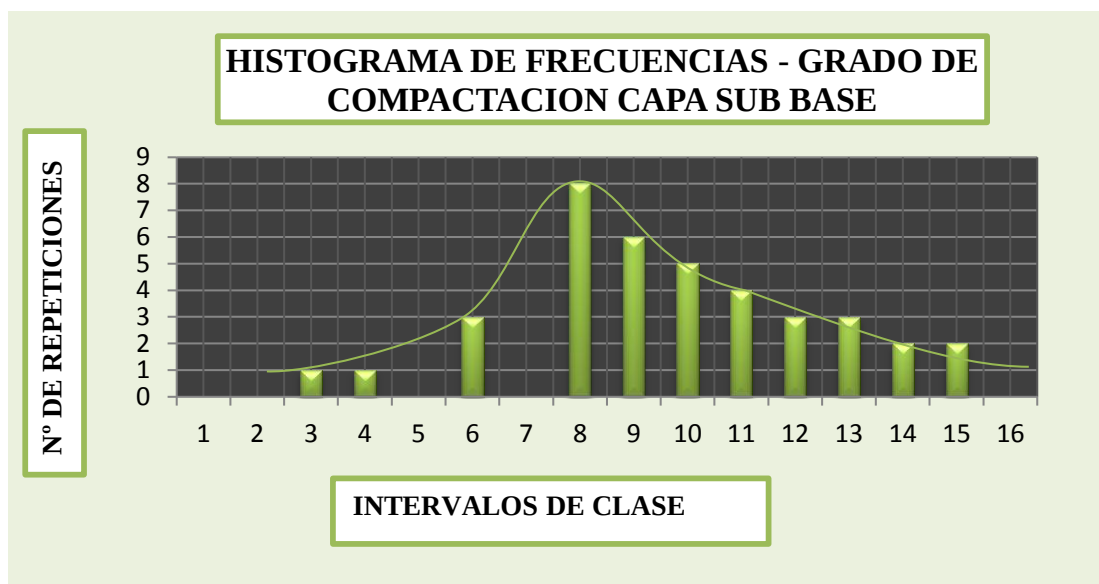


Figura 14. Histograma de frecuencias – grado de compactación capa sub base

Se busca determinar el límite inferior.

Se considera que el caso es de desviación estándar conocida $\sigma=1.55$ a se adopta 2 como mas desfavorable.

Al ser la desviación estándar conocida se acude a la tabla 6.

- $X'p$ = 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 ,

$$X'p = 97\%$$

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

$$X'g = X'p + 1.78 \sigma = 97 + 1.78 * 1.55$$

$$L = 97 + 2.759 = 99.759 \%$$

- El límite inferior de control

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

$$L = 97 + 1.5 = 98.14 \%$$
 se adopta **98.5 %**

Las reglas de decisión serán:

- El promedio de la muestra de 7 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 muestral es al menos 98.5%. Si el promedio muestral es menor a 98.5 y existe al menos una muestra individual menor a 97%, el tramo debe ser reprocesado.
- Si hay dos muestras ó mas con grado de compactación menor a 97% se reprocesa el tramo, sin considerar el promedio muestral.

PLANES DE ACEPTACIÓN PARA LA CAPA 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.

Propiedad	Límite	Clasificación	Tipo	Prioridad	Frecuencia	Plan
Análisis Granulométrico	S/tablas	Mayor	Variable	Principal	c/250 m	SI
Límite Líquido	$\leq 25\%$	Menor	Atributo	Secundario	c/250 m	NO
Índice Plástico	$\leq 6\%$	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	$\geq 80\%$	Mayor	Variable	Principal	c/250 m	SI
Expansión	$\leq 0.5 \%$	Mayor	Atributo	Principal	c/250 m	SI
Desgaste por abrasión	$\leq 50\%$	Menor	Atributo	Principal	c/250 m	SI
Una cara fracturada	$\geq 80\%$	Mayor	Atributo	Secundario	c/250 m	NO
Partículas planas y alargadas	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.	$\geq 100\%$	Mayor	Variable	Principal	c/100 m	SI

Tabla 19. Parámetros de calidad para la capa base

*Fuente: “Planes de aceptación y de muestreo para la construcción de caminos”,
AASHTO R9-86.*

Definidos los parámetros que requieren el diseño de planes de control se determinan los riesgos para el comprador y para el vendedor.

Todos los elementos seleccionados corresponden a clasificación mayor, esto es que el requerimiento es necesario para la prevención de pérdidas económicas sustanciales.

Propiedad	Clasif.	Pp	Pg	Tipo	Límites	% en defecto	% en tolerancia
Desgaste abrasión	Menor	0.900	0.005	Atributo	$\leq 50\%$	10	90
Densidad Máxima	Mayor	0.950	0.010	Variable		10	95
Humedad óptima	Menor	0.950	0.010	Variable		10	90
CBR	Mayor	0.950	0.010	Variable	$\geq 80 \%$	10	95
Expansión	Menor	0.950	0.010	Atributo	$\leq 0.5\%$	10	90
Grado d/compact.	Mayor	0.950	0.010	Variable	$\geq 100\%$	10	95

Tabla 20. Estimaciones a los parámetros de calidad para la capa base

Fuente: “Planes de aceptación y de muestreo para la construcción de caminos”,
AASHTO R9-86.

Se asigna para todos los elementos seleccionados una probabilidad de 95% de rechazar materiales inaceptables (5% de probabilidad de aprobar materiales inaceptables).

Se asigna un 1% de probabilidad de rechazar materiales aceptables (99 % de probabilidad de aprobar materiales aceptables). Esta probabilidad es racional puesto que incrementar el riesgo del vendedor derivaría en un incremento en los costos de producción.

También han sido establecidos valores admisibles de porcentaje defectuoso y porcentaje dentro de tolerancia para las estimaciones.

Densidad Máxima – Proctor de Referencia

El trato otorgado a esta variable de la capa base, es el mismo que el aplicado para la sub base. Si bien 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, entonces debería estar establecida cierta variabilidad controlada de este valor de referencia. Esta variable ha sido clasificada como “**MAYOR**”

En el histograma se puede apreciar que en el tramo del ejemplo se dio una mayor dispersión en los valores proctor de la capa base que en los de la sub base, la

asimetría del gráfico es apreciable, sin embargo es posible concluir que la variable tiene un comportamiento próximo al de la distribución normal.

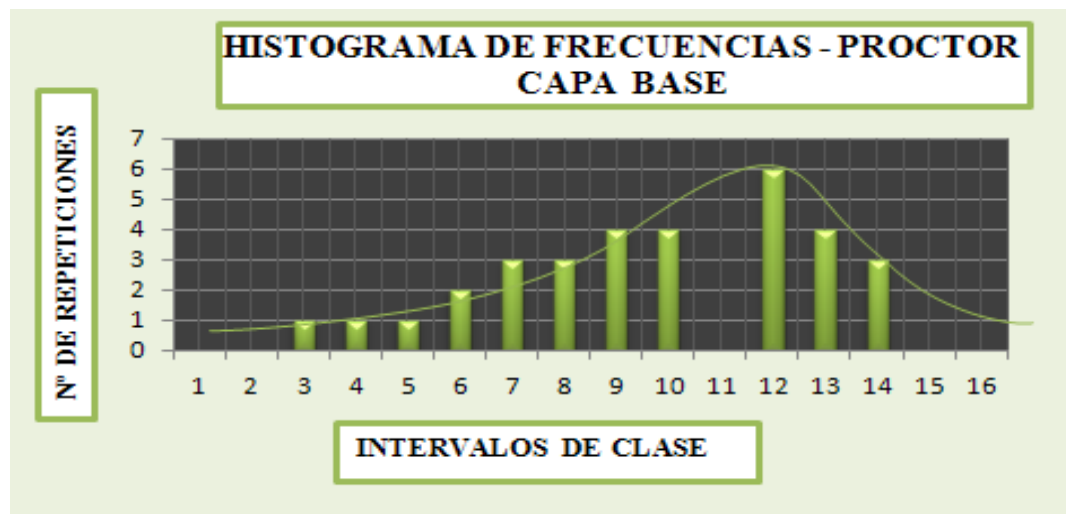


Figura 15. Histograma de frecuencias proctor capa base

Esquemas como el del ejemplo justifican la necesidad de establecer un procedimiento de control para la selección de los valores de densidad máxima a ser utilizados como referencias básicas para el control y aprobación de la compactación. Con un procedimiento que establezca control sobre la dispersión serán obtenidos resultados más uniformes y por tanto mejor calidad en la construcción del pavimento.

En este sentido se busca aplicar los procedimientos de AASHTO para determinar rangos aceptables de variabilidad del valor proctor.

Comparando información de varios proyectos viales ejecutados en Bolivia, primero se ha establecido que la población de datos de valores proctor para la capa base tiene un histograma de frecuencias que adopta forma de campana sugiriendo que esta variable se aproxima a una distribución normal.

Se busca establecer los límites superior é inferior dentro de los cuales deben caer todas las densidades proctor de la capa Base. Densidades que se encuentren fuera de este rango deberán ser descartadas y no podrán ser aplicadas como referencia para control de densidades en sitio.

Similar al comportamiento de la capa Sub Base, para la capa Base se considera que la desviación estándar es conocida $\sigma = 20$

CAPA BASE	Proctor T-180	
	D. Máx.	H.Opt.
PROMEDIO	2210	6,10
DES. ESTÁNDAR	20	0,39
MÁXIMO	2237	7,38
MÍNIMO	2167	5,26
NUMERO DE DATOS	33	33

Tabla 21. Valores obtenidos de proctor t-180 para la capa base

Siendo un caso con desviación estándar conocida se acude a la tabla 9, donde se indica que para requerimiento de nivel crítico mayor son necesarias al menos 7 muestras, y se determinan los valores límite según:

- $T_a = \pm 1.78 * \sigma = \pm 1.78 * 20 = \pm 35.6$
- $X'g$ = Valor medio aceptable “0”, con una pequeña probabilidad de rechazo P_g ,
 $X'g = “0”$
- $X'p$ = Valor medio de un lote que está fuera de los límites, el cual deberá tener una alta probabilidad de rechazo
 $P_p, X'p = X'g \pm T_a$
 $X'p = 0 \pm 35.6 = \pm 35.6$
- El límite inferior de control
 $L = X'p - 0.736 \sigma = -35.6 + 0.736 * 20$
 $L = -35.6 + 14.7 = -20.9$ se adopta **-21**
- El límite superior de control
 $U = X'p + 0.736 \sigma = +35.6 - 0.736 * 20$
 $U = +35.6 - 14.7 = +20.9$ se adopta **+21**

Las reglas de decisión serán:

- Al inicio de la campaña deberán ser obtenidos al menos 7 ensayos de densidad máxima. El promedio de las siete densidades será el valor de control inicial y la referencia fundamental.
- A partir de la octava densidad, será apta como densidad de referencia la obtenida en laboratorio que se encuentre en un rango de ± 21 alrededor del valor medio inicial. Materiales cuya densidad máxima se encuentre fuera de este rango deberán ser analizados adecuadamente antes de descartarlos.
- El promedio de la densidad máxima podrá ser móvil con cada nuevo proctor de referencia obtenido. Esto permite también ir ajustando la desviación estándar que tendrá tendencia a ser menor a medida que sea obtenida de un mayor número de muestras.

Índice de soporte california – CBR

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

De manera similar al análisis del CBR para la sub base, para la capa base se consideran los valores del cuadro correspondientes al CBR al 97% de compactación.

El siguiente gráfico presenta el histograma de frecuencias para el CBR al 97% de compactación, al igual que curvas similares de otros proyectos, este histograma se asemeja a una función de distribución de probabilidades correspondiente a la distribución normal.

El comportamiento del CBR al 97% de compactación es muy similar al de la capa sub base. De este análisis es posible estimar que el histograma para el CBR al 100% de compactación mantendrá similar comportamiento por lo que se prosigue con el procedimiento tal como recomienda AAASHTO R-9.

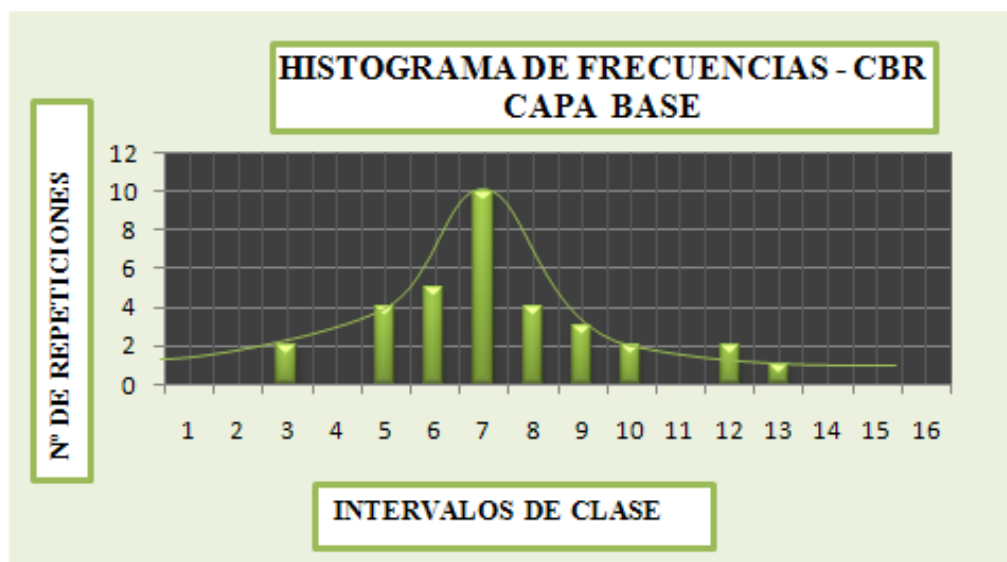


Figura 16. Histograma de frecuencias CBR para la capa base

Se busca determinar el límite inferior.

CAPA BASE	C.B.R.		
	100%	97%	%Exp
PROMEDIO	91	66	0,043
DES. ESTÁNDAR	10	5	0,089
MÁXIMO	114	74	0,500
MÍNIMO	73	56	0,000
NUMERO DE DATOS	33	33	33

Tabla 22. Desviación estándar obtenida para CBR en capa base

Se considera que el caso es de desviación estándar conocida $\sigma = 10$. Justificando el valor, es posible afirmar que la capa base es una capa producida de manera industrial, siguiendo procesos de dosificación y de control de los materiales, este tipo de producción redonda necesariamente en una mayor uniformidad lo cual reduce los valores de la desviación estándar.

El valor mínimo especificado para el CBR es 80%.

Al ser la desviación estándar conocida se **acude a la tabla 9**.

- 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 ,
 $X'_p = 80\%$
- El límite inferior de control
 $L = X'_p + 0.736 \sigma = 80 + 0.736 * 10$
 $L = 87.36 \%$

Si se considera el promedio más conveniente:

- X'_g = Valor medio de un lote aceptable con una pequeña probabilidad de rechazo P_g ,
 $X'_g = X'_p + T_a = X'_p + 1.78 \sigma$
 $X'_g = 80 + 1.78 * 10 = 97.8 \%$ se adopta **98%**

Las reglas de decisión serán:

- El CBR, como muestra individual admisible será mayor ó igual a 80 %.
- La media del lote aceptable con una pequeña probabilidad de rechazo debe ser 98%,
- Valores entre 80% y 87.36% serán aprobados considerando que se encuentran bajo probabilidad de rechazo de materiales buenos. 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.

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 especificado para capa base de 97%

En el gráfico se aprecia el histograma de frecuencias para el grado de compactación de la capa base. Se aprecia la aproximación a una curva de distribución normal.

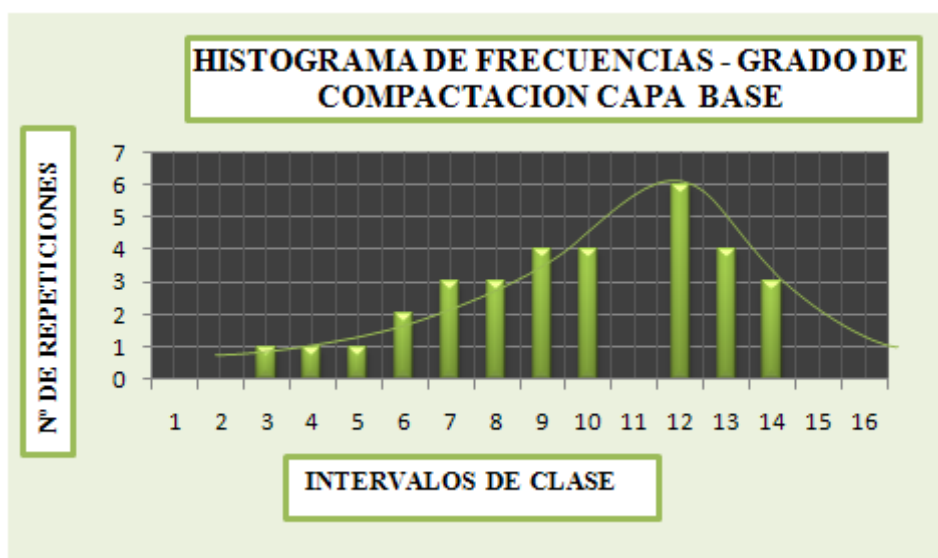


Figura 17. Histograma de frecuencias grado de compactación capa base

Se considera que el caso es de desviación estándar conocida $\sigma=0.89\%$

Al ser la desviación estándar conocida se acude a la tabla 9.

- 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 ,
 $X'_p= 97\%$

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

$$X'g = X'p + 1.78 \sigma = 97 + 1.78 * 0.89$$

$$X'g = 97 + 1.58 = 98.58 \%$$

- El límite inferior de control

$$L = X'p + 0.736 \sigma = 97 + 0.736 * 0.89$$

$$L = 97 + 0.655 = 97.65 \%$$

Las reglas de decisión serán:

- El tamaño mínimo de muestra es de 7 unidades.
- El grado de compactación promedio de la muestra debe superar los 98.58 %.
- La muestra individual admisible será mayor ó igual a 97.65 %.
- Valores entre 97 y 97.65% 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.
- Cuando exista una muestra individual con GC menor a 97%, el tramo será aprobado si el promedio muestral supera 97.65%. Si el promedio muestral es menor a 97.65% y existe una muestra individual con GC menor a 97% el tramo debe ser reprocesado.
- Si hay dos muestras ó mas con grado de compactación menor a 97% se reprocesa el tramo, sin considerar el promedio muestral.

5.4.3. RESULTADOS UTILIZANDO CARTAS DE CONTROL

Métodos “A” y “B”: Resumen de aplicabilidad

El siguiente cuadro presenta un resumen preciso de los tipos de planes de aceptación diseñados en base a los procedimientos recomendados por las especificaciones R-9 de AASHTO, objeto del presente estudio.

La aplicabilidad de los métodos “A” y “B” se la establece considerando los parámetros de calidad mas importantes de las capas sub base y capa base.

<i>Método</i>	<i>Capa</i>		<i>Propiedad</i>	<i>Tipo de plan</i>	<i>Prioridad</i>
Método “A” “Porcentaje Defectuoso”	Sub Base	Base			
Método “B” “Porcentaje dentro de tolerancia”	Sub Base	Base	Análisis Granulométrico	Variable	Principal
	Sub Base	Base	Desgaste por abrasión	Variable	Secundario
		Base	Una cara fracturada	Variable	Secundario
		Base	Equivalente de arena	Variable	Principal
	Sub Base	Base	Partículas planas y alarg	Variable	Secundario
	Sub Base	Base	Densidad Máxima	Variable	Principal
	Sub Base	Base	CBR	Variable	Principal
	Sub Base	Base	Expansión	Variable	Secundario
	Sub Base	Base	Cont. materia orgánica	Variable	Secundario
	Sub Base	Base	Cont. Terrones de arcilla	Variable	Secundario
	Sub Base	Base	Grado d/compact.	Variable	Principal

Tabla 23. Aplicabilidad de los métodos A y B

El cuadro permite apreciar que el método “B” Porcentaje dentro de tolerancia con planes por variables es el que mayor aplicabilidad tiene para los fines de esta investigación.

5.4.3.1. RESULTADOS

A continuación serán presentados ejemplos de aplicación que permitirán evaluar los resultados logrados.

Estos resultados se generan a partir de datos extraídos del tramo cuyos datos básicos fueron también empleados en esta investigación.

Complementariamente se emiten recomendaciones acerca de cada uno de los elementos objeto análisis.

Parámetros de calidad analizados: sub base y capa base

Los materiales de sub base y capa base, presentan diferencias notables en concepto y en aplicación, sin embargo son por otra parte similares en cuanto a su tratamiento de producción y de aplicación en pista, lo cual redundo en procesos constructivos y de control muy similares.

Por lo tanto los resultados serán presentados por cada parámetro analizado con las recomendaciones pertinentes para cada uno.

Cálculos realizados: Desgaste por abrasión sub base y capa base.

Se aplica procedimiento de Porcentaje dentro de tolerancia.

- Valor máximo especificado 50%
- Desviación estándar media en materiales similares 4%

Los datos de la muestra preliminar son:

Fecha	Peso Inicial	Peso final	% de desgaste
08/10/2003	5000	3720	25,6
08/10/2004	5000	3560	28,8
09/10/2005	5000	3685	26,3
10/10/2006	5000	3663	27,6
10/10/2007	5000	3705	25,9
PROMEDIO			26,84
DES. ESTANDAR			1,34

Tabla 24. Datos históricos de desgaste por abrasión

Considerando las reglas de decisión:

- ✓ El porcentaje promedio de desgaste es: $26.84 \% < 42.28\%$.
- ✓ La máxima muestra individual es: $28.8 \% < 47.4\%$.
- ✓ La desviación estándar de la muestra es menor a la desviación estándar estimada para la población: $1.34 \% < 4.0 \% \dots ok$

Por tanto para el caso del ejemplo, el resultado es de aprobación plena.

Recomendación

Este es uno de los controles preliminares que permite, establecer la explotación de un sitio de préstamo en función de la calidad de los agregados que se obtienen del mismo. Es este sentido el desgaste por abrasión deber ser determinado siempre que se tenga que emplear una nueva fuente de materiales, debiendo ser objeto de un control periódico según el tiempo de explotación de la cantera y según la cantidad producida de agregados.

El valor del desgaste por abrasión de materiales granulares es un "atributo" cuyo control se ha establecido en este trabajo a través del método de Porcentaje dentro de tolerancia mediante un plan de control por variables.

Se recomienda el control de desgaste por abrasión en dos etapas:

- Etapa preliminar, en la que para determinar el porcentaje de desgaste deberán realizarse por lo menos un total de 4 ensayos cuya media deber ser inferior a la tolerancia establecida.
- Etapa constructiva, etapa en la cual deberán preferentemente verificarse los valores de desgaste en forma periódica.

En todo caso lo importante será eliminar cualquier tipo de imprecisiones y establecer un plan de control adecuado que asegure la uniformidad de la calidad de los agregados.

Cálculos realizados: Densidad Máxima – Proctor de Referencia (capa sub base)

La densidad máxima ha sido permanente motivo de discusión en obra, el Contratista busca un valor bajo y el Supervisor uno alto. Ambos enfoques son inapropiados, siendo fundamental aplicar un plan de control libre de enfoques subjetivos, con una única interpretación.

Se aplica el plan de control diseñado para el proctor para la **capa Sub Base**:

SUB BASE	Proctor T-180		C.B.R.		
	D. Máx.	H.Opt.	100%	97%	%Exp
PROMEDIO	2196	6,34	83	61	0,109
DES. ESTÁNDAR	34	0,68	14	10	0,054
MÁXIMO	2260	8,94	121	84	0,220
MÍNIMO	2094	5,16	57	42	0,020
NUMERO DE DATOS	38	38	38	38	38

Tabla 25. Valores calculados para proctor T-180 capa sub base

Con desviación estándar es conocida $\sigma = 34$, se calculan los límites

- El límite inferior de control $L = -86$
- El límite superior de control $U = +86$

Calculando los límites para la carta de control.

- El valor medio de la población es: 2196
- El límite inferior de control $L = 2196 - 86 = 2110$
- El límite superior de control $U = 2200 + 86 = 2282$

La carta de control permite apreciar los límites superior é inferior y los datos que están dentro y fuera de los límites.

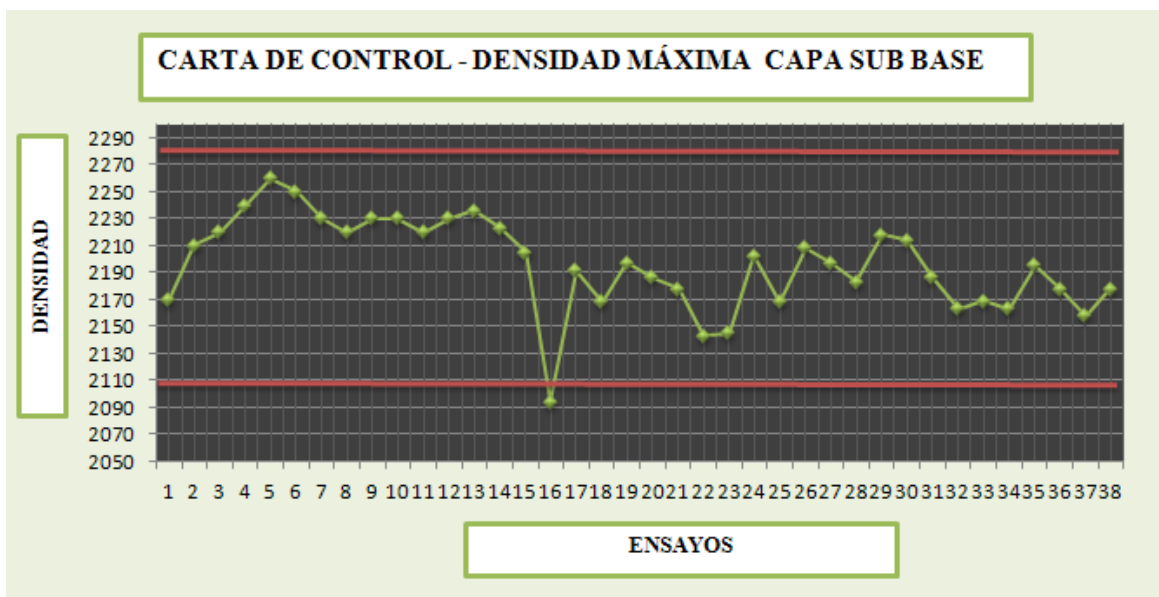


Figura 18. Carta de control densidad máxima capa sub base

Considerando las reglas de decisión:

- Si existen valores fuera del rango debieron haber sido eliminados como parámetros de control. El punto perteneciente al ensayo numero 16 esta ubicado

por debajo del límite inferior y puede haber permitido la aprobación de un sector “en defecto”.

- Cuando se aplica media móvil la carta de control tendrá nuevos límites, inferior y superior, cada actualización del valor central.
- Es importante realizar comentarios acerca de los resultados obtenidos mediante la carta de control de la variable analizada. La variable presenta en el tiempo un comportamiento “normal”, esto es que al principio comienza con un valor medio luego primer tercio de la carta presenta valores que se mueven hacia los valores del extremo superior, en el segundo tercio existe un punto que se sale del límite inferior y el tercer tercio vuelve a ser normal. Esto es típico en todo trabajo puesto que el ajuste y la uniformidad son definitivamente función del tiempo.
- A lo largo de la carta de control muestran que la variable tiende a lograr uniformidad, reduciendo la variabilidad.
- Se aprecia la tendencia inicial del proceso a “ir a lo seguro” con lo que este tramo presenta tendencia a mantenerse en valores medios. Con un plan de control previamente diseñado este “normal comportamiento” puede ser superado.

Cálculos realizados: Índice de soporte california – CBR (capa sub base)

Se aplica el plan de control diseñado para el CBR para la **capa Sub Base**:

SUB BASE	Proctor T-180		C.B.R.		
	D. Máx.	H.Opt.	100%	97%	%Exp
PROMEDIO	2196	6,34	83	61	0,109
DES. ESTÁNDAR	34	0,68	14	10	0,054
MÁXIMO	2260	8,94	121	84	0,220
MÍNIMO	2094	5,16	57	42	0,020
NUMERO DE DATOS	38	38	38	38	38

Tabla 26. Valores calculados para CBR capa sub base

Con desviación estándar es conocida

$\sigma = 14$, se calculan el límite inferior

- El límite inferior de control

$L = 70$

La carta de control permite apreciar el límite inferior y los datos que están dentro y fuera del límite.

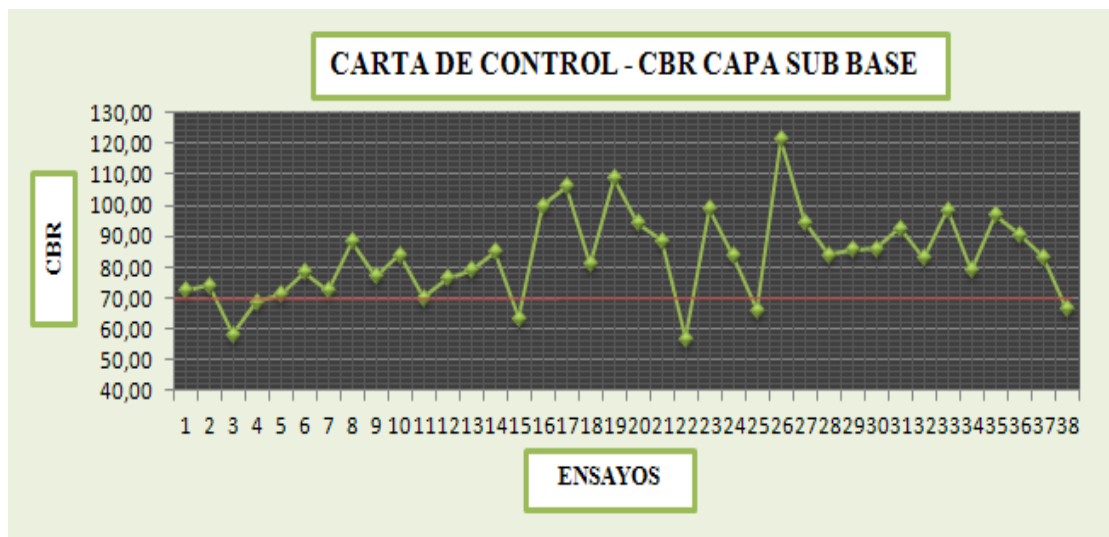


Figura 19. Carta de control CBR capa sub base

Considerando las reglas de decisión:

- La media es de 83% y esta cerca al valor medio de un lote aceptable con una pequeña probabilidad de rechazo que es de 85%, calculado anteriormente.
- La mayoría de los valores de CBR, como muestra individual admisible son mayor de 70 % y son aprobados.
- Existen valores por debajo del límite inferior de 70% como son los puntos 3, 4, 15, 22, 25 y 38 que debieron haber sido eliminados. Sin embargo los valores 4, 15, 25, 38 están entre 60% y 70% y podrán ser aprobados considerando que se encuentran bajo probabilidad de rechazo de materiales bueno.
- Valores 3 y 22 están por debajo de 60% y debieron ser rechazados, debido a que la producción requiere correcciones
- la variable analizada: presenta en el tiempo un comportamiento “normal” a lo largo de la carta de control muestran que la variable tiende a lograr uniformidad, reduciendo la variabilidad.

Cálculos realizados: Grado de compactación (capa sub base)

Para evaluar los resultados obtenidos para el control de la capa base se han elaborado las cartas de control correspondientes.

PROMEDIO	100
DES. ESTÁNDAR	1,55
MÁXIMO	103
MÍNIMO	95
NUMERO DE DATOS	38

Tabla 27. Valores calculados para grado de compactación capa sub base

- Límite inferior para muestra individual: GC= 98.5%
- Límite inferior para promedio de muestra: GC= 99.759%

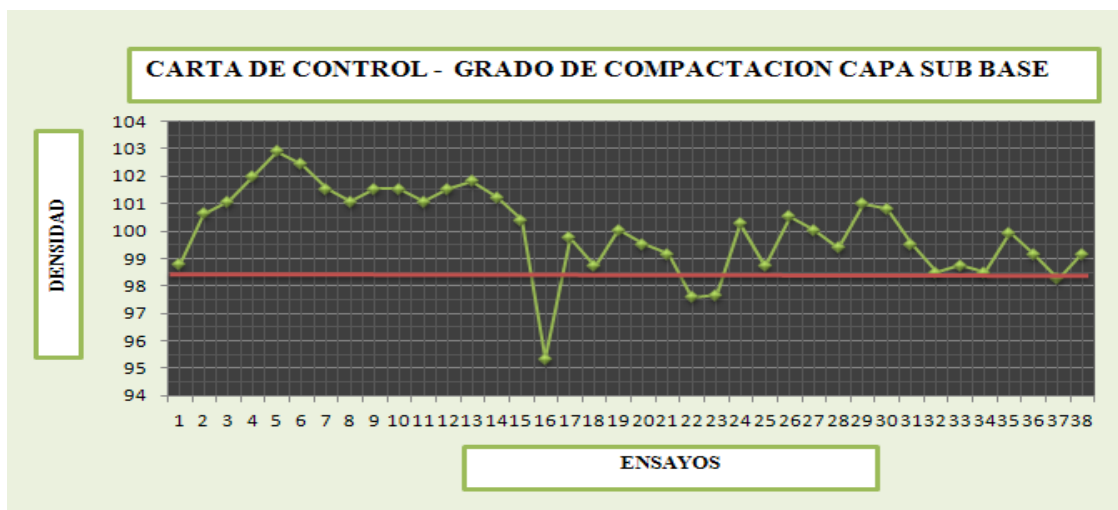


Figura 20. Carta de control grado de compactación capa sub base

- El promedio de la muestra es 100 y cumple es mayor para promedio de muestra q tiene un valor 99.759%.
- La gran mayoría de los datos tiene una buena aceptación esto debido a que son superiores al grado de compactación, para muestra individual que tiene un valor de 98.5 %.

- Los valores correspondientes a 22, 23 se encuentran entre 97% y 98.5% y son aprobados pero considerando que se encuentran bajo probabilidad de rechazo de material bueno.
- Solo existe una muestra que tiene un grado de compactación menor a 97%, como no hay dos muestras ó mas muestras con grado de compactación menor a 97% entonces no se reprocesa el tramo.
- Las cartas de control permiten apreciar de manera objetiva el nivel de calidad alcanzado con el grado de compactación.
- Se puede apreciar que general el grado de compactación de la capa sub base atiende los requerimientos de calidad, con un solo punto que, para estas reglas de decisión, debió haber sido rechazado.

De manera comparativa conviene considerar información para la capa Base:

Cálculos realizados: Densidad Máxima – Proctor de Referencia (capa base)

La capa base cuyos resultados se analizan corresponde a la capa base del mismo proyecto de la sub base del ejemplo anterior, se calculan los límites de control de acuerdo con lo determinado anteriormente.

El siguiente gráfico muestra la carta de control para la densidad máxima de la capa base:

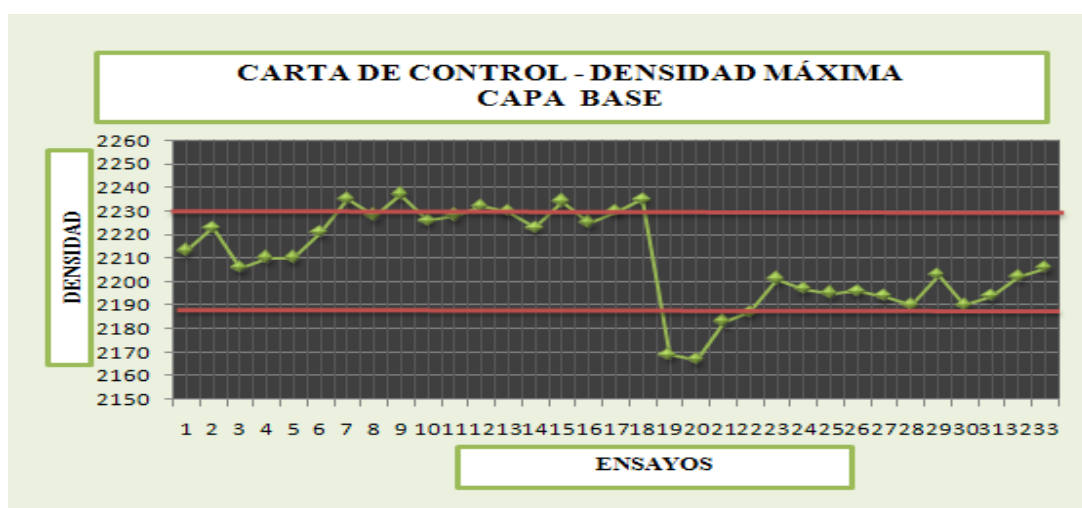


Figura 21. Carta de control densidad máxima capa base

La carta de control permite apreciar los límites superior é inferior.

Con desviación estándar es conocida $\sigma = 20$, se calculan los límites

- El valor medio de la población de la producción es: 2210
- El límite inferior de control $L = 2209 - 21 = 2189$
- El límite superior de control $U = 2209 + 21 = 2231$

Considerando las reglas de decisión:

- El promedio de la densidad máxima podrá ser móvil con cada nuevo proctor de referencia obtenido. Esto permite también ir ajustando la desviación estándar que

tendrá tendencia a ser menor a medida que sea obtenida de un mayor número de muestras.

- Los valores fuera del rango debieron haber sido eliminados como parámetros de control. Los puntos pertenecientes a los ensayos 19,20 y 21 están por debajo del límite inferior y puede haber permitido la aprobación de un sector “en defecto”.
- En los ensayos 7, 9, 15 y 18 de la carta de control muestran que la variable alcanza uniformidad relativa acercándose más al límite superior. Cuando se aprecia este tipo de tendencias el ingeniero de control de calidad deberá orientar la producción para evitar que la cercanía a los límites superiores demanden mayores energías de compactación en la conformación de la capa.
- Es importante realizar comentarios acerca de los resultados obtenidos mediante la carta de control de la variable analizada. La variable presenta en el tiempo un comportamiento “normal”, esto es que al principio comienza con un valor medio luego se mueven hacia los valores del extremo superior saliéndose de este límite en 4 ocasiones, posteriormente se hace un cambio brusco por lo cual existen 3 puntos que se salen del límite inferior y al final vuelve a ser normal. Esto es típico en todo trabajo puesto que el ajuste y la uniformidad son definitivamente función del tiempo.

Recomendación

Es importante analizar que cada producción debe ser tratada de manera independiente. Este aspecto debe ser cuidadosamente analizado en términos de la uniformidad de la capa a lo largo del tramo, los responsables deben necesariamente analizar las implicancias de estos cambios con relación al comportamiento de la capa base en el conjunto de la estructura de pavimento en el mediano y largo plazo.

Es conveniente insistir acerca de la importancia de este parámetro y de su control dentro de un rango racional que garantice resultados que atiendan los requerimientos de calidad pero que no demanden costos adicionales.

Llevar registros mediante cartas de control es una práctica muy poco aplicada en la construcción de carreteras en Bolivia, sin embargo cuando se analiza la producción a

través de esta importante herramienta es posible apreciar el gran aporte que representa y las facilidades que otorga al momento de tomar decisiones.

Cálculos realizados: Índice de soporte california – CBR (capa base)

Se aplica el plan de control diseñado para el CBR para la **capa Base**:

CAPA BASE	C.B.R.		
	100%	97%	%Exp
PROMEDIO	91	66	0,043
DES. ESTÁNDAR	10	5	0,089
MÁXIMO	114	74	0,500
MÍNIMO	73	56	0,000
NUMERO DE DATOS	33	33	33

Tabla 28. Valores calculados para CBR capa base

Con desviación estándar es conocida $\sigma = 10$, se calculan el límite inferior

El límite inferior de control $L = 87.36\%$

La carta de control permite apreciar el límite inferior y los datos que están dentro y fuera del límite.

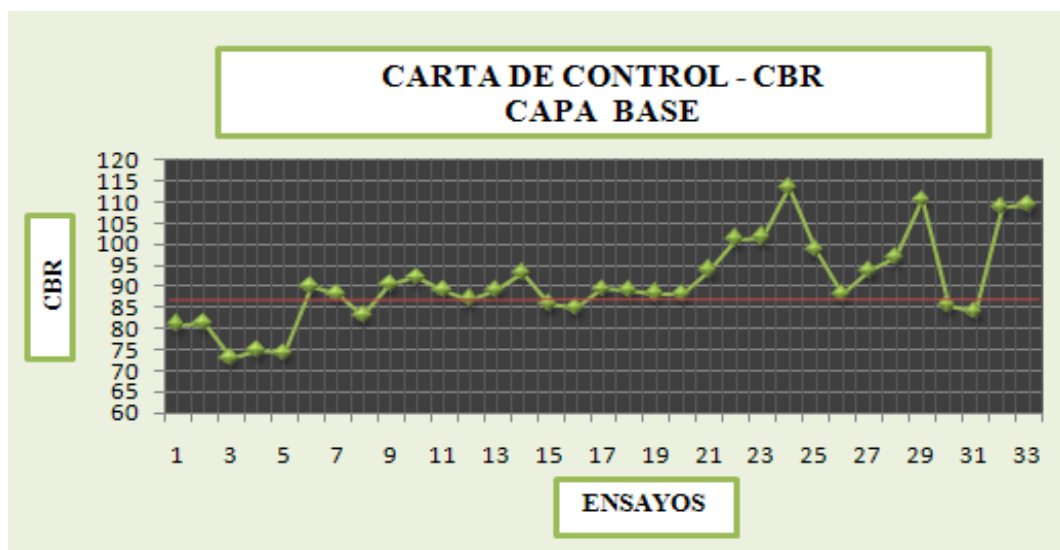


Figura 22. Carta de control densidad máxima capa sub base

Considerando las reglas de decisión:

- La media es de 91% y esta un poco alejado del valor medio de un lote aceptable con una pequeña probabilidad de rechazo que es de 98%, calculado anteriormente.
- La mayoría de los valores de CBR, como muestra individual admisible son mayor de 87.36 % y son aprobados.
- Existen valores por debajo del límite inferior de 87.36% como son los puntos 1, 2, 3, 4, 5, 8, 16, 30 y 31 que debieron haber sido eliminados. Sin embargo los valores 1, 2, 8, 16, 30 y 31 están entre 80% y 87.36% y podrán ser aprobados considerando que se encuentran bajo probabilidad de rechazo de materiales bueno.
- Valores 3, 4, y 5 están por debajo de 80% y debieron ser rechazados, debido a que la producción requiere correcciones

Cálculos realizados: Grado de compactación (capa base)

Para evaluar los resultados obtenidos para el control de la capa base se han elaborado las cartas de control correspondientes.

PROMEDIO	100,00
DES. ESTÁNDAR	0,89
MÁXIMO	101,24
MÍNIMO	98,07
NUMERO DE DATOS	33

Tabla 29. Valores calculados grado de compactación capa base

- Límite inferior para muestra individual: GC= 97.65%
- Límite inferior para promedio de muestra: GC= 98.58%

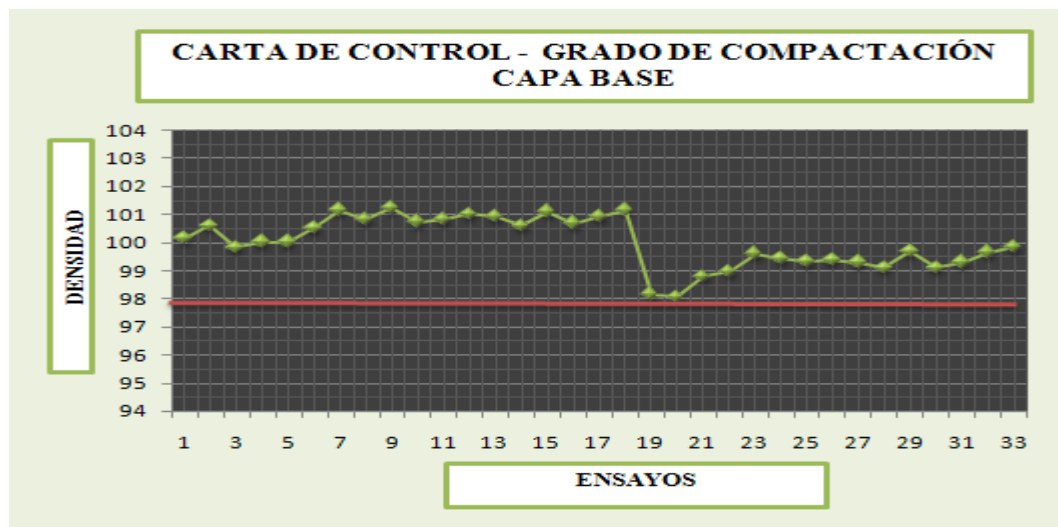


Figura 23. Carta de control grado de compactación capa base

El promedio de la muestra es 100 y cumple es mayor para promedio de muestra q tiene un valor 98.58%.

Todos los datos tiene una buena aceptación esto debido a que son superiores al grado de compactación, para muestra individual que tiene un valor de 97.65 %.

Se puede apreciar que general el grado de compactación de la capa sub base atiende los requerimientos de calidad.

El plan de control determina los límites de control. En la aplicación sobre resultados se debe aplicar los límites y las reglas de decisión para lograr un elevado estándar de calidad.

Las cartas de control permiten apreciar de manera objetiva el nivel de calidad alcanzado con el grado de compactación.

Recomendación

Es frecuente una discusión en relación al grado de compactación y a la aprobación de determinado tramo. Las reglas de decisión deben cubrir todas las alternativas y facilitar de esta manera una toma de decisiones acorde con las circunstancias. Se recomienda especificar el uso de cartas de control, como un requisito.

CAPÍTULO 6.-CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

Al finalizar este estudio se llegó a las siguientes conclusiones:

- Se estableció los procedimientos para llevar un adecuado control estadístico de la calidad de los materiales en capas de pavimento, se realizó los planes de aceptación para la capa sub base como así también para la capa base con lo que se demuestra que son aplicables los modelos para la construcción de caminos propuestos por la AASHTO, en la especificación R-9,
- Al realizar los cálculos respectivos se seleccionaron las variables que fueron susceptibles al control, bajo las recomendaciones R-9 de la AASHTO. Se plantearon reglas de decisión de interpretación única para el control de cada capa del pavimento y estableció los límites de control para medir las variaciones en calidad. Los cuáles nos permitieron ver cual de los sub tramos están saliéndose de control.
- Los resultados para el desgaste por abrasión fueron una aprobación plena, para la densidad máxima en capa sub base sólo un punto está fuera de los límites, en el análisis para CBR de la capa sub base seis puntos estaban fuera de control pero tres están aprobados por considerando que se encuentran bajo probabilidad de rechazo de materiales bueno. Para el grado de compactación se detectaron tres puntos fuera de los límites, pero solo uno tiene riesgo de aprobar un tramo en mal estado. de manera comparativa también se calculó para la densidad máxima en capa base donde seis valores se salieron de control de los cuáles tres pasaron el límite superior y tres el límite inferior, en el análisis para CBR de la capa base nueve puntos estaban fuera de control pero seis están aprobados por considerando que se encuentran bajo probabilidad de rechazo de materiales bueno. Para el grado de compactación no se detectaron puntos fuera de los límites.
- Para su elección adecuada en planes de control y estableció cuáles de los procedimientos planteados son aplicables. En este sentido el método “A:

Porcentaje Defectuoso” no es posible aplicarlo debido a que se necesita un conocimiento profundo de la estadística lo cual es una limitante para su aplicación, el método “B: Porcentaje dentro de Tolerancia” es mucho mas sencillo y se aplico este método para toda todas las variables estudiadas.

- Las cartas de control me permitieron ver gráficamente como se comportan las variables estudiadas en caso de usar una media móvil nos permitirá controlar el avance del proyecto, detectando de forma visual y por tanto sencilla cuándo un proceso se halla fuera de control.
- Se realizo una aplicación práctica con materiales de la región en el tramo Puerta el Chaco – Canaletas donde se han obtenido ensayos suficientes para realizar la estadística de control y aplicar los modelos estudiados.
- La gran mayoría de los materiales utilizados en este tramo cuentan con una calidad óptima, en este sentido se puede ver claramente que la empresa constructora trato de llevar la construcción bajo control por lo que se vio que por buscar una buena calidad se acerco más al límite superior que al inferior de tal manera que trato que se optimicen los recursos humanos, recursos materiales y principalmente recursos financieros.

6.2. RECOMENDACIONES

- Es muy importante el uso de la lógica y del sentido de responsabilidad en la realización del control estadístico para garantizar que un proyecto de obra civil se lleve a cabo de manera correcta y una vez terminado funcione de la manera prevista
- Se ha evidenciado que “no todo lo que brilla es oro”, si bien AASHTO es un referente fundamental en la ingeniería vial en Latinoamérica y particularmente en Bolivia, sin embargo no todos los métodos aconsejados por la especificación R-9 son aplicables, ó al menos no los son sin un conocimiento “profundo” de determinados conceptos estadísticos, lo cual es una limitación importante.
- Dentro de cada cálculo se realizó una recomendación para cada variable estudiada, en este sentido cabe recalcar los más importantes.
 - Es este sentido el desgaste por abrasión deber ser determinado siempre que se tenga que emplear una nueva fuente de materiales, debiendo ser objeto de un control periódico según el tiempo de explotación de la cantera y según la cantidad producida de agregados.
 - Es conveniente insistir acerca de la importancia de densidad y de su control dentro de un rango racional que garantice resultados que atiendan los requerimientos de calidad pero que no demanden costos adicionales.
 - Es frecuente una discusión en relación al grado de compactación y a la aprobación de determinado tramo. Las reglas de decisión deben cubrir todas las alternativas y facilitar de esta manera una toma de decisiones acordes con las circunstancias. Se recomienda especificar el uso de cartas de control, como un requisito.
- De lo planteado por las R-9 que son varios procedimientos se han seleccionado únicamente los de aplicabilidad directa y que facilitan la comprensión del método haciéndolo amigable para cualquier usuario entendido en el control de calidad.
- El procedimiento de control estadístico, que es el que ocupa al presente trabajo, correctamente orientado es un método para el cual es fácil comprobar que es

económico al requerir un muestreo planificado cuya principal ventaja es que los resultados obtenidos son directamente interpretados evitando la actuación subjetiva del personal encargado de emitir la aceptación o rechazo de los trabajos.

- Es imprescindible si se desea desarrollar en esta materia, romper con la inercia implantada. Por la ABC debe acoger sugerencias como la de esta investigación para modernizar las técnicas de control con lo que se logrará mejora en la calidad de los trabajos además de facilitar de manera relativa las relaciones interinstitucionales.
- En todo caso no se debe perder de vista que son valores probabilísticos los que determinan la aprobación o rechazo de ítems de trabajo, entonces debe tomarse en cuenta que la certeza no puede asegurarse en ningún caso teniendo siempre presente las posibilidades de error inherentes al método, en función de la variabilidad de los resultados obtenidos.